

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
2 (463)

APRIL – JUNE 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, President of NAS RK RPA, general director of JSC "D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

ROSS Samir, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, Ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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. KZ66VPY00025419**, issued **29.07.2020**.

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

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

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, President of NAS RK RPA, general director of JSC "D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

ROSS Samir, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, Ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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. KZ66VPY00025419**, issued **29.07.2020**.

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

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

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, РБҚ ҚР ҰҒА президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джулит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Реддинг университетінің профессоры (Реддинг, Англия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университетінің Шығыс медицина факультеті (Карачи, Пәкістан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Кыргызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Кыргызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, АҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ66VPY00025419 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы РҚБ, 2025

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент РОО Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мiroслав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛЫТАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Ахсана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серик Драгметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурбай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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 № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© РОО Национальная академия наук Республики Казахстан, 2025

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

CONTENTS

CHEMISTRY

A. Abdullin, N. Zhanikulov, A. Bailen, A. Sviderskiy, M. Kaiyrbaeva THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REACTIONS OCCURRING IN THE PROCESS OF FRIT FORMATION OF ZINC PHOSPHATE CEMENT.....	11
B.B. Akimbekova, A. Karilkhan, A.A. Zhorabek, A.A. Amirkhan THE INFLUENCE OF REAGENTS WITH REDOX PROPERTIES ON SELECTIVE FLOTATION.....	23
S. Bayazit, A. Zazybin, Murat Aydemir SYNTHESIS AND PHARMACOLOGY OF KAZCAINE AND OTHER 4-ETHYNYL PIPERIDINE DERIVATIVES: A REVIEW.....	39
K.T. Botabekova, S.B. Amangaliyeva, A.K. Kipchakbayeva PHOTOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF PLANT <i>PHLOMIS TUBEROSA</i>	57
A. Zhanzhaxina, Zh. Ibatayev, A. Ashirbek ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. (<i>ARTEMISIA ABROTANUM</i>): LITERATURE REVIEW ON CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY.....	69
B. Imangaliyeva, B. Dossanova, A. Apendina, S. Duzelbayeva, N. Sultanov DETERMINATION OF TANNINS IN MEDICINAL PLANTS.....	86
A. Kassen, Ye. Ussipbekova, G. Suleimenova, A. Dauletbay MEMBRANE SEPARATOR PROPERTIES FOR POLYMER-BASED BATTERIES.....	104
N.B. Kassenova, R.Sh. Erkassov, S.K. Makhanova, R.N. Azhigulova, R. Bayarbolat IR SPECTROSCOPY AS A METHOD FOR STUDYING THE STABILITY AND REACTIVITY OF TETRANUCLEAR IRON(II) COMPLEXES.....	119
R.M. Kudaibergenova, A.N. Nurlybayeva, S.Z. Mateeva, K.B. Bulekbayeva, G.A. Seitbekova STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF HIGHLY DISPERSED ELECTROCORUNDUM.....	131
A.Kh. Kussainova, B.M. Kudaibergenova, A.M. Malikova, G.A. Aldibekova DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH AN EXTRACT OF SEA BUCKTHORN (<i>HIPPOPHAË RHAMNOIDES</i> L.).....	143

N. Merkhatusly, A.N. Iskanderov, S.B. Abeuova, A.N. Iskanderov, A.O. Bulumbaeva SYNTHESIS AND PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF CONJUGATED N,N-DIPHENYLANILYNILAZULENES.....	157
G. Mukusheva, N. Toigambekova, N. Bazarnova, M. Nurmaganbetova, A. Abdraim OBTAINING NEW DERIVATIVES OF THE ALKALOID QUININE AND STUDYING THEIR ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY.....	169
N.Zh. Mukhamediyarov, N.N. Nurgaliev, A.A. Ualikhanov, A.N. Sabitova, N.A. Aitkazin CURRENT STATE OF WASTE FROM METALLURGICAL PRODUCTION IN SOUTH KAZAKHSTAN AND PROSPECTS FOR THEIR PROCESSING.....	183
K.T. Mukhanbetzhanova, N.A. Satybaeva, K. Kuptleuova POLYMER-COLLOIDAL COMPLEX NEW BINDING MATERIAL FOR MAKING MOULDS AND RODS.....	198
G. Ormanova, A. Anarbayev, B. Kabylbekova, N. Anarbayev STUDY OF THE FILTRATION RATE OF GYPSUM FROM SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS.....	214
R.K. Rakhmetullayeva, M. Abutalip, B.M. Bayanbayev, A.M. Abukhan, N.B. Sarova EXTRACTION OF WOOD-POLYMER COMPOSITES FROM POLYMER WASTE.....	228
B.B. Ryskulbek, Yu.B. Abdussametova, M.A. Dyusebaeva, N.A. Ibragimova, G.E. Berganayeva COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS IN THE ROOTS AND LEAVES OF ARCTIUM LAPPA.....	243
A. Tukibayeva, A. Bayeshov, D. Asylbekova, G. Adyrbekova, N. Kalieva STUDY OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF PHOSPHINE IN AQUEOUS SOLUTIONS.....	260
O.S. Kholkin, N.S. Ivanov, I.E. Adelbayev, A.B. Bayeshov, M. Zhurinov FORMATION OF ZIRCONIUM DIOXIDE BY ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF ZIRCONIUM BY AC CURRENT IN ACIDIC MEDIA.....	274

МАЗМҰНЫ

ХИМИЯ

А. Абдуллин, Н. Жаникулов, А. Байлен, А. Свидерский, М. Қайырбаева МЫРЫШ ФОСФАТТЫ ЦЕМЕНТТІҢ ФРИТТ ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСІНДЕ ЖҮРЕТІН РЕАКЦИЯЛАРДЫ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУ.....	11
Б.Б. Акимбекова, А. Карилхан, А.А. Жорабек, А. Амирхан ТОТЫҚТЫРҒЫШ-ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ ҚАСИЕТТЕРГЕ ИЕ РЕАГЕНТТЕРДІҢ СЕЛЕКТИВТІ ФЛОТАЦИЯҒА ӘСЕРІ.....	23
С. Баязит, А. Зазыбин, Мурат Айдемир ҚАЗКАИН ЖӘНЕ БАСҚА ДА 4-ЭТИНИЛПИПЕРИДИН ТУЫНДЫЛАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ МЕН ФАРМАКОЛОГИЯСЫ: ШОЛУ МАҚАЛАСЫ.....	39
К.Т. Ботабекова, С.Б. Амангалиева, А.К. Кипчакбаева PHLOMIS TUBEROSA ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ.....	57
А. Жанжаксина, Ж. Ибатаев, А. Әшірбек ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. (<i>ARTEMISIA ABROTANUM</i>): ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ БОЙЫНША ӘДЕБИ ШОЛУ.....	69
Б. Имангалиева, Б. Досанова, А. Апендина, С. Дузелбаева, Н. Сұлтанов ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДЕГІ ІЛІК ЗАТТАРДЫ АНЫҚТАУ.....	86
А. Касен, Е. Усипбекова, Г. Сулейменова, А. Даулетбай ПОЛИМЕРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ БАТАРЕЯЛАРҒА АРНАЛҒАН МЕМБРАНА-СЕПАРАТОР ҚАСИЕТТЕРІ.....	104
Н.Б. Касенова, Р.Ш. Еркасов, С.К. Маханова, Р.Н. Ажигулова, Р. Баярболат ИҚ — СПЕКТРОСКОПИЯ ТЕТРАЯДРОЛЫ ТЕМІР (II) КЕШЕНДЕРІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ МЕН РЕАКЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІН ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ РЕТІНДЕ.....	119
Р.М. Кудайбергенова, А.Н. Нурлыбаева, С.З. Матеева, К.Б. Булекбаева, Г.А. Сейтбекова ЖОҒАРЫ ДИСПЕРСТІ ЭЛЕКТРОКОРУНДТЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....	131
А.Х. Кусайнова, Б.М. Кудайбергенова, А.М. Маликова, Г.А. Алдибекова ҚҰРАМЫНА ОБЛЕПИХА (<i>PIRRORHÆ RHAMNOIDES L.</i>) ЭКСТРАКТЫ	

ҚОСЫЛҒАН ПОЛИМЕРЛІК КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН ДАЙЫНДАУ.....	143
Н. Мерхатұлы, А.Н. Искандеров, С.Б. Абеуова, А.Н. Искандеров, А.О. Бұлмбаева ҚОСАРЛАНҒАН N,N-ДИФЕНИЛАНИЛИНИЛАЗУЛЕНДЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ФОТОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	157
Г. Мукушева, Н. Тойгамбекова, Н. Базарнова, М. Нурмағанбетова, А. Абдраим ХИНИН АЛКАЛОИДЫНЫҢ ЖАҢА ТУЫНДЫЛАРЫН АЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАБЫНУҒА ҚАРСЫ БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....	169
Н.Ж. Мухамедияров, Н.Н. Нурғалиев, А.А. Уалиханов, А.Н. Сабитова, Н.А. Айтказин ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МЕТАЛЛУРГИЯ ӨНДІРІС ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ӨНДЕУДІҢ БОЛАШАҒЫ.....	183
К.Т. Муханбетжанова, Н.А. Сатыбаева, К.Т. Куптлеуова ПОЛИМЕРНО-КОЛЛОИДНЫЙ КОМПЛЕКС — НОВЫЙ СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ.....	198
Г. Орманова, А. Анарбаев, Б. Кабылбекова, Н. Анарбаев НАТРИЙ ХЛОРИДІ ЕРІТІНДІЛЕРІНЕН ГИПСТІ СҮЗУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ.....	214
Р.К. Рахметуллаева, М. Әбутәліп, Б.М. Баянбаев, А.М. Абухан, Н.Б. Сарова ПОЛИМЕР ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АҒАШ-ПОЛИМЕРЛІ КОМПОЗИТТЕРДІ АЛУ.....	228
Б.Б. Рысқұлбек, Ю.Б. Абдусаметова, М.А. Дюсебаева, Н.А. Ибрагимова, Г.Е. Берганаева ARSTIUM LAPPA ТАМЫРЫ МЕН ЖАПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ.....	243
А. Тукибаева, А. Басшов, Д. Асылбекова, Г. Адырбекова, Н. Калиева ФОСФИННІҢ СУЛЫ ЕРІТІНДЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	260
О.С. Холкин, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, Ә.Б. Басшов, М. Жұрынов ҚЫШҚЫЛДЫ ОРТАДА АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ЦИРКОНИЙДІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЕРІТУ АРҚЫЛЫ ЦИРКОНИЙ ДИОКСИДІН АЛУ....	274

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

А. Абдуллин, Н. Жаникулов, А. Байлен, А. Свидерский, М. Кайырбаева ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ФРИТТООБРАЗОВАНИЯ ЦИНК ФОСФАТНОГО ЦЕМЕНТА.....	11
Б. Акимбекова, А. Карилхан, А.А. Жорабек, А. Амирхан ВЛИЯНИЕ НА СЕЛЕКТИВНУЮ ФЛОТАЦИЮ РЕАГЕНТОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	23
С. Баязит, А. Зазыбин, Мурат Айдемир СИНТЕЗ И ФАРМАКОЛОГИЯ КАЗКАИНА И ДРУГИХ ПРОИЗВОДНЫХ 4-ЭТИНИЛПИПЕРИДИНА: ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ.....	39
К.Т. Ботабекова, С.Б. Амангалиева, А.К. Кипчакбаева ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ <i>PHLOMIS TUBEROSA</i>	57
А. Жанжаксина, Ж. Ибатаев, А. Аширбек <i>ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. (ARTEMISIA ABROTANUM)</i> : ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ.....	69
Б. Имангалиева, Б. Досанова, А. Апендина, С. Дузелбаева, Н. Султанов ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДУБИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ.....	86
А. Касен, Е. Усипбекова, Г. Сулейменова, А. Даулетбай СВОЙСТВА МЕМБРАНЫ-СЕПАРАТОРА ДЛЯ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ.....	104
Н.Б. Касенова, Р.Ш. Еркасов, С.К. Маханова, Р.Н. Ажигулова, Р. Баярболат ИК – СПЕКТРОСКОПИЯ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТЕТРАЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА (II).....	119
Р.М. Кудайбергенова, А.Н. Нурлыбаева, С.З. Матеева, К.Б. Булекбаева, Г.А. Сейтбекова ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА.....	131

А.Х. Кусаинова, Б.М. Кудайбергенова, А.М. Маликова, Г.А. Алдибекова РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭКСТРАКТОМ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ (<i>HIPPOPHAE RHAMNOIDES L.</i>).....	143
Н. Мерхатулы, А.Н. Искандеров, С.Б. Абеуова, А.Н. Искандеров СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОПРЯЖЕННЫХ N, N ДИФЕНИЛАНИЛИНИЛАЗУЛЕНОВ.....	157
Г. Мукушева, Н. Тойгамбекова, Н. Базарнова, М. Нурмаганбетова, А. Абдраим ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ АЛКАЛОИДА ХИНИНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ.....	169
Н.Ж. Мухамедияров, Н.Н. Нургалиев, А.А. Уалиханов, А.Н. Сабитова, Н.А. Айтказин СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ.....	183
К.Т. Муханбетжанова, Н.А. Сатыбаева, К.Т. Куптлеуова ПОЛИМЕРНО-КОЛЛОИДНЫЙ КОМПЛЕКС — НОВЫЙ СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ.....	198
Г. Орманова, А. Анарбаев, Б. Кабылбекова, Н. Анарбаев ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ГИПСА ИЗ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ.....	214
Р.К. Рахметуллаева, М. Абуталип, Б.М. Баянбаев, А.М. Абухан, Н.Б. Сарова ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ.....	228
Б.Б. Рыскулбек, Ю.Б. Абдусаметова, М.А. Дюсебаева, Н.А. Ибрагимова, Г.Е. Берганаева СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОРНЯХ И ЛИСТЯХ ARSTIUM LAPPA.....	245
А. Тукибаева, А. Башов, Д. Асылбекова, Г. Адырбекова, Н. Калиева ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОСФИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ.....	260
О.С. Холкин, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, А.Б. Башов, М. Журинов ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ РАСТВОРЕНИЕМ ЦИРКОНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	274

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2. Number 463 (2025), 11–22

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.278>

UDC 662:666.763

©A. Abdullin¹, N. Zhanikulov^{*2}, A. Bailen², A. Sviderskiy³, M. Kaiyrbaeva², 2025.

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

²Academician E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan;

³Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov, Zhezkazgan, Kazakhstan.
E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REACTIONS OCCURRING IN THE PROCESS OF FRIT FORMATION OF ZINC PHOSPHATE CEMENT

A. Abdullin — PhD student, teacher of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan,
E-mail: aidana_gkz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4690-5441>;

N. Zhanikulov — PhD, associate professor of E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan,
E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

A. Bailen — master, teacher of E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan,
E-mail: aida_bailen@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9024-0065>;

A. Sviderskiy — Doctor of chemical sciences, professor, Vice-Rector for Science and Strategic Development of Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov, Zhezkazgan, Kazakhstan,
E-mail: katsostud@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7277-5882>;

M. Kaiyrbaeva — master, senior teacher of E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan,
E-mail: m_kaiyrbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1964-9582>.

Abstract. The production of zinc phosphate cement for dentistry is a pressing issue for our country, since not a single type of dental cement is produced in Kazakhstan, and all necessary materials are imported from abroad. The scientific article presents the results of thermodynamic calculations of reactions occurring in the process of frit formation of zinc phosphate cement. Thermodynamic calculations were carried out using the program package «HSC Chemistry 6». As a result of the conducted studies it was found that zinc phosphate cement frit contributes to the intensification of mineralization. *Results.* In particular, it was found that frit minerals can be formed in the temperature range of 1000-1100 °C with Gibbs energy values ΔG of -8,321 and -109,3 kcal, respectively. At introduction of 1,5 % of phosphorus slag the charge composition is influenced by additives of CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, F, CaF₂, which promotes thermodynamically efficient reactions. Depending on the Gibbs energy, the formation of the main minerals of frit in the reaction group (I) and (II) at temperatures of 1000-1100 °C is shown: ZnO - 60 %, MgO - 8 %, Zn₂SiO₄ - 18 %, Mg₂SiO₄ - 6 %, ZnAl₂O₄ - 2 %, CaF₂ - 0,5 %, Ca₃SiO₅ - 2,0 % and Bi-Si-Ca (glass phase) - 3,5 %. As a result, it is proved that reactions of formation of mineral phases ZnO, MgO, Zn₂SiO₄, Mg₂SiO₄,

ZnAl_2O_4 , CaF_2 , Ca_3SiO_5 with negative values of ΔG for production of zinc phosphate cement frit have high thermodynamic probability. The obtained scientific results make it possible to determine the concentration of the mineral phase formed during the firing of zinc phosphate cement frit, to establish the optimal firing temperature and to ensure the production of zinc phosphate cement with an effective composition.

Keywords: zinc phosphate cement, composite material, roasting, thermodynamic calculations, phosphoric slag, frit

Acknowledgment, funding: This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (IRN AP22683868 – «Development and research of the composition of zinc-phosphate composite cements for the dental needs of Kazakhstan»).

©А. Абдуллин¹, Н. Жаникулов^{2*}, А. Байлен², А. Сви́дерский³,
М. Қайырбаева², 2025.

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

²Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті,
Қарағанды, Қазақстан;

³О.А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған, Қазақстан.
E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

МЫРЫШ ФОСФАТТЫ ЦЕМЕНТТІҢ ФРИТТ ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСІНДЕ ЖҮРЕТІН РЕАКЦИЯЛАРДЫ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

А. Абдуллин — PhD докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің оқытушысы, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: aidana_gkz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4690-5441>;

Н. Жаникулов — PhD, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің қауымдастырылған профессоры, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

А. Байлен — магистр, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: aida_bailen@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9024-0065>;

А. Сви́дерский — химия ғылымдарының докторы, профессор, О.А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университетінің ғылым және стратегиялық даму жөніндегі проректоры, Жезқазған, Қазақстан,

E-mail: katsostud@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7277-5882>;

М. Қайырбаева — магистр, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: m_kaiyrbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1964-9582>.

Аннотация. Стоматологияға қажетті мырыш фосфатты цемент өндіру еліміз үшін аса өзекті мәселе болып саналады. Себебі, Қазақстанда стоматологиялық цементтің ешқандай түрі өндірілмейді, қажетті материалдар шет елдерден экспортталады. Ғылыми мақалада мырыш фосфатты цементтің фритт түзілу процесінде жүретін реакциялардың термодинамикалық есептеу нәтижелері

көрсетілген. Термодинамикалық есептеу «HSC Chemistry 6» бағдарламалық кешенін қолдана отырып орындалды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде мырыш фосфатты цемент фриттінің минерал түзілуін күшейтуге ықпал ететіні анықталды. *Нәтижелері.* Атап айтқанда, Гиббс энергиясының мәндері сәйкесінше ΔG -8,321 және -109,3 ккал аралығы 1000 - 1100 °C-қа дейінгі температура диапазонында фритт минералдарының пайда болуы мүмкін екендігі анықталды. Фосфор шлагын 1,5 % ендіргенде шихта құрамына CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, F, CaF₂ қоспалары әсер етіп, термодинамикалық тиімді реакциялардың жүруіне қатысты. Гиббс энергиясына байланысты 1000-1100 °C температурада (I) және (II) реакция тобында фриттің негізгі минералдарының түзілуі ZnO – 60 %, MgO – 8 %, Zn₂SiO₄ – 18 %, Mg₂SiO₄ – 6 %, ZnAl₂O₄ – 2,0 %, CaF₂ – 0,5 %, Ca₃SiO₅ – 2 % және Bi-Si-Ca (шыны фаза) – 3,5 % көрсетілді. Нәтижесінде мырыш фосфатты цемент фриттің алу үшін ΔG теріс мәндері ZnO, MgO, Zn₂SiO₄, Mg₂SiO₄, ZnAl₂O₄, CaF₂, Ca₃SiO₅ минералдарының фазалары түзілу реакцияларының жоғары термодинамикалық ықтималды екендігі дәлелденді. Алынған ғылыми нәтижелер мырыш фосфатты цемент фриттің күйдіріп алу кезінде түзілетін минералды фазаның концентрациясын анықтауға, күйдіру температурасының оптималды шамасын анықтауға және тиімді құраммен мырыш фосфатты цемент алуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: мырыш фосфатты цемент, композициялық материал, күйдіру, термодинамикалық есептеулер, фосфор шлагы, фритт

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (ИРН AP22683868 – Қазақстанның стоматологиялық қажеттіліктері үшін мырыш-фосфатты композициялық цементтің құрамын зерттеу және әзірлеу»).

©А. Абдуллин¹, Н. Жаникулов^{2*}, А. Байлен², А. Свидерский³,
М. Кайырбаева², 2025.

¹Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова,
Караганда, Казахстан;

³Жезказганский университет имени О.А. Байконурова, Жезказган, Казахстан.
E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ФРИТТООБРАЗОВАНИЯ ЦИНК ФОСФАТНОГО ЦЕМЕНТА

А. Абдуллин — PhD докторант, преподаватель Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: aidana_gkz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4690-5441>;

Н. Жаникулов — PhD, ассоциированный профессор Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

А. Байлен — магистр, преподаватель кафедры «Неорганической и технической химии»

Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
E-mail: aida_bailen@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9024-0065>;

А. Свидерский — доктор химических наук, профессор, проректор по науке и стратегическому развитию Жезказганского университета имени О.А. Байконурова, Жезказган, Казахстан,
E-mail: katsostud@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7277-5882>;

М. Кайырбаева — магистр, старший преподаватель Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
E-mail: m_kaiyrbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1964-9582>.

Аннотация. Производство цинк-фосфатного цемента для стоматологии является актуальной задачей для нашей страны, поскольку в Казахстане не производится ни один вид стоматологического цемента, и все необходимые материалы импортируются из-за рубежа. В научной статье представлены результаты термодинамических расчетов реакций, протекающих в процессе фриттообразования цинк фосфатного цемента. Термодинамические расчеты проводились с использованием программного пакета «HSC Chemistry 6». В результате проведенных исследований установлено, что фритта цинк фосфатного цемента способствует интенсификации минерализации. *Результаты.* В частности, установлено, что минералы фритты могут образовываться в интервале температур 1000-1100 °C со значениями энергии Гиббса ΔG -8,321 и -109,3 ккал соответственно. При введении 1,5 % фосфорного шлака на состав шихты оказывают влияние добавки CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, F, CaF₂, что способствует термодинамически эффективному протеканию реакций. В зависимости от энергии Гиббса показано образование основных минералов фритты в реакционной группе (I) и (II) при температурах 1000-1100 °C: ZnO – 60 %, MgO – 8 %, Zn₂SiO₄ – 18 %, Mg₂SiO₄ – 6 %, ZnAl₂O₄ – 2 %, CaF₂ – 0,5 %, Ca₃SiO₅ – 2,0 % и Bi-Si-Ca (стеклофаза) – 3,5 %. В результате доказано, что реакции образования минеральных фаз ZnO, MgO, Zn₂SiO₄, Mg₂SiO₄, ZnAl₂O₄, CaF₂, Ca₃SiO₅ с отрицательными значениями ΔG для получения цинк фосфатной цементной фритты имеют высокую термодинамическую вероятность. Полученные научные результаты позволяют определить концентрацию минеральной фазы, образующейся при обжиге фритты цинк-фосфатного цемента, установить оптимальную температуру обжига и обеспечить получение цинк-фосфатного цемента с эффективным составом.

Ключевые слова: цинк фосфатный цемент, композиционный материал, обжиг, термодинамические расчеты, фосфорный шлак, фритт

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН AP22683868 – «Разработка и исследование состава цинк-фосфатных композиционных цементов для стоматологических нужд Казахстана»).

Кіріспе. Мырыш фосфатты цемент – мырыш оксиді (ZnO) мен ортофосфор қышқылы (H₃PO₄) арасындағы қышқыл-негіз реакциясы нәтижесінде алынатын бейорганикалық тұтастырғыш зат (Hoffmann's, 2023). Бұл композициялық материал жоғары адгезияға, биоүйлесімділікке және коррозияға төзімділік

сияқты бірегей қасиеттеріне байланысты стоматологияда және басқа салаларда кеңінен қолданылады (Leung, et al., 2022). Мырыш фосфатты цемент ұнтағының құрамына ZnO , SiO_2 , MgO , Bi_2O_3 оксидтер мен басқада қоспаларды ендіріп, шихтаны 1000-1300 °C температурада 4-8 сағат бойы жоғары температурада термиялық өңдеуден жентектелгеннен кейін ұнтақтап алады (Park, et al., 1998). Термиялық өңдеуден кейін шихта бөлшектердің өлшемі 2-8 мкм болатын етіп өте жұқа деңгейде ұнтақталады және біртектілікті қамтамасыз ету үшін №008 електен, қалдығы 0,5 % болғанша електен өткізеді (Abdullin, et al., 2025). Мырыш фосфат цементтің қасиеттерін оңтайландыру және оның өнімділігін арттыру үшін шихтаның жентектелу процестерін терең түсіну қажет. Термодинамикалық есептеулер жүйенің фазалық құрамын, реакцияларды және параметрлерді әр түрлі температурада болжауға мүмкіндік береді, бұл мырыш фосфатты цемент фритінің тиімді түзілуіне ықпал етеді (Viani, et al., 2016).

Фриттинг – бұл мырыш фосфатты цемент ұнтағының біртекті фазасын алу үшін барлық массаны балқытпай қолданылатын бейорганикалық қосылыстардың термиялық жентектелу процесі (Абдурахманов, et al., 2016). Термодинамикалық процесті модельдеу әр түрлі температурада, әсіресе 800 – 1300 °C диапазонында энергетикалық тиімді реакция жолдары мен фазалық тепе-теңдікті анықтауға мүмкіндік береді (Sudarev, 2021). Соңғы жылдары мырыш фосфат цементті өндіруде жентектелу процестерін термодинамикалық модельдеу саласындағы зерттеулердің белсенді дамуы байқалуда. Бұл фазалық өзгерістерді талдау және алынатын фриттің құрамын оңтайландыру үшін HSC Chemistry, FactSage және Thermo-Calc сияқты бағдарламалық кешендерді пайдалануға ерекше назар аударуда (Roine, 2002).

Паулсон және басқалардың жұмысында фазалық диаграммаларды модельдеу және көп компонентті жүйелердегі фазалық тұрақтылықты бағалау үшін CALPHAD тәсілін қолдануды қарастырады. Авторлар болжамдардың дәлдігін жақсарту үшін термодинамикалық модельдердегі белгісіздікті ескерудің маңыздылығын атап көрсеткен (Paulson, et al., 2019).

Жұмыстың мақсаты – стоматологиялық мырыш фосфатты цемент шихта құрамына фосфор шлағын қосқанда орындалатын күрделі физика-химиялық процестердің жүруін термодинамикалық есептеу арқылы анықтау болып табылады.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Термодинамикалық есептеулер «HSC Chemistry 6» бағдарламалық кешенін қолдана отырып жүргізілді. Есептеуде қолданылатын бағдарламалық пакет жоғары сапалы дерекқорларды әзірлеуге, жүргізуге және таратуға арналған еуропалық SGTE (Scientific Group Thermodata Europe, Стокгольм, Швеция) консорциумының идеологиясына негізделген. SGTE құрылымын Германия, Канада, Франция, Швеция, Ұлыбритания және АҚШ-тың мамандандырылған ғылыми орталықтары ұсынады. Бағдарламалық пакеттің мәліметтер базасында 22000 жеке заттар туралы ақпарат бар (Kolesnikov, et al., 2022).

Химиялық термодинамика – химиялық реакциялар және фазалық ауысулармен бірге жүретін энергияның әртүрлі формаларының өзара түрленуін зерттейтін химияның саласы.

Химиялық термодинамика әртүрлі термодинамикалық шамаларды есептеуге, процестердің бағыты, процеске әсер ететін факторлар, процестің тереңдігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Изобар-изотермиялық потенциал – Гиббс энергиясы тұрақты қысым мен температурада тепе-теңдік процесінің бағыты критерийі болып табылады ($\Delta G < 0$ кезінде реакция өнім түзуге бағытталған).

Энтальпияның басқа термодинамикалық функцияларын өзгерту термиялық реакция режимін бағалауға мүмкіндік береді. Жылу әсеріне байланысты реакциялар эндотермиялық (жылу сіңірумен) және экзотермиялық (жылу шығарумен) болуы мүмкін. Жылу әсерін бірнеше әдістермен анықтауға болады, олардың бірі түзілу жылуын анықтауға негізделген. Әдістің негізінде Гесс Заңы жатыр:

$$\Delta H = \sum n \cdot \Delta H_{np}^{обp} - \sum n \cdot \Delta H_{исx}^{обp}$$

мұнда, n – стехиометриялық коэффициент;

$\sum \Delta H_i$ – реакция өнімдерінің және бастапқы заттардың түзілу жылуларының қосындысы, Дж.

Кирхгофф теңдеуінің көмегімен реакцияның жылу әсерін кез-келген температурада, ΔH мәндерін біле отырып басқа температурада анықтауға болады, мәселен ΔH_{298} .

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p \cdot dT$$

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \Delta a \cdot (T_2 - 298) + \frac{\Delta b}{2} \cdot (T_2^2 - 298^2) + \frac{\Delta c}{3} \cdot (T_2^3 - 298^3) - \Delta c^{\downarrow} \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T_2} \right)$$

мұнда, ΔC_p - реакция өнімдері мен бастапқы заттардың жылу сыйымдылығының айырмашылығы.

Энтропияның өзгеруін төмендегі теңдеу арқылы анықтауға болады:

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} \cdot dT$$

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \Delta a \cdot \ln \frac{T_2}{298} + \Delta b \cdot (T_2 - 298) + \frac{\Delta c}{2} \cdot (T_2^2 - 298^2) - \Delta c^{\downarrow} \cdot \left(\frac{1}{298^2} - \frac{1}{T_2^2} \right)$$

мұнда, $\Delta S_{298} - T = 298$ және 0,1 МПа қысым кезінде, стандартты жағдайларда реакция кезінде энтропияның өзгеруі.

Гиббс энергиясы төмендегі теңдеу арқылы анықталады:

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - T \cdot \Delta S_T^\circ$$

Реакцияларға қатысатын заттардың түзілу жылуларының мәні және соңғысының нәтижесінде түзілу анықтамалықтардан таңдалады.

Реакцияның термодинамикалық параметрлері реакцияларға қатысатын заттардың термодинамикалық қасиеттерімен анықталады. Бұл қасиеттердің ішіндегі ең маңыздылары - ішкі энергия, энтальпия, энтропия, жылу сыйымдылығы, Гиббс энергиясы.

Тепе-теңдік константасы – олардың стехиометриялық коэффициенттері дәрежесіндегі өнімдердің парциалды қысымы көбейтіндісінің бастапқы заттардың парциалды қысымының көбейтіндісіне олардың стехиометриялық коэффициенттері дәрежесіне қатынасына тең.

Тепе-теңдік константасы – берілген температурада берілген химиялық реакция үшін тұрақты шама. Тепе теңдік константасы химиялық реакцияның изотерма тендеуімен анықталады:

$$\Delta G_T^\circ = -R \cdot T \cdot \ln K_p$$

Мұнда, R – тұрақты газ шамасы, 8,314 Дж/моль·Кельвин;

T – химиялық реакция температурасы К;

K_p – тепе-теңдік константасы.

Гиббс энергиясы мына тендеу арқылы есептеледі:

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - \Delta S_T^\circ \cdot T$$

Кез келген температурадағы реакциялардың тепе-теңдік константасын есептеу стандартты Гиббс энергиясының тендеуіне негізделген:

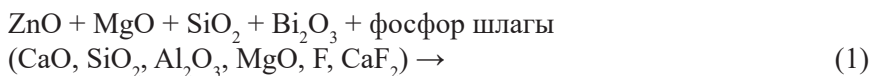
$$-\Delta G_T = R \cdot T \cdot \ln K_p \text{ сәйкесінше: } \ln K_p = -\frac{\Delta G}{RT},$$

Мұнда, R - әмбебап газ тұрақтысы, $R = 1,98$ кал/моль·К немесе 8,31 Дж/(К· моль);

Мырыш фосфатты цементтерді өндіру процесі шикізатты дайындаудан бастап, шихта фритті термиялық өңдеу, цемент ұнтағының түзілуі және цемент тасын қатайту секілді бірнеше кезеңдерді қамтиды (Романенко, et al., 2019). Термиялық өңдеу процесінде мырыш фосфатты цемент шихта фриттің фазалары жентектеледі. Цемент ұнтағын алғаннан кейін оны қатаю процесін жүргізу үшін ортофосфор қышқылының ерітіндісімен араластыру орындалады (Arun, et al., 2023).

Араластыру кезінде стоматологиялық цементінің қатаюу процесін қамтамасыз ететін маңызды химиялық реакциялар жүреді: мырыш оксиді (ZnO) → фосфор шлағын қосу (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , F , CaF_2) → шихтаны араластыру → 1000-1100 °C термиялық өңдеу → алынған фритті ұнтақтау → цемент ұнтағы + (H_3PO_4) ерітіндісі → цемент тасы.

Шикізат материал ретінде химиялық құрамы 99,99 % таза ZnO , SiO_2 , MgO және Bi_2O_3 оксидтері мен құрамында кремний (37,6 %), алюминий (4,49 %), кальций (42,4 %), магний (2,19 %) және т.б. оксидтері, сондай-ақ фтор (1,94 %) және кальций фториді (4,91 %) кездесетін фосфор шлағы алынды. Келтірілген шикізат материалдан төмендегідей шихта құрамын дайындау және күйдірудің физика-химиялық процесстерінің химиялық реакция теңдеуі төмендегідей ұсынылды:



Нақты шихта құрамы төмендегідей:

ZnO	– 83,0 %
MgO	– 9,0 %
SiO_2	– 3,5 %
Bi_2O_3	– 3,0 %
Фосфор шлағы (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , F , CaF_2)	– 1,5 %

Нәтижелер және талқылаулар. Термодинамикалық есептеу жүргізу үшін реакцияға қатысатын бастапқы заттардың 1000 және 1100 °C температурадағы термодинамикалық қасиеттері 1 кестеде көрсетілген.

1 – кесте. Реакцияға қатысатын бастапқы заттардың 1000 және 1100 °C температурадағы термодинамикалық қасиеттері

Бастапқы заттар	Температура, °C	ΔC_p , кал/моль·K	Энтальпия ΔH , ккал/моль	Энтропия ΔS , кал/моль·K	Гиббс энергиясы ΔG° , ккал/моль
ZnO	1000	12,94	-84,78	-25,62	-52,16
	1100	13,13	-84,66	-25,53	-49,60
MgO	1000	12,50	-145,56	-27,61	-110,40
	1100	12,62	-145,55	-27,61	-107,64
SiO_2	1000	17,17	-215,30	-40,85	-163,28
	1100	17,29	-215,10	-40,70	-159,21
Bi_2O_3	1000	48,27	-124,09	-53,97	-55,37
	1100	48,27	-121,85	-52,28	-50,05

Термодинамикалық есептеулер мырыш фосфатты цемент фриттінің негізгі минералдарының: ZnO , Zn_2SiO_4 , MgO , Mg_2SiO_4 және шихта құрамына ендірілген фосфор шлағы негізінде ZnAl_2O_4 , ZnF_2 , Ca_3SiO_5 минералдарының түзілу синтезін модельдеу жағдайында есептелді (Валынов, et al., 2023). Атап айтқанда, I топ – стандартты реакциялар (2-4) фритте түзілген минералдар және II топ – стандартты емес реакциялармен (5-7) түзілген минералдар ұсынылады:

ZnO (цинцит) минералы түзіледі (2)

$2\text{ZnO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Zn}_2\text{SiO}_4$ (3)

$2\text{MgO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Mg}_2\text{SiO}_4$ (4)

$\text{ZnO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{ZnAl}_2\text{O}_4$ (5)

$\text{ZnO} + \text{CaF}_2 \rightarrow \text{ZnF}_2 + \text{CaO}$ (6)

$3\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{CaF}_2 \rightarrow \text{Ca}_3\text{SiO}_5 + \text{CaF}_2$ (7)

Термодинамикалық параметрлерді есептеу нәтижелері 2 кестеде келтірілген.

2 – кесте. 1000 және 1100 °C температурадағы термодинамикалық есептеу нәтижелері

Реакция №	Температура, °C	Энтальпия ΔH , ккал	Энтропия ΔS , кал/К	$\Delta G_{\text{х.р.}}$, ккал	Log(K)
2	1000	-72.22	27.01	-106.61	-
2	1100	-70.91	28.00	-109.36	-
3	1000	-8.157	0.129	-8.321	1.428
3	1100	-7.898	0.324	-8.343	1.328
4	1000	-15.608	-0.775	-14.621	2.510
4	1100	-15.470	-0.671	-14.549	2.316
7	1000	-35.389	4.822	-41.528	7.129
7	1100	-34.825	5.248	-42.031	6.690

I топтың стандартты реакцияларын есептеу нәтижелеріне сүйене отырып, Гиббс энергиясының температураға тәуелдігі анықталды. 2 кестеде мырыш фосфатты цемент фриттің күйдіру кезінде түзілетін (2) цинцит (ZnO) минералы негізгі кристалдық фаза ретінде сақталады. ZnO минералы 1000-1100°C температура аралығында түзілетіндігін көруге болады. Бұл жағдайда реакцияның Гиббс энергиясы теріс диапазонда болды, тиісінше ΔG -106,6 ккал-дан -109,36 ккал шегіне жетіп, реакцияның толық жүру мүмкіндігін көрсетті.

Реакция (3) виллемиттің (Zn_2SiO_4) түзілуі $T=1000^\circ\text{C}$ кезінде ΔG -8,321 ккалға тең болды, бұл берілген жағдайда реакция жай жүретіндігін көрсетеді. Реакцияның температурасы $T=1100^\circ\text{C}$ жоғарлауымен (3) Гиббс энергиясының теріс мәні артып, ΔG мәні -8,321 ккал-дан -8,343 ккал шегіне дейін артты. Бұл Гиббс энергиясының теріс мәнінің артуы реакцияның температураның артуы әсерінен жылдамдай түскенін көрсетті.

Реакция (4) форстериттің (Mg_2SiO_4) пайда болуы $T=1000^\circ\text{C}$ кезінде ΔG -14,62 ккал тең болды. Реакцияның температурасы $T=1100^\circ\text{C}$ артуы ΔG мәнін -14,621 ккал-дан -14,549 ккал-ға дейін төмендегенін көрсетеді.

Сонымен қатар, II топтағы реакцияларды есептеу нәтижесінде ZnAl_2O_4 (ганит) минералының түзілуіне (5) бастапқы $T=1000^\circ\text{C}$ жеткіліксіз екендігін, температурнаның жоғарлауымен $T=1100^\circ\text{C}$ болған кезде ΔG мәні небәрі -0,008 ккал басталғаны анықталды (Serena, et al., 2006).

Жентектелу процесінде жүретін реакциялар (6) өнімнің сапасын және оның фазалық құрамын анықтайды. Мырыш фосфат цемент ұнтағының құрамына фосфор шлағының қосылуы жентектелу механизмдеріне және соңғы ұнтақ материалдың қасиеттеріне әсер етеді. F және CaF_2 шикізаттағы оксидтермен әрекеттесіп

ZnF_2 түзіледі. Фторидтер қоспаның балку температурасын төмендетеді, бұл жентектелу процесін жеңілдетеді және цементті күйдіру процесінде фазалардың түзілуін жақсартады. Фтор бастапқы материалдардың кристалдық торларының бұзылуына ықпал етеді, олардың белсенділігін арттырады. Фторидтер фтордың әсерінен жентектелудің химиялық реакциясын жеделдетеді және ZnF_2 ұшпа фторлы қосылыстар түзеді (Tamer, et al., 2018).

Фосфор шлагының құрамында CaO және SiO_2 болуы реакция (7) кальций-силикат фазаларының пайда болуына әкеледі. Бұл фазаларға Ca_3SiO_5 (үш кальций силикат) жатады, фторидтердің бұл реакцияларға әсері онша айқын емес, бірақ олардың болуы балку температурасының өзгеруіне және белгілі бір фазалардың пайда болуына әсер етеді. Реакция (7) үш кальций силикаттың (Ca_3SiO_5) түзілуі $T=1000^\circ\text{C}$ кезінде ΔG -41,52 ккалға тең болды, бұл берілген жағдайда реакцияның жүретіндігін көрсетеді. Реакцияның температурасы $T=1100^\circ\text{C}$ жоғарлауымен (7) Гиббс энергиясының теріс мәні артып, ΔG -41,52 ккал-дан -42,03 ккал шегіне дейін артты. Бұл Гиббс энергиясының теріс мәнінің артуы реакцияның температураның артуы әсерінен жылдамдай түсетіндігін дәлелдейді.

Термодинамикалық есептеу нәтижесінде «HSC Chemistry 6» бағдарламалық базасының негізінде мырыш фосфатты цемент фритт құрамында түзілген минералды фазаның саны 3 кестеде келтірілген.

3 – кесте. Термодинамикалық есептеу нәтижесінде фритт құрамында түзілген минералды фазаның саны

№	Фазаның атауы	Массалық үлесі (%)
1	ZnO (цинцит)	60
2	MgO (периклаз)	8
3	Zn_2SiO_4 (виллемит)	18
4	Mg_2SiO_4 (форстерит)	6
5	ZnAl_2O_4 (ганит)	2
6	Ca_3SiO_5 (үш кальцийлі силикат)	2
7	CaF_2 (флюорит)	0,5
8	Bi-Si-Ca (шыны фаза)	3,5

Кестеде келтірілгендей «HSC Chemistry 6» бағдарлама базасының көмегімен түзілген фазалардың саны толық 100 % құрады. Түзілетін минералдардың негізгі көрсеткіші 92 % дейін жетті, қосымша түзілетін фазалардың саны 4,5 % ал шыны фазаның мөлшері 3,5 % құрады.

Қорытындылай келе, термодинамикалық есептеудің нәтижесінде мырыш фосфатты цемент шихтасының құрамына 1,5 % фосфор шлагын ендіргенде жүретін күрделі физика-химиялық процестердің толық орындалатындығы есептелді. Химиялық реакцияға қатысатын бастапқы заттардың 1000 және 1100 $^\circ\text{C}$ температурада байланысқа түсетіндігі және реакция нәтижесінде түзілетін фазалардың мүмкін екендігі анықталды. Температура $T = 1000$ және 1100 $^\circ\text{C}$ кезінде фритт фазалары реакцияның Гиббс энергиясы теріс диапазонда болатындығы дәлелденді.

Қорытынды. Мырыш фосфатты цементтің фритт түзілу процесін термодинамикалық есептеу нәтижесінде келесідей тұжырымдар жасауға болады:

1. Мырыш фосфатты цемент фриттінің термодинамикалық модельдеуі процестің 1000-1100 °C температурада тұрақты жүретіні анықталды.

2. ΔG теріс мәндері ZnO , MgO , Zn_2SiO_4 , Mg_2SiO_4 , $ZnAl_2O_4$, CaF_2 , Ca_3SiO_5 минералдарының фазалары түзілу реакцияларының жоғары термодинамикалық ықтималдығын көрсетеді.

3. Фосфор шлағын ендірген шихта құрамына CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , F , CaF_2 қоспалары алынған материалдың құрылымына әсер етіп қана қоймай, сонымен қатар, термодинамикалық тиімді реакциялардың жүруіне қатысады.

4. Гиббс энергиясына байланысты 1000-1100 °C температурада (I) және (II) реакция тобында фритт негізгі минералдарының түзілуі келесі қатарда ұсынылатыны анықталды: ZnO – 60 %, MgO – 8 %, Zn_2SiO_4 – 18 %, Mg_2SiO_4 – 6 %, $ZnAl_2O_4$ – 2 %, CaF_2 – 0,5 %, Ca_3SiO_5 – 2 % және $Bi-Si-Ca$ (шыны фаза) – 3,5 %.

Әдебиеттер

Абдуллин А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Алферова Я., Ксенофонов Д., Жакипбаев Б. (2025) Фосфор шлағын қосу арқылы композициялық мырыш фосфатты цементті алу. Композиттер туралы ғылым журналы, — 9(5), — 200. <https://doi.org/10.3390/jcs9050200>

Абдурахманов А.И., Құрбанов О.Р. (2016) Ортопедиялық стоматология. Материалдар мен технологиялар. GEOTAR-Media: Мәскеу, Ресей, — 2016. — 352 б.

Арун К. Кота, Джон В. Николсон, Саманта Э. Бут. (2023) Потенциалды сүйек байланысы үшін мырыш фосфатты цементті биологиялық бағалау қолданулары. Биомедициналар, — 11(2). — 250. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020250>

Гоффманның каталогы. Осы сілтеме бойынша. <https://hoffmann-dental.com/wp-content/uploads/2022/10/Hoffmann-Dental-Katalog-Englisch.pdf>, 01.04.2023 ж.

Колесников А., Федюк Р., Колесникова О., Жаникулов Н., Жакипбаев Б., Кураев Р., Ахметова Е., Шал А. (2022) Цемент клинкерін және мырыш экстракциясын алу үшін байыту қалдықтарын өңдеу. Материалдар, — 15, — 324. <https://doi.org/10.3390/ma15010324>

Леунг Г.К.-Х., Вонг А.В.-И., Чу С.-Х., Ю О.И. (2022) Стоматологиялық лютинг материалдарының жаңартуы. Стоматология журналы, — 10(11). — 208. <https://doi.org/10.3390/dj10110208>

Парк А.С., М.Р. Силсбий Б., Д.М. Рой Б. (1998) Өртүрлі ортофосфор қышқылы цементіндегі мырыш фосфатты цементтің түзілу реакциясы және нәтижесінде түзілетін сұйықтықтар. Цемент және бетон зерттеу, — 28, — 1, — 141-150. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00223-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00223-8)

Паулсон Н.Х., Боклад Б.Ж. Отис Р.А., Лию З., Стан М. (2019) Материалдарды жобалау үшін сандық белгісіздік термодинамикалық модельдеу. Акта Материалдары, — 174. — 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.05.017> (in English)

Роайн А. (2002) Windows жүйесіне арналған Outokumpu HSC Chemistry. Кең термохимиялық деректер базасы бар химиялық реакция және тепе-теңдік. Outokumpu Research ОУ: Порн, Финляндия, — 2002. — 268 б.

Романенко А.А., Щелокова Л.С., Бузов А.А. (2019) Мырыш фосфатты цементті ұнтақтау технологиясы және оның қасиеттері. Химия және химиялық технология жетістіктері, — 4, — 33, — 84-86.

Серена С., Де Ла Рубиа М.А., Кабалеро А.К., Кабалеро Ю.А. (2006) Bi_2O_3 - ZnO жүйесінің бай – Bi_2O_3 аймағын термодинамикалық зерттеу. Испанияның Керамика және Шыны Қоғамының хабаршысы, — 45, — 150-153. <http://hdl.handle.net/10261/4053>

Сударев Е.А. (2021) Мырыш фосфатты тіс цементін алу. 18.03.01 «Химиялық технология» бакалавриат бағдарламасының студенттеріне арналған «Қазіргі заманғы композициялық материалдар» курсы бойынша зертханалық тәжірибелік сабақтар мен студенттердің өзіндік жұмысына арналған әдістемелік нұсқаулықта. ТПУ баспасы: Томск, Ресей, — 2021. — 14 б.

Тамер М. Хамди, Сабри А. Эль-Корашы. (2018) Төмен тітіркендіргіш және микроаттылығы жоғары жаңа биоактивті мырыш фосфатты тіс цементі. Жер бетіндегі ғылым және нанотехнологияның электронды журналы, — 16, — 431-435. <https://doi.org/10.1380/ejsnt.2018.431>

Валынов А.С., Чиркова Н.В., Кравчук Е.В., Морозов А.Н., Деревнина Н.Г. (2023) Салыстырмалы талдау және мырыш фосфатты цементтерді жетілдіру перспективалары. Медицинаның қолданбалы ақпараттық аспектілері. Ғылыми-практикалық журнал, —2, — 26, — 53-58.

References

Abdullin A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potapova E., Alfereva Y., Ksenofontov D., Zhakipbayev B. (2025) Obtaining Composite Zinc Phosphate Cement with the Addition of Phosphoric Slag. Journal of Composites Science, — 9 (5). — 200. <https://doi.org/10.3390/jcs9050200> (in English)

Abdurakhmanov A.I., Kurbanov O.R. (2016) Ortopedicheskaya stomatologiya. Materialy i tekhnologii [Orthopedic dentistry. Materials and technologies]. GEOTAR-Media: Moscow, Russia, — 2016. — 352 p. (in Russian)

Arun K. Kotha, John W. Nicholson, Samantha E. Booth. (2023) Biological Evaluation of zinc phosphate cement for potential bone contact Applications. Biomedicines, — 11(2). — 250 p. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020250> (in English)

Hoffmann's Katalog. On this link. <https://hoffmann-dental.com/wp-content/uploads/2022/10/Hoffmann-Dental-Katalog-Englisch.pdf>, 01.04.2023. (in English)

Kolesnikov A., Fediuk R., Kolesnikova O., Zhanikulov N., Zhakipbayev B., Kuraev R., Akhmetova E., Shal A. (2022) Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. *Materials*, — 15, — 324 p. <https://doi.org/10.3390/ma15010324> (in English)

Leung G.K-H., Wong A.W-Y., Chu C-H., Yu O.Y. (2022) Update on Dental Luting materials. Dentistry journal, — 10(11). — 208 p. <https://doi.org/10.3390/dj10110208> (in English)

Park A.C., M.R Silsbee B., D.M. Roy B. (1998) Setting reaction and resultant structure of zinc phosphate cement in various orthophosphoric acid cement – forming liquids. Cement and concrete research, — 28. — 1. — P. 141-150. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00223-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00223-8) (in English)

Paulson N.H., Bocklund B.J., Otis R.A., Liu Z., Stan M. (2019) Quantified uncertainty thermodynamic modeling for materials design. Acta Materialia, — 174, — P. 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.05.017> (in English)

Roine A. (2002) Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium Software with Extensive Thermochemical Database. Outokumpu Research OY: Pori, Finland, — 2002. — 268 p. (in English)

Romanenko A.A., Shchelokova L.S., Buzov A.A. (2019) Tekhnologiya pomola tsink-fosfatnogo tsementa i yego svoystva [Grinding technology of zinc phosphate cement and its properties]. Advances in chemistry and chemical technology, — 4, — 33, — P. 84-86. (in Russian)

Serena S., De La Rubia M.A., Caballero A.C., Caballero Y.A. (2006) Thermodynamic study of rich – Bi₂O₃ region of the Bi₂O₃-ZnO system. Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio, — 45, — P. 150-153. <http://hdl.handle.net/10261/4053> (in English)

Sudarev E.A. (2021) Obtaining zinc phosphate dental cement. In Methodological Instructions for Laboratory Practical Training and Independent Work of Students on the Course “Modern Composite Materials” for Students of the Bachelor’s Degree Program 18.03.01 Chemical Technology. TPU Publishing House: Tomsk, Russia, — 2021. — 14 p. (in English)

Tamer M. Hamdy, Sabry A. El-Korashy. (2018) Novel Bioactive zinc phosphate dental cement with low irritation and enhanced microhardness. e-Journal of surface science and nanotechnology, — 16, — P. 431-435. <https://doi.org/10.1380/ejsnt.2018.431> (in English)

Valynov A.S., Chirkova N.V., Kravchuk E.V., Morozov A.N., Derevnina N.G. (2023) Sravnitel'nyy analiz i perspektivy sovershenstvovaniya tsink-fosfatnykh tsementov [Comparative analysis and prospects for improving zinc phosphate cements]. Applied information aspects of medicine. Scientific and practical journal, —2, — 26, — 53-58. (in Russian)

Viani A., Perez-Estebanez M., Pollastri S., Gualtieri A.F. (2016) In situ synchrotron powder diffraction study of the setting reaction kinetics of magnesium-potassium phosphate cements. Cement Concrete Research, — 79, — 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.10.007> (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2. Number 463 (2025), 23–38

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.279>

UDC 622-765

©**B.B. Akimbekova, A. Karilkhan, A.A. Zhorabek*, A.A. Amirkhan, 2025.**

Abylkas Saginov Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan.

E-mail: aia86@mail.ru

THE INFLUENCE OF REAGENTS WITH REDOX PROPERTIES ON SELECTIVE FLOTATION

B. Akimbekova — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: akimbekova.b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-1914>;

A. Zhorabek — master of engineering and technology, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: aia86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4309-9720>;

A. Karilkhan — master of engineering and technology, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: aidynguljj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1568-7904>;

A. Amirkhan — Master of Engineering Science, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: argyn-alma@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7553-8775>.

Abstract. The article examines inorganic compounds containing multiple anionic groups. The mutual influence of these anionic groups enhances the depressing effect of reagents during the flotation of sulfide ores. Selective mineral flotation is ensured by the fact that the well-hydrated part of the reagent, containing a functional group, is directed toward the liquid phase of the pulp, reducing the free energy, while the hydrophobizing part of the reagent adsorbs onto the mineral surface. Depending on their properties, ions and molecules of flotation reagents interact with the mineral surface either at the mineral-water interface or at the water interface. The differences in the composition of compounds formed on the mineral surface are due to the varied interaction of reagents with the active center of the mineral surface. Minerals with oxygen-containing compounds on the surface of sulfide minerals are highly hydrated. Organic compounds with multiple reactive groups exhibit strong covalent bonding and participate in complex formation with copper metal cations, depending on the pH value of the pulp. The primary goal of this research is to create conditions for the formation of free elemental sulfur on galena and hydrophilizing oxygen-containing compounds on the surface of copper sulfides. For the study, the following compounds were selected: potassium hexacyanoferrate (III) and

sodium thiosulfate. The degree of mineral hydration was determined using differential thermal analysis and infrared spectroscopy.

Keywords: mineral, pulp, flotation, lead, copper, sulfonic acid, hydrophobic

©Б.Б. Акимбекова, А. Карилхан, А.А. Жорабек*, А. Амирхан, 2025.

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қарағанды, Қазақстан.

E-mail: aia86@mail.ru

ТОТЫҚТЫРҒЫШ-ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ ҚАСИЕТТЕРГЕ ИЕ РЕАГЕНТТЕРДІҢ СЕЛЕКТИВТІ ФЛОТАЦИЯҒА ӘСЕРІ

Б. Акимбекова — Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің химия және химиялық технология кафедрасының доценті, химия ғылымдарының кандидаты, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: akimbekova.b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-1914>;

А. Жорабек — Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің химия және химиялық технология кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: aia86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4309-9720>;

А. Карилхан — Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің химия және химиялық технология кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: aidynguljj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1568-7904>;

А. Амирхан — Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің химия және химиялық технология кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: argyn-alma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7553-8775>.

Аннотация. Бұл мақалада бірнеше аниондық топтардан тұратын бейорганикалық қосылыстар қарастырылады. Осы аниондық топтардың өзара әсері сульфидті минералдардың флотациясы кезінде реагенттердің депрестелу әрекетінің күшеюіне ықпал етеді. Жұмыстың мақсаты молекуладағы бірнеше полярлы топтары бар органикалық және бейорганикалық реагенттердің мыс сульфидті кендердің селективті флотациясына әсерін зерттеу болып табылады. Бағалы компоненттерді максималды өңдеу мен минералды шикізатты кешенді қолдану технологияны дамытудың негізгі жолдары ол: негізгі байыту процестерді қолдану және ең тиімді флотациялық реагенттерді пайдалану болып табылады. Функционалды тобы бар реагенттің жақсы гидратталатын бөлігі пульпаның сұйық фазасы жағына бағытталып, бос энергияның төмендеп, реагенттің гидрофобталатын бөлігі минерал бетінде адсорбцияланып минералдардың селективті флотациясын қамтамасыз етеді. Минералдардың бетіне реагенттердің әсер ету механизмін ескере отырып, сульфоқышқылының гидрофилизациялық қасиеттері зерттелді. Бұл реагенттің байланысу активті топтары – карбоксил және сульфотобы. Флотациялық үрдістеріне қатысатын фазаларының әрекеттесуінің негізгі түрлері – бұл адсорбция және гетерогендік реакциялар. Флотореагенттердің иондары және молекулалары қасиеттеріне қарай, минерал-су шекаралығында минерал бетімен әрекеттеседі, немесе су-ауа шекаралығында жиналады. Бұл

зерттеудің негізгі мақсаты-галада бос элементтік күкірттің түзілуіне және мыс сульфидтерінің бетінде оттегі бар қосылыстардың гидрофильденуіне жағдай жасау. Минерал бетінде түзілген қосылыстардың құрамындағы айырмашылықтары, минерал бетіндегі белсенді орталығы бар, әртүрлі өзара әрекет ететін флотациялық реагенттер арқылы қамтамасыз етіледі. Сульфидті минерал бетіндегі оттекті қосылыстары бар минералдар өте гидратты болып келеді. Бірнеше реактивті топтары бар органикалық қосылыстар үлкен коваленттік байланысқа ие, пульпаның рН мәніне байланысты мыс, қорғасын және мырыш металл катиондарымен кешен құруға қатысады.

Түйін сөздер: минерал, пульпа, флотация, қорғасын, мыс, сульфоқышқыл, гидрофобты

©Б. Акимбекова, А. Карилхан, А.А. Жорабек*, А. Амирхан, 2025.

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Караганда, Казахстан.

E-mail: aia86@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НА СЕЛЕКТИВНУЮ ФЛОТАЦИЮ РЕАГЕНТОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Б. Акимбекова — к.х.н., доцент кафедры химии и химических технологии Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: akimbekova.b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-1914>;

А. Жорабек — ст. преподаватель кафедры химии и химических технологии Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: aia86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4309-9720>.

А. Карилхан — ст. преподаватель кафедры химии и химических технологии Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: aidynguljj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1568-7904>;

А. Амирхан — ст. преподаватель кафедры химии и химических технологии Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: argyn-alma@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-7553-8775>.

Аннотация. В статье рассматриваются неорганические соединения, содержащие несколько анионных групп. Взаимное влияние этих анионных групп способствуют усилению депрессирующего действия реагентов при флотации сульфидных руд. Целью работы является изучение влияния органических и неорганических реагентов с несколькими полярными группами в молекуле на селективную флотацию медно-сульфидных руд. Селективная флотация минералов обеспечивается за счет того, что хорошо гидратируемая часть реагента с функциональной группой направлена в сторону жидкой фазы пульпы и происходит понижение величины свободной энергии, гидрофобизирующая часть реагента адсорбируется на поверхности минерала. С учетом механизма действия реагентов на поверхность минералов изучены гидрофилизующие свойства

сульфоокислоты. Связывающими активными группами этого реагента являются карбоксильная и сульфогруппа. Основными типами фазовых взаимодействий являются адсорбция и гетерогенные реакции. В зависимости от их свойств ионы и молекулы флотореагентов взаимодействуют с поверхностью минералов на границе между минеральной водой или на границе раздела воды. Различия в составе соединений, образующихся на поверхности минерала, обеспечиваются различным взаимодействием реагентов с активным центром поверхности минерала. Минералы с кислородными соединениями на поверхности сульфидных минералов очень гидратированы. Органические соединения с несколькими реакционноспособными группами имеют большую ковалентную связь, участвуют в образовании комплекса с катионами металлов меди, в зависимости от значения pH пульпы. Основная цель научно-исследовательской работы – создание условий для образования свободной элементарной серы на галените и гидрофилизирующих кислородсодержащих соединений на поверхности сульфидов меди. Для исследования взяты следующие соединения: гексацианоферрат калия (III) и тиосульфат натрия. Степень гидратации минералов определяли методами дифференциально-термического анализа и ИК-спектроскопии.

Ключевые слова: минерал, пульпа, флотация, свинец, медь, сульфокислота, гидрофобность

Кіріспе. Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты ол галенитте бос элементтік күкірттің түзілуін қамтамасыз ету үшін жағдай жасау, ал мыс сульфидтерінің бетінде гидрофилизациялайтын оттегі бар қосылыстар түзілуі.

Зерттеуге келесі химиялық қосылыстар алынды: калийдің гексацианоферраты (III) және натрий тиосульфаты. Минералдардың гидратациялану дәрежесі дифференциалды-термиялық анализ әдісімен және ИҚ спектроскопия көмегімен анықталды. Жұмыстың мақсаты молекуладағы бірнеше полярлы топтары бар органикалық және бейорганикалық реагенттердің мыс сульфидті кендердің селективті флотациясына әсерін зерттеу болып табылады. Бағалы компоненттерді максималды өңдеу мен минералды шикізатты кешенді қолдану технологияны дамытудың негізгі жолдары ол: негізгі байыту процестерді қолдану және ең тиімді флотациялық реагенттерді пайдалану болып табылады. Кендерді байыту кезінде байытылған өнімнен зиянды қоспаларды жою мәселесі шешіледі, себебі балқытылатын металдың сапасын төмендетеді. Кенді өңдеу және бағалы компонентті максималды бөліп алу үшін оңтайлы реагентті, технологиялық сызба мен флотациялау режимін таңдау маңызды болып табылады. Кен орны аясында кендер әртүрлі болады және құрамында бірнеше минерал болады. Осыған байланысты екі немесе одан да көп концентрат алу үшін кешенді байыту әдістері қолданады (Akimbekova, et al. 2024, Sherembaeva, et al. 2020).

Пайдалы қазбаларды байытудың кез-келген әдісін өзінің түпкі мақсатымен қолдану кейбір минералдарды басқаларынан бөлуге ие және бөлінетін минералдардың белгілі бір қасиеттеріндегі айырмашылықтарды пайдалануға негізделген. Байытудың флотациялық әдістері минералдардың физика-химиялық

беттік қасиеттеріндегі айырмашылықтарды қолданады (Akimbekova, 2017, Karmazin, et al. 2020). Флотация процесіне қатысатын заттардың жиынтығын флотация жүйесі ретінде анықтай отырып, барлық ұқсас жүйелер гетерогенді, дисперсті, көп фазалы және көп компонентті болып сипатталады. Әр фазаның молекулааралық әсерлесуінің қарқындылығының өлшемі оның полярлығы болып табылады, ол өз кезегінде беттік энергияның Q , диэлектрлік тұрақты, диполь моменті, буланудың жасырын жылуы, молекулалық қысым және басқа да молекулалық қасиеттерімен сипатталады (Akimbekova, et al. 2021). Көп компонентты және полидисперсты қатты фазадан және күрделі құрамды сулы ортадан тұратын флотациялық пульпаға флотореагенттерді енгізу сұйық фазада және фаза аралық беттікте көп тәріздес үрдістердің пайда болуына әкеледі.

Флотациялық пульпаның сұйық фазасымен реттеуші реагенттердің әрекеттесу үрдістері келесіде көрсетілді:

- жаңа қосылыстардың, соның ішіндегі тұнба пайда болатын, коллоидты және жуан дисперлы бөлшектерден өсетін ұрықтардан қиын еритін қосылыстардың пайда болуын келтіретін рудалы пульпаның сұйық фазасының иондық және молекулалық құрамымен, басқа топқа жататын реагенттермен химиялық реакциялар;

- қатты фазаның бетіндегі және ерітінділердегі иондарының алмасу сорбциясы;

- молекулалық комплекстердің бетіндегі молекуларының және иондарының сорбциясымен байланысқан басқа топтағы қиын еритін реагенттерінің мицелла құрауына әсері (Oralova, et al. 2023).

Рудалы суспензияның сулы фазасында еріген қосылыстарымен, соның ішіндегі көп реакцияға қатысатын басқа топқа жататын реагенттермен флотореагенттердің және олардың гидролизімен диссоциациялық өнімдерінің реакциялары жоғарғы қарастырылған үрдістердің ішінен ең маңыздысы болып табылады. Кейбір минералдарды және олардың топтарын активтендіруге немесе депресперлеуге әкелетін көптеген тәріздес үрдістерінің физикалық салдары флотациялық үрдісінің жүруіне маңызды әсерін тигізеді. Ерітінді компоненттерінің күйін және құрамын өзгертуіне келтіретін сұйық фазадағы модификаторлар әсерімен өтетін химиялық реакцияларға жататындар: флотацияның тиімділігін және селективтілігін төмендететін иондарды флотацияға әсерін тигізбейтін иондарға алмасу арқылы жою; сұйық фазада еріген қосылыстардың иондық құрамын және ион-молекулалық қатынастығын өзгерту; тұрақты еритін комплексты қосылыстарды құру (Oralova, et al. 2023).

Мыс сульфидты кендерін байыту кезінде мыс концентратына қорғасын алынады, оның мыс концентратындағы жоғары мөлшері атмосфераны мыс балқыту зауытының шығатын газдарымен ластайды. Осы жұмыста мыс-сульфидті кендерді флотациялау кезінде мыс концентратындағы улы қорғасынның мөлшерін азайту жолдары қарастырылды.

Жезқазған кен орнындағы мыс – сульфидті кендерді байытуда, мыс концентратымен бірге басқа да ілеспелі компоненттер көп мөлшерде алынады. Оның ішінде ең негізгісі қорғасын, мыс концентратының құрамында қорғасынның

көп болуы оның металлургиялық бөлінуін қиындатады, мыстың шлактар құрамында көп мөлшерде жинақталуына ықпал етеді, соңғы өнім-анодты мысты ластайды, ал ең бастысы - мыс қорыту зауыттарынан шығатын түтіннің бөлінуі атмосфераны ластайды. Осыған байланысты құрамында 0,05-0,1% қорғасын бар мыс-сульфитті кендерден жеке өнім ретінде галенитті бөліп алу мақсаты қойылды. Қойылған мақсатқа жету үшін, галениттің мыс-сульфидімен салыстырғандағы табиғи флотациялау артықшылықтары қолданылды. Мұның бір әдісі-органикалық және бейорганикалық қосылыстардың құрылымы, олардың минералдар бетіндегі адсорбциясы және сульфидті минералдардың флотациялық қасиеттері арасындағы байланысты зерттеу.

Егер флотациялауда кеннен бірнеше минералдар бірінен соң бірі жеке бір металды концентрат түрінде алынса, онда процесс селективті флотация деп аталады. Егер кеннен екі не одан көп минералдар бірге флотацияланса онда концентрат көп металды болады да, процесс коллективті флотация, ал алынған концентрат коллективті концентрат деп аталады. Коллективті концентрат әрдайым бір металды концентраттарға бөлінеді. Мұндай жағдайда процесс коллективті-селективті флотация деп аталады. Флотация кезінде қолданылатын реагенттер флотация процесінің жоғары селективтілігін, тұрақтылығы мен тиімділігін қамтамасыз етеді, сонымен қатар байытудың осы әдісін жетілдіруге және күшейтуге үлкен мүмкіндіктер жасайды. Флотациялық реагенттерді қолданбай флотацияның іс жүзінде жүзеге асырылуы мүмкін емес. Флотациялық реагенттердің әсері минералдардың беттік қасиеттерін кең ауқымда өзгертуге мүмкіндік береді.

Флотациялық реагенттерде бірнеше реактивті топтары бар, органикалық қосылыстар үлкен коваленттік байланысқа ие, пульпаның рН мәніне байланысты мыс, қорғасын және мырыш металл катиондарымен кешен құруға қатысады. Молекулада атомдар мен топтар арасында өзара байланыс ықпалы болатындықтан, молекулада бірнеше анион топтарының (OH^- , COO^- , SO_3^{2-}) болуы реагенттердің депрессивтік әрекетін күшейтеді. Электронды тығыздықтың ығысуы нәтижесінде молекулада минералдық беттің катиондарымен реагент арасындағы химиялық байланыс және молекулааралық кешенді қосылыстар түзетін мезомерлі әсер артады (Karilkhan, 2024, Nechaev, et al., 2024). Олардың флотациясын жеңілдететін минералдардың гидрофобтығы немесе соңғысына кедергі келтіретін гидрофильділік-бұл минерал бетінің су, газ фазаларымен әрекеттесуінің өлшемі. Бұл өзара әрекеттесудің нәтижесі минералдың бетінде гидрат қабығының пайда болуы болып табылады, оның қалыңдығы мыңдаған су молекулаларының мөлшеріне сәйкес келеді және 0,1 мкм жетеді.

Гидрат қабықтары су диполдары мен минералды бет арасындағы байланыс энергиясы су диполдары арасындағы байланыс энергиясынан үлкен болған жағдайда пайда болады. Минералдардың электролиттердің сулы ерітінділерімен әрекеттесу процестері ерекше орын алады. Белгілі бір иондардың адсорбциясы олардың валенттілігіне, ылғалдануына және адсорбциялық кешеннің адсорбциясы кезінде түзілетін ерігіштігіне байланысты.

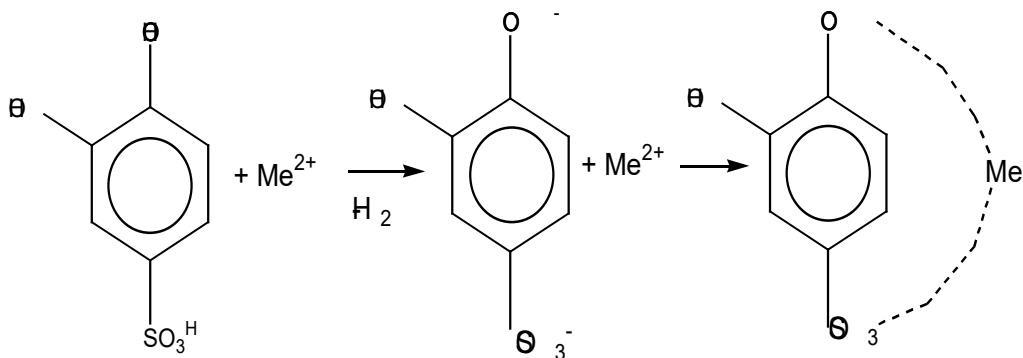
Сутегі иондары сілтілі металл иондарына қарағанда жақсы сіңіріледі. Бейорганикалық моновалентті аниондардан гидроксил иондары жақсы адсорбцияланады.

Судың бұзылуына әкелетін иондар неғұрлым берік гидрат қабаттарын құруы керек, осылайша минерал бетінің гидрофилизациясын күшейтеді.

Минералдардың бетіне реагенттердің әсер ету механизмін ескере отырып, сульфокышқылының гидрофилизациялық қасиеттері зерттелді. Бұл реагенттің байланысу активті топтары - карбоксил және сульфотобы.

– COOH тобы төрт су молекуласын ұстай алады, соның нәтижесінде сутегі байланысы пайда болады, OH^- тобы үш су молекуласын байланыстырады, сондықтан молекулада OH^- тобының болуына байланысты сутегі байланысының пайда болуы мүмкін, яғни мұндай құрылымы бар молекулаларда сульфидті минералдардың сулануын күшейте отырып, минералды бетке бекітудің ең жоғары ықтималдығы бар.

Осындай құрылымы бар қосылыстардың әрекеттесу механизмі келесі түрде өтуі мүмкін (Сурет 1).



Сурет 1 - Сульфокышқылының минералды бет катионымен әрекеттесу механизмі

Гидрофобты молекулалардың бетіндегі гетерополярлы молекулалар мен органикалық иондардың адсорбциясы екі жолмен жүруі мүмкін: фазаларды теңестіру тәртібімен физикалық адсорбция түрінде, бұл фазалық шекараларда бос энергияның төмендеуімен байланысты.

Полярлы жинағыштарды немесе көбіктендіргішті енгізу кезінде функционалды тобы бар жақсы ылғалданған бөлік пульпаның сұйық фазасына бағытталуы керек, бұл бос энергия мөлшерінің төмендеуіне ықпал етеді, ал полярлық ұштар ковалентті байланысы бар және сумен нашар суланған минералға бағытталған. Пульпадағы сұйықтықтардың ең полярлысы - су. Флотация кезінде судың минералдарға әсері әр түрлі және өте маңызды, қазіргі флотация әрдайым сулы ортада, минералды бөлшектердің сумен үнемі байланыста болуымен жүзеге асырылады.

Гетерополярлы қосылыстың бұл бағыты минералдардың селективті флотациясын қамтамасыз ете алады. Флотациялық реагенттердің флотациялық пульпаның сулы ортасымен өзара әрекеттесуі кезінде әртүрлі процестер жүреді,

олардың бірі минералдардың бетінде еритін және жеткілікті тұрақты күрделі қосылыстардың түзілуі болып табылады.

Минералдардың бетінде пайда болған қосылыстардың құрамындағы айырмашылық флотациялық реагенттердің минералды бетіндегі белсенді орталықтармен тең емес әрекеттесуіне байланысты қамтамасыз етіледі. Сульфидті минералдардың бетінде оттегі бар қосылыстары бар минералдар ең гидратталған болады. Бұл мәселені пульпаға селективті әрекет ететін реагент-депрессорларды енгізу арқылы шешуге болады (Akimbekova, et al., 2024, Samojlik, 2023). Беттік қабат құрамында неғұрлым электртерістілігі жоғары атом болса минералдар соғұрлым гидратталады.

Электротерістілік қатары $F > O > N > Cl > Br > S > P$ болатындығы белгілі. Осылайша, галениттің селективті флотациясы кезінде беттік ауданда бос күкірт түзіледі, ал сәйкесінше мыс сульфидінің беттік ауданында оттекті қосылыстар түзіледі. Беткі қосылыстардың айырмашылықтары, реагенттердің белсенді орталықтармен айрықша әрекеттесуімен айқындалады. Бұл зерттеу жұмысындағы бірінші міндет - галенитте бос элементтік күкірттің түзілуін қамтамасыз ету үшін жағдай жасау. Екінші мақсат – реагенттік режимде мыс сульфидінің беттік ауданында оттекті қосылыстардың түзілуін қамтамасыз ету болып табылады. Екінші міндет әртүрлі тәсілдермен шешілуі мүмкін: элементтік күкірттің сульфооксидтік қосылысқа дейін тотығуы. Экологтар және экономистердің көзқарастары бойынша, номенклатураның қысқаруы және реагенттердің шығыны, су айналымын қайта өңдеу және ағызынды сулардың тазалануы үшін алғашқы үш әдістер қолайлы деп табылды. Сонымен қатар, тікелей селективті флотация жүру барысында депрессорлар минералдарға уақытша басым әсерін тигізеді.

Осы топтың реагенттерінің негізгі мақсаты жақын флотациялық қасиеттері бар минералдарды бөлу кезінде флотацияның селективтілігін арттыру болып табылады (Akimbekova et al. 2024). Флотациялық реагенттердің пульпаның сулы ортасымен әрекеттесуі кезінде әртүрлі процесстер орын алады, оның бірі минерал бетінде еритін және жеткілікті дәрежедегі тұрақты кешенді қосылыстардың түзілуі. Минерал бетінде түзілген қосылыстардың құрамындағы айырмашылықтары, минерал бетіндегі белсенді орталығы бар, әртүрлі өзара әрекет ететін флотациялық реагенттер арқылы қамтамасыз етіледі. Сульфидті минерал бетіндегі оттекті қосылыстары бар минералдар өте гидратты болып келеді. Флотациялық үрдістеріне қатысатын фазаларының әрекеттесуінің негізгі түрлері – бұл адсорбция және гетерогендік реакциялар. Флотореагенттердің иондары және молекулалары қасиеттеріне қарай, не минерал-су шекаралығында минерал бетімен әрекеттеседі, немесе су-ауа шекаралығында жиналады. Химиялық бөлшектердің фазалар шекаралығында жиналуы адсорбция деп аталынады. Адсорбция екі түрге бөлінеді: химиялық және физикалық.

Физикалық және химиялық адсорбцияның ортақ ерекшелігі - бұл екеуі де жүйенің бос энергиясының төмендеуімен бірге жүретін процесстер. Физикалық адсорбция мен химияның айырмашылығы:

- физикалық адсорбция кезінде адсорбцияланған зат пен адсорбенттің кристалды торын екі тәуелсіз жүйе ретінде ұсыну керек;
- химиялық жағдайда - адсорбцияланған зат және кристалл тор энергетикалық тұрғыдан біртұтас ретінде қарастырылуы керек (Kozin, 2011).

Химиялық адсорбция кезінде реагенттің кристалдық торға бекітілуі және олардың арасындағы байланыс электрондардың адсорбцияланған атомнан торға ауысуына байланысты. Физикалық адсорбция кезінде кристалл тормен байланыс молекулааралық тарту күштерімен (Ван дер Ваальс күштері) жүзеге асырылады. Хемосорбция айқын мономолекулалық сипатқа ие. Ол оның бетінде бар минералдың бос байланыстарының қанықтылығына байланысты сіңірілетін реагенттің қосылуынан тұрады. Хемосорбция нәтижесінде пайда болған беттік қосылыстар олар пайда болған қатты фазамен бірге ғана болады. Гетерогенды химиялық реакция. Химиялық өзара әрекеттесу процесінің дамуы, оның минералдың бетінен көлемге ауысуы, көп жағдайда өте тез жүреді, хемосорбцияны гетерогенді химиялық реакцияға айналдырады, ол минералмен әрекеттесетін реагенттің түріне қарамастан, қазірдің өзінде көлемді болуы керек. Гетерогенді химиялық реакция нәтижесінде тәуелсіз фазаны құрайтын және минералдың бетінде мозаикалық түрде орналасқан жаңадан пайда болған химиялық қосылыстармен ұсынылған көп қабатты жабындар пайда болады. Минералдардың флотациялық реагенттермен өзара әрекеттесуі үшін ерекше адсорбция кезінде адсорбцияланатын иондар минералдың кристалдық торына тікелей еніп, оның беткі қабатының құрамын өзгерте алады.

Материалдар мен әдістер. Жезқазған кен орнындағы галениттің селективті флотациясы кезіндегі қиындық тудыратын факторлар үш мысты минералдар (халькозин, борнит, халькопирит) болып табылады. Осыны ескере галенит флотациясының тотықтырғыш-тотықсыздандырғыш қасиетіне ие екі басқыштары - натрий тиосульфаты және қызыл қан тұзының қолданылуы нәтижелері ұсынылған.

Галениттің селективті флотациясы оның бетінде гидрофобты элементтік күкірт пайда болған жағдайда жүреді, ал мыс сульфидтерінің бетінде гидрофилизациялайтын оттегі бар қосылыстар басым болады.

Сульфидтердің тотығуының бір белгісі – олардың ерітінді күйге ауысуы. Еру беріктігі бойынша минералдарды келесі қатарға түзу болады:

пирит > галенит > халькопирит > сфалерит.

Кристалдық торының энергиясы жоғары болған сайын минерал баяу ериді.

Сульфид иондарының келесі реттікпен тотығады:



Л.А. Глазуновтың пікірі бойынша, сульфид иондары элементты күкірге дейін тотыққаны флотацияның өтуіне әсер етеді.

Жезқазған кен орнындағы құрамында 0,05 – 0,07% қорғасын бар мыс-сульфидті жерасты кендеріне зертханалық зерттеулер жүргізілді.

Кеннің байытымдылығын зерттеуде флотациялық реагенттердің әсерін анықтау үшін және теориялық зерттеулерде табиғатты таза минералдардың және олардың қоспаларының флотациясын анықтау қажет болуы мүмкін. Таза минералды заттарды флотациялық тәжірибелерде 0,5-тен 25 г-ға дейін өлшендіні қолдануға болады. Кеннің флотациясына қарағанда, минералдардың флотациясын зерттеу тәжірибені сұйығырақ пульпада өткізеді, бұл өлшендінін аздаған массасын қолдануға мүмкіндік береді. Берілген минералдың рудадағы құрамына байланысты сұйықтың қаттыға қатынасын тәжірибеде алуға болады. Тәжірибелер механикалық шығыстар барлық операцияларда жойылып кететіндей қойылу керек. Көпіршікті фарфор ыдысқа жинау керек. Тұндырғаннан соң артық суды төгеді, ал қаттыны байқап кішірек шыны құйғыда өлшенген сүзгішке салады. Қалдығы бар сүзгішті кептіреді және өлшейді. Көпіршікті өнім массасын қалдығы бар сүзгіш массасы мен таза сүзгіш массасының айырмасынан табады. Таза минералдармен тәжірибесінде сараптамалар жасалмайды, минералдың бөліп алу өлшемін көпіршіктің және бастапқы өнімдердің массалары арқылы санайды.

Флотациялық тәжірибелерге таза минералдар дайындау үшін негізінен таңдап алынған таза минералдардың үлгілерін ұнтақтағышта ұсатылады немесе фарфор диірменде жабық циклде елеуішпен, мысалы -0,2 немесе -0,15 мм-ге дейін, содан кейін сынаманы тұндырып шламсыздайды. Дәнді материалды жұқа қабатпен көлбеу жазықтыққа қойылған сүзгіш қағаздың парағына жинайды, оның үстінен басқа сүзгіш қағаздың парағын шаңнан қорғау үшін жабады, одан су сорғып кетеді, сонда 1 күн ішінде кебеді және ол ұсақ себілетін болады. Кепкен материалды елеуіште ірілік кластарға елейді. Кептірілген кластарды тығындары бар колбаларға салады. Дайындау процессінде және сақтау барысында ыдыста болған минералдар химиялық өзгеріске түспейді, елегеннен соң тәжірибелерге келесі ешқандай өңдеусіз қолданады. Сульфидтік минералдар, әсіресе беті сумен суланған өте тез қышқылданады.

Флотацияның нәтижесінде ұқсастығы және табиғи қоспаларының жоқтығын түсіндіру үшін келесі себептерді қарастыру қажет:

- кеннің флотациясымен салыстырғанда, таза минералдарды флотациялағанда пульпаның сұйық фазасының иондық құрамы басқа;
- қатты массаның бірлігіне реагенттердің шығыны әр түрлі.

Сұйық пульпада таза минералдардың флотация қасиеттерін зерттегенде реагенттердің шығынын кішкене көбірек алуға тура келеді. Таза минералдарды зерттеуге дайындағанда руданы фабрикада дайындалатын тәсілдерді пайдалану керек, яғни сулы ортада ұнтақтау және ірілік кластарда үлкендігіне қарау классификациясыз флотацияны жүргізу. Зерттеу алынған сынаманың салмағы 200 мг, ұнтақтау ірілігі -0,074 мм болды. Пульпаның сілтілік реттегіші ретінде сода пайдаланды. Әр минералдың бетін тиісті басқыш реагенттің 1%-дық ерітіндісімен бір минут бойы өңделді және флотация Халимонда түтікшесінде жүргізілді. Сульфидті минералдардың селективті флотациясы жинағышсыз

галениттің табиғи флотациялануына және беттік қосылыстарының құрамын реттеуге негізделген.

Спектрофотометриялық талдау әдісімен, натрий тиосульфатымен өндегенен кейін галенит пен халькозин бетіндегі элементтік күкірт мөлшері анықталды. Гексан сығындысының сіңіру спектрі 330 нм толқын ұзындығындағы спектрофотометрде өлшенді. Спектрофотометриялық өлшеудің нақты дәлділігі, қолданылатын зат құрылымына және зат концентрациясына т.б. тәуелді. Оптикалық тығыздықтың орташа деңгейі 0,2-0,8 бірлік шамалары аралығында жатады. Оптикалық тығыздық өте жоғары, не төменгі мәнде болғанда қателік проценті артады. Үлкен ұзындықтағы кюветаларды қолданғанда, анықтаудағы салыстырмалы қателік төмендейді. Яғни, зерттелетін зат қабатының қалыңдығы артады. Галенит бетінің және халькозиннің гидратация дәрежесін дифференциалды термиялық және термогравиметриялық талдаумен әдісімен анықталды. Дифференциалды-термикалық талдау осы өзгерістермен бірге жүретін жылу әсерінен қыздыру немесе салқындату кезінде затта болатын фазалық түрленулер мен химиялық реакцияларды анықтауға және зерттеуге мүмкіндік береді. Әдіс химиялық құрамы мен құрылымына байланысты заттың маңызды қасиеттеріне негізделген, ол қызған немесе салқындаған кезде заттың жылу өзгеруінде көрінеді.

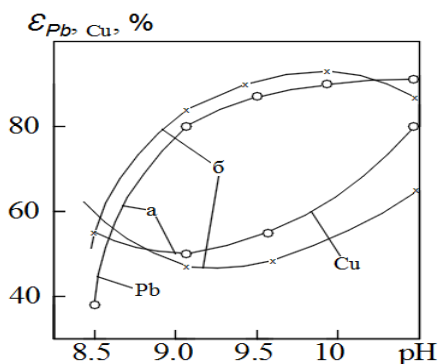
Затты зерттеу кезінде дифференциалды термиялық талдау әдісімен қатар термогравиметриялық талдау әдісі қолданылды. Термогравиметриялық талдау-берілген жылдамдықтан сынаманы қыздыру немесе салқындату температурасына немесе уақытына байланысты үлгі массасының өзгеруін тіркеуге мүмкіндік беретін әдіс. Заттың массасы үздіксіз қызған кезде жылу өлшегіштермен өлшенеді. Бұл әдістің мақсаты эндоэффектік температураның басталуын t_6 өлшеу, десорбция жылудың Q_d және адсорбцияланған ылғал үлесін жалпы ылғалдылықтан «п» анықтау.

Халькозиннің және борниттің гидрофилизациясы мыстың беттік ауданыдағы гидрофильді бөліктердегі оттекті қосылыстардың көп мөлшерлі болуы, тиосульфатты комплекстерінің түзілуімен байланысты болуы мүмкін.

Қызыл қан тұзы сілтілік ортада тотықтырғыштық және басқыш қасиетті көрсетеді, сульфидтерді және мыстың бір валентті иондарын тотықтырып, екінші сатыда мыс катионымен бірге нашар еритін ферро- және феррицианистік комплекстер түзеді.

Галенит және мысты минералдарға натрий тиосульфатының және калий феррицианидінің әсерлері туралы гипотезасы минералдардың беттік ауданындағы элементтік күкірттің экстракциялы-спектрофотометриялды анықталуы нәтижесінде және дифференциалды-термиялық талдау әдісі арқылы минералдардың бетіндегі гидратация дәрежелерінің анықталуымен дәлелденеді.

Нәтижелер мен талқылаулар. Натрий тиосульфаты мен соданың тиімді шығыны, қорғасын мен мыстың концентраты рН 9,2 кезінде және натрий тиосульфатының шығыны 200 г/т болғандағы қорғасын мен мыстың максималды алыну айырмашылығында анықталды. Тазалау флотация үрдісіне натрий тиосульфатының қосылуы селективті флотацияны арттыруға мүмкіндік бермейді.



а) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ – 100 г/т; б) 200 г/т

Сурет 2 - Қорғасын мен мыстың алуына пульпаның pH көрсеткіші мен натрий тиосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ шығынының әсері

Халькозин мен галенитті алу максималды айырмашылығы, пульпаның көрсеткіші pH 9,5 тең және зерттелетін флотореагенттер шығыны 200 г/т болғанда орнатылды (Сурет 2).

Халькозиннің табиғи флотациясы қызыл қан тұзымен басылады және pH 9,2 кезінде қышқыл қосу қажет болмайды. Пульпаның орта көрсеткіші pH=9,2 тиімді мәнінде және негізгі флотация кезінде натрий тиосульфатының 200 г/т шығынында, сонымен қатар екінші ретті тазалауда феррицианидтің 5 г/т шығынында, 0,1% концентраттың шығымында 52% Pb және 4,3% Cu өніммен тұратын қорғасынның аралық маркалы қорғасынды өнім шығарылады. Натрий тиосульфатының әсер ету механизмі галениттің беттік ауданында элементтік күкірттің тотығуының баяулауы, молекулалық тотығу-тотықсыздану нәтижесінде бос күкірттің түзілуі дәлелденді. Халькозин бетіндегі натрий тиосульфатының әсер ету механизмі тиосульфатты мыс кешендерін қалыптастыру нәтижесінде оттегі құрамды гидрофилді аймақтарды арттыру болып табылады. Натрий тиосульфаты галенит бетімен өзара әрекеттесіп, қарапайым күкірттің тотығуын бәсеңдетеді және оның молекулалық тотығу нәтижесінде элементті күкірт түзеді (Aimakov, 2018, Ardashnikova, et al., 2023). Сульфидті минералдар бетінде пайда болған элементті күкірт оның гидрофобтығын жақсартуға ықпал етеді.

Спектрофотометриялық талдау нәтижелері галенит пен халькозин беті натрий тиосульфатымен өңделгенде, галениттегі сіңірілген күкірттің мөлшері 2,5 есе өскенін және халькозинде екі есе азайғанын көрсетті, бұл халькозин бетінің гидрофилденуіне ықпал етеді. Бұл нәтижелер халькозин флотациясының бұзылуына байланысты (Кесте 1). Сульфосалицил қышқылы депрессорларының, натрий ализаринсуль фонатының және натрий тиосульфатының халькозинге, галенитке әсерін зерттеу бойынша зерттеулер флотациясыз аппаратта жүргізілді (Fazylov, et al. 2014).

Галенит пен мыс сульфидінің флотациясы арасындағы байланыс олардың бетіндегі күкірттің құрамымен, молекула мен судың термиялық десорбциясымен, сондай-ақ эндоэффектінің бастапқы температурасымен анықталады.

Кесте 1 - Сульфидті минералдардың беттік ауданындағы сорбцияланған күкірттің мөлшерін спектрофотометриялық әдіспен анықтау нәтижелері

Минерал	Минералдардың беттік ауданындағы күкірттің мөлшері		
	Өңдеусіз	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ мен өңдеуден кейін	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ мен өңдеуден кейін
Галенит	3,15	6,40	8,83
Халькозин	3,0	1,3	1,60
Халькопирит	1,55	1,80	4,5
Борнит	6,83	4,80	2,79

Эндоэффект температурасының төмендеуімен беткі гидрофобтылық жоғарылайды, өйткені төменгі температурада сутегі байланысы әлсіреген адсорбцияланған ылғал булана бастайды (Кесте 2).

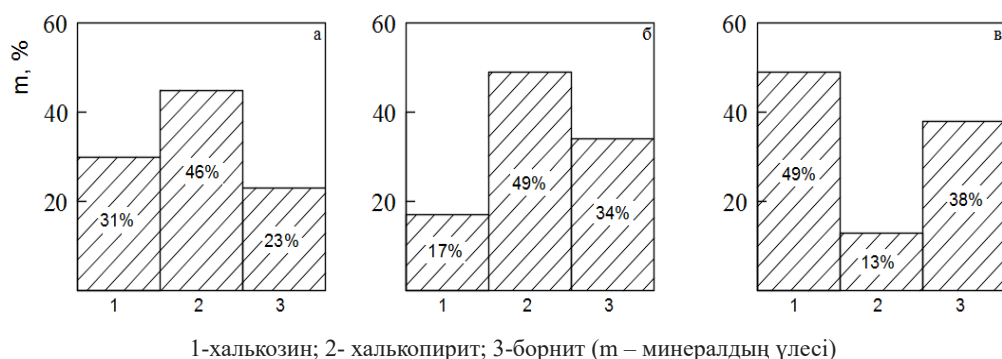
Сульфидті минералдардың беттік ауданындағы гидратациялану дәрежесін анықтау үшін термогравиметриялық талдаумен бірге дифференциалды термиялық талдау қолданылды. Дифференциалды-термиялық талдау қисықтары минералдарды 100-110°C температурада сумен қыздырғандағы физикалық десорбция кезінде туындаған эндотермиялық шекті нүктеге ие болады.

Кестелік деректерді талдау көрсеткендей, минералдардың бетін натрий тиосульфатымен өңдеу кезінде галенит бетінің гидрофобтығы халькозинмен салыстырғанда артады. Бұл галенит бетіндегі ылғал физикалық түрде адсорбцияланғанын және сутегі байланысының энергиясы шамалы екенін көрсетеді.

Кесте 2 - Дифференциалды термиялық анализ нәтижесі және сульфидті минералдардың термогравиметриясы нәтижелері

Минерал	Реагент	t, °C	n, %	Q _d , бір. ш.
Галенит	H ₂ O	48	6,44	5,77
Халькозин	H ₂ O	60	10,12	10,96
Борнит	H ₂ O	45	6,67	8,48
Халькопирит	H ₂ O	46	8,33	9,20
Галенит	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	28	2,10	4,15
Халькозин	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	63	11,2	11,83
Борнит	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	54	7,03	10,14
Халькопирит	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	31	2,99	7,46
Галенит	$\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	32	2,00	4,29
Халькозин	$\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	72	5,86	8,88
Борнит	$\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	58	5,06	7,13
Халькопирит	$\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	34	2,77	5,65

Концентраттардың минералогиялық талдауы нәтижесінде тиосульфат екіншілік мысты (халькозин, борнит) минералдарды басады, ал борнит оған қарағанда бірнеше есе көп (Сурет 3,а), ал қызыл қан тұзы тек халькозинді басатындығы анықталды (Сурет 3,б). Халькопирит бұл басқыштармен депрестенбейді.



Сурет 3 – Кенмен (в) салыстарғанда концентранттағы мыс минералдары өзгерістерінің қатынасы (а, б)

Қорытынды. Осы ғылыми-зерттеу жұмыста монометалды мыс-сульфидты кендерінен галениттің селективті флотация шарттары қарастырылады. Галениттің селективті флотациясы оның құрамында гидрофобты күкірт пайда болған жағдайда жүреді және мыс сульфидінің бетінде оттегі құрамды қосылыстардың сулануы (гидрофильды) басым болады.

Галенит және мыс сульфидтерінің бетіндегі қосылыстардың құрамында айырмашылықтарды білу үшін екі басқыш реагентердің әсері зерттелді: натрий тиосульфаты ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$) және қызыл қан тұзы $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Халькозин бетінде натрий тиосульфатының әсер ету механизмі тиосульфатты мыс кешендерін қалыптастыру нәтижесінде оттегі бар гидрофильді аймақтарды арттыру болып табылады. Натрий тиосульфаты, галенит бетіндегі әсерлесу кезінде, бос күйіндегі күкірттің тотығуын бәсеңдетеді және молекулалық тотығу-тотықсыздану нәтижесінде оның бетінде гидрофобтылығын артыратын бос күйіндегі күкірттің түзілуіне әкеледі. ИҚ спектроскопия нәтижелері галенит және мыс минералдарының бетіндегі бос күкірттің болуы, дифференциалды термиялық талдау арқылы минералдардың гидратация дәрежесі анықталды.

Сонымен, алынған нәтижелер натрий тиосульфаты мен калий ферроцианиды қатысында галениттің селективті флотациясының артатынын, ал борнит пен халькозиннің табиғи флотациясының төмендеуін көрсетеді. Галенит және мыс сульфидінің флотациясы арасындағы корреляция, олардың беттік аудандарындағы күкірттің мөлшерімен, молекуланың және судың жылу десорбциясымен, сонымен қатар эндоэффектінің бастапқы температурасымен анықталады.

Әдебиеттер

- Акимбекова Б.Б., Омарова Н.К., Шерембаева Р.Т. (2024) Флотациялық реагент және олардың қолданылуы. Қарағанды, ҚарТУ. — 94 б. ISBN 978-601-355-270-5.
- Авдохин В.М. (2020) Пайдалы қазбаларды байыту негіздері. Т.1—2. МГТУ. — 417 б.
- Акимбекова Б.Б., Қайырбайева М.Ж., Амирхан А.А. (2021) Минералдардың ерігіштігін зерттеу. Қарағанды. ҚарМТУ басылымы. — 93 б.
- Акимбекова Б.Б., Қайырбайева М.Ж., Амирхан А.А. (2020) байытуға арналған пайдалы қазбаларды зерттеу. Қарағанды. ҚарМТУ басылымы. — 92 б. ISBN 978-601-320-183-2.

- Аймаков О.А., (2018) Химияның теориялық негіздері: Алматы: Бастау. — 231 б.
- Ардашникова Елена Иосифовна, Алексеевич Алешин Валерий, (2023) Бейорганикалық химия. Практикум, «Білім зертханасы» баспасы. — 480 б.
- Гагарин С.Г., Гладун Т.Г. Қоңыр көмірдің органикалық массасының түзілу энтальпиясын бағалау. Химия твёрдого топлива. — 2002. — № 5. — С. 11 – 21.
- Грядунов И.В. (2014) Физико-химиялық зерттеу әдістері. М.: Jeksmo. — 410 б.
- Карилхан А. (2024) Табиғи қосылыстар химиясы. Қарағанды: Әбілқас Сағынов Атындағы ҚарТУ Баспасы. — 88 б.
- Кармазин В.И., Младецкий И.К., Пилов П.И. (2020) Пайдалы қазбаларды байытудың технологиялық көрсеткіштерін есептеу. М.: Недра, — 221 б.
- Нечаев А. П., Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н. (2024) Органикалық химия. "Лан" Баспасы. ISBN 978-5-507-48181-1. — 700 б.
- Көшербаев К.Т. (2013) Флотациялық байыту әдістері. Алматы. Дәуір. — 264 б.
- Козин В.З. (2011) Байытуға арналған кендерді зерттеу. Оқу құралы. Екатеринбург. — 90 б.
- Кулажанов К.С., Сулейменова М.Ш., Хамзина Ж.Б. (2015) Бейорганикалық химияның негіздері. Алматы: Экономика. — 568 б.
- Оралова А.Т., Жорабек А.А. (2023) Аналитикалық химия. оқу құралы, Қарағанды: Әбілқас Сағынов ҚарТУ. — 71 б.
- Самойлик В.Г. (2023) Байытуға арналған пайдалы қазбаларды зерттеу. Оқу құралы. Москва, Вологда, Инфра-Инженерия. — 196 б.
- Тюкавкина Н.А. (2008) Органикалық химия. Б 2 кн. М.: Кітап 1. — 640 Б.; Кітап 2, — 592 б.
- Фазылов С.Д., Мулдахметов М.З., Свидерский А.К., Жакыпова Д.Н. (2014) Органикалық қосылыстың құрылымын зерттеудің физика-химиялық әдістері. Павлодар. — 166 б.
- Шерембаева Р.Т., Омарова Н.К., Рахимбекова А.Б. (2020) Пайдалы қазбаларды байыту негіздері. Қарағанды. ҚарМТУ басылымы. — 40 б.

References

- Akimbekova B.B., Omarova N.K., Sherembaeva R.T. (2024) Flotacijalyk reagentter zhane olardyn koldanylyu [Flotation reagent and their use]. Karagandy, KarTU. — 94 b. ISBN 978-601-355-270-5. (in Kazakh)
- Avdohin V. M. (2020) Osnovy obogashheniya poleznyh iskopaemyh [Basics of enrichment of useful casbas]. — T.1—2. MGGU — 417 p. (in Russian)
- Akimbekova B.B., Kaiyrbayeva M.Zh., Amirkhan A.A. (2021) Studying minerals for dressability. Educational edition. Karaganda:KTU. Publ. House. 93 p. (in English)
- Akimbekova B.B., Kaiyrbaeva M.Zh., Amirhan A.A. (2020) Issledovanie poleznyh iskopaemyh na obogatimost [Mineral solubility study]. Karaganda, KarGTU, 92 p. ISBN 978-601-320-183-2. (in Russian)
- Aimakov O.A., (2018) Himianyn teorialyk negizderi [Theoretical foundations of chemistry]: Almaty: Bastau. — 231 p. (in Kazakh)
- Ardashnikova Elena Isosifovna, Alekseevich Aleshin Valerij, (2023) Neorganicheskaja himija [Inorganic chemistry]. Praktikum, Izdatel'stvo «Laboratorija znaniy». — 480 p. (in Russian)
- Gagarin S.G., Gladun T.G. Оценка энтальпии образования органической массы бурых углей [Estimation of the enthalpy of formation of the organic mass of brown coals]. Solid Fuel Chemistry. — 2002. — № 5. — P. 11 – 21. (in Russian)
- Grjadunov I.V. (2014) Fiziko-himicheskie metody issledovaniya [Physico-chemical research methods]. M.: Jeksmo. — 410 p. (in Russian)
- Karilkhan A. (2024) Chemistry of natural compounds – Karaganda: Abilkas Sagynov KTU Publishing House,. — 88 p. (in English)
- Karmazin V.I., Mladeckij I.K., Pilov P.I. (2020) Raschety tehnologicheskikh pokazatelej obogashheniya poleznyh iskopaemyh [Calculation of technological indicators of mineral enrichment] M.: Nedra. 221 p. (in Russian)
- Nechaev A. P., Bolotov V. M., Komarova E. V., Savvin P. N. (2024) Organicheskaja himija [Organic chemistry]. Izdatel'stvo "Lan" ISBN 978-5-507-48181-1, 700s (in Russian)

Kosherbaev K. T. (2013) Flotacijalyk bajytu adisteri [Flotation enrichment methods]. Almaty. Dauir. — 264 b. (in Kazakh)

Kozin V.Z. (2011) Issledovanie rud na obogatimost' [Study of ores for enrichment]. Ucheb.posobie. Ekaterinburg. — 90 p. (in Russian)

Kulazhanov K.S., Syleimenova M.Sh., Hamzina Zh.B. (2015) Beiorganikalyk himiianyn negizderi [Fundamentals of inorganic chemistry]. Almaty: Jekonomika. — 568 p. (in Kazakh)

Oralova A.T., Zhorabek A.A. (2023) Analitikalyk himia [Analytical chemistry]. oku kuraly, Karaganda: Abilkas Sagynov KTU. — 71 p. (in Kazakh)

Samojlik V.G. (2023) Issledovanie poleznyh iskopaemyh na obogatimost' [Study of minerals for enrichment]. Uchebnoe posobie. Moskva, Vologda, Infra –Inzhenerija, — 196 s. (in Russian)

Tyukavkina N.A. (2008) Organic chemistry [Organic chemistry]. B 2 kn. M.: Book 1. — 640 p.; Book 2. — 592 p. (in Russian)

Fazylov S.D., Muldahmetov M.Z., Sviderskij A.K., Zhakupova D.N. (2014) Fiziko-himicheskie metody issledovanija struktury organicheskikh soedinenij [Physico-chemical methods for studying the structure of an organic compound]. Pavlodar. — 166 p. (in Russian)

Sherembaeva R.T., Omarova N.K., Rahimbekova A.B. (2020) Pajdaly kazbalardy bajytu negizderi [Basics of enrichment of useful casbas]. Karagandy. KarMTU baspasy. — 40 p. (in Kazakh)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 463 (2025), 39–56

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.280>

UDC 31.21.27

©S. Bayazit¹*, A. Zazybin¹, Murat Aydemir², 2025.

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan;

²Dicle Universit, Diyarbakir, Turkey.

*E-mail: bayazitsarah@gmail.com

SYNTHESIS AND PHARMACOLOGY OF KAZCAINE AND OTHER 4-ETHYNYL PIPERIDINE DERIVATIVES: A REVIEW

Sarah Bayazit — PhD student, researcher of Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: bayazitsarah@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8623-098X>;

Alexey Georgiyevich Zazybin — PhD, Professor of Kazakh-British Technical University, Almaty,
Kazakhstan,

E-mail: azazybin@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-6244-9327>.

Murat Aydemir — PhD, Professor of Dicle Universit, Diyarbakir, Turkey,

E-mail: aydemir@dicle.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4238-5012>.

Abstract. Piperidine derivatives represent a structurally diverse and pharmacologically significant class of nitrogen-containing heterocycles with broad application in medicinal chemistry. This review provides an analysis of recent advances in the synthesis of piperidine-based compounds, with a particular focus on two major approaches: hydrogenation of heterocyclic precursors and intramolecular cyclization strategies. The hydrogenation pathway includes catalytic methods utilizing metal complexes such as Rh, Pd, and Ru, as well as organocatalytic approaches, enabling high stereoselectivity and enantiomeric purity. Intramolecular cyclization is explored across multiple substrate classes, including alkenes, alkynes, and dienes, under the influence of (Pd), gold (Au), iron (Fe), nickel (Ni), and samarium (Sm) catalysts. Notable reactions such as oxidative amination, hydroalkenylation, and cycloisomerization demonstrate the versatility of modern cyclization techniques in building complex piperidine frameworks. Additionally, case studies on novel compounds such as Kazcaine (1-(2-ethoxyethyl)-4-ethynyl-4-benzoyloxypiperidine hydrochloride) emphasize the therapeutic potential and synthetic accessibility of functionally rich piperidine analogues. Due to its defined pharmacophore and ease of functionalization, Kazcaine serves as a valuable template for designing analogues with improved pharmacokinetic or pharmacodynamic profiles. It also provides a platform for testing synthetic methods, such as selective alkylation and acylation. This review highlights the latest key achievements and methodological innovations that facilitate the efficient synthesis of nitrogen-containing heterocyclic

molecules with potential biological activity and emphasizes the importance of implementing modern synthetic approaches grounded in the principles of green chemistry.

Keywords: kazcaine, piperidines, piperidinones, biological activity, pharmacological activity

***Acknowledgment, funding:** this review was funded by The Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant number AP19676539.*

©С. Баязит^{1*}, А. Зазыбин¹, Мурат Айдемир², 2025.

¹Қазақ-Британ Техникалық Университеті, Алматы, Қазақстан;

²Диджле Университеті, Диарбакыр, Түркия.

*E-mail: bayazitsarah@gmail.com

ҚАЗКАИН ЖӘНЕ БАСҚА ДА 4-ЭТИНИЛПИПЕРИДИН ТУЫНДЫЛАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ МЕН ФАРМАКОЛОГИЯСЫ: ШОЛУ МАҚАЛАСЫ

Сара Баязит — PhD докторанты, ғылыми қызметкер, Қазақ-Британ Техникалық Университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: bayazitsarah@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8623-098X>;

Алексей Георгиевич Зазыбин — PhD, Қазақ-Британ Техникалық Университетінің профессоры, Алматы, Қазақстан,

E-mail: azazybin@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-6244-9327>;

Мурат Айдемир — PhD, Диджле Университетінің профессоры, Диарбакыр, Түркия,

E-mail: aydemir@dicle.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4238-5012>.

Аннотация. Пиперидин туындылары құрылымы әртүрлі және фармакологиялық тұрғыдан маңызды азотты гетероциклдер класына жатады және медициналық химияда кеңінен қолданылады. Бұл шолуда пиперидин негізіндегі қосылыстарды синтездеу саласындағы соңғы жетістіктерге талдау жасалып, екі негізгі бағытқа – гетероциклді прекурсорларды гидрлеу және молекулаішілік циклдену стратегияларына – ерекше назар аударылады. Гидрлеу бағытына родий (Rh), палладий (Pd) және рутений (Ru) секілді металл кешендерін қолданатын каталитикалық әдістер, сондай-ақ жоғары стереоселективтілік пен энантиомерлік тазалықты қамтамасыз ететін органокаталитикалық тәсілдер жатады. Молекулаішілік циклдену алкендер, алкиндер және диендер сияқты әртүрлі субстраттар үшін палладий (Pd), алтын (Au), темір (Fe), никель (Ni) және самарий (Sm) катализаторларының қатысуымен зерттеледі. Тотығу арқылы аминирлеу, гидроалкениляция және циклоизомеризация сияқты реакциялар күрделі пиперидин құрылымдарын құруда қазіргі заманғы циклдену әдістерінің әмбебаптығын көрсетеді. Сонымен қатар, жаңа қосылыстардың, соның ішінде айқын анестезиялық және кардиопротекторлық белсенділікке ие Казкаиннің (1-(2-Этоксипропил)-4-этинил-4-бензоилокси-пиперидин гидрохлориді) синтезі мысал ретінде келтіріліп, функционалдық топтарға бай пиперидин аналогтарының терапевтік әлеуеті мен синтетикалық қолжетімділігін айқындайды. Фармакофорлық құрылымының

айқындығы мен функционализацияға бейімділігінің арқасында Казкаин фармакокинетикалық және фармакодинамикалық қасиеттері жақсартылған аналогтарды әзірлеуге арналған құнды модель болып табылады. Сондай-ақ ол селективті алкилрлеу мен ацилрлеу сияқты синтетикалық әдістерді сынауға арналған платформа ретінде қызмет етеді. Асимметриялық катализді, лигандтық басқаруды, радикалды немесе фотохимиялық активацияны біріктіру синтетикалық әдістер арсеналын кеңейтіп, пиперидин туындыларын фармацевтикалық әзірлеуге қолжетімдірек етеді. Бұл шолу биологиялық белсенділігі бар азотты гетероциклді молекулаларды тиімді синтездеуді қамтамасыз ететін соңғы негізгі жетістіктер мен әдістемелік инновацияларды көрсетіп, жасыл химия қағидаттарына негізделген заманауи синтетикалық тәсілдерді енгізудің маңыздылығын атап көрсетеді.

Түйін сөздер: казкаин, пиперидиндер, пиперидинондар, биологиялық белсенділік, фармакологиялық әсер

Алғыс, қаржыландыру: жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен орындалды, AP19676539 гранты.

©С. Баязит^{1*}, А. Зазыбин², Мурат Айдемир³, 2025.

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан;

²Университет Диджле, Диярбакыр, Турция.

*E-mail: bayazitsarah@gmail.com

СИНТЕЗ И ФАРМАКОЛОГИЯ КАЗКАИНА И ДРУГИХ ПРОИЗВОДНЫХ 4-ЭТИНИЛПИПЕРИДИНА: ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Сара Баязит — PhD докторант, научный сотрудник Казахстанско-Британского технического университета, Алматы, Казахстан,

E-mail: bayazitsarah@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8623-098X>;

Алексей Георгиевич Зазыбин — PhD, профессор Казахстанско-Британского технического университета, Алматы, Казахстан,

E-mail: azazybin@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-6244-9327>.

Мурат Айдемир — PhD, профессор университета Диджле, Диярбакыр, Турция,

E-mail: aydemir@dicle.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4238-5012>.

Аннотация. Производные пиперидина представляют собой структурно разнообразный и фармакологически значимый класс азотсодержащих гетероциклов, находящихся широкое применение в медицинской химии. Настоящий обзор предоставляет анализ последних достижений в области синтеза соединений на основе пиперидина с особым акцентом на два основных подхода: гидрирование гетероциклических предшественников и стратегии внутримолекулярной циклизации. Путь гидрирования включает каталитические методы с использованием комплексов металлов, таких как родий (Rh), палладий (Pd) и рутений (Ru), а также органокалитические подходы, обеспечивающие высокую стереоселективность и энантиомерную чистоту. Внутримолекулярная циклизация рассмотрена для различных классов субстратов — алкенов, алкинов и диенов

— с участием катализаторов на основе палладия (Pd), золота (Au), железа (Fe), никеля (Ni) и самария (Sm). Такие реакции, как окислительное аминирование, гидроалкенилирование и циклоизомеризация, демонстрируют универсальность современных методов циклизации в построении сложных пиперидиновых структур. Кроме того, приведены примеры синтеза новых соединений, таких как Казкаин (1-(2-Этоксипропил)-4-этинил-4-бензоилокси-1-пиперидин гидрохлорид) с выраженной анестезирующей и кардиопротективной активностью, подчеркивающие терапевтический потенциал и синтетическую доступность функционально насыщенных аналогов пиперидина. Благодаря своей четко выраженной фармакофорной структуре и легкости функционализации, казкаин представляет собой ценную модель для разработки аналогов с улучшенными фармакокинетическими и фармакодинамическими свойствами. Он также служит платформой для отработки синтетических методов, таких как селективное алкилирование и ацилирование. Интеграция асимметричного катализа, лигандного управления и радикальной или фотохимической активации расширяет арсенал синтетических методов, делая производные пиперидина более доступными для фармацевтической разработки. Обзор освещает новейшие ключевые достижения и методологические инновации, способствующие эффективному получению азотсодержащих гетероциклических молекул с потенциальной биологической активностью, и подчеркивает важность внедрения современных синтетических подходов, основанных на принципах зелёной химии.

Ключевые слова: казкаин, пиперидины, пиперидиноны, биологическая активность, фармакологическая активность

Благодарность, финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант AP19676539.

Introduction. Piperidine and its analogues form a family of nitrogen-containing heterocycles with impact in synthetic and pharmaceutical chemistry. Piperidines exhibit widespread utility in pharmacy, representing the molecular backbone of numerous bioactive natural products and drugs. With development in synthetic protocols, including transition-metal-catalyzed cyclization, multi-component cascade processes, and enantioselective hydrogenation. Potent 4-ethynyl piperidine derivatives have become accessible for assembly through efficient protocols. Not only 4-ethynyl piperidine derivatives have such breakthroughs as increased piperidine frameworks' chemical diversity but have enriched them with character relevant to drugs through stereochemical fidelity and functional group diversity. In this review, current research in piperidine derivatives synthesis with an emphasis on its 4-ethynyl containing piperidines has been compiled, including state-of-the-art methodologies, mechanisms, and implications in pharmacy.

In the last several years, many reviews and research articles about specific methodologies for the preparation of piperidine, its functionalization and its use

in pharmacy have been published. Herein, we focus on the synthesis of piperidine derivatives shown in Figure 1.

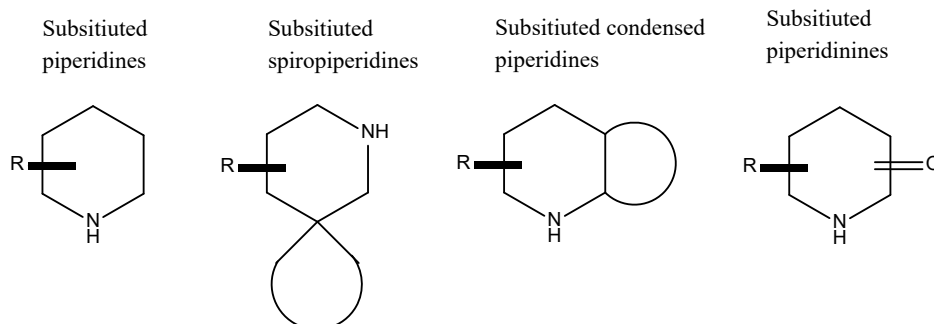


Figure 1. Piperidine derivatives discussed in this review.

Object of the study. The primary objective of this review is to examine and classify modern synthetic approaches for the preparation of piperidine derivatives, with a special focus on 4-ethynyl-substituted analogues due to their pharmacological relevance. The review seeks to identify novel catalytic systems and methodologies employed in the formation of the piperidine core, to analyze stereoselective and enantioselective strategies in the synthesis of bioactive piperidines; to highlight the utility of intramolecular cyclization and hydrogenation as principal routes to structural diversity and illustrate the synthetic accessibility and biological potential of specific compounds, including Kazcaine.

Materials and Methods. This review was conducted through a comprehensive literature search and critical analysis of peer-reviewed scientific publications related to the synthesis and pharmacological evaluation of piperidine derivatives, with a focus on 4-ethynyl-substituted analogues such as Kazcaine. The primary sources were obtained from scientific databases, including Scopus, Web of Science, PubMed and Google Scholar. The search was conducted using combinations of the following keywords: piperidine synthesis, 4-ethynyl piperidine, intramolecular cyclization, hydrogenation, kazcaine, asymmetric catalysis, and bioactive heterocycles. The most recent articles published up to 2024 were prioritized to ensure the inclusion of the most recent developments. Earlier foundational works were also cited where necessary for historical context. Each selected publication was examined for synthetic route (e.g., hydrogenation, cyclization), catalytic system and conditions, reaction scope and yields, enantioselectivity or regioselectivity and reported biological activity (where it was applicable). Comparative tables and mechanistic schemes were constructed based on this data. Notable methodologies were categorized by reaction type and catalyst class. A case study of Kazcaine was highlighted to exemplify the integration of synthesis and pharmacological application.

Results and Discussion. Hydrogenation

Two routes for piperidine preparation have been identified and discussed: hydrogenation of heterocyclic compounds and intramolecular cyclization (Figure 2).

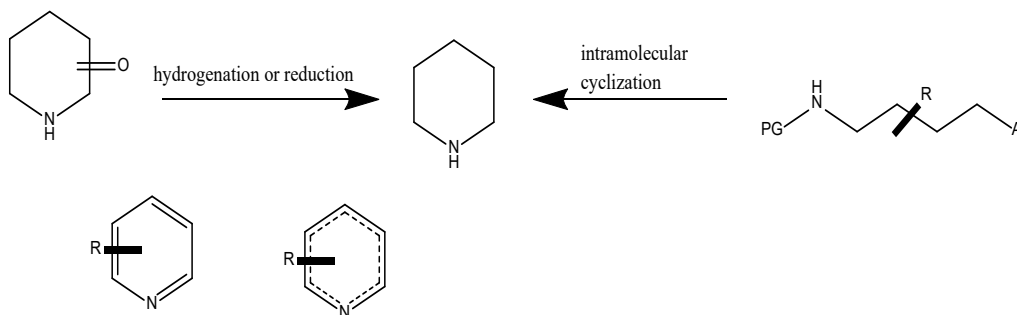


Figure 2. Main routes to the piperidine cycle synthesis.

A substituted pyridine, with an unprotected or a protected nitrogen atom, is a general starting compound. Often, a substrate in most cases already bears all substituents for a target compound in its initial form in advance. In such a case the synthesis has become shorter and less expensive under one of the newest protocols in contrast to the cases when both hydrogenation and functionalization have been incorporated in one reaction in one pot.

It is appreciative to mention the work of (Sandmeier, et.al.,2020) for careful reporting of catalysts used in piperidine synthesis. The chapter by (Sandmeier, et.al.,2020) presents new catalytic methodologies towards piperidine construction with high enantioselectivity, an important reaction in pharmaceutical development. Features include chiral hydrogenation with chiral catalysts such as $[\text{Rh}(\text{NBD})_2]\text{BF}_4$ (Bis(norbornadiene) rhodium(I) tetrafluoroborate) and BINAP (2,2'-Bis(diphenylphosphino)-1,1'-binaphthyl), generating high-enantiomeric excesses, and organocatalysis, in terms of Mannich and Michael reaction processes with catalysts such as derivatives of proline. Additionally, metal-catalysis cyclization with gold(I) and palladium(II) catalysts in combination with chiral phosphoramidite ligands plays a key role. Examples include constructions of complex structures such as (-)-sedamine, presenting useful methodologies for accessing chiral piperidines effectively in drug development.

(Yu, et.al., 2015) presents a straightforward one-pot method for synthesizing N-substituted 4-methyl-1-oxa-8-azaspiro [4,5] deca-3-en-3-carboxylic acids. This synthesis involves reacting 1-(2-ethoxyethyl)-4-acetyl-4-hydroxypiperidine or 1-(2-phenylethyl)-4-acetyl-4-hydroxypiperidine with acrylonitrile at room temperature using an alkaline catalyst, leading to the formation of spirocyclic compounds. Subsequent hydrolysis yields the desired carboxylic acids. The proposed mechanism suggests that an initial cyanoethylation is followed by aldol condensation to form the spirocyclic structure.

(Pitna, et al.,2021) developed a one-pot reaction with a Pd/C catalyst combining hydrogenation with Suzuki-Miyaura cross-coupling in the modification of derivatives of pyridine and thus presented an efficient and convenient path for complex heterocycle preparation (Figure 4).

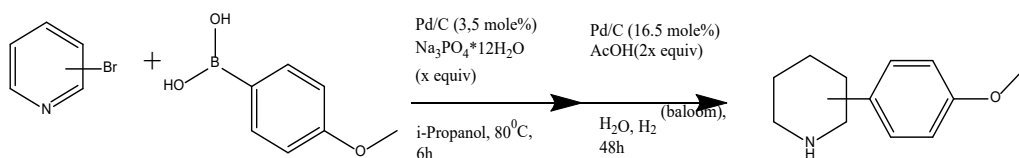


Figure 4. Suzuki-Miyaura cross-coupling with a Pd/C catalyst.

(Tanaka, et.al., 2020) have documented hydrogenation of heteroarenes and arenes with Pd/C under atmospheric pressure and have discovered a remarkably mild and efficient catalytic reaction (Figure 5). The reaction is incredibly useful in terms of ease of operation and application in bulk chemical processes. The authors pointed out the utmost importance of maintaining the optimal starting material concentration for the successful hydrogenation process. The mild hydrogenation method was studied in detail on a broad spectrum of substrates. The authors concluded that the HOMO/LUMO states and the bulkiness of the substituents majorly influenced the reaction rate.

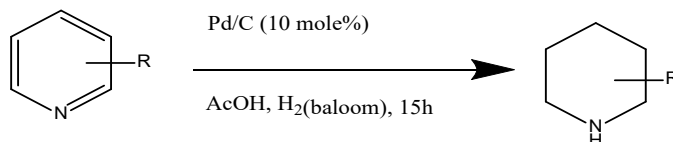


Figure 5. hydrogenation of heteroarenes and arenes with Pd/C.

Further developments in pyridine reduction proceeded with (Clarke, et.al., 2021). The authors reported a borenium-catalyzed hydrogenation and hydrogen or hydrosilane mixed reductants protocol (Figure 6). The newness in the mechanism in the strategy presented an effective route from the documented protocols for the hydrogenation of pyridines to derivatives. In a documented article, (Yang et.al., 2021) developed a borane-catalyzed cascade of hydrogenation and hydroboration. It presented an effective mechanism for transforming pyridines to more saturated derivatives, opening more avenues for functionalization of pyridines.

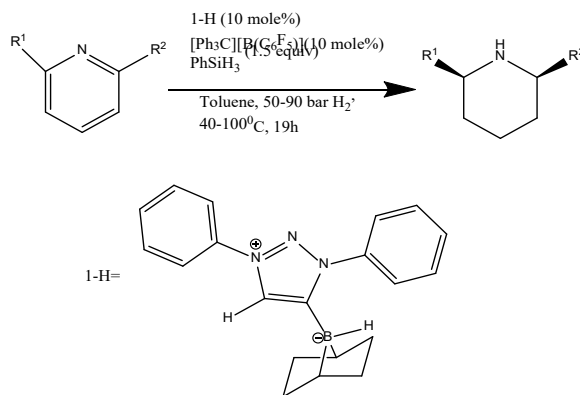


Figure 6. Borenium-catalyzed hydrogenation of 2,5-pyridine.

Intramolecular Cyclization. In intramolecular cyclization the initiation of cyclization originates from the starting reactant in its full form. A variety of functional groups and bond activation processes contribute to the reaction, with cyclization exhibiting an intramolecular nature in its direction. The primary pathway of intramolecular cyclization is presented in Figure 7.

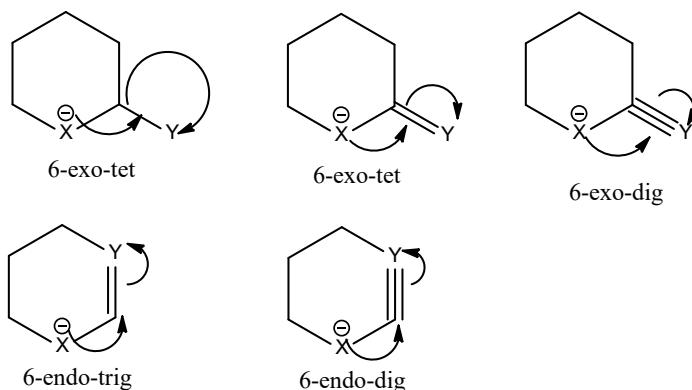


Figure 7. Main route of intramolecular cyclization.

For easier understanding, the chapter was divided by substrate classes.

Alkene cyclization. (Nevado et.al., 2009) have developed a synthetic route for oxidative amination of unactivated alkenes for the preparation of piperidiny-substituted compounds (Figure 8). This reaction is facilitated through a gold(I) catalyst and involves an iodine(III) oxidant in a one-step incorporation of an N-heterocycle and an O-substituted group onto a double bond.

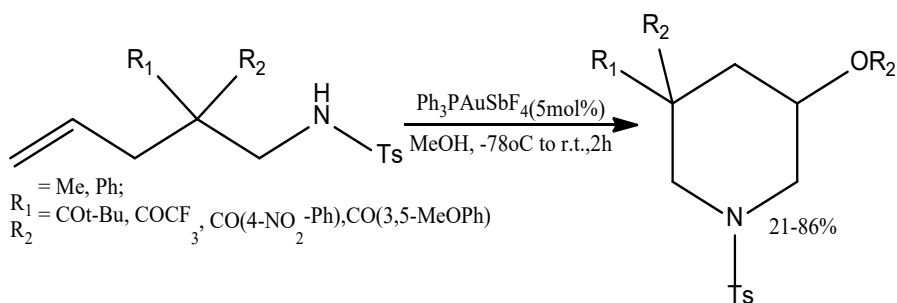


Figure 8. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: gold(I)-catalyzed oxidative amines-terification.

Their studies (Nevado, et.al., 2009)) revealed that substituted in C6 position with a bulk group pyridine-oxazoline ligand modulates the contact between pyridine-nitrogen donor site and Pd(II), and its increased electrophilicity promotes olefin activation. Ligand engineering in azidation reaction was also effective (Figure 9).

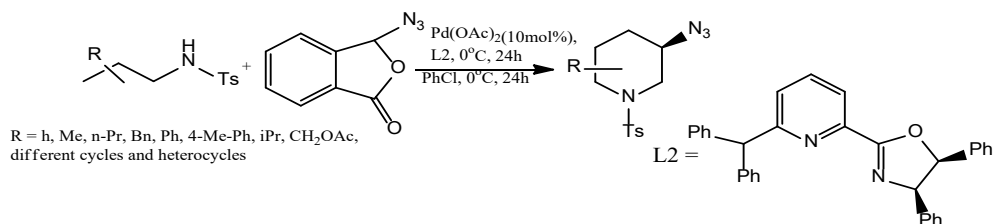


Figure 9. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: palladium(II) catalyzed azidation.

Expanding on ligand-controllable regioselectivity, regioselective diamination of alkenes (Figure 10) was studied by (Li, et.al., 2013). Their work confirmed reaction pathways to be determined via steric hinderance with a bulk ligand, controlling for pyrrolidone formation. Regioselectivity was observed to occur via the steric influence of the nucleophilic reagent, N-Fluorobenzenesulfonimide (NFSI), and its role in controlling direction in transformation.

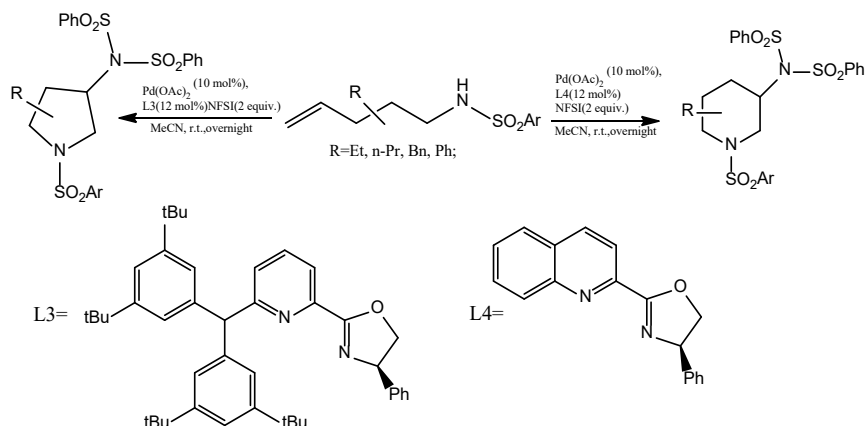


Figure 10. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: palladium(II) catalyzed 6-endo diamination

(Shibata, et.al., 2019) explored intramolecular aminotrifluoromethanesulfonylation (an amine group and a trifluoromethanesulfinyl (–SOCH₂CF₃) of alkenes using palladium catalysis (Figure 11). Their work generated 6-endocyclized piperidines with satisfactory diastereoselectivity and efficiency and underscores the utility of complexed Pd catalysts in cyclization processes for heterocycle construction.

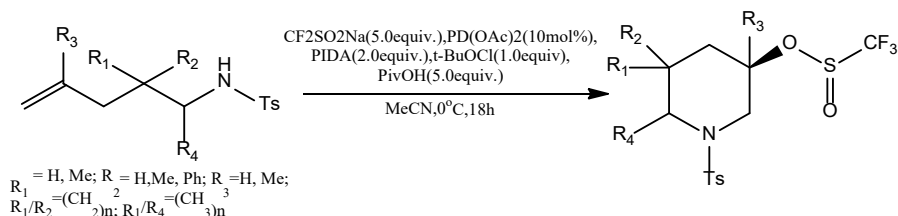


Figure 11. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: palladium (II)-catalyzed aminotrifluoromethanesulfonylation.

Meanwhile, (Zawisza et.al., 2020) presented a diastereoselective, ligand-free palladium-catalyzed intramolecular allylic amination (Figure 12). A stereochemically defined protecting group participated in controlling product stereochemistry, behaving in a similar manner to a chiral auxiliary in mechanism.

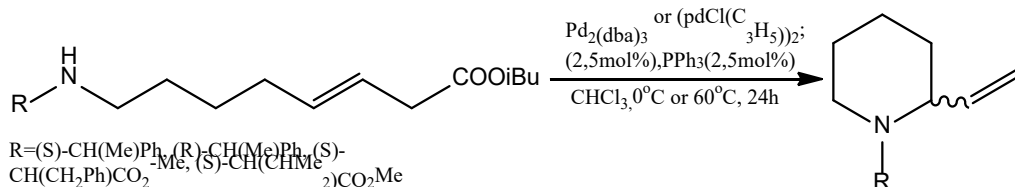


Figure 12. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: palladium(0)-catalyzed allylic amination.

Further expanding the reaction range of palladium-catalysis, (Engle, et.al., 2013) have utilized 8-aminoquinoline as a guiding group for intramolecular alkene hydroamination (Figure 13). This reaction enables five- and six-membered heterocycle preparation through a mechanism of syn-addition and subsequently, proto-depalladation.

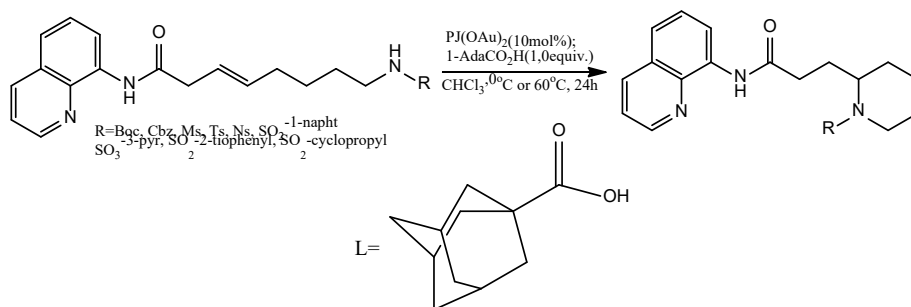


Figure 13. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: palladium(II)-catalyzed hydrofunctionalization.

Lastly, (Cox, et.al., 2022) have revealed a carboamination of alkenes with stereocontrol, in which cyclization is initiated via an in situ-formed carbocation derived from an alcohol precursor (Figure 14).

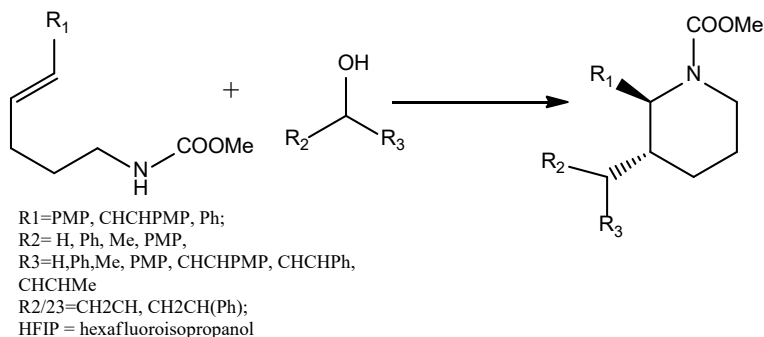


Figure 14. Intramolecular aminations of N-tethered alkenes: cation-induced alkylation/amination.

This reaction enables both C–N (carboamination) and C–C (alkylation) bond constructions in a single reaction.

Diene cyclization. (Li, et.al., 2018) published a highly enantioselective nickel-catalyzed intramolecular hydroalkenylation reaction of N and O-tethered 1,6-dienes (Figure 15). This enables the construction of six-membered heterocyclic skeletons. According to this routine, chiral piperidines and also tetrahydropyrans were efficiently gained in a fully enantioselective matter. Mechanistically, it involves nucleation of terminal alkyne with nickel(0), thereby resulting in selective intramolecular cyclization. It can be considered further to illustrate strategies developed in reaching nickel catalysis of the title transformation with the emphasis on complexity and enantiomeric purity targets.

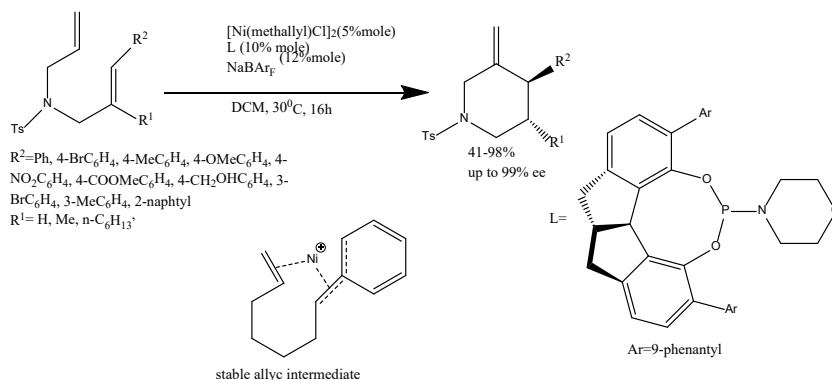


Figure 15. Highly enantioselective nickel-catalyzed intramolecular hydroalkenylation of 1,6-ene-dienes.

(Cui, et.al., 2019) described a rhodium-catalyzed cycloisomerization of 1,7-ene-dienes directed toward the synthesis of trans-divinylpiperidines (Figure 16). The process involves a formal intramolecular addition reaction, wherein an allylic C–H bond adds across a diene system. The process gives rise to the high selectivity toward the formation of trans-divinylpiperidine derivatives and has proved the great capability of rhodium catalysis in controlling regioselectivity and stereochemistry for the construction of complex piperidine structures.

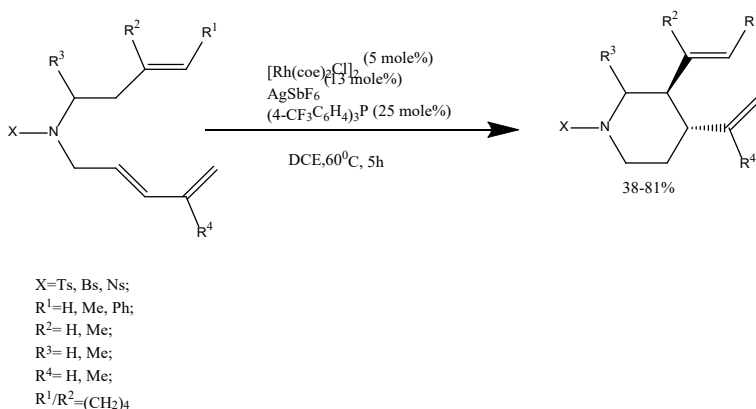


Figure 16. Rhodium(I)-catalyzed cycloisomerization of 1,7-ene-dienes.

(Shcherbakova, et.al., 2021) have analyzed bicyclic piperidines prepared through a [2+2] photocycloaddition path (Figure 17). In a photochemical reaction of such a kind, piperidine derivatives produce bicyclic structures through a high-strain bicyclic arrangement via a reaction of cycloaddition. What is exciting about such a reaction is that bicyclic frameworks, not accessible with conventional thermal routes, can be prepared through such a reaction. underlines the utility of photochemistry in accessing new and complex molecular architectures.

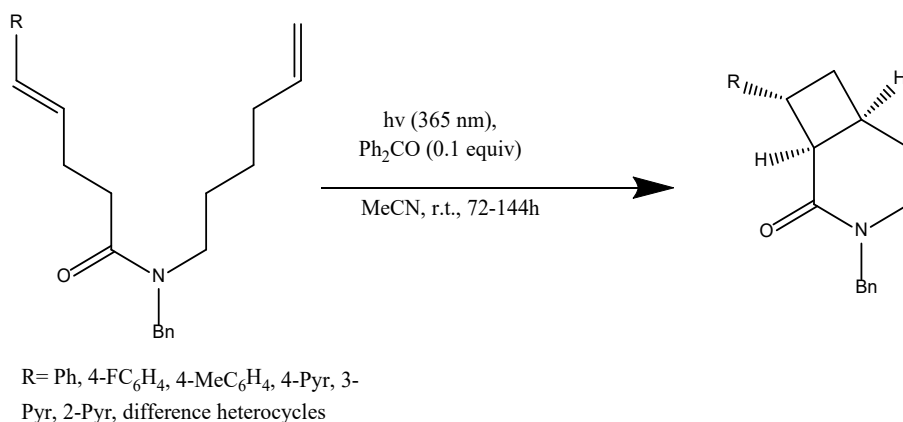


Figure 17. Bicyclic piperidines obtained via [2+2] intramolecular cycloaddition.

Alkyne Cyclization. Alkyne cyclization involves the transformation of alkynes into nitrogen-containing heterocycles. An intramolecular cyclization reaction with N-tethered alkyne benzyl alcohols, prompted by FeCl₃, has been documented by (Borah, et.al., 2018) (Figure 18). Through a path via early carbenium ion development, it induces its subsequent cyclization towards complex N-heterocycle frameworks. Remarkably, such a tool introduces an alternative for rapid assembling cyclonic rings under mild reaction conditions for use in supporting nitrogen-enriched product fabrication.

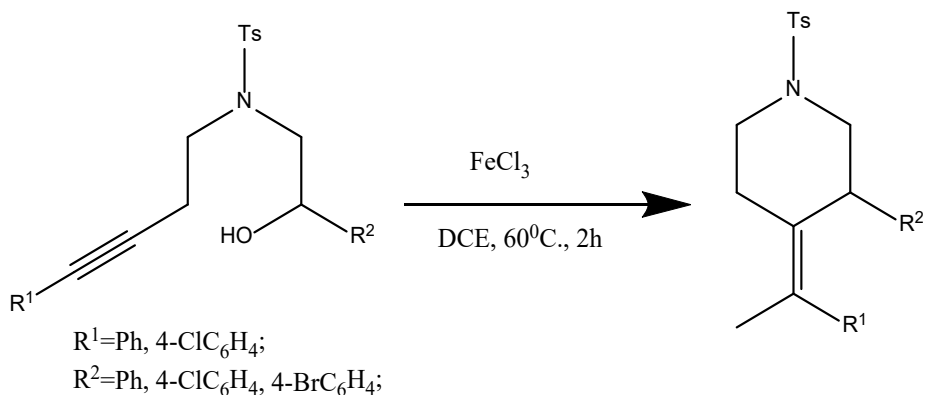


Figure 18. Intramolecular cyclization reaction with N-tethered alkyne benzyl alcohols prompted by FeCl₃

(Takahashi, et.al., 2018) have discussed Samarium(II) iodide-promoted intramolecular cyclization of haloalkynals to yield five- and six-membered nitrogen-containing heterocycles with an exo-olefin terminus (an alkene functional group positioned outside a ring system) (Figure 19). SmI_2 -promoted reaction is particularly useful in assembling heterocycles with high stereocontrol.

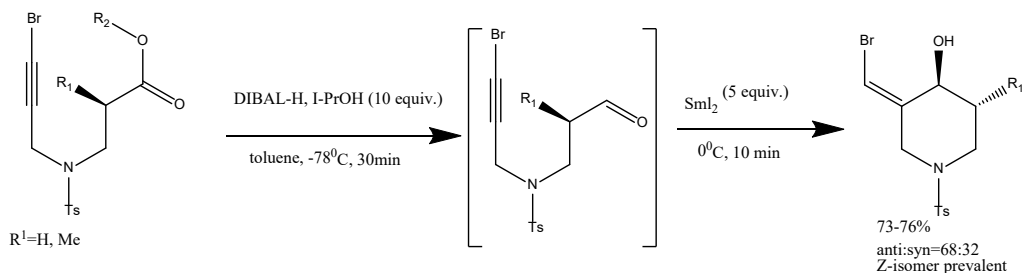


Figure 19. Samarium-catalyzed intramolecular radical cyclization of haloalkynals.

(Ding, et.al.,2020) have accomplished a gold-catalyzed intramolecular dearomatization reaction for spironaphthalenone preparation starting with β -naphthol derivatives (Figure 20). With β -naphthol activation with a gold catalyst, cyclization creates a spirocyclic compound. The reaction is important in terms of incorporation of structural diversity and spirocyclic frameworks preparation, in general, via traditional routes, proving to be challenging in most cases.

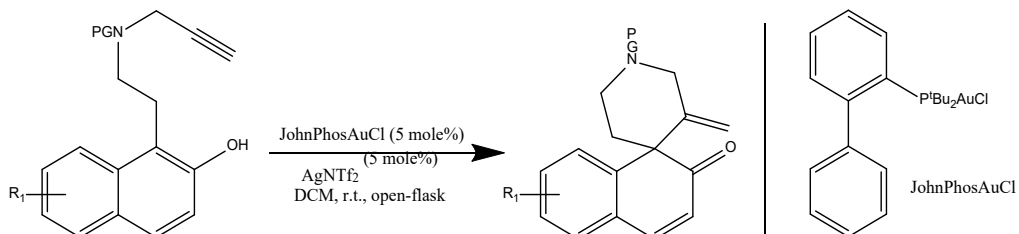


Figure 20. General procedure for gold-catalyzed intramolecular dearomatization reaction of β -naphthol derivatives.

(Kamimura, et.al.,2020) disclosed a cumulated radical cascade reaction of aza-1,6-enynes for stereoconvergent preparation of exo-methylene piperidines (Figure 21). It consists of a sequence of radical processes that form piperidine with high stereocontrol. The reaction highlights the efficacy of radical processes in assembling stereostructurally complex N-containing heterocycles.

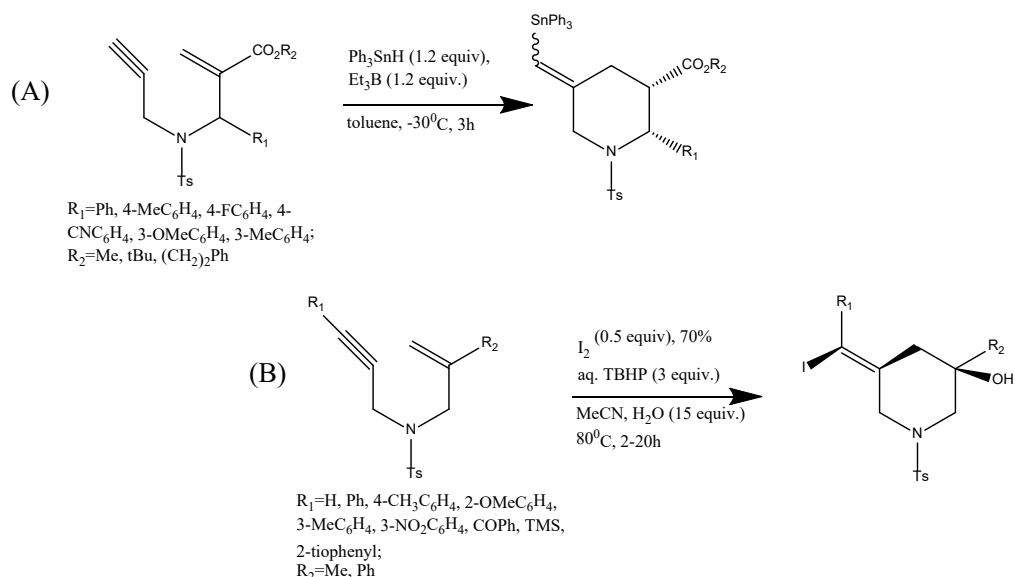


Figure 21. Radical stereoselective cyclization of 1,6-enynes initiated through borane addition.

Other Cyclization. (Anderson, et.al., 2021) have also employed the use of the nitro Mannich reaction in asymmetries in piperidines' synthesis (Figure 22). The most significant reaction processes involve the addition of amines with nitroalkanes and cyclization that forms a piperidine ring.

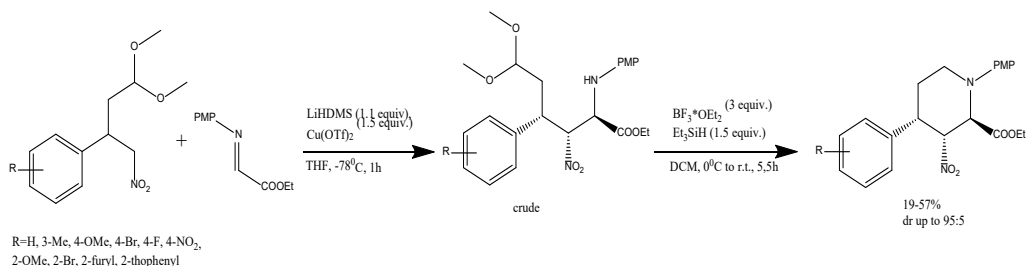


Figure 22. Asymmetric synthesis of piperidines by nitro-Mannich/reduction cyclization.

(Cheng, et.al., 2021) performed a desymmetrization strategy for preparation of piperidiny acetic acid derivatives (Figure 23). Piperidiny acetic acid derivatives represent a group of γ -secretase modulators, drugs with therapeutic value for application in Alzheimer's disease therapy. The synthetic sequence features the use of N-tert-butanesulfinyl imine reduction and a diastereoselective lactam formation to set up the chiral centers.

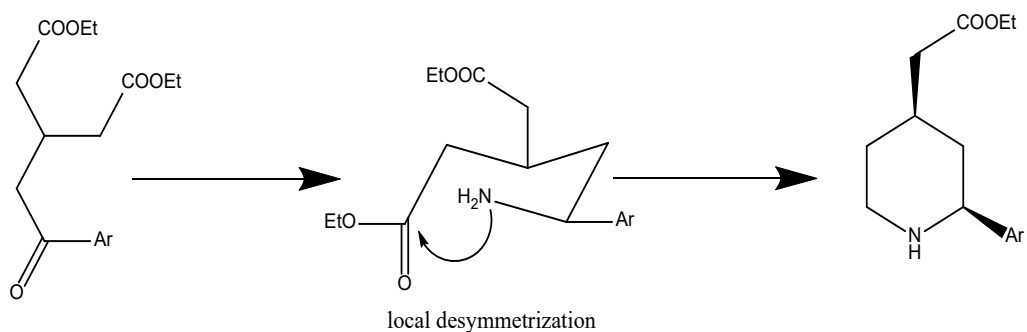


Figure 23. A desymmetrization-based approach for the synthesis of piperidinyl acetic acid γ -secretase modulators.

Kazcaine (Kemelbekov et.al.,2010), chemically 1-(2-ethoxyethyl)-4-ethynyl-4-benzoyloxypiperidine, is a piperidine analogue prepared for its anesthetic and antiarrhythmic activity. It possesses a 4-ethynyl piperidine backbone, whose physicochemical and pharmacologic profiles, such as its lipophilicity, its receptor binding capacity, and its metabolic stability, are specifically determined. Possession of an ethynyl group at position 4 in its piperidine backbone profoundly modulates its electronic character and its target bio-molecular interaction capacity towards sodium and potassium ion channels.

The synthesis is initiated with 1-(2-ethoxyethyl)-4-oxopiperidine and acetylene in liquid ammonia, with potassium hydroxide (KOH) acting as a catalyst for insertion of an ethynyl ($\text{-C}\equiv\text{CH}$) substituent at position 4 of the piperidine ring through regioselective addition, with the intermediate anionic species stabilized in a liquid ammonia environment (Figure 24).

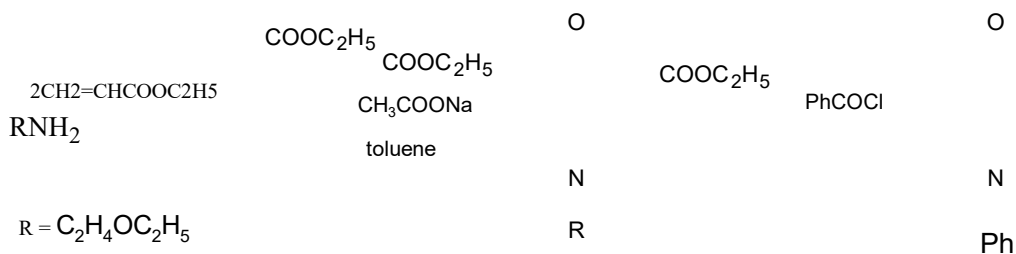


Figure 24. Insertion of an ethynyl ($\text{-C}\equiv\text{CH}$) substituent at position 4 of the piperidine ring.

The intermediate 1-(2-ethoxyethyl)-4-ethynylpiperidine then acylated with benzoyl chloride ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COCl}$) to produce the target compound 1-(2-ethoxyethyl)-4-ethynyl-4-benzoyloxypiperidine hydrochloride (Figure 25).

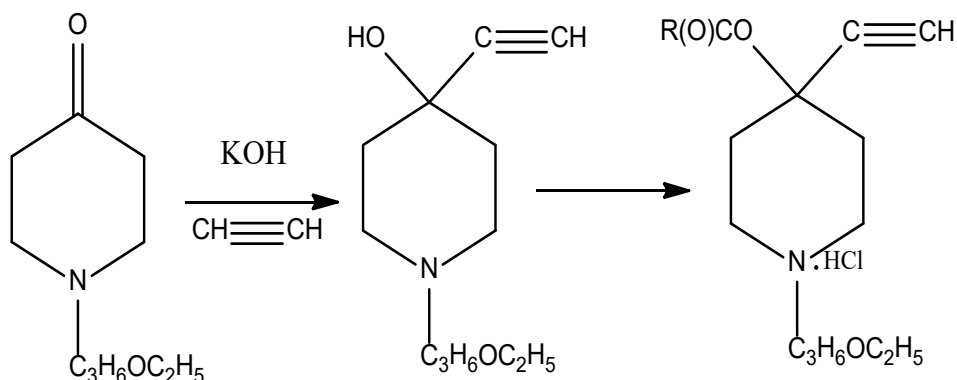


Figure 25. 1-(2-ethoxyethyl)-4-ethynyl-4-benzoyloxy piperidine hydrochloride synthesis.

The addition of a benzoyl ester group strengthens the compound's stability and modulates its lipophilicity. The crude compound is then crystallized with isopropanol (i-PrOH) for purification.

Kazcaine represents a synthetically new piperidine analogue with considerable anesthetic and cardioprotective activity. Its availability through synthetic preparation, together with its novel pharmacologic profiles, warrants further investigation into its therapeutic potential. Innovation in synthetic manipulation, computer simulation, and clinic evaluation will become paramount in shaping its position in present-day pharmaceutical applications.

Conclusion. This review discussed 4-ethynyl piperidine derivatives' preparation, diversity in structure, and pharmaceutical value, with a specific consideration for compound Kazcaine. Transition-metal catalysts, intramolecular cyclization, radical conversions, and hydrogenation routes have amplified piperidine skeletons' availability, and piperidine skeletons can become increasingly functionalized and stereochemically regulated. Kazcaine, as an example, mirrors the value of piperidine-containing compounds in anesthetic and antiarrhythmic activity. Preparation, via efficient condensation and acetylene coupling methodologies, is a model for minimizing synthetic routes towards new bioactivities.

Latest development in the field of synthesis of 4-ethynyl piperidine derivatives were studied and analyzed. Future research will have to focus towards improvement in environmentally friendly and sustainable processes, search for new catalysts, and ongoing studies of new piperidine derivatives' bioapplications. A wider application of computational modelling and high-throughput screening will necessarily boost piperidine drugs' discovery at an even rapid pace, enhancing its role in drug development.

References

- Anderson J.C.; Bouvier-Israel E., Rundell C.D., Zhang X. (2021) Asymmetric synthesis of piperidines using the nitro-Mannich reaction. *Tetrahedron*, 78. 131821. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2020.131821> (in English)
- Borah M., Saikia A.K. (2018) FeCl₃-Mediated Carbenium Ion-Induced Intramolecular Cyclization of N-Tethered Alkyne-Benzyl Alkanols. *ChemistrySelect* 3. — P. 2162-2166. <https://doi.org/10.1002/slct.201702776> (in English)
- Cheng P., Lu H., Zu L. (2021) A Local Desymmetrization Approach to Piperidiny Acetic Acid γ -Secretase Modulators. *J. Org. Chem.* — 86. — P. 15481-15487. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.1c01970> (in English)
- Clarke J.J., Maekawa Y., Nambo M., Crudden C.M. (2021) Borenum-Catalyzed Reduction of Pyridines through the Combined Action of Hydrogen and Hydrosilane. *Org. Lett.* — 23. — P. 6617-6621. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.1c01892> (in English)
- Cui Q., Liao W., Tian Z.-Y., Li Q., Yu Z.-X. (2019) Rh-Catalyzed Cycloisomerization of 1,7-Ene-Dienes to Synthesize trans-Divinylpiperidines: A Formal Intramolecular Addition Reaction of Allylic C–H Bond into Dienes. *Org. Lett.* — 21. — P. 7692-7696. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.9b02319> (in English)
- Ding L., Wu W.-T., Zhang L., You S.-L. (2020) Construction of Spiro naphthalenones via Gold-Catalyzed Intramolecular Dearomatization Reaction of β -Naphthol Derivatives. *Org. Lett.* — 22. — P. 5861-5865. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.0c01945> (in English)
- Cox L., Zhu Y., Smith P.J., Christensen K.E., Sidera Portela M., Donohoe T.J. (2022) Alcohols as Alkylating Agents in the Cation-Induced Formation of Nitrogen Heterocycles. *Angew. Chem. Int. Ed.* — 61. e202206800. <https://doi.org/10.1002/anie.202206800> (in English)
- Wang X., Li Z.-Q., Mai B.K., Gurak J.A., Xu J.E., Tran V.T., Ni H.-Q., Liu Z., Liu Z., Yang K.S., et al. (2020) Controlling cyclization pathways in palladium(ii)-catalyzed intramolecular alkene hydro-functionalization via substrate directivity. *Chem. Sci.* — 11. — P. 11307-11314. <https://doi.org/10.1039/D0SC03409F> (in English)
- Kamimura A., Itaya T., Yoshinaga T., Nozawa R., Kawamoto T., Sumimoto M., Uno H. (2020) Highly Cumulated Radical Cascade Reaction of aza-1,6-Enynes: Stereoselective Synthesis of exo-Methylene Piperidines. *Eur. J. Org. Chem.* — 2020. — P. 1700-1707. <https://doi.org/10.1002/ejoc.202000034> (in English)
- Kemelbekov U.S., Hagenbach A., Lentz D., Imachova S.O., Pichkhadze G.M., Rustembekov Zh.I., Beketov K.M., Praliev K.D., Gabdulkhakov A., Guskov A., Saenger W. (2010) Pharmacology and structures of the free base of the anaesthetic kazcaine and its complex with β -cyclodextrin. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry.* — 68(3). — P. 323-330. <https://doi.org/10.1007/s10847-010-9791-7> (in English)
- Li X., Qi X., Hou C., Chen P., Liu G. (2020) Palladium(II)-Catalyzed Enantioselective Azidation of Unactivated Alkenes. *Angew. Chem. Int. Ed.* 59. — P. 17239–17244. <https://doi.org/10.1002/anie.202006757> (in English)
- Li K., Li M.-L., Zhang Q., Zhu S.-F., Zhou Q.-L. (2018) Highly Enantioselective Nickel-Catalyzed Intramolecular Hydroalkenylation of N- and O-Tethered 1,6-Dienes To Form Six-Membered Heterocycles. *J. Am. Chem. Soc.* — 140. — P. 7458-7461. <https://doi.org/10.1021/jacs.8b04703> (in English)
- Feige P., de Haro T., Rusconi G., Merino E., Nevado C. (2018) Gold-catalyzed oxidative aminoesterification of unactivated alkenes. *Mon. Für Chem.-Chem. Mon.* 149. — P. 749–754. <https://doi.org/10.1007/s00706-018-2144-8> (in English)
- Pitna D.B., Tanaka N., Usuki T. (2021) Pd/C-catalyzed one-pot Suzuki-Miyaura cross-coupling/hydrogenation of pyridine derivatives. *J. Heterocycl. Chem.* 58. — P. 2039–2044. <https://doi.org/10.1002/jhet.4341> (in English)
- Sandmeier T., Carreira E.M. (2020) Modern Catalytic Enantioselective Approaches to Piperidines. In *Synthetic Approaches to Nonaromatic Nitrogen Heterocycles*, John Wiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA, Chapter 10. — P. 249-271. <https://doi.org/10.1002/9781119708841> (in English)
- Shcherbakova V., Dibchak D., Snisarenko M., Skalenko Y., Denisenko A.V., Kuznetsova A.S., Mykhailiuk P.K. (2021) Bicyclic Piperidines via [2 + 2] Photocycloaddition. *J. Org. Chem.* — 86. — P. 2200 – 2209. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.0c02355> (in English)

Suzuki S., Kamo T., Fukushi K., Tokunaga E., Sumii Y., Shibata N. (2018) Intramolecular Aminotrifluoromethanesulfonyloxylation of ω -Aminoalkenes by $\text{CF}_3\text{SO}_2\text{Na}/\text{Pd}(\text{OAc})_2/\text{PhI}(\text{OAc})_2/\text{tBuOCl}/\text{PivOH}$ System. *Synlett* 29. — P 425-429. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1591720> (in English)

Takahashi K., Fukushima K., Seto M., Togashi A., Arai Y., Tsubuki M., Honda T. (2018) Studies on Instructive Construction of *exo*-Olefin Terminated Five- and Six-Membered Nitrogen Heterocycles: SmI_2 -Mediated Intramolecular Cyclization of Haloalkynals. *J. Org. Chem.* — 83. — P. 10636-10645. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.8b01440> (in English)

Tanaka N., Usuki T. (2020) Can Heteroarenes/Arenes Be Hydrogenated Over Catalytic Pd/C Under Ambient Conditions? *Eur. J. Org. Chem.* — 2020. — P. 5514-5522. <https://doi.org/10.1002/ejoc.202000695> (in English)

Yang Z.-Y., Luo H., Zhang M., Wang X.-C. (2021) Borane-Catalyzed Reduction of Pyridines via a Hydroboration/Hydrogenation Cascade. *ACS Catal.* — 11. — P. 10824–10829. <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c02876> (in English)

Yu V., Ten A., Baktybayeva L., Sagatbekova I., Praliyev K., Zolotareva D., Seilkhanov T., Zazybin A. (2018). Synthesis and biological evaluation of 1,3,8-triazaspiro[4.5]decane-2,4-dione derivatives as myelostimulators. *BioMedResearch International*, 7346835.–9.p. <https://doi.org/10.1155/2018/7346835> Q2 (in English)

Olszewska B., Jabłonska A., Zawisza A. (2018) Diastereoselective synthesis of 2-vinylpyrrolidines and 2-vinylpiperidines by the palladium-catalysed cyclization of amino-allylic carbonates containing a chiral protecting group. *Arkivoc* 2018. — P. 254-271. <https://doi.org/10.24820/ark.5550190.p010.591> (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 463 (2025), 57–68

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.281>

УДК: 547.972

МПТИ: 31.23.99

©K.T. Botabekova*, S.B. Amangaliyeva, A.K. Kipchakbayeva, 2025.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: karakatbota00@gmail.com

**PHOTOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY
OF PLANT *PHLOMIS TUBEROSA***

Karakat Talgatkyzy Botabekova — Bachelor Student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: karakatbota00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0754-3544>;

Symbat Baglankyzy Amangaliyeva — Master's degree student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: symbatbaglankyzys@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-7183-766X>;

Aliya Kuanyshevna Kypchakbayeva — PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: aliya_k85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0235-9661>.

Abstract. The article presents the results of a study on the chemical composition of the above-ground part of *Phlomis tuberosa*, collected in the Turkestan region. One of the main objectives in the study of medicinal plants is the identification of biologically active compounds, which determine their potential for pharmaceutical application. This work describes qualitative and quantitative analysis methods using *Phlomis tuberosa* as an example and highlights their importance in identifying pharmacologically significant substances. *Results.* High-performance liquid chromatography (HPLC) was used to identify flavonoids, vitamins, and other phytochemical compounds. The quercetin content in the raw material was found to be 0.182 mg/g. The extract was also shown to contain naringin and phloridzin. Among the detected vitamins, vitamin C was found in the highest concentration. All data were obtained using certified standards and modern equipment, confirming their relevance for pharmaceutical development. *Scientific novelty.* A method for accurately determining biologically active compounds in *Phlomis tuberosa* was developed. Certified standards were used to identify the key components. The application of chromatographic techniques expanded the phytochemical profile of the plant. This approach is based on modern analytical tools and validated protocols. *Practical significance.* The obtained results contribute to the standardization of plant raw materials and the development of herbal medicines with consistent chemical

composition and proven biological activity. Accurate identification of active substances ensures the safety, efficacy, and reproducibility of pharmaceutical products.

Key words: *Phlomis tuberosa*, medicinal plant raw materials, biologically active substances, flavonoids, quercetin, HPLC, vitamin, phytochemical analysis

©К.Т. Ботабекова*, С.Б. Амангалиева, А.К. Кипчакбаева, 2025.

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: karakatbota00@gmail.com

PHLOMIS TUBEROSA ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ

Қаракат Талғатқызы Ботабекова — әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің бакалавриаты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: karakatbota00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0754-3544>;

Сымбат Бағланқызы Амангалиева — әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің магистранты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: symbatbaglankyzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-7183-766X>;

Алия Қуанышқызы Кипчакбаева — PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aliya_k85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0235-9661>.

Аннотация. Мақалада Түркістан өңірінен жиналған *Phlomis tuberosa* (түйнекті зопник) өсімдігінің жер үсті бөлігінің химиялық құрамы зерттеліп, фармацевтикалық мақсатта қолдану мүмкіндігін анықтауға бағытталған нәтижелер ұсынылған. Дәрілік өсімдіктерді зерттеудегі маңызды бағыттардың бірі – олардың құрамындағы биологиялық белсенді қосылыстарды анықтау және оларды сапалық әрі сандық тұрғыдан сипаттау болып табылады. Бұл зерттеу жұмысында *Phlomis tuberosa* мысалында фитохимиялық құрамды анықтау әдістері қарастырылып, олардың ғылыми және тәжірибелік маңызы сипатталған. **Нәтижелер.** Флавоноидтар, дәрумендер мен басқа да фитохимиялық заттарды анықтау үшін жоғары эффективті сұйықтық хроматографиясы (ЖЭХС) қолданылды. Жүргізілген талдаулар нәтижесінде шикізат құрамында 0,182 мг/г мөлшерінде кверцетин анықталды. Сонымен қатар, экстракттан нарингин мен флоризидин табылды. Дәрумендердің ішінен С дәруменінің мөлшері ең жоғары деңгейде тіркелді. Барлық мәліметтер заманауи аналитикалық құрылғылар және сертификатталған стандарттар көмегімен алынды, бұл алынған нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз етеді. **Ғылыми жаңалығы.** *Phlomis tuberosa* құрамындағы негізгі биологиялық белсенді қосылыстар алғаш рет нақты әдістемелермен толық анықталды. Хроматографиялық зерттеулер фитохимиялық профильді кеңейтуге мүмкіндік берді. **Практикалық маңыздылығы.** Жүргізілген зерттеу нәтижелері *Phlomis tuberosa* өсімдігінен алынған фитошикізатты стандарттау, сондай-ақ оның негізінде сапалы, біртекті және биологиялық белсенділігі дәлелденген фитопрепараттар өндіру үшін ғылыми негіз бола алады. Белсенді қосылыстардың нақты мөлшерін анықтау фармацевтикалық

өнімдердің қауіпсіздігі мен тиімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл мәліметтер фитопрепараттардың өндірісіндегі қайталанатын химиялық құрам мен биологиялық белсенділікке қол жеткізуге, сонымен қатар оларды тіркеу және сертификаттау үдерісін жеңілдетуге көмектеседі.

Түйін сөздер: *Phlomis tuberosa*, дәрілік өсімдік шикізаты, биологиялық белсенді заттар, флавоноидтар, кверцетин, ЖЭСХ, витамин, фитохимиялық талдау

©К.Т. Ботабекова*, С.Б. Амангалиева, А.К. Кипчакбаева, 2025.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: karakatbota00@gmail.com

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ *PHLOMIS TUBEROSA*

Каракат Талгаткызы Ботабекова — студент бакалавриата, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: karakatbota00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-0754-3544>;

Сымбат Багланкызы Амангалиева — магистрант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: symbatbaglankyzys@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-7183-766X>;

Алия Куанышевна Кипчакбаева — PhD, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: aliya_k85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0235-9661>.

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования химического состава надземной части растения *Phlomis tuberosa*, собранного в Туркестанском регионе. Одной из приоритетных задач при изучении лекарственного растительного сырья является выявление и количественная оценка биологически активных соединений, определяющих его потенциал для фармацевтического применения. В данной работе подробно описаны методы качественного и количественного анализа фитохимических веществ, включая флавоноиды, витамины и другие метаболиты, с использованием современных аналитических подходов. **Результаты.** Определение состава проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), что обеспечило высокую точность и надёжность полученных данных. В ходе анализа установлено, что содержание кверцетина в растительном сырье составляет 0,182 мг/г. Кроме того, были идентифицированы нарингин и флоридзин. Среди витаминов наибольшее содержание зафиксировано у витамина С. Все исследования выполнены с применением сертифицированных стандартов и современного оборудования. **Научная новизна.** Впервые для *Phlomis tuberosa* был применён комплексный подход к анализу биологически активных веществ, что позволило расширить фитохимический профиль растения и уточнить его фармакологический потенциал. **Практическая значимость.** Полученные данные способствуют стандартизации сырья и разработке эффективных и безопасных фитопрепаратов с воспроизводимым составом и стабильной биологической

активностью. Идентификация биологически активных соединений и определение их количественного содержания позволяет обеспечить контроль качества на всех этапах – от заготовки сырья до выпуска готового продукта. Данный подход особенно важен для обеспечения стабильности действия препаратов и повышения доверия со стороны медицинского сообщества и потребителей.

Ключевые слова: *Phlomis tuberosa*, лекарственное растительное сырьё, биологически активные вещества, флавоноиды, кверцетин, ВЭЖХ, витамин, фитохимический анализ

Introduction. About 15-20% of modern phytopreparations are produced in domestic factories, and the rest are imported from abroad. Accordingly, this leads to an increase in the price of drugs obtained by synthesis on the market. However, drugs obtained by synthesis cause problems with their excretion from the human body. This is inefficient for public health and the economy of the state. Therefore, determining the composition and activity of medicinal plants that have long been used in folk medicine, obtaining new biologically active complexes and bringing them to the market are important and relevant topics for folk medicine and pharmaceutical production.

The emergence of many branches of organic chemistry and various industries is directly related to the study of substances secreted by plants.

The plant raw material of *Phlomis tuberosa* which is widespread in Kazakhstan, is of great theoretical and practical interest. In this regard, it determines the relevance of conducting a phytochemical examination of the composition of the plant raw material of *Phlomis tuberosa*, conducting quantitative and qualitative analysis of plant raw materials. The purpose of this study is to determine the total composition of flavonoids and other biologically active compounds in the tuberous plant of Kazakhstan. The results of this study may be useful in medicine, food industry and phytopharmaceuticals (Van Der Kooy, et al., 2009).

Phlomis tuberosa L., also known as *Phlomoides tuberosa* is a perennial herbaceous plant belonging to the *Lamiaceae* family. The *Phlomis* genus includes about 140 species distributed in Europe, Asia and Africa, and about 50 species are found in the territory of the former USSR. The *Lamiaceae* family belongs to the Lamiales order. The plant is widespread in the European part of Russia, Western and Eastern Siberia, the Caucasus, the Far East, Northern Europe, Armenia, Kurdistan, Iran, Mongolia, Western China (Kulzha). In Kazakhstan, some species of *Phlomis* are found in the North Kazakhstan, East Kazakhstan, and Turkestan regions. *Phlomis tuberosa* is found on steppe slopes, steppe meadows, arid lands, shrubby and semi-desert areas (Pavlov, 1964).

Historically, *Phlomis* has been used in various cultures. In ancient Greece and Rome, the plant was used to treat wounds and inflammation. The Latin name of the plant - *Phlomis* - comes from the word "flame", which is due to the fact that in ancient times the leaves of the plant were used as oil lamps. It is also used as an aromatic plant in perfumery, in Mongolia, where tea is brewed from its leaves, local healers, having learned about the beneficial properties of *Phlomis tuberosa*, prepared infusions and tinctures from its various parts to treat chronic diarrhea and lung diseases (Fathali et

al., 2024). *Phlomis tuberosa* is widely used in folk medicine and has anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, regenerating, antioxidant, tonic and hypoallergenic effects. For medicinal purposes, the underground part of *Phlomis tuberosa* is used - stems, leaves, buds and flowers. The optimal period for the preparation is the period of mass flowering of the plant, which, depending on the region of growth, is from May to September. At the same time, the raw material is rich in a large concentration of biologically active substances, including flavonoids, iridoids, tannins and essential oils (Echishvili, et al., 2017). Scientific studies confirm that iridoids in *Phlomis tuberosa* affect the process of blood formation, accelerating it and effectively combating anemia (Kruglaya, 2008). The extracts of the raw material contain a number of bioactive compounds, such as flavonoids, phenolic acids and alkaloids, which have a strong antiinflammatory effect. These substances reduce the synthesis of pro-inflammatory cytokines and inhibit the activity of enzymes involved in inflammatory processes. Thus, drugs based on *Phlomis tuberosa* are effectively used to treat inflammatory diseases. In medicine, extracts and individual compounds of *Phlomis tuberosa* are used in the form of ointments and creams to treat skin diseases such as eczema and dermatitis, and plant tinctures and decoctions to strengthen the immune system and treat colds. These plant-based drugs have antiseptic and immunostimulating effects, which makes them useful for the prevention and treatment of infections (Vagabova et al., 2017).

The development of drugs based on *Phlomis tuberosa* can help reduce dependence on synthetic drugs and develop domestic production of phytopharmaceuticals. In particular, extracts from this plant can be used to produce liquid dosage forms (tinctures, syrups, decoctions), solid dosage forms (tablets, capsules), and soft dosage forms for external application (ointments, creams, gels) for the treatment of various diseases.

Methods and materials. *Phlomis tuberosa* was collected in the summer of 2023. The first step in the analysis of the obtained medicinal plant raw materials is to conduct quantitative and qualitative analysis.

Quantitative indicators of plant raw materials: moisture content, ash content, extractive substances content.

The moisture content of medicinal plant raw materials is the mass loss due to hygroscopic moisture and volatile substances, determined during drying of the raw materials to a constant weight. The moisture content of plant raw materials should not exceed the norm, since high humidity reduces its quality during storage. The methods of the 11th edition of the MF of the Republic of Kazakhstan were used to determine the moisture content of raw materials. A sample of medicinal plant raw materials was crushed to a particle size of about 10 mm, mixed, and two samples weighing 3 and 5 g were obtained, with a measurement error of 0.01 g. Each sample was placed in a pre-dried box, weighed together with the lid, and placed in a drying cabinet heated to 100-105°C. The drying time was counted from the moment the temperature in the drying cabinet reached 100-105°C again. The initial weighing of the herbs was carried out after 2 hours. Drying was carried out to a constant mass. If the difference between the two weights after 30 minutes of drying in a desiccator and 30 minutes of cooling did not exceed 0.01 g, a constant mass was considered to be achieved (Tulegenova, 2009).

Total ash is the incombustible residue obtained as a result of burning medicinal plant raw materials and heating them to a constant weight at 500°C. The average ash residue was 2%. Determining the total ash content is an important parameter in the analysis of raw materials, since it indicates the content of mineral substances that affect their quality and nutritional value. The methods of the MF RK, XI edition, were used to determine the total ash content. After the raw materials were burned, the ash remaining was placed in a muffle furnace and left for additional combustion at high temperature. The burnt ash was removed from the muffle furnace, cooled, weighed to constant weight, and any carbon deposits were removed with hydrogen peroxide, concentrated nitric acid, or ammonium nitrate solution. The final ash mass was compared with the initial mass, and the difference in mass indicated the amount of organic components burnt. This process allowed the total mineral content of the plant materials to be estimated (Ministerstvo zdavookhraneniya SSSR, 1987). Analysis of plant extracts by HPLC.

Sample preparation and analysis methods: 10 µl of the extract were collected and analyzed by highperformance liquid chromatography (HPLC) on a liquid chromatograph (Shimadzu LC-40).

Analysis conditions: sample volume 10 µl, sample injection temperature 40°C. Separation was performed using a C18 chromatographic column with a length of 25 cm, an internal diameter of 4.6 mm and a film thickness of 5 µm at a constant flow rate of acetonitrile and 1% acetic acid in water at 1 ml/min in different ratios. Shimadzu LabSolutions software was used to control the liquid chromatography system, record and process the obtained results and data. Data processing included determining retention times and peak areas.

The working principle of the vitamin A determination method.

Determination of vitamin A content by high-performance liquid chromatography. By the method of quantifying vitamin A in food products using high-performance liquid chromatography (HPLC), a food sample is saponified to release retinol from The Matrix. After saponification, retinol is extracted with an organic solvent. This method allows you to determine the content of all-trans-retinol and 13-CIS-retinol in various food products. (Figure 2). Determination of the mass concentration of vitamins and carotenoids is based on measuring the Peak area (or height) with the appropriate detection wavelength for each compound after the introduction of analyzed samples and calibration solutions into the chromatographic system (Zhilinskaya et al., 2018).

Determination of the content of vitamin C in dietary supplements.

Based on the direct determination of the content of ascorbic acid (AC), without taking into account the oxidized form of vitamin C - dehydroascorbic acid (DAC).

Detection by visual titration using digital oxidation of AC with 2,6-dichlorophenolindophenolate sodium solution is the simplest and most accessible for daily analysis purposes. However, this method is only used for research objects that produce light-colored extracts. In other cases, the method of Potentiometric titration, spectrophotometric and fluorometric methods of analysis applied to any research objects (GOST P EH 14130–2010).

To account for the total concentration of vitamin C, dehydroascorbic acid is reduced

to ascorbic acid using a reducing agent such as L-cysteine. The resulting solution is analyzed by high-performance liquid chromatography (HPLC) using spectrophotometric detection at a wavelength of 265 Nm. This method allows you to determine the total amount of vitamin C (Ascorbic and dehydroascorbic acids) in food products and biologically active additives .

The principle of operation of the method for determining the content of vitamin D.

"Determination of the content of cholecalciferol (vitamin D) and ergocalciferol (vitamin d₂) by highperformance liquid chromatography" establishes a method for the quantitative determination of vitamins d₂ and D in food products using HPLC. This method involves saponification, extraction, purification, and chromatographic analysis steps to accurately measure the amount of these vitamins (Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora, 2004)

Determination of the amount of vitamin E.

The procedure" determination of the content of vitamin E (Alpha-, Beta-, Gamma - and Deltatocopherols) by high-performance liquid chromatography " establishes a method for quantifying various forms of vitamin E in food products using high-performance liquid chromatography (HPLC). The method includes the following stages: sample preparation, during which a food sample is saponified to remove tocopherols from The Matrix; extraction, in which tocopherols are extracted with an organic solvent after saponification; purification of the extract, removal of impurities that interfere with the analysis; chromatographic analysis of the purified extract by HPLC using a suitable detector, usually spectrophotometric. This method allows you to accurately and reliably determine the content of various forms of vitamin E in food products, which is important for assessing their nutritional value and ensuring safe consumption (GOST EN 12822-2014.).

Results and Discussion. The moisture content of the studied plant raw materials is 5.88%, ash content is 7.46%, and the content of extractives is 34.04%. These indicators allow us to determine the amount of biologically active substances in the plant. In particular, flavonoids were found in the amount of 1.12%, carbohydrates - 0.216%, free organic acids - 0.571%, coumarins - 0.02%, tannins - 1.0%, and alkaloids - 1.03%. Flavonoids are widespread compounds in plants and have antioxidant, anti-inflammatory, antiviral, and antitumor properties. Carbohydrates play an important role as a source of energy, and free organic acids participate in metabolic processes. Coumarins improve blood clotting, tannins have an antiseptic effect, and alkaloids affect the nervous system. Thus, the high content of biologically active substances in the studied plant raw materials increases its pharmacological value and can serve as the basis for its use for medicinal purposes.

The extract of plant raw materials was analyzed by HPLC method, and the presence of Naringin and Phloridzin was determined.

Table 2 - Presence of naringin and phloridzin in the extract

Retention time	Area	Height	Concentration	Unit	Name
17,431	51639	3162	24,973	mg/l	Naringin
19,522	195304	9852	84,048	mg/l	Phloridzin

Naringin is a plant flavonoid that is often found in citrus fruits. It gives citrus fruits a sour taste. Taking naringin has a beneficial effect on the body: it improves metabolism, has an antioxidant effect, helps prevent atherosclerosis, reduces the amount of cholesterol in the body, affects the immune system, restores the composition of the intestinal microflora. In addition, naringin helps to increase the elasticity of blood vessels, strengthens delicate capillaries and prevents bleeding (Wang et al., 2006: 247-253).

Floridzin is an important phytochemical component, first isolated from the bark of an apple tree. Numerous studies have shown that floridzine has several pharmacological properties, such as an antihyperglycemic effect, acts as a natural antioxidant, eliminates free radicals, increases the activity of antioxidant enzymes, and slows down the oxidation process. It also performs a hepatoprotective function, has anti-inflammatory and antibacterial effects. He was also active in fighting cancer and improving heart function (Chiryapkin et al., 2023).

Determination of the content of flavonoids in the composition of the *Phlomis tuberosa* plant according to GOST 57990-2017 using the HPLC method. (Figure 1).

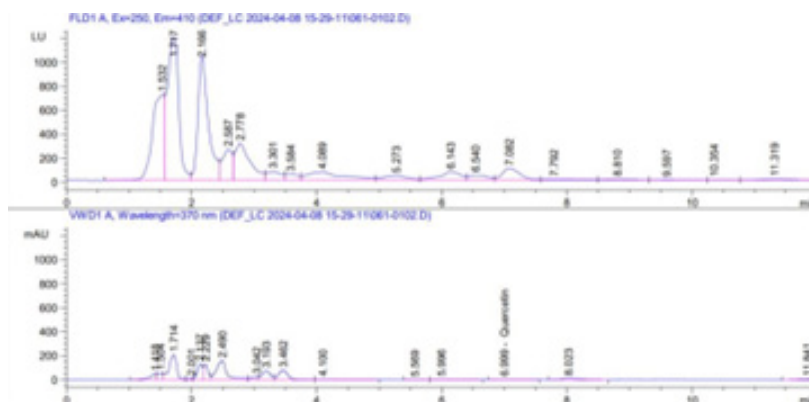


Figure 1 - Chromatographic indication of quercetin from plant raw materials of the *Phlomis tuberosa*

Analysis of flavonoids in the plant *Phlomis tuberosa* revealed that the amount of quercetin was 0.182 mg/g. Quercetin is a widely distributed flavonoid in plants, known for its antioxidant, anti-inflammatory, antiviral and antitumor properties. The presence of quercetin in plant raw materials increases its pharmacological properties and may serve as the basis for its use in medicinal purposes. Quercetin is a potent antiviral compound that can inhibit the early stages of viral infection, inhibit viral replication and reduce inflammation caused by viral infection. Due to its antiviral activity, quercetin helps to strengthen immunity against viruses that cause common diseases. Quercetin is a potent antioxidant, antiviral, anti-inflammatory, antitumor, anti-allergic and immunomodulatory (Rupasinghe & Yasmin, 2010: 251-257).

The chromatograms obtained during the study clearly separated peaks of all-trans-retinol and 13-cis-retinol (vitamin A), as well as ascorbic acid (vitamin C) in the studied samples are shown in Figures 2 and 3. Analysis of the chromatograms showed that the

HPLC method allows for the effective separation and quantitative determination of the indicated forms of vitamins. The results obtained indicate the presence of both all-trans-retinol and 13-cis-retinol in the studied samples, which confirms the effectiveness of this selected method for the analysis of various isomers of vitamin A. Furthermore, for vitamin C (ascorbic acid), the method based on direct determination without taking into account its oxidized form, dehydroascorbic acid, showed high specificity and sensitivity.

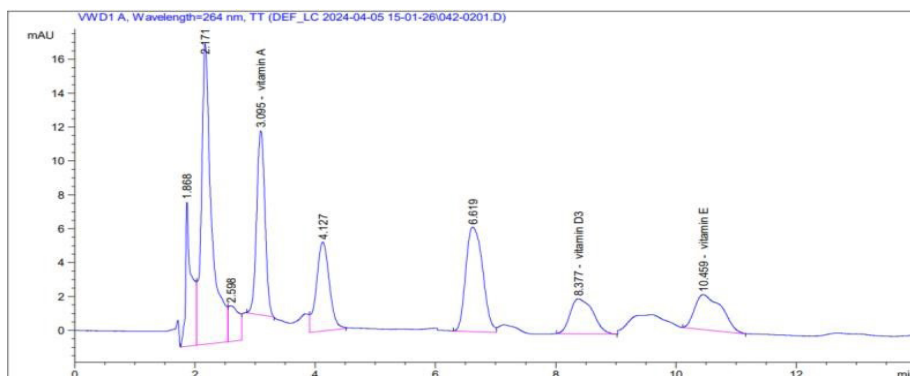


Figure 2 - Chromatographic indication of vitamin A obtained from plant raw materials of the *Phlomis tuberosa*

In this experiment, it was found that ascorbic acid (vitamin C) is found in high quantities in plant raw materials as the main biologically active form. Ascorbic acid plays many important functions in the human body. Vitamin C strengthens the immune system, accelerates the healing process of wounds, affects the synthesis of a number of hormones, regulates blood formation and normalizes capillary permeability. In addition, it regulates metabolism, removes toxins and has other beneficial effects on the body. Thus, the high content of ascorbic acid in plant raw materials makes it valuable for human health, as it participates in many physiological processes and strengthens overall health.

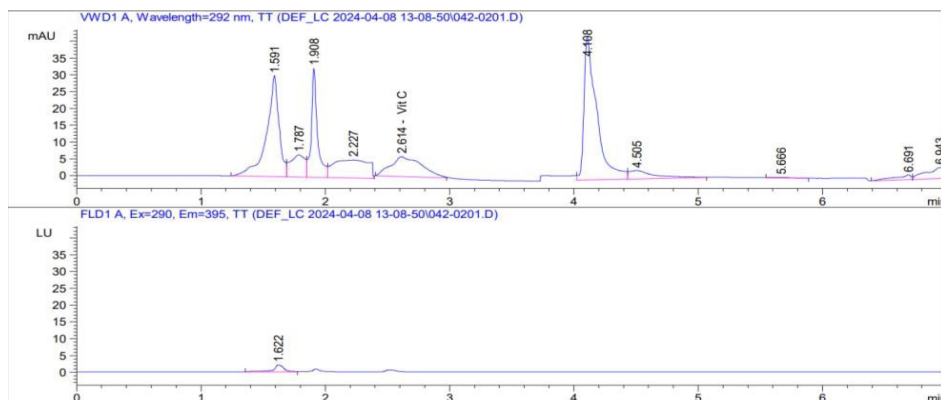


Figure 3 - Chromatographic indication of vitamin C from plant raw materials of the *Phlomis tuberosa*

Table 2 - Quantitative indicators of vitamins contained in the *Phlomis tuberosa*

№	Name	Number	Unit of measurement
1	Vitamin C	47,35	mg/100g
2	Vitamin A	6,74	mcg/g
3	Vitamin D	2,226	mcg/g
4	Vitamin E	17,838	mcg

The results of the analysis of vitamins contained in the *Phlomis tuberosa* plant showed that the composition of the selected plant raw materials, the content of vitamin C found in the amount of 47.35 mg/100g, the *Phlomis tuberosa* plant raw materials are rich in ascorbic acid, which has a positive effect on the immune, digestive, respiratory systems. It also ensures the normal structure of blood vessels, plays an important role in the good development of metabolism. Vitamin C is necessary for the normal performance of a number of vital functions, such as cell integrity, reparative processes, immune reactivity and growth.

Conclusion. The content and quantitative and qualitative composition of moisture, ash content and extractive substances of the *Phlomis tuberosa* plant are determined. When checking the flavonoids contained in the studied plant, the quercetin content showed 0.182 mg/g. They play an important role in the Prevention of various infectious diseases due to their antiviral activity. Also, using the HPLC method, it was found that the plant raw materials contain Naringin and Phloridzin. Their presence opens up prospects for the development of phytotherapeutic drugs that can be used not only to prevent infectious diseases, but also to improve the general condition of the body. By studying vitamins A, D, E and C, it was found that the medicinal plant *Phlomis tuberosa* has a high vitamin C content. Due to the pronounced antioxidant properties of vitamin C, the medicinal plant helps to strengthen the immune system and treat skin diseases. Based on the components identified from plant raw materials, one can also consider the possibility of creating drugs with immunostimulating, antiseptic effects. This allows them to be used in the treatment and Prevention of not only colds, but also various skin diseases, such as eczema and dermatitis.

In conclusion, the study of the composition of *Phlomis tuberosa* confirms that it is a valuable raw material for the creation of new herbal preparations with proven medicinal properties. This opens up wide opportunities for the use of this plant in medical practice and phytopharmaceuticals.

Литература

Fatemeh Fathali, Manijeh Shokri Saravi, Paria Zarei Vanajemi, Majid Tafrihi (2024) *Phlomis* genus: bridging tradition and science in medicinal research—a review of phytochemistry and pharmacological properties. *Natural Product Research*.

Rupasinghe H.P.V., Yasmin A. (2010) Ингибирование окисления водных эмульсий жирных кислот омега-3 и рыбьего жира флоретином и флоридзином. *Molecules*, — 15(1), — С. 251-257. <https://doi.org/10.3390/molecules15010251>

Van Der Kooy F., Maltese F., Young H.C., Hye K.K., Verpoorte R. (2009) Quality control of herbal material and phytopharmaceuticals with MS and NMR based metabolic fingerprinting. *Planta Medica*. — 75(8). — P. 763-775.

Wang M., Chao P., Hou Y., Hsiu S., Wen K., Tsai S. (2006) Pharmacokinetics and conjugation metabolism of naringin and naringenin in rats after single dose and multiple dose administrations. *J Food Drug Anal*, — 14(3), — P. 247-253. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33751370317&partnerID=10&rel=R3.0>

Варагова Ф.А., Раджабов Г.К., Мусаев А.М. (2017) Исследование водно-спиртовых экстрактов видов рода Зопник (*Phlomis* L.) из природной флоры Дагестана на содержание фенольных соединений. *Современные проблемы науки и образования*, — №5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27031>

ГОСТ EN 12822—2014 (2014) Продукты пищевые. Определение содержания витамина Е (токоферолов) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293769/4293769546.pdf>

ГОСТ Р ЕН 14130-2010 (2010) Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. URL: <https://www.hplc.today/hplc-complexes>

Жилинская Н.В., Бессонов В.В., Громоных П.С., Богачук М.Н. (2018) Развитие современной методической базы контроля содержания витаминов в пищевой продукции и биологически активных добавках к пище. *Вопросы питания*, — 87(6), — С. 106–116.

Круглая А.А. (2008) Фармакогностическое изучение зопника колочего и зопника клубненосного, произрастающих на Северном Кавказе. — 21 с.

Министерство здравоохранения СССР (1987) Государственная фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. 11-е изд., доп. Медицина, Т. I, II, — 24-25.

Павлов Н.В. (1964) Флора Казахстана (в 9 т.) Том VII. Алма-Ата: Издательство АН КазССР., — С. 389-397.

Тугеленова А.У. (ред.) (2009) Государственная фармакопея Республики Казахстан. Т. 2: монография. Алматы: Жибек жолы. — 804 с.

Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России (2004) Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. — 240 с.

Чиряпкин А.С., Золотых Д.С., Поздняков Д.И. (2023) Обзор биологической активности флавоноидов: кверцетина и кемпферола. *Juvenis scientia*, — 9(2), — С. 5-20. https://doi.org/10.32415/jscientia_2023_9_2_5-20

Эчишвили Э.Э., Портнягина Н.В., Пунегов В.В., Зайнуллина К.С. (2017) Биоморфологическая и биохимическая характеристика растений *Phlomis tuberosa* (Lamiaceae) в культуре в средней подзоне тайги Республики Коми. *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар*. — №2. — 1 с.

References

Chiryapkin A.S., Zolotykh D.S., Pozdnyakov D.I. (2023) Obzor biologicheskoy aktivnosti flavonoidov: kvercetina i kemferola [Review of the biological activity of flavonoids: quercetin and kaempferol]. *Juvenis scientia*, — 9(2). — P. 5–20. https://doi.org/10.32415/jscientia_2023_9_2_5-20 (in Russian)

Echishvili E.E., Portnyagina N.V., Punegov V.V., Zaynullina K.S. (2017) Biomorfologicheskaya i biokhimicheskaya kharakteristika rasteniy *Phlomis tuberosa* (Lamiaceae) v kulture v sredney podzone taygi Respubliki Komi [Biomorphological and biochemical characteristics of *Phlomis tuberosa* (Lamiaceae) plants in cultivation in the middle taiga zone of the Komi Republic]. *Institut biologii Komi NTs UrO RAN, Syktyvkar*, — №2. — 1 p. (in Russian)

Fatemeh F., Shokri Saravi M., Zarei Vanajemi P., Tafrihi M. (2024) *Phlomis* genus: bridging tradition and science in medicinal research—a review of phytochemistry and pharmacological properties. *Natural Product Research*. (in English)

Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii (2004) Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche [Guidelines for quality control and safety of dietary supplements]. — 240 p. (in Russian)

GOST EN 12822-2014 (2014) Produkty pishchevye. Opredelenie soderzhaniya vitamina E (tokoferolov) metodom vysokoeffektivnoy zhidkostnoy khromatografii [Food products. Determination of vitamin E (tocopherols) by high-performance liquid chromatography]. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293769/4293769546.pdf> (in Russian)

GOST R EN 14130-2010 (2010) Produkty pishchevye. Opredelenie vitamina C s pomoshch'yu vysokoeffektivnoy zhidkostnoy khromatografii [Food products. Determination of vitamin C by high-performance liquid chromatography]. <https://www.hplc.today/hplc-complexes> (in Russian)

Kornilov O.A. (2011) Jazykovye kartiny mira kak proizvodnye nacional'nykh mentalitetov [Linguistic worldviews as derivatives of national mentalities]. Moscow: KDU. — 350 p. (in Russian)

Kruglaya A.A. (2008) Farmakognosticheskoe izuchenie zopnika kolyuchego i zopnika klubnenosnogo, proizrastayushchikh na Severnom Kavkaze [Pharmacognostic study of *Phlomis russeliana* and *Phlomis tuberosa* growing in the North Caucasus]. — 21 p. (in Russian)

Ministerstvo zdravookhraneniya SSSR (1987) Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR. Vyp. 2. Obshchie metody analiza. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e [State Pharmacopoeia of the USSR. Vol. 2. General Analysis Methods. Medicinal Plant Raw Materials]. — 11th ed. — Meditsina. — Vol. I-II. — P. 24-25. (in Russian)

Pavlov N.V. (1964) Flora Kazakhstana (v 9 t.), Tom VII [Flora of Kazakhstan, Vol. VII]. Alma-Ata: Izd-vo AN KazSSR. — P. 389–397. (in Russian)

Rupasinghe H.P.V., Yasmin A. (2010) Ingibirovanie okisleniya vodnykh emulsiy zhirnykh kislot omega-3 i ryb'ego zhira floretinom i florigidzinom [Inhibition of oxidation of omega-3 fatty acid aqueous emulsions and fish oil by phloretin and phloridzin]. *Molecules*, — 15. — P. 251–257. <https://doi.org/10.3390/molecules15010251> (in English)

Tulegenova A.U. (ed.) (2009) Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Kazakhstan, T.2: monografiya [State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan, — Vol. — 2: Monograph]. Almaty: Zhibek zholy. — 804 p. (in Russian)

Vagabova F.A., Radzhabov G.K., Musaev A.M. (2017) Issledovanie vodno-spirovnykh ekstraktov vidov roda Zopnik (*Phlomis* L.) iz prirodnoy flory Dagestana na sodержanie fenol'nykh soedineniy [Study of aqueous-alcohol extracts of *Phlomis* species from the natural flora of Dagestan for phenolic compounds content]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, — №5. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27031> (in Russian)

Van Der Kooy F., Maltese F., Young H.C., Hye K.K., Verpoorte R. (2009) Quality control of herbal material and phytopharmaceuticals with MS and NMR based metabolic fingerprinting. *Planta Medica*, — 75. — P. 763–775. (in English)

Wang M., Chao P., Hou Y., Hsiu S., Wen K., Tsai S. (2006) Pharmacokinetics and conjugation metabolism of naringin and naringenin in rats after single dose and multiple dose administrations. *J Food Drug Anal.* — 14. — P. 247–253. <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33751370317&partnerID=10&rel=R3.0> (in English)

Zhilinskaya N.V., Bessonov V.V., Gromovych P.S., Bogachuk M.N. (2018) Razvitie sovremennoy metodicheskoy bazy kontrolya sodержaniya vitaminov v pishchevoy produkcii i biologicheskii aktivnykh dobavkakh k pishche [Development of a modern methodological base for vitamin content control in food products and dietary supplements]. *Voprosy pitaniya*, — 87(6). — P. 106–116. (in Russian)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 463 (2025), 69–85

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.282>

UDC 547.022

© A. Zhanzhaxina*, Zh. Ibatayev, A. Ashirbek, 2025.

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan.

E-mail: almira1986@inbox.ru

**ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. (ARTEMISIA ABROTANUM):
LITERATURE REVIEW ON CHEMICAL COMPOSITION AND
BIOLOGICAL ACTIVITY**

Zhanzhaxina — PhD, Lecturer of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: almira1986@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-7388-292X;

Zh. Ibatayev — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: zharkynastana@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2261-222X;

Ashirbek — Lecturer of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: aynur.ashirbekova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5933-683.

Abstract. The genus of *Artemisia* is the largest plant genera with about 500 species, which has potential sources of new natural biological active products and chemical structures. *Artemisia proceriformis* L. is one of the better-known medicinal species of this genus and it has an important position in the European and Asian medicine. The aim of this study is to review the chemical composition and biological activity of *A. proceriformis*. **Results.** In this review, we have compiled data of recent literature on essential oil and extracts compositions and their biological activities. These data were obtained from international databases, such as SciFinder and PubChem. The component composition of essential oil's *A. proceriformis* varies depending on the place of growing and collection. However, it was found that the main components of this essential oil were α -thujone, β -thujone, 1.8-cineol, 1.4-cineole, aromadendrene, isogermacrene D, davanone, trans-piperitol, 2-hydroxy-1,8-cineole, β -eudesmol and camphor. Also, according to literature, this essential oil was showed antimicrobial, anticancer and antioxidant activities. The main secondary metabolites of *A. proceriformis* belonging to the group flavonoids, sesquiterpene lactones, phenolic acids, coumarines and due to this can show different types of bioactivities. **Scientific novelty.** As a result of the review, it can be concluded that there is no data on the component composition of extracts

of *A. proceriformis* growing in Kazakhstan. *Practical value.* In this review we have combined the data into the table and made this data more accessible.

Key words: *Artemisia proceriformis*, *Artemisia abrotanum*, mugwort, wormwood, sagebrush, essential oils, secondary metabolites, biological activity

Acknowledgments, funding: *This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP 19679527 and BR24992761).*

©А. Жанжаксина*, Ж. Ибатаев, А. Әшірбек, 2025.

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Астана, Қазақстан.

E-mail: almira1986@inbox.ru

ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. (*ARTEMISIA ABROTANUM*): ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ БОЙЫНША ӘДЕБИ ШОЛУ

А. Жанжаксина — PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің оқытушысы, Астана, Қазақстан,

E-mail: almira1986@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-7388-292X;

Ж. Ибатаев — химия ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің қауымдастырылған профессоры, Астана, Қазақстан,

E-mail: zharkynastana@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2261-222X;

А. Әшірбек — С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің оқытушысы, Астана, Қазақстан,

E-mail: aynur.ashirbekova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5933-683.

Аннотация. *Artemisia* тұқымдасы – 500-ге жуық түрі бар ірі өсімдік тұқымдасының бірі, және жаңа биологиялық белсенді қосылыстар мен химиялық құрылымдардың табиғи көзі болып табылады. *Artemisia proceriformis* L. осы тұқымдастың ең танымал дәрілік түрінің бірі, еуропалық және азиялық медицинада маңызды орны бар өсімдік. Бұл зерттеудің мақсаты – *A. proceriformis* химиялық құрамы мен биологиялық белсенділігіне шолу жасау. *Нәтижелері.* Бұл шолуда біз эфир майлары мен сығындыларының құрамы және олардың биологиялық белсенділігі туралы соңғы әдебиет деректерін жинадық. Бұл деректер SciFinder және PubChem сияқты халықаралық дерекқорлардан алынды. *A. proceriformis* эфир майының компоненттік құрамы өсу және жиналу орнына байланысты өзгереді. Алайда, бұл эфир майының негізгі компоненттері α -туйон, β -туйон, 1,8-цинеол, 1,4-цинеол, аромадендрен, изогермакрен D, даванон, транс-пиперитол, 2-гидрокси-1,8-цинеол, β -эудесмол және камфора екені анықталды. Сондай-ақ, әдебиеттерге сәйкес, бұл эфир майы микробқа қарсы, ісікке қарсы және антиоксиданттық белсенділікті көрсетті. *A. proceriformis*-тің негізгі екіншілік метаболиттері флавоноидтар, сесквитерпендік лактондар, фенол қышқылдары, кумариндер тобына жатады және осыған байланысты олар биологиялық белсенділіктің әртүрлі

түрлерін көрсетеді. *Ғылыми жаңалығы.* Жасалған шолу нәтижесінде Қазақстанда өсетін *A. proceriformis* сығындыларының химиялық құрамы туралы деректер жоқ деген қорытынды жасауға болады. *Практикалық құндылығы.* Бұл шолуда біз деректерді кесте түрінде жүйелендірдік және деректерді қолжетімді еттік. Бұл материалдар осы өсімдік түрін одан әрі зерттеуді жеңілдетуге көмектеседі және жаңа биологиялық белсенді қосылыстарды іздеу үшін пайдалы болады.

Түйін сөздер: *Artemisia proceriformis*, *Artemisia abrotanum*, кәдімгі жусан, сүректі жусан, бұталы жусан, эфир майлары, екіншілік метаболиттер, биологиялық белсенділік

©А. Жанжаксина*, Ж. Ибатаев, А. Аширбек, 2025.

Казахский агротехнический исследовательский университет

им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан.

*E-mail: almira1986@inbox.ru

ARTEMISIA PROCERIFORMIS L. (*ARTEMISIA ABROTANUM*): ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

А. Жанжаксина — PhD, преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
E-mail: almira1986@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-7388-292X;

Ж. Ибатаев — кандидат химических наук, ассоциированный профессор Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
E-mail: zharkynastana@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2261-222X;

А. Аширбек — преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
E-mail: aynur.ashirbekova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5933-683.

Аннотация. Род *Artemisia* является крупнейшим родом растений, насчитывающим около 500 видов, который имеет потенциальные источники новых природных биологически активных продуктов и химических структур. *Artemisia proceriformis* L. является одним из наиболее известных лекарственных видов этого рода и занимает важное место в европейской и азиатской медицине. Целью данного исследования является обзор химического состава и биологической активности *A. proceriformis*. **Результаты.** В данном обзоре мы собрали данные недавней литературы по составам эфирных масел и экстрактов, и их биологической активности. Эти данные были получены из международных баз данных, таких как SciFinder и PubChem. Компонентный состав эфирного масла *A. proceriformis* варьируется в зависимости от места произрастания и сбора. Однако было установлено, что основными компонентами этого эфирного масла являются α-туйон, β-туйон, 1,8-цинеол, 1,4-цинеол, аромадендрен, изогермакрен D, даванон, транс-пиперитол, 2-гидрокси-1,8-цинеол, β-эудесмол и камфора. Также, согласно литературным данным, это эфирное масло проявило антимикробную, противораковую и антиоксидантную активность. Основные вторичные

метаболиты *A. proceriformis* относятся к группе флавоноидов, сесквитерпеновых лактонов, фенольных кислот, кумаринов и благодаря этому они могут проявлять различные виды биоактивности. *Научная новизна.* В результате сделанного обзора можно заключить, что данные о компонентном составе экстрактов *A. proceriformis*, произрастающего в Казахстане, отсутствуют. *Практическая ценность.* В данном обзоре мы объединили данные в таблицу и сделали эти данные более доступными. Эти материалы могут помочь упростить дальнейшие исследования этого вида растений и будут полезны для поиска новых биологически активных соединений.

Ключевые слова: *Artemisia proceriformis*, *Artemisia abrotanum*, полынь обыкновенная, полынь древовидная, полынь кустарниковая, эфирные масла, вторичные метаболиты, биологическая активность

Introduction. *Artemisia* genus is one of the largest plant genera to the *Asteraceae* family, with about 500 species distributed mostly South Asia, North America and European countries (Abad, et al., 2012) These species are called by the common names mugwort, wormwood and sagebrush (Bora, et al., 2011). This well-known medicinal plant genus has been used traditionally in a form of infusions, tinctures and decoctions. Hydro/alcoholic liquid *Artemisia* species extracts improve digestion, stimulate the appetite and are used for dyspepsia, acid gastritis, gastrointestinal tract diseases, liver diseases, the gall bladder, insomnia, malaria, influenza and to treat upper respiratory tract maladies. Additionally, they have been employed in the treatment of bronchial asthma, rheumatism, eczema, dysentery, rheumatism, anemia, jaundice, obesity, meteorism, migraine, hypertension and tuberculosis. Central Asia's folk medicine uses the infusion of *Artemisia* species flowers for ulcerative colitis, an inflammatory process in the cecum, hemorrhoids, bad breath, epilepsy and several other diseases (Koul, et al., 2018, Nurlybekova, et al., 2022). *Artemisia* species has a great economic and medicinal perspective due to the fact of the isolation of artemisinin, which is the main phytochemical of *Artemisia annua* L., is represented as an antimalarial drug (Zaman, et al., 2021).

Scientists from Kazakhstan are actively studying the chemical composition and biological activity of essential oils (Suleimen, et al., 2022, Suleimen, et al., 2022) and extracts (Jalmakhanbetova, et al., 2021, Suleimen, et al., 2022, Suleimen, et al., 2022, Suleimen, et al., 2022) of a number of wormwoods of the Kazakhstani flora.

One of the better-known medicinal species of this genus in Europe and Asia is *Artemisia proceriformis* (*Artemisia abrotanum*). This species occurs in the South-Eastern part of Asia and in the countries of Central and North-Western Europe. This species also has its natural habitats in Asia Minor, Central Asia, and Arabian Peninsula (Melzig, et al., 2019).

Object of the study. *A. proceriformis* (southernwood) is a shrubby perennial plant, the height and width 3-5 feet, it consists of yellowish-white flowers, and has a fragrance similar to cola or tangerine (Amirmohammadi, et al., 2014) (Fig.1). *A. proceriformis* was traditionally used as an antiseptic, astringent, emmenagogue, antidiabetic, expectorant, febrifuge, stomachic, antimalarial, anti-inflammatory, vermifuge, and spasmolytic and

used for treating upper respiratory tract disease, antibacterial, antifungal, cancer, cough, and fever (Sureshn, et al., 2011).



Fig. 1. *Artemisia proceriformis* L. (*Artemisia abrotanum*)

Methodology. The goal of this study is to review the chemical composition and biological activity of *A. proceriformis* for further research of this plant. In this review, we have compiled data of recent literature on essential oil and extracts compositions and their biological activities. These data were obtained from international databases, such as SciFinder and PubChem. The component composition of essential oils is presented as predominant components, and the data on the biological activity of these essential oils are also given. The secondary metabolites of extracts and their biological activities are compiled as a table.

Results main content. Essential oil content and its biological activity of *Artemisia proceriformis*.

The main components present in *A. proceriformis* have focused mainly on the essential oil. The content and concentration of essential oil are variable and depend on the cultivation site, weather conditions, period of plant collection and other various factors.

According to the literatures, the main components of *A. proceriformis* essential oil's from Kazakhstan were α -thujone (66.3%), β -thujone (23.4%) and 1,8-cineol (3.1%) (Suleimenov, et al., 2010, Sampietro, et al., 2016), the essential oil obtained from the this herb growing in Lithuania were 1,4-cineole (4.1–13.1%), lavandulylbutanoate (0.8–4.7%), aromadendrene, (2.4–7.4%), isogermacrene D (5.2–15.7 %) (Saunoriute, et al., 2020), and 2-hydroxy-1,8-cineole, β -eudesmol, and camphor were the main components of this spiece from Egypt (Khalid, et al., 2020). Romanian scientists have

determined that the main component of the essential oil of this plant was davanone and its derivatives, trans-piperitol and estragole (Obistoiu, et al., 2014).

The essential oil of this plant from Iraq had a potent antimicrobial and anticancer effect. The authors attribute this fact due to its essential oil constituents: borneol, cymene, camphor, terpineol, eucalyptol, and aromadendrene (Almahdawy, et al., 2017). *A. proceriformis* essential oil's, collected in Yemen, showed antioxidant activity by the reducing power method and the TBARS method (Al-Zubairi, et al., 2017).

It should be noted that Kazakh chemists have developed a method for isolating and purifying valuable α -thujone and β -thujone from the essential oil of *A. proceriformis* (Patent No 7102 KZ, 2022).

Secondary metabolites from Artemisia proceriformis and their bioactivities. A broad variety of bioactivities of *Artemisia* species owes to the presence of several active secondary metabolites, such as lignans, sesquiterpenoids, flavonoids, coumarins, glycosides, caffeoylquinic acids, sterols and polyacetylenes (Penkala-Gaw, et al., 2013, Watsan, et al., 2002). Sesquiterpene lactones, which are typical for *Artemisia*, are extremely diverse and plentiful and exhibit a wide range of therapeutic effects: anticancer, antimalarial, anti-inflammatory, immunomodulatory, antiulcerogenic, antibacterial, antifungal and antiviral effects (Ivanescu, et al., 2015).

Among secondary metabolites of *A. proceriformis*, compounds with phenolic structures can be distinguished. Some data indicate the presence of phenolic acids. This compounds present in the leaves of *A. proceriformis* growing in Saudi Arabia, was dominated by rosmarinic, chlorogenic, caffeic and isochlorogenic acids (Baiceanu, et al., 2015). These metabolites were isolated mainly from alcoholic (methanol, ethanol) extracts. Detailed data on secondary metabolites and their biological activity are given in Table 1, 2.

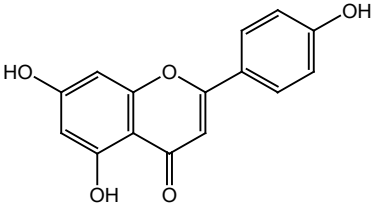
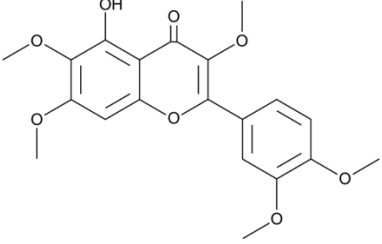
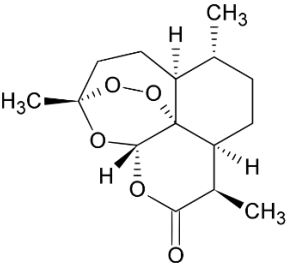
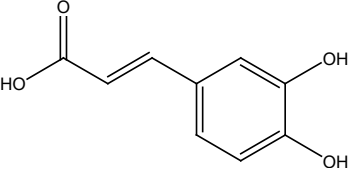
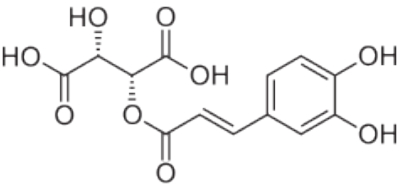
Table 1 – Secondary metabolites of *A. proceriformis* and their bioactivities

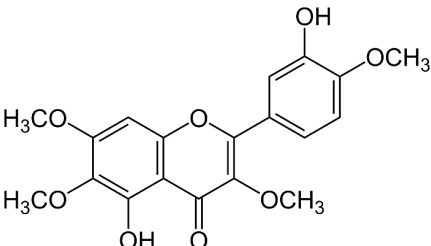
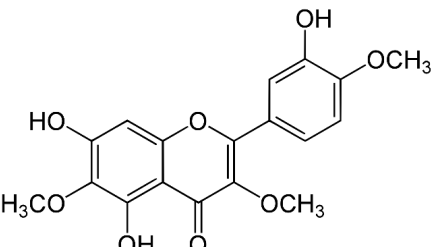
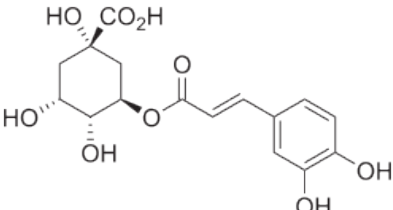
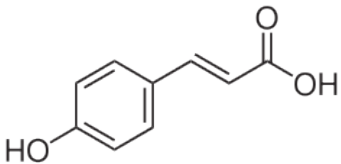
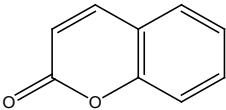
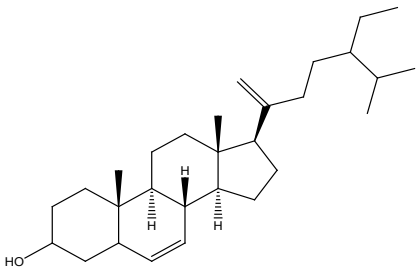
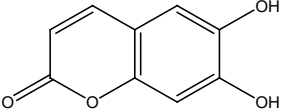
NN	Group of compounds	Compounds	Activity
1	Flavonoids	1. Rutoside (Ruminska, et al., 1990).	1. Antimicrobial, antifungal and anti-allergic agent (Al-Dhabi, et al., 2015).
		1. Apigenin; 2. Artemisetin; 3. Hyperoside; 4. Isoquercitrin; 5. Kaempferol; 6. Quercetol; 7. Luteolin; 8. Myricetin; 9. Patuletin (Baiceanu, et al., 2015)	1. Antioxidant, anti-inflammatory and chemoprevention activity (Cadona, et al., 2020); 2. - 3. Anti-inflammatory, antidepressant and anticancer effects (Xeu, et al., 2023); 4. Chemoprotective effects, both in vitro and in vivo, against oxidative stress, cancer, cardiovascular disorders, diabetes and allergic reactions (Valentova, et al., 2014); 5. Antioxidant and antibacterial agent, as well as a plant metabolite (CID 520863, 2022); 6. Possesses antioxidant properties and is used in the protection against various diseases such as osteoporosis, lung cancer and cardiovascular disease (David, et al., 2016); 7. Anticancer, anti-inflammatory, antioxidant, anti-allergic and antimicrobial activity (Shukla, et al., 2019); 8. Anti-inflammatory, antitumor, antibacterial, antiviral, antioxidant (Xiaominting, et al., 2021).

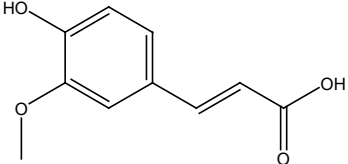
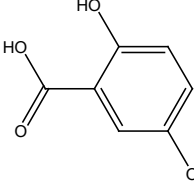
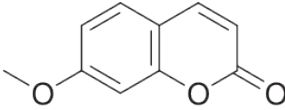
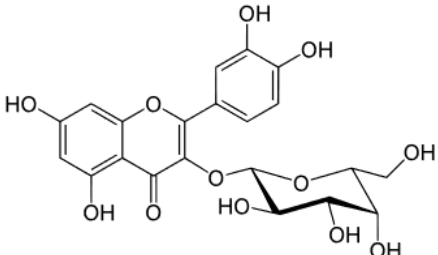
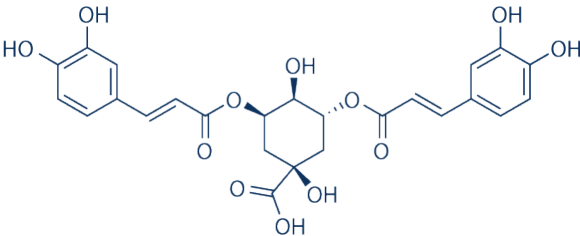
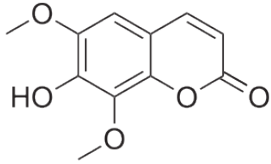
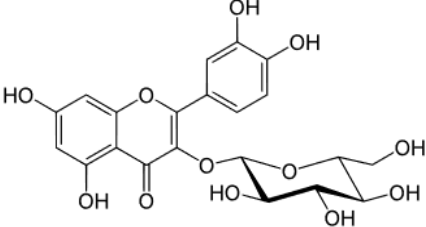
		1. Quercetin (Baiceanu, et al., 2015).	1. Possesses antioxidant properties and is used in the protection against various diseases such as osteoporosis, lung cancer and cardiovascular disease (David, et al., 2016).
		1. Centaureidine; 2. Casticin (Remberg, et al., 2004)	-
2	Sesquiterpene lactones	1. Santonin (Tunon, et al., 2006); 2. Artemisinin (Baiceanu, et al., 2015)	1. Anthelmintic (Sakipova, et al., 2017) and antipyretic activity (Mabtin, et al., 1988); 2. Antimalarial agent (Ferreira, et al., 2010).
3	Phenolic acids	1. Ferulic acid; 2. Gentisic acid; 3. Caftaric acid; 4. p-Coumaric acid; 5. Sinapic acid (Baiceanu, et al., 2015); 6. Chlorogenic acid (Ruminska, et al., 1990, Baiceanu, et al., 2015, Ozarowski, et al., 1987, Elansary, et al., 2020); 7. Isochlorogenic acid; 8. Protocatechuic acid; 9. Rosmarinic acid; 10. Syringic acid; 11. Vanillic acid (Elansary, et al., 2020); 12. Caffeic acid (Ruminska, et al., 1990, Baiceanu, et al., 2015, Ozarowski, et al., 1987, Elansary, et al., 2020).	1. Antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, anti- allergic, and antiviral effects (Pyrzynska, et al., 2024); 2. Anti-inflammatory, antigenotoxic, hepatoprotective, neuroprotective, antimicrobial, and antioxidant (Farshad, et al., 2019); 3. Antioxidant, anti-inflammatory, antimutagenic and anticarcinogenic, hepatoprotective (Mohamed, et al., 2020); 4. Antioxidant, anti-inflammatory, antimutagenic, antiulcer, antiplatelet and anticancer (Pei, et al., 2016); 5. Antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, anticancer, and anti-anxiety activity (Niciforovic, et al., 2014); 6,7. Antioxidant, liver and kidney protection, anti-bacterial, anti-tumor, regulation of glucose metabolism and lipid metabolism, anti-inflammatory, protection of the nervous system, and action on blood vessels (Wang, et al., 2022) 8. Antioxidant and anti-inflammatory (Liu, et al., 2002); 9. Anti-inflammation, anti-oxidation, anti-diabetes, anti-tumor, anti-virus, neuroprotection, hepatoprotection (Guan, et al., 2022); 10. Antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory and antiendotoxic (Srinivasulu, et al., 2018); 11. Antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory (Matejczyk, et al., 2024); 12. Antioxidant, anti-inflammatory and anticarcinogenic (Espindola, et al., 2019).
4	Coumarines	1. Isofraxidine (Sakipova, et al., 2017); 2. Umbelliferone (David, et al., 2016, Sakipova, et al., 2017); 3. Scopoletin (CID 5280863, 2022); 4. Herniarin (Sakipova, et al., 2017); 5. Esculetin (David, et al., 2016, Sakipova, et al., 2017); 6. Coumarin (David, et al., 2016).	1. Antioxidant, cardioprotective, weight loss, anti-osteoarthritis, antimalarial, and neuroprotective effects (Majnooni, et al., 2020); 2. Anti-inflammatory, anti-hyperglycaemic, molluscicidal and anti-tumor (Mazimba, et al., 2017); 3. Antimicrobial, anticancer, anti-inflammation, anti-angiogenesis, anti-oxidation, antidiabetic, antihypertensive, hepatoprotective, and neuroprotective properties and immunomodulatory effects (Gao, et al., 2024); 4. Antioxidant, cytotoxic (Jasim, et al., 2023); 5. Antitussive, anti-inflammatory, antioxidant, antibacterial, and antitumor (Liang, et al., 2017); 6. Anticoagulant, antimicrobial, anti-inflammatory, neuroprotective, antidiabetic, anticonvulsant and antiproliferative (Annunziata, et al., 2020).

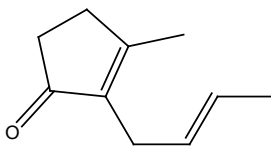
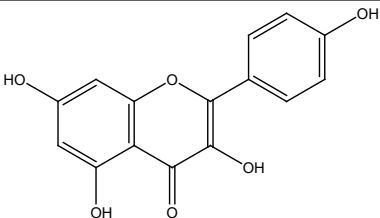
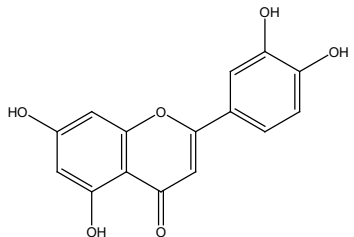
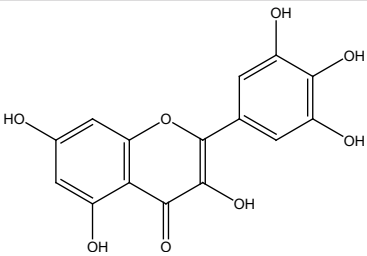
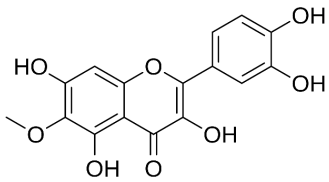
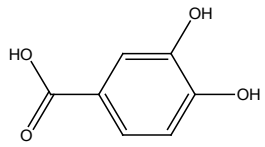
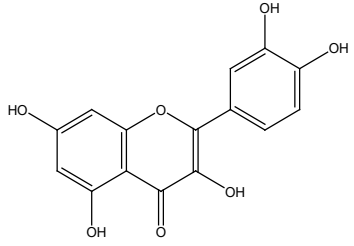
5	Sterols	24 β -ethylcholesta-6(7),20(21)-dien-3 β -ol (Serkenov, et al., 2014)	-
6	Alkaloids	Abrotine (Ur Rashid, et al., 2019)	-
7	Other compounds	<i>cis</i> -Jasmone (Tunon, et al., 2006)	-

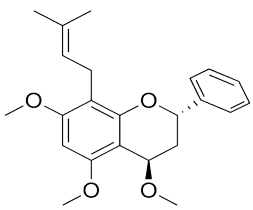
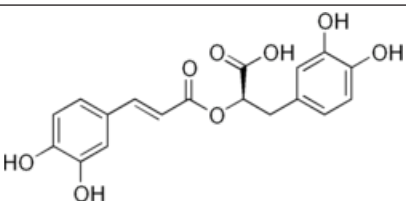
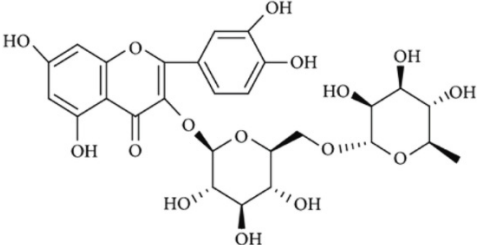
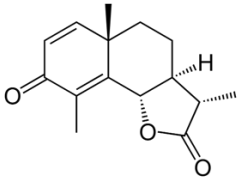
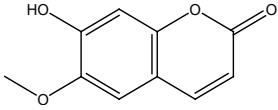
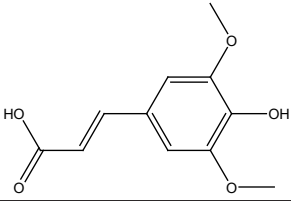
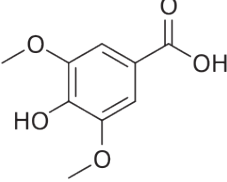
Table 2 – The structural formulas of compounds found in *A. proceriformis* extracts

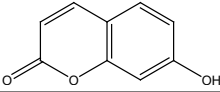
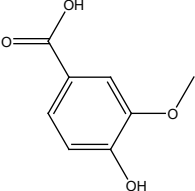
NN	Name of compound	Structural formula
1	Abrotine	Structurally unknown alkaloid
2	Apigenin	
3	Artemisetin	
4	Artemisinin	
5	Caffeic acid	
6	Caftaric acid	

7	Casticin	
8	Centaureidine	
9	Chlorogenicacid	
10	p-Coumaric acid	
11	Coumarin	
12	β -ethylcholesta-6(7),20(21)-dien-3 β -ol	
13	Esculetin	

14	Ferulic acid	
15	Gentisic acid	
16	Herniarin	
17	Hyperoside	
18	Isochlorogenic acid	
19	Isofraxidine	
20	Isoquercitrin	

21	cis-Jasmone	
22	Kaempferol	
23	Luteolin	
24	Myricetin	
25	Patuletin	
26	Protocatechuic acid	
27	Quercetin	

28	Quercetol	 Quercetol B
29	Rosmarinic acid	
30	Rutoside	
31	Santonin	
32	Scopoletin	
33	Sinapic acid	
34	Syngic acid	

35	Umbelliferone	
36	Vanillic acid	

Discussion. The component composition of essential oils varies depending on different factors. This can be explained by the fact that the same plant species collected in different countries has a different component composition. *A. proceriformis* is no exception, the component composition of essential oils of this plant collected in different countries varies significantly. But, as the review showed, the main components of this essential oil were α -thujone, β -thujone, 1,8-cineol, 1,4-cineole, aromadendrene, isogermacrene D, davanone, trans-piperitol, 2-hydroxy-1,8-cineole, β -eudesmol and camphor, the content of these components exceeds 2 %. Essential oils are known for their antimicrobial properties. *A. proceriformis* essential oil also has antimicrobial properties, this is due to the presence of compounds such as camphor and 1,8-cineol, which are known for their antimicrobial properties. It has also been found that the essential oil shows anticancer and antioxidant properties.

Among the isolated secondary metabolites of wormwood, flavonoids and phenolic acids predominate in first place. In second place are coumarins and sesquiterpene lactones. Steroids and alkaloids were isolated only one compound of each. Among the isolated secondary metabolites of wormwood, flavonoids and phenolic acids predominate in the first place. In second place are coumarins and sesquiterpene lactones. Of the steroids and alkaloids, only one compound was isolated of each. It is known that flavonoids and polyphenolic compounds are natural antioxidants. Therefore, antioxidant properties are primarily possessed by secondary metabolites of *A. proceriformis*. The review also presents such properties of secondary metabolites as antimicrobial, antiviral, antitumor, anti-inflammatory. A compound of sesquiterpene lactone, artemisinin, which is used as an antimalarial agent, was isolated from this plant.

Conclusions. Many medicinal plants have been used for their therapeutic properties since ancient times. The presence of a certain medicinal properties are associated with the content of biologically active secondary metabolites of this plant. The genus *Artemisia* is known for its medicinal properties, and even some secondary metabolites are used as drugs against malaria and cancer. This review provides data on the component composition of essential oil and extracts of *A. proceriformis* that grow in different countries, as well as data on the biological activity of these substances. We have attempted to systematize this data to facilitate its use by researchers. There is no data on the study of the component composition of extracts of this plant species growing in Kazakhstan, except for the component composition of essential oil. Extracts of *A.*

proceriformis from Kazakhstan have not been studied. As it is known, the component composition of one plant can vary significantly depending on weather conditions, place of growth and etc. Thus, the study of the component composition of extracts of *A. proceriformis* growing in Kazakhstan remains relevant.

Author Contributions: All authors have contributed significantly to the conception and design of the study, the interpretation of data, and the drafting and revision of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Declaration of Competing Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Abad M.J., Bedoya L.M., Apaza L., Bermejo P. (2012) The *Artemisia* L. genus: A review of bioactive essential oils. *Molecules*, Vol. 17. — P.2542–2566. (in English)
- Almahdawy S., Said A.M., Abbas I.S., Dawood A.H. (2017) The evaluation if antimicrobial and cytotoxic activity of the essential oil extracted from the aerial parts of Southernwood Herb (*Artemisia abrotanum* L.) that recently grown in Iraq. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, Vol. 10, Issue 10. — P. 384-387. (in English)
- Al-Zubairi A.S., Al-Mamary M.A., and Al-Ghasani E. (2017) The antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants. *Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences* (ISSN: 2315-5159), Vol. 6. — № 9. — P. 224-233. (in English)
- Al-Dhabi N.A., Arasu M.V., Park C.H., Park S.U. (2015) An up-to-date review of rutin and its biological and pharmacological activities. *Experimental and Clinical Sciences*, Vol. 14, — P.59–63. (in English)
- Amirmohammadi M., Khajoenia S., Bahmani M., Kopaei M.R., Eftekhari Z., Qorbani M. (2014) In vivo evaluation of antiparasitic effects of *Artemisia abrotanum* and *Salvia officinalis* extracts on *Syphacia obvelata*, *Aspiculoris tetrapetra* and *Hyenolepis nana* parasites. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, Vol. 4 № 1. — P.250-254. (in English)
- Annunziata F., Pinna C., Dallavalle S., Tamborini L., Pinto A. (2020) An overview of coumarin as a versatile and readily accessible scaffold with broad-ranging biological activities. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 21. — № 13. — 4618 p. (in English)
- Baiceanu E., Vlase L., Baiceanu A., Nanes M., Rusu D., Crisan G. (2015) New polyphenols identified in *Artemisia eabrotanierherba* extract. *Molecules*, Vol. 20. — P.11063–11075. (in English)
- Bora K.S., Sharma A. (2011) The genus *Artemisia*: A comprehensive review. *Pharmaceutical Biology*, Vol. 49. — P. 101–109. (in English)
- Cadoná F.C., Machado A.K., Bodenstein D., Rossoni C., Favarin F.R., Ourique A.F. (2020) Natural product-based nanomedicine: Polymeric nanoparticles as delivery cargoes of food bioactives and nutraceuticals for anticancer purposes. In *Advances and Avenues in the Development of Novel Carriers for Bioactives and Biological Agents*. — Academic Press: Cambridge, MA, USA. — P. 37–67 (in English)
- David A.V.A., Arulmoli R., Parasuraman S. (2016) Overviews of biological importance of quercetin: A bioactive flavonoid. *Pharmacognosy Reviews*, Vol. 10. — № 20, — P.84–89. (in English)
- Elansary H.O., Szopa A., Kubica P., Ekiert H., El-Ansary D.O., Al-Mana F.A., Mahmoud E.A. (2020) Polyphenol content and biological activities of *Rutagraveolens* L. and *Artemisia abrotanum* L. in Northern Saudi Arabia. *Processes*, Vol 8, — 531 p. (in English)
- Espindola K.M.M., Ferreira R.G., Narvaez L.E.M., Rosario A.C.R.S., Machado da Silva A.H., Silva A.G.B., Vieira A.P.O., Monteiro M.C. (2019) Chemical and pharmacological aspects of caffeic acid and its activity in hepatocarcinoma. *Frontiers in Oncolog*, № 9. — 541 p. (in English)
- Farshad A., Marjan R.B., Hossein H. (2019) A review on gentisic acid as a plant derived phenolic acid and metabolite of aspirin: Comprehensive pharmacology, toxicology, and some pharmaceutical aspects. *Phytotherapy Research*, Vol 34. — № 4. — P. 1-13. (in English)
- Ferreira J.F., Luthria D.L., Sasaki T., Heyerick A. (2010) Flavonoids from *Artemisia annua* L. as Antioxidant and Their Potential Synergism with Artemisinin against Malaria and Cancer. *Molecules*, Vol 15. — P. 3135-3170. (in English)

Gao X-Y., Li X-Y., Zhang C-Y., Bai C-Y. (2024) Scopoletin: a review of its pharmacology, pharmacokinetics and toxicity. *Frontiers in Pharmacology*, № 15. — P.1-24. (in English)

Guan H., Luo W., Bao B., Cao Y., Cheng F., Yu Sh., Fan Q., Zhang L., Wu Q., Shan M. (2022) A comprehensive review of rosmarinic acid: from phytochemistry to pharmacology and its new insight. *Molecules*. — Vol. 27. — № 10. — P.3292. (in English)

Ivanescu B., Miron A., Corciova A. (2015) Sesquiterpene Lactones from *Artemisia* Genus: Biological Activities and Methods of Analysis. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, Vol. 2015. — P.1-21. (in English)

Jalmakhanbetova R.I., Suleimen Ye.M., Oyama M., Elkaeed E.B., Metwaly A.M., Ishmuratova M.Yu., Eissa Ibrahim H., Suleimen R. (2021) Isolation and in silico anti-COVID-19 main protease (Mpro) activities of flavonoids and a sesquiterpene lactone from *Artemisia sublessingiana*. *Journal of chemistry*, Article ID 5547013. — P.1-8. (in English)

Jasim L.M.M., Tabrizi M.H., Darabi E., Jaseem M.M.M. (2023) The antioxidant, anti-angiogenic, and anticancer impact of chitosan-coated herniarin-graphene oxide nanoparticles. *Heliyon*, Vol.9. — № 9. — P.1-10. (in English)

Khalid K.A., El-Gohary A.E. (2020) Productivity of wormwood (*Artemisia abrotanum*) enhanced by trace elements. *Bulletin of the National Research Centre*, Vol 44. — P.1-10. (in English)

Koul B., Taak P., Kumar A., Khatri T., Sanyal I. (2018) The *Artemisia* Genus: A Review on Traditional Uses, Phytochemical Constituents, Pharmacological Properties and Germplasm Conservation. *Journal of Glycomics & Lipidomics*, Vol. 7. — P.142-149. (in English)

Liang Ch., Ju W., Pei Sh., Tang Y., Xiao Y. (2017) Pharmacological activities and synthesis of esculetin and its derivatives: a mini-review. *Molecules*, Vol. 22. — № 3. — 387. — P. 1-2. (in English)

Liu C.L., Wang J.M., Chu C.Y., Cheng M.T., Tseng T.H. (2002) In vivo protective effect of protocatechuic acid on tert-butyl hydroperoxide-induced rat hepatotoxicity. *Food and Chemical Toxicology*, Vol.40 № 5. — P. 635-641. (in English)

Mabtin M., Moran A., Carron R., Montero M.J., Roman L. (1988) Antipyretic activity of α - and β -santonin. *Journal of Ethnopharmacology*, Vol 23. — P. 285-290. (in English)

Majnooni M.B., Fakhri S., Shokoohinia Y., Mojarab M., Kazemi-Afrakoti S., Farzaei M.H. (2020) Isofraxidin: synthesis, biosynthesis, isolation, pharmacokinetic and pharmacological properties. *Molecules*, Vol.25 № 9. — P.1-23. (in English)

Mazimba O. (2017) Umbelliferone: sources, chemistry and bioactivities review. *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University*, Vol.55. — № 2. — P.223-232. (in English)

Matejczyk M., Ofman P., Juszczuk-Kubiak E., Swislocka R., Shing W.L., Kesari K.K., Prakash B., Lewandowski W. (2024) Biological effects of vanillic acid, iso-vanillic acid, and orto-vanillic acid as environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, № 227. — P.116383. (in English)

Melzig M.F. (2019) *Artemisia abrotanum* L, Eberraute. *Zeitschrift fur Phytherapie*, Vol.40 (06). — P.283-288. (in German)

Mohamed K., Koriem M. (2020) Caftaric acid: an overview on its structure, daily consumption, bioavailability and pharmacological effects. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, Vol. 10. — № 3. — P.5616-5623. (in English)

National Center for Biotechnology Information PubChem Compound Summary for CID 5280863, Kaempferol. — 2022. — 29 February. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Kaempferol>.

Niciforovic N., Abramovic H. (2014) Sinapic Acid and Its Derivatives: Natural Sources and Bioactivity. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol.13. — № 1. — P.34-51. (in English)

Nurlybekova A., Kudaibergen A., Kazymbetova A., Amangeldi M., Baiseitova A., Ospanov M., Aisa H.A., Ye Y., Ibrahim M.A., Jenis J. (2022) Traditional Use, Phytochemical Profiles and Pharmacological Properties of *Artemisia* Genus from Central Asia. *Molecules*, Vol. 27. — P.5128. (in English)

Obistoiu D., Cristina R.T., Schmerold I., Chizzola R., Stolze K., Nichita I., Chiurciu V. (2014) Chemical characterization by GCMS and in vitro activity against *Candida albicans* of volatile fractions prepared from *Artemisia dracunculus*, *Artemisia abrotanum*, *Artemisia absinthium* and *Artemisia vulgaris*. *Chemistry Central Journal*, № 8. — P.6. (in English)

Ozarowski A., Jaroniewski W. (1987) *Rośliny Lecznice i ich Praktyczne Zastosowanie*. Warsaw: Panacea, Poland. — P. 213-214 (in Polish)

Patent No 7102 KZ. Thujone 1 with cytotoxic activity. Dzhalmakhanbetova R.I., Suleimen R.N., Suleimen Ye.M. – Publ. 03.11.2021; Bull.No.19, 13.05.2022.

Pei K., Ou J., Huang J., Ou S. (2016) p-Coumaric acid and its conjugates: dietary sources, pharmacokinetic properties and biological activities. Journal of the Science of Food and Agriculture, № 96. — P.2952-2962. (in English)

Penkala-Gaw ecka, D. (2013) Mentally ill or chosen by spirits? ‘Shamanic illness’ and the revival of Kazakh traditional medicine in post-Soviet Kazakhstan. Central Asian Survey, Vol. 32. — P.37–51. (in English)

Pyrzynska K. (2024) Ferulic Acid—A Brief Review of Its Extraction, Bioavailability and Biological Activity. Separations, Vol. 11. — P.204. (in English)

Remberg P., Björk L., Hedner T., Sterner O. (2004) Characteristics, clinical effect profile and tolerability of a nasal spray preparation of *Artemisia abrotanum* L. for allergic rhinitis. Phytomedicine, Vol. 11. — № 1. — P.36–42. (in English)

Ruminska A., Ozarowski A. (1990) *Leksyko nRo 'slin Leczniczych*; Panstwowe Wydawnictwo Rolniczei Lesne. — Warszawa: Poland. — P. 311-312 (in Polish)

Sakipova Z., Wong N.S.H., Bekezhanova T., Shukirbekova A., Boylan F. (2017) Quantification of santonin in eight species of *Artemisia* from Kazakhstan by means of HPLC-UV: Method development and validation. PLoS ONE, №0173714. (in English)

Sampietro D.A., Lizarraga E.F., Ibatayev Z.A., Omarova A.B., Suleimen Y.M., Catalan C.A.N. (2016) Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Acantholippia deserticola*, *Artemisia proceriformis*, *Achillea micrantha* and *Libanotis buchtormensis* against phytopathogenic bacteria and fungi. Natural Product Research, Vol. 30. — P.1950–1955. (in English)

Saunoriute S., Ragažinskiene O., Ivanauskas L., Marksa M. (2020) Essential oil composition of *Artemisia abrotanum* L. during different vegetation stages in Lithuania. Chemija, № 31. — P.52–56. (in English)

Serkerov S.V., Ibragimova S.I. (2014) New steroidal compound from *Artemisia abrotanum*. Chemistry of Natural Compounds, Vol. 50. — P.478–479. (in English)

Shukla R., Pandey V., Vadnere G.P., Lodhi S. (2019) Role of Flavonoids in Management of Inflammatory Disorders. In Bioactive Food as Dietary Interventions for Arthritis and Related Inflammatory Diseases. — Academic Press: Cambridge, MA, USA. — P.293–322. (in English)

Srinivasulu Ch., Ramgopal M., Ramanjaneyulu G., Anuradha C.M., Suresh K.C. (2018) Syringic acid (SA) – a review of its occurrence, biosynthesis, pharmacological and industrial importance. Biomedicine & Pharmacotherapy, Vol.108. — P.547-557. (in English)

Suleimen Ye.M., Ibatayev Zh.A., Suleimen R.N., Mamytkbekova G.K. (2022) Constituent composition and biological activity of essential oil from *Artemisia sublessingiana*. Chemistry of Natural Compounds, Vol. 58. — № 4. — P.766-769. (in English)

Suleimen Ye.M., Ibatayev Zh.A., Suleimen R.N., Birimzhanova D.A., Mamytkbekova G.K., Ishmuratova M. Yu. (2022) Constituent composition of essential oil from *Artemisia semiarida*. Chemistry of Natural Compounds, Vol. 5. — № 5. — P.951-952. (in English)

Suleimen Ye.M., Jose R.A., Suleimen R.N., Ishmuratova M.Yu., Toppet S., Dehaen W., Alsouk B.A., Elkaeed E.B., Eissa I.H., Metwaly A.M. (2022) Jusanin, a new flavonoid from *Artemisia commutata* with an *in silico* inhibitory potential against SARS-CoV-2 main protease. Molecules, Vol. 27. — P. 1636. (in English)

Suleimen Ye.M., Jose R.A., Suleimen R.N., Ishmuratova M.Yu., Toppet S., Dehaen W., Alsouk B.A., Elkaeed E.B., Eissa I.H., Metwaly A.M. (2022) Isolation and *in silico* SARS-CoV-2 main protease inhibition potential of jusan coumarin, a new dicoumarin from *Artemisia glauca*. Molecules, Vol. 27. — P. 2281. (in English)

Suleimen Ye.M., Jose R.A., Suleimen R.N., Arenz C., Ishmuratova M., Toppet S., Dehaen W., Alsouk A.A., Elkaeed E.B., Eissa I.H., Metwaly A.M. (2022) Isolation and *In Silico* Anti-SARS-CoV-2 Papain-like Protease Potentialities of Two Rare 2-Phenoxychromone Derivatives from *Artemisia* spp. Molecules, Vol. 27. — P. 1216. (in English)

Suleimenov E.M., Tkachev A.V., and Adekenov S.M. (2010) Essential oil from Kazakhstan *Artemisia* species. Chemistry of Natural Compounds, Vol.46. — № 1. — P.135-139. (in English)

Suresh J., Reddy A.V., Rajan D., Ihsanullah M., Khan M.N. (2011) Antimicrobial activity of *Artemisia abrotanum* and *Artemisia pallens*. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Research, Vol.3. — № 2. — P.18-21 (in English)

Tunon H., Thorsell W., Mikiver A., Malander I. (2006) Arthropod repellency, especially tick (Ixodes ricinus), exerted by extract from *Artemisia abrotanum* and essential oil from flowers of *Dianthus caryophyllum*. Fitoterapia, № 77. — P.257-261. (in English)

Ur Rashid M., Alamzeb M., Ali S., Ullah Z., Shah Z.A., Naz I., Khan M.R. (2019) The chemistry and pharmacology of alkaloids and allied nitrogen compounds from *Artemisia* species: A review. Phytotherapy Research, № 33. — P.2661–2684. (in English)

Valentová K., Vrba J., Banciřová M., Ulrichová J., Křen V. (2014) Isoquercitrin: Pharmacology, toxicology, and metabolism. Food and Chemical Toxicology, № 68. — P.267–282. (in English)

Wang L., Pan X., Jiang L., Chu Y., Gao S., Jiang X., Zhang Y., Chen Y., Luo S., Peng C. (2022) The Biological activity mechanism of chlorogenic acid and its applications in food industry: a review. Frontiers in Nutrition, Vol. 9, Article № 943911. (in English)

Watson L.E., Bates P.L., Evans T.M., Unwin M.M., Estes J.R. (2002) Molecular phylogeny of Subtribe Artemisiinae (Asteraceae), including *Artemisia* and its allied and segregate genera. BMC Evolutionary Biology, Vol. 2. — № 1. — 10p. (in English)

Xiaominting Song, Lu Tan, Miao Wang, Chaoxiang Ren, Chuanjie Guo, Bo Yan Yali Ren, Zhixing Cao, Yuzhi Li, Jin Pei. (2021) Myricetin: A review of the most recent research. Biomedicine & Pharmacotherapy, Vol. 134. (in English)

Xue J-C., Yuan S., Meng H., Hou X-T., Li J., Zhang H-M., Chen L-L., Zhang Ch-H., Zhang Q-G. (2023) The role and mechanism of flavonoid herbal natural products in ulcerative colitis. Biomedicine & Pharmacotherapy, Vol. 158. — 114086p. (in English)

Zaman W., Ye J., Saqib S., Liu Y., Shan Z., Hao D., Chen Z., Xiao P. (2021) Predicting potential medicinal plants with phylogenetic topology: Inspiration from the research of traditional Chinese medicine. Journal of Ethnopharmacology, Vol. 281. — 114515p. (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2. Number 463 (2025), 86–104

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.283>

UDC 675.877.3

©**B. Imangaliyeva***, **B. Dossanova**, **A. Apendina**, **S. Duzelbayeva**,
N. Sultanov, 2025.

Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: nur_b_70@mail.ru

DETERMINATION OF TANNINS IN MEDICINAL PLANTS

Bazarkhan Imangaliyeva — K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: nur_70_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>;

Bibigul Dossanova — K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Candidate of Pedagogical Sciences, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: b_dossanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9723-7312>;

A. Apendina — L.N. Gumilyov Eurasian National University, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: k.ajmagul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7618-1088>;

Samal Duzelbayeva — K. Zhubanov Aktobe Regional State University, master of petrochemistry, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: samal_25_78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3752-8119>;

N. Sultanov — K. Zhubanov Aktobe Regional State University, student, Aktobe, Kazakhstan, Aktobe, Kazakhstan,

E-mail: nurtalap273@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3681-614X>.

Abstract. The article emphasizes the importance of identification of needle substances in medicinal plants as they are known for their therapeutic properties and are widely used in medicine. Tannins are polyphenolic compounds found in plants that have anti-inflammatory, antimicrobial, styptic properties. Special chemical methods are available for the detection of these substances. They are well soluble in water and alcohol, but insoluble in chloroform and ether. They give a bitter taste to plants, so they can be identified in advance by their flavour characteristics. Plants rich in tannins: *Quercus*: large quantities are found in the bark, nuts. *Camellia sinensis*: the tannins in tea give a special flavour. *Betula*: the bark is rich in tannins. *Punica granatum*: the peel and scales. *Vitis vinifera*: experimented with the presence of peel and seeds. Determination of alkaline substances plays an important role in drug development, cosmetology and food industry and helps to assess the quality of plants and determine how to utilize them effectively. The methods of determination of alkaline substances are titrimetric determination, chromatographic analysis, photoelectrometer method, qualitative and quantitative determination of alkaline substances in different parts of plants by spectrophotometric determination. The article states that tannins are valuable

gift of nature, they play important role in medicine and industry. It is important to note that studying their chemical composition and properties before their use is key step in ensuring safety and efficacy.

Keywords: medicinal plants, tannins, chemical determination methods, chemical experiment, titrimetry

**©Б. Имангалиева*, Б. Досанова, А. Апендина, С. Дузелбаева,
Н. Сұлтанов, 2025.**

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

E-mail: nur_b_70@mail.ru

ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДЕГІ ІЛІК ЗАТТАРДЫ АНЫҚТАУ

Базархан Имангалиева — Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: nur_b_70@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>;

Бибігүл Досанова — Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: b_dosanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9723-7312>;

Айнагүл Апендина — Л. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, химия ғылымдарының кандидаты, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: k.ajmagul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7618-1088>;

Самал Дузелбаева — Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, мұнайхимия магистрі, аға оқытушы, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: samal_25_78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3752-8119>;

Нұрғалап Сұлтанов — Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, студент, Ақтөбе, Қазақстан,

E-mail: nurtalap273@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3681-614X>.

Аннотация. Мақалада дәрілік өсімдіктердегі ілік заттарды анықтау маңыздылығы, өйткені олар емдік қасиеттерімен танымал және медицинада кеңінен қолданылатындығы айтылған. Ілік заттар (таниндер) – өсімдіктер құрамындағы полифенолдық қосылыстар, олардың қабынуға қарсы, микробтарға қарсы және қан тоқтататын қасиеттері бар. Бұл заттарды анықтау үшін қолданылатын арнайы химиялық әдістер қарастырылған. Таниндер су мен спиртте жақсы ериді, бірақ хлороформда және эфирде ерімейді. Олар өсімдіктерге ащы дәм береді, сондықтан олардың дәмдік ерекшеліктері арқылы алдын ала анықтауға болады. Таниндер әртүрлі өсімдіктерде, әсіресе ағаштардың қабығында, жапырақтарында, жемістерінде және тамырларында кездеседі. Таниндерге бай өсімдіктер: емен (*Quercus*): Қабығы мен жаңғақтарында көп мөлшерде кездеседі. Шай өсімдігі (*Camellia sinensis*): Шай құрамындағы таниндер ерекше дәм береді. Қайың (*Betula*): Қабығы таниндерге бай. Анар (*Punica granatum*): Қабығы мен қабыршақтары. Жүзім (*Vitis vinifera*): Қабығы мен тұқымдарында бар екендігіне тәжірибе жасалған. Ілік заттардың анықталуы дәрілік препараттар жасауда, косметологияда және тағам өнеркәсібінде маңызды рөл атқарады. Анықтау нәтижелері өсімдіктің сапасын бағалауға және оларды тиімді пайдалану жолдарын

анықтауға көмектесетіндігіне мән берілген. Ілік заттарды анықтау әдістері: титриметриялық анықтау, хроматографиялық талдау, фотоэлектрометрлер әдісі, спектрофотометриялық анықтау арқылы өсімдіктердің әртүрлі бөліктеріндегі ілік заттарға сапалық және сандық анықтау жүргізілген. Ілік заттардың негізгі биологиялық рөлі – өсімдікті патогендерден, жәндіктерден және ультракүлгін сәулелерден қорғау. Таниндер көптеген дәрілік қасиеттерге ие, медицинада, тағам өнеркәсібінде және косметологияда кеңінен қолданылады. Мақалада таниндер табиғаттың құнды сыйы екендігі, олар медицина мен өнеркәсіпте ғана емес, күнделікті өмірде де маңызды рөл атқаратыны айтылған. Оларды қолдану алдында химиялық құрамы мен қасиеттерін зерттеу – қауіпсіздік пен тиімділікті қамтамасыз етудің негізгі қадамы екеніне мән берілген.

Түйін сөздер: дәрілік өсімдіктер, ілік заттар, химиялық анықтау әдістері, химиялық эксперимент, титриметрия

**©Б. Иманғалиева*, Б. Досанова, А. Апендина, С. Дузелбаева,
Н. Султанов, 2025.**

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Актобе, Казахстан.

E-mail: nur_b_70@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДУБИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ

Базархан Иманғалиева — Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор, Актобе, Казахстан,

E-mail: nur_70_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>;

Бибигул Досанова — Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, кандидат педагогических наук, Актобе, Казахстан,

E-mail: b_dosanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9723-7312>;

Айнагул Апендина — Евразийский национальный университет имени Л. Гумилёва, кандидат химических наук, Актобе, Казахстан,

E-mail: k.ajmagul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7618-1088>;

Самал Дузелбаева — Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, магистр нефтехимии, старший преподаватель, Актобе, Казахстан,

E-mail: samal_25_78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3752-8119>;

Нурталап Султанов — Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, студент, Актобе, Казахстан,

E-mail: nurtalap273@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3681-614X>.

Аннотация. В статье подчеркивается важность идентификации игольчатых веществ в лекарственных растениях, поскольку они известны своими лечебными свойствами и широко используются в медицине. Дубильные вещества – это полифенольные соединения, содержащиеся в растениях, которые обладают противовоспалительными, противомикробными и кровоостанавливающими свойствами. Для обнаружения этих веществ предусмотрены специальные химические методы. Они хорошо растворяются в воде и спирте, но не

растворяются в хлороформе и эфире. Придают растениям горький вкус, поэтому их можно заранее определить по их вкусовым характеристикам. Дубильные вещества содержатся в различных растениях, особенно в коре, листьях, плодах и корнях деревьев. Растения, богатые дубильными веществами: дуб (*Quercus*): в больших количествах содержится в коре и орехах. Чайное растение (*Camellia sinensis*): дубильные вещества, содержащиеся в чае, придают особый вкус. Береза (*Betula*): кора богата дубильными веществами. Гранат (*Punica granatum*): кожура и чешуя. Виноград (*Vitis vinifera*): экспериментировали с наличием кожуры и семян. Определение щелочных веществ играет важную роль в разработке лекарственных препаратов, косметологии и пищевой промышленности. Результаты обнаружения помогают оценить качество растений и определить способы их эффективного использования. Методы определения щелочных веществ: титриметрическое определение, хроматографический анализ, метод фотоэлектродетекторов, качественное и количественное определение щелочных веществ в различных частях растений с помощью спектрофотометрического определения. В статье говорится, что дубильные вещества – ценный дар природы, они играют важную роль не только в медицине и промышленности, но и в повседневной жизни. Важно отметить, что изучение химического состава и свойств перед их применением является ключевым шагом в обеспечении безопасности и эффективности.

Ключевые слова: лекарственные растения, дубильные вещества, методы химического обнаружения, химический эксперимент, титриметрия

Кіріспе. Ілік заттар — бұл өсімдіктерде кездесетін әртүрлі молекулалық салмақтағы полифенолдар тобы, олар теріні илеуге мүмкіндік беретін "ілік" қасиетке ие. Таниндердің осындай қасиеті шіру процесі кезінде тұрақты құрылымды қалыптастыру үшін тері ақуыздарының коллагенмен әрекеттесуіне негізделген.

"Ілік заттар" термині алғаш рет 1796 жылы қолданылған. Таниндерді зерттеуде еуропалық ғалымдар Фрейденберг, Хаслам, Шмид, Майердің еңбектері ерекше орын алады (Misganaw Gedlu Agidew, 2022).



Конденсирленген тері илегіш заттың формуласы

Ілік заттар-бұл ерекше "илегіш" қасиеті бар органикалық заттар. Практикалық тұрғыдан алғанда, барлық өсімдіктерде гидролизденетін, конденсацияланатын

немесе аралас ілік заттар болады. "Ілік заттар" термині техникалық биохимияда және тамақ өнеркәсібінде қолданылады, сондықтан оларға уылдырық хош иісі бар барлық табиғи полифенолды заттар жатады.

Бірақ мұндай заттардың барлығы бірдей шынайы ілік қасиеттерге ие емес, тек молекулалық салмағы 1000-5000 болатын табиғи жоғары молекулалық заттардың ғана мұндай қасиеттері бар, ал төмен молекулалық дәмі бар заттардың ілік қасиеттері жоқ. Осындай заттарды нағыз ілік заттармен шатастырмау үшін оларды әдетте "тағамдық таниндер", "шай таниндері" деп атайды (Ranjana Roy Mishra, 2024).

Табиғи заттардан артықшылығы. Сұйықтық түрінде таниндер стоматит, тамақ, фарингит, компресс түрінде - кесік, сынық, күйікті емдеуге қолданылады. Көкөністер мен жемістерде көптеген таниндер ішектің шырышты қабығының қабынуға қарсы әсері мен асқазан-ішек жолының секреторлық функциясының төмендеуіне әсер ететін Р дәрумені қасиеттерімен жабдықталған. Осы заттардан тұратын азық-түлік өнімдері ауыр металдардың тұздарын, диареяны, радиоактивті зақымдануын болдырмауға көмектеседі. Айрықша өздігінен антидот ретінде көрсетіледі.

Физикалық және химиялық қасиеттері аморфты немесе қышқылдық сипатқа және теріні илеу қасиетіне, яғни олар яғни теріні кептіріп, шіріту мен кептіру қабілеттіне ие. Олар сілтілердің оттегі қатысында оңай тотығады. Мысалы, асыл металдардың тұздарын да тотықтырады. Көпшілігі суда және спиртте жақсы ериді, тұтқыр дәмі береді. Ерітіндіде әлсіз қышқылдық реакция жүреді. Көптеген ілік заттар оптикалық белсенді, көпшілігінде таниндер гигроскопиялық жоғары, дәрілік қоспаларында ауыр металдың тұздарымен араластыруға болмайды. Нәруызды заттармен алкалоидтар қалдық түрінде қалады. Ілік заттар нәруыздармен су өткізбейтін қорғаныш қабат түзеді. Ақуыздардың өзара коагуляциясына әкеледі, олар жараның орнын қорғаныш қабатын түзіп қорғайды. Ауамен байланыста болғанда (мысалы, тез жаңа тамырлар түзеді) ілік заттар тез тотығады. Флобафен мен қызаруды қоздырады. Олар әртүрлі қараң қоңыр түстер көптеген және басқа органдарға инфузия береді. Флобафендер суық суда ерімейді, ыстық суда ериді, қара қоңыр түске боялады (Binu, et al, 2023).

1-кесте

Ілік заттардың қасиеті

Ілік заттардың түрлері	Қайнау температурасы 180-200%	Темірдің оксиді мен тұзында
Пирогаллол	Пирогаллол	қара қоңыр түс береді
Пирокатехин	Пирокатехин	қара көк түс береді

Өсімдіктерден шыққан ілік заттар аморфты болып табылады және кристалдық құрылымы айқын емес. Қышқылдық қасиеті мен теріні илеу мүмкіндігімен ерекшеленеді. Бұл - ілік заттардың ең пайдалы қасиеті. Кейінгі жүргізген эксперименттер ілік заттардың ерекше қасиеттерін анықтауға мүмкіндік берді.

Материалдар мен әдістер. Өсімдіктердің әртүрлі бөліктеріндегі ілік заттарды анықтау. Реактивтер мен қондырғылар: өсімдік текті шикізат (емен қабыршағы,

черника, ольха шишкалары), ацетон, этил спирті, 1% темір-аммонийлі квасцтардың (ТАК) ерітіндісі, 10 % қорғасын ацетатының орташа тұзының ерітіндісі, 0,1н хлорсутек қышқылының ерітіндісі, натрий нитраты кристалдары, 1% желатин ерітіндісі, сулы монша, пробиркалар, воронкалар, фильтр қағазы. Ілік заттар өсімдіктердің әртүрлі бөліктерінде жиналады, көбінесе қабыршақта, тамырда, ал аздаған мөлшерде жапырақтарда, сабақтарда, жемістердің сыртында кездеседі. Ілік заттар өсімдіктерде еріген қалпында болатындықтан, оларды гистохимиялық диагностика және сулы немесе сулы-органикалық бөлу арқылы сапалық реакциялармен анықталады.

Гидролизденетін ілік заттардың негізінен галлолы, м-галлолы, эллаголды қышқылдар құрайтындықтан, темір тұздарымен және ТАК ерітіндісімен олар пирогаллол тәрізді қара көк түс немесе тұнба береді. Конденсацияланған ілік заттар пирокатехиннің буындарынан тұрады және берілген реагенттермен қоңыр-жасыл түс немесе тұнба береді. Пирогаллолды және пирокатехинді таниндерді айыру үшін нитрозометилуретанмен реакция маңызды болып табылады, өйткені ол қайнату кезінде пирокатехинді ілік заттарды тұнбаға түсіреді (Aswathi Pokkadath, 2023).

Ілік заттарды сапалық және сандық анықтау

1. 1г ұсақталған өсімдік шикізатында 100 мл тазартылған су немесе 50% сулы ацетон құяды, оны сулы монша 30 минут қыздырады, филтрлейді.

2. Препараттың шамамен 0,2 г сынамасын этил спиртінде, 50% ацетонда немесе тазартылған суда ерітеді, филтрлейді. Сапалық реакция жүргізу үшін алынған заттың 1-3 мл-рін пайдаланады.

Ілік заттар полифенолдар болып табылады. Төменде көрсетілген реакцияларды қолданып, ілік молекулаларды айыруға болады.

-1-3 тамшы 1% хининнің спирттік ерітіндісін (антипирин) қосады, сол кезде бояу пайда болады, содан соң тұнба түседі (араласқан ілік заттар).

-1-3- тамшы 1% ТАК ерітіндісін қосады, қара – көк түс (гидролизденетін ілік заттар), қара-жасыл және қара (конденсациялаған ілік заттар) пайда болады,

-2мл сұйытылған хлорсутек қышқылы (1:1) мен 3 мл 40% формальдегид ерітіндісінің қоспасынан 5 мл қосады, кері тоңазытқышпен 30 минут қайнатады, тұнба түседі (конденсациялаған ілік заттар). Тұнбаны филтрлеп, филтратқа 10 тамшы 1% ТАК ерітіндісін және 0,2 г кристалды қорғасын ацетатын қосады, араластырады, көк немесе көкшіл түс пайда болады (гидролизденетін ілік заттар).

- Бром иісі пайда болам дегенше тамшылатып бром суын (1 л-дегі 5 мл бром) қосады, тұнба түседі (конденсацияланған ілік заттар, катехиндер).

-2мл 10% сірке қышқылын және 1 мл 10% қорғасын ацетатының орташа тұзды ерітіндісін қосады, тұнба түседі (гидролизденетін ілік заттар). Тұнбаны филтрлеп, үстіне 5 тамшы 1% ТАК ерітіндісін және 0,1 г қорғасын ацетатын қосады, қара-жасыл түс пайда 5 тамшы 1% ТАК ерітіндісін және 0,1 г қорғасын ацетатын қосады, қара жасыл түс пайда болады (конденсацияланған ілік заттар).

- Натрий нитратының бірнеше кристалдарын және 2 тамшы 0,1 н хлорсутек қышқылының ерітіндісін қосады, қоңыр түс пайда болады (гидролизденетін ілік заттар)

- 2% сірке қышқылындағы 1-3 мл 5% натрий нитраты ерітіндісін қосады, қоңыр түс пайда болады (эллаготаниндер)

- конц.хлорсутек қышқылындағы 1% ванилин ерітіндісінің бірнеше тамшысын қосады, қызыл түс пайда болады (конденсацияланған ілік заттар, катехиндер)

- құрғақ немесе ерітіндідегі нитрозометилуретан қосады, сулы монша 5-10 минут қыздырады, тұнба пайда болады (пирокатехинді табиғаттың ілік заттары); тұнбаны филтрлеп, фильтратқа 1% ТАК ерітіндісінің бірнеше тамшысын және натрий ацетатының кристалын салады, көкшіл түс пайда болады (пирогаллды топтың ілік заттары)

-1% желатин ерітіндісін тамшылатып қосады, лай пайда болады, ол желатин қалдығын қосқан кезде жоқ болып кетеді (ілік заттар).

Титриметриялық анықтау әдісі. Өсімдікті (шамамен 2г) шырын сығындысын алып, (диаметрі 3 мм тесік) електен өткізіп, сыйымдылығы 500 мл ыдыс арқылы орналастырыңыз, 250 мл сумен толтыру қажет, қайнағанға дейін қыздырып, содан кейін тағы 30 минут қайнатады, электрлік плиткаларын пайдаланып, уақытымен араластыру қажет, әрі қарай сұйықтығымызды бөлме температурасында сақтаймыз. Пайдаланылған ерітіндіні ыдысқа құймай тұрып, 100 мл-ден 200-250 мл мөлшерінде бөліп аламыз. Тамшуырман алынған қоспалардың 25 мл көлемін 750 мл көлемі бар конустық ыдысқа, 500 мл су, 25 мл индикатор сұйықтықты қосыңыз. Титрлеу алтын сары түске дейін калий пермангантымен (0,02 моль/литр) үнемі титрлеу керек.

Бақылауды параллель түрде жүргізу.

Танниндер 1 мл KMnO_4 (бір литрге 0,02 моль) қатынасы 0,004157 г тең.

Формула арқылы анықталатын заттардың саны (X) (пайызбен) абсолютті құрғақ зат деп есептеледі.

0,04157- таниндер саны, (1 мл марганец (0,02 моль/л) грамм);

m – шикізаттың салмағы (грамм);

W- шикізатты кептіру кезінде салмақ жоғалту (пайызбен) өлшенді.

250 мл – жалпы көлемі.

25 мл – титрлеу үшін шығарылатын ерітінді көлемі. Зерттеудің мақсаты индикаторлардың белгіленген стандарттарға сәйкес келетіндігін анықтау болып табылады. Өнімдегі таниндердің концентрациясы өнімнің қасиеттері расталған жағдайда ғана белгілі бір стандарттарға сәйкес келуі керек. Мемлекеттік стандарт талаптарын қанағаттандыратын сынақ нәтижелері тиісті болып саналады және тексерілетін өнімге өнім сапасының сәйкестігін растайтын құжат беріледі.

Ілік заттардың мөлшері (A_1 ,%) формуласы бойынша анықталады.

$$A_1 = \frac{(a - a_1) \cdot 0,004157 \cdot \nu \cdot 100}{V_1 \cdot m}$$

мұндағы a - 0,1Н. Калий перманганатының ерітіндісі, ілік затқа кеткен мөлшері см^3 a_1 -0,1Н шамасы, су мен ілік заттарының титрлеуі үшін кеткен калий перманганатының ерітіндісі, см^3

0,004157 ілік заттың мөлшері, $0,1 \text{ см}^3$ 0,1н калий перманганатының ерітіндісі г.
 V- алынған ілік затының көлемі, см^3 ;
 V_1 - ілік зат үшін алынған ерітінді, см^3 ;
 m- құрғақ күйінлегі заттың массасы, г.

Ілік заттың сумен және сусыз анықтаудағы мәні талдау нәтижесі, олардың арасындағы айырмашылық $R = 0.95$ және 0,5%-дан шамасы аспауы керек.

Хроматография әдістері өсімдікті иілік заттардың құрылысын орнатуда, жеке қосылыстарды идентификациялауда, талдау сатыларын бақылау үшін келесідей еріткіштер жүйесі қолданылады: н-бутил спирті-сірке қышқылы –су (6:1:8; 4:1:5; 40:12,5:29) бір бағытта, сірке қышқылы 2% 6% 15% бір бағытта. Бір өлшемді қағазды хроматография үшін мынандай еріткіштер жүйесін қолданады: тұз қышқылы-су (3:3:1).н-бутил спирті-сірке қышқылы-су-этиленгликоль (4:1:5:1), құмырсқа қышқылы –тұз қышқылы-су (5:3:2) н-бутил спирті-тұз қышқылы-су (7:2:5).

Сорбенттің жұқа қабатындағы хроматография үшін мына жүйелер жарамды: ацетон-су-пиридин (20:4:1) бензол-метил спирті-пиридин (16:2:1), бензол-этил спирті (1:1), бензол-ацетон (1:5, 1:4, 1:3).

Нәтижелер және талқылау.

Хроматографиялық талдау

Спирттік (95% этил спирті) және су, конденсацияланған ілік заттардың сығындыларын анықтау үшін қағазды хроматографиясымен анықтау жүргізіледі. Иондарды еріту кезінде бутанол, сірке қышқылы және су (БУВ) (40: 12: 28), (4: 1: 2) 5 % сірке қышқылымен «Filtrak» мен Silufol қағазында жүргізілді. Хроматограммадағы заттардың аймақтарын анықтау, ультракүлгін сәулесінде жүзеге асырылады, содан кейін темір аммоний алюминийінің 1% ерітіндісімен немесе 1% ванилин ерітіндісімен, концентрлі тұз қышқылымен өңделеді.

Болашақта сандық талдауда этил спирті бар және спектрофотометриялық талдау жасайтын ДВ-пластинасымен шығарып, интервалды абсорбция спектрін қолдануға болады (Teodor, 2020).

Таниндерді хроматографиялық анықтау

ДӨШ-тен (ЛРС-тен) алынған этанол «Силепол» хроматографиялық пластикасын бастапқы сызығына дейін қолданады, одан кейін хроматографиялық камераға орналастырылады, бөлініп алынғаннан кейін пластинканы ультракүлгін сәулесіне қаратып орналастырады, кейбір катехин туындыларының көк флуоресценциясы бар, ол хроматограмманы концентрлі HCl-да 1% ванилин ерітіндісімен өңдейді. HCl буларының хроматограммаларын сақтағаннан кейін, 105 °C температурада 2 минут ішінде қыздыру және пеште жылыту, лейкоантоцианидин түріндегі таниндер қызғылт немесе қызыл- күлгін антоцианиндарға айналады.

Колориметрлік анықтау танинді заттардың қасиеттеріне байланысты. Na_2CO_3 қатысуымен немесе Фолинг-Денис реагентімен (фенолдар үшін) фосфор-вольфрам қышқылымен боялған қосылыстар береді. ГФ РБ (т.1. 2.8.14) толқын ұзындығы 760 нм болғанда натрий карбонатының қатысуымен фосфор-молибден дәрілік өсімдік шикізаты (ДӨШ -ЛРС) реагентінің ерітіндісімен:

Негізінен ғылыми зерттеулерде қолданылатын хроматография-спектрофотометриялық және нефелометриялық әдістер.

Фотоэлектрометрлер әдісі

Ол ілік заттардың темір (III) тұздары бар түрлі түсті химиялық қосылыстардың болуына байланысты, фосфор-вольфром қышқылы, Фолина-Денис реагенті және басқа заттар. Реагенттердің бірі дәрілік өсімдік шикізатынан (ДӨШ-тен) алынған ерітіндіге қосылады, тұрақты түс пайда болғаннан кейін фотоколориметрде оптикалық тығыздық өлшенеді. Ілік заттардың пайызы калибрлеу кестесімен анықталады, таниндер белгілі концентрация шешімдеріне негізделген (Niclas Neumann, et al, 2022).

Спектрофотометриялық анықтау

Ерітіндіміздің сығындысын алғаннан кейін, оның бір бөлігін минут 3000 айн/мин центрифугалауға ұшырайды. Центрифугада 2 % аммоний молибдаты су ерітіндісін қосып, сумен араластырып, 15 мин қалдыру. Түсінің қарқындылығы спектрофотометрде толқын ұзындығы 420 нм шамасында 10 мкм қалыңдығы бар кювета өлшенеді. Таниндерді есептеу стандартты үлгі бойынша жүзеге асырылады. Стандартты үлгі ретінде ГСО танин алынады.

Ілік заттар әртүрлі жемістер мен көкөністердің пісіп жетілуіне, өнеркәсіпте артық сақтағанда маңызды рөл атқарады. Жемістердің даму кезеңінде ілік заттар жасуша қабықтарында, жемістерінде, сабағында және тамырында айтарлықтай мөлшерде жинала алады. Мысалы, ондай жемістердің қатарына құрма, айва және қарақат жемістерін жатқызуға болады. Жемістердің толық пісіп-жетілуі кезінде ілік заттар мөлшері де көбейеді.

2-кесте

Ілік заттардың азық түлік өнімдерінің құрамындағы мөлшері

№	Жемістер мен көкөністер	Ілік заттың мөлшері, %
1.	Көк шай	10-30
2.	Қара шай	5-17
3.	Құрма	0,5-2
4.	Кизил	0,6
5.	Айва	0,6
6.	Жүзім	0,1-0,4
7.	Анар	2,5

Анар жидегінде А,В,С,Е дәрумендері және калий, йод, темір, кремний, кальций және басқалары сияқты минералдар бар. Анар шырынында шарап немесе жасыл шайға қарағанда антиоксиданттар көп. Шырын құрамындағы таниндердің арқасында жемістердің қабығы медицинада асқазанның бұзылуына, ал кептірілген бұтақтар мен магистраль қабығы ішек құрттарына қарсы дәрі ретінде қолданылады.

Темір – ол барлық өсімдіктер мен жануарлардың, адамның ағзасында болады. Көптеген органикалық заттардың, соның ішінде гемоглобиннің құрамында болады.

Натрий-адам ағзасының қажетті элементі, қан қысымы, су алмасуын, жүйке және бұлшықет талшықтарын реттеуге қатысады. Ағзадағы негізгі қышқыл балансын сақтауға, жүректің жұмысын реттеуге, ағзадағы суды сақтауға қатысады. Адамға натрий көп қажет емес-күніне шамамен 1 грамм.

Калий-жануарлар мен адамның жүйке жүйесі мен бұлшық ет жасушаларының қалыпты жұмыс істеуі үшін қажет. Жасуша ішіндегі оң иондардың басым болуы жүйке импульстарын өткізуге қатысады.

Фосфор-сүйек тініндегі фосфордың мөлшері-600 г дәл осы қосылыстар түрінде энергия ағзадағы бұлшық еттердің жиырылуында, сондай-ақ мидағы, бауырдағы, бүйректегі және басқа мүшелердегі биохимиялық процестерде қолданылады.

Магний организмдегі ең көп таралған төртінші элемент болып табылады және біздің денемізде жүретін 300-ден астам процестерді орындайды. Магний адам ағзасына қажет. Бұл жеткіліксіз болған кезде жүрек бұлшық етінің жұмысы бұзылады (Enas, et al, 2021).

3-кесте

Шикізаттардың құрамындағы макро және микроэлементтердің мөлшері

Тәжірибеге алынған дәрілік өсімдіктер	Макро және микроэлементтері, мг/100г								
	Ca	Mg	K	Na	P	Al	Fe	Mn	Si
Емен қабығы	52	35	289	28	85	0,15	0,54	0,23	0,11
Қарақат	32	35	372	32	33	0,16	1,3	0,28	0,10
Итошаған	12	35	170	35	45	0,12	2,3	2,8	0,9
Шілтер жапырақ шайқурай	11	38	169	42	41	0,10	2,4	0,20	0,7

Кестеде көрсетілгеніндей, емен қабығы мен қарақаттың құрамында натрий мен калийдің көп мөлшері бар, сонымен қатар микроэлементтердің мөлшері шартты түрде шектелген концентрациядан аспайды. Кальций сүйек тінінің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, ферменттердің жұмысын және бұлшық ет талшықтарының жиырылуын белсендіреді. Күш пен қаттылық сүйектер мен тістерге қанның ұюын қамтамасыз ететін қасиеттер береді. Жасушалардың бір-бірімен тығыз байланысын қамтамасыз етеді. Калий жануарлар мен адамдардың жүйке жүйесі мен бұлшық ет жасушаларының қалыпты жұмыс істеуі үшін қажет. Жасуша ішінде оң иондардың басым болуы жүйке импульстарын өткізуге қатысады. Кальций сүйек тінінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады, ферменттердің жұмысын және бұлшық еттердің жиырылуын белсендіреді. Сүйектер мен тістерге беріктік пен қаттылық қасиеттерін береді, қанның ұюын қамтамасыз етеді.

Емен қабығы мен қарақат өсімдіктерінен пектинді заттарды алу әдісі

Жұмыстың мақсаты – дәрілік өсімдіктер құрамынан пектинді заттарды алу. Жұмысқа дәрілік өсімдіктердің екі түрі алынды. Бірі –емен қабығы екіншісі қарақат.

Фруктандардың құрғақ пектиннің физика-химиялық қасиетіне әсер ететіндіктен үшін алдын ала тазалау жүргізілді. Қанттардан арылу үшін бірнеше рет (3-5 рет) этил спиртімен (спирттің концентрациясы 80-82%) өңдейді. Процесс аяқталғаннан кейін спирттің қалдықтарын және иісін жою мақсатында қалдықты 40...50°C температурада кептіреді.

Ұнтақталған шикізатты сумен 1:4 қатынаста алып, 40...45°C температурада ҚЗ=6-12% болғанша концентрлеп, сүзеді. Алынған концентрленген пектин

ерітіндісін 96% этил спиртімен (тұнбаға түсірілетін концентрация құрамында 65-75% рН-ы 1,7-1,9 болғанша) тұнбаға түсіріледі. Түзілген тұнбаны алдын ала өлшенген сүзгімен сүзіп, тазалауға жіберіледі. Тазалау екі сатыдан тұрады:

I сатысында - 70% этил спиртімен 1:8 қатынаста;

II сатысында - 96% этил спиртімен 1:8 қатынаста.

Алынған пектинді алдын ала өлшенген бюкске салып 55...60°C температурада кептіреді. Кепкеннен кейін эксикаторға салып тұрақты массаға дейін суытады. Алынған пектинді өлшеп, шығымын есептейді.

Пектиннің ылғалдылығынның массалық үлесін анықтау

Дәлдігі 2-класты таразыда массасы 0,5...0,8 г пектинді сынаманы бюкске салады және кептіргіш шкафта 130°C температурада 40 минут кептіреді.

Пектиннің ылғалдылығының массалық үлесін төмендегі формула бойынша есептейді:

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_1 - g_0} \cdot 100\%$$

Мұндағы g_1 – кептіргенге дейінгі бюкстің затпен салмағы, г; g_2 – кептіргеннен кейінгі бюкстің массасы, г; g_0 – бос бюкстің массасы, г.

Ілік заттардың молекулалық массасын анықтау

Кез келген полимер жеке зат емес, молекулалық массасы орташа кейбір полимер гомологтардың қоспасы болып табылады, молекулалық-массалық бөлінуіне тәуелді анықталады.

Полимерлердің көптеген қасиеттері полидисперсиялық дәрежесіне және молекулалық массасына тәуелді болады. Полконденсация процесі кезінде түзілген өнімдердің молекулалық массасаларын төмендегі әдістермен анықтауға болады: 1) айнарудың төменгі сатысында реакцияның аяқталуы, бұл принцип әртүрлі олигомерлерді алу әдісі фенолформальдегидті, карбамидті, эпоксидті және басқа да олигомерлерді алуға кеңінен қолданылады; 2) компоненттердің біреуін артық мөлшерде қолдану, бұл әдіспен қанықпаған олигоэфирлер, полиуронтандарды алу үшін қолданылатын олигоэфирдиолдарды алады; 3) реакциялық қоспаға монофункционалды қосылыстарды қосу арқылы алады.

Жоғары молекулалық қосылыстарға тән олигомерлер әртүрлі молекулалы-массалы бөлінуі (ММБ) процестің жүру жағдайына және алу әдісіне байланысты болады. Көптеген жағдайларда ММБ олигомерлер үшін сәйкес жоғары молекулалы полимерлерге қарағанда аясы тар, ауқымсыз. Полимерлердің молекулалық массасы мен молекулалы-массалық бөлінуін анықтау үшін осмометриялық, вискозиметрлік, эбулиоскопиялық, ультрацентрифугада седиментациялау (функциялық хроматография) хроматографиялық бөлу, гельді енетін хроматография, термодиффузия, турбидиметриялық титрлеу сияқты әртүрлі әдістерді қолданылады.

Осмометрлік әдіс осмостық қысымын өлшеуге негізделген. Полимердің осмостық қысымын өлшеу үшін әртүрлі конструкциялы осмометрлер, статикалық және динамикалық әдістер қолданылады. Осмостық қысымды өлшеудің

статистикалық әдісі динамикалық әдіспен салыстырғанда қарапайым, бірақ тепе-теңдікті құрудың ұзақтығының әсерінен еріген полимердің деструкциясы жүруі мүмкін. Бұл ерітіндідегі төмен молекулалы бөлшектердің құрамының жоғарылауына әкеледі. Оған қоса, полимер ерітіндісінің жартылай өткізгіш мембранамен ұзақ қосылуынан соңғысы еріген затты адсорбциялауы мүмкін және осылай ерітіндідегі полимердің концентрациясын төмендетеді. Сондықтан да соңғы жылдары өлшеу аз уақыт алатын статикалық осмометрлерді құру тәсілдері жасалады. Хельфиц осмометрі ең кең таралған болып шықты. Динамикалық әдіспен өлшеу кезінде осмостық қысым дәл өлшенген қысымға сәйкес келеді. Бұл әдістің тиімділігі – өлшеудің жылдам екендігі.

Мембраналар мен аппаратура молекулалық массасын анықтауда вискозиметрлік әдіс кең таралған әдіс болып табылады. Бұл әдіс полимерді сипаттайтын тұтқырлықты анықтауға негізделген. Орташа молекулалық массаны M төмендегідей Марк-Хувинк теңдеуімен есептеп шығарады:

$$[\eta] = KM^a$$

Мұндағы K және a – берілген температурадағы полимер – еріткіш жүйесі үшін берілген тұрақтылар; M – структуралық (мономерлік) тізбектің молекулалық массасы.

Тәжірибеге алынған дәрілік өсімдіктерден инулин пектинді заттарды бөлу әдістері, касиеттері және құрамын анықтау

Су және спиртпен экстракциялау арқылы инулинді алу әдістері

Жұмыстың орындалу сәтіне келетін болсақ, емен қабығы мен қарақаттан инулинді заттарды алу үшін 10г шикізат алып, оны ұсақтап, аузы шлифтелген колбаға салып, үстіне спирттің концентрациясы 40мл спирт құйып, су моншасында бір сағат қыздырады, бір сағат өткен соң, колбаны су моншасынан алып, суытып, сүзеді де, сүзіп алған ерітіндінің көлемін өлшеп бір ыдысқа құяды. Екінші рет қалған колбадағы шикізатқа 30мл спирт құйып, қайтадан су моншасында жарты сағатқа қояды, жарты сағат өткен соң ерітіндіні сүзіп алып, көлемін өлшейді. Сүзіліп алынған ерітіндіні құйып алады. Осы тәжірибені үшінші рет 30мл спиртпен жарты сағатқа тағы бірнеше рет шикізат құрамындағы қантты заттар спирт құрамына толық өткенше қайталайды. Қалған мелассаны пектинді заттар алу үшін кептіріп қояды.

1. Инулин алу барысы: фарфор ыдысты алдын ала өлшеп алып, оған өлшеніп алынған ерітіндіні құйып су моншасында буландырады, біраз уақыт өткен соң ерітінді құрамындағы спирті ұшып, ыдыс түбіне жабысқан тазаланған инулин қалды. Сол сәтте ыдысты су моншасынан алып, салмағын өлшейді, содан кейін қырып алып, кептіріп салмағын өлшейді.

2. Инулин алу барысы: алынған ерітіндіні бір тәулікке тоңазытқышқа қалдырып, содан кейін центрифугациялайды, сол кезде таза инулин тұнбаға түседі, оны кептіріп қырып алып, бір ыдысқа салып қояды.

3. Пектин алу барысы: мелассаны 1:5 қатынасында сумен экстракциялап, сүзіп алынған пектин ерітіндісін 40-45°C температурада концентрілейді, содан кейін

96% этил спиртімен тұнбаға түсіріп (рН=1,7-1,9 дейін) сүзеді. Алынған пектинді тазалайды. Бірінші сатыда - 70% спиртпен 1:8 қатынасталимон қышқылымен, екінші сатыда 96% этил спиртпен 1:8 қатынасында жуады. Алынған пектинді кептіреді (55-60°C температурада). Дайын өнім-пектин. Ал қалдық ерітіндіні айдау арқылы этил спиртіні алуға болады.

4-кесте

Шикізаттардың химиялық құрамы

Шикізат Түрі	Флавоноидтар, %	Эфир майлары, %	Ілік заттар, %	Инулин %	Пектин, %	Антоциандар, %
Емен қабығы	13-14	5	7-20	17	6	2,5
2,25	8,92		4,4	13	1,41	23,93
0,05	10		6,5	12,9	-	45 мг
0,07-0,22	2		10,5-10,9	14,1	-	5,66-5,76

Кестедегі мәліметтерге сүйенсек, емен қабығы мен қарақаттың инулин мен антоциандар мөлшері жоғары. Жалпы мөлшері 5-23,93%. Сонымен қатар флавоноидта ілік заттар мөлшерлері де жоғары.

Зерттеу нәтижелерін талдау. Зерттеу нәтижесінде дәрілік өсімдіктердің құрамында ілік заттарды анықтау мақсатында сапалық және сандық талдау жасалынды. Оның ішінде конденсацияланған ілік заттар, катехиндер, пирогаллды топтың иілік заттары, гидролизденетін ілік заттар реакцияларды жүргізу кезінде пайда болған түстерге сәйкес анықталды.

5-кесте

Өсімдіктердің химиялық сапалық талдауы

№	Атауы	Реактивтер	Түсінің өзгеруі	Ілік заттар
1	Емен қабығы	1-3 тамшы 1% хининнің спирттік ерітіндісі	Қара көк тұнба	Гидролизденетін
2	Қарақат		Қара жасыл	Конденсацияланған
3	Үштармақ		Қара жасыл	
4	Шілтер жапырақ шайқурай		Қара көк тұнба	Гидролизденетін
5	Емен қабығы	HCl, 1% ванилин ерітіндісі	Қоңыр түс	-
6	Қарақат		Лай түс	Ілік заттар
7	Үштармақ		Лай түс	Аралас ілік заттар
8	Шілтер жапырақ шайқурай		Қоңыр түс	
	Емен қабығы	1% желатин ерітіндісі	Түссіз	-
10	Қарақат		Қызыл түс	Конденсацияланған, катехиндер
11	Үштармақ		Қызыл түс	
12	Шілтер жапырақ шайқурай		Түссіз	-

Сапалық талдау нәтижесінде: емен қабығы мен шілтер жапырақ шайқурай ерітіндісінде қара көк тұнба гидролизденетін ілік заттар болды. Қарақат пен итошаған ерітіндісінде қара жасыл тұнбаның түзілуі конденсацияланған ілік заттардың бар екенін көрсетті. Қарақат пен итошаған лай түске өзгеруі ілік заттар және қызыл түске боялуы конденсацияланған, катехинді заттар бар екенін байқатты.

2.Титриметриялық талдау кезіндегі орташа сан мәндері төмендегідей болды.

Титриметриялық талдау нәтижесінде, ілік заттар: қарақатта -0,031% , итошағанда – 0,083%, шілтер жапырақ шайқурайда – 0,085%, емен қабығында - 0,104% анықталды, яғни ең көп ілік зат емен қабығында.

Емен қабығы

$$A_1 = \frac{(0.9-0.5) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.125\%$$

$$A_2 = \frac{(0.9-0.6) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.094\%$$

$$A_3 = \frac{(0.9-0.6) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.094\%$$

$$A_{\text{орт}} = \frac{0.125 + 0.094 + 0.094}{3} = 0.104\%$$

Қарақат

$$A_1 = \frac{(1.1-1) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.031\%$$

$$A_2 = \frac{(1-0.9) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.031\%$$

$$A_3 = \frac{(1-0.9) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.031\%$$

$$A_{\text{орт}} = \frac{0.031 + 0.031 + 0.031}{3} = 0.031\%$$

Итошаған

$$A_1 = \frac{(1.2-1) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.062\%$$

$$A_2 = \frac{(1.1-0.8) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.093\%$$

$$A_3 = \frac{(1.1-0.8) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.083\%$$

$$A_{\text{орт}} = \frac{0.062 + 0.093 + 0.083}{3} = 0.083\%$$

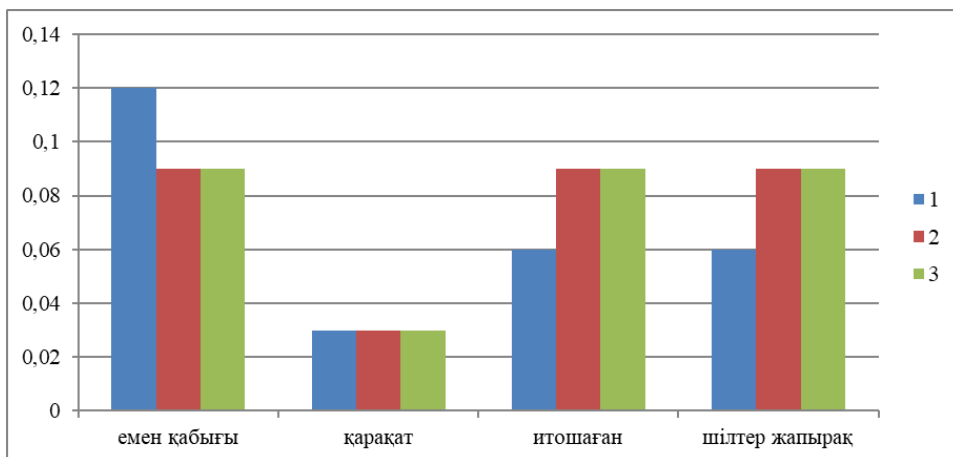
Шілтер жапырақ шайқурай

$$A_1 = \frac{(1.1-0.9) \cdot 0.004157 \cdot 15 \text{мл} \cdot 100}{10 \text{мл} \cdot 2 \text{г}} = 0.068\%$$

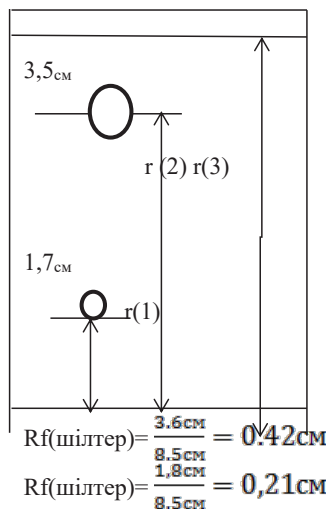
$$A_2 = \frac{(1,1-0,8) \cdot 0,004157 \cdot 15 \text{ мл} \cdot 100}{10 \text{ мл} \cdot 2 \text{ г}} = 0,093\%$$

$$A_3 = \frac{(1,1-0,8) \cdot 0,004157 \cdot 15 \text{ мл} \cdot 100}{10 \text{ мл} \cdot 2 \text{ г}} = 0,093\%$$

$$A_{\text{орт}} = \frac{0,068 + 0,093 + 0,093}{3} = 0,085\%$$



1-диаграмма
Титриметиялық талдау көрсеткіші



$$Rf = \frac{l}{L} \quad Rf(\text{емен}) = \frac{3,5 \text{ см}}{8,5 \text{ см}} = 0,72 \text{ см}$$

$$Rf(\text{қарақат}) = \frac{1,7 \text{ см}}{8,5} = 0,2 \text{ см}$$

$$Rf(\text{қарақат}) = \frac{2,4 \text{ см}}{8,5 \text{ см}} = 0,28 \text{ см}$$

$$Rf(\text{емен}) = \frac{5 \text{ см}}{8,5 \text{ см}} = 0,588 \text{ см}$$

$$Rf(\text{итошаған}) = \frac{3,1 \text{ см}}{8,5 \text{ см}} = 0,36 \text{ см}$$

$$Rf(\text{итошаған}) = \frac{1,3 \text{ см}}{8,5 \text{ см}} = 0,15 \text{ см}$$

6-кесте

Хроматографиялық талдау

Лік заттар	Ерітінді	
	Ванилин 1% тұз қышқылы (конц) см	н- бутанол-сірке қышқылы-су (4:1:1) см
Емен	0,58	0,72
Қарақат	0,28	0,2

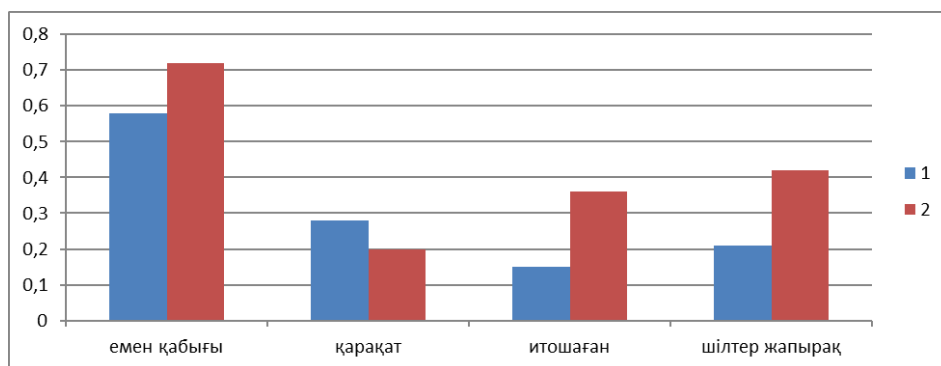
Итошаған	0,15	0,36
Шілтер жапырақ шайқурай	0,21	0,42

Хроматографиялық әдіспен жасалған талдау қорытындысы R_f мәні: ванилиннің 1% тұз қышқылы ерітіндісінде: итошаған 0,15 см, шілтер жапырақ шайқурайда 0,21см, қарақат 0,28 см, емен қабығында 0,58 см жоғарғы көлемде болып тұр.

Н-бутанол-сірке қышқылы сулы ерітіндісінде, ванилиннің 1% тұз қышқылы ерітіндісіне қарағанда емен қабығы 0,14см итошаған және шілтер жапырақ шайқурай 0,21 см дейін жетіп, ең жоғарғы көлемде болды.

2-диаграмма

Хроматографиялық талдаудың көрсеткіші



Қорытынды. Қазақстанның байтақ жері әртүрлі дәрілік өсімдіктерге бай. Осы дәрілік өсімдіктерден алынатын ілік заттар физика-химиялық және биохимиялық қасиеттерге ие екендігімен таң қалдырады.

Елімізде кездесетін дәрілік шөптер алынып, ілік заттарды анықтау мақсатында: Емен қабығы, қарақат, итошаған және шілтер жапырақ шайқурай өсімдіктері алынып, анықтаулар жүргізілді.

- Сапалық талдау нәтижесінде: емен қабығы мен шілтер жапырақ шайқурай ерітіндісінде қара көк тұнба гидролизденетін ілік заттар болды. Қарақат пен итошаған ерітіндісінде қара жасыл тұнбаның түзілуі конденсацияланған ілік заттар бар екендігін білдірді. Қарақат пен итошағанның лай түске өзгеруі ілік заттар және қызыл түске боялуы конденсацияланған, катехинді заттар бар екенін байқатты.

- Титриметриялық талдау нәтижесінде, ілік заттар:

қарақатта -0,031%, итошағанда –0,083%, шілтер жапырақ шайқурайда –0,085%, емен қабығында - 0,104% анықталды, яғни ең көп ілік зат емен қабығында болды.

Хроматографиялық әдіспен жасалған талдау қорытындысы R_f мәні: ванилиннің 1% тұз қышқылы ерітіндісінде: итошаған 0,15 см, шілтер жапырақ шайқурайда 0,21см, қарақат 0,28 см, емен қабығында 0,58 см жоғарғы көлемде болып тұр. Н- бутанол-сірке қышқылы сулы ерітіндісінде, ванилиннің 1% тұз қышқылы

ерітіндісіне қарағанда емен қабығы 0,14 см итосаған және шілтер жапырақ шайқурай 0,21 см дейін жетіп ең жоғарғы көлемде болды.

Тұжырымдай келе, дәрілік өсімдіктерден алынатын ілік заттардың адам өмірінде қаншалықты маңыздылығы екені дәлелденді, одан әрі насихат жүргізілсе, тамақ және жеңіл өнеркәсіпте, одан әрі қолданысқа ие болса адам денсаулығының асқазан ішек жолының секреторлық функциясының төмендеуіне әсер ететін Р дәрумені қасиеттерімен жабдықталған: кесік, сынық, күйікті емдеуге қолданылады.

Ілік заттар тірі ағзалардың жасуша ұлпаларында ақуызды коллагенмен түзіліп, ұлпаларды ағзадағы уытты, улы токсиндерден қорғап, қорғаныш қабатын түзеді.

Әдебиеттер

Misganaw Gedlu Agidew (2022) Phytochemical analysis of some selected traditional medicinal plants in Ethiopia. Volume 46, article number 87.

Ranjana Roy Mishra (2024) Phytochemical analysis and comparison of some selected plants.

T.V. Binu, et al, (2023) Athira.Evaluation of Medicinal Plant with Reference to Its Substitute. — P. 927-969.

Aswathi Pokkadath, (2023) Reshmi Chembrammal & John Ernest Thoppil. Phytopharmacological Aspects of the Genus Terminalia. — P. 1117-1134.

ED Teodor, Eugenia D.; Ungureanu, Oana; Gatea, Florentina; Radu, Gabriel L., (2020) - The Potential of Flavonoids and Tannins from Medicinal Plants as Anticancer Agents. — P. 2216-2227.

Niclas Neumann, Miriam Honke, Maria Povydysh (2022) Evaluating Tannins and Flavonoids from Traditionally Used Medicinal Plants with Biofilm Inhibitory Effects against MRGN E. coli. <https://doi.org/10.3390/molecules27072284>

Enass Y.A. Salih, Riitta Julkunen-Tiitto, Olavi Luukkanen, Mustafa K.M. Fahmi, Pia Fyhrquist, (2021). Hydrolyzable tannins (ellagitannins), flavonoids, pentacyclic triterpenes and their glycosides in antimycobacterial extracts of the ethnopharmacologically selected Sudanese medicinal plant. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112264>

Glinka N.L. (2018) General chemistry: manual for graduate students: volume 3/N.L.Glinka,-27 edition. — Almaty, 2018. — 248 p.

Б. Иманғалиева, Б. Досанова, Б. Торсықбаева, И. Нурлыбаев, Н. Сұлтанов (2024) “Қызыл мия” өсімдігінің тамырынан глицирризин қышқылын синтездеу және химиялық қасиеттерін зерттеу. N E W S of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Series chemistry and technology, Volume 4. — Number 461 (2024). — P. 34-42. <https://journals.nauka-nanrk.kz/chemistry-technology/article/view/6690/4736>

Kasta Gurning & Risanti F. R. Situmorang, E. T. Sinaga, N. Singarimbun, S. P. Sinaga & S. Silaban (2022) Determination of Tannins Content and Antibacteria Activity Test of Ethanol Extract of Sirih Merah (*Piper crocatum* Ruiz & Pav.) Leaf from North Sumatera Province, Oriental Journal of Chemistry, 38(4).

Neumann, N., Honke, M., Povydysh, M., Guenther, S., & Schulze, C. (2022) Evaluating Tannins and Flavonoids from Traditionally Used Medicinal Plants with Biofilm Inhibitory Effects against MRGN E. coli. *Molecules*, 27(7). — 2284p. <https://doi.org/10.3390/molecules27072284>

Ropiak, H. M., Ramsay, A., & Mueller-Harvey, I. (2015) Condensed tannins in extracts from European medicinal plants and herbal products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 121. — P. 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2015.12.034>

Ucella-Filho J.G.M., Da Silva Monteiro Freire A., Carréra J.C., Lucas F.M.F., Zucolotto S.M., Júnior A.F.D., & Mori F. A. (2022). Tannin-rich bark extract of plants as a source of antimicrobial bioactive compounds: A bibliometric analysis. *South African Journal of Botany*, 150. — P. 1038–1050. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.018>

De Queiroz Siqueira, C. F., Cabral D.L.V., Da Silva Peixoto Sobrinho, T.J., De Amorim, E.L.C., De Melo, J.G., De Sousa Araújo T.A., & De Albuquerque, U.P. (2011) Levels of tannins and flavonoids in

medicinal plants: Evaluating bioprospecting strategies. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2012. — P. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2012/434782>

De Sousa Araújo T.A., Alencar N.L., De Amorim E.L.C., & De Albuquerque U. P. (2008) A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonoids contents from the local knowledge. Journal of Ethnopharmacology, 120(1). — P. 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.07.032>

Matei A. O., Gatea F., Teodor E.D., & Radu G.L. (2015) Tannins analysis from different medicinal plants extracts using MALDI-TOF and MEKC. Chemical Papers, 70(4). <https://doi.org/10.1515/chempap-2015-0222>

Okuda T. (2005) Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants. Phytochemistry, 66(17). — P. 2012–2031. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.04.023>

References

Misganaw Gedlu Agidew (2022) Phytochemical analysis of some selected traditional medicinal plants in Ethiopia. Volume 46, article number 87. (in Eng.).

Ranjana Roy Mishra (2024) Phytochemical analysis and comparison of some selected plants. (in Eng.).

T.V. Binu, et al, (2023) Athira.Evaluation of Medicinal Plant with Reference to Its Substitute. — P. 927-969. (in Eng.).

Aswathi Pokkadath, (2023) Reshmi Chembrammal & John Ernest Thoppil. Phytopharmacological Aspects of the Genus Terminalia. — P. 1117-1134. (in Eng.).

ED Teodor, Eugenia D.; Ungureanu, Oana; Gatea, Florentina; Radu, Gabriel L., (2020) - The Potential of Flavonoids and Tannins from Medicinal Plants as Anticancer Agents. — P. 2216-2227. (in Eng.).

Niclas Neumann, Miriam Honke, Maria Povydysh (2022) Evaluating Tannins and Flavonoids from Traditionally Used Medicinal Plants with Biofilm Inhibitory Effects against MRGN E. coli. <https://doi.org/10.3390/molecules27072284> (in Eng.).

Enass Y.A. Salih, Riitta Julkunen-Tiitto, Olavi Luukkanen, Mustafa K.M. Fahmi, Pia Fyhrquist, (2021). Hydrolyzable tannins (ellagitannins), flavonoids, pentacyclic triterpenes and their glycosides in antimycobacterial extracts of the ethnopharmacologically selected Sudanese medicinal plant. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112264> (in Eng.).

Glinka N.L. (2018) General chemistry: manual for graduate students: volume 3/N.L.Glinka,-27 edition. — Almaty, 2018. — 248 p. (in Eng.).

B. Imangalieva, B. Dosanova, B. Torsykbaeva, I. Nырlybaev, N. Sultanov (2024). "Qyzyl mia" ósimdiginiń tamyrnan gıslırızın qyshqylyn sintezdeý jáne himialyq qasietterin zertteý. ["Red licorice" synthesis and study of chemical properties of glycyrrhizinic acid from the roots of the plant] N E W S of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Series chemistry and technology, Volume 4, Number 461 (2024), — P. 34-42.(in Kazakh) <https://journals.nauka-nanrk.kz/chemistry-technology/article/view/6690/4736>

Kasta Gurning & Risanti F. R. Situmorang, E. T. Sinaga, N. Singarimbun, S. P. Sinaga & S. Silaban (2022) Determination of Tannins Content and Antibacteria Activity Test of Ethanol Extract of Sirih Merah (Piper crocatum Ruiz & Pav.) Leaf from North Sumatera Province, Oriental Journal of Chemistry, 38(4). (in Eng.).

Neumann, N., Honke, M., Povydysh, M., Guenther, S., & Schulze, C. (2022) Evaluating Tannins and Flavonoids from Traditionally Used Medicinal Plants with Biofilm Inhibitory Effects against MRGN E. coli. Molecules, 27(7). — 2284p. <https://doi.org/10.3390/molecules27072284> (in Eng.).

Ropiak, H. M., Ramsay, A., & Mueller-Harvey, I. (2015) Condensed tannins in extracts from European medicinal plants and herbal products. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 121. — P. 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2015.12.034> (in Eng.).

Ucella-Filho J.G.M., Da Silva Monteiro Freire A., Carréra J.C., Lucas F.M.F., Zucolotto S.M., Júnior A.F.D., & Mori F. A. (2022). Tannin-rich bark extract of plants as a source of antimicrobial bioactive compounds: A bibliometric analysis. South African Journal of Botany, 150. — P. 1038–1050. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.018> (in Eng.).

De Queiroz Siqueira, C. F., Cabral D.L.V., Da Silva Peixoto Sobrinho, T.J., De Amorim, E.L.C., De Melo, J.G., De Sousa Araújo T.A., & De Albuquerque, U.P. (2011) Levels of tannins and flavonoids in medicinal plants: Evaluating bioprospecting strategies. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2012. — P. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2012/434782> (in Eng.).

De Sousa Araújo T.A., Alencar N.L., De Amorim E.L.C., & De Albuquerque U. P. (2008) A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonoids contents from the local knowledge. *Journal of Ethnopharmacology*, 120(1). — P. 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.07.032> (in Eng.).

Matei A. O., Gatea F., Teodor E.D., & Radu G.L. (2015) Tannins analysis from different medicinal plants extracts using MALDI-TOF and MEKC. *Chemical Papers*, 70(4). <https://doi.org/10.1515/chempap-2015-0222> (in Eng.).

Okuda T. (2005) Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants. *Phytochemistry*, 66(17). — P. 2012–2031. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.04.023> (in Eng.).

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 463 (2025), 105–118

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.284>

UDC 544.6.018.47

© A. Kassen, Ye. Ussipbekova*, G. Suleimenova, A. Dauletbay, 2025.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: enlik.ussipbekova@gmail.com

MEMBRANE SEPARATOR PROPERTIES FOR POLYMER-BASED BATTERIES

A. Kassen — 2nd course student of master's degree, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: kassenakerke@gmail.com ;

Ye. Ussipbekova — PhD ass. prof. of al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: enlik-86taraz@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8367-1800;

G. Suleimenova — master, 2nd course student of PhD, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: gulnur-suleimen@mail.ru, ORCID:0000-0002-2338-8453;

A. Dauletbay — PhD, Senior Researcher of Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: akbar.dauletbay@nu.edu.kz, ORCID:0000-0003-0157-1449.

Abstract. The article examines methods for fabricating membrane separators (solid polymer electrolytes) for batteries utilized in modern electronics, gadgets, and electric vehicles. These electrolytes offer several advantages, including safety, non-flammability, non-toxicity, environmental sustainability, and the ability to recover energy following external damage. This study investigates the properties of membranes designed for high-performance batteries. Membrane separators based on PVDF-PEO-TiO₂ were synthesized with varying component ratios. The optimal composition and electrochemical properties of the polymer composite were identified, with the 3:1 ratio of PVDF-PEO-TiO₂ demonstrating the highest efficiency. The impact of filler concentration on the ionic conductivity of the membrane was analyzed. The maximum conductivity, $\sigma = 9.59 \times 10^{-3}$ S/cm, was achieved at 40 °C with a TiO₂ concentration of 0.025%. A further increase in titanium oxide content resulted in a decline in conductivity due to the deposition of excess TiO₂ on the membrane surface, which obstructed ion transport. The temperature dependence of ionic conductivity followed the Arrhenius equation, indicating that higher temperatures enhance ion mobility. The composite polymer separators were further characterized using scanning electron microscopy and infrared (IR) spectroscopy. These findings highlight the critical role of investigating the physicochemical interactions between the polymer matrix and the filler. Such

studies advance fundamental knowledge and enable the development of membrane separators with tailored properties, simplifying the selection of components for specific applications.

Keywords: lithium-ion polymer batteries, ion conductivity, separator membrane, filler, film

© А. Касен, Е. Усипбекова*, Г. Сулейменова, А. Даулетбай, 2025.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: enlik.ussipbekova@gmail.com

ПОЛИМЕРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ БАТАРЕЯЛАРҒА АРНАЛҒАН МЕМБРАНА-СЕПАРАТОР ҚАСИЕТТЕРІ

А. Касен — 2-курс магистранты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: kassenakerke@gmail.com;

Е. Усипбекова — PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан,

E-mail: enlik-86taraz@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8367-1800;

Г. Сулейменова — магистр, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің 2-курс докторанты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: gulnur-suleimen@mail.ru, ORCID:0000-0002-2338-8453;

А. Даулетбай — PhD, Назарбаев Университетінің аға ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан,

E-mail: akbar.dauletbay@nu.edu.kz, ORCID:0000-0003-0157-1449.

Аннотация. Бұл мақалада заманауи электронды техникада, гаджет және электромобильдерде қолданылатын батареялар үшін мембрана-сеператорлар (немесе қатты полимерлі электролиттер) жасаудың жолдары келтірілген. Электролиттің бұл түрі басқалардан қауіпсіздік, жарылғыш емес, жанғыш емес, улы емес және экологиялық таза, сонымен бірге сыртқы әсерге зақымданған кезде өз энергиясын қайта қалпына келтіре алатын қабілеттермен ерекшеленеді. Жұмыста тиімділігі жоғары болатын заманауи аккумуляторларға арналған мембрана қасиеттері зерттелінген. Атап айтқанда, әр түрлі қатынаста құрамы ПВДФ-ПЭО- TiO_2 негізінде мембрана-сеператорлар (қатты полимерлі электролит) алынған. Аталған полимерлі композиттің тиімді құрамы, электрохимиялық қасиеттері зерттелінген. Алынған мембрана-сеператордың ең тиімді құрамы (3:1) ПВДФ-ПЭО- TiO_2 болып табылады. Толтырғыштың концентрациясының қабықша өткізгіштігіне әсері зерттелініп, оның ең жоғары көрсеткіші TiO_2 0,025% мөлшерінде 45°C температурада $\sigma = 9,59 \cdot 10^{-3}$ См/см. Алынған нәтижелер титан оксидінің мөлшерінің артуымен өткізгіштіктің шамалы төмендеуін көруге болады, ол титан оксидінің артық мөлшерінің мембрана бетіне тұнып, ионның тасымалдауын блоктауынан болуы мүмкін. Сонымен қатар, температураның иондық өткізгіштікке тәуелділігі Аррениус ережесіне сәйкес келетінін байқауға болады, яғни температура артуы иондардың қозғалысының артуына алып келеді. Алынған композитті полимерлі сеператордың сканерлеуші электронды микроскоп

зерттеулері және инфрақызыл спектроскопия әдісімен талдау нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер бойынша түрлендіргіштің мембраналы сепараторлардың қасиеттеріне әсер етуінің физика-химиялық аспектілерін мұқият зерттеу іргелі білімді одан әрі жинақтау және полимер матрицасы мен толтырғыш арасындағы өзара әрекеттесу заңдылықтарын шығару үшін маңызды болады. Бұл пайдаланушыға қажетті сипаттамалары бар мембраналық сепаратордың құрамдас бөліктерін таңдауды жеңілдетеді. Зерттеу нәтижесінде алынған композиттік мембраналарды химиялық тоқ көзі үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: литий-ионды полимерлі батареялар, иондық өткізгіштік, мембрана-сепаратор, толтырғыш, қабықша

© А. Касен, Е. Усипбекова*, Г. Сулейменова, А. Даулетбай, 2025.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: enlik.ussipbekova@gmail.com

СВОЙСТВА МЕМБРАНЫ-СЕПАРАТОРА ДЛЯ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

А. Касен — магистрант 2 курса, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: kassenakerke@gmail.com;

Е. Усипбекова — PhD, ассоциированный профессор Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: enlik-86taraz@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8367-1800;

Г. Сулейменова — магистр, докторант 2 курса Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: gulnur-suleimen@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2338-8453;

А. Даулетбай — PhD, старший научный сотрудник Назарбаев Университета, Астана, Казахстан,

E-mail: akbar.dauletbay@nu.edu.kz, ORCID: 0000-0003-0157-1449.

Аннотация. В статье рассматриваются методы создания мембранных сепараторов (твердых полимерных электролитов) для батарей, используемых в современной электронике, гаджетах и электромобилях. Данный тип электролитов обладает рядом преимуществ, включая безопасность, отсутствие взрывоопасности, негорючесть, нетоксичность, экологичность, а также способность восстанавливать энергию при внешних повреждениях. В работе исследованы свойства мембран для современных высокоэффективных аккумуляторов. Были получены мембранные сепараторы на основе ПВДФ-ПЭО- TiO_2 в различных соотношениях компонентов. Определены оптимальный состав и электрохимические свойства данного полимерного композита. Наиболее эффективной была признана мембрана-сепаратор с соотношением компонентов 3:1 (ПВДФ-ПЭО- TiO_2). Влияние концентрации наполнителя на ионную проводимость мембраны также было изучено. Максимальная проводимость составила $\sigma = 9,59 \times 10^{-3}$ См/см при температуре 40°C и концентрации TiO_2 , равной 0,025%. Установлено, что с увеличением содержания оксида титана проводимость

снижается. Это объясняется осаждением избыточного количества TiO_2 на поверхности мембраны, что блокирует ионный перенос. Зависимость ионной проводимости от температуры соответствует правилу Аррениуса: повышение температуры приводит к увеличению подвижности ионов. Кроме того, проведен анализ полученных композитных полимерных сепараторов с использованием сканирующего электронного микроскопа и инфракрасной спектроскопии. Полученные результаты подчеркивают важность изучения физико-химических аспектов влияния наполнителя на свойства мембранных сепараторов. Это позволяет углубить фундаментальные знания о взаимодействиях между полимерной матрицей и наполнителем, а также облегчает выбор компонентов для мембранных сепараторов с заданными характеристиками. Полученные в результате исследований композитные мембраны могут быть использованы для химических источников тока.

Ключевые слова: литий-ионные полимерные батареи, ионная проводимость, мембрана-сепаратор, наполнитель, пленка

Кіріспе. Қазба ресурстарын пайдалануды азайту және жаңартылатын энергияны өндіру мен сақтауды жақсарту бойынша электр энергиясын сақтау жүйелері-ауысудың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, өйткені олар жаңартылатын энергия көздері, литий-ионды аккумулятор (ЛИА) өндіретін электр энергиясын тиімді сақтайды (Zhang, et al., 2017). Литий-ионды аккумулятор электроникада, электромобильдерде және энергетикалық жүйелерде, робототехникада және басқа салаларда кеңінен қолданылып келеді (Luo, et al., 2022). Ең үлкен нарық-портативті электр құрылғылары болды, бірақ қазіргі таңда автомобиль көлігі үшін литий-ионды аккумуляторларға сұраныс арта түсуде. Батарея аэроғарыш өнеркәсібінде, соның ішінде спутниктер мен авиацияда да қолданыла бастады. Жоғары энергия тығыздығы және тиімділігі, ұзақ қызмет ету мерзімі, жылдам зарядтау және разрядтау, өздігінен төмен разряд жылдамдығы және жұмыс температурасының кең ауқымы, жоғары қуат сыйымдылығы, ұзақ қызмет ету мерзімі сияқты қасиеттеріне байланысты кеңінен пайдаланылуда (Zhang, et al., 2019). Батареялардың энергия тығыздығы артып келе жатқанына қарамастан, қауіпсіздік мәселелері олардың одан әрі практикалық қолданылуына айтарлықтай кедергі келтіретін маңызды мәселе болып тұр. Сондықтан да, қарқынды жұмыс жағдайында литий-ионды батареялар термиялық үдеу қауіпіне ұшырайтыны белгілі болып отыр (Liu, et al., 2017).

Литий-ионды аккумулятор негізгі төрт компоненттен тұрады: катод, анод, электролит және сепаратор. Батареяның әртүрлі компоненттерінің ішінде сепаратор батарея өнімділігінде маңызды рөл атқарады (Liu, et al., 2018). Литий-ионды аккумулятор сепараторы катод пен анодтың арасында орналасқан және литий тогын өткізген кезде оң және теріс электродтардың электронды оқшаулауында шешуші рөл атқарады, ол аккумулятордың электрохимиялық өнімділігіне қатты әсер етеді. Сепараторлар электродтардың бір-біріне тиіп кетуіне және қысқа тұйықталуына жол бермеу үшін жоғары температурада тұрақты өлшемдерді

сақтауы керек (Gong, et al., 2020). Сепараторлардың ең маңызды сипаттамалары микроқұрылым, ылғалдылық, термиялық және механикалық қасиеттер және иондық өткізгіштік мәні болып табылады. Сепаратордың үлкен кеуектілігі литий иондарының сепаратордың микропоралары арқылы тасымалдануына ықпал етеді (Costa, et al., 2019). Сепаратор электролит қоймасы ретінде де қызмет ете алады, иондардың тасымалдануына және белгілі бір дәрежеде электрохимиялық сипаттамаларға әсер етеді, сондықтан оның орналасуы электрод пен электролиттің орналасуына тең болса, сепаратор маңыздырақ болады (Lee, et al., 2019).

Сепаратордың сапасының нашарлауы қуаттың төмендеуіне және ақырында қуат көзінің істен шығуына әкелуі мүмкін. Сепаратордың бұзылуының басты себептері, негізінен, сепаратордың кеуектерінен туындаған литий дендриттерінің өсуі, электролиттің енуі, сепаратордағы циклдік өткелдердің бітелуі және температураның жоғарылауынан туындаған құрылымның бұзылуы болып табылады. Қазіргі уақытта жоғары қауіпсіздік пен сенімділікке, сондай-ақ ұзақ қызмет ету мерзіміне ие батарея сепараторлары мұқият зерттелуде (Xu, et al., 2020).

Соңғы жылдары ғалымдар поли(винилиденфторид) (ПВДФ)-полиэтиленоксид (ПЭО) негізіндегі электролитті алу және соның негізінде алынған композитті полимерлі электролиттерге зерттеулер жүргізуде (Martins, et al., 2020). Типтік сызықтық ПЭО этилен оксиді (ЭО) тізбектерінің жоғары кристаллдылығына байланысты болатын негізгі кемшілігі—олардың бөлме температурасында иондық өткізгіштігі төмен (10^{-6} -дан 10^{-8} См^{-1} -ге дейін) (Karthik, et al., 2018). Кристалдықты төмендету және иондық өткізгіштікті жақсарту үшін поливинилиденфторидті (ПВДФ) (Ushakova, et al., 2020) және полимер матрицасына TiO_2 , SiO_2 және Al_2O_3 т.б сияқты нано толтырғыштарды қосты (Dhatarwal, et al., 2021). Сонымен қатар, ПЭО-нің жоғары қауіпсіздік, өндірістің қарапайымдылығы, төмен құны, жоғары энергия тығыздығы, төмен уыттылығы, жақсы электрохимиялық тұрақтылық және литий тұзымен тамаша үйлесімділік сияқты бірқатар ерекше артықшылықтары бар. Алайда, ПВДФ-ті де қолдануды шектейтін фактор бар. Бұл ПВДФ-тегі фтор атомдарының литий тұздарымен әрекеттесуі. Сонымен қатар, ПВДФ -тің кристалдық құрамы Li иондарының миграциясына әсер етеді, бұл ПВДФ негізіндегі мембрананың өнімділігінің нашарлауына әкеледі (Хуе, et al., 2015).

ПЭО негізіндегі электролиттік жүйелердің иондық өткізгіштігін және басқа электрохимиялық қасиеттерін жақсарту үшін екі негізгі тәсіл ұсынылды: біріншісі пластификация, екіншісі нано/микро өлшемді керамикалық толтырғыштарды дисперсиялау. Мұндағы полиэтилен оксиді (ПЭО)-бұл металл тұздарының жоғары концентрациясын еріту қабілеті бар бөлме температурасындағы жартылай кристалды полимер (Dhatarwal, et al., 2020). Жоғарыда келтірілген артықшылықтарына байланысты негізгі матрицаны құраушы полимер ретінде алынды. Күшті электронды акцепторлық функционалдық топтың ($-\text{C}-\text{F}$) арқасында ПВДФ негізіндегі ҚПЭ анодтық тұрақтылыққа ие болады. Бұл зерттеуде поливинилиденфторид (ПВДФ) электрохимиялық және механикалық қасиеттеріне байланысты пластификация және сополимер ретінде таңдалынды. Титан диоксиді (TiO_2) наноөлшемді керамикалық толтырғыш ретінде таңдалды.

TiO₂ негізіндегі нано толтырғыштар улы емес және химиялық тұрақтылық қасиеттеріне байланысты ұшпа органикалық қосылыс сенсорлары (ҰОС) және өзін-өзі қыздыратын сенсорлар сияқты бірнеше қолданбаларға ие (Ganta, et al., 2021). Зерттеудің мақсаты, энергия сақтау жүйелері үшін иондық өткізгіштігі жоғары қатты полимерлі электролит (полимерлі мембрана-сепараторлар) алу және электрохимиялық, физика-химиялық қасиеттерін зерттеу, полимерлі мембрана-сепараторлардың оңтайлы құрамын анықтау. Жұмыста нанокөмірдік полимерлі электролит (НКПЭ) немесе мембрана-сепараторлар (полимерлі электролит) бейорганикалық тұздардың қатысуынсыз алынды. Алынған мембрана-сепараторлардың күрделі түзілуі, бетінің морфологиясын және электрохимиялық қасиеттерін зерттеу үшін сәйкесінше сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ), инфрақызыл спектроскопия әдістері сияқты әртүрлі эксперименттік әдістер қолданылды.

Болашақта қайта зарядталатын батарея сепараторларына (мембрана) қойылатын талаптар жоғары болғандықтан, соны қанағаттандыратын сепараторларды дайындау, тиімді құрамды сепараторлар дайындау үшін қосымша зерттеулер қажет болғандықтан, мақалада химиялық тоқ көздері үшін қолданылатын композициялық полимерлі электролиттер алынып және олардың физика-химиялық қасиеттері сипатталынды, сонымен қатар алынған мембраналардың иондық өткізгіштік қасиетіне толтырғыш құрамының тиімділік әсері қарастырылды.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Берілген жұмыста полиэтилен оксид (ПЭО) $M_w=600,000$ г/моль (CAS № 25322-68-3), поливинилиденфторид (ПВДФ) $M_w\sim 534,000$ г/моль (CAS № 24937-79-9), бөлшектердің өлшемдері 25 нм нано толтырғыш титан диоксиді (TiO₂) (CAS № 1317-70-0) (Sigma-Aldrich) мембрана-сепараторларды дайындауға арналған бастапқы материалдар ретінде пайдаланылды. Сонымен қатар, еріткіш ретінде N, N-диметилформамид (ДМФА) (CAS № 68-12-2) (Loba Chemie, Үндістан) пайдаланылды.

Мембрана-сепараторлар 1:1 қатынаста, яғни ((50 мас.% ПЭО/50 мас.% ПВДФ)+х мас.% TiO₂ (х=2.5; 5; 7.5; 10)) және 3:1 қатынаста, яғни ((70 мас.% ПЭО/30 мас.% ПВДФ)+х мас.% TiO₂ (х=2.5; 5; 7.5; 10)) ерітіндіде дәстүрлі құю әдісімен алынды. Алдымен ПВДФ полимері берілген 1:1, 3:1 қатынаста дайындалды, ПВДФ (0,1 г) мөлшері химиялық стаканға салынды, ол магниттік араластырғышта ДМФА (7 мл) еріткішінде ерітілді. Осыдан кейін полимерлі ерітіндіге TiO₂ нано толтырғышты (х=2.5; 5; 7.5; 10 мас.%) (0.025; 0.05; 0.075; 0.1 г) қосылып, қайтадан араластырылды. Содан кейін, ерітіндіге ПЭО полимерін 1:1 (0,1 г), 3:1 (0,3 г) қосып, 60°C температурада, электролит ерітінділеріндегі TiO₂ нанобөлшектерінің жақсы дисперсиясына қол жеткізу үшін магнитті араластырғыш арқылы 2 сағат бойы үздіксіз араластырылды. Нәтижесінде, TiO₂ концентрациясы әртүрлі полимерлі электролиттердің 8 гетерогенді, тұтқыр ерітінділер алынып, полимерлі электролит ерітіндісі Петри шыны табақшасына құйылды. Пленканы қалыптастыру үшін құйылған ерітінді 24 сағат бойы 70°C температурада реттелетін кептіргіш пешке қойылды, содан кейін бөлме температурасына дейін салқындатылды, нәтижесінде бос тұрған мембрана-сепараторлар пайда болды (1-сурет).



1-сурет. Құю әдісінің схемасы

Нәтижелер және талқылаулар. Иондық өткізгіштікті анықтау.

Берілген жұмыста нанотолтырғыш TiO_2 концентрациясы (TiO_2 , мас.%) алынған мембрананың 25-45°C температура аралығында өткізгіштігіне әсері зерттелінді. Иондық өткізгіштік көлемдік кедергіні ескере отыра (мембрана қалыңдығы және ауданы) есептелінді. Сұйық электролит сіңдірілген мембрананың иондық өткізгіштігі Metrohm Autolab PGSTAT204 қондырғысында электрохимиялық импедансты спектроскопия әдісімен (EIS) анықталынды. Өлшеу 10 мВ амплитудада 0,1 Гц-1 МГц жиілік аралығында жүргізілді. Иондық өткізгіштік (σ) келесі теңдеумен есептелінді:

$$\sigma = d/(R_b \times A) \quad (1),$$

мұнда d — мембрана қалыңдығы, R_b — мембрананың көлемдік кедергісі, A — мембрана көлденең қимасының ауданы. Мембрана қалыңдығы МЦК25 (ZITOM) 0-25mm (0.001mm) электронды сандық микрометрмен өлшенді.

1- Кесте. Әр түрлі температура және TiO_2 үлесіндегі КПЭ иондық өткізгіштігі

№	Полимер қатынастары	Толтырғыш (TiO ₂) үлесі, (г)	T, °C	d, см	R, Ом	Б, См/см
1	ПЭО-ПВДФ 1:1	0.025	25	0,0093	115,47	1,62*10 ⁻⁴
			35		48,62	3,84*10 ⁻⁴
			45		21,3	8,42*10 ⁻³
2		0.05	25	0,1082	30,1	7,22*10 ⁻³
			35		21,7	8,21*10 ⁻³
			45		20,68	8,36*10 ⁻³
3		0.075	25	0,1124	149,3	1,22*10 ⁻⁴
			35		137,1	1,64*10 ⁻⁴
			45		49,59	3,64*10 ⁻³
4		0.1	25	0,1134	61,25	3,56*10 ⁻³
			35		55,21	3,64*10 ⁻³
			45		50,44	4,61*10 ⁻³

5	ПЭО-ПВДФ 3:1	0.025	25	0,1234	28,3	8,67*10 ⁻³
			35		21,15	8,96*10 ⁻³
			45		16,91	9,59*10 ⁻³
6		0.05	25	0,1162	29,86	7,82*10 ⁻³
			35		29,72	7,85 *10 ⁻³
			45		20,76	8,30*10 ⁻³
7		0.075	25	0,1249	64,99	3,72*10 ⁻³
			35		61,21	3,95*10 ⁻³
			45		51,66	4,52*10 ⁻³
8		0.1	25	0,1206	59,86	3,82*10 ⁻³
			35		49,72	3,85 *10 ⁻³
			45		31,32	6,30*10 ⁻³

Кестеде полиэтиленоксид (ПЭО) және поливинилиденфторид (ПВДФ) негізіндегі композитті электролиттердің әртүрлі полимерлік қатынастарында (1:1 және 3:1) және титан диоксиді (TiO_2) толтырғышының үлесімен өткізгіштігі туралы деректер көрсетілген. Тәжірибе әртүрлі температураларда ($T, ^\circ\text{C}$) жүргізілді, бұл материал құрылымының, температураның және толтырғыш концентрациясының өткізгіштікке әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Өткізгіштіктің өзгерісі электрод-электролит бөлу шекарасында зарядтың жинақталуынан болады, ол поляризациялық эффекттің туындауына алып келеді. Толтырғыштың аз мөлшерінде (0,025 г) өткізгіштік температураның жоғарылауымен артады, TiO_2 концентрациясы 0.05 г дейін артқанда, температураның кең диапазонында жоғары өткізгіштік байқалады (1-кесте). Бұл толтырғыштың аморфты ПЭО фазасының тұрақтануын жақсартуы арқылы иондардың қозғалысын арттыруымен түсіндіріледі. Бірақ толтырғыштың мөлшерін одан әрі арттыратын болсақ керісінше аморфты фазаның үлесі азайып, кристалдықтың артуы мүмкін ғалымдардың еңбегінде толтырғыштың оңтайлы концентрациясы массаның 2-5% құрайды (Chen, et al., 2010), себебі бұл иондардың тасымалдануын қамтамасыз ететін арналардың пайда болуына көмектеседі делінген. Барлық жағдайларда өткізгіштіктің температураға тәуелділігі байқалады, яғни температураның өсуі өткізгіштіктің артуына әкеледі. Бұл иондардың тасымалдануының жылулық белсенділіктің сипатымен, яғни Аррениус механизмімен түсіндіруге болады. TiO_2 қосылған полимерлі электролиттерде иондардың қозғалысын жақсарту арқылы активтену энергиясының төмендеуі байқалады (Zhang, et al., 2015). Мембраналардың өткізгіштік қасиетіне полимерлердің ара қатынасы да әсер етеді. 1:1 қатынасында ПВДФ фазасы көп болғандықтан, механикалық қасиеттер жақсарады, бірақ жоғары кристалдылыққа байланысты өткізгіштік төмендеуі байқалады (1-кесте). 3:1 қатынасында ПЭО үлесі артады, бұл аморфты фазаның жоғарылауына және сәйкесінше өткізгіштіктің артуына әкеледі. Бұл 3:1 қатынасында барлық температура мен толтырғыш концентрацияларында σ жоғарырақ мәндерімен дәлелденеді. Мембрана-сепаратордың кедергісі ПЭО-

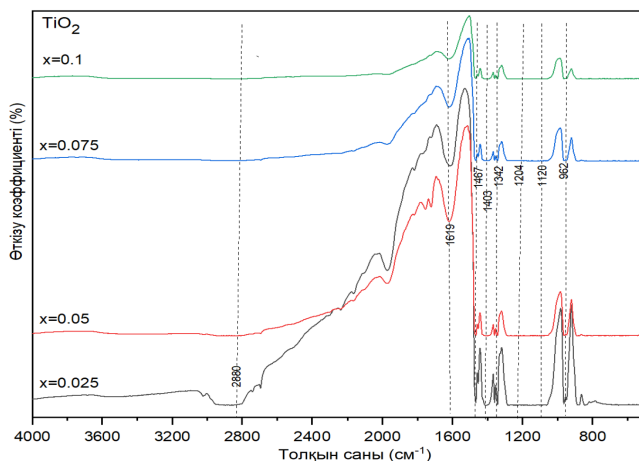
ПВДФ 1:1 және ПЭО-ПВДФ 3 :1 қатынасында да TiO_2 үлесі 0,025% болғанда 21,31 және 16,91 болатыны, ал ол кезде иондық өткізгіштік $8,42 \cdot 10^{-3}$ және $9,59 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$ болатынын көрсетті.

Инфрақызыл спектроскопия әдісімен талдау

1:1 қатынаста алынған мембрана-сеператорлардың функционалдық топтар арасындағы химиялық құрам және ықтимал өзара әрекеттесулер инфрақызыл спектроскопиясы арқылы алынды. Инфрақызыл диапазонындағы сіңіру жолақтарының позициясында, пішінінде және қарқындылығында байқалған өзгерістері бір-бірімен әрекеттесетін барлық материалдарды анықтау құралы ретінде пайдаланылды. 2-суретте 400-ден 4000 см^{-1} -ге дейінгі толқындық сандар диапазонындағы 1:1 қатынаста әртүрлі TiO_2 концентрациясында ($x=0.025$; 0.05; 0.075; 0.1) алынған үлгілер үшін жазылған инфрақызыл спектрлері көрсетілген. Таза ПЭО жағдайында спектрдегі 1000-1200 см^{-1} диапазонындағы тән жолақтар үшін эфирлік топтар C—O—C созылу тербелістерінің шыңы және ПВДФ жағдайында CF_2 -ге тән жолақтар көрінген: 1120-1204 см^{-1} және 962 см^{-1} . Сонымен қатар 1342 және 1360 см^{-1} -де мүмкін болатын C-F байланысының тербелісі ПВДФ үшін көрінген. 1403-1467 см^{-1} жолақ аралығын ПЭО мен ПВДФ-ке байланысты симметриялы CH_2 созылуына жатқызуға болады. Яғни, CH_2 топтарының тербелістері (ПЭО және ПВДФ үшін) CH_2 ассиметриялық иілуінен және CH_2 симметриялы бұрылуынан пайда болды (Ahmed, et al., 2019).

1600-2000 см^{-1} диапазонында әдетте C=O және C=N функционалдық топтарының тербелістері орналасады. Бұл ДМФА еріткішінің әсерінен болуы мүмкін, титан оксидінің осы мөлшерінде ($x=0.025$; 0.05) тербелістер айқын көрініп тұр, бұл еріткіштің толық буланбай қалуынан болуы мүмкін деген тұжырым жасауға болады. Ал нано толтырғыш концентрациясы жоғарылағанда тербелістер тегістеліп кетті, бұл еріткіштің толық булануын көрсетеді. Мысалы, 1619 см^{-1} тербелісінде ДМФА молекуласынан C=O валенттік тербелістерімен байланысты қарқынды шың бар. TiO_2 концентрациясының жоғарылауымен ($x=0.025$ -тен $x=0.1$ -ге дейін) шыңның қарқындылығы өзгереді, бұл ДМФА-ның TiO_2 нанобөлшектерімен және полимер матрицасымен өзара әрекеттесуін көрсетуі мүмкін. Сонымен қатар, ПВДФ және ПЭО полимерлі матрицаларында 1600-2000 см^{-1} диапазонында айқын шыңдар болмайды (Mohamadi, et al., 2016).

ПЭО үшін алифатты C—H симметриялы созылу тербелісі 2880 см^{-1} -де пайда болады (Mohamadi, et al., 2016) және TiO_2 нанобөлшектерінің мөлшері жоғарлаған сайын иілу шыңы жоғалып кетуі және біртегіс болуы полимерлі морфологияның немесе молекулааралық өзара әрекеттесудің өзгеруін көрсетуі мүмкін.

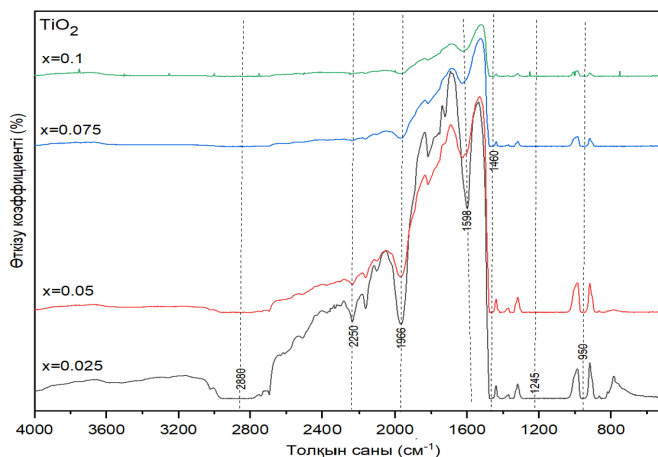


2-сурет. 1:1 қатынаста алынған әртүрлі TiO_2 концентрациясы ($x=2.5; 5; 7.5; 10$ мас.%) негізіндегі мембрана-сепараторлардың инфрақызыл талдауы

3-суретте 400-ден 4000 cm^{-1} -ге дейінгі толқындық сандар диапазонындағы 3:1 қатынаста әртүрлі TiO_2 концентрациясында ($x=0.025; 0.05; 0.075; 0.1$) алынған үлгілер үшін жазылған инфрақызыл спектрлері көрсетілген. Таза ПЭО үшін 2880 cm^{-1} орналасқан жолақ сәйкесінше C–H симметриялы созылу тербелісі және CH_2 созылу тербелістеріне байланысты. TiO_2 концентрациясының жоғарылауымен шыңның қарқындылығы төмендейді, бұл олардың нанобөлшектермен өзара әрекеттесуін көрсетеді. 1350 cm^{-1} , 1245 cm^{-1} жолақтары сәйкесінше, CH_2 ассиметриялық иілуінен және CH_2 симметриялы бұрылуынан пайда болады. 1100 cm^{-1} диапазонында эфирлік топтар C–O–C созылу режиміне байланысты. 1460 cm^{-1} жолақтары сәйкесінше ПВДФ-ке тән CH_2 және CF_2 деформациялық тербелістерін көрсетеді. TiO_2 мөлшерінің жоғарылауымен шыңдар қарқындылығының жоғарылауы байқалады, бұл нанобөлшектердің ПВДФ кристалдығына әсер етуімен байланысты болуы мүмкін. ДМФА молекуласынан C=O валенттік тербелістерімен байланысты қарқынды шың бар: 1598 cm^{-1} , 1666 cm^{-1} , 2250 cm^{-1} . 1598 cm^{-1} жиілікте ДМФА молекуласының C=O валентті тербелістері айқын жолақты береді. 2250 cm^{-1} жиіліктегі әлсіз жолақ валенттік симметриялы немесе ассиметриялы тербелісті $\text{C}\equiv\text{O}$ немесе $\text{C}=\text{N}$ топтарына қатысты болуы мүмкін.

Матрица құрамындағы ПЭО-ның басым болуы C–H топтарымен байланысты аймақтағы қарқынды шыңдардармен түсіндірілуі мүмкін. TiO_2 концентрациясының жоғарылауымен ПЭО, ПВДФ және нано толтырғыш арасындағы өзара әрекеттесу дәрежесі өзгереді.

Талдау бойынша TiO_2 концентрациясының жоғарылауы шыңдардың қарқындылығы мен пішінінде айтарлықтай өзгерістер тудырады, бұл олардың полимер матрицасының құрылымдық сипаттамаларына әсерін растайды. TiO_2 нанобөлшектері полимер матрицасымен әрекеттесуінен, кейбір жолақтардың қарқындылығының төмендеуін байқауға болады, бұл титан диоксидінің оптикалық қасиеттеріне байланысты.



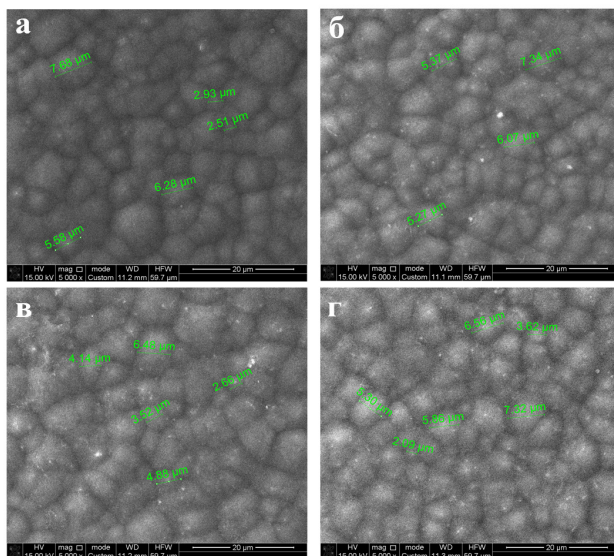
3-сурет. 3:1 қатынаста алынған әртүрлі TiO_2 концентрациясы ($x=2.5$; 5; 7.5; 10 мас.%) негізіндегі мембрана-сепараторлардың инфрақызыл талдауы

Сканерлеуші электронды микроскоп зерттеулері

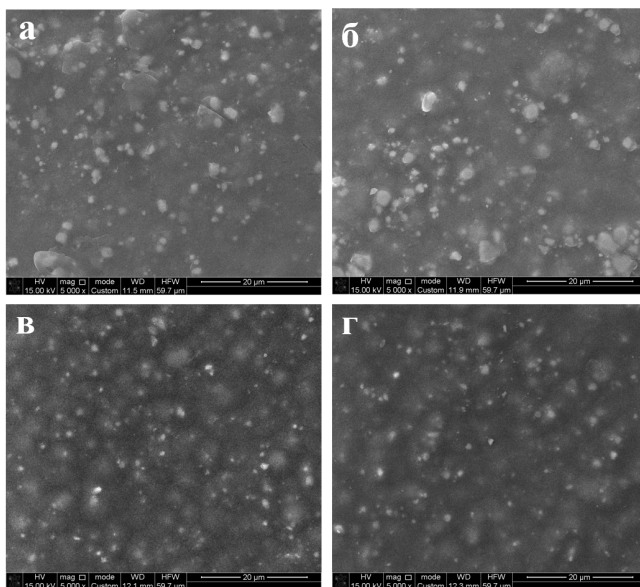
Сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) әдетте мембрана-сепараторлардың беткі морфологиясын талдау үшін қолданылады. Мембрана-сепараторлардың беткі морфологиясы мен кристалдығы иондық өткізгіштікте маңызды рөл атқарады. Тегіс беті бар мембрана-сепараторлар жақсы иондық өткізгіштікке ие (Prabakaran, et al., 2016). 4-суретте 1:1 қатынаста әртүрлі TiO_2 концентрациясында ($a=2.5$; $b=5$; $v=7.5$; $g=10$ мас.%) алынған үлгілер үшін СЭМ кескіндері көрсетілген. Барлық пленкалардың СЭМ кескіндері бірнеше кристалды домендерден тұратын кедір-бұдыр (тегіс емес) бетті көрсетеді. Кескіндерден беттің үлкен өлшемдерде (5.58–7.89 мкм аралығында) екенін көруге болады және бұл титан оксиді концентрациясы біртіндеп артқан сайын, полимерлі матрицасының біртектілігі төмендейді. Ірі түйіндер көбейген сайын полимерлік матрицаның біртектілігін төмендетуі мүмкін (4 а-сурет), бұл иондық өткізгіштікті аздап төмендетеді. 5-7.5 мас.% TiO_2 концентрациясы жақсы баланс көрсетеді (4 б,в-сурет), беттің өлшемдерінің біртектілігі сақталады, бұл иондық өткізгіштікке оң әсер етеді. Ал титан оксидінің жоғары концентрациясы (10 мас.%) кезінде ұсақ түйіршіктер көрініп тұр (г-сурет). Артық титан оксиді бөлшектерінің жинақталуы түйіршіктің бір-біріне жақындап, агрегацияға әкелуі мүмкін, бұл иондық өткізгіштікті нашарлатуы мүмкін.

5-суретте 3:1 қатынаста әртүрлі TiO_2 концентрациясында ($a=2.5$; $b=5$; $v=7.5$; $g=10$ мас.%) алынған үлгілер үшін СЭМ кескіндері көрсетілген. 5а-суретте әртүрлі өлшемдегі біркелкі таралмаған кедір-бұдырлық бар, бұл иондар қозғалысының жолдарын шектеуі мүмкін. Келесі концентрацияда (5б-сурет) беттің аздап біркелкі болғаны көрінеді, өлшемдері салыстырмалы түрде кішірек. Одан кейінгі кескіндер бір-біріне ұқсас болып көрінгенімен, айтарлықтай айырмашылық бар (5в,г-сурет). 7.5 мас.% концентрацияда бет біркелкі, агрегация байқалмайды, түйіршіктер аздап сиректеу орналасқан. Бұл концентрацияда TiO_2 нанобөлшектері

полимерлі матрицаға тиімді түрде енеді, иондардың қозғалуына қолайлы жағдай жасайды. Келесі 10 мас.% концентрацияда өлшемдер айтарлықтай кішірейгенімен, олардың арасында агломерация байқалады, яғни бөлшектер бір-біріне жабысқан. Агломерацияның артуы матрица құрылымын тығыздайды және иондардың қозғалысына кедергі келтіреді.



4-сурет. 1:1 қатынаста алынған әртүрлі TiO_2 концентрациясы (а=2.5; б=5; в=7.5; г=10 мас.%) негізіндегі үлгінің СЭМ кескіндері



5-сурет. 3:1 қатынаста алынған әртүрлі TiO_2 концентрациясы (а=2.5; б=5; в=7.5; г=10 мас.%) негізіндегі үлгінің СЭМ кескіндері

Қорытынды. Композициялар әртүрлі мембрана-сеператорлардың 1:1 қатынаста, яғни ((50 мас.% ПЭО/50 мас.% ПВДФ)+х мас.% TiO_2 (х=2.5; 5; 7.5; 10)) және 3:1 қатынаста, яғни ((70 мас.% ПЭО/30 мас.% ПВДФ)+х мас.% TiO_2 (х=2.5; 5; 7.5; 10)) ерітіндіде дәстүрлі құю әдісімен алынды. TiO_2 нано толтырғыш концентрациясының осы мембрана-сеператорларының морфологиялық, химиялық құрылымына және иондық өткізгіштігіне әсері зерттелді. Алынған нәтижелер бойынша мембрана-сеператорының иондық өткізгіштік ең жоғары мәні $8,42 \cdot 10^{-3}$ және $9,59 \cdot 10^{-3}$ См/см болатыны анықталынды. Ең оңтайлы көрсеткішті ПЭО-ПВДФ- TiO_2 (2.5 мас %) 45°C -та 3:1 (полимерлер қатынастары) құрамды мембрана көрсетті. Инфрақызыл спектрлері ПЭО/ПВДФ қоспасы мен TiO_2 нано толтырғыш арасында өзара әрекеттесу жүретінін көрсетті, ол үлгіге тән тербеліс жолағында көрінеді. TiO_2 тән шыңдарының қарқындылығының жоғарылауымен дәлелденеді. Сонымен қатар, бұл мембрана-сеператорларының морфологиясы TiO_2 нанобөлшектерінің бастапқы қосылуымен және оның концентрациясының одан әрі жоғарылауымен күрт өзгереді.

References

- Ahmed H. T., Abdullah O. G. (2019) Preparation and Composition Optimization of PEO:MC Polymer Blend Films to Enhance Electrical Conductivity. *Polymers*, 11(5). — 853 p. (in English)
- Costa C. M., Lee Y.-H., Kim J.-H., Lee S.-Y., Lanceros-Méndez S. (2019). Recent advances on separator membranes for lithium-ion battery applications: from porous membranes to solid electrolytes. *Energy Storage Materials*, 22. — P. 346-375. (in English)
- Dhatarwal P., Sengwa R. J. (2021) Nanofiller controllable optical parameters and improved thermal properties of (PVP/PEO)/ Al_2O_3 and (PVP/PEO)/ SiO_2 nanocomposites. *Optik*, 233. — 166594 p. (in English)
- Dhatarwal P., Sengwa R. J. (2020) Dielectric polarization and relaxation processes of the lithium-ion conducting PEO/PVDF blend matrix-based electrolytes: effect of TiO_2 nanofiller. *SN Applied Sciences*, 2. — 833 p. (in English)
- Ganta K.K., Jeedi V.R., Katrapally V. K., Yalla M., Emmadi L. N. (2021) Effect of TiO_2 Nano-Filler on Electrical Properties of Na^+ Ion Conducting PEO/PVDF Based Blended Polymer Electrolyte. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 31. — P. 3430-3440. (in English)
- Gong W., Zhang Z., Wei S., Ruan S., Shen C., Turng L.-S. (2020) Thermosensitive Polyacrylonitrile. Polyethylene Oxide/Polyacrylonitrile Membrane Separators for Prompt and Safer Thermal Lithium-Ion Battery Shutdown. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(2), 020509. (in English)
- Lee, S. H., Kim, J., Kim, B.-H., Yoon, S., & Cho, K. Y. (2019) Delamination-Free Multifunctional Separator for Long-Term Stability of Lithium-Ion Batteries. *Small*, 1804980. (in English)
- Liu, K., Liu, W., Qiu, Y., Kong, B., Sun, Y., Chen, Z., Zhuo, D., Lin, D., & Cui, Y. (2017) Electrospun core-shell microfiber separator with thermal-triggered flame-retardant properties for lithium-ion batteries. *Science Advances*, 3(1), e1601978. (in English)
- Liu K., Liu Y., Lin D., Pei A., Cui Y. (2018). Materials for lithium-ion battery safety. *Science Advances*, 4(6), eaas9820. (in English)
- Luo L., Gao Z., Zheng Z., Zhang J. (2022) "Polymer-in-Ceramic" Membrane for Thermally Safe Separator Applications. *ACS Omega*, 7(40). — P. 35727-35734. (in English)
- Martins P., Lopes A. C., Lanceros-Mendez S. (2014) Electroactive phases of poly (vinylidene fluoride): Determination, processing and applications. *Progress in Polymer Science*, 39(4). — P. 683-706. (in English)
- Mohamadi M., Garmabi H., Papila M. (2016). Effect of miscibility state on crystallization behavior and polymorphism in crystalline/crystalline blends of poly (vinylidene fluoride)/poly (ethylene oxide). *Macromolecular Research*, 24(8). (in English)
- Prabakaran P., Manimuthu R. P., Gurusamy S. (2016) Influence of barium titanate nanofiller on PEO/

PVdF-HFP blend-based polymer electrolyte membrane for Li-battery applications. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21(5). — P. 1273-1285. (in English)

Ushakova E.E., Sergeev A.V., Morzhukhin A., Napolskiy F.S., Kristavchuk O., Chertovich A.V., Yashina L.V., Itkis D.M. (2020) Free-standing Li⁺-conductive films based on PEO–PVDF blends. *RSC Advances*, 10(27). — P. 16118-16124. (in English)

You-Peng Chen, Yue Zhao, Jian Chu, Shao-Yang Liu, Wen-Wei Li, Gang Liu, Yang-Chao Tian, Ying Xiong, Han-Qing Y. (2010). Fabrication and characterization of an innovative integrated solid-state microelectrode, *Electrochimica Acta*, 55, 20. — P. 5984-5989. (in English)

Xu Y., Zhu J.-W., Fang J.-B., Li X., Yu M., Long Y.-Z. (2020) Electrospun High-Thermal-Resistant Inorganic Composite Nonwoven as Lithium-Ion Battery Separator. *Journal of Nanomaterials*, 2020. — P. 1–10. (in English)

Xue Z., He D., Xie X. (2015) Poly (ethylene oxide)-based electrolytes for lithium-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(38). — P. 19218-19253. (in English)

Zhang C., Shen L., Shen J., Liu F., Chen G., Tao R., Ma S., Peng Y., Lu Y. (2019) Anion-Sorbent Composite Separators for High-Rate Lithium-Ion Batteries. *Advanced Materials*, 1808338. (in English)

Zhang H., Li C., Piszcz M., Coya E., Rojo T., Rodriguez-Martinez L. M., Armand M., Zhou Z. (2017) Single lithium-ion conducting solid polymer electrolytes: advances and perspectives. *Chemical Society Reviews*, 46(3). — P. 797-815. (in English)

Zhang P., Wang H., Si Q., Matsui M., Takeda Y., Yamamoto O., Imanishi N. (2015) High lithium ion conductivity solid electrolyte of chromium and aluminum co-doped NASICON-type LiTi₂(PO₄)₃, *Solid State Ionics*, 272. — P. 101-106. (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 119–130

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.285>

УДК: 541.18

© N.B. Kassenova^{1*}, R.Sh. Erkassov², S.K. Makhanova¹, R.N. Azhigulova³,
R. Bayarbolat¹, 2025.

¹Kokshetau University named after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan;

²Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan;

³Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nazira09_83@mail.ru

IR SPECTROSCOPY AS A METHOD FOR STUDYING THE STABILITY AND REACTIVITY OF TETRANUCLEAR IRON(II) COMPLEXES

Kassenova Nazira Bazarbayevna — PhD, assistant professor of the Department of Chemistry and Biotechnology, NJSC «Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov», Kokshetau, Kazakhstan,
E-mail: nazira09_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0570-1784>;

Erkassov Rakhmetulla Sharapidenovich — Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: erkass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-51488147>;

Makhanova Saule Kordabayevna — PhD, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology, NJSC «Kokshetau University named after Sh.Ualikhanov», Kokshetau, Kazakhstan,
E-mail: saulemach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9084-348X>;

Azhigulova Ryskul Ninilovna — Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Physical Chemistry, Catalysis, and Petrochemistry, NJSC «Kazakh National University named after Al-Farabi», Almaty, Kazakhstan,
E-mail: razhigulova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4498-8439>;

Bayarbolat Rina — Master of Natural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Chemistry and Biotechnology, NJSC «Sh. Ualikhanov Kokshetau University», Kokshetau, Kazakhstan,
E-mail: rina_bayarbolat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5881-5718>.

Abstract. In this study, tetranuclear iron (II) complex compounds {[Fe(tpma)(μ-CN)]₄}X₄ (X = ClO₄[−], BF₄[−], PF₆[−]) were investigated, synthesized using the tris(2-pyridylmethyl)amine (tpma) ligand and cyanide bridging groups. The complexes were obtained in methanol, isolated as crystalline solids, and characterized by infrared (IR) spectroscopy, elemental analysis, and thermogravimetric analysis (TGA). IR spectra confirm the presence of bridging cyanide groups, as evidenced by characteristic C≡N absorption bands in the range of 2072–2081 cm^{−1}. TGA revealed that the complexes lose uncoordinated water at around 150°C. The BF₄[−] and PF₆[−] complexes remain stable up to 300°C, whereas the perchlorate analogue decomposes at approximately 180°C, which is attributed to the high reactivity of the perchlorate anion. The obtained

results highlight the potential of these complexes as stable polynuclear compounds with tunable magnetic and thermal properties. The structural features and nature of the counter-anions significantly influence their physical and chemical behavior. Further studies on these complexes may facilitate the development of new functional materials, including magnetic sensors, molecular memory devices, and other advanced technological applications in molecular electronics and spintronics. Additionally, the presence of bridging cyanide ligands promotes strong magnetic coupling between iron centers, which could be exploited in designing molecular magnets. Their robust thermal stability also makes them suitable for use in harsh environmental conditions, expanding their practical applications.

Keywords: spin - crossover, temperature-induced spin crossover, Fe (II) complexes, CN-bridged complexes, IR spectroscopy

© Н.Б. Касенова^{1*}, Р.Ш. Еркасов², С.К. Маханова¹, Р.Н. Ажигулова³,
Р. Баярболат¹, 2025.

¹Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан;

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: nazira09_83@mail.ru

ИҚ — СПЕКТРОСКОПИЯ ТЕТРАЯДРОЛЫ ТЕМІР (II) КЕШЕНДЕРІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ МЕН РЕАКЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІН ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ РЕТІНДЕ

Касенова Назира Базарбаевна — PhD, «Химия және биотехнология» кафедрасының ассистент профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау, Қазақстан, E-mail: nazira09_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0570-1784>;

Еркасов Рахметулла Шарапиденович — химия ғылымдарының докторы, химия кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, E-mail: erkass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-51488147>;

Маханова Сауле Кордабаевна — PhD, «Химия және биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау, Қазақстан,

E-mail: saulemach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9084-348X>;

Ажигулова Рыскуль Ниниловна — химия ғылымдарының кандидаты, физикалық химия, катализ және мұнай химиясы кафедрасының аға оқытушысы, «әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: razhigulova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4498-8439>;

Баярболат Рина — магистр естественных наук, сеньор лектор кафедры химии и биотехнологии, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», Кокшетау, Казахстан, E-mail: rina_bayarbolat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5881-5718>.

Аннотация. Берілген мақалада трис(2-пиридилметил)амин (trpm) лигандын және цианидті көпірлі топтарды қолдану арқылы синтезделген темір(II) иондарына негізделген төрт ядролы кешенді қосылыстар $\{[\text{Fe}(\text{trpm})(\mu\text{-CN})]_4\}\text{X}_4$ (мұндағы $\text{X} = \text{ClO}_4^-, \text{BF}_4^-, \text{PF}_6^-$) жан-жақты зерттелді. Аталған кешендер метанол

ерітіндісінде алынған, кристалды қатты заттар ретінде бөлініп, инфрақызыл (ИК) спектроскопия, элементтік талдау және термогравиметриялық анализ (ТГА) әдістері арқылы сипаттамасы жүргізілді. ИҚ-спектроскопия нәтижелері көпірлі цианид топтарының болуын растады: бұл $C\equiv N$ байланысының $2072\text{--}2081\text{ см}^{-1}$ аралығындағы жұтылу жолақтарымен байқалды. ТГА нәтижелері кешендердің 150°C шамасында координацияланбаған су молекулаларын жоғалтатынын көрсетті. BF_4^- және PF_6^- аниондары бар кешендер жоғары термиялық тұрақтылық танытып, 300°C -қа дейін ыдырамайды. Ал ClO_4^- анионын қамтитын кешен шамамен 180°C -та ыдырайды, бұл перхлораттың жоғары реактивтілігіне байланысты. Зерттеу нәтижелері алынған кешендердің термиялық және ықтимал магниттік қасиеттері басқарылатын тұрақты көпядролы құрылымдар ретінде болашағы зор екенін көрсетті. Бұл қосылыстар болашақта молекулалық магниттер, термиялық сенсорлар және ақпарат сақтау құрылғылары сияқты жаңа функционалды материалдарды жасауға негіз бола алады. Зерттелген кешендердің құрылымдық ұйымдасуы мен анион табиғаты олардың физика-химиялық қасиеттеріне тікелей әсер ететіні анықталды. Сонымен қатар, бұл қосылыстарда көпірлі цианид топтарының болуы металл иондары арасында магниттік өзара әсердің пайда болуына ықпал етуі мүмкін. Мұндай қасиеттер кешендерді молекулалық электроника, спинтроника, сенсорика және катализ, фотоника мен материалтану салаларында кеңінен қолдануға, сонымен қатар жаңа буын құрылғыларын жобалауға мүмкіндік береді. Сонымен бірге, оларды бейорганикалық нанокұрылымдар мен көпфункционалды жүйелердің модельдері ретінде де қолдануға болады.

Түйін сөздер: спин-кроссовер, температура арқылы индуцирленген спин-кроссовер, Fe (II) кешендері, CN-көпірлі кешендер, ИҚ-спектроскопия

© Н.Б. Касенова^{1*}, Р.Ш. Еркасов², С.К. Маханова¹, Р.Н. Ажигулова³,
Р. Баярболат¹, 2025.

¹Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан;

²Евразийский национальный университет Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: nazira09_83@mail.ru

ИК – СПЕКТРОСКОПИЯ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТЕТРАЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА (II)

Касенова Назира Базарбаевна — PhD, ассистент-профессор кафедры химии и биотехнологии, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Кокшетау, Казахстан,
E-mail: nazira09_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0570-1784>;

Еркасов Рахметулла Шарапиденович — доктор химических наук, профессор кафедры химии, Евразийский национальный университет Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
E-mail: erkass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-51488147>;

Маханова Сауле Кордабаевна — PhD, ассоциированный профессор кафедры химии и

биотехнологии, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Кокшетау, Казахстан,
E-mail: saulemach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9084-348X>;

Ажигулова Рыскуль Ниниловна — кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры физической химии, катализа и нефтехимии, НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Алматы, Казахстан,

E-mail: razhigulova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4498-8439>;

Баярболат Рина — магистр естественных наук, сеньор лектор кафедры химии и биотехнологии, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Кокшетау, Казахстан,

E-mail: rina_bayarbolat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5881-5718>.

Аннотация. В данной работе исследованы тетраядерные комплексные соединения железа (II) состава $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})]_4\} \text{X}_4$, где $\text{X} = \text{ClO}_4^-, \text{BF}_4^-, \text{PF}_6^-$. Эти соединения были синтезированы с использованием лиганда трис(2-пиридилметил) амина (tpma) и мостиковых цианидных групп, способствующих образованию полиядерных структур. Синтез осуществлялся в метанольной среде при комнатной температуре. Полученные комплексы выделены в виде кристаллических твердых веществ, хорошо растворимых в органических растворителях, и охарактеризованы с применением комплекса физико-химических методов: инфракрасной (ИК) спектроскопии, элементного анализа и термогравиметрического анализа (ТГА). ИК-спектры продемонстрировали наличие характерных полос валентных колебаний тройной связи $\text{C}\equiv\text{N}$ в области $2072\text{--}2081\text{ см}^{-1}$, подтверждающих участие цианид-анионов в образовании мостиков между железоцентрами. Результаты ТГА показали, что все комплексы теряют молекулы некоординированной воды при температуре около $150\text{ }^\circ\text{C}$. Комплексы с BF_4^- и PF_6^- продемонстрировали высокую термическую стабильность вплоть до $300\text{ }^\circ\text{C}$, в то время как аналог с перхлорат-анионом начал разлагаться уже при $\sim 180\text{ }^\circ\text{C}$, что обусловлено его высокой реакционной способностью и склонностью к экзотермическому разложению. Таким образом, проведенное исследование позволило получить стабильные тетраядерные структуры с варьируемыми физико-химическими характеристиками и уникальными координационными, структурными и спектральными признаками. Полученные комплексы представляют интерес как потенциальные прекурсоры для создания функциональных материалов, в том числе молекулярных магнитов, термостойких сенсоров и элементов памяти. Дальнейшее изучение их магнитных, электронных и координационных свойств может способствовать разработке новых направлений в области материаловедения и координационной химии.

Ключевые слова: спин-кроссовер, температурно-индуцированный спин-кроссовер, комплексы Fe (II), CN-мостиковые комплексы, ИК-спектроскопия

Введение. В последние годы возрастает интерес к созданию различных неорганических полимерных материалов. Их основу представляют определенные предшественники с таким набором кристаллохимических и других свойств, который обеспечивал бы успешное конструирование твердых тел с заданной размерностью кристаллической решетки и физико-химическими характеристиками (Fedorov, et al., 2007; Cotton, 1964). Важный класс подобных предшественников

составляют металлокластерные комплексы с разным количеством ядер, своеобразные и довольно крупные строительные блоки. Среди них наиболее удобны наноразмерные халькоцианидные кластерные соединения рения: тетра- $[\text{Re}_4\text{Q}_4(\text{CN})_{12}]^{4-}$ и гексаядерные $[\text{Re}_6\text{Q}_8(\text{CN})_6]^{4-}$ ($\text{Q}=\text{S}, \text{Se}$ или Te (рисунок 1), а также и недавно синтезированный 12-ядерный комплекс $[\text{Re}_{12}\text{CS}_{17}(\text{CN})_6]^{6-}$ (Li, et al., 1999; Mironov, et al., 2005).

Все они стабильны в водных и органических средах и могут быть вовлечены в разнообразные реакции, которые протекают в растворах.

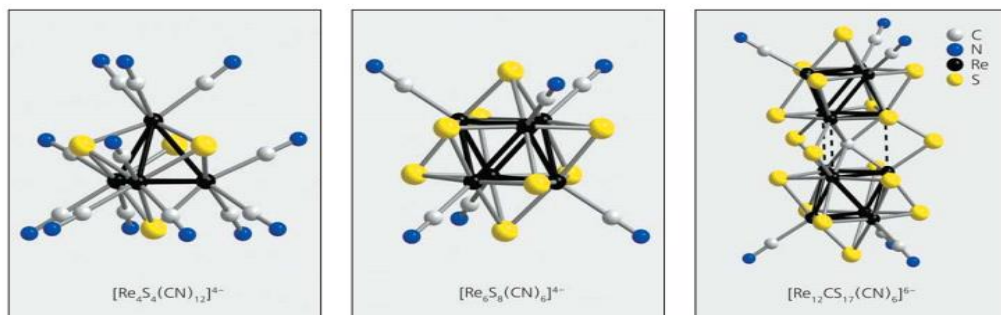


Рисунок 1 – Сульфидные цианоккомплексы рения с четырех-, шести- и 12- ядерными кластерами

Приведенные комплексы имеют в составе CN-группы. Цианидные комплексы занимают особое место в координационной химии переходных металлов и стали предметом повышенного научного интереса. Это связано с амбидентатным характером CN - групп, т.е. их способностью координироваться к атомам металлов одновременно и через атом углерода, и через атом азота. Благодаря этому цианидные комплексы связываются с катионами металлов в полимерные цианомостиковые структуры типа $-\text{M}-\text{N}\equiv\text{C}-\text{M}'-\text{C}\equiv\text{N}-\text{M}-$ (Kitagawa, et al., 2004).

На протяжении многих лет в университете штата Флорида (США) довольно широко проводятся исследования многоядерных комплексных соединений железа (II), демонстрирующих равновесие и спин-кроссоверные переходы. Ими изучаются состояние спиновых переходов с электропроводностью и люминесценцией с привлечением различных методов, таких как спектроскопия ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) и инфракрасная (ИК) спектроскопия, Мессбауэрская спектроскопия, электронная спектроскопия, рентгеноструктурный анализ (РСА), проводятся теоретические расчеты молекулярных орбиталей (на уровне DFT) (Shatruk, et al., 2007; Siretanu, 2011).

В комплексных соединениях железа (II) с цианидными лигандами созданы условия синтеза пятиядерных кластеров со структурой тригональной бипирамиды, проявляющих спин-кроссоверное поведение. Отличительной особенностью ряда соединений является наличие резкого перехода спина, теплового гистерезиса и бистабильности в определенном интервале температур. Такое свойство делает комплексное соединение перспективным материалом для получения магнитных сенсоров и устройств памяти (Shatruk, et al., 2007; Giles, et al., 2011).

Материалы и методы исследования. Синтез трис – [(2-пиридил)метил]амин (tpma). Лиганд трис – [(2-пиридил)метил]амин был синтезирован модифицированной методикой, описанной Anderegg и его коллегами (Anderegg, et al., 1967; Tyeklar, et al., 1993).

Данные характеристики ЯМР- и ИК- спектров синтезированного лиганда tpma полностью совпадают с литературными. Данные характеристики синтезированного вещества полностью совпадают с литературными. Характеристики ЯМР-спектра синтезированного вещества: ^1H NMR (CD_3CN): δ 3H), 7.69 (t, 3H), 7.60 (d, 3H), 7.17 (t, 3H), 3.81 (s, 6 H).

^{13}C NMR (CD_3CN): δ 160.51 (2-пу), 149.85 (6-пу), 137.25 (4-пу), 123.74 (3-пу), 122.94 (5-пу), 60.83 ($\text{I}''\text{-CH}_2$).

ИК-спектр трис – [(2-пиридил)метил]амин приведен на рисунке 2, он полностью совпадает с литературными данными.

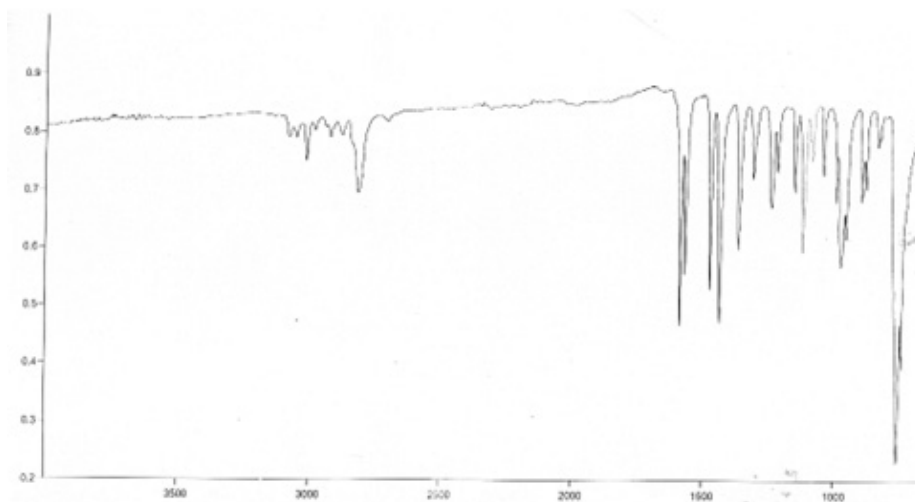


Рисунок 2 – ИК – спектр трис – [(2-пиридил)метил]амин (tpma)

Синтез тетраэдерного комплексного соединения $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})]_4(\text{ClO}_4)_4$ (A). Смесь состоящую из 0,168 г (0,46 ммоль) $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 0,134 г (0,46 ммоль) tpma растворили в 4 мл метанола. Полученный прозрачный желтый раствор добавляли по каплям при перемешивании к раствору 0,124 г (0,46 ммоль) $(\text{Bu}_4\text{N})\text{CN}$ в 4 мл MeOH. Раствор быстро стал темно-красным, с последующим образованием осадка оранжевого цвета. После того как добавление реагента было завершено, смесь перемешивали в течение 20 мин и оставляли в покое на 30 мин. Полученный оранжевый осадок был выделен путем фильтрации и высушен под вакуумом. Выход соединения составляет 0,118 г (55%). Полученное вещество имело следующий элементный состав -рассчитано (найдено), %: C, 47,48 (47,44); H, 3,98 (4,13); N, 14,57 (14,28), он практически соответствует рассчитанному для соединения $\text{Fe}_4\text{Cl}_4\text{O}_{18}\text{N}_{20}\text{C}_{76}\text{H}_{76} (\text{A} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$.

ИК-спектры соединений регистрировали на спектрометре Пэркин-Элмер (Спектрум 100) в диапазоне частот 4000-600 см^{-1} , используя универсальную ATR приставку.

ИК спектр синтезированного соединения, $\nu(\text{C}\equiv\text{N})$, см^{-1} : 2081, 2072. Монокристаллы соединения **A** для рентгеноструктурного анализа были получены диффузией паров диэтилового эфира (Et_2O) в раствор **A** в ацетонитриле (MeCN).

Синтез тетраядерного комплексного соединения $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})]_4\}(\text{BF}_4)_4$ (**B**). Смесь 0,206 г (0,610 ммоль) $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 0,177 г (0,610 ммоль) tpma растворили в 4 мл метанола.

Полученный прозрачный желтый раствор добавляли по каплям при перемешивании к раствору 0,164 г (0,610 ммоль) $(\text{Bu}_4\text{N})\text{CN}$ в 4 мл MeOH . Выход соединения составляет 0,144 г (51%).

Элементный анализ синтезированного соединения: рассчитано (найдено) для $\text{Fe}_4\text{F}_{16}\text{O}_5\text{N}_{20}\text{C}_{76}\text{B}_4\text{H}_{82}$ ($\text{B} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), %: C, 47,39 (47,45); H, 4,29 (4,13); N, 14,54 (14,50).

ИК спектр соединения, $\nu(\text{C}\equiv\text{N})$, см^{-1} : 2081, 2072. Монокристаллы соединения **B** для рентгеноструктурного анализа были получены диффузией паров Et_2O в раствор **B** в MeCN .

Синтез тетраядерного комплексного соединения $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})]_4\}(\text{PF}_6)_4$ (**B**). К смеси из $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0,080 г (0,40 ммоль) и tpma 0,120 г (0,400 ммоль) было добавлено 2 мл MeOH . Полученный светло-желтый раствор добавляли к 0,107 г (0,400 ммоль) раствору $(\text{Bu}_4\text{N})\text{CN}$ в 1 мл MeOH .

Полученный темно-красный раствор был добавлен к 0,074 г (0,40 ммоль) раствора KPF_6 в 2 мл MeOH , что привело к мгновенному выпадению оранжевого осадка.

Далее смесь перемешивали в течение 2 ч, после чего осадок был отфильтрован, растворен в 3 мл MeCN и опять отфильтрован через фильтр из микроволокну для удаления нерастворенного KCl .

Диффузия паров Et_2O в полученный раствор вызвала кристаллизацию оранжево-красного вещества. Продукт отфильтровывали и высушивали под вакуумом. Выход соединения составил 51% (0,107 г).

Элементный анализ соединения: рассчитано (найдено) для $\text{Fe}_4\text{P}_4\text{F}_{24}\text{N}_{20,7}\text{C}_{77,3}\text{H}_{74}$ ($\text{B} \cdot 0,65\text{CH}_3\text{CN}$), %: C, 44,31 (44,11); H, 3,56 (3,74); N, 13,80 (14,01).

ИК спектр соединения: $\nu(\text{C}\equiv\text{N})$, см^{-1} : 2080, 2073. Монокристаллы соединения **B** для рентгеноструктурного анализа были получены медленной взаимной диффузией метанольных растворов $\text{Fe}(\text{tpma})\text{Cl}_2$ и NH_4PF_6 в H-образном сосуде.

Результаты и обсуждение. Реакции, в которых в качестве единственного блокирующего лиганда используется tpma , приводят к образованию тетраядерных комплексов железа (II), имеющих общую формулу $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})]_4\}\text{X}_4$. Процесс их формирования происходит за счет пошагового присоединения мостиковых CN^- -лигандов к предварительно образованному фрагменту $[\text{Fe}(\text{tpma})]^{2+}$, что обеспечивает образование устойчивых полиядерных структур.

Для подтверждения структуры полученных соединений были записаны их инфракрасные (ИК) спектры, представленные на рисунках 3, 4 и 5. В спектрах

соединений **А**, **Б** и **В** наблюдаются две отчетливые полосы поглощения в области 2072 и 2081 см^{-1} , которые соответствуют характеристическим колебаниям тройной связи $\text{C}\equiv\text{N}$ в мостиковых фрагментах $\text{Fe(II)}-\text{C}\equiv\text{N}-\text{Fe(II)}$. Эти значения согласуются с литературными данными и подтверждают наличие цианидных мостиков в координационной среде железа (II) (Shatruck, et al., 2009; Funck K.E., et al., 2011).

На рисунках 3 - 5 представлены ИК-спектры соединений $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})_4]\}(\text{ClO}_4)_4$ (**А**), $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})_4]\}(\text{BF}_4)_4$ (**Б**) и $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})_4]\}(\text{PF}_6)_4$ (**В**) демонстрирующие характерные полосы поглощения, соответствующие указанным вибрациям $\text{C}\equiv\text{N}$.

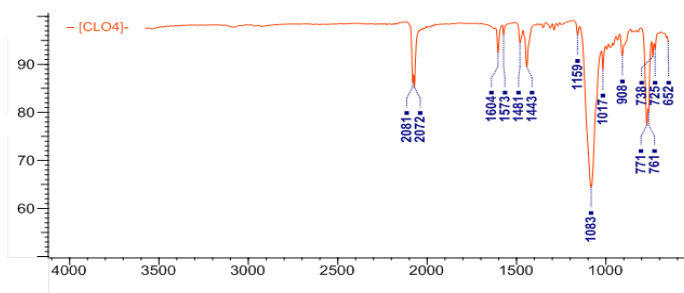


Рисунок 3 – ИК – спектр $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})_4]\}(\text{ClO}_4)_4$ (**А**)

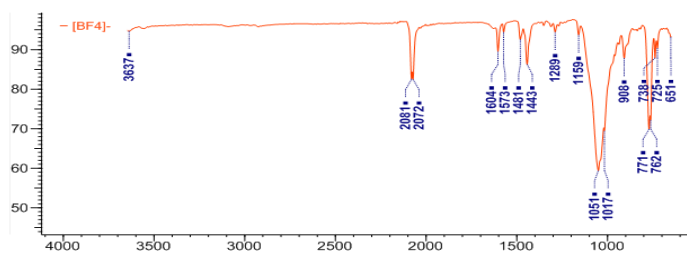


Рисунок 4 – ИК – спектр $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})_4]\}(\text{BF}_4)_4$ (**Б**)

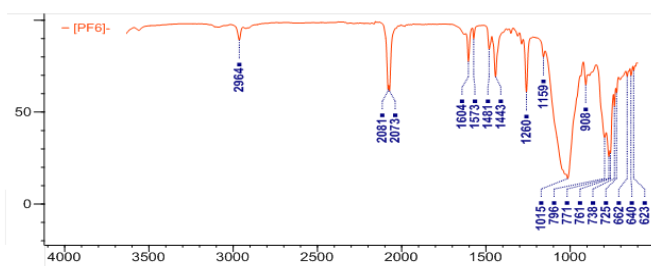


Рисунок 5 – ИК – спектр $\{[\text{Fe}(\text{tpma})(\mu\text{-CN})_4]\}(\text{PF}_6)_4$ (**В**)

Комплексы были синтезированы в метаноле и перекристаллизованы из растворов $\text{CH}_3\text{CN}/\text{Et}_2\text{O}$. Растворы этих соединений окисляются на воздухе, но сами вещества в кристаллической форме стабильны при нахождении на воздухе в течение нескольких часов. При этом кристаллы легко теряют сольватированные молекулы метанола или ацетонитрила, которые замещаются молекулами воды, как доказано элементным анализом (Hietsoi, et al., 2014; Касенова, и др., 2014). Термогравиметрический анализ (ТГА). Для изучения термической устойчивости и характера разложения комплексов А, Б и В был проведен термогравиметрический анализ (ТГА) в атмосфере аргона (Ar). Полученные данные представлены на рисунке 6.

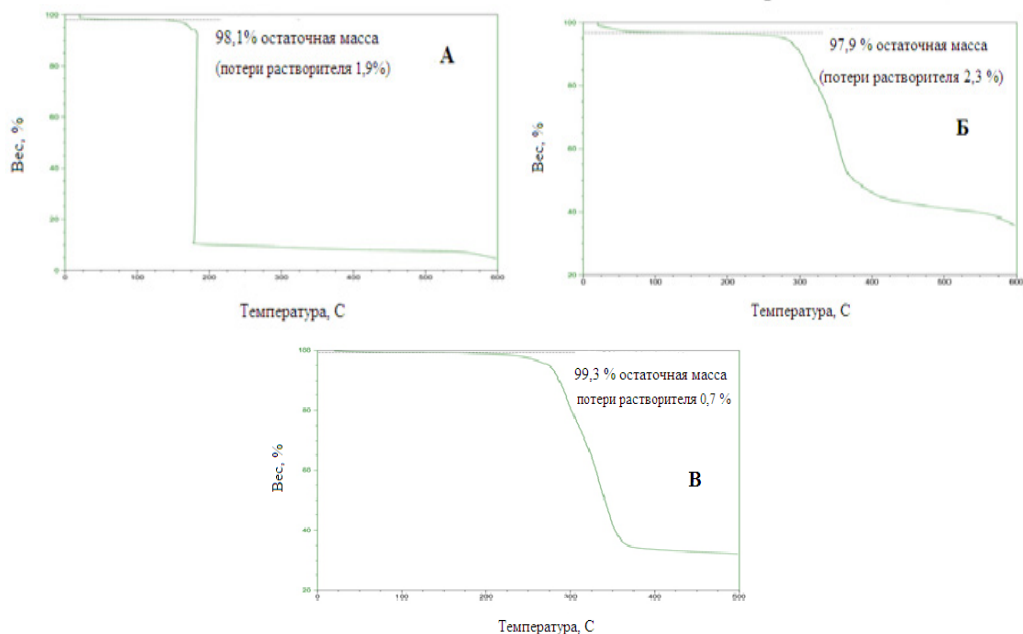


Рисунок 6 – Термогравиметрические кривые А, Б и В, снятые в непрерывном потоке газа Ar,

Анализ показал, что во всех случаях при нагревании до $\sim 150^\circ\text{C}$ наблюдается потеря массы, связанная с удалением некоординированной воды, присутствующей в кристаллической решетке комплексов. Этот процесс сопровождается постепенным снижением массы образцов без резких скачков на термограмме, что свидетельствует о равномерном удалении молекул воды.

При дальнейшем повышении температуры поведение комплексов различается: Комплексы Б и В демонстрируют высокую термическую устойчивость и начинают разлагаться только при температурах выше 300°C . Это указывает на прочную координационную связь и стабильность образовавшихся полиядерных структур в инертной атмосфере. Комплекс А, содержащий перхлорат-анионы (ClO_4^-), разлагается значительно раньше, примерно при 180°C . Этот процесс происходит резко и сопровождается интенсивной потерей массы, что согласуется с взрывным

характером сухих перхлоратов. Такие соединения известны своей способностью к экзотермическому разложению, что связано с разрывом связей Cl–O и выделением газообразных продуктов, таких как O₂ и Cl₂ (Kassenova, et al., 2013; Kassenova, et al., 2014). Таким образом, результаты ТГА подтверждают, что присутствие перхлорат-анионов существенно снижает термическую устойчивость комплекса, тогда как комплексы, содержащие другие противоионы, проявляют значительно большую термическую стабильность.

Заключение. Полученные результаты подтверждают значительный потенциал синтезированных соединений для применения в различных областях науки и техники, включая магнитные сенсоры и устройства памяти. Их спин-кроссоверное поведение, стабильность в растворах и структурные особенности делают их привлекательными для дальнейших исследований в области координационной и материаловедческой химии. Кроме того, возможность тонкой настройки их свойств путем варьирования лигандного окружения и природы противоионов расширяет перспективы их использования в молекулярной электронике, катализе и создании новых функциональных материалов с заданными магнитными и оптическими характеристиками.

Таким образом, проведенное исследование углубляет понимание механизмов образования многоядерных комплексов железа (II) с цианидными лигандами и открывает перспективы для разработки новых функциональных материалов на их основе.

Литература

- Fedorov V.E., Mironov Yu.V., Naumov N.G., Sokolov M.N., Fedin V.P. (2007) Chalcogenide clusters of Group, 5–7 metals. *Russ. Chem. Rev.* — 76 (6). — P. 529-552. <https://doi.org/10.1070/RC2007v076n06ABEH003707> (in English)
- Cotton F.A. (1964) Metal-Metal Bonding in [Re₂X₈]₂-Ions and Other Metal Atom Clusters. *Inorganic Chemistry.* — 4 (3). — P. 334-336. doi:10.1021/ic50025a016 (in English)
- Li H., Eddaoudi M., O’Keeffe M., Yaghi O.M. (1999) Design and Synthesis of an Exceptionally Stable and Highly Porous Metal-Organic Framework. *Nature.* — 402. — P. 276-279. <https://doi.org/10.1038/46248> (in English)
- Mironov Y.V., Naumov N.G., Kozlova S.G. et al. (2005) Ionic complexes based on the cluster anion [Re₁₂CS₁₇(CN)₆]₆[–] and Cu²⁺ complex cations. *Angew. Chem. Int. Ed.* — 44. — P. 6867 - 6871. doi:10.1007/s11172-008-0319-x (in English)
- Kitagawa, S., Kitaura, R. and Noro, S.I. (2004) Functional Porous Coordination Polymers. *Angewandte Chemie International Edition.* — 43. — P. 2334- 2375. <https://doi.org/10.1002/anie.200300610> (in English)
- Shatruk M., Dragulescu-Andrasi A., Chambers K. E., Stoian S. A., Bominaar E. L., Achim C., Dunbar K. R. (2007) Properties of Prussian blue materials manifested in molecular complexes: Observation of cyanide linkage isomerism and spin crossover behavior in pentanuclear cyanide clusters. *J. Am. Chem. Soc.* — 129, — P. 6104-6116. DOI: 10.1021/ja066273x (in English)
- Siretanu D., Li D., Buisson L., Bassani D. M., Holmes S. M., Mathonière C., Clérac R. (2011) Controlling Thermally Induced Electron Transfer in Cyano-Bridged Molecular Squares: From Solid State to Solution. *Chem. Eur. J.* — 17. — P. 11704-11708. DOI: 10.1002/chem.201102042 (in English)
- Giles I. D., Chifotides, H. T., Shatruk, M., Dunbar K. R. (2011) Anion-templated self-assembly of highly stable Fe (II) pentagonal metallocycles with short anion-π contacts. *Chem. Commun.* — 47. — P. 12604-12606. DOI:10.1002/chem.201101127 (in English)
- Anderegg G., Wenk F. (1967) Pyridinderivate als Komplexbildner VIII Die Herstellung je eines neuen vier- und sechszähligen Liganden. *Helv. Chim. Acta.* — 50. — 2330 p. <https://doi.org/10.1002/hlca.19770600115> (in English)

Tyeklar Z., Jacobson R.R., Wei N., Murthy N.N., Zubieta J., Karlin K.D. (1993) Reversible reaction of dioxygen (and carbon monoxide) with a copper (I) complex // X-ray structures of relevant mononuclear Cu (I) precursor adducts and the trans-(μ -1,2-peroxo)dicopper (II) product. *J. Am. Chem. Soc.* — 115. — P. 2677 - 2689. <https://doi.org/10.1021/ja00060a017> (in English)

Shatruck M., Avendano C., Dunbar K.R. (2009) Cyanide-bridged complexes of transition metals: A molecular magnetism perspective. *Prog. Inorg. Chem.* — 56, — P.155 - 334. <https://doi.org/10.1002/9780470440124.ch3> (in English)

Funck K.E., Prosvirin A.V., Mathonière C., Clérac R., Dunbar K.R. (2011). Light-Induced Excited Spin State Trapping and Charge Transfer in Trigonal Bipyramidal Cyanide-Bridged Complexes. *Inorg. Chem.* — 50. — P. 2782 - 2789. DOI:10.1021/ic1018357 (in English)

Hietsoi O., Dunk P. W., Stout H. D., Arroyave A., Kovnir K., Irons R. E., Kassenova N., Erkasov R., Achim C. and Shatruck M. (2014) Spin Crossover in Tetranuclear Fe (II) Complexes, $\{[(\text{tpma})\text{Fe}(\mu\text{-CN})_4]\text{X}_4$ (X = ClO_4^- , BF_4^-). *Inorg. Chem.* — 53. — P. 13070-13077. <https://doi.org/10.1021/ic502215h> (in English)

Касенова Н.Б., Еркасов Р.Ш. (2014). Спин-кроссовер в тетраядерных комплексах железа (II), $\{[(\text{tpma})\text{Fe}(\mu\text{-CN})_4]\text{X}_4$ (X = ClO_4^- , BF_4^- , PF_6^-). *Вестник ЕНУ.* — 2(99). — P. 374-378. (in Russian)

Kassenova N., Yerkassov R. Sh. (2013) Syntesis and structure of mononuclear complex of iron (III) with cyano-containing ligands. *Diversification of Scientific Approaches as a Basis for Improving Research Quality: Proceedings of the International Conference. Donetsk.* — P. 7-10. (in English)

Kassenova N., Yerkassov R. Sh. (2014) Investigation tetranuclear complexes of Iron (II) by Mössbauer spectroscopy. *Вестник КаГГУ.* — 2. — P. 21-26. (in English)

References

Fedorov V.E., Mironov Yu.V., Naumov N.G., Sokolov M.N., Fedin V.P. (2007) Chalcogenide clusters of Group 5–7 metals. *Russ. Chem. Rev.* — 76 (6). — P. 529-552. <https://doi.org/10.1070/RC2007v076n06ABEH003707> (in English)

Cotton F.A. (1964) Metal-Metal Bonding in $[\text{Re}_2\text{X}_8]_2$ -Ions and Other Metal Atom Clusters. *Inorganic Chemistry.* — 4 (3). — P. 334-336. doi:10.1021/ic50025a016 (in English)

Li H., Eddaoudi M., O’Keeffe M., Yaghi O.M. (1999) Design and Synthesis of an Exceptionally Stable and Highly Porous Metal-Organic Framework. *Nature.* — 402. — P. 276-279. <https://doi.org/10.1038/46248> (in English)

Mironov Y.V., Naumov N.G., Kozlova S.G. et al. (2005) Ionic complexes based on the cluster anion $[\text{Re}_{12}\text{CS}_{17}(\text{CN})_6]_6^-$ and Cu^{2+} complex cations. *Angew. Chem. Int. Ed.* — 44. — P. 6867 - 6871. doi:10.1007/s11172-008-0319-x (in English)

Kitagawa, S., Kitaura, R. and Noro, S.I. (2004) Functional Porous Coordination Polymers. *Angewandte Chemie International Edition.* — 43. — P. 2334- 2375. <https://doi.org/10.1002/anie.200300610> (in English)

Shatruck, M., Dragulescu-Andrasi A., Chambers K. E., Stoian S. A., Bominaar E. L., Achim C., Dunbar K. R. (2007) Properties of Prussian blue materials manifested in molecular complexes: Observation of cyanide linkage isomerism and spin crossover behavior in pentanuclear cyanide clusters. *J. Am.Chem. Soc.* — 129. — P. 6104-6116. DOI: 10.1021/ja066273x (in English)

Siretanu D., Li D., Buisson L., Bassani D. M., Holmes S. M., Mathonière C., Clérac R. (2011) Controlling Thermally Induced Electron Transfer in Cyano-Bridged Molecular Squares: From Solid State to Solution. *Chem. Eur. J.* — 17. — P. 11704-11708. DOI: 10.1002/chem.201102042 (in English)

Giles, I. D., Chifotides, H. T., Shatruck, M., Dunbar K. R. (2011) Anion-templated self-assembly of highly stable Fe (II) pentagonal metallacycles with short anion- π contacts. *Chem. Commun.* — 47. — P. 12604-12606. DOI:10.1002/chem.201101127 (in English)

Anderegg G., Wenk F.(1967) Pyridinderivate als Komplexbildner VIII Die Herstellung je eines neuen vier- und sechszähligen Liganden. *Helv. Chim. Acta.* — 50. — 2330 p. <https://doi.org/10.1002/hlca.19770600115> (in English)

Tyeklar Z., Jacobson R.R., Wei N., Murthy N.N., Zubieta J., Karlin K.D. (1993) Reversible reaction of dioxygen (and carbon monoxide) with a copper (I) complex // X-ray structures of relevant mononuclear Cu (I) precursor adducts and the trans-(μ -1,2-peroxo)dicopper (II) product. *J. Am. Chem. Soc.* — 115. — P. 2677 - 2689. <https://doi.org/10.1021/ja00060a017> (in English)

Shatruck M., Avendano C., Dunbar K.R. (2009) Cyanide-bridged complexes of transition metals: A molecular magnetism perspective. *Prog. Inorg. Chem.* — 56, — P. 155 - 334. <https://doi.org/10.1002/9780470440124.ch3> (in English)

Funck K.E., Prosvirin A.V., Mathonière C., Clérac R., Dunbar K.R. (2011). Light-Induced Excited Spin State Trapping and Charge Transfer in Trigonal Bipyramidal Cyanide-Bridged Complexes. *Inorg. Chem.* — 50. — P. 2782 - 2789. DOI:10.1021/ic1018357 (in English)

Hietsoi O., Dunk P. W., Stout H. D., Arroyave A., Kovnir K., Irons R. E., Kassenova N., Erkasov R., Achim C. and Shatruck M. (2014) Spin Crossover in Tetranuclear Fe (II) Complexes, $\{[(tpma)Fe(\mu-CN)]_4\}X_4$ ($X = ClO_4^-, BF_4^-$). *Inorg. Chem.* — 53. — P. 13070-13077. <https://doi.org/10.1021/ic502215h> (in English)

Kasenova N.B., Erkasov R.Sh. (2014). Spin-krossover v tetrayadernykh kompleksakh zheleza (II), $\{[(tpma)Fe(\mu-CN)]_4\}X_4$ ($X = ClO_4^-, BF_4^-, PF_6^-$) [Spin crossover in tetra-nuclear iron(II) complexes, $\{[(tpma)Fe(\mu-CN)]_4\}X_4$ ($X = ClO_4^-, BF_4^-, PF_6^-$)] *Vestnik ENU.* — 2(99). — P. 374-378. (in Russian)

Kassenova N., Yerkassov R. Sh. (2013) Synthesis and structure of mononuclear complex of iron (III) with cyano-containing ligands. Diversification of Scientific Approaches as a Basis for Improving Research Quality: Proceedings of the International Conference. Donetsk. — P. 7-10. (in English)

Kassenova N., Yerkassov R. Sh. (2014) Investigation tetranuclear complexes of Iron (II) by Mössbauer spectroscopy. *Вестник КарГУ.* — 2. — P. 21-26. (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 131–142

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.286>

IRSTI 31.15. 37

© **R.M. Kudaibergenova, A.N. Nurlybayeva, S.Z. Mateeva, K.B. Bulekbayeva,
G.A. Seitbekova, 2025.**

Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan.

E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz

STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF HIGHLY DISPERSED ELECTROCORUNDUM

Kudaibergenova Rabiga Musaparovna — PhD, Department of Chemistry and Chemical Technology, M.Kh. Dulaty Taraz University, Tole bi str. 60, Taraz, Kazakhstan,

E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0759-1539>;

Nurlybayeva Aisha Nurlybayevna — PhD, Associate Professor, Department of Chemistry and Chemical Technology, Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan,

E-mail: rustem_ergali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9904-9979>;

Mateeva Sulushash Zijatbekovna — Candidate of Chemical Sciences, Department of Chemistry and Chemical Technology, Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan,

E-mail: mateeva73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4416-1124M>;

Bulekbayeva Kamila Baltabaevna — Candidate of Technical Sciences, Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan,

E-mail: Nurhat2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1747-179X>;

Seitbekova Gulnaziya Atashbekovna — Candidate of Technical Sciences, Department of Chemistry and Chemical Technology, Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan,

E-mail: seitbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7087-7180>.

Abstract. Electrocorundum is a refractory, chemically resistant, superhard material based on aluminum oxide. Electrocorundum is an artificially synthesized synthetic corundum obtained by melting bauxite in high-power electric arc furnaces with subsequent crystallization of the melt. Results. In this work, the main parameters of highly dispersed electrocorundum of the Rusal F1000 and Technoceramics F1000 were investigated. The particle sizes were determined, FTIR spectroscopic analyses were carried out, and the dependences of the ζ -potential on the pH value of the dispersion medium of the studied samples were measured. Based on the results of FTIR spectroscopy, it follows that the positions of the absorption bands at 452,50 – 647,48 cm^{-1} indicate the presence of stretching vibrations of the Al-O bond and belong to electrocorundum particles. The results of optical microscopy showed that the size of electrocorundum particles varies from 2-14 μm . Scientific novelty. Systematic research and comparison of production parameters of Rusal and Technoceramics allows not only to get an objective idea of

the quality of the produced material, but also to establish compliance with the declared characteristics. This is especially important in the conditions of increasing requirements for functional materials from high-tech industries. Practical value. The results of such analysis are of practical importance for choosing the optimal raw materials depending on the specifics of the technological process.

Keywords: Electrocorundum, Rusal, Tekhnokeramika, optical microscopy, ζ -potential

© Р.М. Кудайбергенова, А.Н. Нурлыбаева, С.З. Матеева, К.Б. Булекбаева,
Г.А. Сейтбекова, 2025.

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

E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz

ЖОҒАРЫ ДИСПЕРСТІ ЭЛЕКТРОКОРУНДТЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ- ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Кудайбергенова Рабиға Мусапаровна — PhD, М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,

E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0759-1539>;

Нұрлыбаева Айша Нұрлыбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «Химия және химиялық технология» кафедрасы, Тараз, Қазақстан,

E-mail: rustem_ergali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9904-9979>;

Матеева Сұлушаш Зижатбековна — химия ғылымдарының кандидаты, М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «Химия және химиялық технология» кафедрасы, Тараз, Қазақстан,

E-mail: mateeva73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4416-1124>;

Булекбаева Камила Балтабаевна — техника ғылымдарының кандидаты, М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,

E-mail: Nurhat2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1747-179X>;

Сейтбекова Гүлназия Аташбековна — техника ғылымдарының кандидаты, М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «Химия және химиялық технология» кафедрасы, Тараз, Қазақстан,

E-mail: seitbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7087-7180>.

Аннотация. Электрокорунд алюминий оксидіне негіздегі отқа төзімді, химиялық төзімді, аса қатты материал. Сонымен қатар, электрокорунд бокситті қуатты электр доғалы пештерде балқытып, кейіннен кристалдану арқылы балқыту арқылы алынған жасанды синтезделген синтетикалық корунд. Өте жоғары беріктігінің арқасында ақ электрокорунд абразивті құрал ретінде, сондай-ақ абразивті құралдарды өндіруде қолданылады, ал жоғары температураға және төмен жылу және электр өткізгіштікке төзімділігіне байланысты – керамикалық және отқа төзімді бұйымдар өндірісінде қолданылады. Нәтижелері. Бұл зерттеу жұмысында Rusal F1000 және Technoceramics F1000 маркалы жоғары дисперсті электрокорунддың негізгі параметрлері зерттелді. Яғни, бөлшектердің өлшемдері анықталды, ИҚ-спектроскопиялық талдаулар жүргізілді, ζ -потенциалдың зерттелетін үлгілердің дисперсиялық ортасының рН мәніне тәуелділігі өлшенді. ИҚ Фурье спектроскопиясының нәтижелеріне сүйене отырып, 452,50 - 647,48 см^{-1} аралығындағы абсорбциялық жолақтардың

позициялары Al-O байланысының созылу тербелістерінің бар екендігін көрсетеді және бұл электрокорунд бөлшектеріне тән болып келеді. Үлгілердің оптикалық микроскопиялық нәтижелері электрокорунд бөлшектерінің өлшемі 2-ден 14 мкм-ге дейін өзгертінін көрсетті. Ғылыми жаңалығы. Русал және Технокерамика өнімдерінің параметрлерін жүйелі түрде зерттеу және салыстыру өндірілген материалдың сапасы туралы объективті түсінік алуға ғана емес, сонымен қатар мәлімделген сипаттамаларға сәйкестікті анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе жоғары технологиялық өндірістердің функционалдық материалдарына қойылатын талаптардың артуы жағдайында маңызды. Практикалық құндылық. Мұндай талдау нәтижелерінің технологиялық процестің ерекшеліктеріне байланысты оңтайлы шикізатты таңдау үшін практикалық маңызы бар. Сонымен қатар, мұндай салыстырмалы зерттеулер отандық шикізат базасын дамытуға, импорттық аналогтарға тәуелділікті азайтуға және өндірушілердің ішкі және сыртқы нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: электрокорунд, rusal, технокерамика, оптикалық микроскопия, ζ-потенциал

© Р.М. Кудайбергенова, А.Н. Нурлыбаева, С.З. Матеева, К.Б. Булекбаева, Г.А. Сейтбекова, 2025.

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

*E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА

Кудайбергенова Рабига Мусапоровна — PhD, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: rm.kudajbergenova@dulaty.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0759-1539>;

Нурлыбаева Айша Нурлыбаевна — PhD, ассоциированный профессор кафедры химии и химической технологии, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: rustem_ergali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9904-9979>;

Матеева Сулушаш Зиятбековна — кандидат химических наук, кафедра химии и химической технологии, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: mateeva73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4416-1124>;

Булекбаева Камила Балтабаевна — кандидат технических наук, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: Nurhat2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1747-179X>;

Сейтбекова Гульназия Аташбековна — кандидат технических наук, кафедра химии и химической технологии, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: seitbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7087-7180>.

Аннотация. Электрокорунд тугоплавкий, химически стойкий, сверхтвёрдый материал на основе оксида алюминия. Электрокорунд искусственно синтезированный синтетический корунд, получаемый плавкой боксита в мощных дуговых электропечах с последующей кристаллизацией расплава. Благодаря сверхвысокой прочности белый электрокорунд используется в качестве абразива,

применяется для производства абразивных инструментов, а за счет устойчивости к высоким температурам и низкой тепло- и электропроводности – в производстве керамической и огнеупорной продукции. Результаты. В данной работе исследованы основные параметры высокодисперсного электрокорунда марок Русал F1000 и Технокерамика F1000. Также, определены размеры частиц, проведены ИК-спектроскопические анализы, измерены зависимости ζ -потенциала от значения pH дисперсионной среды исследуемых образцов. На основании результатов ИК-Фурье спектроскопии следует, что положения полос поглощения в $452,50\text{ см}^{-1}$ по $647,48\text{ см}^{-1}$ указывают на наличие валентных колебаний связи Al-O и принадлежат частицам электрокорунда. Результаты оптической микроскопии показали, что размер частиц электрокорунда варьируется от 2 до 14 мкм. По результатам электрофоретического рассеяния света для суспензий электрокорунда с различными значениями pH дисперсионной среды установлено, что частицы электрокорунда имеют положительный знак заряда при pH от 1 до 6, и отрицательный знак при $\text{pH} > 6$. Научная новизна. Систематическое исследование и сравнение параметров продукции Русал и Технокерамики позволяет не только получить объективное представление о качестве выпускаемого материала, но и установить соответствие заявленным характеристикам. Это особенно важно в условиях повышения требований к функциональным материалам со стороны высокотехнологичных отраслей промышленности. Практическая ценность. Результаты такого анализа имеют практическую значимость для выбора оптимального сырья в зависимости от специфики технологического процесса.

Ключевые слова: электрокорунд, русал, технокерамика, оптическая микроскопия, ζ -потенциал

Introduction. Electrocorundum is a refractory and chemically resistant superhard material based on aluminum oxide (Al_2O_3). There are various modifications of aluminum oxide, but only corundum $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ has thermodynamic stability. Corundum is a white refractory powder with a density of 4 g/cm^3 , close to diamond in hardness. Chemically inert, it dissolves only in molten alkali (Angelescu, et al., 2010). The high stability of corundum is explained by the strength of its crystal structure, which is a two-layer dense spherical packing of oxygen ions, in the octahedral voids of which aluminum ions are located (Permikina, et al., 1986). The Al-O distance is almost the same throughout the crystal and is approximately $0,185\text{ nm}$. Since the alpha modification of aluminum oxide is the only one present in nature, corundum can be obtained from natural rubies, bauxites, sapphires, etc. Corundum is obtained synthetically by thermal decomposition of aluminum hydroxide or alum $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ at $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$, or by thermal transformation of other forms into α .

Electrocorundum is an artificially synthesized synthetic corundum (88-99% Al_2O_3). It obtained by melting bauxite in electric furnaces with a reducing agent (anthracite, petroleum coke) and a precipitating agent (iron filings) (Teresa, et al., 2017). It used as an abrasive, refractory material for the manufacture of casting molds and rods, structural elements of radio tubes, abrasive wheels, etc. The study of the properties of highly

dispersed electrocorundum plays an important role in understanding its performance characteristics and selecting optimal conditions for its use. Particle size, morphology, phase composition and mechanical properties have a significant impact on the final properties of the material and its functionality in various technological processes (Drygalska, et al., 2012).

Features and advantages of this material: high resistance to chemical, temperature and climatic influences; preservation of crystal structure when heated during operation; the running size of crystals is 0,6-0,8 mm; homogeneity in mineralogical and chemical composition; minimal inclusion of foreign impurities (no more than 1%) (Ogrodnik, et al., 2010).

The classic color of electrocorundum is white. White electrocorundum is used for grinding cooled, high-carbon and high-speed steel. It is also widely used in the manufacture of ceramic and refractory parts. It can be used on catalyst carriers and special grinding machines (Mikhailov, et al., 2019).

Determination of the main physicochemical characteristics of highly dispersed electrocorundum produced by Rusal and Technoceramics is a relevant area of applied materials science research. Electrocorundum is widely used in the production of refractory, abrasive, ceramic and composite materials, where stability of properties, homogeneity of structure and high purity of phase composition are critical (Krasnyi, et al., 2009). At the same time, even minor differences in the parameters of the initial raw materials can significantly affect the quality of the final product. Despite the general classification according to state standards and technical conditions, brands of different manufacturers can vary in a number of indicators: average particle size, granule morphology (Krasnyi, et al., 2009), degree of agglomeration, specific surface area, composition and level of impurities (Komolikov, et al., 2018).

Therefore, a systematic study and comparison of the parameters of Rusal and Technoceramics products allows not only to obtain an objective idea of the quality of the manufactured material, but also to establish compliance with the declared characteristics (Gasik, et al., 2020). This is especially important in the context of increasing requirements for functional materials from high-tech industries. The results of such analysis are of practical importance for selecting the optimal raw material depending on the specifics of the technological process. For example, the production of technical ceramics requires materials with high phase purity and a narrow particle size distribution, while in the abrasive industry; preference may be given to more durable and heat-resistant fractions (Anisimov, et al., 2022). In addition, such comparative studies contribute to the development of the domestic raw material base, reducing dependence on imported analogues and increasing the competitiveness of manufacturers in the domestic and foreign markets. Rusal F1000 is one of the world's largest manufacturers of white electrocorundum. It is produced by melting pure alumina in electric arc furnaces. Due to its ultra-high strength, white electrocorundum is used as an abrasive, applied in the production of abrasive tools, and due to its resistance to high temperatures and low thermal and electrical conductivity – in the production of ceramic and refractory products (Tsyv'yan, 2003).

The purpose of this study is to determine the main parameters of various brands of highly dispersed electrocorundum of the Rusal F1000 brand, electrocorundum of the Technoceramics F1000 brand.

Materials and methods. Materials: During the work, the following substances were used as initial reagents: electrocorundum Rusal F1000 and electrocorundum Technoceramics F1000, artificially synthesized synthetic corundum (88-99% Al_2O_3). Rusal F1000 is one of the world's largest producers of white electrocorundum. It is produced by melting pure alumina in electric arc furnaces at the Boksitogorsk Alumina Plant. Technoceramics F1000 is a Russian research and production company. Since 2010, we have been actively engaged in the development and production of high-tech and science-intensive refractory and abrasive materials made of white electrocorundum 25A, mullite, as well as zirconium dioxide and other materials. Methods: FTIR analysis was carried out to identify and study the structure. FTIR absorption spectra were recorded at room temperature in the frequency range 4000–400 cm^{-1} (mid-IR region) on a Thermo Fisher Scientific Inc (USA) Fourier-transform IR spectrometer using the KBr method (transmission).

The electrophoretic light scattering method was used to measure the ζ -potential. The ζ -potential of the samples was determined using a Photocor Compact-Z device (Photocor LLC, Russia). This method is based on the dynamic light scattering method in the configuration of a laser Doppler anemometer, which is used to measure the velocities of liquid and gas flows. The contact liquid for electrophoresis was prepared using distilled water and nitric acid. The velocity of the particles in the field, calculated from the phase function, allows one to determine the electrophoretic mobility of the particles.

$$\mu_E = \frac{v}{E}$$

Where, v is the velocity of charged particles in an electric field with strength E .

The electrophoretic mobility of particles is recalculated using the Helmholtz-Smoluchowski equation and applying corrections for different thicknesses of the double electric layer.

$$\mu_E = \frac{2\varepsilon\xi}{3\eta},$$

Where, ξ is the zeta potential, mV; μ_E is the electrophoretic mobility, $\text{m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$; ε is the permittivity, F/m; η is the viscosity, Pa·s.

The particle sizes were determined using optical microscopy. An optical microscope designed for laboratory research is used for the analysis, and a micrometer grid is inserted into the eyepiece.

Results and discussion. FTIR analysis.

The infrared spectroscopy method makes it possible to obtain information about the relative positions of molecules over very short periods of time, as well as to evaluate the nature of the bonds between them, which is fundamentally important when studying the structural and informational properties of various substances. Absorption bands appear as a result of transitions between vibrational levels of the ground electronic state of

the system being studied. The spectral characteristics (positions of band maxima, their half-width, intensity) of an individual molecule depend on the masses of its constituent atoms, the geometry of the structure, the features of interatomic forces, the charge distribution, etc., therefore infrared spectra are distinguished by great individuality, which determines their value in identifying and studying the structure of compounds.

For alumina materials, infrared absorption spectra were obtained, which are presented in Figures 1 and 2.

As can be seen, several absorption bands are observed in the FTIR spectra in the range of $400 - 650 \text{ cm}^{-1}$. The results of the FTIR spectrum identification of the Rusal F1000 sample showed absorption spectra at frequencies of $452,50 \text{ cm}^{-1}$, $605,88 \text{ cm}^{-1}$ and $647,48 \text{ cm}^{-1}$, which are related to the stretching vibrations of the Al-O bond. Also, peaks at $453,17 \text{ cm}^{-1}$, $601,53 \text{ cm}^{-1}$ and $640,57 \text{ cm}^{-1}$, which are characteristic of the stretching vibrations of the Al-O bond, were also revealed in the spectra of the Technoceramics F1000 sample. Based on the FTIR spectroscopy results, it follows that the positions of the absorption bands indicate the presence of stretching vibrations of the Al-O bond and belong to the particles of electrocorundum (Wei, et al., 2020).

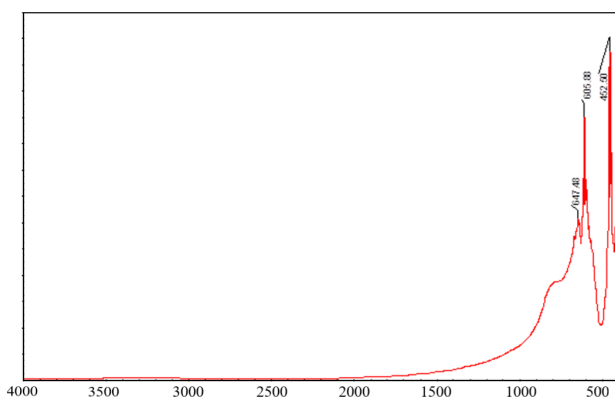


Figure 1 - FTIR spectrum of the Rusal F1000 electrocorundum sample

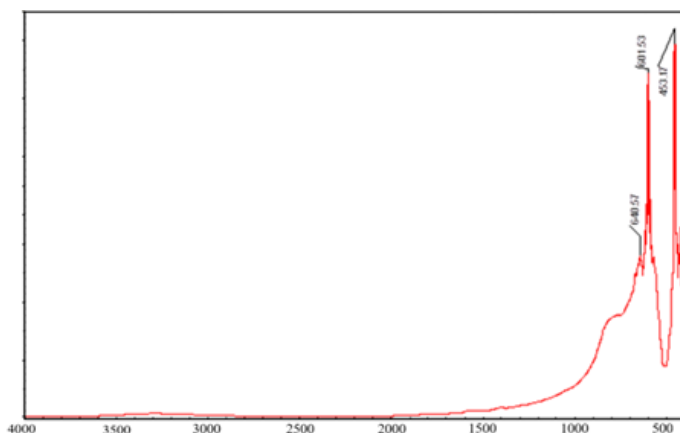


Figure 2 - FTIR spectrum of the Technoceramics F1000 electrocorundum sample

Electrosurface properties of electrocorundum samples.

The electrophoretic light scattering method was used to measure the zeta potential. The ζ -potential value allows us to judge the potential stability of the system. Figure 8 shows the dependences of the ζ -potential on the pH values of the medium for all the studied samples.

For each sample, the sign of the ζ -potential value was found at a certain pH of the dispersion medium, and the pH values at which the minimum and maximum pH values would be observed were determined.

For the electrocorundum sample - Rusal F1000, it was found that in the range from pH = 1 to pH = 6, the Al_2O_3 particles are positively charged, and in the range from pH = 6 to pH = 10, the Al_2O_3 particles are negatively charged. The isoelectric point of the sample is observed at pH = 6. The minimum value of the ζ -potential is 10 mV, the maximum value of the ζ -potential is 35 mV at pH = 2.

For the electrocorundum sample - Tekhnokeramika F1000, it was found that in the range from pH = 1 to pH = 7, the Al_2O_3 particles are positively charged, and in the range from pH = 7 to pH = 10, the Al_2O_3 particles are negatively charged. The isoelectric point of this sample is observed at pH = 7. The minimum value of ζ -potential is 0 mV, the maximum value of ζ -potential is 10 mV at pH=5.

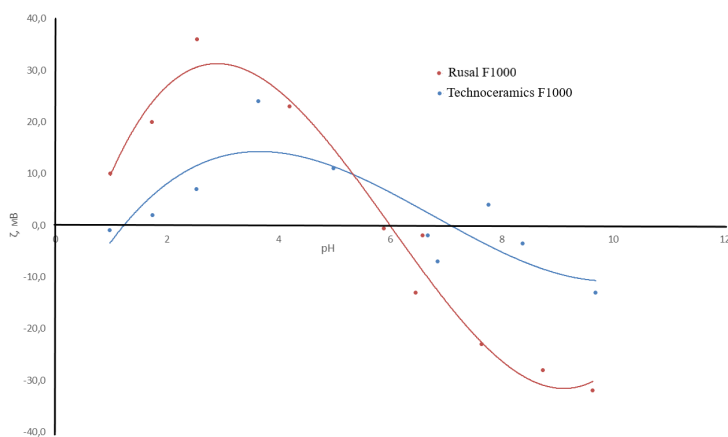


Figure 3 - Dependence of the ζ -potential on the pH value of the dispersion medium for the studied samples

Determination of particle sizes by optical microscopy

An optical microscope designed for laboratory research is used for the analysis, into the eyepiece of which a micrometer grid is inserted. The scale of the micrometer grid divides the field of view of the microscope into 100 squares, the side of each of which is 5 grid divisions. The value of a grid division of 24 depends on the magnification of the eyepiece and objective and is determined using an eyepiece micrometer. A glass slide with a sample of emulsion or powder is placed under the microscope objective and, by moving the microscope tube vertically, the best sharpness of the particle image is achieved. To obtain the best magnification for counting particles, a sample is examined

with different eyepieces and one is selected so that no more than 30-40 and no less than 15 particles are within the micrometer grid.

A micrograph of the Rusal F1000 electrocorundum sample was obtained using an optical microscope and is shown in Figure 4.

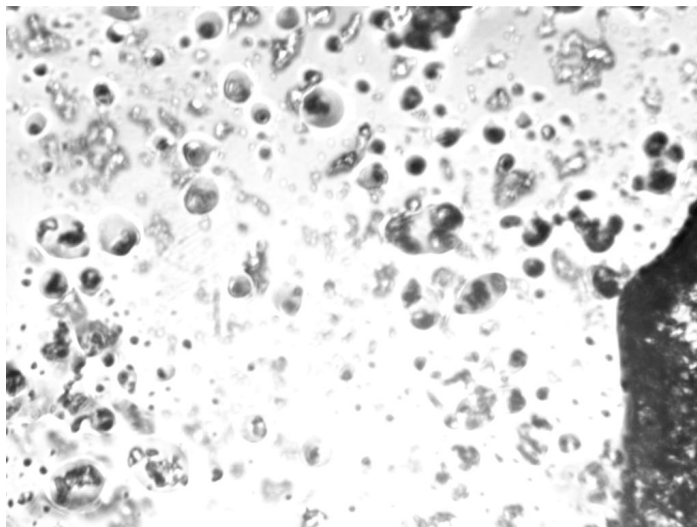


Figure 4 - Micrograph of a sample of electrocorundum (Rusal F1000)

As can be seen, the dispersed material is represented by irregularly shaped particles, and particle aggregation is observed [Kryuchkov, 2020]. The results of dispersion analysis obtained by optical microscopy are presented in Table 1.

Table 1. Results of dispersion analysis

$r_{i-1}; r_i$	1,73-3,03	3,03-4,33	4,33-5,63	5,63-6,93	6,93-8,23	8,23-9,53	9,53-10,83	10,83-12,13	12,13-13,43	13,43-14,69
r_i , med	2,4	3,7	5,0	6,3	7,6	9,0	10,2	11,5	13,4	14,06
Number of particles	10	19	8	6	8	7	3	1	1	1
Q_i %	15,6	29,6	12,5	9,3	12,5	10,4	4,6	3,1	1,5	1,5

Based on the obtained results, a histogram of the distribution of sample particles by size was constructed (Zhu, et al., 2001). The presented histogram shows 1 predominant size – 3,7 μm . The particle sizes vary from 2,4 to 14 μm .

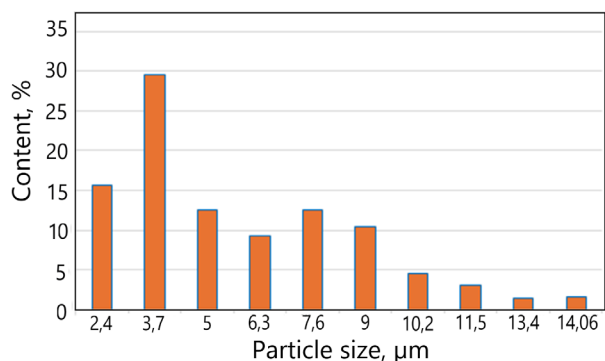


Figure 5 - Histogram of distribution of electrocorundum (Rusal F1000) by sizes

Also, a micrograph of an electrocorundum sample (Technoceramics F1000 brand) was obtained using a microscope, shown in Figure 6.

In this micrograph obtained by the optical method, it can also be seen that the material is represented by particles of different shapes, and aggregation of particles is observed (Kryuchkov, 2020).

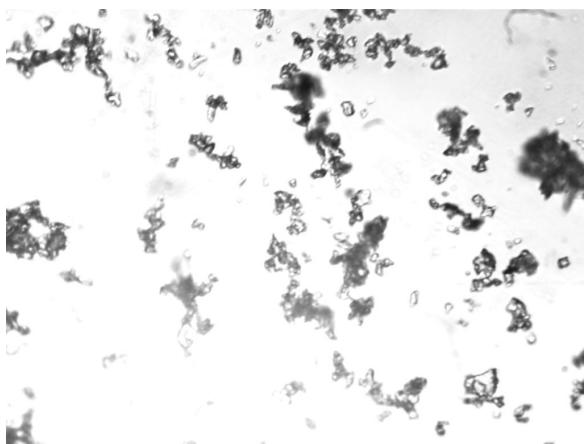


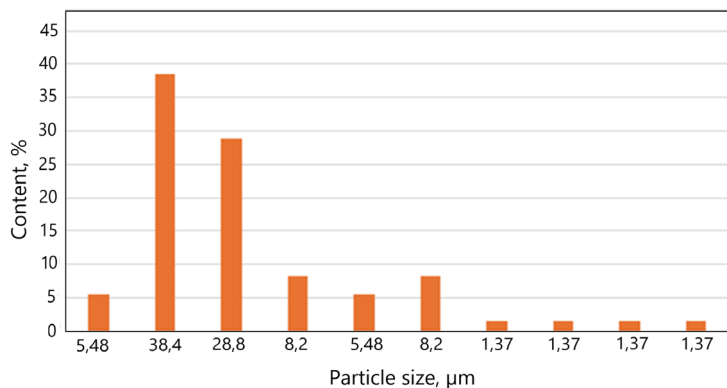
Figure 6 - Micrographs of a sample of electrocorundum (Technoceramics F1000)

The results of the dispersion analysis obtained by optical microscopy are presented in Table 2.

Table 2. Results of dispersion analysis

$r_{i-1}; r_i$	1,16- 2,42	2,42- 3,68	3,68- 4,94	4,94- 6,2	6,2-7,46	7,46- 8,72	8,72- 9,98	9,98- 11,24	11,24- 12,5	12,5- 13,8
r_i , med	1,8	3,05	4,3	5,6	6,8	8,09	9,3	10,6	12,0	13,1
Number of particles	4	28	21	6	4	6	1	1	1	1
Q_i , %	5,48	38,4	28,8	8,2	5,48	8,2	1,37	1,37	1,37	1,37

Based on the obtained results, a histogram of the distribution of material particles by size was constructed (Figure 7). The presented histogram shows one predominant size – 3,8 μm . The particle sizes vary from 1,2 to 14,0 μm .



Conclusion. In the context of increasing requirements for technical materials, control and precise characterization of the physical and chemical parameters of electrocorundum, especially in its dispersed state, is of particular importance. In this work, the main parameters of electrocorundum of different grades (Rusal F1000, Technoceramics F1000) were determined. The results of optical microscopy showed that the size of electrocorundum particles varies from 2 to 14 μm . According to the results of electrophoretic light scattering for electrocorundum suspensions with different pH values of the dispersion medium, it was determined that the electrocorundum particles have a positive charge sign at pH from 1 to 6, and a negative sign at pH > 6.

References

- Angelescu N., Cristina Stancu C. (2010) The influence of cement dosage on the Quality Performances Of Special Refractory Concretes. The Scientific Bulletin of Valahia University – Materials and mechanics, Vol. 5, — P. 7-11. (in Eng.)
- Anisimov A.G., Bezlepkina V.A. & Mali V.I. (2022) On the Matter of Obtaining High-Density Corundum Ceramics with a Defect-Free Polished Surface and Low Roughness by SPS. Glass Ceram, Vol. 78, — P.402-405. <https://doi.org/10.1007/s10717-022-00420-5> (in Eng.)
- Drygalska E., Lipinski T.R., Tontrup C. (2010) Wpływ dodatku nanotlenków Al_2O_3 i TiO_2 na właściwości tworzyw wysokoglinowych, Materiały Ceramiczne/Ceramic Materials, Vol. 62, — P.191-196. (in Eng.)
- Gasik M., Dashevskii V., Bizhanov A. (2020) Metallurgy of Electrocorundum. In: Ferroalloys. Topics in Mining, Metallurgy and Materials Engineering. Springer, Cham., — P.355-363. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57502-1_23 (in Eng.)
- Komolikhov Y.I., Kashcheev I.D. & Pudov V.I. (2018) Influence of the Procedure of Getting of a Highly Dispersed Additive on the Properties of Corundum Ceramics. Refract Ind Ceram, Vol. 58, — P.626-629. <https://doi.org/10.1007/s11148-018-0157-9> (in Eng.)
- Krasnyi B.L., Tarasovskii V.P., Krasnyi A.B. et al. (2009) Effect of the shape of monosize electrocorundum powder particles on the physical – mechanical properties of porous permeable ceramic samples. Glass Ceram, Vol. 66, — P.389–392. <https://doi.org/10.1007/s10717-010-9208-5> (in Eng.)
- Krasnyi B.L., Tarasovskii V.P., Krasnyi A.B. et al. (2009) Effect of electromelted corundum crystal size and shape on the microstructure and permeability of porous ceramic. Refract Ind Ceram, Vol. 50, — P.451–455. <https://doi.org/10.1007/s11148-010-9237-1> (in Eng.)

Kryuchkov Y.N. (2020) Estimation of Corundum Particles Size and Shape Effect on the Capillary Radius of Porous Ceramic. *Glass Ceram*, Vol. 77, — P.22-25. <https://doi.org/10.1007/s10717-020-00230-7> (in Eng.)

Mikhailov G.G., Morozova, A.G., & Bamburov, V.G. (2019) Investigation of Physical and Chemical Processes of Formation of Composite Materials with Specified Structural Phase Characteristics. In *Materials Science Forum*, Vol. 946, — P.192–198. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.946.192> (in Eng.)

Ogrodnik P., Zegardło B., Halicka A. (2012) Wstępna analiza możliwości zastosowania odpadów ceramiki sanitarnej jako kruszywa do betonów pracujących w wysokich temperaturach, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 1, — P.49-56. (in Eng.)

Permikina N.M., Gimpel'man, E.Y. & Makhonina, S.N. (1986) The effect of grain-size composition of electrocorundum on the properties of the goods. *Refractories*, Vol. 27, — P.138-140. <https://doi.org/10.1007/BF01387533> (in Eng.)

Teresa K., Agnieszka Ś. (2017) Influence of silicon carbide and electrocorundum on the thermal resistance of cement binders with granulated blast-furnace slag. *Procedia Engineering*, Vol. 172, — P.497 — 504. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.058> (in Eng.)

Tsyv'yan A.M. (2003) The Effect of the Binder on the Properties of Electrocorundum Abrasive Tools. *Glass and Ceramics*. Vol. 60, — P.219–221. <https://doi.org/10.1023/A:1027387108863> (in Eng.)

Wei S., Zhang L., Ben Y. et al. (2017) High dispersibility of α -Al₂O₃ powders from coprecipitation method by step-by-step horizontal ball-milling. *J Mater Sci: Mater Electron*, Vol. 28, — P.16254-16261. <https://doi.org/10.1007/s10854-017-7530-1> (in Eng.)

Zhu X., Jiang D., Tan S., Zhang Z. (2001) Dispersion properties of alumina powders in silica sol, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 21, — P.2879-2885. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(01\)00229-1](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(01)00229-1) (in Eng.)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 143–156

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.287>

УДК: 615.014.

© **A.Kh. Kussainova¹, B.M. Kudaibergenova^{1*}, A.M. Malikova¹,
G.A. Aldibekova², 2025.**

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: bateskudaibergenova1@gmail.com

**DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF POLYMER COMPOSITE
MATERIALS WITH AN EXTRACT OF SEA BUCKTHORN (HIPPOPHAË
RHAMNOIDES L.)**

A.Kh. Kussainova — master, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: amikussainova01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-8557-5393>;

B.M. Kudaibergenova — PhD, acting professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bateskudaibergenova1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6881-6765>;

A.M. Malikova — bachelor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: ayazhan.malikova04@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4065-8495>;

G.A. Aldibekova — master, lecturer at the department of chemistry, S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Aldibekova.g@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9471-1021>.

Abstract. In the Republic of Kazakhstan, sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) is used in oil-based topical preparations. Although effective, these forms present several drawbacks: they stain skin and clothing, require frequent dressing changes, and may create an occlusive environment during prolonged application. Therefore, the development of innovative dosage forms such as polymer films based on sea buckthorn extracts is highly relevant and promising. This study aimed to develop gelatin-based polymer films incorporating extracts from sea buckthorn. The extracts were analyzed by spectrophotometric, titrimetric, and gravimetric methods to determine their content of biologically active substances. Organoleptic evaluation was also employed to assess the physical properties of the film samples. Chemical analysis revealed that sea buckthorn fruit extracts had the highest concentration of bioactive compounds, including antioxidants and wound-healing agents. These properties indicate their high therapeutic potential in topical drug formulations. Among nine film compositions evaluated, the optimal formulation was found to contain 7% gelatin, offering the best balance of mechanical strength, elasticity, and moisture retention. Such a matrix is ideal for the

development of sustained-release external dosage forms with improved bioavailability. The findings support the practical application in pharmaceutical practice, offering a more convenient, effective, and patient-friendly alternative to traditional sea buckthorn oil products.

Keywords: dosage form, polymer films, plant extract, sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.), β -carotene, gelatin, composition development

© А.Х. Кусаинова¹, Б.М. Кудайбергенова^{1*}, А.М. Маликова¹,
Г.А. Алдибекова², 2025.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: bateskudaibergenova1@gmail.com

ҚҰРАМЫНА ОБЛЕПИХА (HIPPOPHAË RHAMNOIDES L.) ЭКСТРАКТЫ ҚОСЫЛҒАН ПОЛИМЕРЛІК КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН ДАЙЫНДАУ

А.Х. Кусаинова — магистр, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: amikussainova01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-8557-5393>;

Б.М. Кудайбергенова — PhD, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың профессор м.а., Алматы, Қазақстан,

E-mail: bateskudaibergenova1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6881-6765>;

А.М. Маликова — бакалавр, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: ayazhan.malikova04@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4065-8495>;

Г.А. Алдибекова — магистр, С.Д. Асфендияров атындағы ҚазҰМУ-дың химия кафедрасының оқытушысы, Алматы, Қазақстан,

Email: Aldibekova.g@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9471-1021>.

Аннотация. Қазақстан Республикасында теңіз шырғанағы (*Hippophaë rhamnoides* L.) дәстүрлі түрде сыртқы қолдану үшін май препараттары түрінде қолданылады. Дәлелденген тиімділікке қарамастан, мұндай формалардың бірқатар кемшіліктері бар: олар теріні және киімді бояйды, таңғыштарды жиі ауыстыруды талап етеді және терімен ұзақ уақыт байланыста парниктік әсерді тудыруы мүмкін. Осыны ескере отырып, теңіз шырғанақ негізінде полимерлі қабықшалар түріндегі жаңа дәрілік формаларды жасау өзекті және перспективалы бағыт болып көрінеді. Зерттеу аясында биологиялық белсенді заттардың құрамын анықтау үшін спектрофотометриялық, титриметриялық және гравиметриялық әдістерді қолдану арқылы теңіз шырғанақ жемістері мен жапырақтарынан алынған сығындыларға талдау жүргізілді. Алынған полимер үлгілерінің сипаттамаларын бағалау үшін органолептикалық бағалау әдісі қосымша қолданылды. Сығындылардың химиялық құрамын талдау теңіз шырғанақ жемістерінің сығындысы биологиялық белсенді заттардың жоғары болуына байланысты ең жоғары құндылыққа ие екенін көрсетті. Оның айқын емдік әлеуеті бар, оның ішінде жараларды емдейтін әсері бар, бұл оны дәрілік формаларды дамыту үшін перспективалы етеді. Сонымен қатар, тоғыз үлдір үлгінің салыстырмалы талдауы оңтайлы композицияның беріктік,

серпимділік және ылғал ұстаудың ең жақсы комбинацияларының сериясында 7% желатинді құрайтыны анықталды, бұл оны жақсартылған биожетімділігі мен қолданудың қарапайымдылығымен ұзақ әсер ететін сыртқы дәрілік формаларды құру үшін оңтайлы матрица етеді. Нәтижелер әзірленген пленкалық пішіндердің жоғары практикалық маңыздылығын растайды, оларды фармацевтикалық тәжірибеде биожетімділігі және қолданудың қарапайымдылығы жақсартылған тиімді ұзақ әсер ететін сыртқы препараттарды жасау үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: дәрілік форма, полимерлі қабықшалар, өсімдік экстракты, теңіз шырғанағы (*Hipporhaë rhamnoides L.*), β-каротин, желатин, құрамын дайындау

© А.Х. Кусаинова¹, Б.М. Қудайбергенова^{1*}, А.М. Маликова¹,
Г.А. Алдибекова², 2025.

¹Казахский Национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан;

²Казахский медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова,
Алматы, Казахстан.

E-mail: bateskudaibergenova1@gmail.com

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭКСТРАКТОМ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ (*HIPPORHAË RHAMNOIDES L.*)

А.Х. Кусаинова — магистр, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: amikussainova01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-8557-5393>;

Б.М. Қудайбергенова — PhD, и.о. профессора КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: bateskudaibergenova1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6881-6765>;

А.М. Маликова — бакалавр, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: ayazhan.malikova04@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4065-8495>;

Г.А. Алдибекова — магистр, лектор кафедры химии КазНМУ имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан,
E-mail: Aldibekova.g@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9471-1021>.

Аннотация. В Республике Казахстан облепиха крушиновидная (*Hipporhaë rhamnoides L.*) используется в виде масляных препаратов для наружного применения. Несмотря на доказанную эффективность, такие формы обладают рядом недостатков: они окрашивают кожу и одежду, требуют частой замены повязок и могут создать парниковый эффект при длительном контакте с кожей. Разработка новых лекарственных форм на основе облепихи в виде полимерных плёнок представляется актуальным и перспективным направлением. В рамках исследования был проведён анализ экстрактов, полученный из плодов и листьев облепихи с применением спектрофотометрических, титриметрических и гравиметрических методов для определения содержания биологически активных веществ. Для оценки характеристик полученных полимерных образцов дополнительно применялся метод органолептической оценки. Анализ химического состава экстрактов показал, что наибольшую ценность представляет

экстракт из плодов облепихи благодаря высокому содержанию биологически активных веществ. Он обладает выраженным терапевтическим потенциалом, включая ранозаживляющее действие, что делает его перспективным для разработки лекарственных форм. Сравнительный анализ девяти образцов плёнок установил, что оптимальным является состав с 7% желатина, в ряду наилучшего сочетания прочности, эластичности и способности удерживать влагу, что делает её оптимальной матрицей для создания лекарственных форм наружного применения пролонгированного действия с улучшенной биодоступностью и удобством использования. Результаты подтверждают высокую прикладную значимость разработанных плёночных форм, которые могут быть использованы в фармацевтической практике для создания эффективных наружных препаратов пролонгированного действия с улучшенной биодоступностью и удобством применения.

Ключевые слова: лекарственная форма, полимерные пленки, растительный экстракт, облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.), β -каротин, желатин, разработка состава

Введение. В разработке лекарственных препаратов одним из ключевых вопросов является выбор сырья – растительного или химически синтезированного. Исследования показывают, что флора Казахстана представляет собой богатый источник природных компонентов, которые могут служить основой для создания эффективных медикаментов. Использование лекарственного растительного сырья не только открывает новые возможности для фармацевтической отрасли, но и способствует экономическому росту страны, опираясь на её природные ресурсы. Таким образом, развитие производства на основе растительного сырья Казахстана может стать перспективным направлением для дальнейшего укрепления экономики.

Одним из видов лекарственного растительного сырья выступает такое растение как облепиха, которая считается представителем семейства лоховых. Особенность её ботанических характеристик заключается в том, что облепиха — это ягодный кустарник, иными словами, что-то среднее между кустарником и деревом. В природе высота такого древовидного кустарника облепихи может достигать 9 м. Наиболее распространенным представителем является облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.) (Yermilova, et al., 2013). Данный представитель растительного сырья произрастает на территории Европы, России, Западной и Центральной Азии, также на Кавказе, на территории Монголии и Китая. Встретить растение можно у рек, на берегах водоемов, также и в горной местности, а именно на песчанной каменисто-щебенистой почве (Rodnishcheva, et al., 2023). В естественной среде Казахстана встречается только крушиновидная разновидность облепихи (*Hippophaë rhamnoides* L.). Места в которых можно встретить дикую облепиху – Восточный мелкосопочник, Зайсан, Алтай, облепиху можно встретить в горах Алатау, Тянь-Шань и Каратау (Hasenova, et al., 2020; Rafalska, et al., (2017). Кроме того она встречается на территории у берегов рек,

к примеру р.Коксу в Жетысуйской области. Лекарственное растительное сырье, собранное в этой местности послужило объектом исследования данной работы.

Кроме того, что облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.) является довольно доступным сырьем на территории Казахстана, она также обладает уникальным и богатым химическим составом, обусловленным различными биологически активными веществами. В фармацевтической практике одним из самых ценных препаратов получаемых из облепихи является облепиховое масло, которое может играть роль как промежуточного, так и конечного продукта производства. Особенность заключается в том, что данный продукт применяется для заживления ран, ожогов, язв, лечения заболеваний кожи, применяется в гинекологии, обладает антисептическими, противовоспалительными и регенерирующими свойствами. Используют его также и в капсулированной форме как источник жирных кислот и витаминов. Масло облепихи также входит в состав средства для лечения язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, по причине того, что помогает восстановить слизистую оболочку. Иными словами к фармакологическим свойствам данной формы относится стимулирование репаративных процессов в коже и в слизистых, ранозаживление, антиоксидантный и цитопротекторный эффекты (Spravochnik Vidal, 2025). Данная особенность действия облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.), которая обусловлена непосредственно её биохимическим составом, используется в дерматологической и косметологической практике. К примеру, входит в состав кремов, мазей и лосьонов для ухода за сухой кожей, акне, мелких трещин и воспалений. Используется для профилактики старения кожи благодаря антиоксидантам и питательным веществам. Кроме того, экстракты из облепихи добавляют в средства для лечения инфекционных заболеваний.

Исследователи из Воронежского государственного университета также придерживаются мнения о том, что из облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) можно получить и другие биологически активные вещества. В ходе исследования данного сырья они обнаружили, что оно также богато аминокислотами и другими органическими кислотами. Исходя из результатов исследования листья облепихи также могут быть использованы в качестве лекарственного растительного сырья, так благодаря анализу листьев в разные фазы созревания плодов методом дифференциальной спектрофотометрии авторы определили содержание аминокислот и органических кислот, которое варьировалось от 1,7 до 3% и от 2,3 до 2,6 % соответственно (Kovalyova, et al., 2023). Аминокислоты чаще всего применяются в медицинской практике как вещества, оказывающие влияние на нервную систему, тонус сосудов, а также антиоксидантное воздействие на организм человека. Облепиха входит в 30% растений, в составе которых содержатся аминокислоты (Trineeva, et al., 2020).

Однако в фармации чаще всего используют плоды облепихи в ряду высокого содержания каротиноидов, не только придающих ягодам их насыщенный оранжевый цвет, но и обладающих рядом полезных свойств. Следует отметить, что в зависимости от сорта облепихи различно и процентное соотношение

каротиноидов, что можно определить методом тонкослойной хроматографии. Содержание предшественником витамина А - β -каротина в ягодах варьируется от 15 до 55 %. Каротиноиды обладают ранозаживляющими, антиоксидантными и антибактериальными свойствами, а также помогают предотвратить снижение остроты зрения. Благодаря этому облепиха может быть рекомендована для улучшения зрения. Этот вопрос особенно актуален, ведь, по данным ВОЗ, около 1,3 миллиарда человек в мире страдают различными нарушениями зрения (Gupta, et al., 2011). Следовательно, облепиха может быть использована в качестве источника биологически активных веществ для создания витаминов для зрительного анализатора. В фармацевтической практике в основном для получения таких витаминов используются плоды черники, содержащие антоцианы, которые придают им характерный черно-синий цвет. Лютеин и зеаксантин защищают глазное яблоко от ультрафиолетовых лучей, также регулярное употребление способствует восстановлению зрения и помогает поддерживать здоровье сетчатки. Бета-каротин же в свою очередь снижает риск развития заболеваний глаз и благотворно влияет на роговицу глаз (Korneeva, 2019).

Кроме того, исследования показывают, что в свежих плодах облепихи содержатся помимо каротиноидов еще и флавоноиды, представленные рутином и кверцетином (Rudaya, 2023). Далеко не секрет, что данные лекарственные вещества обладают рядом свойств, которые являются широко востребованными в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, а в особенности заболеваний венозной системы кровообращения. Так, плоды облепихи, содержание флавоноидов в которых достигает 1,21%, могут применяться в профилактике варикозного расширения вен (Kovalyova, et al., 2023). Также, исследования показывают, что облепиха в ряду наличия в ней тритерпеновых кислот перспективна для создания лекарственных средств, направленных для улучшения сердечно-сосудистой деятельности (Trineeva, 2023). Химический состав облепихи также включает в себя витамины группы В, витамин К, а также витамины А и С, последний представлен в наибольшем соотношении. Также состав отличается наличием углеводов, белков и жиров и такими элементами как кальций, магний и калий (Gorbatiuk, et al., 2015).

Облепиха, имея высокую популярность в пищевой промышленности также находит свое применение в таких отраслях как медицина и косметология. Наибольший интерес к этому растению появляется осенью, когда куст плодоносит. Исследования показывают, что те пациенты, которые принимают облепиху, меньше подвержены риску снижения иммунитета. Все это благодаря богатому химическому составу, который включает в себя множество биологически активных веществ (Naumova, et al., 2021).

В настоящее время известны следующие лекарственные формы в состав которых входит облепиха: мази, свечи, капсулы, настойки и сборы для приготовления чаев. На территории Республики Казахстан в разрезе готовых лекарственных средств на основе облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides L.*) в аптеках реализуются такие лекарственные формы как суппозитории и масляные экстракты,

что мы можем увидеть благодаря анализу Государственного реестра регистрации лекарственных средств, в котором на 25 августа 2024 года присутствует всего 7 наименований препаратов, в составе которых есть облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.). При этом 3 наименования приходятся на зарубежного производителя и все они представлены в виде масла, остальные 4 произведены отечественными производителями (Gos. reestr registratsii LS RK, 2025). Данные о процентном соотношении выше представленном количестве лекарственных средств на основе облепихи представлены на рисунке 1:



Рисунок 1. Диаграмма соотношения лекарственных форм, в состав которых включена облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.)

В практике лечения дерматологических заболеваний чаще всего применяются средства из облепихи на масляной основе, к примеру само масло облепихи или различные крема, однако существуют также и некоторые неудобства относительно такого метода применения, ведь средства на масляной основе требуют постоянной перевязки обработанного места для предотвращения парникового эффекта. Следовательно, как использование облепихи как лекарственного средства показывает высокую перспективу в виде более удобных и инновационных лекарственных форм, а именно в виде лекарственной полимерной пленки, что позволит значительно повысить и расширить разнообразие готовых лекарственных средств на территории Казахстана. Пленки представляют собой твердые дозированные лекарственные формы, чаще всего пролонгированного действия, состоящие из одной или нескольких пластин, в составе которых находится активное вещество. Именно поэтому данной лекарственной форме уделяется особое внимание в разработке средств для наружного воздействия, ведь они способны оказывать как местное, так и общее терапевтическое действие на организм через кожу и слизистые оболочки.

Материалы

В качестве компонентов разрабатываемой пленки лекарственной выступают желатин, водно-спиртовой экстракт из плодов и листьев облепихи крушиновидной

(*Hippophaë rhamnoides* L.), глицерин, твин – 80 (полисорбат), вода очищенная.

Желатин – бесцветное или желтоватое вещество без вкуса и запаха, выступающее в качестве носителя биологически активного компонента лекарственного средства, содержит в основе пептиды и белки. Желатин является одним из главных вспомогательных компонентов разрабатываемой лекарственной формы

Водно-спиртовые экстракты из плодов и листьев облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) – растительные экстракты, полученные на основе 40% спирта и обладающие бактерицидным, ранозаживляющим и поливитаминным эффектом. Выступают в качестве биологически активного вещества обеспечивающего фармакологическое действие лекарственной пленки.

Глицерин – прозрачная маслянистая жидкость, в составе полимерных лекарственных пленок играет роль пластификатора массы.

Твин – 80 (полисорбат) – широко известный эмульгатор в практике разработки средств для наружного применения, также относится к вспомогательным веществам. В данном случае используется для объединения фазы вода/масло.

Вода очищенная – растворитель и активатор полимеризации желатина, необходимый для создания носителя лекарственного активного вещества.

Методы

Для сравнения химического содержания экстрактов были использованы методы количественного определения и качественного определения таких биологически активных веществ как: каротиноиды, углеводы, полисахариды, органические кислоты и дубильные вещества. Содержание в образцах каротиноидов и углеводов было изучено при помощи спектрофотометрического метода, для изучения содержания органических кислот и дубильных веществ был использован метод титриметрического исследования, исследование содержания полисахаридов проводилось гравиметрическим методом.

Полученные полимерные пленки исследовали с помощью органолептического контроля.

Результаты

Выбор сырья представляет собой один из ключевых этапов в процессе разработки новых лекарственных средств, поскольку от его качества и состава напрямую зависят фармакологические свойства и эффективность получаемых препаратов. В данном исследовании для создания лекарственных полимерных пленок были выбраны плоды и листья облепихи, которая является ценным источником биологически активных веществ. Эти части растения были собраны в экологически чистом регионе, а именно в окрестностях реки Коксу, расположенной в Жетысуйской области. Данный регион славится своим благоприятным климатом и почвенными условиями, что способствует росту растений с высоким содержанием полезных компонентов. На рисунке 2 представлены детальные фотографии произрастания облепихового кустарника в естественных условиях, что позволяет визуально оценить его морфологические особенности и качество растительного сырья.



Рисунок 2. Произрастание облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) у р. Коксу в Жетысуйской области

В ходе исследования из собранных плодов облепихи было получено два экстракта на основе 40% спирта: из листьев и плодов облепихи. На рисунке 2 представлены фотографии полученных экстрактов.

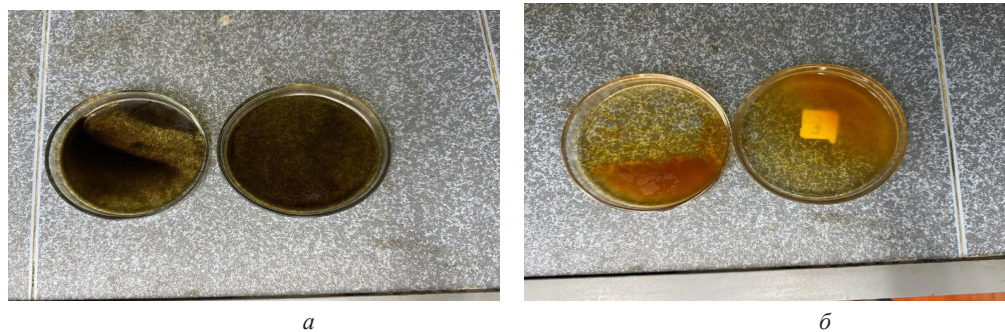


Рисунок 3. а- экстракт, полученный из листьев облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.); б - экстракт, полученный из плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.).

В результате проведения эксперимента на определение количественного состава биологически активных веществ было выявлено, что экстракт полученный из плодов является наиболее перспективным в ряду большего содержания каротиноидов, выступающих главным компонентом ранозаживляющих лекарственных средств. Также были исследованы такие биологически активные вещества как углеводы, полисахариды, органические кислоты и дубильные вещества в составе обеих экстрактов. Данные полученные в ходе исследования приведены в таблице ниже:

Таблица 1. Химический состав экстрактов на основе плодов и листьев облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.)

№	БАВ	Экстракт на основе плодов облепихи	Экстракт на основе листьев облепихи
1	Каротиноиды	7,5	0,0089
2	Углеводы	$7,9 \cdot 10^{-9}$	0,743
3	Полисахариды	1,15	0,26
4	Органические кислоты	7,09	0,9957
5	Дубильные вещества		
	- Гидролизуемые	3,1674	9,168
	- Конденстрируемые	4,9324	12,836

Данный опыт позволил нам оценить перспективность использования экстрактов из разных органов растения. Следовательно, для дальнейшей разработки состава полимерных пленок был использован экстракт из плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.). Разработанный состав лекарственных полимерных пленок представлен в таблице 2.

Таблица 2. Состав полимерной лекарственной пленки.

Желатин, мл	Экстракт плодов облепихи, мл	Глицерин, мл	Эмульгатор, мл	Вода очищенная, мл	Итого, мл
5%	1,5	1	2	0,3	25,2
	1,5	3	2	0,3	23,2
	1,5	5	2	0,3	21,2
7%	2,1	1	2	0,9	24
	2,1	3	2	0,9	22
	2,1	5	2	0,9	20
10%	3	1	2	1,5	22,5
	3	3	2	1,5	20,5
	3	5	2	1,5	18,5

Полученный промежуточный продукт был перенесен в чашки Петри для более равномерного распределения и полного высыхания. На рисунке 4 представлены фотографии получившихся полимерных пленок.

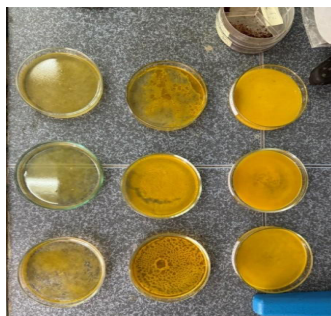


Рисунок 4. Полимерные лекарственные пленки на основе желатина и растительного экстракта.

Обсуждение

Анализ химического состава полученных экстрактов показал, что наиболее перспективным направлением для разработки новых лекарственных средств является использование экстракта из плодов растения. Это связано с тем, что такой экстракт обладает более богатым спектром биологически активных веществ по сравнению с другими частями растения. В частности, он содержит множество ценных компонентов, которые могут оказывать положительное воздействие на здоровье человека, включая ранозаживляющий эффект.

В процессе наших исследований мы стремились определить оптимальный состав полимерной пленки на основе желатина для создания эффективного лекарственного средства с ранозаживляющим действием. Мы постарались найти баланс между физическими свойствами пленки, её способностью удерживать активные вещества и удобством использования. Так, благодаря стремлению создать пленку, которая бы легко переносилась из чашек Петри, сохраняла необходимый уровень влаги, обладала нужной толщиной и имела подходящие органолептические свойства, обеспечивая при этом ускоренное заживление ран благодаря содержанию экстракта облепихи, мы получили некоторый объем результатов, который будет описан ниже.

Кроме того, применение экстракта из плодов облепихи способствует тому, что полимерные пленки приобретают насыщенный желто-оранжевый оттенок и характерный аромат. Эти свойства обеспечивают дополнительные преимущества в процессе органолептического контроля, который позволяет определить не только степень просушки пленок, их хорошую переносимость из чашек Петри и соответствие заданной толщине, но и визуально установить наличие определенного экстракта в составе лекарственного средства. Это обусловлено тем, что именно β -каротин, присутствующий в экстракте, придает ему характерное окрашивание.

В ходе наших исследований по созданию лекарственных пленок были сделаны следующие выводы:

1. Пленки, приготовленные на основе 1% раствора желатина, высохли полностью, не сохранив в себе влаги. Это вызвало трудности при их переносе из чашек Петри, хотя однородность массы сохранялась по всей поверхности чашки.

2. В процессе работы с 10% раствором желатина выяснилось, что полученная масса начала полимеризоваться уже на стадии приготовления из-за чрезмерно высокой концентрации желатина. Эти пленки также обладали неприятным запахом, что связано с высоким содержанием желатина, и не смогли должным образом просохнуть.

3. Оптимальными оказались пленки, изготовленные с использованием 7% раствора желатина. Они продемонстрировали легкость переноса из чашек Петри, способность сохранять необходимый уровень влаги и соответствовали органолептическим признакам после высыхания. Более того, благодаря содержанию экстракта облепихи куршиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) данные образцы обладают приятным ароматом облепихи.

Таким образом, наиболее подходящим вариантом для разработки лекарственных

пленок является использование 7%-го раствора желатина, в состав которого включается экстракт из плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.). При анализе физических свойств этих пленок было установлено, что они растворяются в холодной воде в течение 40 минут, а в физиологическом растворе — за 45 минут.

Заключение

В результате сравнения девяти моделей образцов полимерных пленок было установлено, что наилучшие результаты демонстрирует модель на основе 7% желатина. Эта модель оказалась оптимальной по ряду параметров, включая физико-химические свойства, органолептические характеристики и эффективность растворения. Она обеспечила наилучшее сочетание прочности, эластичности и способности удерживать влагу, что делает её предпочтительным выбором для разработки лекарственных полимерных пленок. Так, органолептический контроль позволил нам оценить визуальные и тактильные свойства пленок, а физические методы, такие как анализ растворения получившихся лекарственных форм в физиологическом растворе NaCl, предоставили более детальную информацию о времени и характеристиках растворения. Оптимальный состав на основе 7% желатина удовлетворял все необходимые требования, включая лёгкость переноса из чашек Петри, сохранение влаги и соответствие органолептическим признакам после высыхания.

Использование экстракта из плодов облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.), полученного на основе 40% этилового спирта, позволило создать пленку с отличными физико-химическими и органолептическими характеристиками. Эти пленки демонстрируют эффективное растворение в физиологических условиях, повышая удобство применения. Закрепление полученных результатов указывает на значительный потенциал полимерных пленок в современном фармацевтическом производстве, что открывает новые возможности для их применения в различных медицинских и терапевтических целях.

Лекарственные полимерные пленки представляют собой одно из наиболее перспективных направлений в технологии фармацевтического производства. Их популярность объясняется рядом ключевых преимуществ: удобством применения в различных ситуациях и возможностью точного дозирования активных веществ. Полимерные пленки часто оказывают пролонгированный эффект, поддерживая постоянную концентрацию активного вещества в организме. Это помогает минимизировать частоту приёма лекарственного препарата, что особенно важно для конечного потребителя, так как исключает влияние человеческого фактора, связанного с пропуском доз.

Литература

Горбатюк и др. Липолитическая активность суммы тритерпеновых кислот облепихи и клюквы. Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2015. — С. 55–57. EDN TXQYEN.

Государственный реестр регистрации лекарственных средств Республики Казахстан [Электронный ресурс].

Gupta, et al. (2011) Antibacterial and antifungal activity in leaf, seed extract and seed oil of seabuckthorn (*Hippophae salicifolia* D. Don) plant. J. Plant Pathol. Microbiol., 2:1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000105>

Хасенова и др. Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) — источник биоактивных веществ. Вестник Алматинского технологического университета, 2020. — № 1. — С. 82–88.

Корнеева А.В. Лютеин-зеаксантиновый комплекс: выбор офтальмологов. РМЖ. Клиническая офтальмология, 2019. — Т. 19. — № 1. — С. 54–58. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lyutein-zeaksantinovyy-kompleks-vybor-oftalmologov>

Ковалева и др. Разработка и валидация методики количественного определения флавоноидов в листьях облепихи крушиновидной методом спектрофотометрии. Ведомости Национального центра экспертизы средств медицинского применения, 2023. — Т. 13. — № 2. — С. 216–226. DOI: 10.30895/1991-2919-2023-531.

Ковалева и др. Исследование состава органических кислот в листьях облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.). Химия растительного сырья, 2023. — № 3.

Наумова и др. Химический состав плодов облепихи крушиновидной. Современная наука, 2021. — № 11-1. — С. 28–31. EDN UWLLIQ.

Rafalska, et al. (2017) Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a plant for universal application. World Scientific News, 72:123–140.

Роднищева и др. Использование облепихи крушиновидной в лечении заболеваний различной этиологии. Студенческий научный форум, 2023. URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018034372> (дата обращения: 07.06.2025).

Рудая. Сравнительное фармакологическое изучение плодов облепихи крушиновидной различных сортов: дис. ... канд. фарм. наук. Воронеж, 2023. — 180 с.

Справочник лекарственных препаратов в Казахстане Vidal [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vidal.kz/>

Тринева. Изучение химического состава плодов облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Центрального Черноземья. Разработка и регистрация лекарственных средств, 2023. — Т. 12. — № 1. — С. 84–94. DOI: 10.33380/2305-2066-2023-12-1-84-94.

Тринева и др. Исследование профиля свободных аминокислот плодов облепихи крушиновидной различных сортов методом тонкослойной хроматографии. Сорбционные и хроматографические процессы, 2020. — Т. 20. — С. 277–283. DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2783.

Ермилова и др. Анализ лекарственных средств: учебное пособие. Томск: СибГМУ, 2013. — 201 с.

References

Gorbatiuk, et al. (2015) Lipoliticheskaya aktivnost' summy triterpenovykh kislot oblepikhi i klyukvy. Aktual'nye voprosy v nauchnoi rabote i obrazovatel'noi deyatel'nosti [Lipolitic activity of a sum of triterpene acids, glycosides and lycopene. Current issues in scientific research and educational activities.]. Tambov: Konsaltingovaya kompaniya Yukom. — P. 55–57. (in Russian)

Gosudarstvennyi reestr registratsii lekarstvennykh sredstv Respubliki Kazakhstan [State Register of Registration of Medicines of the Republic of Kazakhstan]. (in Russian)

Gupta, et al. (2011) Antibacterial and antifungal activity in leaf, seed extract and seed oil of seabuckthorn (*Hippophae salicifolia* D. Don) plant. J. Plant Pathol. Microbiol., 2:1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000105>

Hasenova, et al. (2020) Oblepikha krushinovidnaya (*Hippophae rhamnoides* L.) – istochnik bioaktivnykh veshchestv [Sea buckthorn (*Hippophae Rhamnoides* L.) - a source of bio active compounds]. The Journal of Almaty Technological University. — 1:82–88. (in Russian)

Korneeva (2019) Lyutein-zeaksantinovyi kompleks: vybor oftalmologov [Lutein and zeaxanthin complex: ophthalmologists' choice]. Moscow: Russian Journal of Clinical Ophthalmology, 19(1). — P.54–58. (in Russian)

Kovalyova, et al. (2023) Razrabotka i validatsiya metodiki kolichestvennogo opredeleniya flavonoidov v list'yakh oblepikhi krushinovidnoi metodom spektrofotometrii [Development and Validation of a

Procedure for Quantitative Determination of Flavonoids in Sea Buckthorn Leaves by Spectrophotometry]. Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation. 2023;13(2):216-226. (In Russ.)

Kovalyova, et al. (2023) Issledovanie sostava organicheskikh kislot v list'yakh oblepikhi krushinovidnoi (*Hippophae rhamnoides* L.) [Study of organic acid composition in leaves of *Hippophae rhamnoides* L.]. Chemistry of Plant Raw Materials, 3. (in Russian)

Naumova, et al. (2021) Khimicheskii sostav plodov oblepikhi krushinovidnoi [Chemical composition of sea buckthorn fruits]. Modern Science, 2021. — № 11-1. — P. 28–31. EDN UWLLIQ. (in Russian)

Rafalska, et al. (2017) Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a plant for universal application. World Scientific News, 72:123–140.

Rodnishcheva, et al. (2023). Ispol'zovanie oblepikhi krushinovidnoi v lechenii zabolevanii razlichnoi etiologii [Use of *Hippophae rhamnoides* in the treatment of diseases of various etiologies]. Students science forum, 2023. URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018034372> (in Russian)

Rudaya (2023) Sravnitel'noe farmakologicheskoe izuchenie plodov oblepikhi krushinovidnoi razlichnykh sortov [Comparative pharmacological study of different varieties of *Hippophae rhamnoides* fruits]: dis. ... kand. farm. nauk. – Voronezh, 2023. — 180 p. (in Russian)

Spravochnik lekarstvennykh preparatov v Kazakhstane Vidal [Vidal drug directory in Kazakhstan]. URL: <https://www.vidal.kz/> (in Russian)

Trineeva (2023) Izuchenie khimicheskogo sostava plodov oblepikhi krushinovidnoi, proizrastayushchei na territorii Tsentral'nogo Chernozem'ya

[Study of the chemical composition of *Hippophae rhamnoides* fruits growing in Central Chernozem region]. Development and Registration of Medicinal Products, 2023. — Vol. 12. — No. 1. — P. 84–94. doi:10.33380/2305-2066-2023-12-1-84-94 (in Russian)

Trineeva, et al. (2020) Issledovanie profilya svobodnykh aminokislot plodov oblepikhi krushinovidnoi razlichnykh sortov metodom tonkosloinoy khromatografii [Study of free amino acid profile of different varieties of *Hippophae rhamnoides* fruits using thin-layer chromatography]. Sorption and Chromatographic Processes, 20:277–283. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2020.20/2783> (in Russian)

Yermilova, et al. (2013) Analiz lekarstvennykh sredstv: uchebnoe posobie [Analysis of medicines: textbook]. — Tomsk: SibGMU, 2013. — 201 p. (in Russian)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 157–168

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.288>

UDC 547.669: 547.304.7

© N. Merkhatusuly¹, A.N. Iskanderov¹, S.B. Abeuova^{2*}, A.N. Iskanderov¹,
A.O. Bulumbaeva¹, 2025.

¹Karaganda University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan;

²Astana International University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: abeuova.salta@gmail.com

SYNTHESIS AND PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF CONJUGATED N,N-DIPHENYLANILYNILAZULENES

N. Merkhatusuly — doctor of chemical sciences, professor of Karaganda University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: merkhatusuly@ya.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4588-2150>;

A.N. Iskanderov — senior lecturer of Karaganda University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: aby93@yandex.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1646-0795>;

S.B. Abeuova — PhD, acting associate professor of Astana International University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: abeuova.salta@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7074-3123>;

A.N. Iskanderov — research associate of Karaganda University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: dr.amantay@ya.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5270-5094>;

A.O. Bulumbaeva — master student of Karaganda University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: bulumbaevaa02@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5889-0689>.

Abstract. Relevance. Aromatic hydrocarbon of non-alternate structure azulene as a potential modular building block for the creation of new organic functional materials attracts more and more attention due to its special polarized structure as well as unique electronic and optical properties. In this work, new conjugated azulene compounds, 2-(N,N-diphenylaniline)-azulene **5** and 2,6-Bis(N,N- diphenylaniline)-azulene **8**, were synthesized by the interaction of mono- and dibromazulenes with borylaniline under Suzuki-Miyaura cross-coupling conditions in the presence of palladium catalyst. Methods. The chemical structure and purity of the synthesized diphenylanilinylazulenes were proved by NMR (NMR ¹H and ¹³C), IR, mass spectrometry and elemental analysis. Main conclusions. The obtained compounds were found to be stable and well soluble in organic solvents such as dichloromethane, chloroform, toluene, chlorobenzene, tetrahydrofuran at room temperature. It is shown that the obtained diphenylanilinylazulenes possess intensely absorbing and emitting visible light (in

the wavelength range from 400 to 700 nm) properties. It was found that such unique photophysical properties, in particular, fluorescent emission of visible light in the region of green and orange photoluminescence were achieved as a result of the introduction of electron-donor diphenylaniliny groups in the 2 and 6 positions of azulene. Practical value. The obtained results demonstrate a rational approach to the design of a representative series of new π -conjugated compounds based on azulene for use in optoelectronic and photonic devices.

Keywords: azulene, π -conjugated azulenes, aniliny lazulenes, cross-conjugation, absorption spectra, fluorescence spectra

Funding: The study was carried out within the framework of the targeted financing program (IRN BR 21882309) Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. The authors express their deep appreciation for the dedicated funding.

© Н. Мерхатұлы¹, А.Н. Искандеров¹, С.Б. Абеуова^{2*}, А.Н. Искандеров¹,
А.О. Булумбаева¹, 2025.

¹Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан;

²Астана Халықаралық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: abeuova.salta@gmail.com

ҚОСАРЛАНҒАН N,N-ДИФЕНИЛАНИЛИНИЛАЗУЛЕНДЕРДІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ФОТОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Н. Мерхатұлы — химия ғылымдарының докторы, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің профессоры, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: merhatuly@ya.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4588-2150>;

А.Н. Искандеров — Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: aby93@yandex.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1646-0795>;

С.Б. Абеуова — PhD, Астана халықаралық университетінің қауымдастырылған профессоры, Астана, Қазақстан,

E-mail: abeuova.salta@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7074-3123>;

А.Н. Искандеров — Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің ғылыми қызметкері, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: dr.amantay@ya.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5270-5094>;

А.О. Булумбаева — Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің магистранты, Қарағанды, Қазақстан,

E-mail: dr.amantay@ya.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5889-0689>.

Аннотация. Өзектілігі. Ароматты көмірсутегі альтернативті емес құрылымы бар азулен жаңа органикалық функционалды материалдарды жасау үшін потенциалды модульдік құрылыс материалы ретінде өзінің ерекше поляризацияланған құрылымымен, сондай-ақ бірегей электронды және оптикалық қасиеттерімен көбірек назар аудартады. Бұл жұмыста Сузуки-Мияураның кросс-бірігу жағдайында моно - және дибромазулендердің бориланилинмен

өзара әрекеттесуі палладий катализаторының қатысуымен жаңа қосарланған азулен қосылыстары синтезделді: 2-(N,N-дифениланилин)-азулен **5** және 2,6-бис(N,N-дифениланилин)-азулен **8**. Бұл молекулалық архитектуралар азуленнің электрондық құрылымына айтарлықтай әсер етеді, энергия деңгейлері мен НОМО және LUMO орбитальдары арасындағы бос орындарды өзгертеді, нәтижесінде көрінетін спектрде жарықты сіңіру және сәуле шығару жақсарады. Әдістер. Синтезделген дифениланилинилазулендердің химиялық құрылымы мен тазалығы ядролы магниттік резонанспен (ЯМР ^1H және ^{13}C), инфрақызыл, масс-спектрометрия және элементтік талдау арқылы дәлелденді. Негізгі тұжырымдар. Алынған қосылыстар тұрақты және бөлме температурасында дихлорметан, хлороформ, толуол, хлорбензол, тетрагидрофуран сияқты органикалық еріткіштерде жақсы еритіні анықталды. Алынған дифениланилинилазулендердің көрінетін жарықты қарқынды жұтатын және жарықты шығаратын (толқындардың ұзындығы 400-ден 700 nm-ге дейінгі аралықта) қасиеттері бар екені көрсетілген. Мұндай бірегей фотофизикалық қасиеттерге, атап айтқанда, жасыл және қызғылт-сары фотолуминесценция аймағындағы көрінетін жарықтың флуоресцентті сәулеленуіне азуленнің 2 және 6 позицияларына электрон-донорлық дифениланилин топтарын енгізу нәтижесінде қол жеткізілгені анықталды. Синтезделген моно - және бис-дифениланилинилазулендер электронды құрылғыларда қолданылатын олиготиофендермен салыстырғанда жоғары молекулалық орбитальдарға (НОМО) ие және толқын ұзындығының кең диапазонында (400-600 nm) күшті сіңіру қасиеттерін көрсетеді. Практикалық құндылық. Алынған нәтижелер оптоэлектронды және фотонды құрылғыларда қолдану үшін азулен негізіндегі жаңа π -қосарланған қосылыстардың қатарын жобалаудың ұтымды тәсілін қамтамасыз ететіндігін көрсетті.

Түйін сөздер: азулен, π -қосарланған азулендер, анилинилазулендер, кросс-бірігу, сіңіру спектрлері, флуоресценция спектрлері

© Н. Мерхатулы¹, А.Н. Искандеров¹, С.Б. Абеуова^{2*}, А.Н. Искандеров¹,
А.О. Булумбаева¹, 2025.

¹Карагандинский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

²Международный университет Астана, Астана, Казахстан.

E-mail: abeuova.salta@gmail.com

СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОПРЯЖЕННЫХ N, N-ДИФЕНИЛАНИЛИНИЛАЗУЛЕНОВ

Н. Мерхатулы — доктор химических наук, профессор Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: merhatuly@ya.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4588-2150>;

А.Н. Искандеров — старший преподаватель Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: aby93@yandex.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1646-0795>;

С.Б. Абеуова — PhD, ассоциированный профессор Международного университета Астана, Астана, Казахстан,

E-mail: abeuova.salta@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7074-3123>;

А.Н. Искандеров — научный сотрудник Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: dr.amantay@ya.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5270-5094>;

А.О. Булumbaева — магистрант Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, E-mail: bulumbaevaa02@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5889-0689>.

Аннотация. Актуальность. Ароматический углеводород неальтернантной структуры азулен как потенциальный модульный строительный блок для создания новых органических функциональных материалов привлекает все больше внимания благодаря своему особенному поляризованному строению, а также уникальным электронным и оптическим свойствам. В данной работе взаимодействием моно- и дибромазуленов с бориланилином в условиях кросс-сочетания Сузуки–Мияуры в присутствии палладиевого катализатора были синтезированы новые сопряженные азуленовые соединения: 2-(N,N-дифениланилин)-азулен **5** и 2,6-Бис(N,N-дифениланилин)-азулен **8**. Методы. Химическое строение и чистота синтезированных дифениланилинилазуленов были доказаны ЯМР (^1H и ^{13}C), ИК, масс-спектрометрией и элементным анализом. Основные выводы. Установлено, что полученные соединения являются стабильными и хорошо растворимыми в органических растворителях, таких как дихлорметан, хлороформ, толуол, хлорбензол, тетрагидрофуран при комнатной температуре. Показано, что полученные дифениланилинилазулены обладают интенсивно поглощающими и излучающими видимый свет (в интервале длин волн от 400 до 700 nm) свойствами. Установлено, что такие уникальные фотофизические свойства, в частности, флуоресцентное излучение видимого света в области зеленой и оранжевой фотолюминесценции были достигнуты в результате введения электронодонорных дифениланилиновых групп в 2 и 6 положения азулена. Показано, что синтезированные моно- и бис-дифениланилинилазулены имеют более высокие высшие занятые молекулярные орбитали (НОМО) по сравнению с используемыми в электронных устройствах олиготиофенами и проявляют сильные поглощающие свойства в широком диапазоне длин волн (400–600 nm). Практическая значимость. Показано, что полученные результаты обеспечивают рациональный подход к конструированию представительного ряда новых π -сопряженных соединений на основе азулена для применения в оптоэлектронных и фотонных устройствах.

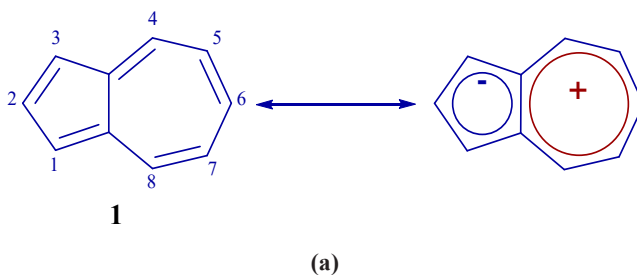
Ключевые слова: азулен, π -сопряженные азулены, анилинилазулены, кросс-сопряжение, спектры поглощения, спектры флуоресценции

Введение. Сопряженные ароматические системы, такие как нафталин и другие ацены, содержащие различные ариламиновые группы, обладают повышенными электронодонорными свойствами и представляют большой интерес в области органической оптоэлектроники (Freudenberg, et.al.,2018; Roy, et.al.,2022; Zhang, et.al.,2016; Mayer, et.al.,2019; Wu, et.al.,2009; Taniguchi, et.al.,2021; Noto, et.al.,2019). С интенсивным ростом разработок органической электроники из

года в год растет интерес к сопряженным системам, в том числе к азуленовому фрагменту (Tsuchiya, et.al.,2019; Xin, et.al.,2021). Это, безусловно, связано с его уникальными электронными и оптическими характеристиками (Dunlop, et.al.,2023). Уникальная структура азулена (изомера нафталина) состоит из сросшейся пары отрицательно и положительно заряженных цикlopентадиенового и циклогептатриенового колец (рис. 1а). Такое расположение обуславливает его отличительные оптические свойства, которые проявляются в высоколежащих уровнях HOMO и низколежащих LUMO. Азулен имеет уникальную электронную структуру, в которой коэффициенты HOMO увеличены на атомах 1 и 3, а HOMO-1 и LUMO - в положениях 2 и 6 (рис. 1б) (Tsuchiya, et.al.,2019; Xin, et.al.,2021). Азулен имеет синий цвет (нафталин бесцветен), который возникает из-за слабой полосы поглощения в видимом спектре при 580 нм ($\epsilon = 350 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$), являющейся следствием перехода запрещенного электрона (Shevyakov, et.al., 2003). Молекула азулена демонстрирует равномерное распределение электронной плотности HOMO по всей молекулярной структуре. Кроме того, азулен демонстрирует аномальную анти-Каша флуоресценцию, когда излучение происходит из S_2 (Tsuchiya, et.al.,2019; Xin, et.al.,2021). Дипольный момент азулена составляет 1,08 D (Dunlop, et.al.,2023).

Исходя из этого, введение донорных дифениланилиновых заместителей в определенные позиции азуленового ядра может заметно модулировать электронную архитектуру азуленовой системы, вызывая тем самым глубокие изменения ее оптических свойств. Возможность управлять положением заместителей в азуленовом ядре позволяет тонко настраивать характеристики материалов в оптическом диапазоне.

В данной работе мы сообщаем об успешном синтезе соединений азулена с электронодонорными дифениланилиновыми заместителями в положениях 2 и 6. В результате реакций кросс-сочетания с высоким выходом получены соединения 2-(N,N-дифениланилин)-азулен **5** и 2,6-Бис(N,N-дифениланилин)-азулен **8**. Также подробно обсуждаются фотофизические свойства и окислительно-восстановительное поведение соединений. Данные молекулярные архитектуры оказывают значительное влияние на электронную структуру азулена, изменяя энергетические уровни и зазоры между HOMO и LUMO орбиталями, что приводит к усилению поглощения света и излучения в видимой области спектра.



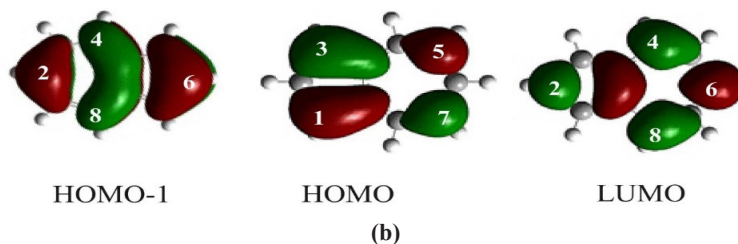


Рисунок 1. (а) Поляризованная резонансная структура азулена 1;
(b) HOMO-1, HOMO и LUMO азулена

Материалы и методы. Спектры ^1H ЯМР и ^{13}C ЯМР регистрировали на спектрометре JNM-ECA 500 (500 MHz и 126 MHz в DMSO- D_6). ИК-спектры регистрировали на ИК-спектрометре Avatar-360. Масс-спектры были получены на масс-спектрометре Agilent 6530 Accurate-Mass Q-TOF LC/MS system. УФ-видимые спектры измеряли на м спектрофотометре Shimadzu UV-1800. Спектры флуоресценции регистрировали с помощью флуорометра Agilent Cary Eclipse. Элементный анализ выполняли на приборе CHNS-O UNICUBE. Точки плавления были получены на приборе Buchi M-560.

В работе использовались следующие реактивы и растворители: азулен (99,5%), N,N-дифенил-6-(4,4,5,5-тетраметил-1,3,2-диоксаборолан-2-ил)азулен-2-амин (99,6 %), (Bpin) $_2$ (99%), [IrCl(cod)] $_2$ (98%), Pd(PPh $_3$) $_2$ Cl $_2$ (98%), 2,2'-bpy (98,5%), CuBr (98,8 %), ДМФ (99,8%), CH $_2$ Cl $_2$ (99,6%), а также другие реагенты и растворители компании «Sigma-Aldrich» без дополнительной очистки.

2-(N,N-дифениланилин)-азулен (5). Смесь монобромазулена **3** (286 мг, 1.00 ммоль), бориланилина **4** (231мг, 1,5 ммоль) в 7 мл дегазированной ТГФ/ H $_2$ O (4:1), добавляли Pd(PPh $_3$) $_2$ Cl $_2$ (16 мг, 0,02 ммоль) и K $_2$ CO $_3$ (60 мг, 0,43 ммоль) в аргоне. Смесь перемешивали 18 часов при 75°C, затем охлаждали до комнатной температуры и экстрагировали CH $_2$ Cl $_2$ (3 $\times$ 20 мл). Объединенные экстракты сушили над MgSO $_4$ и упаривали в вакууме. Продукт очищали колоночной хроматографией на силикагеле смесью C $_6$ H $_4$ /CH $_2$ Cl $_2$ (9:1) и перекристаллизацией из CH $_2$ Cl $_2$ с получением темно-коричневого твердого вещества (254 мг, выход 80%). Т.пл. 169-171 °C. ИК-спектр (ν , см $^{-1}$): 2942, 2850, 1474, 1410, 1312, 1081, 696. Спектр ЯМР ^1H : δ 8.25 (д, J = 9.3 Гц, 1H), 7.82 (д, J = 8.1 Гц, 1H), 7.60 (с, 1H), 7.45 (с, 1H), 7.27 – 6.90 (м, 17H). Спектр ЯМР ^{13}C : δ 147.90, 147.55, 147.50, 141.54, 135.78, 135.27, 132.24, 129.48, 129.31, 128.51, 125.23, 124.88, 124.50, 123.86, 123.80, 123.41, 123.33, 123.35, 122.78, 113.91. Масс-спектр (EI), m/z : 371.1 [M] $^+$. C $_{28}$ H $_{21}$ N, рассчитано: C 90.49, H 5.69, N 3.70; найдено: C 90.20, H 5.41, N 3.80.

2,6-Бис(N,N-дифениланилин)-азулен (8). Смесь дибромазулена **7** (286 мг, 1.00 ммоль) и бориланилина **4** (462 мг, 3,00 ммоль) в 10 ml дегазированной ТГФ/ H $_2$ O (4:1), добавляли Pd(PPh $_3$) $_2$ Cl $_2$ (16 мг, 0,02 ммоль) и K $_2$ CO $_3$ (60 мг, 0,43 ммоль) в аргоне. Смесь перемешивали 18 часов при 75°C, затем охлаждали до комнатной температуры и экстрагировали CH $_2$ Cl $_2$ (3 $\times$ 20 мл). Объединенные экстракты сушили над MgSO $_4$ и упаривали в вакууме. Продукт очищали колоночной

хроматографией на силикагеле смесью C_6H_{14}/CH_2Cl_2 (9:1) и перекристаллизацией из CH_2Cl_2 с получением коричневого твердого вещества (211 мг, выход 78%). Т.пл. 214–216 °С. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 2920, 2855, 1580, 1488, 1421, 1343, 1255, 1170, 1072, 690. Спектр ЯМР 1H : δ 8.23 (д, $J = 10.0$ Гц, 2H), 7.83 (д, $J = 8.5$ Гц, 2H), 7.57 (с, 1H), 7.50 (с, 1H), 7.37 (дд, $J = 9.7, 3.4$ Гц, 4H), 7.35 – 7.30 (м, 4H), 7.30–7.24 (м, 8H), 7.15 – 7.13 (м, 16H). Спектр ЯМР ^{13}C : δ 149.57, 148.23, 147.84, 147.33, 147.56, 147.31, 141.44, 135.58, 137.37, 132.14, 130.26, 129.48, 129.31, 128.51, 125.85, 125.23, 124.88, 124.16, 123.86, 123.64, 122.66, 114.55, 113.75. Масс-спектр (EI), m/z : 614.1 $[M]^+$. $C_{46}H_{34}N_2$, рассчитано: С 89.85, Н 5.55, N 4.56; найдено С 89.55, Н 5.43, N 4.65.

Результаты и обсуждение. Пути синтеза, ведущие к азуленовым π -сопряженным соединениям: 2-(N,N-дифениланилин)-азулен **5** и 2,6-бис(N,N-дифениланилин)-азулен **8**, представлены на схемах 1 и 2. Как видно из схемы 1, борилазулен **2** был получен прямым C_2 -Н борилированием азулена **1** с бис(пинаколато)дибором в присутствии иридиевого катализатора, согласно литературной методике (Kurotobi, et.al.,2003). Далее реакция борил-азулена **2** с бромидом меди дает ключевой бромазулен **3** с выходом 70 %, согласно методике работы (Fujinaga, et.al.,2009). Впоследствии целевой продукт 2-N,N-дифенил-анилинилазулен **5** был получен реакцией сочетания бромазулена **3** и бориланилина **4** в присутствии Pd-катализатора с высоким выходом 80 %.

Как показано на схеме 2, диборилазулен **6** был получен C_6 -Н борилированием соединения **2** также в присутствии Ir-катализатора согласно литературной методике (Kurotobi, et.al.,2003). Затем взаимодействие диборилазулена **6** с бромидом меди приводит к ключевому 2,6-дибромазулену **7** с выходом 70%, согласно методике работ (Narita, et.al.,2018). Далее конечный продукт 2,6-N,N-дифениланилинилазулен **8** был получен с высоким выходом 78 % также реакцией сочетания дибромидов **7** и **4** посредством палладиевого катализатора.

Полученные дифениланилинилазулены **5** и **8** представляют собой стабильные коричневые твердые вещества. Они хорошо растворяются при температуре окружающей среды в CH_2Cl_2 , $CHCl_3$, $C_6H_5CH_3$ and C_6H_5Cl .

Строение **5** и **8** были подтверждены набором аналитических методов, включая спектроскопические (1H ЯМР, ^{13}C ЯМР, ИК and MS) методы (материалы и методы).

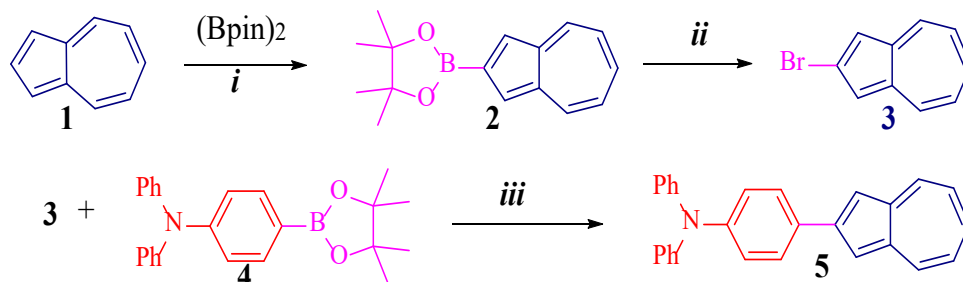


Схема 1. Синтез 2-дифениланилинилазулена **5**. (i) $[IrCl(cod)]_2$, 2,2-бру, циклогексан, кипячение, 70%; (ii) CuBr, ДМФ, 90 °С, 70%; (iii) $Pd(PPh_3)_2Cl_2$, ТГФ/ H_2O (4:1), нагревание, 80%.

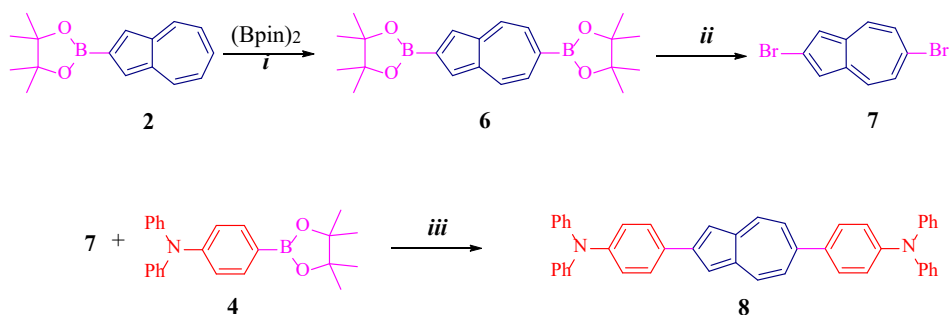


Схема 2. Синтез 2,6-дифениланилилазулена 8. (i) $[\text{IrCl}(\text{cod})]_2$, 2,2-bpy, циклогексан, кипячение, 50%; (ii) CuBr, ДМФ, 90°C, 70%; (iii) $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$, ТГФ/ H_2O (4:1), нагревание, 78%.

УФ-вид спектры дифениланилиновых азуленов **5** и **8** представлены на рисунке 2, в таблице 1 приведены их данные. В спектре поглощения **5** в диметилформамиде (ДМФ) наблюдается новая сильная полоса поглощения с максимумом при 429 нм ($\epsilon = 22\,447$) (таблица 1). Аналогично, соединение **8** демонстрирует интенсивную видимую полосу поглощения π - π^* электронного перехода при 465 нм ($\epsilon = 24\,621$). Высокие молярные коэффициенты видимого поглощения свидетельствуют о сильном взаимодействии между дифениланилиновыми и азуленовыми звеньями, что приводит к увеличению светособирающей способности.

Максимум видимого поглощения **8** bathochromно сдвинут на 31 нм и имеет большую интенсивность по сравнению с максимумом поглощения **5**. Расширенное π -сопряжение и усиленная делокализация электронов в **8** (рисунок 5) приводят к уменьшению его энергетического зазора HOMO-LUMO (рисунок 4), способствуя наблюдаемому bathochromному сдвигу в спектрах поглощения по сравнению с монозамещенным азуленом **5**. Такая структурная модификация приводит к более выраженному возмущению электронных свойств, что в конечном итоге улучшает фотофизические характеристики системы 2,6-бис-дифениланилилазулена. Электронное поглощение соединений **5** и **8** значительно сильнее, чем у исходного азулена **1** ($\epsilon\, 350\, \text{M}^{-1}\, \text{cm}^{-1}$) (Shevyakov, et.al 2003).

Таблица 1– Данные UV-Vis спектров и спектров флуоресценции **5** и **8**^a.

Соедине-ния	Раство-ритель	Поглощение		Флуоресценция ^b	
		λ_{abs} , нм	ϵ , $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$	λ_{em} , нм	Интесив-ность, у.е.
5	ДМФ	234	58 826	510	611
		429	22 447		
8	ДМФ	237	57 881	590	710
		465	24 621		

^a в ДМФ, температура окружающей среды, концентрация $1 \times 10^{-4}\, \text{M}$;

^a λ_{ex} (длина волны возбуждения) 425 нм.

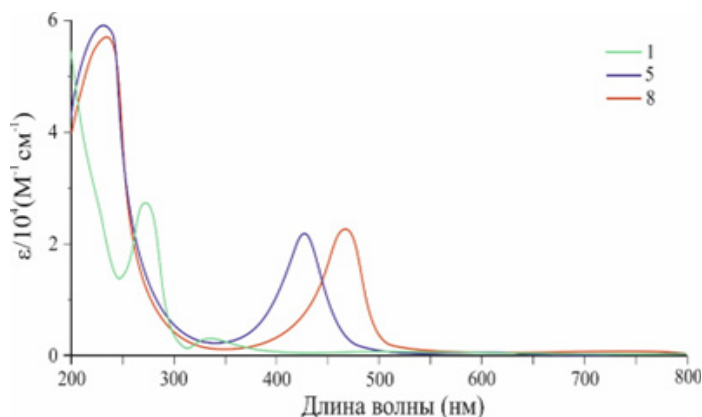


Рисунок 2. УФ-видимые спектры соединений **5**, **8** и исходного **1**.

Спектры флуоресценции дифениланилиновых соединений **5** и **8** показаны на 3 рисунке, в таблице 1 приведены их данные. В спектре соединения **5** в видимой области наблюдается новая полоса излучения с $\lambda_{em} = 510$ нм ($\lambda_{ex} = 425$ нм) (таблица 1). Аналогично, соединение **8** демонстрирует новую интенсивную полосу излучения с максимумом при 590 нм ($\lambda_{ex} = 425$ нм). Батохромный сдвиг 80 нм и повышенная интенсивность флуоресценции, наблюдаемые для соединения **8**, могут быть отнесены к его расширенной π -конъюгации (рисунок 5) и меньшей щели между НОМО и LUMO орбиталями (рисунок 4). Важно подчеркнуть способность соединений **5** и **8** проявлять интенсивную фотолюминесценцию в видимом свете в зеленой и оранжевой области, в отличие от не обладающего таким свойством исходного **1**.

В итоге, присоединение электронодонорных дифениланилиновых фрагментов по положениям C_2 и C_6 азулена **1** приводит к уникальным интенсивным поглощающим (ϵ 22 447 and ϵ 24 621 $M^{-1}cm^{-1}$) и флуоресцентным характеристикам (интенсивность 611 у.е и 710 у.е) в видимом спектре.

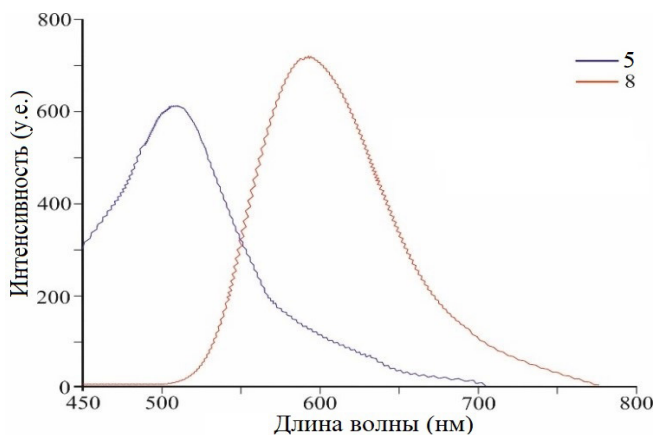


Рисунок 3. Спектры флуоресценции соединений **5** и **8**.

Чтобы понять электронные свойства дифениланилинилазуленов **5** и **8** и связь между их структурной конфигурацией и оптическим поведением, были проведены DFT-расчеты (метод B3LYP/6-31G*) (рисунок 4).

Вычислительный анализ показывает равномерное распределение наибольших занятых молекулярных орбиталей как в азуленовой структуре, так и в дифениланилиновых заместителях в соединениях **5** и **8**. Такое распределение может быть следствием взаимодействия между HOMO-1 азулена и HOMO дифениланилина (Tsuchiya, et.al.,2023).

Это различие связано с тем, что в HOMO азулена атомы C₂ и C₆ находятся в узловой поверхности, в отличие от орбитали HOMO-1, где эти атомы показывают значительные коэффициенты (рисунок 16). Важно отметить, что уровни HOMO (-4,85 эВ и -4,74 эВ) и LUMO (-1,98 эВ и -2,19 эВ) соединений **5** и **8** расположены выше по уровню по сравнению с соответствующими уровнями в исходном азулене **1**. При этом зазор между HOMO и LUMO становится меньше на 0,42 эВ и 0,58 эВ, соответственно.

В результате ранее запрещенный электронный переход π - π^* в азулене становится разрешенным, что приводит к характерным свойствам поглощения и эмиссии в видимой области, наблюдаемым для соединений **5** и **8** (рисунок 2 и 3, таблица 1).

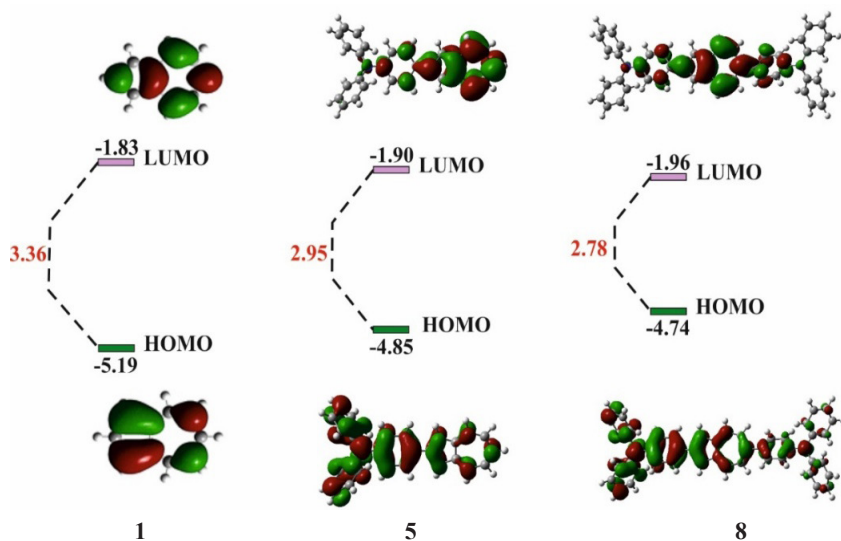
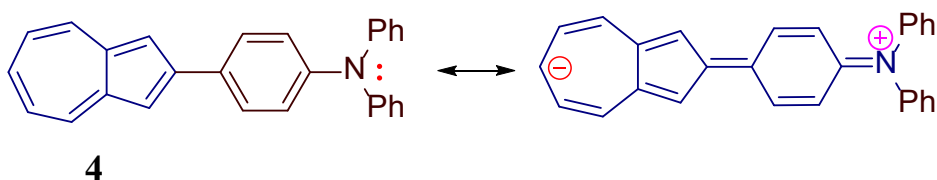


Рисунок 4. Распределение молекулярных орбиталей HOMO и LUMO N,N-дифениланилинилазуленов **5** и **8** в сравнении с азуленом **1**.



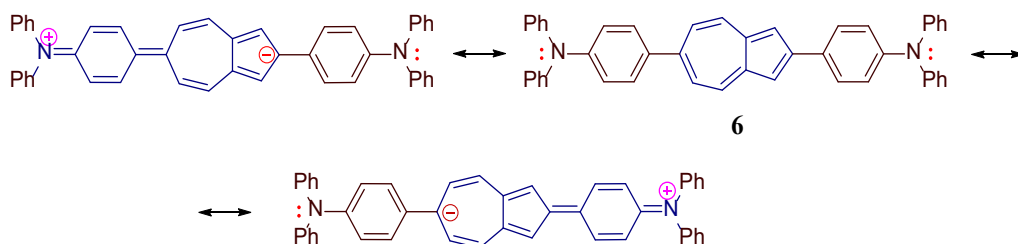


Рисунок 5. Схема резонансных структур π -сопряженных дифениланилинилазуленов 5 и 8.

Делокализация π -электронов.

Заключение. Таким образом, синтез и характеристика новых дифениланилинилазуленов **5** и **8** демонстрируют их уникальные оптические свойства. Включение дифениланилиновых молекул в каркас азулена приводит к ярко выраженным абсорбционным и эмиссионным свойствам в видимой области спектра (380-600 нм). DFT-расчеты подтверждают эти наблюдения, выявляя модификации в электронной структуре, которые разрешают ранее запрещенные $\pi \rightarrow \pi^*$ электронные переходы. Экспериментально полученные уровни энергии НОМО совпадают с расчетными значениями, что дополнительно подтверждает теоретический анализ. Эти соединения имеют значительный потенциал для применения в органической электронике и материаловедении, поскольку их свойства могут быть тонко настроены путем структурных модификаций.

References

- Freudenberg D., Jansch F. (2018) Immobilization Strategies for Organic Semiconducting Conjugated Polymers. *Chem. Rev.*, — 118. — 5598. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00063> (in English)
- Roy M., Walton J.H., Fettingner J.C., Balch A.L. (2022). Direct Crystallization of Diamine Radical Cations: Carbon-Nitrogen Bond Formation from the Reaction of Triphenylamine with TiCl_4 , TiBr_4 , or SnCl_4 versus Carbon-Carbon Bond Formation with SbCl_5 . *Chem. Eur. J.*, — 28. — 202. <https://doi.org/10.1002/chem.202104631> (in English)
- Zhang J., Chen Z., Yang L., Pan F.F., Yu G.A., Yin J., Liu S.H. (2016) Elaborately Tuning Intramolecular Electron Transfer Through Varying Oligoacene Linkers in the Bis(diarylamino) Systems. *Sci. Rep.* — 6. — 36310 p. <https://doi.org/10.1038/srep36310> (in English)
- Mayer D.C., Manzi A., Medishetty R., Winkler B., Schneider C., Kieslich G., Pothig A., Feldmann J., Fischer R.A. (2019) Controlling Multiphoton Absorption Efficiency by Chromophore Packing in Metal-Organic Frameworks. *J. Am. Chem. Soc.* — 141. — 11594 p. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b04213> (in English)
- Wu C., Djurovich P. I., Thompson M. E. (2009) Study of energy transfer and triplet exciton diffusion in hole-transporting host materials. *Adv. Funct. Mater.*, — 19. — 3157. <https://doi.org/10.1002/adfm.200900357> (in English)
- Taniguchi R., Noto N., Tanaka S., Takahashi K., Sarkar S. K., Oyama R., Abe M., Koike T., Akita M. (2021) Simple generation of various α -monofluoroalkyl radicals by organic photoredox catalysis: modular synthesis of β -monofluoroketones. *Chem. Commun.*, — 57. — 2609. <https://doi.org/10.1039/D0CC08060H> (in English)
- Noto N., Koike T., Akita M. (2019) Visible-Light-Triggered Monofluoromethylation of Alkenes by Strongly Reducing 1,4-Bis(diphenylamino)naphthalene Photoredox Catalysis. *ACS Catal.* — 9. — 4382 p. <https://doi.org/10.1021/acscatal.9b00473> (in English)
- Tsuchiya T., Katsuoaka Y., Yoza K., Sato H., Mazaki Y. (2019) Stereochemistry, Stereodynamics, and

Redox and Complexation Behaviors of 2,2'-Diaryl-1,1'-Biazulenes *Chem.Plus Chem.*, — 84. — 1659 p. <https://doi.org/10.1002/cplu.201900262> (in English)

Xin H., Hou B., Gao X. (2021) Azulene-Based π -Functional Materials: Design, Synthesis, and Applications. *Acc. Chem. Res.*, —54. —1737 p. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00893> (in English)

Dunlop D., Ludvikova L., Banerjee A., Ottosson H., Slanina T. (2023) Excited-State (Anti)Aromaticity Explains Why Azulene Disobeys Kasha's Rule. *J. Am. Chem. Soc.*, —145. —21569. <https://doi.org/10.1021/jacs.3c07625> (in English)

Shevyakov S.V., Li H., Muthyala R., Asato A.E., Croney J.C., Jameson D.M., Liu R.S. (2003) Orbital control of the color and excited state properties of formylated and fluorinated derivatives of azulene. *J. Phys. Chem. A.*, — 107. — 3295 p. <https://doi.org/10.1021/jp021605f> (in English)

Kurotobi K., Miyauchi M., Takakura K., Murafuji T., Sugihara Y. (2003) Direct Introduction of a Boryl Substituent into the 2-Position of Azulene: Application of the Miyaura and Smith Methods to Azulene. *Eur. J. Org. Chem.*, — 23. — 3663 p. <https://doi.org/10.1002/ejoc.200300001> (in English)

Fujinaga M., Murafuji T., Kurotobi K., Sugihara Y. (2009) Polyborylation of azulenes. *Tetrahedron*, — 65. — 7115 p. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2009.06.053> (in English)

Narita M., Toshihiro Y., Saki F., Masayuki H. (2018) Synthesis of 2-Iodoazulenes by the Iododeboration of Azulen-2-ylboronic Acid Pinacol Esters with Copper(I) Iodide Masahiro. *J. Org.Chem.*, — 63. — 3295 p. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.7b02820> (in English)

Tsuchiya T., Hamano T., Inoue M., Nakamura T., Wakamiya A., Mazaki Y. (2023) Intense absorption of azulene realized by molecular orbital inversion. *Chem. Commun.* — 59. — 10604 p. <https://doi.org/10.1039/D3CC02311G> (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 169–182

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.289>

UDC 547.94:547.99:615.076

© G. Mukusheva¹, N. Toigambekova^{1*}, N. Bazarnova²,
M. Nurmaganbetova¹, A. Abdraim¹, 2025.

¹Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov,
Karaganda, Kazakhstan;

²Altai State University, Barnaul, Russia.
E-mail: toigambekovann@gmail.com

OBTAINING NEW DERIVATIVES OF THE ALKALOID QUININE AND STUDYING THEIR ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY

G. Mukusheva — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karagandy, Kazakhstan,

E-mail: mukusheva1977@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6706-4816>;

N. Toigambekova — PhD student of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karagandy, Kazakhstan,

E-mail: toigambekovann@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8158-0016>;

N. Bazarnova — Doctor of Chemical Sciences, Professor of Altai State University, Barnaul, Russia,

E-mail: bazarnova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4539-2744>;

M. Nurmaganbetova — Candidate of Chemical Sciences, Professor of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karagandy, Kazakhstan,

E-mail: Manshuk_nur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1145-0774>;

A. Abdraim — Postgraduate student of Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karagandy, Kazakhstan,

E-mail: abdraim01@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8872-7840>.

Abstract. Quinoline and quinazoline are two important classes of alkaloids, which are nitrogen-based heterocyclic aromatic compounds. Over the past 200 years, they have attracted significant attention from researchers worldwide due to their broad range of biological activities and diverse applications. This research focused on developing effective synthesis methods for quinine alkaloid derivatives to create new pharmaceutical drugs and evaluate their anti-inflammatory properties. *Results.* As a result, novel quinine derivatives were synthesized, and their structures were confirmed using UV, IR, ¹H NMR spectroscopy, and mass spectrometry techniques. The study examined compounds (2), (3), (4), and (5), which demonstrated notable anti-inflammatory activity. Alkaloid derivatives 2-((S)-(4-(4-fluorophenyl)-1H-1,2,3-triazol-1-yl)(7-methoxynaphthalen-1-yl) methyl)-5-vinylquinuclidine, (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-methoxyphenyl)-1H-1,2,3-triazol-1-yl)(6-methoxyquinoline-4-yl) methyl)-5-vinylquinuclidine, 2-((R)-(6-methoxyquinoline-4-yl)(4-phenyl-1H-1,2,3-triazol-1-yl)

methyl)-5- vinylquinuclidine, and (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(6-methoxyquinoline-4-yl)(4-(pyridin-2-yl)-1H-1,2,3-triazol-1-yl) methyl)-5- vinylquinuclidine were obtained with yields of 25.6%, 35.5%, 7.8%, and 47%, respectively. The study revealed that the derivatives 2-((R)-(6-methoxyquinoline-4-yl)(4-phenyl-1H-1,2,3-triazol-1-yl) methyl)-5- vinylquinuclidine, 2-((S)-(4-(4-fluorophenyl)-1H-1,2,3-triazol-1-yl)(7-methoxynaphthalen-1-yl) methyl)-5- vinylquinuclidine, (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-methoxyphenyl)-1H-1,2,3-triazol-1-yl)(6-methoxyquinoline-4-yl) methyl)-5- vinylquinuclidine, and (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-methoxyphenyl)-1H-1,2,3-triazol-1-yl)(6-methoxyquinoline-4-yl) methyl)-5- vinylquinuclidine exhibit anti-inflammatory activity, reducing the amount of inflammatory exudate in the abdominal cavity of rats by 36.9%, 30.7%, and 27.7%, respectively, compared to the control drug. The conducted studies revealed that the synthesized derivatives of the quinine alkaloid possess anti-inflammatory activity. The results of the research are significant for the development of new drugs for the prevention and treatment of inflammatory diseases.

Keywords: quinine derivatives, synthesis, alkaloid, anti-inflammatory activity, bioactivity

Acknowledgment, funding: This work was financially supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant AP 19674667, 2023–2025).

© Г. Мукушева¹, Н. Тойгамбекова^{1*}, Н. Базарнова², М. Нурмағанбетова¹,
А. Абдраим¹, 2025.

¹Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды Университеті,
Қарағанды, Қазақстан;

²Алтай мемлекеттік университеті, Барнаул, Ресей.
E-mail: toigambekovann@gmail.com

ХИНИН АЛКАЛОИДЫНЫҢ ЖАҢА ТУЫНДЫЛАРЫН АЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАБЫНУҒА ҚАРСЫ БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Г. Мукушева — химия ғылымдарының кандидаты, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің қауымдастырылған профессоры, Қарағанды, Қазақстан,
E-mail: mukusheva1977@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6706-4816>;

Н. Тойгамбекова — Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің PhD докторанты, Қарағанды, Қазақстан, E-mail: toigambekovann@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8158-0016>;

Н. Базарнова — химия ғылымдарының докторы, Алтай мемлекеттік университетінің профессоры, Барнаул, Ресей,
E-mail: bazarnova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4539-2744>;

М. Нурмағанбетова — химия ғылымдарының кандидаты, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің профессоры, Қарағанды, Қазақстан,
E-mail: Manshuk_nur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1145-0774>;

А. Абдраим — Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің магистранты, Қарағанды, Қазақстан,
E-mail: abdraim01@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8872-7840>.

Аннотация. Хинолин және хиназолин алкалоидтары, азот негізіндегі гетероциклді ароматты қосылыстардың екі маңызды класы. Бұл қосылыстардың құрылымы табиғи өнімдерде жиі кездесіп, биологиялық белсенділік көрсететіндігімен ерекшеленеді. Соңғы 200 жыл ішінде бұл алкалоидтар кең ауқымды биологиялық әсерлерінің, атап айтқанда, антимикробтық, антивирустық, қатерлі ісікке қарсы, антиоксиданттық және қабынуға қарсы қасиеттерінің аркасында бүкіл әлем бойынша зерттеушілердің үлкен назарын аударып келеді. Олар қазіргі фармацевтикада, әсіресе жұқпалы және қабыну ауруларын емдеуде перспективалы құрылымдық фрагменттер ретінде қарастырылады. Осыған байланысты, олардың жаңа туындыларын синтездеу және биологиялық белсенділігін зерттеу заманауи медициналық химияның өзекті бағыттарының бірі болып табылады. *Нәтижелері.* Жұмыста УК, ИҚ, ¹H ЯМР спектроскопиясы және масс-спектрометриялық әдістері арқылы құрылымдары нақтыланған жаңа хинин туындылары синтезделіп, олардың арасында қабынуға қарсы әсер көрсеткен төрт негізгі қосылыс — 2-((S)-(4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метоксинафтален-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин; (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин; 2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-фенил-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин және (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-(пиридин-2-ил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин алкалоид туындылары сәйкесінше 25.6%, 35.5%, 7.8% және 47% шығыммен алынды. Және биологиялық белсенділікке жүргізілген зерттеу нәтижесінде 2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-фенил-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин, 2-((S)-(4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метоксинафтален-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин; (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин және (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин туындыларының бақылау препаратымен салыстырғанда егеуқұйрықтардың құрсақ қуысындағы қабыну экссудат мөлшерінің сәйкесінше 36,9%, 30,7% және 27,7% азайтып, қабынуға қарсы белсенділік көрсететіні анықталды. Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, синтезделген хинин алкалоидының туындылары қабынуға қарсы белсенділікке ие екендігі анықталды. Осылайша, зерттеу нәтижелері синтезделген хинин алкалоидтарының қабынуға қарсы потенциалы бар екенін дәлелдеп, оларды жаңа дәрілік препараттарды әзірлеуде қолданудың негізі болатынын көрсетті.

Түйін сөздер: хинин туындылары, синтез, алкалоид, қабынуға қарсы белсенділік, биобелсенділік

Бұл жұмысты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржылай қолдады (грант AP19674667, 2023–2025).

© Г. Мукушева¹, Н. Тойгамбекова^{1*}, Н. Базарнова², М. Нурмаганбетова¹,
А. Абдраим¹, 2025.

¹Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова,
Караганда, Казахстан;

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.
E-mail: toigambekovann@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ АЛКАЛОИДА ХИНИНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Г. Мукушева — кандидат химических наук, ассоциированный профессор Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
E-mail: mukusheva1977@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6706-4816>;

Н. Тойгамбекова — PhD докторант Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
E-mail: toigambekovann@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8158-0016>;

Н. Базарнова — доктор химических наук, профессор Алтайского государственного университета, Барнаул, Россия,
E-mail: bazarnova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4539-2744>;

М. Нурмаганбетова — кандидат химических наук, профессор Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
E-mail: Manshuk_nur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1145-0774>;

А. Абдраим — магистрант Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
E-mail: abdraim01@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8872-7840>.

Аннотация. Хинолиновые и хиназолиновые алкалоиды представляют собой два важных класса ароматических гетероциклических соединений на основе азота. Структурные фрагменты этих соединений часто встречаются в природных продуктах и характеризуются выраженной биологической активностью. На протяжении последних 200 лет данные алкалоиды привлекали большое внимание исследователей по всему миру благодаря широкому спектру биологического действия, в частности, антимикробным, противовирусным, противоопухолевым, антиоксидантным и противовоспалительным свойствам. В современной фармацевтике они рассматриваются как перспективные структурные фрагменты, особенно для лечения инфекционных и воспалительных заболеваний. В связи с этим синтез новых производных этих соединений и исследование их биологической активности являются актуальными направлениями современной медицинской химии. **Результаты.** В ходе работы были синтезированы новые производные хинина, структура которых подтверждена с помощью ИК, УФ, ¹H ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии. Среди полученных соединений изучены соединения (2), (3), (4), (5), проявляющие противовоспалительную активность. Алкалоидные производные 2-((S)-(4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метоксинафтален-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин, (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин, 2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-фенил-1H-1,2,3-триазол-

1-ил) метил)-5- винилхинуклидин и (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-(пиридин-2-ил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5- винилхинуклидин были получены с выходами 25,6%, 35,5%, 7,8% и 47% соответственно. В ходе исследования было установлено, что производные 2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-фенил-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5- винилхинуклидин, 2-((S)-(4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метокси-нафтален-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин, (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5- винилхинуклидин и (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин проявляют противовоспалительную активность, снижая количество воспалительного экссудата в брюшной полости крыс на 36,9%, 30,7% и 27,7% соответственно по сравнению с контрольным препаратом. Проведенные исследования показали, что синтезированные производные алкалоида хинина обладают противовоспалительной активностью. Таким образом, полученные результаты доказывают противовоспалительный потенциал данных соединений и обосновывают возможность их применения при разработке новых лекарственных средств.

Ключевые слова: производные хинина, синтез, алкалоид, противовоспалительная активность, биологическая активность

Эта работа была финансово поддержана Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP19674667, 2023–2025).

Kіріспе. Хинолин және хиназолин алкалоидтары, азот негізіндегі гетероциклді ароматты қосылыстардың екі маңызды класы. Соңғы 200 жыл ішінде кең ауқымды биологиялық белсенділіктері мен әртүрлі қолданылуына байланысты бүкіл әлем бойынша зерттеушілердің үлкен назарын аударды. (Shang, 2018). Хинин 19-шы ғасырда анықталғандықтан, олармен байланысты табиғи өнімдердің саны көбеюде (Shang Xiao-Fei, et al., 2018). Бұл қосылыстар мен олардың туындыларының көпшілігі ісікке қарсы, безгекке қарсы, паразитке қарсы және инсектицидтік, бактерияға қарсы және зеңге қарсы, кардиопротекторлық, вирусқа қарсы, қабынуға қарсы, антиоксиданттық және басқа әсерлер сияқты маңызды биологиялық белсенділікті көрсетеді (Jones, et al., 2015). Туындылардың көпшілігі бүгінде ауылшаруашылық өнімдері және фармацевтикалық препараттар ретінде қолданылады (Solary, et al., 2003).

Сонымен қатар, хинин «түнгі құрысу» деп аталатын (ұйқы кезінде аяқтың қайталанатын, ауырсынатын бұлшықет құрысуымен бірге жүретін қозғалыс бұзылулары) ауруды емдеу үшін қолданылады (Mohammadi, et al., 2023). Хининнің оң әсерлері алғашында Амазонияның байырғы тұрғындары тарапынан байқалған. Бұл агенттер қызуды төмендететін және ауырсынуды басатын қасиеттерге, сондай-ақ паразиттерге қарсы әсерге ие, сондықтан оларды жедел безгекті емдеуде пайдалы етеді (D'Acquarica, I., et al., 2023). Бұл агенттер сонымен қатар

түнгі аяқ құрысуын, жүрек аритмиясын және кейбір неврологиялық ауруларды емдеуде пайдалы. Батыс медицинасында хинин 100 жылдан астам уақыт бойы «барлық ауруларға қарсы дәрі» ретінде жиі қолданылып келеді. Бұл, шамасы, оның ауырсынуды басатын және қызуды төмендететін қасиеттерге ие сусындарға «ащы» дәм күшейткіші ретінде кеңінен қолданылуына байланысты болуы мүмкін, бұл хининді тағамдық қоспа немесе тіпті аспиринмен тең дәрежеде деп айтуға болады (Latarissa, et al., 2023; Остроумова, et al., 2019).

(Allotey-Babington, et al., 2020) жұмысында бұрқу арқылы кептіру процесін пайдаланып хинин сульфатының микрокапсуляциясы тиімді босату профилі бар микробөлшектерді алды. Микробөлшектердің бұл қасиеттері *in vitro* да, *in vivo* да (фармакокинетикасы мен тиімділігін зерттеу) көрсетілді. Сонымен қатар, хинин сульфатының микробөлшекті түрі қарапайым дәріге (ұнтақ түріндегі) қарағанда интерстициалды *L. donovani* жоюда тиімдірек болды. Ағымдағы зерттеуге сәйкес, хинин сульфатының микробөлшектері лейшманиозды (әсіресе висцеральды) емдеуде таңдаулы препарат ретінде потенциалды көрсетті. Хинин сульфаты лейшманиоздың ықтимал емі ретінде адам зерттеулерінде қосымша бағалануы керек. Хинин сульфатының пероральді биожетімділігі жоғары болғандықтан, микрокапсулирленген препаратты пероральді түрде қабылдау мүмкіндігіне әрі қарай зерттеулер жүргізу керектігін көрсетеді.

Ал, (Szonja Polett Pósa, et al., 2022) жұмысында хинин ингибиторы және 6 цинхонаның аналогтары кальцеин-АМ шығуын тежейтіні көрсетілген. Бір қызығы, хинин мен дидагидрохинин көп дәріге төзімді *Dx5* жасушаларына қатысты уыттылықтың аздап жоғарылағанын көрсетті. MDR жасуша сызығының коллатеральды сезімталдығы цинкона тиоскарамиді *Cu(II)* ацетатымен комплекстенуі болған кезде айқынырақ болды. Нәтижелерге сүйене отырып, цинхонаның туындылары дәрі-дәрмектің одан әрі дамуы үшін ісікке қарсы дәрі-дәрмектің жақсы үміткерлері болып табылады.

Сондай-ақ, бірнеше дәрі-дәрмекке үміткерлер арасында хлорохин (CQN) және гидроксихлорокин (H-CQN) қарқынды сынақтан өтт. H-CQN бастапқыда табиғи түрде кездесетін хинин затынан шыққан, орта ғасырлардан бері қолданылған және әртүрлі көрсеткіштер үшін реттеуші органдар бекіткен препарат. Бұл жұмыста хининнің SARS-CoV-2-ге қарсы белсенділігі бар деп болжанды. Vero жасушаларында хинин SARS-CoV-2 инфекциясын CQN және H-CQN-ге қарағанда тиімдірек тежеді және аз уытты болды. Адамның тоқ ішек эпителий жасушаларында Saco-2, сондай-ақ ACE2 және TMPRSS2 тұрақты экспрессиялайтын өкпе жасушаларының A549 желісінде хинин де вирусқа қарсы белсенділікті көрсетті. Vero жасушалары сияқты, хинин CQN және H-CQN-мен салыстырғанда A549-да аз уытты болды. Ақырында, зерттеу деректеріне сүйенсек, хининнің SARS-CoV-2 үшін емдеу нұсқасы болуы мүмкін екенін көрсетеді, өйткені токсикологиялық және фармакологиялық профиль оның туындылары H-CQN немесе CQN препараттарымен салыстырғанда қолайлырақ болып көрінеді (Große, et al., 2021; Taube, 2022; Huang, et al., 2020).

Сондықтан, жаңа медициналық препараттарды алуға бағытталған

алкалоидтарды қолдана отырып, синтездеудің ұтымды әдістерін жасау, хинин алкалоидының кейбір синтезделген туындыларының қабынуға қарсы белсенділігін зерттеудің маңызы зор (Mukusheva, et al., 2023).

Материалдар мен зерттеу әдістері. Хининнің жаңа туындыларының түзілуі жұқа қабатты хроматография әдісі арқылы «Sorbfil» пластиналарында, хлороформ-этанол (10:1) еріткіштер жүйесінде анықталды. УФ-спектрлері Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis спектрофотометрінде, ұзындығы 3 см кварц кюветаларын қолданып, тіркелді. Еріткіш ретінде этанол қолданылды. Зерттелетін үлгілердің концентрациясы $c = 10^{-10}$ моль/л болды. Қосылыстардың ИҚ-спектрлері Infalum компаниясының FT-801 үлгісіндегі ИҚ-Фурье-спектрофотометрінде тіркелді. Үлгілер KBr-мен таблетка түрінде немесе жұқа қабат ретінде дайындалды.

^1H ЯМР спектрлері Bruker Avance 500 спектрометрінде (тиісінше 500 және 125 МГц) DMSO-*d*₆ және CDCl₃-те алынды. Қалдық еріткіш сигналдары [CDCl₃, δ H 7.26, δ C 77.2 мг/кг; DMSO-*d*₆, δ H 2.5, δ C 40.1 мг/кг] ішкі стандарт ретінде пайдаланылды.

Өлшемдер жоғары ажыратымдылықтағы Thermo Scientific DFS (Double Focusing System) масс-спектрометрінде (Thermo Electron Corp., АҚШ) орындалды. Жазу режимі иондаушы электрон энергиясы 70 эВ болатын электронды иондану болды және нақты массалық өлшемдер перфторкеросин (PFK) стандартының сызықтарына қатысты орындалды.

2-((*S*)-(4-(4-фторфенил)-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метоксинафтаден-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин (**2**). Синтез әдістемесі: хинин азида (0.5 г, 0.0014 моль), 4-фторфенил ацетилен (0.0014 моль, 0.168 г), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.00007 моль, 0.0175 г), натрий аскорбаты (0.00007 моль, 0.01386 г) және ДМФ (4 мл) қоспасын 75 °C-та 8.5 сағат араластырды. Келесі күні реакциялық массаны Петри табақшасына құйып, еріткішті бөлме температурасында ауада буландырды. Жаңа заттың түзілгені жұқа қабатты хроматография әдісі арқылы хлороформ-этанол (10:1) еріткіштер жүйесінде анықталды. Қалған затты хлороформда ерітіп, ротациялық буландырғышта буландырып, хлороформ: этанол (100:1) ерітіндісін пайдаланып, колонкалы хроматография арқылы тазартты. 128 мг ақшыл сары зат алынды.

(1*R*,2*S*,4*R*,5*R*)-2-((*R*)-(4-(4-метоксифенил)-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин (**3**). Хинин азида (0.55 г, 0.00157 моль (артығымен)), 4-метокси фенилацетилен (0.0014 моль, 0.185 г), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.00007 моль, 0.0175 г), натрий аскорбаты (0.00007 моль, 0.01386 г) және ДМФ (4 мл) қоспасын 75 °C температурада 8 сағат бойы араластырылды. Реакциялық масса Петри табақшасында бөлме температурасында кептірілді. Қалған затты хлороформда ерітіп, ротациялық буландырғышта буландырып, хлороформ: этанол (100:1) ерітіндісін пайдаланып, колонкалы хроматография арқылы тазартылды. 195 мг сарғыш түсті ұнтақ зат алынды.

2-((*R*)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-фенил-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин (**4**). Синтез әдістемесі: хинин азида (0.50 г, 0.0014 моль), фенилацетилен (0.0014 моль, 0.143 г), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.00007 моль, 0.0175 г),

натрий аскорбаты (0.00007 моль, 0.01386 г) және ДМФ (4 мл) қоспасын 75 °С-та 8 сағат араластырылды. Келесі күні реакциялық массаны Петри табақшасына құйып, еріткішті бөлме температурасында ауада буландырды. Алынған затты хлороформда ерітіп, колонкалы хроматография арқылы, хлороформ: этанол (100:1) ерітінді жүйесі арқылы тазартылды. 39 мг ақшыл-сарғыш түсті ұнтақ зат алынды.

(1*R*,2*S*,4*R*,5*R*)-2-((*R*)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-(пиридин-2-ил)-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин (**5**). Хинин азиды (0.55 г, 0.00157 моль), 2-этинилпиридин (0.0014 моль, 0.1444 г), $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (0.00007 моль, 0.0175 г), натрий аскорбаты (0.00007 моль, 0.01386 г) және ДМФ (4 мл) қоспасы 8 сағат бойы 75 °С температурада араластырылды. Келесі күні реакциялық массаны бөлме температурасында ауада буландырды. Алынған затты хлороформда ерітіп, колонкалы хроматография арқылы хлороформ: этанол (100:1) ерітінді жүйесі арқылы тазартылды. Нәтижесінде 259 мг ақшыл-сары түсті зат алынды.

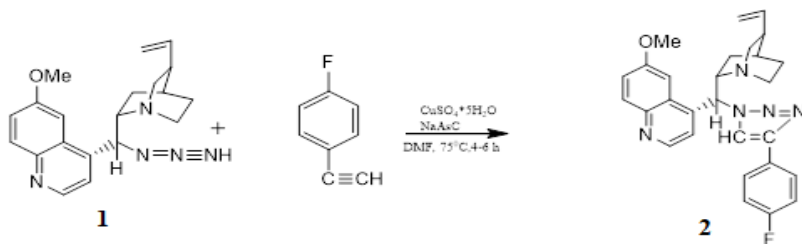
Қабынуға қарсы белсенділік. Үлгілердің қабынуға қарсы белсенділігі референттік препарат ретінде салмағы 190-210 г екі жыныстағы ақ тұқымды егеуқұйрықтарда жедел экссудативті реакция (перитонит) үлгісінде зерттелді.

Жедел экссудативті реакция (перитонит) егеуқұйрықтардың 100 г дене салмағына 1 мл көлеміндегі сірке қышқылының 1% ерітіндісін құрсақ ішіне енгізуден туындаған. 3 сағаттан соң жануарларды қырып, құрсақ қуысын ашып, экссудатты жинап, көлемін бағалады (Р.У. Хабриев, et al., 2005). Зерттелетін объектілер крахмал шырышы түрінде 25 мг/кг мөлшерде ішке қабылдану арқылы зерттелді. Эталондық препарат ретінде диклофенак натрийдің жануарларға 8 мг/кг (ЕД) тиімді дозада асқазан ішіне бір рет енгізілді. Бақылау жануарлары крахмал шырышының эквивалентті мөлшерін алды. Зерттелетін объектілері 1% сірке қышқылы ерітіндісін енгізуден 1 сағат бұрын бір рет енгізілді. Қабынуға қарсы белсенділік бақылау препараттарымен салыстырғанда тәжірибелік егеуқұйрықтардың құрсақ қуысындағы қабыну экссудат мөлшерінің пайыздық төмендеуімен көрсетілген.

Нәтижелерді статистикалық өңдеу «Statistica 6.0» бағдарламалық пакетін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Алынған нәтижелер «орташа мәні $\leq$ орташа мәnnің стандартты қатесі» ретінде берілген. Топаралық айырмашылықтар Mann-Whitney U-test параметрлік емес критерилері арқылы бағаланды. Айырмашылықтары $p < 0,05$ мәнінің деңгейіне жеткенде дұрыс деп саналды.

Нәтижелер және талқылаулар. Біз бұл жұмыста ең алдымен азид хининіне (**1**) 4-фторфенил ацетилен қалдығын қосып, 8 сағат 75°C температурасында $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, натрий аскорбаты және ДМФ қатысуымен реакция жүргізілді. Синтез нәтижесінде балку температурасы 83-85°C болатын 2-((*S*)-(4-(4-фторфенил)-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метоксинафтаден-1-ил)метил)-5-винилхинуклидин (**2**) өнімі 25.6% шығыммен алынды (схема 1).

УК (EtOH $c=6 \cdot 10^{-5}$ М) λ_{max} (log ϵ) 205 (1.247), 239 (0.988), 338 (0.123); ИК (KBr), cm^{-1} : ν 2936, 2866, 2838 (C-H), 2100 (C $\equiv$ N), 1664 (C=O), 1620, 1592, 1562, 1508 (C=C), 1453, 1433.5 (CH₂), 1356.5, 1319.3, 1303 (C-N), 1247, 1232 (C-O), 1176, 1134, 1119, 1107, 995, 972 (C-H), 835, 792, 760 cm^{-1} ; МС, m/z (I_{rel} , %): 497 [M+H]⁺.

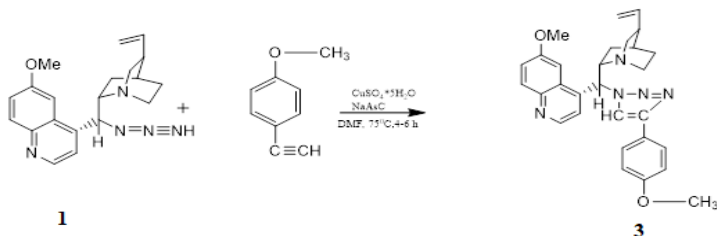


1 – схема. 2-((S)-4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)-(7-метоксинафтален-1-ил) метил)-5- винилхиноклидиннің алынуы

^1H ЯМР (DMSO- d_6 , 500 МГц) спектріндегі 7,31 және 7,86 ppm шыңдары ароматты бензол сақиналарымен байланысты протондарға сәйкес келеді. Мұндай химиялық ығысулар алмастырылған бензолдарға тән, мұнда әртүрлі орынбасарлар сақинаның электрон тығыздығына әсер етеді. 7,01 ppm сигналы құрылымда нафталин ядросының бар екенін көрсетеді. Мұндай ығысулар екі жұптасқан ароматты сақиналары бар конъюгацияланған жүйені көрсетеді. Және де 5,03, 5,07 және 5,70 ppm сигналдары этилен фрагменттеріндегі қос байланыстармен (C=C) байланысты сутегілерге қатысты. 3,81 ppm шыңы метил тобына ($-\text{CH}_3$) байланысты, ол метокси тобындағы оттегі сияқты электртеріс топқа іргелес екені көрінеді. 7,63 ppm (CH) сигналы ароматты қосылыстарға тән триазол сақинасымен байланысқан протонға жатады. Триазол – әдетте осы диапазонда сигнал беретін азоты бар гетероциклді сақина. 2,7 ppm (CH) сигнал пиперидин сақинасының, азотпен қаныққан алты атомды сақинаның болуын көрсетеді.

Келесі синтезімізде азид хининіне (1) 4-метокси фенилацетиленді қосып, 8 сағат 75°C температурасында $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, натрий аскорбаты және ДМФ қатысуымен реакция жүргізілді. Синтез нәтижесінде балқу температурасы $80-82^\circ\text{C}$ болатын (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил) (6-метоксихинолин-4-ил)метил)-5- винилхиноклидин (3) өнімі 35.5% шығыммен алынды (схема 2).

УК (EtOH $c=6 \cdot 10^{-5}$ M) λ (log ϵ) 205 (1.019), 239 (0.715), 338 (0.107); ИҚ (KBr), cm^{-1} : 2956,5, 2868,6 (C-H), 1666 (C=O), 1621 (C=C), 1565, 1509 (ароматты жүйелерде C=C созылуы), 1474,9, 1435,2, 1391,9, 1391,9,-316,16. , 1268,6, 1232,5 (C-O), 1199, 1113, 1083,6, 1048, 1030, 985, 959 (C-H), 840, 801, 777, 758, 715, 673, 625, 611 cm^{-1} . МС, m/z (I_{rel} , %): 517 $[\text{M}+\text{H}]^+$.

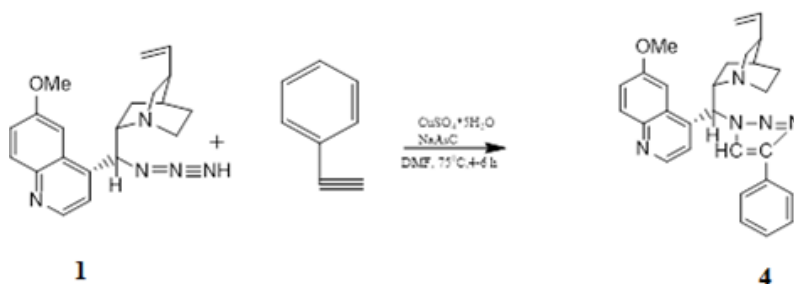


2 – схема. (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил) (6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5- винилхиноклидиннің алынуы

^1H ЯМР (DMSO- d_6 , 500 МГц) спектріндегі (CH) 7,59 ppm протон сигналдары 1,2,3-триазолдың сақина жағдайына сәйкес келеді. Хиолин протондары ((CH) 8,67, 7,55, 7,45, 7,39, 7,86 ppm ығысулары) үшін химиялық ығысу хиолин үшін күтілетін ароматты аймаққа жатады. Пиперидин (CH және CH₂ сигналдары 2,7, 2,46, 2,11, 1,43 ppm), қаныққан алты мүшелі азоты бар сақина, оның протондарына тән ығысуларды көрсетеді. Азотқа қосылған CH және CH₂ топтары азоттың электрондарды тартып алу қасиетіне байланысты төмен өріс ығысуларына ие. Бензол протондары (CH сигналдары 7,55, 7,03 ppm) бензолдағы ароматты протондарға сәйкес ығысады.

Үшінші синтезімізде азид хининіне (1) фенилацетиленді қосып, 8 сағат 75°C температурасында $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, натрий аскорбаты және ДМФ қатысуымен реакциялары жүргізілді. Синтез нәтижесінде балку температурасы 79-81 °C болатын 2-((R)-(6-метоксихиолин-4-ил) (4-фенил-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидин (4) өнімі 7.8% шығыммен алынды (схема 3).

УК (EtOH $c=6 \cdot 10^{-5}$ M) λ (log ϵ) 213 (0.873), 239 (0.477), 326 (0.136); ИҚ (KBr), cm^{-1} : ν 2934, 2867 (C-H), 1666,5 (C=O), 1619, 1593, 1570 (C=C), 1472, 1454, 1431, 1421, 1356 (C-H), 1324, 1305, 2120 (C-O), 1132, 1083 (C-O), 995, 977 (C-H), 942, 918, 890, 833, 778, 768, 739, 715, 679, 653 cm^{-1} . МС, m/z (I_{rel} , %): 487 $[\text{M}+\text{H}]^+$.



3 – схема. 2-((R)-(6-метоксихиолин-4-ил) (4-фенил-1H-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхинуклидиннің алынуы

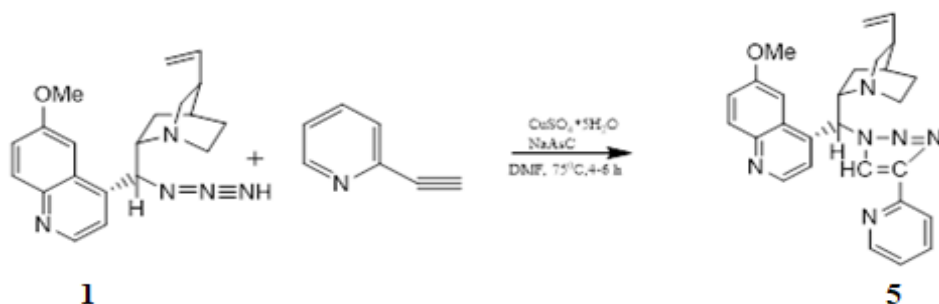
^1H ЯМР спектрінде CH 7,59 ppm сигналы 1,2,3-триазол сақинасымен байланысқан протонды білдіреді. CH 8,67 ppm шыңы хиолин сақинасымен байланысқан протонды сипаттайды. Нафталин бөліктеріне (C=C және O-C) жақын болуына байланысты шағын ығысулар конъюгациясы бар хош иісті құрылымның болуын растайды. CH 2,7 ppm протон, пиперидин сақинасының бөлігі. CH₂ 2,46; 2,215 ppm сигналдары пиперидиннің метилен топтарына қатысты. Көршілес қос байланыстармен әрекеттесу байқалады, ол C=C арқылы расталады. CH 7,55 ppm - хиолин сақинасындағы тағы бір протон. Бұл сигнал көрші нафталин фрагменттерінің өзіне тән ығысуларымен әсерін көрсетеді. 3,81 ppm күшті ығысу оттегінің (O-C) жанында орналасқан метил тобына байланысты. Бұл метокси тобының болуын көрсетеді.

Келесі жұмыста азид хининіне (1) этилпиперидин қосып, 8 сағат 75°C температурасында $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, натрий аскорбаты және ДМФ қатысуымен

реакциялары жүргізілді. Синтез нәтижесінде балку температурасы 70-71°C (1*R*,2*S*,4*R*,5*R*)-2-((*R*)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-(пиридин-2-ил)-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил)метил)-5-винилхиноклидин (**5**) өнімі 47% шығыммен алынды (схема 4).

УК (MeOH $c=6 \cdot 10^{-5}$ M) $\lambda_{\max}$ (log ϵ) 204 (1.013), 238 (1.051), 282 (0.314), 338 (0.144);

ИК (KBr), cm^{-1} : ν 2941.6, 2870.3 (C-H), 1703 (C=O), 1619, 1590 (C=C), 1508, 1472, 1455, 1433, 1377, 1364, 1302, 1258, 1239, 1227 (C-O), 1174, 1131, 1090, 1078, 977, 916, 879, 857, 831, 809, 789, 763, 717, 642, 610 cm^{-1} . МС, m/z m/z (I_{rel} , %): 498 $[M+H]^+$:



4 – схема. (1*R*,2*S*,4*R*,5*R*)-2-((*R*)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-(пиридин-2-ил)-1*H*-1,2,3-триазол-1-ил) метил)-5-винилхиноклидиннің алынуы

Үлгілердің қабынуға қарсы белсенділігі референттік препарат ретінде ак тұқымды егеуқұйрықтарда жедел экссудативті реакция (перитонит) үлгісінде зерттелді. Зерттеу нәтижелері 1 кестеде ұсынылған.

1 – кесте. Хинин алкалоидының туындылары мен салыстыру препараттарының қабынуға қарсы белсенділігін зерттеу нәтижелері

№	Зерттелінетін топтар	Доза, мг/кг	Экссудат саны, мл	Қабынған экссудат санының азайуы, %
1	Сынақ	-	6.5±0.5	100
2	Натрий диклофенак	8	4.0±0.8	38.4
3	2	25	4.5±0.9*	30.7
4	3	25	4.7±0.7	27.7
5	4	25	4.1±0.7*	36.9
6	5	25	5.9±0.7	9.2

Ескерту: * $p < 0,05$ - бақылаумен салыстырғанда

Тәжірибе нәтижесінде 25 мг/кг дозада (**4**), (**2**) және (**3**) қабынуға қарсы белсенділік көрсететіні анықталды, бұл бақылаумен салыстырғанда егеуқұйрықтардың құрсақ қуысындағы қабыну экссудат мөлшерінің с 36,9%, 30,7% және 27,7% төмендеуіне әкелді.

Сонымен қатар, (**4**) үлгісі қабынуға қарсы белсенділігі натрий диклофенак эталондық препаратымен ұқсас.

(5) үлгісі 25 мг/кг дозада жедел экссудативті реакция үлгісінде қабынуға қарсы белсенділікті көрсетпеді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижесінде алғаш рет 2-((S)-(4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил) (7-метоксинафтаден-1-ил) метил) -5-винилхинуклидин; (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил) (6-метоксихинолин-4-ил)метил)-5-винилхинуклидин; 2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил)(4-фенил -1H -1,2,3-триазол -1-ил) метил) -5-винилхинуклидин және (1R,2S,4R,5R) -2- ((R) -(6-метоксихинолин -4-ил) (4-(пиридин-2-ил) -1H-1,2,3-триазол-1-ил)метил)-5-винилхинуклидин алкалоид туындылары сәйкесінше 25.6%, 35.5%, 7.8% және 47% шығыммен алынды. Және зерттеу нәтижесінде 2-((R)-(6-метоксихинолин-4-ил) (4-фенил-1H-1,2,3-триазол-1-ил)метил)-5-винилхинуклидин, 2-((S)-(4-(4-фторфенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(7-метоксинафтаден-1-ил)метил)-5-винилхинуклидин; (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил) метил)-5-винилхинуклидин және (1R,2S,4R,5R)-2-((R)-(4-(4-метоксифенил)-1H-1,2,3-триазол-1-ил)(6-метоксихинолин-4-ил)метил)-5-винилхинуклидин туындыларының бақылау препаратымен салыстырғанда егеуқұйрықтардың құрсақ қуысындағы қабыну экссудат мөлшерінің сәйкесінше 36,9%, 30,7% және 27,7% азайтып, қабынуға қарсы белсенділік көрсететіні анықталды.

Алынған нәтижелер зерттеу жүргізілген сала үшін практикалық маңызға ие және осыған сүйене отырып, қосымша зерттеулер үшін бірқатар ұсыныстар беруге болады. Қорытындылай келе, бұл мақала хинин алкалоидының фармакологиялық қасиеттерін зерттеуге маңызды үлес қосады және осы саладағы қосымша зерттеулерге негіз бола алады.

Әдебиеттер

Allotey-babington, Lovia & Amponsah, Seth & Nettey, Thomas & Sasu, Clement & Nettey, Henry. (2020) Quinine Sulphate Microparticles as Treatment for Leishmaniasis. *Journal of Tropical Medicine*. — P.1-9.

Große M., Ruetalo N., Layer M., Hu, D., Businger R., Rheber S., Setz C., Rauch P., Auth J., Fröba M., Brysch, E., Schindler M., & Schubert U. (2021) Quinine Inhibits Infection of Human Cell Lines with SARS-CoV-2. — *Viruses*, 13(4). — 647 p. <https://doi.org/10.3390/v13040647>

D'Acquarica I., & Agranat I. (2023) Widened scope of drug repurposing/chiral switches, elements of secondary pharmaceuticals: the quinine/quinidine case. *Future Drug Discovery*, 5(3). FDD 85. <https://doi.org/10.4155/fdd-2023-0006>

Jones Rachel A., Siva S. Panda, and C. Dennis Hall. (2015) “Quinine conjugates and quinine analogues as potential antimalarial agents.” *European journal of medicinal chemistry* 97. — P. 335-355. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.02.002>

Latarissa I.R., Barliana M.I., Meiliana A., Sormin I.P., Sugiono E., Kartasasmitha C.B., Lestari K. (2023) Efficacy of quinine sulfate in patients with mild-to-moderate COVID-19: a randomized controlled trial. *The Indonesian Biomedical Journal*, 15(6) — P. 366-74.

Mohammadi, Mohammad Reza, and Elham Rezaei Niaraki (2023) “Antibacterial, antiviral, and antifungal activities of quinine and its derivatives: A narrative mini-review.” *Micro Nano Bio Aspects* 2.3. — P.1-6. <https://doi.org/10.22034/mnba.2023.399582.1034> (in English)

Mukusheva, G., Zhasymbekova, A., & Nurmaganbetov, Z. (2023) Synthesis and structure of new modified derivatives based on the quinine molecule and their biological activity. *Polish Journal of Chemical Technology*, 25(1). — P. 28-34. <https://doi.org/10.2478/pjct-2023-0005>

Остроумова О.Д., Кравченко Е.В., Кочетков А.И. (2019) «Дерілік заттардың индукциялаған тромбоцитопениясы». Клиническая фармакология и терапия; 28(4):56–64. DOI: 10.32756/0869-5490-2019-4-56-64

Solary, Eric, et al. (2003) "Quinine as a multidrug resistance inhibitor: a phase 3 multicentric randomized study in adult de novo acute myelogenous leukemia." *Blood* 102.4. — P. 1202-1210. <https://doi.org/10.1182/blood-2002-11-3419>

Szonja Polett Pósa, Gyula Dargó, Sándor Nagy, Péter Kisszékelyi, Zsófia Garádi, Lilla Hámori (2022) Cytotoxicity of cinchona alkaloid organocatalysts against MES-SA and MES-SA/Dx5 multidrug-resistant uterine sarcoma cell lines//*Bioorganic & Medicinal Chemistry*, Volume 67, <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2022.116855>.

Khabriev R. U. (2005) Guide to experimental pharmacological substances. Publishing House "Medicine 832p. (in Russian)

Huang C. et al. (2020) Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China *The lancet*. — T. 395. — №. 10223. — C. 497-506.

Xiao-Fei Shang, et al. (2018) "Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids part I." *Medicinal research reviews* 38.3: 775-828, <https://doi.org/10.1002/med.21466>

Xiao-Fei Shang, Susan L. Morris-Natschke, Guan-Zhou Yang, Ying-Qian Liu, Xiao Guo, Xiao-Shan Xu, Masuo Goto, Jun-Cai Li, Ji-Yu Zhang, Kuo-Hsiung Lee (2018) Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids part II, *Medicinal Research Reviews*, 38. — 5 p. (1614-1660), <https://doi.org/10.1002/med.21492>

References

Allotey-babington, Lovia & Amponsah, Seth & Nettey, Thomas & Sasu, Clement & Nettey, Henry. (2020) Quinine Sulphate Microparticles as Treatment for Leishmaniasis. *Journal of Tropical Medicine* — P.1-9. (in English)

Große M., Ruetalo N., Layer M., Hu, D., Businger R., Rheber S., Setz C., Rauch P., Auth J., Fröba M., Brysch, E., Schindler M., & Schubert U. (2021) Quinine Inhibits Infection of Human Cell Lines with SARS-CoV-2. — *Viruses*, 13(4). — 647 p. <https://doi.org/10.3390/v13040647> (in English)

D'Acquarica, I., & Agranat, I. (2023) Widened scope of drug repurposing/chiral switches, elements of secondary pharmaceuticals: the quinine/quinidine case. *Future Drug Discovery*, 5(3). FDD 85. <https://doi.org/10.4155/fdd-2023-0006> (in English)

Jones, Rachel A., Siva S. Panda, and C. Dennis Hall. (2015) "Quinine conjugates and quinine analogues as potential antimalarial agents." *European journal of medicinal chemistry* 97. — P. 335-355. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.02.002> (in English)

Latarissa I.R., Barliana M.I., Meiliana A., Sormin I.P., Sugiono E., Kartasasmita C.B., Lestari K. (2023) Efficacy of quinine sulfate in patients with mild-to-moderate COVID-19: a randomized controlled trial. *The Indonesian Biomedical Journal*, 15(6) —P. 366-74. (in English)

Mohammadi, Mohammad Reza, and Elham Rezaei Niaraki. (2023) "Antibacterial, antiviral, and antifungal activities of quinine and its derivatives: A narrative mini-review." *Micro Nano Bio Aspects* 2.3. — P.1-6. <https://doi.org/10.22034/mnba.2023.399582.1034> (in English)

Mukusheva, G., Zhasymbekova, A., & Nurmaganbetov, Z. (2023) Synthesis and structure of new modified derivatives based on the quinine molecule and their biological activity. *Polish Journal of Chemical Technology*, 25(1). — P. 28-34. <https://doi.org/10.2478/pjct-2023-0005> (in English)

Ostroumova O.D., Kravchenko E.V., Kochetkov A.I. (2019) Lekarstvenno-indutsirovannaya trombotsitopeniya [Drug-induced thrombocytopenia]. *Clin Pharmacol Ter*; 28(4):56-64. DOI 10.32756/0869-5490-2019-4-56-64 (in Russian)

Solary, Eric, et al. (2003) "Quinine as a multidrug resistance inhibitor: a phase 3 multicentric randomized study in adult de novo acute myelogenous leukemia." *Blood* 102.4. — P. 1202-1210. <https://doi.org/10.1182/blood-2002-11-3419> (in English)

Szonja Polett Pósa, Gyula Dargó, Sándor Nagy, Péter Kisszékelyi, Zsófia Garádi, Lilla Hámori (2022) Cytotoxicity of cinchona alkaloid organocatalysts against MES-SA and MES-SA/Dx5 multidrug-resistant uterine sarcoma cell lines//*Bioorganic & Medicinal Chemistry*, Volume 67, <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2022.116855>. (in English)

Taube A.A. (2022) Aspekty bezopasnogo ispol'zovaniya rastitel'nykh lekarstvennykh sredstv vo vremya COVID-19 [Aspects of the safe use of medicinal products based on medicinal plant materials in COVID-19]. *Real-World Data & Evidence*.;2(1):28-35. <https://doi.org/10.37489/2782-3784-myrwd-9> (in Russian)

Khabriev R. U. (2005) Guide to experimental pharmacological substances. Publishing House "Medicine 832p. (in Russian)

Huang C. et al. (2020) Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China *The lancet*. — T. 395. — №. 10223. — C. 497-506. (in English)

Xiao-Fei Shang, et al. (2018) "Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids part I." *Medicinal research reviews* 38.3: 775-828, <https://doi.org/10.1002/med.21466> (in English)

Xiao-Fei Shang, Susan L. Morris-Natschke, Guan-Zhou Yang, Ying-Qian Liu, Xiao Guo, Xiao-Shan Xu, Masuo Goto, Jun-Cai Li, Ji-Yu Zhang, Kuo-Hsiung Lee (2018) Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids part II, *Medicinal Research Reviews*, 38. — 5 p. (1614-1660), <https://doi.org/10.1002/med.21492> (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2. Number 463 (2025), 183–197

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.290>

УДК 66.0: 543.51[691.72: 7.023.1-032.4

© N.Zh. Mukhamediyarov^{1*}, N.N. Nurgaliev¹, A.A. Ualikhanov¹, A.N. Sabitova¹,
N.A. Aitkazin², 2025.

¹Shakarim University, Kazakhstan, Semey;

²TOO «Central Asia Mining Co», Kazakhstan, Shymkent.

E-mail: *nurlan.eventumlab@gmail.com

CURRENT STATE OF WASTE FROM METALLURGICAL PRODUCTION IN SOUTH KAZAKHSTAN AND PROSPECTS FOR THEIR PROCESSING

Mukhamediyarov Nurlan Zhumagazyevich — PhD student of the 1st year of the NJSC "Shakarim University of Semey", Semey, Kazakhstan,

E-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-5978>;

Alfira Nurzhanovna Sabitova — Head of the Department of «Chemistry and Ecology» of the NJSC "Shakarim University of Semey", PhD, Semey, Kazakhstan,

E-mail: alfa-1983@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>;

Nurgaliyev Nurzhan Nurlybekovich — Associate Professor of the Department of «Chemistry and Ecology» of the NJSC "Shakarim University of Semey", PhD, Semey, Kazakhstan,

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

Ualikhanov Asylan Aidinovich — PhD student of the 1st year of the NJSC "Shakarim University of Semey", Semey, Kazakhstan,

E-mail: icetea3221337@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0405-1027>;

Aitkazin Nurbol Amangazyevich — Coordinator of the Chemical-Analytical Laboratory of TOO "Central Asia Mining Co", Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: Aitkazin88@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3360-7998.

Abstract. The processing of metallurgical waste in Kazakhstan remains a significant and urgent issue, especially considering the accumulated volumes of materials such as slags, dust, and sludge formed over decades of industrial activity. One notable example is the former Shymkent lead plant, whose operations produced massive slag heaps containing a wide range of non-ferrous, rare earth, and precious metals. The absence of an effective waste recycling system has led to increasing environmental pressure, including soil and water contamination by heavy metals. The purpose of this study is to assess the elemental composition of slags for the potential recovery of non-ferrous, precious, and rare earth metals. Analyses were conducted using mass spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, identifying more than 40 chemical elements. Results indicated that initial slags contain up to 5,100 mg/kg of copper and up to 260,000 mg/kg of iron. The concentrates obtained from slags show

higher economic value, with copper reaching 140,000 mg/kg and iron 280,000 mg/kg, along with small amounts of precious metals such as gold (5.3 mg/kg) and palladium (1.5 mg/kg). Rare earth elements were also found, including lanthanum (8.2 mg/kg), neodymium (11 mg/kg), and cerium (25 mg/kg). Thus, processing this waste can not only reduce environmental harm but also enable the recovery of critical metals in demand across various industrial sectors.

Keywords: recycling of waste, non-ferrous metals, precious metals, rare earth elements, slags, concentrate

© Н.Ж. Мухамедияров^{1*}, Н.Н. Нурғалиев¹, А.А. Уалиханов¹, А.Н. Сабитова¹,
Н.А. Айтқазин², 2025.

¹Шәкәрім атындағы университет, Семей, Қазақстан;

²ТОО «Central Asia Mining Co», Шымкент, Қазақстан.

E-mail: *nurlan.eventumlab@gmail.com

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МЕТАЛЛУРГИЯ ӨНДІРІС ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ӨНДЕУДІҢ БОЛАШАҒЫ

Мухамедияров Нурлан Жумағазыұлы — «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, 1-курс PhD докторанты, Семей, Қазақстан,
E-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-5978>;

Сабитова Альфира Нұржанқызы — «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Химия және экология» кафедрасының меңгерушісі, PhD, Семей, Қазақстан,

E-mail: alfa-1983@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>;

Нұрғалиев Нұржан Нұрлыбекұлы — доцент, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Химия және экология» кафедрасының профессоры, PhD, Семей, Қазақстан,

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

Уалиханов Асылан Айдинович — «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, 1-курс PhD докторанты, Семей, Қазақстан,
E-mail: icetea3221337@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0405-1027>;

Айтқазин Нұрбол Аманғазыұлы — «Central Asia Mining Co» ЖШС химиялық-аналитикалық зертханасының үйлестірушісі, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: Aitkazin88@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3360-7998.

Аннотация. Қазақстанда металлургиялық қалдықтарды қайта өңдеу – ондаған жылдар бойы ірі өндірістік кәсіпорындардың қызметі нәтижесінде жиналған шлак, шаң және лай тәрізді материалдардың көлемін ескере отырып, аса маңызды және өзекті мәселе болып қала береді. Осындай айқын мысалдардың бірі – бұрынғы Шымкент қорғасын зауыты, оның қызметі барысында түрлі түсті, сирек жер және бағалы металдарды қамтитын көп тонна шлак үйінділері түзілген. Мұндай қалдықтарды тиімді қайта өңдеу жүйесінің болмауы ауыр металдармен топырақ пен су айдындарының ластануына әкеліп, қоршаған ортаға антропогендік қысымның артуына себеп болып отыр. Осы зерттеудің мақсаты – металлургиялық

шлактардың элементтік құрамын бағалап, олардан түсті, бағалы және сирек жер металдарын екінші реттік жолмен бөліп алу мүмкіндігін анықтау. Бұл мақсатта индуктивті байланысқан плазмамен масс-спектрометрия (ICP-MS) және атом-эмиссиялық спектрометрия (ICP-AES) әдістері қолданылып, 40-тан астам химиялық элемент анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша бастапқы шлактарда мыс мөлшері 5100 мг/кг-ге, ал темір – 260 000 мг/кг-ге дейін жететіні анықталды. Қайта өңделген концентраттарда бұл көрсеткіштер айтарлықтай жоғары: мыс – 140 000 мг/кг, темір – 280 000 мг/кг. Сонымен қатар, алтын (5,3 мг/кг) және палладий (1,5 мг/кг) секілді бағалы металдар анықталды. Сондай-ақ, лантан (8,2 мг/кг), неодим (11 мг/кг) және церий (25 мг/кг) сияқты сирек жер элементтері де концентраттар құрамында тіркелді. Осылайша, өндірістік қалдықтарды қайта өңдеу экологиялық жүктемені азайтып қана қоймай, ел экономикасының түрлі салаларында қажет стратегиялық маңызы бар металдарды өндірудің жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Түйін сөздер: қалдықтарды қайта өңдеу, түсті металдар, бағалы металдар, сирек жер элементтері, шлактар, концентрат

© Н.Ж. Мухамедияров^{1*}, Н.Н. Нурғалиев¹, А.А. Уалиханов¹,
А.Н. Сабитова¹, Н.А. Айтказин², 2025.

¹Shakarim university, Семей, Казахстан;

²ТОО «Central Asia Mining Co», Шымкент, Казахстан.

E-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Мухамедияров Нурлан Жумагазыевич — PhDдокторант 1го курса НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан,

E-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5073-5978>;

Сабитова Альфира Нуржановна — PhD, Заведующий кафедры «Химия и экология» НАО

"Университет имени Шакарима города Семей", Семей, Казахстан,

E-mail: alfa-1983@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>;

Нурғалиев Нуржан Нурлыбекович — PhD, ассоц. профессор кафедры «Химии и экологии» НАО

"Университет имени Шакарима города Семей", Семей, Казахстан,

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

Уалиханов Асылан Айдинович — PhD докторант 1 курса НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан,

E-mail: icetea3221337@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0405-1027>;

Айтказин Нурбол Амангазыевич — координатор химико-аналитической лаборатории ТОО «Central Asia Mining Co», Шымкент, Казахстан,

E-mail: Aitkazin88@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3360-7998.

Аннотация. Переработка металлургических отходов в Казахстане остаётся важной и актуальной задачей, особенно с учётом накопленных объёмов таких материалов, как шлаки, пыль и шламы, образовавшихся за десятилетия

функционирования крупных промышленных предприятий. Одним из характерных примеров является бывший Шымкентский свинцовый завод, деятельность которого сопровождалась образованием многотонных шлакоотвалов, содержащих широкий спектр цветных, редкоземельных и драгоценных металлов. Отсутствие эффективной системы переработки подобных отходов способствует усилению антропогенного воздействия на окружающую среду, включая загрязнение почв и водоёмов тяжёлыми металлами. Целью настоящего исследования является оценка элементного состава шлаков для последующего вторичного извлечения цветных, драгоценных и редкоземельных металлов. Для этого были проведены анализы с применением методов масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, позволившие выявить более 40 химических элементов. Результаты показали, что в исходных шлаках содержание меди достигает 5100 мг/кг, железа — до 260 000 мг/кг. Концентраты, полученные из шлаков, обладают более высокой экономической ценностью благодаря высоким показателям, так содержание меди доходит до 140000 мг/кг, железа до 280 000 мг/кг, а также небольшое количество драгоценных металлов, таких как золото (5,3 мг/кг) и палладий (1,5 мг/кг). Кроме того, в концентратах обнаружены редкоземельные элементы, включая лантан (8,2 мг/кг), неодим (11 мг/кг) и церий (25 мг/кг). Таким образом, переработка отходов не только снижает экологическую нагрузку, но и открывает перспективы для извлечения стратегически важных металлов, востребованных в различных секторах экономики страны.

Ключевые слова: переработка отходов, цветные металлы, драгоценные металлы, редкоземельные элементы, шлаки, концентрат.

Введение. Вопрос переработки металлургических отходов в Казахстане остается актуальным. Как один из крупнейших производителей металлургической продукции, страна сталкивается с накоплением значительных объемов отходов, таких как шлаки, пыль и шламы. В настоящее время перерабатывается лишь 25–35% этих материалов, что способствует их накоплению на полигонах и увеличению нагрузки на экологию страны (Shevko, 2024). Хотя на некоторых предприятиях, таких как Карагандинский металлургический комбинат, уже используются технологии извлечения таких компонентов, как золото, медь, цинк, никель и редкоземельные элементы (Arkhipov, et al, 2017; Kenzhaliyev, 2019; Sagdeyeva, 2014), комплексные и масштабные методы переработки в целом по Казахстану остаются недостаточно развитыми. Проблема усугубляется отсутствием эффективных систем их извлечения и повторного вовлечения в промышленный цикл, что противоречит принципам ресурсосбережения и устойчивого развития.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью реализации перехода к циркулярной экономике, при которой металлургические отходы рассматриваются как вторичное сырьё, подлежащее переработке и повторному использованию. Это особенно важно в условиях сохранности природных ресурсов, повышения требований к экологической безопасности, а также в контексте декарбонизации и «зелёной» трансформации промышленности. В то же

время внедрение технологий вторичного извлечения металлов позволяет снизить затраты на добычу первичного сырья, уменьшить объёмы захоронения отходов и снизить риски загрязнения почв и водных объектов тяжёлыми металлами.

Бывший Шымкентский свинцовый завод, как представитель металлургического предприятия Южного Казахстана, оставил после себя большое количество отходов. Так, во время Великой Отечественной войны на заводе выпускали до 70% свинца, необходимого для нужд Советского Союза, что было крайне важно для военной промышленности. Эти отходы, содержащие свинец, кадмий и другие металлы, представляют собой не только экологическую опасность, но и ресурсный потенциал, способный внести вклад в развитие ресурсосберегающей экономики. В мировой практике переработка металлургических отходов является важной задачей, направленной на повышение ресурсной эффективности и минимизацию экологических последствий (Reuter, et al, 2013; Kenzhaliyev, et al, 2024). В этом контексте достижения в области гидрометаллургических и пирометаллургических процессов стали ключевыми для повышения эффективности восстановления металлов. Так, работы (Tzanetakis, et al, 2007; Shen, et al, 2003) демонстрируют, как передовые методы выщелачивания улучшают извлечение меди, в то время как исследования в работе (Borra, et al, 2016) показывают эффективность пирометаллургических методов для восстановления цинка и свинца из отходов сталеплавильного производства. Также следует отметить, что особое внимание уделяется гранулометрическому составу перерабатываемых шлаков, поскольку размер частиц влияет на эффективность извлечения металлов при флотации, выщелачивании и других методах обогащения. Метод флотации остаётся одним из наиболее селективных и промышленных способов извлечения цветных и драгоценных металлов из шлаков (Roy, et al, 2015; Tian, et al, 2021). Помимо флотации, в мировой практике применяются и другие методы — рентгенофлуоресцентная сортировка, магнитная сепарация, биовыщелачивание, что подчёркивает мультидисциплинарный характер современных подходов к переработке техногенных минеральных образований. (Karimov, et al, 2021; Kölling, et al, 2024, Marwa, et al, 2023, Pereira, et al, 2025). Эти примеры подчеркивают, что переход к циркулярной экономике требует активного вовлечения отходов в производственные циклы, что поддерживает уменьшение объемов полигонных отходов и создает основу для промышленного роста (Oterdoom, et al, 2019). Таким образом, шлак бывшего Шымкентского свинцового завода накопившегося в шлакоотвалах предприятия, представляет собой большой интерес для вторичной переработки благодаря содержанию ценных металлов и возможности его последующего использования в строительной отрасли.

Целью данного исследования является оценка содержания элементного состава шлаков для последующего вторичного извлечения цветных, драгоценных и редкоземельных металлов. Это позволит не только минимизировать экологические последствия, связанные с накоплением отходов, но и повысить экономическую ценность шлака за счет извлечения ценных компонентов.

Объекты и методы исследования. Для осуществления поставленной выше

цели были отобраны образцы шлака из шлакоотвала бывшего Шымкентского свинцового завода весом ~30 кг. Пробы шлаков отбирались согласно ГОСТу 28168-89 "Отбор проб почвы". Отбор проб отходов производился методом укола с глубиной 0-5 см на площади 100 см² (GOST 28168-89 "Otbor prob pochvy"). Далее пробы были отправлены в лабораторию в отдельно расфасованном, герметично упакованном виде во избежание перекрестного загрязнения и промаркированы. После получения пробы много раз перемешивали на чистой поверхности с помощью лопатки и в итоге получили необходимый нам комбинированный вид (Рисунок 1).



Рисунок 1 - Образец шлака, отправленный в лабораторию НАО "Университет имени Шакарима города Семей"

Отобранные пробы шлака весом не менее 10 кг просушивались на воздухе до воздушно-сухого веса. Влажные пробы сушились в сушильном шкафу при температуре 105°C в течение 3-6 часов. Воздушно - сухие пробы отходов металлургических производств просеивались через сито (полиамидное) с диаметром отверстий 1 мм. Методом квартования отбирался образец массой 600 г и истирался на вибростенде СВУ-2 в течение 20 минут. Далее отбирали методом квартования из перемолотого гомогенного образца конечную навеску для анализа массой 5 г.

Для определения валового состава химических элементов проводили полное кислотное разложение данных образцов в тefлоновых стаканах согласно методическим указаниям (Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza, 2011).

Растворение образцов проводили в тefлоновых стаканах. Масса каждого образца составляла 100 мг. В каждой партии вместе с анализируемыми растворами проводили разложение одного контрольного образца, а также одного стандартного образца. В каждый тefлоновый стакан перед началом разложения добавляли по 0,1 см³ растворов, содержащих по 8 мкг/дм³ ¹⁴⁶Nd, 5 мкг/дм³ ¹⁶¹Dy и 3 мкг/дм³ ¹⁷⁴Yb. Одновременно в чистый тубус также вносили по 0,1 см³ растворов, содержащих по 8 мкг/дм³ ¹⁴⁶Nd, 5 мкг/дм³ ¹⁶¹Dy и 3 мкг/дм³ ¹⁷⁴Yb добавили по 0,5 см³ HNO₃ и

использовали для контроля за стадией растворения по методу «введено-найдено».

В тефлоновых стаканах образцы смачивали несколькими каплями воды для лабораторного анализа и добавляли $0,5 \text{ см}^3 \text{ HClO}_4$, $3 \text{ см}^3 \text{ HF}$ и $0,5 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3$. Стаканы ставили на плитку, закрывали тефлоновыми крышками типа «часовое стекло» и прогревали в течение 30 минут при температуре 130°C . Затем крышки снимали и растворы упаривали до появления интенсивных белых паров хлорной кислоты при температуре $170\text{--}180^\circ\text{C}$.

Обмывали стенки охлажденных стаканов 2 см^3 воды и полученные растворы снова упаривали до влажных солей. Затем в каждый стакан добавляли по $2 \text{ см}^3 \text{ HCl}$ и $0,2 \text{ см}^3 0,1 \text{ М}$ раствора H_3BO_3 и растворы упаривали до объема $0,7 \text{ см}^3$. Полученные растворы перенесли в полипропиленовые тубусы, добавили $0,2 \text{ см}^3$ раствора, содержащего $1 \text{ мкг/дм}^3 \text{ In}$ (внутренний стандарт), и довели объем полученных растворов деионизованной водой до 20 см^3 . Непосредственно перед анализом все растворы, полученные после кислотного разложения, разбавили в 5 раз деионизованной водой. Разбавление проб проводили с использованием дозатора с одноразовыми наконечниками или при помощи мерных пипеток и бюретки.

Проведение аналитических работ. Определение содержания химических элементов проводился методами масс-спектрометрии (ИСП-МС) и атомно-эмиссионной спектрометрии (ИСП-АЭС) с индуктивно-связанной плазмой с использованием квадрупольного масс-спектрометра Agilent – 7700х фирмы «Agilent Technologies», а также атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой «iCAP 6300 Duo» фирмы Thermo Scientific.

Для построения калибровочных графиков использовались мультиэлементные стандартные растворы: Quantum 14 и IV-ICPMS-71A. Контроль качества измерений осуществлялся путём измерения калибровочного раствора через каждые 10 проб. При неудовлетворительном результате калибровки (отклонение калибровочного графика на 8-10%) проводилась перекалибровка прибора, при которой учитывались новые параметры фона.

Анализ был выполнен в соответствии со стандартной методикой ISO 17294-2:2003 (Е). Экспериментальные данные обрабатывались с использованием вариационно-статистического, корреляционного и регрессионного методов, применяемых программ STATISTICA и Microsoft Excel (Berestneva O.G., et al, 2003; Plokhinskiy, 1970).

Результаты исследований и их обсуждение. Шлакоотвал свинцового производства расположен напротив свинцового завода на левом берегу р. Бадам и представляет собой усеченную конусообразную гору из сыпучего гранулированного шлака черного цвета в основном с размером гранул от 0,5 до 15 мм. Однако встречаются куски шлака с размером до 60-70 мм. Объем шлака в терриконе составляет 988924 м^3 (Nauchno-tekhnicheskii otchet, 2014) (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Шлакоотвал бывшего Шымкентского свинцового завода

Общий вес шлака в шлакоотвале по результатам проведенных исследований составляет: $988924 \text{ м}^3 \times 1,92 \text{ т/м}^3 = 1898734$ тонн. Определение насыпной плотности проводили по СТ РК 1217-2003. Насыпная плотность шлака в пробах составляла от 1,82 до 2,05 т/м³. Усредненная насыпная плотность шлака в шлакоотвале равна 1,92 т/м³ (Таблица 1).

Таблица 1 – Основные характеристики исходного материала

Наименование	Единица измерения	Количество
Усредненная насыпная плотность	т/м ³	1,92
Общий вес в шлакоотвале	т	1898734
Объем в шлакоотвале	м ³	988924

Для более детального изучения образцов отходов металлургического производства, взятых с объектов бывшего Шымкентского свинцового завода, был проведен полный элементный анализ на содержание более 40 химических элементов методами ИСП-МС и ИСП-АЭС. В ходе исследования были проанализированы пробы относящихся к различным этапам производства (шлак и концентрат, полученный с этого шлака), с целью определения содержания макро-, микро- и редкоземельных элементов, а также благородных металлов. Усредненные данные о содержании элементов с учетом расширенной неопределенности измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Элементный состав проб отходов металлургических производств, мг/кг

№	Элемент	Шлак (Т-1)	Концентрат (Т-2)
1.	Be	<0,002	1,7±0,3
2.	*Na	11000±1400	5000±650
3.	*Mg	18000±2300	7700±1000
4.	*Al	40000±5300	14000±1800
5.	*K	11000±1400	3900±520
6.	*Ca	94000±12000	43000±5600

№	Элемент	Шлак (Т-1)	Концентрат (Т-2)
7.	V	<0,2	54±8
8.	Cr	<0,1	120±19
9.	*Mn	4400±580	3100±400
10.	*Fe	260000±33000	280000±37000
11.	Co	<0,2	220±30
12.	Ni	<0,2	230±34
13.	*Cu	5100±670	140000±18000
14.	Zn	<0,2	41000±6200
15.	As	<0,02	340±50
16.	Se	<0,1	170±25
17.	Rb	<0,02	20±3
18.	Sr	<0,02	480±70
19.	Ag	<0,02	190±28
20.	Cd	<0,02	12,0±2,0
21.	Cs	<0,002	1,2±0,2
22.	Ba	13000±1800	100±13
23.	La	<0,002	8,2±1,2
24.	Ce	<0,002	25±4
25.	Pr	<0,002	2,5±0,4
26.	Nd	<0,002	11±2
27.	Sm	<0,002	2,1±0,4
28.	Eu	<0,002	<0,002
29.	Gd	<0,002	2,4±0,4
30.	Dy	<0,002	2,1±0,4
31.	Ho	<0,002	0,4±0,1
32.	Er	<0,002	1,4±0,2
33.	Yb	<0,01	1,5±0,3
34.	Lu	<0,002	0,19±0,03
35.	*Pb	860±110	7100±930
36.	Th	<0,01	5,0±0,8
37.	U	<0,01	4,9±0,8
38.	Rh	<0,002	0,48±0,07
39.	Pd	2,4±0,3	1,5±0,2
40.	Te	<0,002	<0,002
41.	Pt	<0,002	<0,002
42.	Au	<0,002	5,3±0,2

Примечание: приведенная в таблице расширенная неопределенность измерений вычислена с коэффициентом охвата равным двум, что дает уровень достоверности приблизительно 95 %

Шлак бывшего Шымкентского свинцового завода характеризуется высоким содержанием макроэлементов: Ca (94000±12000 мг/кг), Al (40000±5300 мг/кг), Mg (18000±2300 мг/кг) и т.д. Содержание Fe достигает 260000±33000 мг/кг, а Cu – 5100±670 мг/кг, что делает данный шлак перспективным для вторичной переработки. При этом содержание Zn, а также токсичных элементов, таких как As и Se, крайне низкое (менее 0,2 мг/кг). Благородные металлы практически отсутствуют.

Концентрат является наиболее ценным материалом с точки зрения содержания металлов: Cu – 140000 ± 18000 мг/кг, Zn – 41000 ± 6200 мг/кг, Fe – 280000 ± 37000 мг/кг. Обнаружено Au с содержанием $5,3 \pm 0,2$ мг/кг и Pd – $1,5 \pm 0,2$ мг/кг, что указывает на высокий потенциал для извлечения благородных металлов. Также выявлены редкоземельные элементы: Ce – 25 ± 4 мг/кг, Nd – 11 ± 2 мг/кг, La – $8,2 \pm 1,2$ мг/кг. Однако содержание U и тория Th также заметно, что требует учета при переработке.

Шлак (Т-1) был переработан с целью выделения концентрата (Т-2), который обладает высокой ценностью благодаря содержанию цветных, драгоценных и редкоземельных металлов. Оставшийся образец после выделения концентрата, может быть эффективно использован в строительной отрасли, например, для производства цемента, щебня или других строительных материалов. Такой подход позволяет максимально рационально использовать ресурсы, минимизируя отходы и снижая экологическую нагрузку.

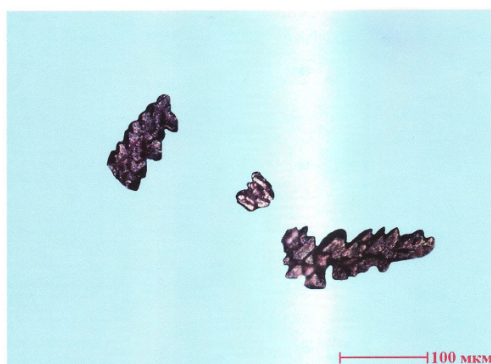
Результаты рационального анализа золота и серебра концентрата полученного с хвостов свинцового производства. В ходе рационального анализа был исследован концентрат хвоста свинцового производства для определения содержания золота и серебра, а также распределения золота по различным формам нахождения (Рисунок 3). Исследование включало количественную и морфологическую оценку зерен золота.

Общее содержание золота в пробе составило 0,07 г/т, серебра – 10,5 г/т. Также анализ выявил, что по распределению, золото присутствует в трех основных формах:

1. Свободное золото (28,6% от общего содержания): представлено в виде отдельных зерен, легко доступных для извлечения.
2. Ассоциированное с сульфидными минералами (42,8%): частично связано с сульфидами, что затрудняет его извлечение и требует применения специальных технологий переработки.
3. Ассоциированное с породой (28,6%): Золото находится в связанном состоянии, что также усложняет его извлечение.



а)



б)

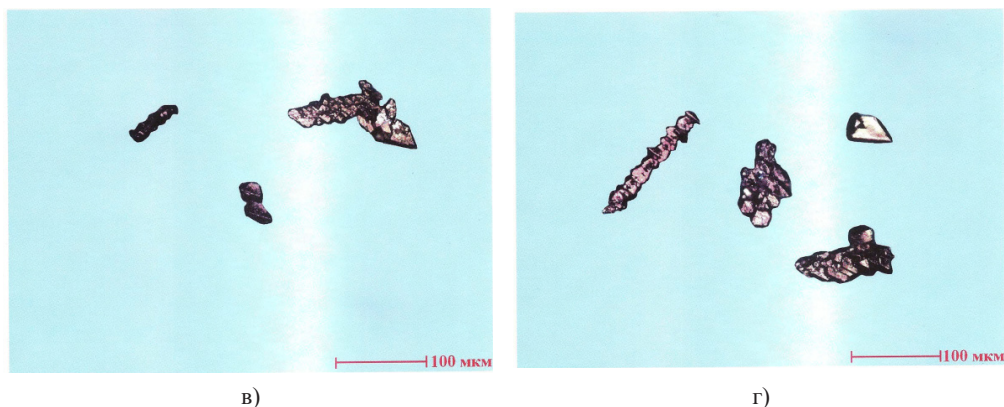


Рисунок 3 – Свободное золото с чистой поверхностью (а, б) и покрытое окисными пленками (в, г). Форма золотин – сростки октаэдров.

Размеры зерен свободного золота варьируются от 0,1 до 0,45 мм. На рисунках 3а-3г показаны формы зерен золота в амальгамах хвостов свинцового производства. Микроскопическое изображение демонстрирует зерна в масштабе 100 мкм, что позволило выявить мелкие детали их структуры и покрытия. На части зерен наблюдаются окисные пленки, которые могут быть результатом процессов окисления в ходе хранения или контакта с окружающей средой. Визуальный анализ показал следующие особенности:

- Зерна свободного золота с чистой поверхностью. Основная форма – сростки октаэдров;
- Зерна свободного золота, покрытые окисными пленками. Форма представлена как октаэдры, так и их сростки.

Следует отметить, что элементный анализ выявил содержание золота в концентрате на уровне 5,3 мг/кг и серебра — 190 мг/кг, что представляет собой количественные характеристики металлов в пробе. В свою очередь, рациональный анализ показал, что содержание золота составило 0,07 мг/кг, серебра — 10,5 мг/кг, учитывая их распределение в трех формах: свободное золото (28,6%), золото, ассоциированное с сульфидными минералами (42,8%), и золото, связанное с породой (28,6%). Несмотря на различия в количественных данных, оба анализа подтверждают наличие драгоценных металлов в образце, подчеркивая их уникальность для дальнейшей переработки.

Выводы

Анализ отходов металлургического производства бывшего Шымкентского свинцового завода показал, что шлак и концентрат, полученные в процессе переработки, имеют потенциал для вторичного использования. Анализ исходного шлака (Т-1) показал содержание железа до 260 000 мг/кг и меди до 5 100 мг/кг, что свидетельствует о его потенциале как вторичного сырья. Полученный в ходе переработки концентрат (Т-2) содержит в разы более высокие концентрации цветных металлов (медь — 140 000 мг/кг, цинк — 41 000 мг/кг), а также ценные

компоненты, включая золото (5,3 мг/кг), палладий (1,5 мг/кг) и редкоземельные элементы (церий, неодим, лантан и др.), что значительно повышает его экономическую привлекательность. Наличие драгоценных металлов подтверждено как инструментальными методами (ИСП-МС, ИСП-АЭС), так и рациональным анализом, согласно которому золото распределено между свободной формой (28,6 %), формой, связанной с сульфидами (42,8 %), и формой, связанной с породой (28,6 %). Установленная морфология нахождения золота имеет ключевое значение при выборе дальнейших методов его извлечения. Эти элементы могут быть выделены с использованием современных гидрометаллургических и пирометаллургических технологий. Оставшийся образец после выделения концентрата, может быть эффективно использован в строительной отрасли, например, для производства цемента, щебня или других строительных материалов. Полученные результаты формируют основу для разработки комплексной технологии извлечения цветных, драгоценных и редкоземельных металлов с последующей утилизацией остаточных масс. Вторичная переработка накопленных техногенных отходов бывшего Шымкентского свинцового завода представляет собой реальный шаг к реализации принципов устойчивого развития. Этот подход не только сводит к минимуму отходы металлургического производства, но и снижает экологическую нагрузку, вовлекая остаточные материалы в хозяйственный оборот.

Элементный и рациональный анализ подтверждают наличие драгоценных металлов, таких как золото и серебро, в концентрате. Элементный анализ обеспечивает контроль содержания металлов, тогда как рациональный анализ определяет форму их нахождения, что очень важно для выбора дополнительных методов извлечения.

Таким образом, переработка отходов Шымкентского свинцового завода может стать предпосылкой на пути к обеспечению циркулярной экономики, способствуя восстановлению природных ресурсов и снижению экологических рисков. Будущие исследования должны быть направлены на разработку технологий, позволяющих максимально эффективно использовать ценные компоненты, а также безопасно и разумно использовать шлак в строительной отрасли.

*Работа проведена при финансовой помощи Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант BR24993178 «Разработка инновационной технологии переработки вторичных ресурсов – отходов металлургических производств, побочных продуктов нефтепереработки и нефтедобычи».

Литература

- Borra C.R., Blanpain B., Pontikes Y., Binnemans K., & Van Gerven T. (2016). Recovery of valuable metals from metallurgical and metal-containing waste. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(1). — P. 28-37.
- ISO 17294-2:2003 (E) (2005) «Качество воды. Применение масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Часть 2: Определение 62 элементов»
- Karimov K., Turakhodjaev N., Akhmedov A., & Tashbulatov S. (2021). A mathematical model of the technology of extraction of copper from industrial slags. *E3S Web of Conferences*, 04077. — 264 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404077>

Kenzhaliyev B.K. (2019). Innovative technologies providing enhancement of non-ferrous, precious, rare and rare earth metals extraction. *Complex Use of Mineral Resources*, 310(3). — P. 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>

Kölking M., Flamme S., Heinrichs S., Schmalbein N., & Jacob M. (2024). More resource efficient recycling of copper and copper alloys by using X-ray fluorescence sorting systems. *Waste Management & Research*, 42(9). — P. 814-822. <https://doi.org/10.1177/0734242X241241601>

Marwa A. (2023). Effect of particle size on leachate formation characteristics from gold mine waste rocks. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 27(11). — P.2387–2392. <https://doi.org/10.4314/jasem.v27i11.4>

Oterdoom H., & Swain B. (2019). Circular economy and resource recovery from metallurgical waste. *Resources, Conservation & Recycling*, 144. — P. 110-117.

Pereira G.V. d. A., Pereira W.V. d. S., Ramos S.J., Guimarães J.T.F., Covre W.P., Dias Y.N., & Fernandes A.R. (2025). Bioavailable and bioaccessible fractions of potentially toxic elements in copper mining wastes in the Southeastern Amazon. *Minerals*, 15. — 140 p. <https://doi.org/10.3390/min15020140>

Reuter M.A., Hudson C., van Schaik A., Heiskanen K., Meskers C. E., & Hagelüken. — C. (2013). *Metal recycling: Opportunities, limits, infrastructure*. Springer.

Roy S., & Rehani S. (2015). Flotation of copper sulphide from copper smelter slag using multiple collectors and their mixtures. *International Journal of Mineral Processing*. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.08.008>

Shevko V., Makhanbetova B., Aitkulov D., Badikova A., & Amanov D. (2024). Thermodynamic and experimental substantiation of comprehensive processing of zinc sulfide ore and Its Concentration Tailings to Extract Non-Ferrous Metals and Produce a Silicon Ferroalloy. *Minerals*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/min14080819>

Shen H., & Forssberg E. (2003). An overview of recovery of metals from slags. *Waste Management*, 23(10). — P. 933-949.

Tian, H., Guo, Z., Pan, J., Zhu, D., Yang, C., Xue, Y., Li, S., & Wang, D. (2021). Comprehensive review on metallurgical recycling and cleaning of copper slag. *Resources, Conservation & Recycling*, 105366. — 168 p. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec>

Tzanetakis N., & Agatzini-Leonardou S. (2007). Process for recovery of copper from metallurgical wastes. *Hydrometallurgy*, 85(1). — P. 70-80.

Архипов А.В., & Решетняк С.П. (2017). Техногенные месторождения: разработка и формирование. ФАНО России, Кольский научный центр РАН.

Берестнева О.Г., Муратова Е.А., & Уразаев А.М. (2003). Компьютерный анализ данных: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ.

ГОСТ 28168-89. Отбор проб почвы.

Кенжалиев Б.К., Омирбек Т.С., Беркинбаева А.Н., Саулебеккызы Ш., & Толегенова Н.М. (2024). Извлечение цинка из промышленного клинкера с помощью микроволновой обработки: оптимизация фазовых преобразований и повышение эффективности выщелачивания. *Известия НАН РК. Серия химии и технологий*, 4(461). — С. 94-110.

Методика количественного химического анализа. (2011). Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами с индуктивно-связанной плазмой. Москва.

Научно-технический отчет. (2014). Разработка паспорта отходов свинцового производства, расположенного на левом берегу р. Бадам, г. Шымкент (№ 59 от 28 марта 2014 г.).

Плохинский Н.А. (1970). Биометрия. Москва: Изд-во МГУ.

Сагдеева Г.С., & Патракова Г.Р. (2014). Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала. *Вестник Казанского технологического университета*, (6). — С.194-198.

References

Arkhipov A.V., & Reshetnyak S.P. (2017). *Tekhnogennyye mestorozhdeniya: razrabotka i formirovaniye* [Technogenic deposits: development and formation]. FANO Rossii, Kol'skiy nauchnyy tsentr RAN. (in Russian)

Berestneva O.G., Muratova Ye.A., & Urazayev A.M. (2003). Komp'yuternyy analiz dannykh: Uchebnoye posobiye [Computer data analysis: A tutorial]. Tomsk: Izd-vo TPU. (in Russian)

Borra C.R., Blanpain B., Pontikes Y., Binnemans K., & Van Gerven T. (2016). Recovery of valuable metals from metallurgical and metal-containing waste. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(1). — P. 28-37. (in English)

GOST 28168-89. Otbor prob pochvy [Soil sampling]. (in Russian)

ISO 17294-2 2003 (E) (2005) «Kachestvo vody. Primeneniye mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy (ISP-MS) [Water quality - Applications of inductively coupled plasma mass spectrometry]. Chast' 2: Opredeleniye 62 elementov» (in Russian)

Karimov K., Turakhodjaev N., Akhmedov A., & Tashbulatov S. (2021). A mathematical model of the technology of extraction of copper from industrial slags. *E3S Web of Conferences*, 04077. — 264 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404077> (in English)

Kenzhaliyev B.K. (2019). Innovative technologies providing enhancement of non-ferrous, precious, rare and rare earth metals extraction. *Complex Use of Mineral Resources*, 310(3). — P.64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30> (in English)

Kenzhaliyev B.K., Omirbek T.S., Berkinbayeva A.N., Saulebekkyzy SH., & Tolegenova N.M. (2024). Izvlecheniye tsinka iz promyshlennogo klinkera s pomoshch'yu mikrovolnovoy obrabotki: optimizatsiya fazovykh preobrazovaniy i povysheniye effektivnosti vyshchelachivaniya [Zinc extraction from industrial clinker using microwave treatment: optimization of phase transformations and increase in leaching efficiency]. *Izvestiya NAN RK. Seriya khimii i tekhnologiy*, 4(461). — P. 94–110. (in Russian)

Kölking M., Flamme S., Heinrichs S., Schmalbein N., & Jacob M. (2024). More resource efficient recycling of copper and copper alloys by using X-ray fluorescence sorting systems. *Waste Management & Research*, 42(9). — P. 814-822. <https://doi.org/10.1177/0734242X241241601> (in English)

Marwa A. (2023). Effect of particle size on leachate formation characteristics from gold mine waste rocks. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 27(11). — P. 2387-2392. <https://doi.org/10.4314/jasem.v27i11.4> (in English)

Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza. (2011). Opredeleniye elementnogo sostava gornykh porod, pochv, gruntov i donnykh otlozheniy atomno-emissionnym i mass-spektral'nym metodami s induktivno-svyazannoy plazmoy [Determination of the elemental composition of rocks, soils, grounds and bottom sediments by atomic emission and mass spectral methods with inductively coupled plasma]. Moskva. (in Russian)

Nauchno-tehnicheskiiy otchet. (2014). Razrabotka pasporta otkhodov svintsovogo proizvodstva, raspolozhennogo na levom beregu r. Badam, g. Shymkent [Development of a passport for waste from lead production located on the left bank of the Badam River, Shymkent]. (in Russian)

Oterdoom H., & Swain B. (2019). Circular economy and resource recovery from metallurgical waste. *Resources, Conservation & Recycling*, 144. — P. 110-117. (in English)

Pereira G.V. d. A., Pereira W.V. d. S., Ramos S.J., Guimarães J.T.F., Covre W.P., Dias Y.N., & Fernandes A.R. (2025). Bioavailable and bioaccessible fractions of potentially toxic elements in copper mining wastes in the Southeastern Amazon. *Minerals*, 15. — 140p. <https://doi.org/10.3390/min15020140> (in English)

Plohinskij N.A. (1970). Biometriâ [Biometrics]. Moskva: Izd-vo MGU. (in Russian)

Reuter M.A., Hudson C., van Schaik A., Heiskanen K., Meskers C.E., & Hagelüken C. (2013). *Metal recycling: Opportunities, limits, infrastructure*. Springer. (in English)

Roy S., & Rehani S. (2015). Flotation of copper sulphide from copper smelter slag using multiple collectors and their mixtures. *International Journal of Mineral Processing*. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.08.008> (in English)

Sagdeyeva G.S., & Patrakova G.R. (2014). Pererabotka otkhodov proizvodstva i potrebleniya s ispol'zovaniyem ikh resursnogo potentsiala [Recycling of production and consumption waste using their resource potential]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. — P.194-198. (in Russian)

Shevko V., Makhanbetova B., Aitkulov D., Badikova A., & Amanov D. (2024). Thermodynamic and experimental substantiation of comprehensive processing of zinc sulfide ore and Its Concentration Tailings to Extract Non-Ferrous Metals and Produce a Silicon Ferroalloy. *Minerals*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/min14080819> (in English)

Shen H., & Forssberg E. (2003). An overview of recovery of metals from slags. *Waste Management*, 23(10). — P. 933-949. (in English)

Tian H., Guo Z., Pan J., Zhu D., Yang C., Xue Y., Li S., & Wang D. (2021). Comprehensive review on metallurgical recycling and cleaning of copper slag. *Resources, Conservation & Recycling*, 105366. — 168 p. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105366> (in English)

Tzanetakis N., & Agatzini-Leonardou S. (2007). Process for recovery of copper from metallurgical wastes. *Hydrometallurgy*, 85(1). — P. 70-80. (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 198–213

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.291>

УДК 621.744.3: 544.777

МПНТИ 55.15.19

© **K.T. Mukhanbetzhanova, N.A. Satybaeva, K. Kuptleuova, 2025.**

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University,
Oral, Kazakhstan.

E-mail: karlam1994@mail.ru

POLYMER-COLLOIDAL COMPLEX NEW BINDING MATERIAL FOR MAKING MOULDS AND RODS

K. Mukhanbetzhanova — master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Oral, Kazakhstan,

E-mail: karlam1994@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4462-4300>;

N. Satybaeva — senior Lecturer West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Oral, Kazakhstan,

E-mail: Satybaeva_nur@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4462-4300>;

K. Kuptleuova — senior lecturer at the Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technological University, Oral, Kazakhstan,

E-mail: kenzhe73-73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9631-2831>

Abstract. The article presents data on the study of the polymer of the colloidal complex as a binding material for the manufacture of molds and cores. As a binding material (sand copolymer), the results of experimental studies of the colloidal complex polymer are given in the mixture. The paper assesses the possibility of using this binding material in foundry for the manufacture of disposable molds and rods. With the development of modern technological processes, the reduction of foundry production aimed at improving new properties of components and product quality for use in the production of casting molds and rods, reducing labor intensity, as well as the presence of work operations harmful to health. In turn, the search for new binders is an urgent task with high-tech strength properties, as well as low cost. A new class of polycomplexes is of interest as a promising binder for the manufacture of molds and is the core of heating. Colloidal polymer complexes products of interaction of macromolecules with objects of colloidal size. The concept of them is the study of polyelectrolyte complexes, the development of studies of macromolecular interaction. Interest in them is constantly growing, flocculants, binders and coatings, ultra-thin membranes in fuel cells and hydrogen energy, biotechnology and microelectronics are practically used as a nanotechnology direction.

Keywords: binding materials, copolymers, moulding mixtures, electrostatic interaction

© Қ. Муханбетжанова, Н. Сатыбаева, К. Куптлеуова, 2025.

Жәңгір хан атындағы Батыс-Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,

БҚО, Орал, Қазақстан.

E-mail: karlam1994@mail.ru

ПОЛИМЕР-КОЛЛОИД КЕШЕНІ ҚҰЮ ҚАЛЫПТАРЫН ЖӘНЕ ӨЗЕКТЕРДІ ДАЙЫНДАУҒА АРНАЛҒАН ЖАҢА БАЙЛАНЫСТЫРУШЫ МАТЕРИАЛ

Қ. Муханбетжанова — техника ғылымдары магистрі, аға оқытушы, Жәңгір хан атындағы Батыс-Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
E-mail: karlam1994@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4462-4300>;

Н. Сатыбаева — аға оқытушы, Жәңгір хан атындағы Батыс-Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
E-mail: Sadybaeva_nur@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4462-4300>;

К. Куптлеуова — аға оқытушы, Жәңгір хан атындағы Батыс-Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
E-mail: kenzhe73-73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9631-2831>.

Аннотация. Мақалада құю қалыптарын және өзектерді дайындау үшін байланыстырушы материал ретінде коллоид кешенінің полимерін зерттеу деректері жазылады. Қоспадағы байланыстырушы материал (құм-сополимер) ретінде коллоид кешенінің полимерін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. Жұмыста осы байланыстырушы материалды құю өндірісінде бір реттік қалыптар мен өзектерді дайындау үшін пайдалану мүмкіндігіне баға берілді. Қазіргі заманғы технологиялық процестерді дамыту кезінде қалыптарды және өзектерді құю өндірісінде пайдалану үшін құрамдарының жаңа қасиеттері мен өнімнің сапасын жақсартуға, еңбек сыйымдылығын төмендетуге бағытталған құю өндірісін қысқарту, сондай-ақ денсаулыққа зиянды жұмыс операцияларының болуы өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Жоғары технологиялық беріктік қасиеттері бар сондай-ақ өзіндік құны төмен жаңа байланыстырғыш материалдарды іздеу өзекті міндет болып табылады. Поликомплексдердің жаңа класы қалыптарды дайындау үшін перспективалы байланыстырушы материал ретінде қызығушылық тудырады және жылмен қатайту өзектері болып табылады. Коллоидты полимерлік кешендер макромолекулалардың коллоидты көлемдегі объектілермен өзара әрекеттесу өнімдері болып табылады. Олар туралы түсініктер макромолекулярлық өзара іс-қимыл зерттеулерін дамыту полиэлектролит кешендерді зерттеу болып табылады. Оларға деген қызығушылық үнемі өсіп, нанотехнологиялық бағыт ретінде іс жүзінде пайдалану флокулянттар, байланыстырғыштар мен жабындар, отын элементтеріндегі ультра жұқа мембраналар және сутегі энергетикасы, биотехнологиялар және микроэлектроникада қолданылады. Бір реттік құм формалары мен өзектері үшін байланыстырушы материалдар ретінде коллоид

полимерін пайдалану осы материалды қолданудың жаңа бағыты болып табылады. Оны қолдану бірқатар артықшылықтарға ие: компоненттердің арзандығы, дайындау уақытының қысқалығы және қымбат құрал-жабдықтарды пайдаланбай жүзеге асырылады, сондай-ақ экологиялық қауіпсіздік, коллоидты полимер кешені су ерітіндісі болып табылады, құрамында денсаулыққа зиянды органикалық қосылыстар болмайды.

Түйін сөздер: байланыстырушы материалдар, сополимерлер, қалыптық қоспалар, электростатикалық өзара әрекеттесу

© К.Т. Муханбетжанова, Н.А. Сатыбаева, К.Т. Куптлеуова, 2025.

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет

имени Жангир хана,

E-mail: karlam1994@mail.ru

ПОЛИМЕРНО-КОЛЛОИДНЫЙ КОМПЛЕКС — НОВЫЙ СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

К. Муханбетжанова — магистр технических наук, старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан,
E-mail: karlam1994@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4462-4300>;

Н. Сатыбаева — старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан,
E-mail: Satybaeva_nur@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4462-4300>;

К. Куптлеуова — старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан,
E-mail: kenzhe73-73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9631-2831>.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования полимерно-коллоидного комплекса в качестве связующего материала для изготовления литейных форм и стержней. Рассматриваются свойства песчано-сополимерной смеси, полученной с использованием указанного связующего. Оценена возможность применения полимерно-коллоидного комплекса в литейном производстве для изготовления одноразовых форм и стержней. В условиях развития современных технологических процессов особенно актуальны задачи повышения качества компонентов, снижения трудоёмкости, улучшения экологических характеристик и отказа от вредных для здоровья рабочих операций. В этой связи поиск новых связующих материалов с высокими прочностными свойствами и низкой себестоимостью становится важным направлением научных разработок. Полимерно-коллоидные комплексы, представляющие собой продукты взаимодействия макромолекул с объектами коллоидного размера, рассматриваются как перспективный класс материалов. Особый интерес вызывают полиэлектролитные комплексы, развитие которых связано с углублением исследований в области макромолекулярных взаимодействий. Благодаря своим свойствам, такие материалы находят применение в нанотехнологиях:

в производстве флокулянтов, покрытий, ультратонких мембран, в топливных элементах, водородной энергетике, биотехнологиях и микроэлектронике. Новым направлением использования данных комплексов является применение их в качестве связующего компонента для разовых песчаных форм и стержней. Среди преимуществ можно выделить доступность и дешевизну компонентов, простоту технологии без применения дорогостоящего оборудования, а также экологическую безопасность. Коллоидно-полимерный комплекс представляет собой водный раствор и не содержит вредных органических соединений.

Ключевые слова: связующие материалы, сополимеры, формовочные смеси, электростатическое взаимодействие

Кіріспе. Құю өндірісінде құймаларды алу кезінде бір рет қолданылатын құм-сазды пішін мен өзектер пайдаланылады. Құю формасы мынадай негізгі компоненттерден тұрады: отқа төзімді толтырғыш – кварц құмы, байланыстырғыш материалдар; бентонитті немесе каолинді саз, органикалық су және технологиялық қоспалар; байланыстырғыштар пішін мен өзекке ылғалды және қатайған күйде беріктік қасиетін береді. Бұдан басқа, байланыстырушы материалдар мынадай технологиялық қасиеттерді қамтамасыз ету үшін қолданылады: иілгіштік, аққыштық және т.б. Негізгі артықшылығы олардың берік құрылымдардың пайда болуы мен қатаю қабілеті болып табылатын органикалық байланыстырушы материалдардың кеңінен таралуы жеңіл сыну және жеңілдетілген регенерацияны қамтамасыз ету қабілеті есебінен алынды. Алайда, мұндай байланыстырғыштардың белгілі кемшіліктері бар (Akhmetov, et al., 2002, Novakov, et al., 2007, Ozerin, et al., 2009), еңбектің санитариялық-гигиеналық жағдайларының нашарлауымен, жоғары газ шығарумен байланысты (Akhmadzhanov, et al., 1985). Сондықтан органикалық байланыстырғыш біршама артықшылықтарға ие және бұл ретте оларды жаңа байланыстырғыш материал ретінде қарастыру өзекті міндет болып табылады.

Полимерлік коллоидтар – бұл кең көлемдегі қолдану үшін әлеуеті бар күрделі материалдар. Олардың коммерциялық қолданудағы үздіксіз өсуінің негізгі бағыттарының бірі – олар әдетте синтезделетін су негізіндегі эмульсиялық полимерлеу процесі. Бұл әдіс тек өндіріс тұрғысынан жоғары тиімді ғана емес, сонымен қатар өте әмбебап болып табылады және реттелетін қасиеттері бар үлкен масштабтағы коллоидтық бөлшектерді өндіруге мүмкіндік береді. Осы тұрғыда біз полимерлік коллоидтарды синтездеу және қолданудағы негізгі мәселелерді, бар және туындап жатқан қолданулармен байланысты бөліп көрсетуге тырысамыз. Кейінірек біз жаңа қолдану салаларында жаңа полимерлік коллоидтарды әзірлеуге және қолдануға мүмкіндік беретін функцияларды анықтаймыз. Соңында, біз дәстүрлі емес өңдеу әдістерінде уникалды коллоидтық табиғатты қолданған соңғы тәсілдерді ұсынамыз (Zezin, et al., 1982, Kabanov, et al., 1991).

Құрамында су бар полимерлер немесе эмульсиялық полимерлер деп жиі аталатын полимерлер коллоидтері өнімнің кең ауқымында пайдаланылатын арнайы полимерлер болып табылады. Үлкен тоннадағы белгілі қолданулар

қағаз, тоқыма, былғары және құрылыс материалдарына арналған жабындарды, желімдерді, қоспаларды, пластмассаларға арналған соққы модификаторларын және тоқыма емес материалдарға арналған байланыстырғыштарды қамтиды. Басқа өнімдер жоғары қосылған құны бар қосымшаларға бағытталған, мысалы, косметика және денсаулық сақтау және т.б. Полимерколлоидтерді өндіру үшін негізгі синтетикалық технология, эмульсиялық полимерлеу болып табылады, ол полимультифазалық полимерлеу процесін білдіреді. Эмульсиясыз полимерлеу кезінде мономер тамшыларының бастапқы дисперсиясы судағы микрометрдің өлшемі нанометр өлшемі полимердің бөлшектерінің латеральді дисперсиясына айналады. 100 жылға жуық зерттеулерден кейін бұл әдіс соңғы эмульсиялық полимердің полимерлік (молярлық масса, макромолекулярлық құрылым және т.б.) және коллоидтық (бөлшектердің мөлшері бойынша бөлінуі, бөлшектердің морфологиясы және т.б.) қасиеттерін тамаша бақылау қасиеттерін ұсынады. Біріншісі қоршаған ортаның проблемаларымен және еріткіштер негізіндегі өнімдерді су негізіндегі материалдармен ауыстыруды ұйғаратын жаңа ережелермен тікелей байланысты (Zezin, et al., 1982; Kabanov, et al., 1991).

Бұл әсіресе жабындар мен адгезивтердегі эмульсиялық полимерлер нарығының өсуі үшін өзекті болды. Бұл жағдайда атап өтілгендей, ұшпа органикалық құрамға және неғұрлым орнықты өнімдерге ұмтылу біздің іргелі білімімізді жақсарту арқылы ғана шешуге болатын маңызды әлеуметтік проблема болып табылады. Екінші фактор бірегей қасиеттері бар коллоидты полимерлерді синтездеу үшін полимерлеу процесінің әмбебаптығына жатады. Күрделі құрылымдарды үлкен ауқымда синтездеу қабілеті эмульсиялық полимерлердің негізгі нарықтарына байланысты бірқатар техникалық проблемаларды еңсеруге көмектесіп қана қоймай, сондай-ақ коллоидты полимерлерді бірнеше жаңа салаларда қолдануға көмектесуі тиіс. Эмульсиялық полимеризацияның өсуімен байланысты соңғы фактор процестің масштабталуымен байланысты; радикалдарды наноөлшемді бөлшектерде бөліктерге бөлу полимерлеудің жоғары жылдамдығына және полимерлердің жоғары молярлық массасына әкеледі, оларды қандай да бір күрделі проблемаларсыз тұтқырлықпен өңдеуге болады, ал су мен диспергирлеуші ортаны пайдалану полимерлеу кезінде жылуды тиімді жоюға мүмкіндік береді. Өнеркәсіптік ауқымда коллоидты полимерлерді синтездеудің неғұрлым танымал әдістемесі болып қалатын эмульсиялық полимерлеуге қосымша кейбір арнайы өнімдер үшін сондай-ақ қысымсыз орталарда полимерлеудің бірқатар басқа да процестері пайдаланылады. Осылайша, полиакриламид (топырақты баптау және майды жақсартылған қалпына келтіру үшін пайдаланылатын) және полиакрил қышқылы (бір рет пайдаланылатын жөргектер мен салфеткаларда пайдаланылатын жоғары сіңіргіш материал) сияқты суда толығымен еритін полимерлер инверстік эмульсиялық полимерлеу жолымен алынады. Миниэмульсиялық полимерлеу алдын ала қалыптасқан полимерлер, жоғары гидрофобты мономерлер және бейорганикалық бөлшектер сияқты суда ерімейтін материалдар бөлшектері полимерлік технологиясына қосылғанда пайдаланылады. Мұнда әсіресе кері деактивациямен радикалды полимеризацияны жүзеге асыру үшін пайдалы.

Бұдан басқа, дисперсиялық полимерлеу микронды мөлшердегі дисперсияларды алу үшін пайдаланылады. Кері микроэмульсиялық полимерлеу негізінен жоғары молекулалы массаланатын полимерлерді синтездеу үшін пайдаланылады, суларды өңдеу кезінде флокулянттар ретінде суспензиялық полимерлеу поли (винилхлорид) және көбіктенетін полистирол басқа да көптеген тауарлық полимерлер арасында кеңінен қолданылады. Алайда, бұл процесте полимерлеу радикалдардың бөлінуі жоқ үлкен мономердің тамшыларында болады, демек, полимерлердің сипаттамалары массада алынғандарға ұқсас. Бұдан басқа, бұл коллоидтық өлшемдер диапазонынан тыс жатқан және осы перспективада бұдан әрі талқыланыбайтын сополимер бөлшектерін алуға әкеледі. Коллоидты полимерлердің коммерциялық табысының себептерінің бірі олардың әмбебаптығы және синтез процесінде түпкілікті материалдың қасиеттерін реттеу қабілеті болып табылады. Мысалы, осы латекстік жүйенің түпкілікті қасиеттеріне полимерлік композиция, химиялық құрамның бөлінуі, массаның молярлық бөлінуі, полимерлік құрылым, егу, тігу, бөлшектердің өлшемін бөлу, бөлшектердің гранулометриялық құрамы мен бетінің құрамы әсер етуі (және бақылануы) мүмкін (Zezin et al., 1982; Kabanov, et al., 1991).

Белгілі бір қосымшаларда осы қасиеттердің кейбірінің прецеденттік артықшылығы болады. Мысалы, қысымға сезімтал адгезивтер ретінде қолдану кезінде массаның молярлық таралуы мен полимерлік құрылымы бірінші дәрежелі мәнге ие, өйткені олар желімнің реологиялық реакциясын талап етеді. Керісінше, жабындарда пайдаланылатын көптеген эмульсиялық сополимерлер үшін бөлшектердің морфологиясы механикалық қасиеттерін бақылау үшін пайдаланылатын бастапқы параметр болып табылады және молярлық массаларды бөлудің екінші дәрежелі мәні бар. Төменде егжей-тегжейлі сипатталғандай, құрылымдық сипаттамалардың бұл диапазоны полимерлік коллоидтерді ағымдағы коммерциялық қолданулармен салыстырғанда әртүрлі қолданулардың ауқымды диапазонында әлеуетті пайдалануға мүмкіндік береді. Екінші жағынан, бұл күрделілік проблема болып табылады. Осы бағдарламаға қатысты бірнеше (жиі қайшы келетін) сипаттар қажет. Мысалы, қысымға мінсіз сезімтал желімнің жақсы жабысқақтығы және қабыршақтану мен жылжуға жоғары кедергісі болуы тиіс. Өкінішке орай, жақсартылған жылжуға кедергі келтіретін көптеген параметрлер, мысалы, моляр массасын және/немесе полимерді тігу тығыздығын ұлғайту арқылы, қасиеттердің нашарлауына әкеледі. Бірақ 20 миллионнан астам. (ылғалды) тонналардың коллоидты полимерлері жыл сайын өндіріледі, коллоидты полимерлер мен олардың өндірілетін процесі туралы, сондай-ақ оларды қолданудың жаңа салаларында ықтимал пайдалану туралы әлі көп нәрсе білу керек. Осы перспективада біз полимерлік коллоидтерді синтездеу мен пайдаланудағы ағымдағы проблемалар және зерттеулердің болашақ бағыттары туралы пікірімізді қорытуға тырысамыз. Ескі шешілмеген проблемалар полимеризацияны басқаратын тетіктерді толық білуді, іске қосудан іске қосуға дейінгі өнімділікпен күресу үшін процесті онлайн-бақылауды және полимердисперсия пленкаға айналатын тетікті түсінуді қамтиды. Осыдан кейін

біз полимерлік коллоидтердің неғұрлым тұрақты синтезіне және қызмет ету мерзімінің соңында оларды басқаруды жақсарту нұсқаларына көшуге назар аударамыз. Кейіннен біз жаңа функционалдық мүмкіндіктері бар полимерлік коллоидтерді синтездеу және косметика және денсаулық сақтау, энергетика, CO₂ ұстау сияқты жаңа салаларға экспансия жасау жөніндегі кейінгі әзірлемелерді талқылаймыз. Ақырында, біз коллоидты полимерлерді өндеудің электроформалау және аддитивті өндіріс сияқты баламалы тәсілдерін бөліп қараймыз (Kabanov, et al., 1994).

Қоспалар құрамында перспективалық байланыстырушы материал ретінде қолдануға болатын поликомплексстердің жаңа класы қызығушылық тудырады. Полимерлі коллоидты кешендер (ПКК) коллоидты өлшемдегі объектілер мен макромолекулалардың өзара әрекеттесу өнімдері болып табылады. Олар туралы түсінік макромолекулярлық өзара іс-қимыл зерттеулерін дамыту негізінде пайда болды, бұл ретте полиэлектролиттік кешендер (ПЭК) пайда болды (Gil'manshina et al., 1985, Zhukovskii, et al., 2010).

ПЭК-ге қызығушылық оларды практика жүзінде флокулянттар, байланыстырғыштарменжабындар,отынэлементтеріменсүтегіэнергетикасындағы ультра жұқа мембраналар ретінде және сонымен қатар биотехнология мен микроэлектроникада іс жүзінде пайдалану -нанотехнологиялық бағыттың дамуымен үнемі өсуде (Korovina, 2003; Zemskov, 2019)

Құю өндірісінде қалыптар мен өзектерді дайындауда пайдаланылатын дәстүрлі байланыстырушылар (бентонит сазы, фенолформальдегид шайырлары) экологиялық және технологиялық шектеулерге ие. Осыған байланысты жаңа буын материалдарын, соның ішінде полимер-коллоидты кешендерді қолдану өзекті мәселе болып отыр (Korovina, 2003; Zemskov, 2019).

Мақалада полимер-коллоидты кешендердің (ПКК) құю өндірісінде қолданылатын қалыптық қоспалардағы байланыстырушы ретінде тиімділігі қарастырылды. ПКК негізіндегі байланыстырушы материалдар құйма қалыптары мен өзектерінің беріктігін арттыруға, экологиялық жүктемені төмендетуге мүмкіндік береді. Зерттеу барысында түрлі құрамдағы сополимер негізінде дайындалған қоспалардың құрылымы мен физика-механикалық қасиеттері талданды (Korovina, 2003, Zemskov, 2019). Металлополимерлік кешендер – бұл металдардың иондары полимерлік макромолекулалармен функционалдық топтар, мысалы, карбоксильді, аминді, гидроксильді және т.б. арқылы үйлестірілген қосылыстар.

Негізгі қасиеттері:

- Кешен құрастыру: металдар (көбінесе өтпелі) полимерлік тізбектермен байланысып, тұрақты үйлестіру құрылымдарын құрайды;
- Температура мен химиялық тұрақтылық: полимер мен металл арасындағы берік байланыстар есебінен;
- Механикалық беріктік: осындай кешендер материалдардың беріктік сипаттамаларын жақсарты алады;
- Функционалды белсенділік: катализдік, антимикробтық немесе ионалмасу қасиеттерін көрсетеді.

Қолдану:

- Катализаторлар (мысалы, органикалық синтезде және мұнай химиясында);
- Ионалмасу мембраналары мен сорбенттер (суды тазарту, медицинада);
- Жоғары термостойқлық пен тозуға төзімділікті арттырған материалдар (қаптапалар, композиттер);
- Медицина (дәрілерді жеткізуде және антимикробтық пленкаларда);
- Нанотехнологиялар (нановизуалдық материалдарды жасау үшін негіз ретінде). (Korovina, 2003; Zemskov, 2019)

Полиэлектролиттік кешендер шын мәнінде жоғары молекулалы қосылыстардың жаңа класына жатқызылады. Олар комплементарлық макромолекулалар немесе макромолекула мен өз бетінде реакциялық әдіс топтары бар бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесу өнімдері болып табылады және жиі жеке компоненттерге тән емес бірегей қасиеттерге ие (Zezin et al., 1982, Kabanov et al., 1991, Kabanov, et al., 1994). Синтетикалық полиэлектролиттердің химиясы мен физикохимиясына деген қызығушылықтың артуы олардың тиімділігі жоғары флокулянттар, коллоидты дисперсиялар құрылымын түзушілер мен тұрақтандырғыштар, ион алмастырғыш материалдар, ерекше сорбенттер, биологиялық белсенді қосылыстар және т.б. ретінде практикалық қолдану саласының үздіксіз кеңеюіне байланысты. Бұдан басқа, олардың көмегімен кейде биополимерлердің кейбір маңызды мінез-құлқын модельдеу мүмкін болады: ферменттер мен нуклеин қышқылдары (Zezin, et al., 1982).

Полиэлектролиттер реакцияға қабілетті полимерлер сыныбына жатады. Полиэлектролиттер түсетін реакциялардың ішіндегі ең қызықтылардың бірі су ерітінділеріндегі катионды және анионогенді макромолекулалар (поликислоталар, полинегіздер және олардың тұздары) арасындағы интерполимерлік тұздардың немесе олар жиі аталатын полиэлектролиттік кешендердің (ПЭК) пайда болуына әкелетін реакция болып табылады. Бұл реакцияның белгілі бір мағынада төмен молекулалы заттардың химиясында ұқсастығы жоқ, өйткені оның полимерлік өнімі - ПЭК - тұрақтылығы негізінен энтропиялық табиғат факторларымен шартталған қосылыс болып табылады (Zezin, et al., 1982).

Көп жағдайда полиэлектролиттік кешендер органикалық макромолекулалар негізінде алынды. Соңғы жылдары аралас органикалық-минералдық табиғат кешендерінің қасиеттерін синтездеуге және зерттеуге байланысты жұмыстар барған сайын көбейіп келеді. Бұл тұрғыдан перспективалы болып алюминий пентагидроксохлориді табылады, оның сипатты ерекшелігі су ерітінділерінде мицеллярлық құрылымдардың пайда болуы болып табылады (Zezin, et al., 1982; Kabanov, et al., 1991). Бұл ретте пайда болатын аквагидроксокомплексдер іс жүзінде бейорганикалық табиғаттың полимерлік бөлшектері болып табылады. Суда еритін полимерлермен олар жеке компоненттердің қасиеттерінен ерекшеленетін қасиеттерімен полимер-коллоидты кешендерге (ПКК) (Zezin, et al., 1982) ұқсас қосылыстар түзе алады. ПКК саласындағы зерттеулер ұдайы кеңейіп отырады, алайда мұндай кешендердің табиғаты мен түрлері барынша алуан түрлі, бұл оларды одан әрі зерттеу қажеттілігін айқындайды.

Материалдар және негізгі әдістер. Эксперименттік зерттеу барысында акриламид пен акрил қышқылының сополимерлерінен тұратын ПКК үлгілері дайындалды. Байланыстырушы ретінде СП-01, СП-06 және СП-08 маркалы сополимерлер пайдаланылды. Қоспалар кварц құмымен араласып, стандартты цилиндрлік үлгілерге қалыпталып, физика-механикалық сынақтарға ұшыратылды. Бір реттік құм формалары мен өзектері үшін байланыстырушы материалдар ретінде коллоид кешендерінің полимерін қолдану осы материалды пайдаланудың жаңа бағыты болып табылады. Оны қолдану бірқатар артықшылықтарға ие: компоненттердің арзандығы, дайындау көп уақытты алмайды және қымбат тұратын жабдықты пайдаланбай жүзеге асырылады, сондай-ақ экологиялық қауіпсіздік. ПКК су ерітіндісі болып табылады, құрамында денсаулыққа зиянды ешқандай органикалық қосылыстар жоқ. Сондай-ақ, құю қалыптарын кептіру және металмен құю процесінде ешқандай бөгде реакциялар мен зиянды газдардың бөлінуі болмайтынын атап өткен жөн. Ерітіндіні былайша дайындайды: құтыға акрил қышқылы мен акриламид сополимерінің 2% сулы ерітіндісін құйылады және араластырған кезде алюминийдің пентагидроксохлоридінің сұйытылған ерітіндісін қосады, алынған қоспаны араластырады және 2 сағатқа қалдырады. Пайда болған коллоид кешенінің полимер ерітіндісін кварц құмына байланыстырушы ретінде қосады. 1-суретте тұтқыр, түссіз, желе тәрізді масса болып табылатын коллоид кешенінің полимерінің сулы ерітіндісі көрсетілген. Барлық тәжірибелерде бидистилденген су қолданылды, полимерленгенге дейін аргон астында қайнатылды. "Serva" (USA) фирмалары екі рет қайта кристалданған акраламидті (с.д.а) пайдаланды. Калий персульфаты (h) қосымша тазартусыз қолданылды. ПГХА (алюминий пентагидроксохлориді) алюминий қорытпаларынан (Novikov, et al, 1997) әдісі бойынша сулы ерітінді түрінде алынады.

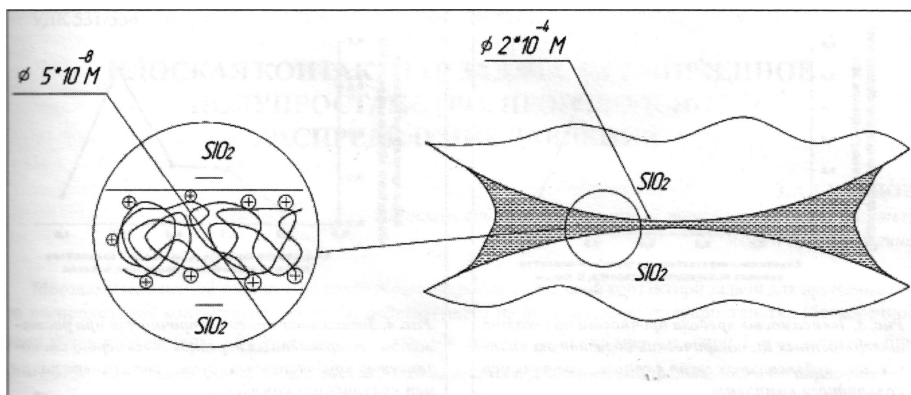


Сурет 1- ПКК су ерітіндісі

Алюминий пентагидроксохлоридінің су дисперсиясын акриламид сополимерінің су ерітіндісі мен акрил қышқылын араластырған кезде оң зарядталған алюмоксанды бөлшектер полиакриламид сополимерінің құрамында теріс

зарядталған карбоксил топтары мен тұзды байланыстар түзетін электростатикалық қосылыс табиғатынан тұратын полимер-коллоидтік кешені пайда болады. Сополимердің макромолекуласында карбоксил топтарының сирек орналасуы есебінен олардың макромолекулаларының конформациялық өзгерістеріне кедергі келтірмейді, соның нәтижесінде олар наноөлшемдік деңгейде кремнеземмен байланыс түзе отырып, жоғары икемділікке ие болады. Кремнезем дәндерінің өз бетінде теріс заряд алып жүруіне байланысты полимер-коллоид кешенінде оң зарядталған алюмоксан бөлшектеріне электростатикалық тарту пайда болады (Isaev, et al., 2008, Larina, 2015, Masanskii et al., 2015).

2-суретте коллоид кешені полимерінің құм бөлшектерімен өзара әрекеттесу схемасы бейнеленген. Нәтижесінде үш жүйеде молекулааралық байланыстар торы пайда болады: құрамында полимер тізбегінің гидрофильді фрагменттері және оң зарядталған алюмоксанды нанобөлшектері бар сополимер-алюмоксанды бөлшек, кремнеземнің макромолекулалары (Illarionov, et al., 2013, Kolotilo, 1969).



Сурет 2-ПКК-ның құм бөлшектерімен өзара әрекеттесу схемасы

Жұмыста ПКК-дің қалыптық қоспа құрамындағы жаңа байланыстырушы материал ретінде қолдану мүмкіндігін бағалау үшін зерттеулер жүргізілді. Құрамында қалыптық құм бар коллоид кешенінің полимерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Жұмыстың бірінші кезеңінде құрамында 0,1% салмағы бар, тығыздығы 1,05г/см³, тұтқырлығы 25 мПа * с, 5,0; 7,5; 13,5; 15,0% акриламид СП-01 негізінде поликомплекс және жеткізу үшін қажетті мөлшерде қосылатын 2138-93 МЕМСТ бойынша 3K₂O₂02 маркалы кварц құмы 100% дейін қоспалар алынды. Осы рецептуралар бойынша қоспалар дайындалып, одан әрі зерттеулер үшін диаметрі мен биіктігі 50 мм стандартты цилиндрлік үлгілер қалыпталып алынды. Зерттеулер қалыптау қоспаларының қасиеттерін анықтаудың стандартты әдістемелері бойынша жүргізілді.

Нәтижелер. Эксперимент барысында 5,0 және 7,5% мөлшеріндегі ПКК бар қоспалардың өзара әрекеттесетін бөлшектердің пайыздық құрамының төмендігінен қанағаттанарлық қасиеттері жоқ екені анықталды. Құрамында ПКК 13,5 және 15% бар қоспалар бекітілген күйінде қанағаттанарлық төзімділік

сипаттамаларын көрсетті, бұл кварц дәндердерінің поликешеннің белсенді бөлшектеріне қанағаттанарлық арақатынасын көрсетеді. Содан кейін беріктік және технологиялық қасиеттерді қанағаттандыратын байланыстырушы материалдың рецептурасын табу міндеті қойылды. ПҚК құрамына кіретін акриламид пен акрил қышқылының сополимеріндегі карбоксил топтарының құрамының өзгеруі мынадай нәтижелерге әкелді: құрамында 0,1% массасы, 02-0,2% массасы, 04-0,4% массасы бар сополимер алынды. СП 01 сополимері негізіндегі үлгілер (қатты күйдегі қоспалар) жеткіліксіз беріктік сипаттамаларға ие болды. Құрамында 0,6% карбоксил топтары және СП 08-0,8% салмағы бар СП-06 сополимері негізіндегі үлгілер ең жақсы қасиеттерін көрсетті, сондықтан қоспа үлгілерін қысу кезіндегі беріктік шегі 1,82 МПа, созылу кезіндегі беріктік шегі 0,43 МПа құрайтын СП-0,6 поликомплексі оңтайлы деп танылды. Сынақ нәтижелері 1 кестеде келтірілген.

Кесте-1 Үлгілерді сынау кезінде алынған деректердің нәтижелері

ПҚК үлгілері	Қысу кезінде беріктік шегі (қатайтылған үлгілер үшін), МПа	Төгілгіштік, %	Қатайған үлгілерді созу кезіндегі беріктік шегі, МПа
СП-0,1	1,71	0,31	0,36
СП-0,2	1,63	0,2	0,325
СП-0,4	1,91	0,14	0,416
СП-0,6	1,82	0,09	0,432
СП-0,8	1,82	0,13	0,64

Құрамында 13,5–15% ПҚК бар қалыптық қоспалар жоғары беріктік көрсеткіштерін көрсетті. Қысу кезіндегі беріктік шегі 1,82 МПа, ал созылу беріктігі 0,43 МПа шамасында болды. Бұл нәтижелер кварц дәндерінің полимерлік бөлшектермен жақсы байланыс түзетінін және ПҚК-ның тиімді құрылымдық тор түзетінін көрсетеді. Сонымен қатар, ПҚК қолдану кезінде формалардың кептіру уақыты қысқарып, экологиялық жүктеме төмендейді.

Талқылау. Сополимердегі теріс зарядталған карбоксильді топтардың құрамы белгілі бір мәннен (массаның 0,8%) аспауы тиіс, одан асып кеткен кезде кремнеземнің бетінде байланыстырушы және теріс зарядталған силаномды топтар құрамында бірдей зарядталған карбоксильді топтар аниондардың кері әсері итерілуі туындайды, бұл беріктік шегінің елеулі төмендеуіне әкеледі.

Одан әрі СП-06 коллоидты полимерлік кешені мен қоспадан жасалған қатайған үлгілердің температураға төзімділігіне сынақтар жүргізілді. Үлгілер үш түрлі температуралық режимде сыналды. Тәжірибелік үлгілердің бірінші партиясы термиялық пеште 200С⁰ температурада 30 минут бойы, келесі партия 400С⁰ температурада 30 минут бойы күйдіріледі, соңғы партия 600С⁰ температурада 30 минут бойы ұсталады. Сынақ ПҚК пайдалана отырып қалыптау қоспасы СП-06 600С⁰ температурасы кезінде байланыстырушы ретінде неғұрлым ұзақ уақыт ішінде пішінін жоғалтатынын көрсетті, бұл пішіннің ішінара құлауына және тиісінше құйманың ақауына әкелуі мүмкін.

Сондай-ақ қоспа алюминий қорытпаларынан құйманың қалыптасу температурасын ұстап тұру қабілетіне сыналды. Құю сапасына пішін материалының

әсерін анықтау мақсатында екі бірдей форма дайындалды. Бірінші қалып(форма) сыналатын қоспаны пайдалана отырып жасалды, екіншісі құм-саз қоспасынан жасалады. Екі пішінге (форма) де 750C^0 температурасында алюминий балқымасы құйылды. Сынақтар эксперименттік қоспалық контурларды қалыптастыруға мүмкіндік бергенін және құйманың беті зауыттық қоспадағы қалыптан алынған құймадан іс жүзінде айырмашылығы жоқ екенін көрсетті (Kazakov, et al., 2009; Kukui, 2013; Kidalov, et al., 2013; Paschenko, et al., 2011)

Қорытынды. Байланыстырушы ретінде ПҚК-ны қамтитын қалыптық қоспаның 7% жоғары ылғалдылыққа және $0,15 \cdot 10^5$ Па шикі күйінде беріктігі жеткіліксіз болуына байланысты кейбір кемшіліктері де бар. Осыған байланысты қоспалардың қатаюына әсер ететін факторларды және олардың беріктігін арттыру үшін қалыптарды кептіру шарттарын егжей-тегжейлі талдау талап етіледі. Мұндай технологияларды енгізу құю өндірісінің экологиялық қауіпсіздігін едәуір арттыруға және қалыптау материалдарының қалдықтарын кәдеге жаратуға жұмсалатын шығындарды болдырмауға мүмкіндік береді. Осылайша, коллоид кешендерінің полимерін пайдалана отырып, біржолғы қалыптарды дайындау құю өндірісінде перспективалы бағыт болып табылады.

Полимер-коллоидты кешендер құю өндірісінде байланыстырушы материал ретінде қолдануға перспективалы. Олар жоғары технологиялылық, экологиялық қауіпсіздік және механикалық беріктік талаптарына жауап береді. Алдағы зерттеулер полимердің химиялық құрылымын тереңірек зерделеуге және өндірістік ауқымда енгізуге бағытталуы қажет. Полимер коллоидтердің әлемдік рыногы өсуін жалғастыруда және таяу жылдарда баяулау белгілері аз. Іс жүзінде суды диспергирлеуші орта ретінде пайдалану оны полимер өнеркәсібі бетпе-бет келетін орнықтылықтың ағымдағы проблемаларының кез келгенін шешу үшін жақсы қолайлы етеді. Бұдан басқа, осы өнертабыстың соңғы бөліктерінде егжей-тегжейлі сипатталғандай, көптеген сипаттамалары бар материалды бақылау және синтездеу мүмкіндігі полимерлік коллоидтарды көптеген жаңа қолданулар үшін жақсы жарамды етеді. Дегенмен, әлі көп нәрсе жасалатыны анық. Екінші жағынан, эмульсиялық полимерлеу процесінің көптеген аспектілері бар, олар сандық тұрғыдан түсіну үшін таңқаларлық және қиын болып қалуда. Бұл белгілер радикалдардың бөлшектерден кіру және шығу жылдамдығын, сондай-ақ аснуклеация құбылыстарын бақылайтын су фазасында болатын оқиғалармен тығыз байланысты. Өндірістік тұрғыдан алғанда, біз жиі онлайн өлшеу әдісі мен басқарудың шектеулі нұсқалары бар процесті бақылауға тырыстық, тіпті реактордың ағымдағы жай-күйін білу мүмкін болса да. Осылайша, өнеркәсіптік ауқымда өндірістің тиімділігін арттыру тәсілдерінің бірі бақылау мақсаттары үшін жұмсақ датчиктер ретінде пайдаланылуы мүмкін бөлшектерді көлемі мен молярлық массасы бойынша бөлу үшін қондырылған желілік датчиктерді немесе өтпелі математикалық модельдерді әзірлеу болуы мүмкін.

Эмульсиялық полимерлеудің табысты болуы қазіргі уақытта өнеркәсіп бетпе-бет келіп отырған кейбір негізгі проблемаларды шешуге ықпал етеді, яғни белгіленген технологиялардағы ұсынылып отырған өзгерістер олардың ғасыр

бойы үнемі дамып келе жатқан процестермен құны жағынан бәсекеге қабілетті болуын талап етеді. Бұл әсіресе мұнай-химия көздерінен алынған шикізаттан биологиялық әртүрлілікке негізделген баламаларға көшу қажеттігіне қатысты. Бұл, сөзсіз, тұтынушының көзқарасы бойынша қажет болса да, өнім стандарттары сол деңгейде сақталуы тиіс, бұл өнімнің түпкілікті қасиеттері (және бағасы) бірдей болуы тиіс дегенді білдіреді. Осылайша, күш-жігер масштабта жаңартылатын материалдарды іздеуге, сондай-ақ барлық процестердің тұрақтылығын жақсарту үшін синтездің әсеріне төзімді және полимерлеу жолдарын жасауға бағытталуы тиіс. Жабындар мен адгезивтердің орнықтылығын жақсарту тәсілдерінің бірі ыдырайтын полимер материалдардың синтезі (био) болып табылады және бұл жол жоғарыда айтылғандай, ыдырайтын топтарды полимер тізбегіне қосу үшін әртүрлі мүмкіндіктер ұсынады.

Жабындар мен адгезивтер сияқты белгілі қолданыстарда да, жаңа қолданыстарда да коллоидты бөлшектердің физикалық қасиеттері олардың коммерциялық дамуының негізгі факторы болып табылады. Коллоидты жүйелер бетінің жоғары меншікті ауданы, атап айтқанда, машина жасау өндірісінде, сондай-ақ көміртекті ұстау технологияларында қолданудың негізгі артықшылығы болып табылатыны көрсетілді. Бұдан басқа, коллоидты полимерді пайдаланудың басты артықшылықтарының бірі суды диспергирлеуші орта ретінде пайдаланумен және төмен тұтқырлықта жоғары молярлық массамен дисперсия алу қабілетімен байланысты. Бұл жабын нарығында бұрыннан танылған, бірақ қазір жаңа қолданыстарда пайдаланылады, мысалы, гринэлектроспиннинг және 3D-басып шығару, олар болашақта басқа қолданыстарда коллоидты бөлшектерді пайдалану үшін алынған білімнің көп бөлігін пайдалана алады. Жалпы алғанда, осы жұмыста айтылған жетістіктерді ескере отырып, біз түрлі жүйелердегі полимерлік коллоидтардың әлеуетін растағымыз келеді. Эмульсиялық полимерлеу полимердің қасиеттерін тамаша бақылау кезінде коллоидты құрылымдардың таңғажайып диапазонын қамтамасыз етуге қабілетті. Біз бұл икемділік эмульсиялық полимерлерді тек жабындар мен желімдердің дәстүрлі нарықтарында ғана емес, сонымен қатар энергетикамен және орнықтылықпен байланысты ең өзекті әлеуметтік проблемалардың кейбірін шешуді ұсына алатынына нық сенеміз.

Литература

- Ахметов Н.С., Азизова М.К., Бадыгина Л.И. (2002) Лабораторные и семинарские занятия по общей и неорганической химии. — М.: Высшая школа.
- Ахмаджанов А.Р., Анисшоева Г.К. (1985) Карбамидно-фурановое связывающее "Фуритол-107" для чугунного и цветного литья: ЦНТИ. Информ. Листок. — № 08—85. — Фергана. — 2 с.
- Гильманшина Т.Р., Баранов В.Н., Бабкин В.Г. [и др.]. (2014) Основы теории формирования отливки [Электронный ресурс]: практикум. — Красноярск: Сиб. федеральный ун-т. — 148 с. — ISBN 978-5-7638-2965-5. — Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=507979>. (на русском)
- Жуковский С.С. (2010) Холодноотверждающие связывающие и смеси для литейных стержней и форм: справочник. — М.: Машиностроение. — 256 с.; ил. ISBN 978-5-94275-499-0.
- Корова Н.В. (2003). Задачи и упражнения по общей химии: Учебное пособие. Под ред. — М.: Высшая школа.
- Зезин А.Б., Кабанов В.А. (1982) Novum genus polyelectrolytarum aquarum complexorum solutum. Successus chemiae. Успехи химии. — Т. 51. — № 9. — С. 1447-1483.

- Земсков Ю.П. (2019) *Материаловедение [Электронный ресурс]: учебное пособие*. Ю.П. Земсков. — СПб.: Лан' — 188 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/11391> – Загл. с экрана.
- Исаев О.Б., Чичкарев Е.А, Кислица В.В. и др. (2008) *Моделирование современных процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали*. — М.: ЗАО "Металлургиздат". — 376 с.
- Иларионов И.Е., Петрова Н.В., Решетников А.В., Стрелников И.А. (2013) *Применение металлофосфатных связующих и смесей в литейном производстве*. Пленарное заседание журнала "Литейное и металлургия". М.: Литейное и металлургия, 3(72). — С. 54–57.
- Колотило Д.М. (1969) *Применение и исследование углеродистых материалов для литейных форм*. — Киев: УкрНИИТИ. — 52 с.
- Казаков А.А., Ковалев П.В., Рябушок С.В., Милейчуковский А.Б., Малахов Н.В. (2009) *Исследование термодинамической природы неметаллических включений с целью повышения металлургического качества высокопрочных трубных сталей*. Черные металлы. — № 12. — с. 5–11.
- Кабанов В.А., Зезин А.Б., Касаткин В.А., Ярославов А.А., Топчиев Д.А. (1991) *Polyelectrolytes in solving environmental issues*. Усп. химическая. — Т. 60. — №3. — С. 595-601.
- Кабанов В. А. (1994) *Physicochemical Basis and Expectations of Interpolyelectrolytic Solution Complexes*. Сумма гипотетического веса. соед. — Т. 36. — №2. — С. 183-197.
- Кукуй Д. М. [и др.].(2013) *Теория и технология литейного производства: учебник*. В 2 ч. Ч. 2. *Технология изготовления отливок в разовых формах*. — М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание. — 406 с.
- Кидалов Н.А., Радченко С.С., Осипова Н.А., Закутаев В.А., Шамрей И.А., Черных О.П. (2013) *Новый связывающий материал термоупрочнения для изготовления литейных форм и стержней*. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — №10-1. — С. 25–28.
- Ларина Т.В. (2015) *Материаловедение и технология конструкционных материалов [Текст]: лабораторный практикум*. Т.В. Ларина. — Новосибирск: СГУГиТ. — 150 с.
- Ларина Т.В. (2015) *Материаловедение и технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: лабораторный практикум*. Т.В. Ларина. — Новосибирск: СГУГиТ. — 150 с. — Режим доступа: <http://lib.sgugit.ru> – Загл. с экрана.
- Масанский О.А., Казаков В.С., Токмин А.М. и др. (2015) *Материаловедение и технологии конструкционных материалов [Электронный ресурс]* О.А. Масанский и др. — Красноярск: СФУ. — 268 с. — Режим доступа: <http://znanium.com>. – Загл. с экрана.
- Новаков И.А., Радченко Ф.С., Паписов И.М. (2007) *Исследование состава полимер-коллоидных комплексов полиакриламида и полигидроксохлорида алюминия*. Высокомолекулярные соединения. — Т. Б. 49. — № 5. — С. 912–915.
- Новаков И.А., Быкадоров Н.У., Радченко С.С., Каргин Ю.Н., Мохов В.Ф., Жохова О.К., Пархоменко А.И., Отченашев П.И. (1997). Пат. 2083495. [Патент 2083495]. — Россия. Б.И., 1997. — № 19.
- Озерина А.С., Радченко Ф.С., Тимофеева Г.И., Новаков И.А. (2009) *Изучение структурных и молекулярно-массовых характеристик наночастиц полигидроксохлорида алюминия методами малоуглового рентгеновского рассеяния и седиментационного анализа*//Российские нанотехнологии. — Т.4. — №1–2. — С.93–101.
- Пасченко А.В., Горайнова Т.В., Акупов В.В. (2011) *Treatment of low-silicon steel with calcium-containing wire to improve the technological parameters of casting MNLZ*//Electrometallurgy. — № 6.

References

- Akhmetov N.S., Azizova M.K., Badygina L.I.(2002) *Laboratornye i seminarovye zanyatiya po obshchey i neorganicheskoy khimii*[Laboratory and seminar classes on general and inorganic chemistry]. — М.: Vysshaya shkola.(in Russian)
- Akhmadzhanov A.R., Anisshueva G.K.(1985) *Karbamidno-furanovoe svyazuyushchee "Furitol-107" dlya chugunnogo i tsvetnogo litya: TsNTI*. [Urea-formaldehyde binder "Furitol-107" for cast iron and non-ferrous casting: TsNTI] Inform. Listok. —№ 08—85. — Fergana. — 2 p. (in Russian)
- Gil'manshina T.R., Baranov V.N., Babkin V.G. [i dr.].(2014)*Osnovy teorii formirovaniia otlivki* [Elektronnyi resurs]: praktikum. [Fundamentals of the Theory of Casting [Electronic Resource]: Practicum].

— Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t. — 148p. — ISBN 978-5-7638-2965-5. — Rezhim dostupa: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=507979>. (in Russian)

Zhukovskii S.S.(2010) Kholodnotverdeishchie svyazuiushchie i smesi dlia liteinykh sterzhnei i form: spravochnik.[Cold-curing binders and mixtures for casting cores and molds: a reference book]. — M.: Mashinostroenie. — 256 s.; il. ISBN 978-5-94275-499-0. (in Russian)

N.V. Korovina (2003). Zadachi i uprazhneniya po obshchey khimii: Uchebnoe posobie [Tasks and exercises in general chemistry: Study guide]. Pod red. — M.: Vysshaya shkola. (in Russian)

Zein A. B., Kabanov V.A. (1982) Novum genus polyelectrolytarum aquarum complexorum solutum. Successus chemiae. — Vol. 51. — №9. — P. 1447-1483. (in English)

Zemskov Yu.P. (2019) Materialovedenie [Elektronnyi resurs]: uchebnoe posobie [Materials Science [Electronic Resource]: Educational Manual]. Yu.P. Zemskov. — SPb.: Lan'. — 188 s. — Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/11391> — Zagl. s ekrana. (in Russian)

Isaev O.B., Chichkaryov E.A., Kislitsa V.V. i dr.(2008) Modelirovanie sovremennykh protsessov vnepechnoy obrabotki i nepreryvnoy razlivki stali.[Modeling of modern processes of external processing and continuous casting of steel]. — M.: ZAO "Metallurgizdat". — 376 p. (in Russian)

Ilarionov I.E., Petrova N.V., Reshetnikov A.V., Strel'nikov I.A.(2013) Primenenie metallofosfatnykh svyazuiushchikh i smesey v liteinomu proizvodstve.[The use of metal phosphate binders and mixtures in the casting industry]. Plenarnoe zasedanie zhurnala "Lite i metallurgiya". — M.: Lite i metallurgiya, 3(72). — P.54–57. (in Russian)

Kolotilo D.M. (1969) Primenenie i issledovanie uglerodistykh materialov dlia liteinykh form. [Application and research of carbon materials for casting molds]. — Kiev: UkrNIINTI. — 52 p. (in Russian)

Kazakov A.A., Kovalev P.V., Ryabushok S.V., Mileichkovskiy A.B., Malakhov N.V. (2009) Issledovanie termovremennoy prirody nemetallcheskikh vklyucheniy s tsel'yu povysheniya metallurgicheskogo kachestva vysokoprochnykh trubnykh stali.[Study of the thermodynamic nature of non-metallic inclusions with the aim of improving the metallurgical quality of high-strength tubular steels.]. Chernye metally. — No. 12. — P. 5–11. (in Russian)

Kabanov V.A., Zein A.B., Kasatkin V.A., Yaroslavov A.A., Topchiev D.A. (1991) Polyelectrolytae in solvendis quaestionibus environmental. Usp. chemica. — Vol. 60. — №3. — P. 595-601. (in English)

Kabanov V.A. (1994) Bases Physico-chemicae et exspectationes applicationis complexorum interpolyelectrolytici soluti. Summus hypothetica pondus. soed. — Vol. 36. — №2. — P. 183-197. (in English)

Kukui D.M. [i dr.](2013)Teoriia i tekhnologiya liteinogo proizvodstva: uchebnik. V 2 ch. Ch. 2. Tekhnologiya izgotovleniya otlivok v razovykh formakh.[Theory and technology of casting production: textbook. In 2 parts. Part 2. Technology of making castings in disposable molds]. — M.: NITs Infra-M; Mn.: Nov. znanie. — 406 p. (in Russian)

Kidalov N.A., Radchenko S.S., Osipova N.A., Zakutaev V.A., Shamrei I.A., Chernykh O.P.(2013) Novyi svyazuiushchii material teplovogo otverzheniya dlia izgotovleniya liteinykh form i sterzhnei [A new binding material for thermal hardening for the production of casting molds and cores]. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. — №10-1. — P. 25–28. (in Russian)

Larina T.V.(2015) Materialovedenie i tekhnologiya konstruktсионnykh materialov [Materials Science and Technology of Construction Materials] [Tekst]: laboratornyi praktikum. T.V. Larina. — Novosibirsk: SGUGiT. — 150 p. (in Russian)

Larina T.V.(2015) Materialovedenie i tekhnologiya konstruktсионnykh materialov [Elektronnyi resurs]: laboratornyi praktikum [Materials science and technology of construction materials [Electronic resource]: laboratory practicum]. T.V. Larina. — Novosibirsk: SGUGiT. — 150 p. — Rezhim dostupa: <http://lib.sgugit.ru>—Zagl. s ekrana. (in Russian)

Masanskii O.A., Kazakov V.S., Tokmin A.M. i dr.(2015) Materialovedenie i tekhnologiya konstruktсионnykh materialov [Elektronnyi resurs] [Materials Science and Technology of Structural Materials [Electronic Resource]. O.A. Masanskii i dr. – Krasnoyarsk: SFU. — 268 s. – Rezhim dostupa: <http://znanium.com/> – Zagl. s ekrana. (in Russian)

Novakov I.A., Radchenko F.S., Papisov I.M. (2007) Issledovanie sostava polimer-kolloidnykh kompleksov poliakrilamida i poligidroksokhlorda aliuminiia [Study of the composition of polymer-

colloidal complexes of polyacrylamide and polyhydroxochloride of aluminum]. *Vysokomolekuliarnye soedineniia*. — T.B.49. — №5. — P. 912–915. (in Russian)

Novakov I.A., Bykadorov N.U., Radchenko S.S., Kargin Yu.N., Mokhov V.F., Zhokhova O.K., Parkhomenko A.I., Otchenashev P.I.(1997) Pat.2083495.[Patent 2083495]. — Russia. B.I., 1997. — №19. (in Russian)

Ozerin A.S., Radchenko F.S., Timofeeva G.I., Novakov I.A.(2009) *Izuchenie strukturnykh i molekuliarno-vesovykh kharakteristik nanochastits poligidroksokhlorida aliuminiia metodami malouglovogo rentgenovskogo rasseianiia i sedimentatsionnogo analiza* [Study of the structural and molecular-weight characteristics of polyhydroxochloride aluminum nanoparticles using small-angle X-ray scattering and sedimentation analysis methods]. *Rossiiskie nanotekhnologii*. — T.4. — №1–2. — P. 93–101. (in Russian)

Paschenko A.V., Goryainova T.V., Akupov V.V.(2011) *Obrabotka nizkokremnistoy stali kal'tsiysoderzhashchey provolokoy dlya uluchsheniya tekhnologicheskikh parametrov razlivki MNLZ* [Processing low-carbon steel with calcium-containing wire to improve the technological parameters of the MNLZ casting.]. *Elektrometallurgiya*. — No. 6. (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 214–227

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.292>

UDC 661.321.32

© **G. Ormanova***, **A. Anarbayev**, **B. Kabylbekova**, **N. Anarbayev**, 2025.

M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: ormanova_g@inbox.ru

STUDY OF THE FILTRATION RATE OF GYPSUM FROM SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS

G. Ormanova — Master of engineering and technology, PhD doctoral student of M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: ormanova_g@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9625-5790>;

A. Anarbayev — Doctor of Technical Sciences, Professor of M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: abib_28@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0019-4381>;

B. Kabylbekova — Candidate of Technical Sciences, Professor of M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: balzhan.kbn@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8461-8008>;

N. Anarbayev — Master of engineering and technology of M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: Anarbayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9173-4241>.

Abstract. More than 1.2 billion tons of waste distiller liquid have been accumulated in the production of soda ash. Distiller liquid contains calcium and sodium chloride, as well as sulfate and carbonate containing impurities. Natural sodium sulfate is used to precipitate calcium and sulfate ions from the distiller liquid. In process of interaction of calcium chloride with sodium sulfate, precipitate of calcium sulfate and solution of sodium chloride are formed. To separate calcium sulfate from sodium chloride and to study filtration rate of gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and determination of optimal process parameters, studies were carried out in the temperature range of 40-90 °C, duration of process was 40-80 minutes. By increasing the temperature and changing the duration of process, degree of precipitation of calcium and sulfate ions increases to 98.5% and 99.3%. Needle-like crystals with size of 69.98 microns are formed and gypsum filtration rate is 750 kg/m²h. Based on the research process, gypsum was obtained from distiller liquid and optimal parameters for the formation of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and degree of deposition of CaO and SO_4 into the precipitate were determined. It has been established that with increasing temperature, time, size of gypsum crystals increases, accordingly, sediment filtration rate. Gypsum obtained after physico-chemical tests according to GOST 125 in terms of setting time and strength, tested samples correspond to the G-4 binder brand. Gypsum binders are used in construction, building decoration, medicine, etc.

Keywords: soda ash, distiller liquid, sodium chloride, calcium chloride, sodium sulfate, calcium sulfate

© Г. Орманова*, А. Анарбаев, Б. Кабылбекова, Н. Анарбаев, 2025.

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,

Шымкент, Қазақстан.

E-mail: ormanova_g@inbox.ru

НАТРИЙ ХЛОРИДІ ЕРІТІНДІЛЕРІНЕН ГИПСТІ СҮЗУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Г. Орманова — Техника және технология магистрі, PhD докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: ormanova_g@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9625-5790>;

А. Анарбаев — Техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: abib_28@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0019-4381>;

Б. Кабылбекова — Техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: balzhan.kbn@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8008>;

Н. Анарбаев — Техника және технология магистрі, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: Anarbayev@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9173-4241>.

Аннотация. Қазіргі уақытта кальцийленген сода өндірісінде 1,2 млрд тоннадан астам қалдық – дистиллерлі сұйықтық жинақталған болып табылады. Дистиллерлі сұйықтық құрамында кальций мен натрий хлориді, сонымен қатар сульфат пен карбонат және қоспалары бар. Зерттеуде кальцийленген сода өндірісінің қалдығы дистиллерлі сұйықтықтан кальций мен ион сульфатын тұндыру үшін табиғи натрий сульфаты қолданылады. Зерттеу барысында кальций хлоридінің натрий сульфатымен әрекеттесу процесінің нәтижесінде кальций сульфаты және натрий хлориді ерітіндісі тұнба түрінде түзіледі. Кальций сульфатын натрий хлоридінен бөлу және $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ гипстің сүзілу жылдамдығын зерттеу және процестің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін зерттеулер 40 - 90 °C температура аралығында, процестің ұзақтығы 40 - 80 минут аралығында жүзеге асырылды. Температураның жоғарылауымен және процестің ұзақтығының өзгеруімен байланысты, кальций мен ион сульфатының тұндыру дәрежесі 98,5% және 99,3% дейін артады. Нәтижесінде 69,98 мкм ине кристалдары түзіледі және гипстің сүзілу жылдамдығы 750 кг/м²·сағ құрайды. Зерттеу процесі негізінде дистиллерлі сұйықтықтан гипс алынды және $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ түзілуінің оңтайлы параметрлері және тұнбаға CaO және SO_4 тұндыру дәрежесі анықталды. Температура және уақыттың ұлғаюымен гипс кристалдарының мөлшері және сәйкесінше шөгінділерді сүзу жылдамдығы артады. Алынған гипске физика-химиялық сынақтар орындалғаннан кейін, қатаю уақыты мен беріктігі бойынша сыналған үлгілер ГОСТ 125 бойынша тұтқыр Г-4 маркасына сәйкес келеді. Мұндай гипс

байланыстырғыштар құрылыста, ғимараттарды безендіруде, медицинада және тағы басқа салаларда қолданылады.

Түйін сөздер: кальцийленген сода, дистиллерлі сұйықтық, натрий хлориді, кальций хлориді, натрий сульфаты, кальций сульфаты

© Г. Орманова*, А. Анарбаев, Б. Кабылбекова, Н. Анарбаев, 2025.

Южно-Казахстанский Исследовательский университет имени М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан.

E-mail: ormanova_g@inbox.ru

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ГИПСА ИЗ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ

Г. Орманова — Магистр техники и технологии, PhD докторант, Южно-Казахстанский Исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: ormanova_g@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9625-5790>;

А. Анарбаев — Доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский Исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: abib_28@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0019-4381>;

Б. Кабылбекова — Кандидат технических наук, профессор Южно-Казахстанский Исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: balzhan.kbn@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8008>;

А. Анарбаев — Магистр техники и технологии, Южно-Казахстанский Исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: Anarbayev@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9173-4241>.

Аннотация. В настоящее время в производстве кальцинированной соды накоплено более 1,2 млрд тонн отходов — дистиллерной жидкости. Дистиллерная жидкость содержит хлорид кальция и натрия, а также сульфат и карбонат, содержащие примеси. В исследовании для осаждения кальция и сульфат-ионов из дистиллерной жидкости отхода производства кальцинированной соды используется природный сульфат натрия. В процессе взаимодействия хлорида кальция сульфатом натрия образуются осадок сульфата кальция и раствор хлорида натрия. Для разделения сульфата кальция от хлорида натрия и для изучения скорости фильтрации гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и определения оптимальных параметров процесса были проведены исследования в интервале температур 40 - 90°C, продолжительности процесса 40 - 80 минут повышением температуры и изменением продолжительности процесса степень осаждения кальция и сульфат ионов увеличивается до 98,5% и 99,3%. В результате образуются игольчатые кристаллы размером 69,98 мкм и скорость фильтрации гипса составляет 750 кг/м²·ч. На основе процесса исследования получен гипс из дистиллерной жидкости и определены оптимальные параметры образования $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и степень осаждения CaO и SO₄ в осадок. Установлена, что с увеличением температуры и времени увеличивается размер кристаллов гипса и соответственно скорость фильтрации осадка. Полученный гипс после физико-химических испытаний

согласно ГОСТ 125 по срокам схватывания и по прочности испытываемые образцы соответствуют марке вяжущего Г-4. Такие гипсовые вяжущие применяются в строительстве, отделке зданий, в медицине и т. д.

Ключевые слова: кальцинированная сода, дистиллерная жидкость, хлорид натрия, хлорид кальция, сульфат натрия, сульфат кальция

Кіріспе. Бүгінде Қытай, Үндістан, Польша, Украина және Ресей елдерінің қолданыстағы өндірістерінде Сольве аммиак әдісімен кальцийленген сода шығарылады. Бір мезгілде өндіріс үйінділерінде 1,2 млрд.тоннадан астам қатты кальций - және құрамында сұйық қалдықтар бар карбонат - дистиллерлі сұйықтық жинақталған және олардың саны жыл сайын 1,0-1,5 млн. тоннаға артады (Krashennnikov, 1988; Beth McKenna, 2018). Calban T., Kavci E. ғалымдар мұндай қалдықтарды өңдеу үшін дистиллерлі сұйықтықтан кальций сульфатын жоюды ұсынды (Calban, et al., 2010). Процесс барысында кальций гипс түрінде тұндырылды және тұндыру деңгейі 94,44% құрайды.

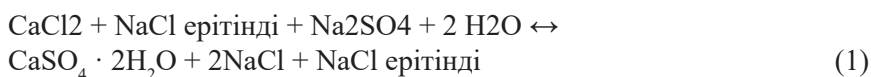
Kasikowski T., Buczkowski R., Cichosz M. ғалымдары тұз өндірісінің тұнбасын пайдаланып дистиллерлі сұйықтықты өңдеу әдістерін ұсынды. Кальций сульфатының тұндыру процесін оңтайландыруға ерекше назар аударылды және жану газдарын күкіртсіздендіру арқылы дистиллерлі сұйықтықты жоюдың аралас технологиясын жасады (Kasikowski, et al., 2008; Kasikowski, et al., 2007). Күкіртсіздендіру процесінде дистиллерлі сұйықтықты қолдану жылына 160 мың тонна мөлшерінде күлді пайдалану есебінен сода өндірісінің шығындарын азайтуға мүмкіндік берді. Ғалымдар құрамында кальций метасиликаты натрий хлориді сүзгісінен бөлінетін концентрацияланған коллоидты ерітінді алу үшін сұйық әйнекті пайдаланып дистиллерлі сұйықтықты кәдеге жарату технологияларын әзірледі (Tuktarova, et al., 2012). Фильтрат құрамында 14,5% NaCl бар. Тұнба кептіріліп, тиісті құрылымның өнімдері алынады волластонит, терморит және ксонолит және т. б. зертханалық жағдайда таза реагенттерде 25% күкірт қышқылы мен натрий сульфатын қолдана отырып дистиллерлі шламды өңдеу мүмкіндігі зерттелді (Kasikowski, et al., 2004). Бұл бағытта дистиллерлі сұйықтықты жоюдың аралас әдісі әзірленді, мұнда дистиллерлі сұйықтықтың рН жоғары деңгейіне байланысты күкіртсіздендіру процесінің тиімділігі 80% құрайды (Buczkowski, et al., 1999).

Натрий хлоридінің ерітіндісін натрий сульфатының тұзын 45-75°C температура аралығында және процесінің ұзақтығы 50 минут, стехиометриялық мөлшерде 90% кальций иондары тұндырылған дистиллерлі сұйықтықтың имитацияланған құрамынан алу зерттелген (Yan Min Shen, et al., 2011). Бұл жұмыста гипстің сүзілу жылдамдығы және алынған натрий хлориді ерітіндісінің құрамы зерттелмеген. Мұнай ұңғымаларын дистиллерлі сұйықтықпен су басу арқылы сода өндірісінің сұйық және қатты қалдықтарын кәдеге жарату әдістері қарастырылған (Shatov, et al., 2004; Sabitov, et al., 2016). Ғалымдар сода өндірісінің дистиллерлі сұйықтығынан CaCl₂ концентрациясы 50% дейін дистиллерлі сұйықтықты буландыру арқылы балқытылған кальций хлоридін алу технологиясын әзірледі (Bykovsky, et al., 2013).

Сода өндірісінің дистиллерлі сұйықтығын қайта өңдеу мәселелері (Bykovsky, et al., 2012) жұмыстарына арналған, онда экономикалық пайдадан басқа, айтарлықтай экологиялық артықшылықтар бар екендігі атап өтіледі. Қазіргі уақытта дистиллерлі сұйықтықты пайдалану қайта өңдеу бойынша қолданылатын технологиялар мәселені тек ішінара шешеді және оның көп бөлігі үйінділерде сақталады. Зерттеудің мақсаты гипс байланыстырғышын және натрий хлориді фильтратын алу үшін табиғи натрий сульфатымен сода өндірісінің негізгі қалдығы дистиллерлі сұйықтық құрамындағы кальций хлоридін өңдеу болып табылады. Ондағы ас тұзының қосымша мөлшерін ерітіп, қажетсіз қоспалардан тазартқаннан кейін фильтратты кальцийленген сода технологиясында қайта қолдануға болады.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Гипстің сүзілу жылдамдығын зерттеу және натрий хлоридін алудың оңтайлы параметрлерін анықтау үшін келесі құрамдағы дистиллерлі сұйықтық пайдаланылды: 11,52% CaCl_2 , 5,62% NaCl , 80,42% H_2O , 0,4% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 0,198% CaSO_4 , 0,62% CaCO_3 , 1,21% қоспалар және Жаксы-қылыш кен орнының табиғи натрий сульфаты. Табиғи натрий сульфаты мыналардан тұратыны анықталды Na_2SO_4 ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Fe_2O_3 ; Al_2O_3 ; ерімейтін тұнба және H_2O . Натрий сульфатының іріктелген өкілдік сынамалары мен олардың химиялық құрамын талдау негізінде мынадай құрамдағы табиғи тенардиттің орташа партиясы дайындалды: массаларының%: Na_2O — 40,58%, SO_3 -55,07%, CaO -1,32%, MgO -0,1%, Cl -анықталмады, Fe_2O_3 -0,047%, Al_2O_3 -0,66%, ерімейтін тұнба -1,42%. Шикізаттың минералдық құрамы: Na_2SO_4 - 92,95%; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 4,0%; $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - 0,57%; Fe_2O_3 - 0,09%; Al_2O_3 - 0,40%; ерімейтін тұнба - 1,42%; ылғал - 0,56%. Натрий сульфатының қатысуымен сода өндірісінің ДС өңдеу процесінде реакция бойынша $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ екі сулы гипс-тұнба түзіледі.



Реакция кері тоңазытқышы мен араластырғышы бар шыны колбада жүргізілді. Колбаны ULABUT-4302E типті термостатталған су моншасында 120 Вт Г-2000А типті араластырғыштың айналу жылдамдығы 60-тан 1000 айн/мин-ге дейін араластырғышпен бекітті. Әр тәжірибеде колбаға 200 мл ДС және натрий сульфатының есептелген мөлшері жүктеліп, белгіленген температураға дейін қыздырылды. Араластыру уақыты 40-тан 80 минутқа дейін өзгерді. Алынған кальций сульфатының тұнбасы ыстық сумен жуылды, содан кейін кептіргіш шкафта кептірілді (Анарбайев, et al., (2020). Кептіруден кейін жуылған және жуылмаған тұнба мен фильтрат химиялық талдау арқылы негізгі және қоспа компоненттерінің құрамына талданды, тұнба INCA Energy-350 энергия дисперсиялық микроанализ жүйесі және HKL Basic поликристалды үлгілерінің құрылымдық және текстуралық талдау жүйесі бар JSM-6490LV расторлық электронды микроскопында зерттелді. Сондай-ақ, тұнбаны талдау үшін рентгенофазалы талдау Дрон-3 және ДТА құрылғылары қолданылды. Фильтраттағы Ca^{2+} және Mg^{2+} иондарының мөлшері

көлемдік әдіспен (этилендиаминтетрацет қышқылын қолданумен титрлеу арқылы) анықталды, Cl^- AgNO_3 титрлеу арқылы анықталды, SO_4^{2-} иондары - ГОСТ 6318 сәйкес BaSO_4 түрінде тұз қышқылы ерітіндісінде барий хлоридімен тұндыру арқылы салмақ әдісімен анықталды.

Нәтижелер және талқылаулар

Зерттеулер 40-90°C температура мен 40-80 мин уақыт аралығында жүргізілді. Реакциялар (1) бойынша заттардың өзара әрекеттесу процесінде $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 және ерімейтін тұнбаға түседі және NaCl ерітіндіге өтеді. Зертханалық зерттеулердің нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

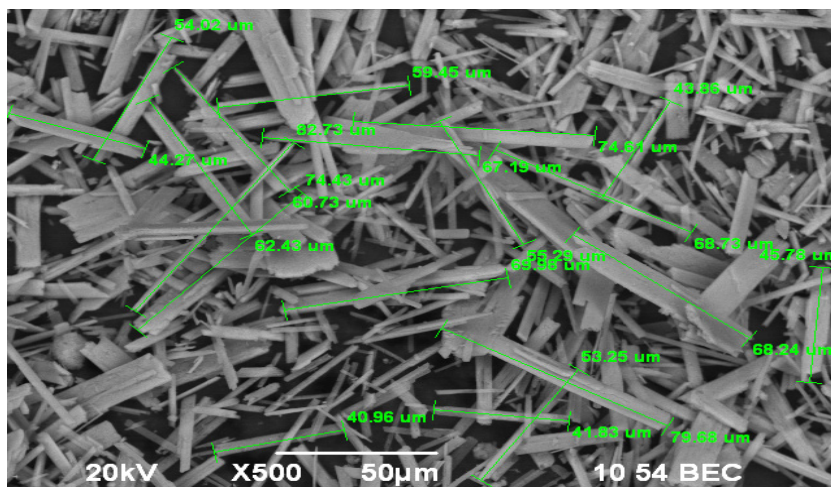
1-кесте. CaO және SO_4^{2-} тұнбаға ауысу дәрежесіне температура мен процесс ұзақтығының әсері

Тәжірибе №	Температура, °C	Уақыт, мин	Тұнба құрамы, %				Фильтрат құрамы, %				Тұнбаға өту дәрежесі, %	
			CaO	SO_4	Cl	Na	CaO	SO_4	Cl	Na	CaO	SO_4
1	40	40	28,2	44,2	1,0	0,8	0,4	0,56	10,2	7,6	91,2	97,2
2	40	60	30,1	48,6	0,8	0,61	0,52	0,99	10,6	7,6	93,1	98,4
3	40	80	30,8	52,1	0,6	0,4	0,6	0,46	11,0	7,8	94,8	97,2
4	60	40	29,6	46,2	0,9	0,65	0,51	0,48	11,1	7,8	92,1	96,2
5	60	60	31,5	48,1	0,82	0,55	0,52	0,41	11,4	7,9	94,1	98,4
6	60	80	34,5	57,0	4,4	0,65	0,55	0,48	11,01	7,57	95,3	96,5
7	70	40	21,8	46,5	0,53	0,81	0,95	0,21	11,4	7,6	93,0	99,2
8	70	60	28,2	45,9	3,50	0,64	0,45	0,45	11,65	7,7	95,3	98,3
9	70	80	33,8	53,6	1,52	0,42	0,3	0,5	11,9	7,8	96,8	95,2
10	80	40	26,3	47,0	1,3	0,7	0,29	0,14	11,85	7,45	97,8	99,3
11	80	60	27,8	48,8	8,8	0,86	0,37	-	10,9	7,43	97,8	99,3
12	80	80	31,3	58,8	4,9	1,98	3,3	0,83	10,8	4,41	98,5	99,0
13	90	40	31,4	54,5	4,55	2,5	0,51	-	10,7	7,4	96,8	96,9
14	90	60	30,6	50,1	3,97	2,4	0,36	-	10,87	7,2	98,0	97,2
15	90	80	27,6	41,7	3,78	4,3	0,79	-	10,96	7,3	98,1	94,4

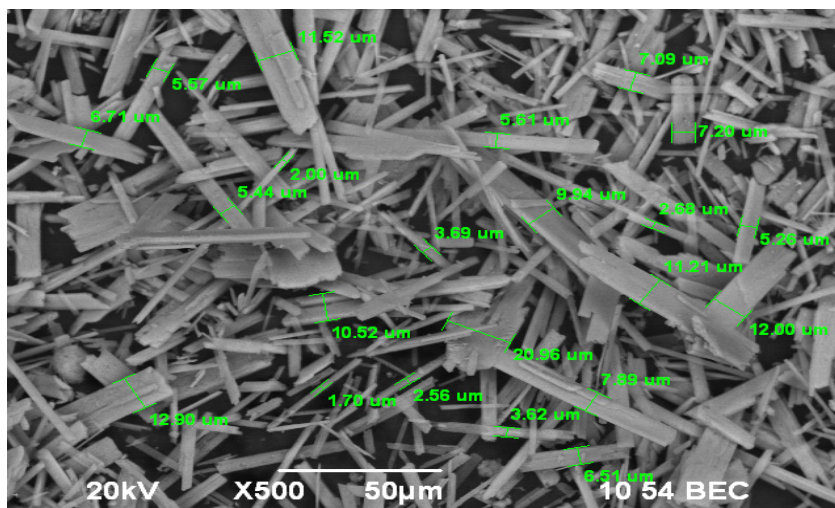
1-кестеден 40°C температурада және 40-80 мин уақыт аралығында CaO -ның тұнбаға ауысу дәрежесі 91,2-94,8% құрайды. 60°C температурада және 40-80 мин уақыт аралығында CaO -ның тұнбаға ауысу дәрежесі 92,1-95,3% құрайды. 70°C температурада 40-60 мин ішінде тұнбаға ауысу дәрежесі 93,0-96,8%, 80°C температурада 40-60 мин 97,8%, сульфат ионы 99,3% құрайды. Температураның 90°C дейін жоғарылауымен ауысу дәрежесі біртіндеп жоғарылайды және 96,8-98,2% құрайды. Бұл NaCl ерітіндісіндегі CaSO_4 ерігіштігінің төмендеуіне байланысты. Mg , Ca және т. б. тұздардың тұндырылуын қамтамасыз ету үшін жүйеге қажетті мөлшерде Na_2CO_3 және $\text{Ca}(\text{OH})_2$ металдар қосылады. Осылайша, бүкіл уақыт аралығында температураның жоғарылауымен бұл көрсеткіш 98% - ға дейін жоғарылайтыны анықталды, сонымен қатар процестің соңғы 20

минутында CaO -ның тұнбаға ауысу дәрежесінің аздап төмендегенін атап өткен жөн (Anarbayev, et al., (2022).

Оңтайлы жағдайда алынған кальций сульфатының шөгінділерін тұндыру талдауы дистиллерлі сұйықтықтың конверсиялары 1-суретте көрсетілген.



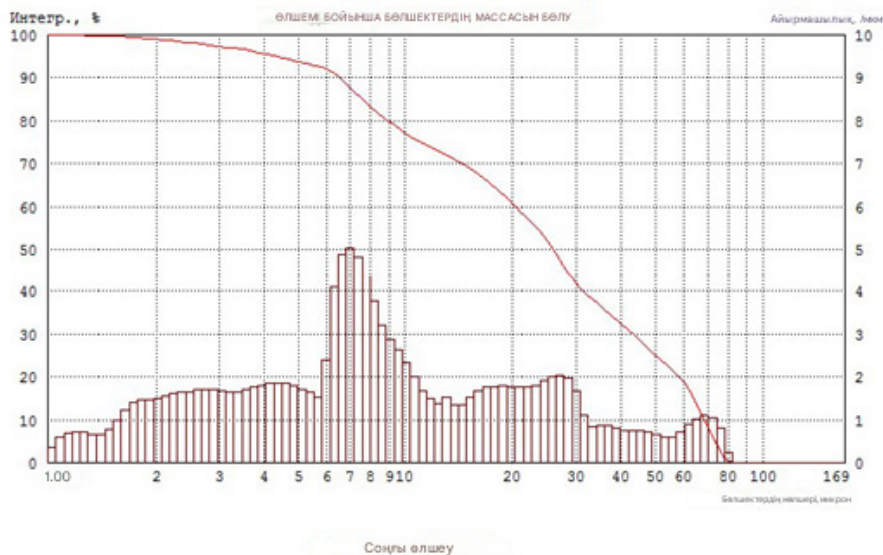
а) кристалдың ұзындығы



б) кристалдың қалыңдығы

1 – сурет. 90°C температурада гипс кристалдарының ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) затравкасының қатысуымен конверсиядан кейін бөлінген кальций сульфаты тұнбасының микрофотографиясы

Фотосуреттерден (1-сурет) және тұндыру талдауынан (2-сурет) процестің температурасы 90°C үшін бөлшектердің мөлшері бойынша таралуы 40,96-дан 69,98 мкм-ге дейінгі бөлшектердің едәуір үлкен үлесіне ие – 28%-ға дейін және кристалдардың қалыңдығы 3,62-20,95 мкм құрайды.



Үлкенірек, МКМ	%	Аралық, МКМ	%	Үлкенірек, МКМ	%	Аралық, МКМ	%
1	100,0	0 – 1	0,0	32	39,2	28 – 32	6,3
2	99,0	1 – 2	1,0	36	35,7	32 – 36	3,5
3	97,4	2 – 3	1,6	40	32,3	36 – 40	3,3
5	93,8	3 – 5	3,5	45	28,6	40 – 45	3,8
7	87,0	5 – 7	6,0	50	25,0	45 – 50	3,5
10	77,1	7 – 10	10,7	56	21,3	50 – 56	3,7
12	73,5	10 – 12	3,6	63	16,0	56 – 63	5,3
14	70,6	12 – 14	2,9	70	8,6	63 – 70	7,4
20	60,6	14 – 20	10,0	80	0,6	70 – 80	8,0
25	51,5	20 – 25	9,1	90	0,0	80 – 90	0,6
28	45,5	25 – 28	6,1	100	0,0	90 – 100	0,0

2-сурет. 90°C температурада конверсиялау кезінде алынған тұнбаны тұндыру талдауының нәтижелері

2-кесте. Кальций сульфаты тұнбасының сүзгі қасиеттері

№	Натрий сульфатының мөлшері, %	Температура, °C	Бөлшектердің орташа квадраттық диаметрі, мкм	Меншікті беті, см²/г	Кристаллогидратты ылғалдың мөлшері, %	Ылғал жуылмаған тұнба бойынша P_{ϕ}^k өнімділігі (кг/м²·сағ)
1	100	70	49,7	1040	17,5	695
2	100	90	39,1	1863	5,9	735
3*	100	90	47,8	3207	5,7	700

*- ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) затравкамен тәжірибе

Тәжірибеде алынған кальций сульфаты кристалдарының затравкасы болған кезде дистиллерлі сұйықтықтың ыдырау процесінде кристалдар мөлшерінің айтарлықтай ұлғаюына (69,98 мкм) және сүзгі қасиеттерінің жақсаруына әкелмейді, дегенмен бөлшектердің меншікті беті 1,7 есе артады. Бұл тұнбаның құрамында үлкен кристалдармен бірге мөлшері 5 мкм-ден аз ұсақ бөлшектердің

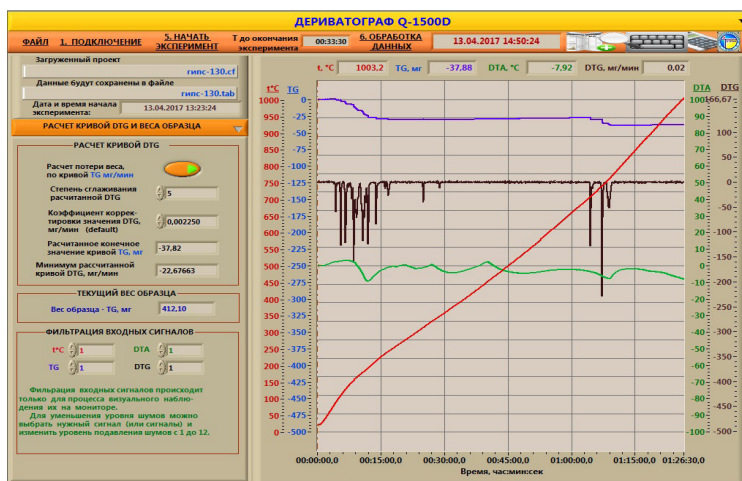
көп болуымен байланысты, нәтижесінде бұл тұнбаны сүзу өнімділігінің жоғарылауына әкелмейді (2-кесте).

Процесс температурасы мен ұзақтығының артуы ірі кристалды $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ және ерімейтін қоспалардың түсуіне ықпал етеді. Бұл жағдайда гипстің сүзу жылдамдығын зерттеу белгілі бір қызығушылық тудырады.

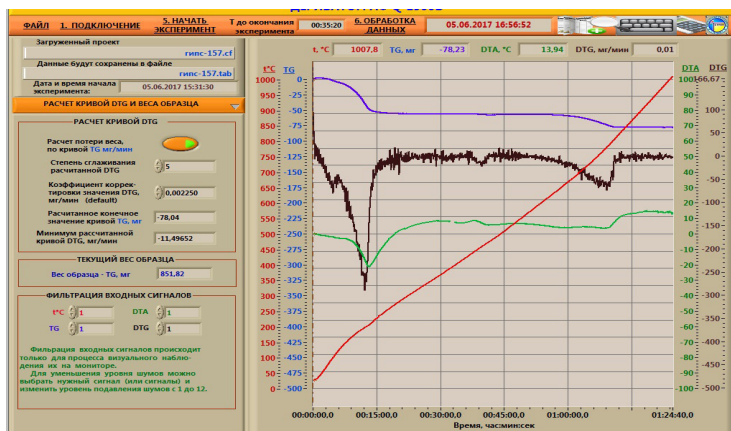
Көптеген қоспалар бар ерітіндіде гипс кристалдары 39,1-47,8 мкм ұсақ кристалды тұнба түрінде және сәйкесінше гипстің сүзілу жылдамдығы 695-700 $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{сағ}$ құрайды.

Целлюлоза мен тұнбаның сүзу қасиеттерін зерттеулерге сәйкес, түзілген кристалдар массасының 3-4% мөлшерінде гипс затравкасының болуы суспензияның сүзу қасиеттеріне аздап әсер етеді деп айтуға болады.

Тәжірибелік мәліметтер негізінде алынған тұнба 3-7 суреттерде келтірілген рентгенофазалы талдау және инфрақызыл спектроскопия әдісімен жан-жақты зерттелген.



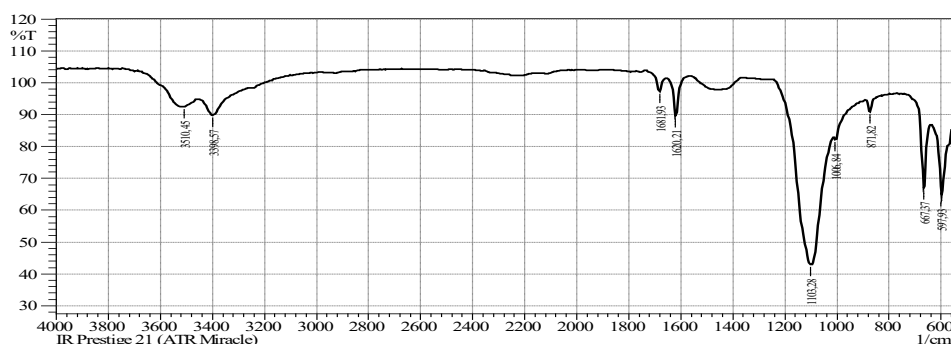
3-сурет. 80°C температурада және 100% натрий сульфатының нормасында алынған гипс



4-сурет. 90°C температурада және 100% натрий сульфатының нормасында алынған гипс.

80°C температурада алынған тұнбаның дериватограммасында (3-сурет), гипстің дегидратациясымен байланысты 146-170°C эндотермиялық әсер байқалады, ал 90°C температурада алынған тұнбаның дифференциалды қисығында (4-сурет), $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ дегидратациясының 160-180° эндотермиялық әсері айқын көрінеді, яғни жартылай гидраттың ангидритке дейін дегидратациясы жүреді. Осылайша, 3-4 суреттерде көрсетілген дериватограммалар кальций сульфаты жартылай гидратының 90 °C температурада және гипстің-80°C температурада түзілуін көрсетеді.

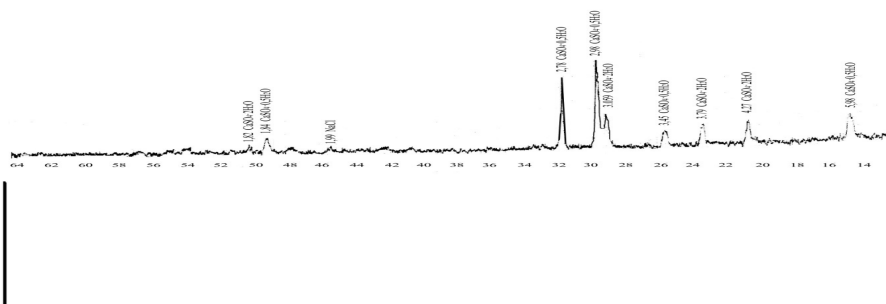
5-суретте натрий сульфат шығынының 100% нормасында 80°C температурада және 40 минут уақытпен алынған жуылған $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ гипсінің ИҚ спектрі көрсетілген.



5-сурет. 90°C температурада, 40 мин уақыт пен 100% натрий сульфаты шығынының нормасында алынған жуылған гипстің $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ИҚ спектрі

Алынған тұнбаның ИҚ-спектрінде (5-сурет) $\text{Ca} - \text{SO}_4^{2-}$ байланысына сәйкес келетін 597, 667, 1103, 1620, 1681 cm^{-1} толқын ұзындығы бар қарқынды сіңіру жолақтары бар. 3550-3200 және 1620-1680 cm^{-1} аралығындағы қарқынды сіңіру жиіліктері кристалданған су молекулаларының тербелістеріне сәйкес келеді.

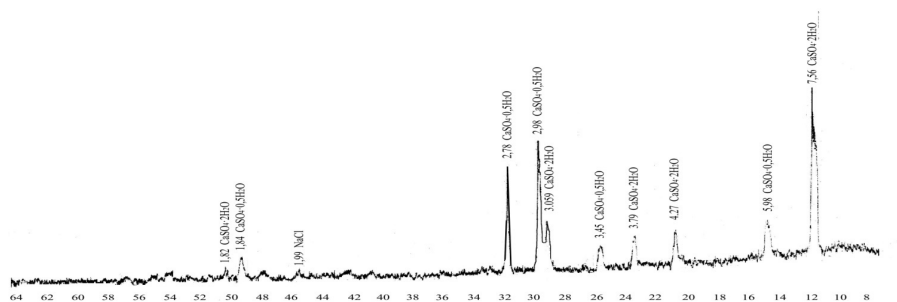
6-суретте 80°C кезінде алынған гипстің рентгенографиясы және 7-суретте 90°C кезінде алынған тұнбаның рентгенографиясы көрсетілген.



6-сурет. 80°C температурада алынған екі сулы гипстің рентгенофазалы талдауы

Рентгенография (6-сурет) тұнбаның құрамында $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кристаллогидратының болуын $d=1,62, 1,77, 1,82, 1,89, 2,21, 2,59, 2,67, 2,86, 3,05, 3,79, 4,27, 7,56 \text{ \AA}$ дифракциялық максимумдары бар екендігін растайды және CaCO_3 дифракциялық максимумы $d=2,08 \text{ \AA}$.

Рентгенография (7-сурет) тұнбаның құрамында $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кристаллогидратының болуын $d=1,82, 3,05, 3,79, 4,27, 7,56 \text{ \AA}$ тән дифракциялық максимумдарымен растайды және $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ $d=1,84, 2,78, 2,98, 3,45, 5,98 \text{ \AA}$ тән дифракциялық максимумдармен, сондай-ақ NaCl дифракциялық максимумы бар $d=1,99 \text{ \AA}$.



7 – сурет. 90°C температурада алынған екі сулы және жартылай сулы гипс қоспасының рентгенофазалы талдауы

Тұндырылған гипстің химиялық құрамы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 3-кестеде келтірілген.

3-кесте. Гипстің химиялық құрамы

Гипстің құрамы, %							
CaO	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CO ₂	H ₂ O
32,60	46,2	1,00	0,10	0,02	0,41	0,11	20,02

Алынған гипс гипс-тұтқыр материалдарға жататынын атап өткен жөн. Кальций хлоридінің ыдырау процесінде үлпілдек ақ гипс алынады. 105 - 115°C температурада кептіргеннен кейін ол жартылай сулы гипске айналады - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Ол тез орнатылады және қатайды. Мұндай гипстерге құрылыс, қалыптау және медициналық мақсаттарда қолданылатын Г-4 маркалы гипс тұтқырлары жатады.

Гипс тұтқырларының негізгі сипаттамалары беріктік, қатаю уақыты, ұнтақталу көрсеткіші, су қажеттілігі.

Физика-химиялық сынақтардың нәтижелері 4-кестеде келтірілген.

4-кесте. Гипсті байланыстырғыштардың физика-химиялық сипаттамалары

Тәжірибе №	Гипсті байланыстырғыштардың тығыздығы, %	Қатаю мерзімі, мин		Үлгілердің 2 сағ кезіндегі беріктік шегі, МПа		Байланыстырғыштардың маркасы
		басталуы	аяқталуы	иілу	қысу	
1	70,4	3,5	8,0	2,1	4,0	Г-4
2	71,2	3,4	8,2	1,9	3,9	
3	70,6	3,3	8,1	2,0	4,1	
4	61,8	4,2	8,6	2,4	4,3	Г-4
5	62,0	4,1	8,3	2,3	4,2	
6	62,2	4,1	8,1	2,4	4,1	

4-кестеден байланыстырғыштардың қалыпты тығыздығы 60-70% болғанда, орнату уақыты 3,5 - 4,1 мин, қатаюдың соңы 8,0 - 8,6 мин. Арқалықтарды иілуге сынағаннан кейін беріктігі орта есеппен 2,3 МПа, қысу беріктігі 4,2 МПа құрайды.

Қорытынды

Осылайша, зерттеу барысында дистиллерлі сұйықтықтан гипс алынды және $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ түзілуінің оңтайлы параметрлері және тұнбаға CaO мен SO_4 тұндыру дәрежесі анықталды. Температура мен уақыттың ұлғаюымен гипс кристалдарының мөлшері және сәйкесінше шөгінділерді сүзу жылдамдығы артады. ГОСТ 125 сәйкес физика-химиялық сынақтардан кейін алынған гипс қатаю уақыты мен беріктігі бойынша сыналған үлгілер тұтқыр Г-4 маркасына сәйкес келеді. Мұндай гипс байланыстырғыштар құрылыста, ғимараттарды безендіруде, медицинада және т. б. қолданылады.

Әдебиеттер

- Крашенинников С.А. (1988) Технология соды. М.: Химия. — 304 с.
- Beth McKenna. U.S. (2018) Lithium Mining Could Get a Boost From President Trump's Executive Order. The Montley Fool URL: <https://www.fool.com/investing/2018/03/09/us-lithium-mining-could-get-a-boost-from-president.aspx>
- T. Çalban, E. Kavci., (2010) Removal of Calcium from Soda Liquid Waste Containing Calcium Chloride. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Part A.32. — P. 407-418. <https://doi.org/10.1080/15567030903261816>
- Kasikowski T., Buczkowski R., Cichosz. M. (2008). Utilization of synthetic soda-ash industry by-products. Int. J. Production Economics. — 112. — 2008. — P. 971-984.
- Kasikowski T., Buczkowski R., Cichosz M., Lemanowska E. (2007) Combined distiller waste utilization and combustion gases desulphurization method. Resources, Conservation and Recycling. — 51. — P. 665-690.
- Туктарова М.Р., Опарина Ф.Р., Исламутдинова А.А. (2012) Утилизация дистиллерной жидкости с получением волластонита. Сборник материалов 63-ей научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. маер.конф. Кн.2. — Уфа: Изд-во УГНТУ. — С. 372.
- Kasikowski T., Buczkowski R., Dejewski B., Peszyn'ska-Białczyk K., Lemanowska E., Iglinski B. (2004) Utilization of distiller waste from ammonia-soda processing. Journal of Cleaner Production. — №12. — P. 759-769.
- Buczkowski R., Kruszyn'ski R., Pietrowski R. (1999). Technical and economical study on the possibility of calcium sulphate production in Janikowo Soda Ash Factory. — Torun, — 185 p.
- Yan Min Shen, Tianguang Wang. (2011). NaCl Brine Preparation from Distiller Waste and Na_2SO_4 . Advanced Materials Research. — Vols. 233-235. — P.897-902. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.233-235.897>

Shatov A. A., Dryamina M. A., Badertdinov R. N. (2004) Potential Utilizations of Soda Production Wastes. *Chemistry for Sustainable Development* 12. — 565-571 p.

Сабитов К.Б., Воронин А.В. (2016) Перспективы использования твердых отходов производства кальцинированной соды АО «БСК» в качестве карбонатной составляющей сырья для производства цемента. *Вестник академии наук Республики Башкортостан*, т. 21. — № 3 (83). — P. 86-95.

Свойства и получение хлорида кальция. Получение плавленного хлорида кальция из дистиллерной жидкости содового производства. раздел Химия. URL: <http://allrefs.net/c26/1msrb/p2/>

Быковский Н.А., Даминев Р.Р., Курбангалеева Л.Р., Фанакова Н.Н. (2013) Пат. № 2476386 Российская Федерация. МПК: C02F9/06, C01D7/18. Способ переработки дистиллерной жидкости аммиачно-содового производства. 2011138179/05; Бюл. — № 6. — 7с.

Быковский Н.А., Курбангалеева Л.Р., Даминев Р.Р. (2012) Переработка дистиллерной жидкости с получением товарных продуктов. Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Стерлитамак, Фундаментальные исследования. — № 6-1. — С. 209-213

A. A. Anarbayev, G. M. Ormanova, B. N. Kabylbekova, N. A. Vysotskaya and B. Kh. Kucharov. (2020) Regularities of interaction of calcium chloride of distiller liquid with natural sodium sulfate. *Rasayan Journal of Chemistry*. — 13(4). — 2173 p. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1345888>

A.A. Anarbayev, G.M. Ormanova, B.N. Kabylbekova, B. Kh. Kucharov, and M. B. Kenzhekhanova (2022) Investigation of the conversion process of calcium chloride of soda production distiller liquid in the presence of mirabilite and thenardite. *Rasayan J.Chem.* — 15(2). — P. 1280-1287 <http://doi.org/10.31788/RJC.2022.1526871>

References

Krashenninnikov S.A. (1988) *Tehnologija sody [Soda Technology]*. — M.: Chemistry. — 304p. (in Russian)

Beth McKenna. U.S. (2018) Lithium Mining Could Get a Boost From President Trump's Executive Order. *The Montley Fool* URL: <https://www.fool.com/investing/2018/03/09/us-lithium-mining-could-get-a-boost-from-president.aspx> (in English)

T. Çalban, E. Kavci., (2010) Removal of Calcium from Soda Liquid Waste Containing Calcium Chloride. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Part A.32.* — P. 407-418 <https://doi.org/10.1080/15567030903261816> (in English)

Kasikowski T., Buczkowski R., Cichosz. M. (2008) Utilization of synthetic soda-ash industry by-products. *Int. J. Production Economics*. — 112. — P. 971-984 (in English)

Kasikowski T., Buczkowski R., Cichosz M., Lemanowska E. (2007) Combined distiller waste utilization and combustion gases desulphurization method. *Resources, Conservation and Recycling*. — 51. — P. 665-690. (in English)

Tuktarova M.R., Oparina F.R., Islamutdinova A.A. (2012) *Utilizacija distillernoj zhidkosti s polucheniem vollastonita [Disposal of distiller liquid to produce wollastonite]*. Collection of materials of the 63rd scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists: collection of materials of the conference-Book.2. Ufa: Publishing house of USNTU. — 372 p. (in Russian).

Kasikowski T., Buczkowski R., Dejewski B., Peszyn'ska-Białczyk K., Lemanowska E., Iglin'ski B. (2004) Utilization of distiller waste from ammonia-soda processing. *Journal of Cleaner Production*. — №12. — P. 759-769. (in English)

Buczkowski R., Kruszyn'ski R., Pietrowski R. (1999) Technical and economical study on the possibility of calcium sulphate production in Janikowo Soda Ash Factory. — Torun. — 185 p. (in English)

Yan Min Shen, Tiangu Wang. (2011) NaCl Brine Preparation from Distiller Waste and Na₂SO₄. *Advanced Materials Research*. — Vols. 233-235 — 897-902 P. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.233-235.897> (in English)

Shatov A. A., Dryamina M. A., Badertdinov R. N. (2004). Potential Utilizations of Soda Production Wastes. *Chemistry for Sustainable Development* 12. — P. 565-571 (in English)

Sabitov K.B., Voronin A.V. (2016) Perspektivy ispol'zovaniya tverdykh othodov proizvodstva kal'cinirovannoj sody AO «BSK» v kachestve karbonatnoj sostavljajushhej syr'ja dlja proizvodstva cementa. [Prospects for the use of solid waste from soda ash production by BSK JSC as a carbonate

component of raw materials for cement production]. Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, vol. 21. — № 3 (83). — P. 86-95 (in Russian).

Svoystva i poluchenie hlorida kal'cija. Poluchenie plavlenogo hlorida kal'cija iz distillernoj zhidkosti sodovogo proizvodstva. razdel Himiya [Properties and preparation of calcium chloride. Production of fused calcium chloride from soda distiller liquid. Chemistry section]. <http://allrefs.net/c26/1msrb/p2/>. (in Russian).

Bykovsky N.A., Daminev R.R., Kurbangaleeva L.R., Fonyakova N.N. (2013) Patent No. 2476386 Russian Federation. MPC: C02F 9/06, C01D7/18. Sposob pererabotki distillernoj zhidkosti ammiachno-sodovogo proizvodstva [Method of processing distiller liquid of ammonia-soda production]. 2011138179/05; No. —P. 6 – 7. (in Russian).

Bykovsky N.A., Kurbangaleeva L.R., Daminev R.R. (2012) Pererabotka distillernoj zhidkosti s polucheniem tovarnyh produktov [Processing of distiller liquid to produce marketable products]. Ufa State Petroleum Technical University Branch, Sterlitamak, Fundamental Research. No. 6—1. — P. 209-213. (in Russian)

A.A. Anarbayev, G.M. Ormanova, B.N. Kabylbekova, N.A. Vysotskaya and B.Kh. Kucharov. (2020) Regularities of interaction of calcium chloride of distiller liquid with natural sodium sulfate. Rasayan Journal of Chemistry. —13(4) —2173 p. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2020.1345888> (in English)

A.A. Anarbayev, G.M. Ormanova, B.N. Kabylbekova, B. Kh. Kucharov, and M. B. Kenzhekhanova (2022) Investigation of the conversion process of calcium chloride of soda production distiller liquid in the presence of mirabilite and thenardite. Rasayan J. Chem., — 15(2). — P. 1280-1287 <http://doi.org/10.31788/RJC.2022.1526871> (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 228–242

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.293>

ӨОЖ 547.458.61; 691.175.5/.8

МРҲТҲ 31.25.15

© **R.K. Rakhmetullayeva**^{*1}, **M. Abutalip**², **B.M. Bayanbayev**¹,
A.M. Abukhan¹, **N.B. Sarova**³, 2025.

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²National Laboratory Astana, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan;

³S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan;

*E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com

EXTRACTION OF WOOD-POLYMER COMPOSITES FROM POLYMER WASTE

Rakhmetullayeva Raikhan — candidate of chemical sciences, Associate Professor of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Abutalip Munziya — PhD, National Laboratory Astana, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: munziya.abutalip@nu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-2200-8479>;

Bayanbayev Bekzhan — Master's student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bmbekzhan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8700-0688>;

Abukhan Aisha — Master's student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: abukhan.aisha@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-3710-4591>;

Sarova Nurbanu — candidate of chemical sciences, Associate Professor of Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sarova.n@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7541-2224>.

Abstract. In recent years, the increasing amount of secondary polyethylene and its negative impact on the environment have become a pressing issue. This polymer takes a long time to degrade in natural conditions, making its recycling a critical task. In this context, the production of wood-polymer composites (WPCs) using wood flour is considered an effective way to convert waste into valuable products. *Results.* This study investigated the physicochemical and mechanical properties of WPCs produced from secondary polyethylene and wood flour of various particle sizes. The composite containing coarse wood flour exhibited the highest swelling degree (0.0672) and moisture absorption (0.055%). Mechanical testing on the VEM10ST.300 universal testing machine revealed a flexural strength of 18,673.43 kPa and a maximum force of 9050 N. *Scientific novelty.* For the first time, the effect of a processing regime that includes pressing and a freezing cycle on the structure and properties of WPCs was comprehensively studied. The optimal ratio of secondary polyethylene to wood flour

was determined to obtain a mechanically strong and eco-friendly material. *Practical significance.* The resulting composites demonstrated high resistance to moisture, temperature fluctuations, and UV radiation, making them suitable for use in construction and furniture manufacturing. The findings support the effective utilization of recycled materials for producing new environmentally friendly products.

Keywords: wood-polymer composite, polyethylene, processing, wood flour, pressing, freezing cycle

Р.К. Рахметуллаева^{*1}, М. Әбутәліп², Б.М. Баянбаев¹,

А.М. Абухан¹, Н.Б. Сарова³, 2025.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Астана ұлттық зертханасы, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан;

³С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com

ПОЛИМЕР ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АҒАШ-ПОЛИМЕРЛІ КОМПОЗИТТЕРДІ АЛУ

Рахметуллаева Райхан Құлымбетовна — химия ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан, E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Абутәліп Мунзия — PhD, Астана ұлттық зертханасы, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан, E-mail: munziya.abutalip@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2200-8479>;

Баянбаев Бекжан Муратулы — әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің магистранты, Алматы, Қазақстан, E-mail: bmbekzhan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8700-0688>;

Абухан Айша Мұхтарқызы — әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің магистранты, Алматы, Қазақстан, E-mail: abukhan.aisha@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-3710-4591>;

Сарова Нурбану Барахановна — химия ғылымдарының кандидаты, С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университетінің доценті, Алматы, Қазақстан, E-mail: sarova.n@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7541-2224>.

Аннотация. Соңғы жылдары екіншілік полиэтиленнің мөлшерінің артуы және оның экологияға зияны өзекті мәселе ретінде көтерілуде. Бұл полимердің табиғи ортада ыдырауы ұзақ уақытты қажет етеді, сондықтан оны қайта өңдеу аса маңызды міндет. Осыған байланысты ағаш ұнын пайдалана отырып ағаш-полимерлі композиттер (АПК) алу – қалдықтарды пайдалы өнімге айналдырудың тиімді жолы болып табылады. *Нәтижелері.* Жұмыста әртүрлі фракциялы ағаш ұны мен екіншілік полиэтилен қолданылып, алынған композиттердің физика-химиялық және механикалық қасиеттері зерттелді. Ірі ағаш ұны негізіндегі композит ең жоғары ісіну (0,0672) және ылғал сіңіру (0,055%) көрсеткіштерін көрсетті. VEM10ST.300 әмбебап сынақ машинасында иілуге төзімділік – 18 673,43 кПа, ал беріктік – 9050 N деңгейінде анықталды. *Ғылыми жаңалығы.* Жұмыста экологиялық тұрғыдан қауіпсіз, механикалық тұрғыдан беріктігі жоғары

композитті материал алу мақсатында ағаш ұны мен екіншілік полиэтиленнің нақты арақатынасы анықталды. Сонымен қатар, зерттеу барысында престеу және мұздату циклін қамтитын технологиялық режимнің композиттің құрылымына және қасиеттеріне әсері алғаш рет жан-жақты зерттелді. Ұсынылған әдіс арқылы алынған композиттер ылғалға, температуралық өзгерістерге және ультракүлгін сәулелерге жоғары төзімділік көрсетіп, оны түрлі салаларда, әсіресе құрылыс және жиһаз өндірісінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. *Практикалық құндылық.* Ұсынылған әдіс арқылы алынған композиттер ылғалға, температуралық өзгерістерге және ультракүлгін сәулелерге жоғары төзімділік көрсетіп, оны түрлі салаларда, әсіресе құрылыс және жиһаз өндірісінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері қайта өңделген материалдарды кәдеге жаратудың тиімділігін арттырып, оларды жаңа экологиялық таза өнімдер алу мақсатында қолданудың ғылыми негіздерін ұсынады.

Түйін сөздер: ағаш-полимерлі композит, полиэтилен, қайта өңдеу, ағаш ұны, престеу, мұздату циклі

©Р.К. Рахметуллаева*¹, М. Абуталип², Б.М. Баянбаев¹,
А.М. Абухан¹, Н.Б. Сарова³, 2025.

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Национальная лаборатория Астана, Назарбаев университет, Астана, Казахстан;

³Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова,
Алматы, Казахстан.

*E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Рахметуллаева Райхан Құлымбетовна — кандидат химических наук, ассоциированный профессор Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Абуталип Мунзия — PhD, Национальная лаборатория Астана, Назарбаев Университет, Астана, Казахстан,

E-mail: munziya.abutalip@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2200-8479>;

Баянбаев Бекжан Муратулы — магистрант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: bmbekzhan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8700-0688>;

Абухан Айша Мұхтарқызы — магистрантка Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: abukhan.aisha@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-3710-4591>;

Сарова Нурбану Барахановна — кандидат химических наук, доцент Казахского национального медицинского университета им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан,

E-mail: sarova.n@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7541-2224>.

Аннотация. В последние годы увеличение объёмов вторичного полиэтилена и его негативное воздействие на окружающую среду стали актуальной проблемой. Этот полимер разлагается в природной среде в течение длительного времени, создавая угрозу экосистемам. Поэтому разработка эффективных методов

переработки и утилизации полиэтиленовых отходов является приоритетной задачей. В связи с этим получение древесно-полимерных композитов (ДПК) с использованием древесной муки рассматривается как перспективный способ превращения отходов в полезную продукцию с высокими эксплуатационными характеристиками. *Результаты.* В работе исследованы физико-химические и механические свойства ДПК, полученных на основе вторичного полиэтилена и древесной муки различной фракции. Композит с крупной фракцией древесной муки продемонстрировал наибольшую степень набухания (0,0672) и влагопоглощения (0,055%). По результатам испытаний на универсальной машине VEM10ST.300 предел прочности при изгибе составил 18 673,43 кПа, а максимальное усилие — 9050 N. *Научная новизна.* Впервые комплексно исследовано влияние технологического режима, включающего прессование и цикл замораживания, на морфологию, структуру и эксплуатационные свойства композитов. Определено оптимальное соотношение вторичного полиэтилена и древесной муки для получения прочного, устойчивого к внешним воздействиям и экологически безопасного материала. *Практическая значимость.* Предложенные композиты обладают высокой стойкостью к влаге, температурным колебаниям и УФ-излучению, что позволяет эффективно применять их в строительстве, наружной отделке и мебельной промышленности. Полученные результаты подтверждают перспективность рационального использования переработанных полимерных отходов для создания новых видов экологически чистой продукции с широкой сферой применения.

Ключевые слова: древесно-полимерный композит, полиэтилен, переработка, древесная мука, прессование, цикл замораживания

Кіріспе. Екіншілік полиэтиленнен ағаш-полимерлі композиттерді өндіру технологиясы пластикалық қалдықтарды қайта өңдеу нәтижесінде алынған қайталама полиэтиленді пайдалануға негізделген. (Mussatto, et al., 2022; Kainov, et al., 2014; Safin, et al., 2014). Полиэтиленге ағаш ұнын қосу арқылы механикалық қасиеттері мен эстетикалық көрінісі бар материалды жасауға мүмкіндік береді, сонымен бірге мұнай өнімдеріне тәуелділікті азайтады және қоршаған ортаның ластануын шешуге көмектеседі, себебі негізгі компонент ретінде екінші реттік полиэтиленді қолдану кәдеге жаратылатын пластикалық қалдықтардың көлемін және табиғи ресурстарды тұтынуды азайтады (Göpferich, et al., 2024; Clemons, 2010; Volfson, et al., 2014).

Ағаш полимерлі композиттерінің тағы бір маңызды аспектісі-олардың қасиеттерінің тамаша үйлесімі. Бұл материалдар ылғал мен атмосфералық жағдайларға төзімді, оларды құрылыс, жиһаз жасау, орау сияқты көптеген салаларда қолдану өте ыңғайлы. Бірегей құрылымына байланысты ағаш-полимерлі композиттері жақсы термиялық және дыбыс оқшаулау қасиеттеріне ие, бұл олардың қолдану аясын кеңейтеді және нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттырады (Beljakova, et al., 2012; Razumov, et al., 2011; Shulaev, et al., 2012; Razumov, et al., 2011).

Жұмыста АҚП-ті өндірудің заманауи әдістеріне талдау жасалады, олардың физика-химиялық және механикалық қасиеттері зерттеледі, сондай-ақ осы материалды өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолдану перспективалары қарастырылады. Бұдан басқа, қоршаған ортаның ластануы және қоғамның тұрақты дамуы проблемаларын шешуге қосқан үлесін анықтау мақсатында екіншілік полиэтиленнен ағаш-полимерлі композиттерді өндіру мен пайдаланудың экологиялық тиімділігін бағалау мәселесі қаралатын болады.

Материалдар мен әдістер. Жоғары қысымды полиэтилен (ЖҚПЭ) - мөлдір, беріктігі жоғары, иілгіштігі жақсы (төмен және жоғары температурада да), химиялық төзімді синтетикалық полимер материал. ПЭ өзінің барлық сипаттамаларын -40°C дейінгі төмен температурада және $+75^{\circ}\text{C}$ дейінгі жоғары температурада сақтайды. Ағаш ұны (АҰ)- иілгіштік, беріктік, соққыға төзімділік және тозуға төзімділік сияқты материалдың көптеген механикалық қасиеттерін арттырады. Ағаштағы целлюлоза, лигнин және гемицеллюлоза одан алынған композиттің механикалық беріктігі мен қаттылығын қамтамасыз етеді. Ағаштың маңызды компоненттерінің бірі лигнин гидрофобты болғандықтан композиттің ылғалға төзімділігіне ықпал етеді.

Ағаш-полимерлі композитті алу жолы. Ағаш-полимерлі композиттерді алу үшін өлшеніп алынған екіншілік полиэтилен $100-115^{\circ}\text{C}$ -ға дейін қыздырылып, балқытылды. Толық балқыған соң ағаш ұнымен араластыру нәтижесінде біртекті масса алынды. Ол арнайы формаға салыну арқылы престелді, толық суыған соң формадан шығарылды. Ағаш-полимерлі композиттің иілуін анықтау үшін VEM10ST.300 (Tinius Olsen, Ұлыбритания) әмбебап сынақ машинасы қолданылды. Алдымен ұзындығы 75 мм, ені 40 мм, қалыңдығы 5 мм болатын бірдей үлгілер дайындалды. Әртүрлі қатынастағы ұсақ ағаш ұны қолданылған композиттердің, сондай-ақ құрамдары бірдей, бірақ дисперстілігі әртүрлі ағаш ұнынан дайындалған композиттердің иілгіштік қасиеттері зерттелді. Ол үшін үлгі екі тірекке орналастырылып, ортасына жүктеме түсіріледі, нәтижесінде материалдың иілу кезіндегі беріктігі мен иілу модулі есептеледі. Сынақ нәтижелері арнайы бағдарлама арқылы автоматты түрде талданып, график түрінде көрсетіледі.

Нәтижелер мен талқылау. Полимер матрицасында ағаш ұнының біркелкі таралуы композиттің біркелкі қасиеттеріне қол жеткізу үшін өте маңызды. Біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін экструдтау, құю немесе басқа араластыру әдістері жиі қолданылады. Ағаш ұнының полимер матрицасында біркелкі таралуы маңызды, өйткені толтырғыш агломераттар жергілікті ақауларға және механикалық қасиеттердің төмендеуіне әкелуі мүмкін (Gorbachev, et al., 2023; Musin, et al., 2012). (Safin, et al., 2010) жұмыстарында ағаш-полимерлі композиттерді алу үшін инертті газдар ортасында ағаш шикізатын термиялық өндеуді қолдану ұсынылған болатын. Ұсынылып отырған жұмыста қарапайым пресстеу әдісі қолданылып ағаш-полимерлі композиттер алынды. Алдымен бір ағаш ұнтағы мен екіншілік полиэтиленнің әртүрлі қатынасында үш түрлі үлгі алынды. Композит 1.1 - үшін ағаш:полимер қатынасы 1.5:1; композит 1.2 - ол 3:1; композит 1.3 - ол 4.5:1. Зерттеу барысында ағаш:полимер қатынасы 3:1 қатынасы

тиімдірек болды. Сондықтан композит 2 - орташа дисперсті ағаш ұны; композит 3 - ірі ағаш ұны композитте 3:1 қатынаста алынды.

Полимер мен ағаш ұны арасындағы фазааралық өзара әрекеттесу композиттің көптеген механикалық және физикалық қасиеттерін анықтайды. Композиттік материалдардағы полиэтилен мен ағаш ұны арасындағы байланыс тікелей химиялық реакция емес, өйткені полиэтилен полярлы емес және химиялық инертті полимер, ал ағаш ұнында полярлы целлюлоза талшықтары бар. Ағаш ұнының полиэтилен матрицасында біркелкі таралуы және механикалық интерлокация жасау да адгезияны жақсартады. Сонымен қатар жоғары температура полиэтиленді жұмсарту және оның ағаш ұнының микрокеуектеріне енуі арқылы жақсы адгезияға ие болуына ықпал етуі мүмкін. Жұмыста ұсынылып отырған ағаш-полимер композит негізінде алынатын материалдың, өнімнің сапасын бағалау және террассалық тақталардың әртүрлі түрлерін салыстыру үшін ылғалдың, температураның, ультракүлгін сәулеленудің әсерін, сондай-ақ әртүрлі типтегі механикалық жүктеме әсерін зерттеу маңызды болып саналады.

Ісінуді зерттеу композиттің өнімділігін бағалауда, әсіресе жоғары ылғалдылық жағдайында шешуші рөл атқарады. Бұл процесті түсіну әртүрлі қолданбаларда ағаш-полимерлі композиттің беріктігі жақсартуға және қолдану аясын түсінуге мүмкіндік береді. Сондықтан жұмыста алынған АПК үлгілерінің әртүрлі еріткіштердегі тепе-теңдік ісіну дәрежесі зерттелді (1-кесте). *Ағаш-полимерлі композиттің (АПК) ісінуі*-бұл материалдың ылғалды сіңіру және көлемнің ұлғаюын сипаттайтын маңызды параметр. Ағаш-полимерлі композиттердің ісіну дәрежесі гравиметриялық әдіс көмегімен анықталды. Олардың құрғақ үлгілерінің бастапқы массасы өлшеніп алынды, массаны есептеу 0,0001 г дәлдікпен Radwag AS 310.R2 PLUS аналитикалық таразысында жүргізілді. Ісіну дәрежесін анықтау үшін дистильденген H_2O , $NaCl$, HCl , $NaOH$, C_2H_6O қолданылды. Ертінділерге 24 сағатқа салынған АПК кептіріліп, толық кепкен соң 24 сағаттан соң массасы өлшенді.

Ағаш ұны мен полиэтиленнен жасалған АПК бірнеше себептерге байланысты аз мөлшерде ісінеді. Біріншіден, полиэтилен гидрофобты материал болып табылады, ол суды сіңірмейді және композиттің ішіне ылғалдың енуіне жол бермейтін тосқауыл жасайды. Ағаш ұны гидрофильді материал болғанымен, полиэтиленмен араласқан кезде полимер матрицасымен қоршалған болып шығады, бұл судың ағаш бөлшектеріне енуін айтарлықтай шектейді. Полимер матрицасы кеуектер мен микроқуыстарды толтырып, судың сіңуіне жол бермейтін тығыз құрылым жасайды. Нәтижесінде су материалға оңай ене алмайды, сондықтан ісіну аз дәрежеде болады. Сонымен қатар, ағаш-полимерлі композит өндірісінде полиэтилен мен ағаш ұны арасындағы адгезияны жақсартатын, су үшін қол жетімді тесіктердің санын одан әрі азайтатын әртүрлі қоспалар мен беттерді өңдеу жиі қолданылады.

1-кесте. Ағаш-полимерлі композиттердің тепе-теңдік ісіну дәрежесі

Ерітінділер	Ісіну дәрежелері, г/г				
	Композиция				
	1.1	1.2	1.3	2	3
H ₂ O	0,0016	0,0019	0,0012	0,0287	0,0672
NaCl	0,0142	0,0044	0,0109	0,0150	0,0693
HCl	0,0013	0,0069	0,0048	0,0225	0,0414
NaOH	0,0253	0,0311	0,0279	0,0381	0,0383
C ₂ H ₆ O	0,0086	0,0071	0,0117	0,0069	0,0167

Компоненттер арасындағы бұл тығыз байланыс судың ағаш ұнына жол табу мүмкіндігін азайтады. Композиттің бетіне түсетін ылғал негізінен полиэтиленде қалады және тереңірек енбейді. Судың аз мөлшері ішке кірсе де, полимер матрицасындағы ағаш бөлшектерінің тығыз таралуына байланысты ол толықтай ене алмайды. Сонымен қатар, полимерлі матрица ағаш ұнын сумен тікелей байланыста болудан қорғайды, бұл судың сіңуін одан әрі азайтады. Жоғары ылғалдылық жағдайында немесе суға батырылған кезде, ағаш ұны полиэтилен матрицасының арқасында ылғалдан оқшауланған күйінде қалады. Бұл ағаш ұны мен полиэтиленнен жасалған ДПК тек ағаш бөлшектерінен тұратын материалдармен салыстырғанда ісінуге жоғары төзімділікті көрсетеді. Бұл композиттің техникалық сипаттамалары мен құрылымы оны әсіресе сумен жанасу сөзсіз болатын жағдайларда қолдануға жарамды етеді. Мұндай кішкентай ісіну маңызды артықшылық болып табылады, өйткені ол материалдың физикалық және механикалық қасиеттерін сақтайды, оның деформациясы мен бұзылуына жол бермейді.

Табиғи ағаш-бұл гигроскопиялық материал, яғни ол ылғалды жақсы сіңіреді, нәтижесінде үлгі ісініп, деформацияланады. Кептіруден кейін үлгі көбінесе бастапқы геометриялық пішінді қайтымсыз өзгертеді және оның бетінде жарықтар пайда болады. Көптеген ағаш түрлері үшін ылғалдың сіңу мөлшері 30% құрайды, яғни арнайы қосылыстармен өңдеусіз оны сумен тікелей байланыста қолдануға болмайды. АПК ылғал сіңіру көрсеткіші тек 1,53-1,72% құрайды. Бұл мән АПК негізіндегі тақтайлардың ылғалға төзімді екенін және оларды жауын-шашынға төзімді құрылымдарда, бассейндерде және т. б. пайдалануға болатындығын көрсетеді (Faizullin, et al., 2013; Safin, et al., 2014). Сондықтан жұмыста ағаш-полимерлі композиттің ылғалдылығын анықтау үшін алдымен композиттердің бастапқы массалары өлшенді, кейін 30 минутқа 30-40°C-ға кептіру шкафына қойылды. Сосын үлгілер ішінде CaCl₂ бар эксикатор салынып суытылып барып, массасы өлшенді. Алынған зерттеу нәтижелері 2-кестеде көрсетілген. Үлгілердің бастапқы массасының өзгеріссіз қалуы, олардың ылғалды сіңірмейтіндігін көрсетеді, яғни ағаш-полимерлі композиттердің гигроскопиялық қабілеті төмен екенін, материалдың төмен ылғалдылығы оның қоршаған ортадан ылғалды сіңіруге төзімділігін көрсетеді. Бұны композиттің тығыз құрылымымен түсіндіруге болады, мұнда ағаш ұны ылғалдың енуіне жол бермейтін полиэтилен

матрицасымен қоршалған. Сонымен қатар, полиэтиленнің өзі гидрофобты материал болып табылады, бұл композиттің суды сіңіруін азайтады. Бөлшектердің өлшемдері мен қасиеттері әртүрлі болуы мүмкін ағаш ұнының әртүрлі түрлерін пайдаланған кезде де алынған ылғалдылық мәндері өте төмен болып қалды. Бұл композитті дайындау әдісі мен таңдалған компоненттер ылғалдылықты тиімді төмендететінін растайды. Материалдың төмен ылғалдылығы оның беріктігі мен жұмыс орнындағы тұрақтылығы үшін маңызды. Мұндай ДПК сумен немесе ылғалды ортамен байланыста болған кезде ісінуге және деформацияға аз бейім болады. Бұл әсіресе құрылыста, сыртқы әрлеуде және сумен жанасу сөзсіз болатын басқа жерлерде материалды қолдану үшін өте маңызды.

2-кесте. Ағаш-полимерлі композиттердің ылғалдылығы

Үлгілер	m_1	m_2	W, %
1.2	5,9517	5,9492	0,042
2	5,8985	5,8954	0,053
3	5,9564	5,9531	0,055

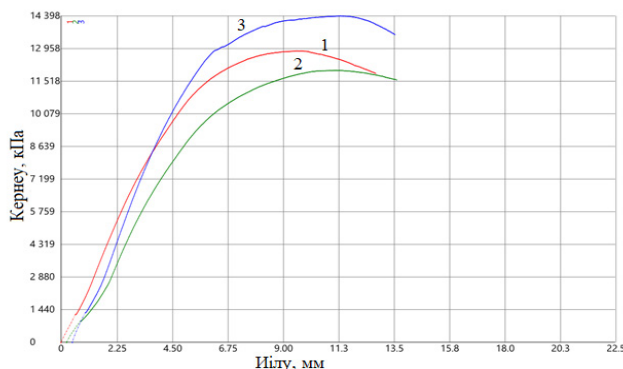
Төмен ылғалдылық композиттің беріктігі мен қаттылығы сияқты механикалық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі. Бұл материалды сенімді және берік етеді. Ылғалдылықтың 0,042% - дан 0,055% - ға дейінгі шамалы ауытқуларында да композит тұрақты қасиеттерді көрсетеді. Мұндай төмен ылғалдылық мәндері өндіріс технологиясының жоғары деңгейін және қолданылатын материалдардың сапасына жауап береді.

Композиттің механикалық қасиеттерін зерттеу кезінде созылу және қысу серпімділік модулі, меншікті беріктік, термиялық төзімділік, иілу және созылу беріктігі, қаттылық маңызды сипаттамалар болып табылады.

Созылу және иілу сынақтары VEM10ST.300 әмбебап сынақ құрылғысында жүргізілді. Мөлшерлері бірдей, қатынастары әртүрлі ағаш ұнынан жасалған үлгілердің иілу қисықтары 3-кесте мен 1-суретте көрсетілген. Алынған нәтижеден ұсақ ағаш ұны қосылған ағаш-полимерлі композиттің 4.5:1 қатынасында (1-сурет, 3-қисық) иілгіштілік қасиетінің біршама жоғары екені анықталды. Бұл композит құрамына енгізілген толықтырғыштың қатынастарына байланысты екенін көрсетеді. Сонымен қатар композициялық материалдардағы полимер мен ағаш ұнының өзара әрекеттесу механизмі адгезия, толтырғыштың таралуы және фазаралық өзара әрекеттесу сияқты бірнеше негізгі аспектілерді қамтиды. Полимер матрицасы мен ағаш ұны арасындағы адгезия композиттің механикалық қасиеттерінде аса маңызды рөл атқарады. Жақсы адгезия полимерден толтырғышқа кернеудің тиімді берілуін қамтамасыз етеді, бұл материалдың беріктігі мен қаттылығын арттырады.

Ағаш ұнының ұсақ бөлшектері өзара әрекеттесу бетінің көбірек болуына байланысты жақсы таралуға және адгезияның жақсаруына ықпал етеді (Safin, et al., 2014). Алайда, тым ұсақ бөлшектер қайта өңдеу процесінде қиындықтар тудыруы мүмкін және қоспаның тұтқырлығы жоғарылайды. Сондықтан жұмыста ағаш ұнының әртүрлі дисперстілігімен алынған үлгілердің иілгіштік

қасиеті зерттелді. Толтырғыштардың диспертілін әртүрлі қылып алған жағдайда үлгілердің иілгіштігінің біршамаға өзгеретіні анықталды. Жұмыста композит қатынасы 3:1 деп алынған композит - 1 ұсақ; композит 2 - орташа; композит 3 - ірі дисперсті ағаш ұны бар үлгілердің иілгіштік қасиеті зерттелді (4-кесте; 2-сурет). Алынған нәтижелерден ағаш-полимер композит құрамын ірі дисперсті ағаш ұны болған кезде түсірген күшке төзімділігінің жоғары екені анықталды (2-сурет, 3-қисық). Бұл толықтырғыштың талшықты, ірі болған сайын түсірген күшке қарсы деформациясының біршама жоғары болуымен түсіндіріледі.



Композит - 1 ұсақ дисперсті ағаш ұны;
үлгі қатынасы: ағаш:полимер = 1.5:1 (1); 3:1 (2); 4.5:1 (3).

1-сурет. Ағаш-полимер композит құрамының иілгіштілікке әсері

3-кесте. Ағаш-полимерлі композиттердің иілгіштілік қасиеті

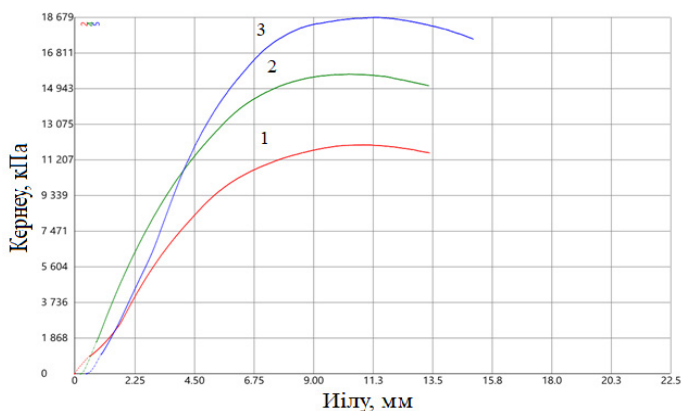
Үлгі	Ені, мм	Қалыңдығы, мм	Тіректер арасындағы қашықтық, мм	Максималды кернеу, кПа	Максималды жүктеме, N
1.1	40,00	5,00	40,00	12 861,98	214
1.2	40,00	5,00	40,00	11 996,31	200
1.3	40,00	5,00	40,00	14 397,78	240

Кез-келген құрылыс материалы сияқты, АПК жоғары беріктік қасиеттеріне ие: иілу немесе соққы кезінде сынбайтын, айтарлықтай жүктемелерге төтеп берітін болуы керек. АПК үлгілерінің осы қасиеттерін анықтау үшін иілу беріктігі мен ағаш беті көтере алатын максималды жүктемеге талдау жасалды. Ол үшін алынған үлгілерге белгілі бір күш түсірген кездегі беріктілігінің қасиеті анықталды. Композиттің беріктігін анықтау үшін өлшемі 2*2*2 см (2 см³) болатын композиттер жасалды. Олардың құрамдары бірдей, бірақ ағаш ұнының мөлшері әртүрлі болған кездегі үлгілеріне күш түсіре отырып деформация өзгерісі зерттелді (3-сурет). Нәтиже барысында ағаш-полимер композит құрамында ірі дисперсті ағаш ұны болған кезде түсірген күшке төзімділігінің жоғары екені анықталды (3-сурет, 3-қисық). Бұл да толтырғыштың жанасу бетінің жоғарлауымен, үлгіге түсірілген күшке беріктілігінің артуымен түсіндіріледі.

4-кесте . Ағаш-полимерлі композиттердің иілгіштілік қасиеті

Үлгі	Ені, мм	Қалыңдығы, мм	Тіректер арасындағы қашықтық, мм	Максималды кернеу, кПа	Максималды жүктеме, N
1	40,00	5,00	40,00	11 996,31	200
2	40,00	5,00	40,00	15 707,25	262
3	40,00	5,00	40,00	18 678,43	311

Ірі ағаш ұнынан жасалған АПК бірнеше себептерге байланысты ұсақ ағаш ұнынан жасалған композитпен салыстырғанда иілгіштік мен беріктіктің жоғары мәндерін көрсетеді. Ағаш ұнының үлкен бөлшектері композиттің ішінде қатаң және берік құрылым жасайды, бұл механикалық өнімділіктің жоғарылауына ықпал етеді. Олар сондай-ақ материалдың қаттылығын арттыруға көмектеседі, бұл оны иілуге және деформацияға төзімді етеді. Бөлшектердің үлкен мөлшері оларға материалдың ішіндегі жүктемені жақсырақ бөлуге мүмкіндік береді, бұл иілу күштерінің әсерінен бұзылу мүмкіндігін азайтады. Сонымен қатар, ағаш ұнының үлкен бөлшектері полиэтиленмен адгезияны жақсартыады, бұл материалдың фазалары арасындағы берік байланыс пен оның механикалық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі. Үлкен бөлшектердің көп болуы деформациялар мен жүктемелерге жақсы қарсы тұра алатын қатаң құрылымды жасайды. Бұл әсіресе әртүрлі қолданбаларда пайдаланылған кезде белгілі бір беріктік пен тұрақтылық деңгейін қамтамасыз ету қажет екінші реттік полиэтилен композиттері үшін өте маңызды. Сонымен қатар, ағаш ұнының үлкен бөлшектері күшейткіштер мен арматура орнына қолданыла алады, материалдың механикалық қасиеттерін жақсартыады. Нәтижесінде, ірі ағаш ұны бар композит, әдетте, ұсақ ағаш ұнынан жасалған композиттермен салыстырғанда беріктік пен иілгіштіктің жоғары мәндерін көрсетеді.

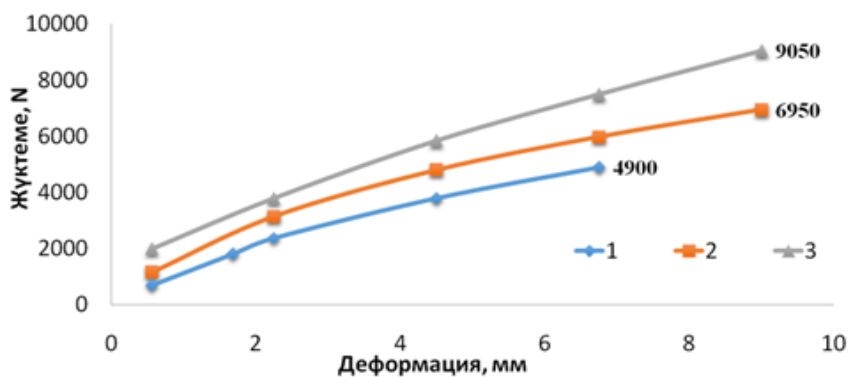


Композит - 1 ұсақ; композит 2 - орташа; композит 3 - ірі дисперсті ағаш ұны; композит қатынасы 3:1.

2-сурет. Ағаш-полимер композит құрамының иілгіштілікке әсері

Екінші полиэтиленнен жасалған ағаш-полимерлі композиттің аязға төзімділігін зерттеу әртүрлі климаттық жағдайларда қолданылуына байланысты өте маңызды. Аязға төзімділік материалдың төмен температурада механикалық және физикалық қасиеттерін сақтау қабілетін бағалайды. АПК-ті қыс мезгілінде төмен температураға ұшырайтын үй ішінде де, сыртта да қолдануға болатындығын ескеру маңызды. Аязға төзімділікті зерттеу композиттің температураның өзгеруі нәтижесінде жарықтар, деформация немесе бұзылу сияқты әртүрлі жағымсыз әсерлерге қаншалықты төтеп бере алатынын анықтауға мүмкіндік береді. Климаттық жағдайлардың күтпеген өзгерістері композиттің жұмысына әсер етуі мүмкін. Аязға төзімділікті бағалау үшін арнайы сынақтар жүргізіледі, мысалы, мұздату және еріту циклдік сынақтары, мұнда композит үлгілері төмен температурада және бөлме температурасында балама экспозиция циклдарынан өтеді. Аязға төзімділікті бағалау ылғалдылықтың мұздату және жібіту процестеріне әсерін зерттеуді де қамтуы мүмкін, өйткені ылғал төмен температурада зақымданудың пайда болуында шешуші рөл атқаруы мүмкін. Нәтижелер әзірлеушілер мен өндірушілерге төмен температура жағдайында аязға төзімділік пен беріктікті арттыру үшін композиттің құрамын жақсартуға және оның құрылымын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Аязды температураның әсерінен кейбір құрылыс материалдарының беріктігі төмендейді, олар сынғыш болады және олардың бетінде жарықтар пайда болуы мүмкін. Сондықтан ашық ауада қолданылатын материалдар үшін, соның ішінде АПК үшін аязға төзімділік сияқты индикаторды анықтау қажет. Бұл мән өнімнің сипаттамаларын өзгертпестен қандай минималды температураға төтеп бере алатындығын көрсетеді.



Композит – 1.2ұсақ (1); композит 2 – орташа (2); композит 3 - ірі дисперсті (3) ағаш ұны; композит қатынасы 3:1.

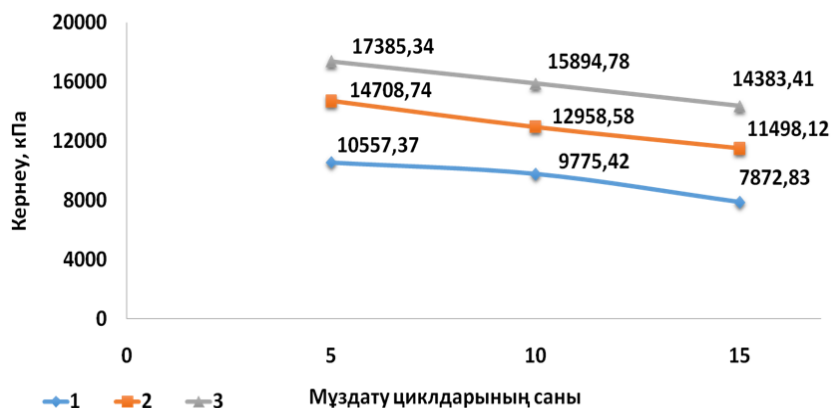
3-сурет. Ағаш-полимер композит құрамының беріктілікке әсері

Ағаш-полимерлі композиттің суыққа төзімділігін анықтау үлгілерді бірнеше рет суықта ұстап, сосын қайта еріту арқылы циклдар алынды. Бір цикл бір суытып - қайта бөлме температурасына дейін әкелген жағдайға тең. АПК-ның

аязға төзімділігі оның аязға төзімділік дәрежесімен сипатталады және аязға төзімділігі 5; 10; 15 циклда анықталды. 3-суретте ұсақ ағаш ұнынан жасалған композиттердің әртүрлі қатынастарының иілгіштігінің суыққа төзімділік қасиеті зерттелген. Нәтиже барысында композит қатынасы 3:1 және ірі дисперсті (3) ағаш ұны қосылып алынған үлгілер үшін иілгіштігі біршама жоғары және цикл саны көбейген сайын сәл ғана сызықты төмендейтіні анықталды (4 - сурет, 3 – қисық). Сонымен қатар бөлме температурасында алынған үлгінің иілгіштігі 18 678,43 кПа құраса, ал бес циклдан кейінгі үлгінің кернеуі 17383,34 кПа құрады, яғни шамамен 1000 кПа өзгеріске ұшырайтыны анықталды.

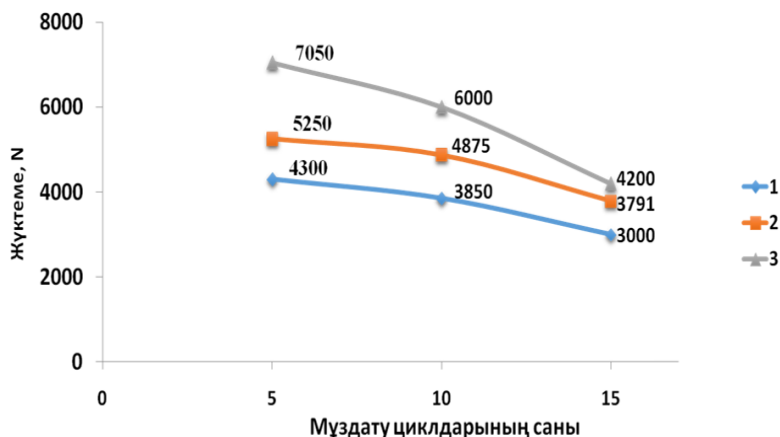
Сонымен қатар алынған әртүрлі циклдағы үлгілердің беріктілігі белгілі бір кернеу түсіру арқылы деформациясының өзгерісімен бағаланды (5- сурет). Мұнда да бөлме температурасындағы үлгілерге қарағанда бес циклдан кейінгі үлгілердің беріктігі біршамаға төмен екені анықталды. Мысалы, ірі дисперсті ағаш ұны қосылған үлгі үшін бөлме температурасында беріктілігі максималды жүктеме 9050 N құраса, бес циклдан кейін 7050 N болды.

Алынған үлгілердің суыққа төзімділік нәтижелерін қорыта келе, алынған үлгілеріміздің минус градус температурада өз қасиеттерін жоғалтпайтынын, сондықтан оларды елдің солтүстік аймақтарында да ашық құрылыстар үшін пайдалануға болады деп тұжырымдауға болады.



Композит – 1.2 ұсақ (1); композит 2 – орташа (2); композит 3 – ірі дисперсті (3) ағаш ұны; композит қатынасы 3:1.

4- сурет. Композиттің иілгіштігінің суыққа төзімділігі



Композит – 1.2 ұсақ (1); композит 2 – орташа (2); композит 3 - ірі дисперсті (3) ағаш ұны;
композит қатынасы 3:1.

5- сурет. Композиттің беріктілігінің суыққа төзімділігі

Қорытынды. Жұмыста ағаш-полимерлі композиттері алынды. Зерттеу барысында механикалық қасиеттері жоғары, экологиялық тұрақты полимерлі композиттер екіншілік полиэтиленнен алынды және олардың қасиеттері зерттелді. Композиттің оңтайлы құрамын анықтау үшін әртүрлі қатынастағы екіншілік полиэтилен және ағаш ұны қолданылды. Алынған композиттердің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу үшін, олардың ісіну дәрежесі мен ылғалдылығы анықталды. Зерттеу нәтижесіне сәйкес ең жоғары мәнді ірі ағаш ұнынан жасалған полимерлі композит көрсетті. Алынған композиттердің физика-механикалық қасиеттерін VEM10ST.300 (Tinius Olsen, Ұлыбритания) әмбебап сынақ машинасы көмегімен зерттеу барысында ең жоғары иілу мен беріктікті, аязға төзімділікті ірі ағаш ұнынан жасалған композит көрсететіні дәлелденді.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада ашуды талап ететін авторлар арасындағы мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер

Белякова Е.А., Бодылевская Т.А. (2012) Ағашты сұйықтықта термиялық модификациялау процесін зерттеу. Ағаш өңдеу өнеркәсібі. — №2. — Б. 29-32.

Вольфсон С.И., Мусин И.Н., Файзуллин И.З., Лыгина Т.З., Трофимова Ф.А. (2014) Модификацияланған ағаш-полимер композиттері. Пластикалық массалар. — Б. 41-44.

Горбачев В., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И. (2023) Ағаш ұнтағының дисперстік құрамына механобиохимиялық модификацияның әсері. Органикалық заттар технологиясы: профессор-оқытушылар құрамының, ғылыми қызметкерлер мен аспиранттардың 87-ғылыми-техникалық конференция материалдары. – Минск: БГТУ, — Б. 388-390. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/58876>

Göpferich, A. және т.б. (2024). Қайта өңделген полиэтилен негізіндегі ағаш-полимер композиттері. Polymers. — 16(21), 2982. DOI: 10.3390/polym16212982

Clemons S. (2010) Полипропилен-полиэтилен эластомерлі қоспалары ағаш ұнтағы негізіндегі

композиттер үшін матрица ретінде. *Composites: Part A*. — V41(11). — Б. 1559-1569. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.07.002

Кайнов П.А., Салимгараев Р.Ф. (2014) Композициялық материалдар өндірісінде ағаш толтырғышын термомодификациялау. Қазан технологиялық университетінің хабаршысы. — Б. 207-209.

Мусин И.Н., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И. (2012) Қоспалардың ағаш-полимер композиттерінің қасиеттеріне әсері. Қазан технологиялық университетінің хабаршысы. — Б. 97-99.

Mussatto, S.I. және т.б. (2022). Ағаш негізіндегі полимер композиттері: өндірісі, қасиеттері және болашағы бойынша шолу. *Polymers*. — 14(2), 257. DOI: 10.3390/polym14020257

Разумов Е.Ю., Данилова Р.В. (2011) Термомодификацияланған ағашты өңдеу әдісі. Қазан технологиялық университетінің хабаршысы. — Б. 74-78.

Разумов Е.Ю., Кайнов П.А., Данилова Р.В. (2011) Ағаштың ішкі бөлігінде жылу-масса алмасу процесін зерттеу. Қазан технологиялық университетінің хабаршысы. — Б. 137-141.

Сафин Р.Г., Филиппова Ф.М., Галиев И.М., Хабибуллина А.Р. (2014) Ағаш-полимер композитінен жасалған едендік тақталардың механикалық қасиеттерін зерттеу. Қазан мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. — Б. 164-166.

Сафин Р.Р., Салимгараева Р.В., Бикмуллина К.В. (2014) Ағаш-полимер композиттері өндірісінің технологиясын жетілдіру. Қазан технологиялық университетінің хабаршысы. — Б. 191-193.

Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. (2010). Ағашты түтін газдарында термомодификациялау. *Орман вестнигі*. — №4. — Б. 95-98.

Файзуллин И.З., Имамутдинов И.В., Хамидов В.Я., Мусин И.Н., Вольфсон С.И. (2013) Ағаш-полимер композиттерінің реологиялық қасиеттеріне толтырғыштар мен технологиялық қоспалардың әсері. Қазан технологиялық университетінің хабаршысы. — Б. 148-150.

Шулаев М.В., Ахмадиева С.В., Кайнов П.А. (2012) Термомодификацияланған ағаштың зен саңырауқұлақтарына төзімділігін зерттеу. Ағаш өңдеу өнеркәсібі. — №2. — Б. 4-6.

References

Beljakova E.A., Bodylevskaya T.A. (2012) Issledovanie processa termomodificirovaniya drevesiny v zhidkostyakh [Study of the process of thermal modification of wood in liquid medium]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost*. — №2. — P. 29-32. (in Russ.).

Volfson S.I., Musin I.N., Faizullin I.Z., Lygina T.Z., Trofimova F.A. (2014) Modifitsirovannyye drevesno-polimernyye kompozity [Modified wood-polymer composites]. *Plasticheskie massy*. — P. 41-44. (in Russ.).

Gorbachev V., Faizullin I.Z., Volfson S.I. (2023) Vliyanie mekhanobiokhimicheskoy modifikatsii drevesnoy muki na dispersnyy sostav chastits [The effect of mechanobiochemical modification of wood flour on the dispersed composition of particles]. *Tekhnologiya organicheskikh veshchestv: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. — Minsk: BG TU. — P. 388-390. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/58876>. (in Russ.)

Göpferich A., et al. (2024) Wood Polymer Composites Based on the Recycled Polyethylene Matrix. *Polymers*. — 16(21), 2982. DOI: 10.3390/polym16212982 (in Eng.).

Clemons S. (2010) Elastomer modified polypropylene-polyethylene blends as matrices for wood flour-plastic composites. *Composites: Part A*. — V41(11). — P. 1559-1569. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.07.002 (in Eng.).

Kaynov P.A., Salimgaraev R.F. (2014) Termomodificirovanie drevesnogo napolnitelya v proizvodstve kompozitsionnykh materialov [Thermomodification of wood filler in the production of composite materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. — P. 207-209. (in Russ.).

Musin I.N., Faizullin I.Z., Volfson S.I. (2012) Vliyanie dobavok na svoystva drevesno-polimernyykh kompozitov [The effect of additives on the properties of wood-polymer composites]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. — P. 97-99. (in Russ.).

Mussatto S.I., et al. (2022) A Critical Review on Wood-Based Polymer Composites: Processing, Properties, and Prospects. *Polymers*. — 14(2), 257. DOI: 10.3390/polym14020257 (in Eng.).

Razumov E.Yu., Danilova R.V. (2011) Sposob obrabotki termomodifitsirovannoy drevesiny [The method of processing thermomodified wood]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. — P. 74-78. (in Russ.).

Razumov E.Yu., Kaynov P.A., Danilova R.V. (2011). Teplomassoperinos vnutri drevesiny v protsesse ee termicheskoy modifikatsii [Heat and mass transfer inside wood during its thermal modification]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. — P. 137-141. (in Russ.).

Safin R.G., Filippova F.M., Galiev I.M., Khabibullina A.R. (2014) Issledovanie mekhanicheskikh svoystv napolnykh plit i dosok iz drevesno-polimernogo kompozita [Investigation of the mechanical properties of floor slabs and boards made of wood-polymer composite material]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. — P. 164-166. (in Russ.).

Safin R.R., Salimgaraeva R.V., Bismullina K.V. (2014) Usovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva DPK [Improvement of WPC production technology]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. — S. 191-193. (in Russ.).

Safin R.R., Khasanshin R.R., Razumov E.Yu., Oladyshkina N.A. (2010) Termomodifitsirovanie drevesiny v srede topochnykh gazov [Thermomodification of wood in the environment of flue gases]. Lesnoy vestnik. — №4. — p. 95-98. (in Russ.).

Faizullin I.Z., Imamutdinov I.V., Khamidov V.Ya., Musin I.N., Volfson S.I. (2013) Vliyanie napolniteley i tekhnologicheskikh dobavok na reologicheskie svoystva drevesno-polimernykh kompozitov [The effect of fillers and technological additives on the rheological properties of wood-polymer composites]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. — P. 148-150. (in Russ.).

Shulaev M.V., Akhmadieva S.V., Kaynov P.A. (2012) Issledovanie stoikosti termomodifitsirovannoy drevesiny k vozdeystviyu plesnevolykh gribov [Investigation of the resistance of thermomodified wood to the effects of moldy fungi]. Derevoobrabatvyvayushchaya promyshlennost'. — №2. — P. 4-6. (in Russ.).

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 243–259

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.294>

УДК 581.192:582.998.2:543.421/424

МПНТИ 31.15.21

© **B.B. Ryskulbek¹, Yu.B. Abdussametova¹, M.A. Dyusebaeva¹,
N.A. Ibragimova², G.E. Berganayeva^{1*}, 2025.**

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh-German University (DKU), Almaty, Kazakhstan;

*E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS IN THE ROOTS AND LEAVES OF *ARCTIUM LAPPA*

Ryskulbek Bekzhan — Bachelor student, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bekzhanryskulbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0274-1353>;

Abdussametova Yulduz — Bachelor student, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: yulduzabdusametova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6891-5282>;

Dyusebaeva Moldyr — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Ibragimova Nailya — Candidate of Biological Sciences, Kazakh-German University (DKU), Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nailya.73@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1618-900X>;

Berganayeva Gulzat — Candidate of Chemical Sciences, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>.

Abstract. *Arctium lappa* contains various BACs, but a comparative analysis of the composition of these compounds in roots and leaves has not been sufficiently studied, which complicates their rational use. The aim of this study is to identify the differences in the chemical composition of the roots and leaves of the *A. lappa*. The results of the phytochemical analysis revealed significant differences in the content of BACs in the roots and leaves of *A. lappa*. The roots are characterized by a high content of saponins (4,71%), alkaloids (1,92%), and carbohydrates (1,36%), whereas the leaves are rich in tannins (16,34%) and flavonoids (2,02%). These differences may explain the varying pharmacological activity of different plant parts and indicate the need for differentiated approach to their use. Using atomic absorption spectrometry, it was determined that potassium, sodium, magnesium, and iron are predominant in both parts of the plant.

GC-MS confirmed the presence of pharmacologically important bioactive compounds in both roots and leaves. In the ethyl acetate extract of the leaves, the major constituents were 1,3-Dioxolane-2,2-diethanol (39,07%), 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Z,Z,Z)- (8,81%), Phytol (4,99%), Sucrose (2,69%), 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol (2,12%), cis-13-Eicosenoic acid (2,09%). In contrast, the hexane extract of the roots was dominated by Nonacosane (15,78%), Heptacosane (15,78%), Hexacosane (12,55%), Pentacosane (11,61%), Squalene (6,02%), Bis(2-ethylhexyl)phthalate (6,86%). The obtained data can be used in the development of phytopharmaceuticals, cosmetic products, as well as for the standardization of medicinal plant raw materials.

Keywords: *Arctium lappa*, biologically active compounds, biological activity, phytopreparation, gas chromatography-mass spectrometry

© Б.Б. Рысқұлбек¹, Ю.Б. Абдусаметова¹, М.А. Дюсебаева¹,
Н.А. Ибрагимова², Г.Е. Берганаева^{1*}, 2025.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Қазақстан-Неміс университеті (DKU), Алматы, Қазақстан.

*E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru

ARCTIUM LAPPA ТАМЫРЫ МЕН ЖАПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Рысқұлбек Бекжан Бүркүтбайұлы – бакалавриат студенті, Химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: bekzhanryskulbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0274-1353>;

Абдусаметова Юлдуз Баходирқызы – бакалавриат студенті, Химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: yulduzabdusametova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6891-5282>;

Дюсебаева Мольдыр Акимжановна – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Ибрагимова Найля Ахтамовна – биология ғылымдарының кандидаты, Қазақстан-Неміс университеті (DKU), Алматы, Қазақстан,
E-mail: nailya.73@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1618-900X>;

Берганаева Гульзат Ергазиевна – химия ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>.

Аннотация. *Arctium lappa* құрамында әртүрлі биологиялық белсенді қосылыстар (ББЗ) бар, алайда тамырлары мен жапырақтарындағы осы қосылыстардың құрамын салыстырмалы талдау жеткіліксіз зерттелген, бұл оларды ұтымды пайдалануды қиындатады. Бұл зерттеудің мақсаты *Arctium lappa* өсімдігінің тамыры мен жапырақтарының химиялық құрамындағы айырмашылықтарды анықтау болып табылады. Фитохимиялық талдау нәтижелері нәтижелер *Arctium lappa* тамыры мен жапырақтарындағы ББЗ-дың құрамындағы айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті. Тамырлар сапониндер (4,71%), алкалоидтар (1,92%)

мен көмірсулардың (1,36%) көп мөлшерімен сипатталады, ал жапырақтары тері илегіш заттар (16,34%) мен флавоноидтарға (2,02%) бай. Бұл айырмашылықтар өсімдік бөліктерінің әртүрлі фармакологиялық белсенділігін анықтай алады және оларды қолдануға сараланған тәсілдің қажеттілігін көрсетеді. Атомдық-абсорбциялық спектрометрияның көмегімен өсімдіктің екі бөлігінде де калий, натрий, магний және темір басым екені анықталды. ГХ-МС өсімдіктің екі бөлігінде де фармакологиялық маңызды биоактивті заттардың бар екенін растады. *Arctium lappa* жапырақтың этилацетатты сығындысында 1,3-Dioxolane-2,2-diethanol (39,07%), 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Z,Z,Z)- (8,81%), Phytol (4,99%), Sucrose (2,69%), 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol (2,12%) және cis-13-Eicosenoic acid (2,09%) үлестері басым болды, ал тамырының гександы сығындысының құрамында 31 қосылыс анықтылып және олардың ішінде, ең жоғары пайыздық мөлшерге Nonacosane (15,78%), Heptacosane (15,78%), Hexacosane (12,55%) және Pentacosane (11,61%), Squalene (6,02%), Bis(2-ethylhexyl) phthalate (6,86%) ие болды. Алынған деректер фитопрепараттарды, косметикалық құралдарды әзірлеу кезінде, сондай-ақ дәрілік өсімдік шикізатын стандарттау кезінде пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері *Arctium lappa* жеке компоненттерінің фармакологиялық белсенділігін әрі қарай зерттеуге, сондай-ақ ББЗ-ды оқшаулау және тазарту әдістерін оңтайландыруға пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: *Arctium lappa*, биологиялық белсенді қосылыстар, биологиялық белсенділік, фитопрепараттар, газды хроматографиясы-масс-спектрометрия

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің 2024-2026 жылдарға арналған гранттық қаржыландыруы аясында жүзеге асырылды. Жоба атауы: AP23484003 "Тері ауруларын емдеуге арналған жаңа отандық және экологиялық қауіпсіз фармакологиялық субстанцияларды әзірлеу".

© Б.Б. Рыскулбек¹, Ю.Б. Абдусаметова¹, М.А. Дюсебаева¹,
Н.А. Ибрагимова², Г.Е. Берганаева^{1*}, 2025.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан;

²Казахстанско-немецкий университет (DKU), Алматы, Казахстан.

*E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОРНЯХ И ЛИСТЬЯХ *ARCTIUM LAPPA*

Рыскулбек Бекжан Буркутбайұлы — студент-бакалавр, факультет Химии и химической технологии, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: bekzhanryskulbek@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0274-1353>;

Абдусаметова Юлдуз Баходирқызы — студент-бакалавр, факультет Химии и химической технологии, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: yulduzabdusametova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6891-5282>;

Дюсебаева Мольдыр Акимжановна — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Ибрагимов Найля Ахтамовна — кандидат биологических наук, Казахстанско-немецкий университет (DKU), Алматы, Казахстан,
E-mail: nailya.73@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1618-900X>;

Берганаева Гульзат Ергазиевна — кандидат химических наук, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>.

Аннотация. *Arctium lappa* содержит различные биологически активные соединения (БАВ), однако сравнительный анализ состава этих соединений в корнях и листьях изучен недостаточно, что затрудняет их рациональное использование. Целью данного исследования является выявление различий в химическом составе корня и листьев растения *Arctium lappa* (лопух). Результаты фитохимического анализа показали существенные различия в содержании БАВ в корнях и листьях *Arctium lappa*. Корни характеризуются высоким содержанием сапонинов (4,71%), алкалоидов (1,92%) и углеводов (1,36%), а листья богаты дубильными веществами (16,34%) и флавоноидами (2,02%). Эти различия могут объяснять различную фармакологическую активность частей растений и указывать на необходимость дифференцированного подхода к их использованию. С помощью атомно-абсорбционной спектроскопии было установлено, что в обеих частях растения преобладают калий, натрий, магний и железо. ГХ-МС подтвердил наличие фармакологически важных биоактивных веществ в обеих частях растения. В этилацетатном экстракте листьев *Arctium lappa* были преобладали 1,3-Dioxolane-2,2-diethanol (39,07%), 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Z,Z,Z)- (8,81%), Phytol (4,99%), Sucrose (2,69%), 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol (2,12%) и cis-13-Eicosenoic acid (2,09%), в то время как гексановый экстракт корней содержал 31 соединение, среди которых наибольший процент имели Nonacosane (15,78%), Heptacosane (15,78%), Hexacosane (12,55%), Pentacosane (11,61%), Squalene (6,02%), Bis(2-ethylhexyl) phthalate (6,86%). Полученные данные могут быть использованы при разработке фитопрепаратов, косметических средств, а также при стандартизации лекарственного растительного сырья. Кроме того, результаты исследования могут быть полезны для дальнейшего изучения фармакологической активности отдельных компонентов *Arctium lappa*, а также для оптимизации методов выделения и очистки БАВ.

Ключевые слова: *Arctium lappa*, биологически активные соединения, биологическая активность, фитопрепараты, газовая хроматография-масс-спектрометрия

Кіріспе. Қазіргі фармацевтикалық ғылым биологиялық белсенді табиғи қосылыстарды іздеуге ерекше мән беріп, жоғары тиімділік пен төмен уыттылыққа ие жаңа субстанцияларды зерттеуге бағытталған. Әлемдік денсаулық сақтау ұйымының (WHO) мәліметтері бойынша, дамушы елдерде халықтың шамамен 80%-ы емдік мақсатта дәрілік өсімдіктерді қолданады (WHO, 2013). Бұл өсімдіктердің қолжетімділігі мен уыттылығы төмен белсенді заттарға бай болуы

олардың заманауи дәрілік заттарды жасаудағы әлеуетін арттырады (Chaachouay, 2024). Осы тұрғыда микробқа қарсы, антиоксиданттық, қабынуға қарсы әсері бар табиғи қосылыстарды анықтау мен зерттеу маңызды ғылыми бағытқа айналып отыр.

Перспективалы, бірақ жеткілікті түрде зерттелмеген өсімдіктердің бірі – Қазақстанда кеңінен таралған және халық медицинасында түрлі ауруларды емдеу мақсатында қолданылып келе жатқан түйежапырақ немесе шоңайна (*Arctium lappa*). Бұл өсімдіктің химиялық құрамын зерттеуде негізінен оның тамыр бөлігіне назар аударылады, себебі онда инулин, полисахаридтер, сапониндер, флавоноидтар, таниндер және органикалық қышқылдар сияқты биологиялық белсенді заттар шоғырланған. Алайда, шоңайнаның тек тамырында ғана емес, оның жапырақтарында да фармакологиялық тұрғыдан құнды метаболиттер болуы мүмкін, бұл олардың химиялық құрамына салыстырмалы талдау жүргізудің өзектілігін көрсетеді.

Осызерттеу жұмысы *Arctium lappa* өсімдігінің тамырлары мен жапырақтарының химиялық құрамын салыстырмалы түрде талдауға бағытталған. Алынған нәтижелер өсімдіктің жер асты және жер үсті бөліктерінің негізгі компоненттік ерекшеліктерін айқындауға, сондай-ақ олардың микробқа қарсы және дерматологиялық препараттар жасаудағы әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді.

Материалдар және әдістер. Зерттеу нысандары: Қазақстан Республикасының Алматы облысының Қарасай ауданынан жиналған *Arctium lappa* (шоңайна) өсімдігінің тамырлары мен жапырақтары.

Өсімдіктің *тамыр бөлігі* топырақ қалдықтарынан тазартылып, дистилденген сумен жуылды, содан кейін жақсы желдетілетін бөлме жағдайында бөлме температурасында көлеңкеде табиғи кептіру әдісімен кептірілді. *Жапырақтары* алдын ала кесіліп, тазартылған сумен өңделіп, сол тәрізді әдіспен кептірілді. Кептіру процесінен кейін өсімдік тамырлары мен жапырақтар біркелкі ұсақтау мақсатында механикалық өңдеуден өткізіліп, зертханалық диірменде ұнтақталған. Зерттеу нысандардан биологиялық белсенді кешен алу үшін мацерация әдісі қолданылды. *Arctium lappa* өсімдігінің фитохимиялық сараптамасы Қазақстан Республикасының Мемлекеттік Фармакопеяның (ҚР МФ) I басылым ережелері бойынша жасалынды. Өсімдік шикізатының құрамындағы макро- және микроэлементтер атомды-абсорбционды спектрлі әдіс арқылы анықталды.

Оптималды экстрагентті таңдау үшін 0,1 г шикізатты 10 мл су, бензол, этанол, этилацетат, бутанол еріткіштерінде ерітіліп 24 сағатқа қалдырылды. Кейін аталған экстракттарға қағазды хроматография (КХ) әдісі арқылы сапалық анализ жасалды. Фитосараптама барысында 13 түрлі реагенттер қолданылды. *Минералдық құрамын анықтау әдістемесі:* Зерттелетін шикізатты ұнтақталып, 2 г мөлшерінде алдын ала тұрақталған фарфор тигельге салынады. Тигельдегі үлгі электр плиткада қыздырылып, шикізат толықтай көмірге айналғанша күйдіріледі. Одан кейін тигель эксикаторда салқындатылады және аналитикалық таразыда өлшенеді. Үлгі муфель пешінде 500–600 °C температурада 4 сағат бойы толық күлге айналғанша өртеледі. Күйдіру аяқталған соң тигель қайтадан эксикаторда

салқындатылып, тұрақты массаға жеткенге дейін таразыда өлшенеді. Кейін күлге айналған қалдықтың үстіне 5 мл азот қышқылының (HNO_3) 1:1 ерітіндісі құйылып, электр плитkada ылғал тұз қалғанша қыздырылады. Қалған тұздың үстіне 10–15 мл 1 н HCl немесе 1 н HNO_3 қосылып ерітіндіге толық ерітіледі. Дайын болған ерітінді 25 мл көлемге дейін өлшемдік колбаға құйылып, белгіленген сызыққа дейін жеткізіледі. Сонымен қатар, дәл осындай жағдайда «бақылау» ерітінді дайындалады.

Алынған ерітінділердің макро- және микроэлементтік құрамын анықтау Shimadzu AA-6200 атомды-абсорбциялық спектрометрі (Жапония) қолданылды. Талдау әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-химиялық зерттеу әдістері және талдау орталығында (ЦФХМА) жүргізілді.

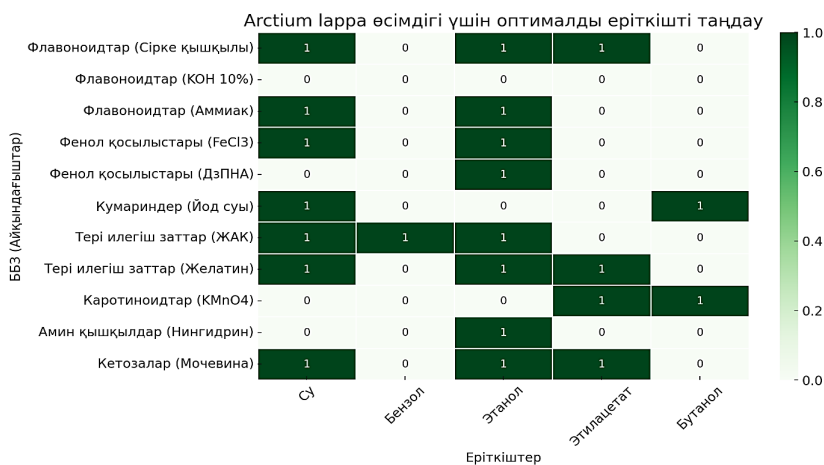
Сонымен қатар, *Arctium lappa* өсімдігінің құрамы газды хроматографиясы-масс-спектрометрия (ГХ-МС) әдісі арқылы зерттелді. Зерттеу үшін Agilent MSD ChemStation масс-спектрометриялық детекторы бар газ хроматографиялық жүйесі пайдаланылды.

Талдау шарттары:

- енгізілген үлгінің көлемі – 0,5 мкл;
- инжектор температурасы – 280 °C;
- капиллярлық баған DB-WaxEtr (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм);
- тасымалдаушы газ – гелий 1 мл/мин жылдамдықпен;
- температура бағдарламасы: 40 °C (5 мин), содан кейін 5 °C/мин 300 °C дейін (5 мин);
- SCAN анықтау режимі (m/z 34–750).

Деректерді өңдеу Wiley 7-ші басылымы және NIST'02 масс-спектр кітапханалары арқылы орындалды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. *Arctium lappa* өсімдігінен ББЗ бөліп алу мақсатында оптималды экстрагент таңдау үшін су, бензол, этанол, этилацетат, бутанол еріткіштеріндегі экстрактивті заттардың мөлшері анықталды (1-сурет).



1 сурет – *Arctium lappa* өсімдігі үшін оптималды еріткішті таңдау

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, *Arctium lappa* өсімдігінің биологиялық белсенді қосылыстарын экстракциялау үшін ең қолайлы еріткіш ретінде этанол анықталды. Бұл еріткіш флавоноидтар, фенолдық қосылыстар, аминқышқылдары және тері илегіш заттар секілді әртүрлі полярлы қосылыстарды тиімді ерітумен ерекшеленеді. Сонымен қатар, су да экстрагент ретінде жоғары экстракция қабілетін көрсетіп, фенолдар мен таниндерді бөлуге мүмкіндік берді. Этилацетат пен бутанол негізінен каротиноидтар мен кумариндерді бөліп алу үшін жарамды болып шықты, ал бензол қосылыстарды еріту қабілеті бойынша ең төмен көрсеткіш көрсетті.

Жүргізілген зерттеулердің негізінде *Arctium lappa* жапырағынан биологиялық белсенді қосылыстарды алу үшін оңтайлы еріткіш ретінде 96%-дық этанол ерітіндісі, ал өсімдіктің тамыр бөлігінен экстракция жүргізу үшін 50%-дық этанол ерітіндісі қолайлы екендігі анықталды. Осы себепті, сапалық және сандық талдаулар үшін сәйкес спирттің сулы ерітінділерін пайдалану негізделген шешім болып табылады.

Зерттелген нысандардан биологиялық белсенді қосылыстарды алу үшін *мацерация* немесе тұндыру әдісі қолданылды. Бұл әдіс – өсімдік шикізатынан биологиялық белсенді заттарды экстракциялау үшін жиі қолданылатын қарапайым және тиімді әдістердің бірі. Бұл әдіс өсімдік ұнтағының бөлшектерін бөлме температурасында немесе аздап қыздырылған еріткішке ұзақ уақыт бойы салып қоюға негізделеді. Мацерация кезінде еріткіш өсімдік жасушаларына диффузия арқылы енеді және жасуша ішіндегі ерігіш қосылыстар ерітіндіге өтеді. Бұл процесс пассивті түрде жүреді және қыздыру немесе қысым қолдануды қажет етпейді, сол себепті термолабильді (жылуға сезімтал) қосылыстарды сақтауға мүмкіндік береді. Экстракция соңында алынған ерітінді сүзіліп, ары қарай буландыру және химиялық талдау үшін дайындалды (Бурашева, 2015).

Зерттеу барысында мацерация әдісін қолдану арқылы биологиялық белсенді қосылыстарды экстракциялау процесінің технологиялық параметрлері 1-кестеде көрсетілген:

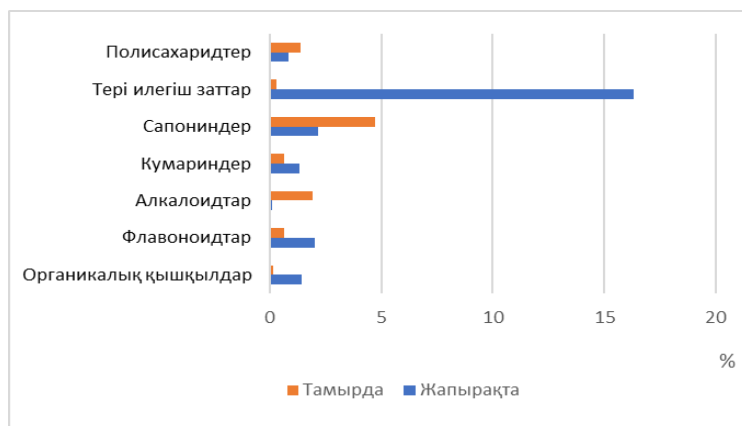
1 кесте – Мацерация әдісімен *Arctium lappa* өсімдігінен экстракт алу үрдісінің технологиялық параметрлері

Параметрлер	Нәтижесі	
	жапырактан	тамырдан
Еріткіш	96% этил спирті	96% этил спирті және дистилденген су
Шикізат-ерітінді қатынасы	1:8	1:5:5
Экстракция уақыты	1 апта	1 апта
Экстракция реті	3 рет	3 рет
Процесс температурасы	20-25 °C	20-25 °C

Өсімдік шикізатының құрамындағы биологиялық белсенді заттардың сандық көрсеткіштері стандартты әдістер бойынша анықталды. Алынған нәтижелер 2-кестеде және 2-суретте көрсетілген:

2 кесте – *Arctium Lappa* құрамындағы биологиялық белсенді заттардың сандық көрсеткіштері

Өсімдік құрамындағы ББЗ тобы	Пайыздық мөлшері (%)	
	жапырақта	тамырда
Органикалық қышқылдар	1,42	0,13
Флавоноидтар	2,02	0,66
Алкалоидтар	0,076	1,92
Кумариндер	1,32	0,64
Сапониндер	2,17	4,71
Тері илегіш заттар	16,34	0,31
Көмірсулар	0,82	1,36

2 сурет – *Arctium Lappa* құрамындағы биологиялық белсенді заттардың сандық көрсеткіштері

Шоңайна өсімдігінің жапырақтары мен тамырының құрамындағы биологиялық белсенді қосылыстардың салыстырмалы талдауы олардың әр бөлігінде белгілі бір қосылыстардың әртүрлі концентрацияда болатынын көрсетті. Бұл қосылыстар өсімдіктің фармакологиялық қасиеттерін айқындап, оның дәрілік мақсатта қолданылу мүмкіндіктерін негіздейді. Шоңайна жапырақтары мен тамырлары, сондай-ақ олардан бөлініп алынған жеке метаболиттер, антиоксиданттық және қабынуға қарсы белсенділіктерімен ерекшеленеді, бұл жасушасыз жүйелерде, жасуша дақылдарында және жануарлар үлгілерінде жүргізілген зерттеулермен дәлелденген (Lyu, et al, 2020).

Arctium Lappa жапырағында ең жоғары мөлшерде тері илегіш заттар (16,34%), флавоноидтар (2,02%) және органикалық қышқылдар (1,42%) кездескен. Тері илегіш заттардың (таниндердің) көп мөлшері олардың айқын қабынуға қарсы, антисептикалық және адсорбенттік қасиеттеріне байланысты. Ғылыми деректер таниндердің микроорганизмдердің көбеюін тежейтінін, шырышты қабықтарға тұтқыр әсер етіп, қан кетуді тоқтататынын көрсетеді (Maugeri, et al, 2022). Сондықтан таниндерге бай өсімдіктер стоматит, тонзиллит, асқазан-ішек ауруларын емдеуде қолданылады. Сонымен қатар, олардың антиоксиданттық

әсері қартаюға қарсы косметикалық құралдарда пайдалануға негіз болады (Jing, et al, 2022).

Флавоноидты қосылыстар *жапырақта* да (2,02%), тамырда да (0,66%) кездеседі, алайда олардың концентрациясы жапырақтарда 1,36%-ға жоғары болатынын байқаймыз. Флавоноидтардың негізгі биологиялық белсенділігі – капиллярларды нығайту, антиоксиданттық және қабынуға қарсы әсерлер көрсету. Олардың бос радикалдарды бейтараптандырып, жасушалық қартаю процестерін баяулататыны және жүрек-қантамыр жүйесінің қызметін жақсартатыны белгілі. Сонымен қатар, флавоноидтар қан тамырларының өткізгіштігін төмендетіп, веноздық жеткіліксіздіктің алдын алуға ықпал етеді (Пугина, 2022).

Тамыр бөлігінде сапониндер (4,71%), алкалоидтар (1,92%) және көмірсулар (1,36%) жоғары концентрацияда анықталды. Сапониндер жасуша мембраналарының өткізгіштігін арттыратын беттік-белсенді қосылыстар ретінде сипатталады. Ғылыми деректер олардың қандағы холестерин деңгейіне, сүйек тінінің беріктігіне, глюкоза алмасуына және онкопротекторлық әсеріне оң ықпал ететінін көрсетеді. Сонымен қатар, сапониндер тромбоциттердің агрегациясын тежейді, гиперкальциурияны емдеуде маңызды рөл атқарады және ауыр металдармен улану кезінде антидоттық қасиеттер көрсетеді (Kareem, et al, 2022).

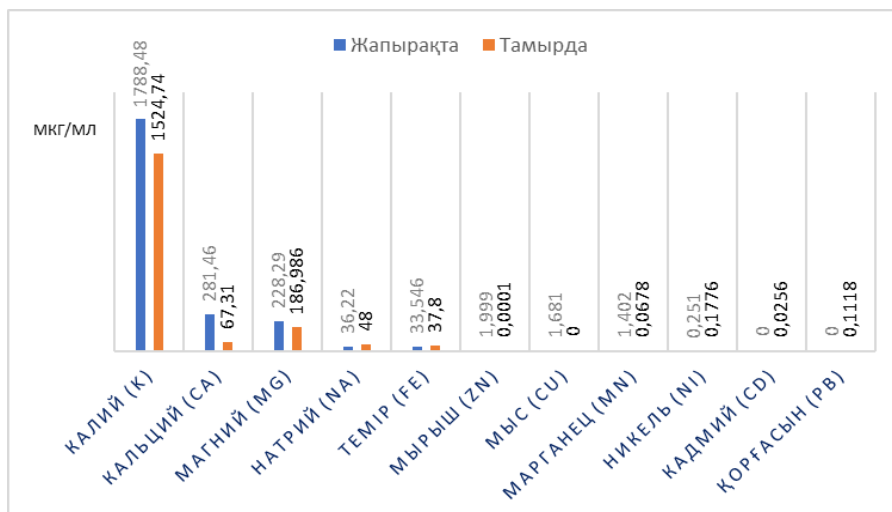
Arctium lappa тамырының көмірсулары гемопоэзді ынталандыру қабілетіне ие және зертханалық жануарларда анемияға қарсы белсенділік көрсетеді (Сычев, 2024). Сонымен қатар, бұл полисахаридтер иммундық жүйенің қызметін жақсартып, цитокиндердің өндірілуін ынталандырады. Олар иммуномодуляторлық әсер көрсетіп, антиденелердің синтезін реттеуге қатысады (Lu, et al, 2023). *Arctium lappa* тамырынан бөлінген көмірсулардың қабынуға қарсы қасиеттері зертханалық жануарлардың колит үлгілерінде дәлелденген (Skowrońska, et al, 2021).

Фруктандар, әсіресе инулин түріндегі қосылыстар, липидтік алмасуды реттеуде маңызды рөл атқарады. Олар қандағы триглицеридтердің, жалпы холестериннің және ТТЛП (төмен тығыздықтағы липопротеидтердің) деңгейін төмендетіп, ТЖЛП (жоғары тығыздықтағы липопротеидтердің) концентрациясын арттырады. Сонымен қатар, фруктандар тағамның энергетикалық құндылығын азайтып, артық салмақтың алдын алуға ықпал етеді, өйткені олар жоғарғы асқазан-ішек жолдарында гидролизденбейді және метаболизденбейді. Жемістерде глюкозаның ассимиляциясы арқылы майдың ыдырау процестері белсендіріліп, семіздіктің даму қаупі төмендейді (Васфилова, 2021). Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алкалоидтардың мөлшері *жапырақта* (0,076%) төмен, ал *тамырда* айтарлықтай жоғары (1,92%) болатыны анықталды. Алкалоидтар жоғары биологиялық белсенділікке ие табиғи қосылыстар тобына жатады. Медициналық тәжірибеде кейбір алкалоидтар спазмолитикалық, анальгетикалық және гипотензивтік дәрілер ретінде қолданылады. Төмен еру қабілеті мен биожетімділігіне қарамастан, өсімдік тектес алкалоидтар ісікке қарсы перспективалық агенттер болып саналады. Бұл қосылыстарды клиникалық қолдануға енгізу үшін олардың мақсатты жасушаларға жеткізілуін оңтайландыруға бағытталған қосымша зерттеулер қажет (Olofinisan, 2023).

Макро- және микроэлементтердің сандық мөлшерін анықтау атомды-абсорбциялық спектрометрия әдісі арқылы жүзеге асырылды. Атомды-абсорбциялық спектрометрия әдісі зерттелетін үлгідегі элементтердің сандық мөлшерін олардың жарықты белгілі бір толқын ұзындығында сіңіру қабілетіне негізделіп анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс жоғары дәлдікпен микро-және макроэлементтерді анықтауға қолданылады. Зерттеу Shimadzu AA-6200 — жалындық атомизация жүйесімен жабдықталған екі сәулелік атомды-абсорбциялық спектрометрінде жүргізілді. Бұл құрылғыда зерттелетін сұйық үлгі аэрозоль түрінде арнайы бүріккіш арқылы жалынға түседі. Жалынның әсерінен үлгідегі элементтер атом күйіне өтеді. Атомдар тек өздеріне тән спектрлік сызықтағы жарықты сіңіреді. Құрылғыда орнатылған қуыс-катодты шамдар белгілі бір элементке тән монохроматтық жарық сәулесін шығарады. Бұл сәуле атомдардан өткенде оның бір бөлігі сіңіріледі. Сіңірілген сәуле қарқындылығы (абсорбция) арқылы зерттелетін элементтің концентрациясы анықталады (Genovesi, 2014). Зерттеу нәтижелер 3-кестеде және 3-суретте көрсетілген. Алынған нәтижелер бойынша *Arctium lappa* жапырағында калий (1788,48 мкг/мл), кальций (281,46 мкг/мл), магний (282,29 мкг/мл) және темір (33,546 мкг/мл) жоғары концентрацияда жинақталған, бұл олардың белсенді метаболизмін көрсетеді. Тамырда кейбір элементтердің, әсіресе темір (37,3 мкг/мл) мен натрийдің (37,8 мкг/мл), салыстырмалы түрде тең мөлшерде болуы байқалады. Мырыш, мыс және марганец сияқты микроэлементтер негізінен жапырақта басым. Атап кететін жайт, жапырақ құрамында кадмий мен қорғасын сияқты улы элементтер болған жоқ. Тек никель (Ni) анықталып, алайда оның мөлшері өте төмен болды, яғни 0,251 мкг/мл құрады. Ал шоңайна тамырларындағы аталған элементтердің мөлшері Мемлекеттік Фармакопоя ұсынған ауыр металдардың шекті рұқсат етілген концентрациясынан аспайды.

3 кесте - *Arctium Lappa* күлдік қалдығының құрамындағы макро- және микроэлементтері

Минералды Элементтер	Мөлшері, (мкг/мл)	
	Жапырақта	Тамырда
Макроэлементтер		
Калий (K)	1788,480	1524,740
Кальций (Ca)	281,460	67,310
Магний (Mg)	228,290	186,986
Натрий (Na)	36,220	48,000
Микроэлементтер		
Темір (Fe)	33,546	37,8
Мырыш (Zn)	1,999	0,0001
Мыс (Cu)	1,681	-
Марганец (Mn)	1,402	0,0678
Ультрамикроэлементтер		
Никель (Ni)	0,251	0,1776
Кадмий (Cd)	-	0,0256
Қорғасын (Pb)	-	0,1118

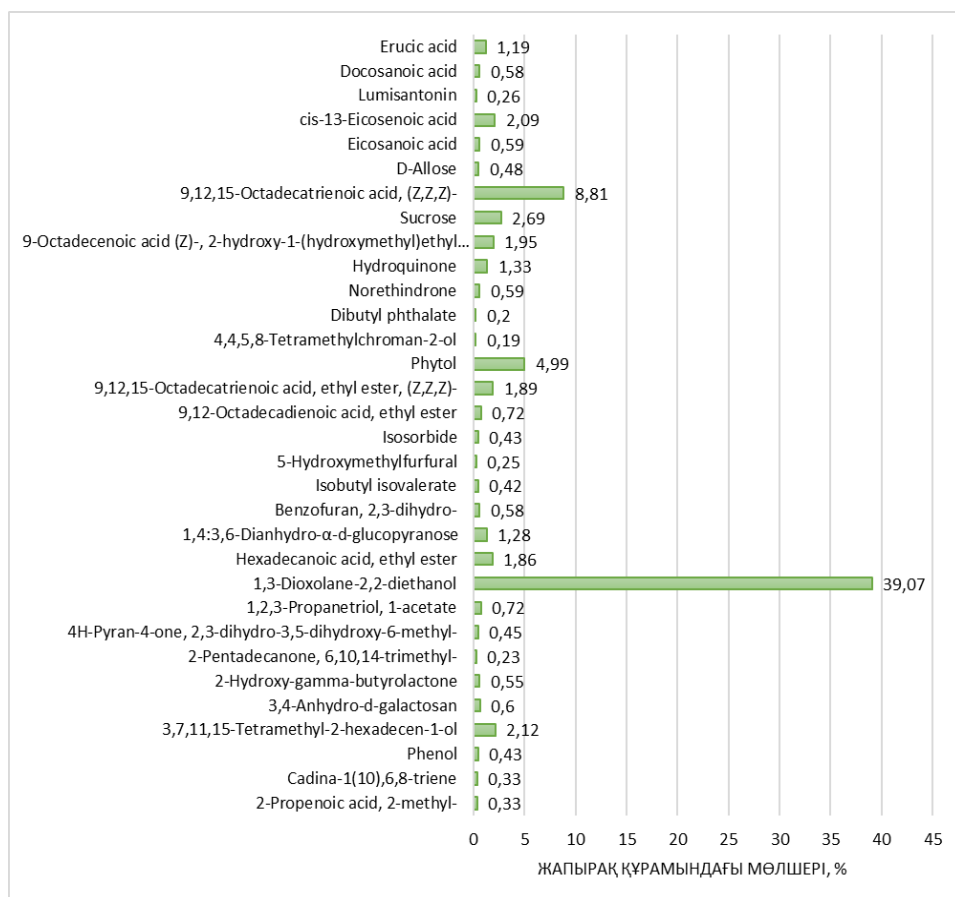


3 сурет - *Arctium lappa* күлдік қалдығының құрамындағы макро- және микроэлементтері

Жапырақта калий, кальций, магний, мырыш, мыс, марганец мөлшері жоғары болуы оны антиоксиданттық, қабынуға қарсы, седативтік және иммуномодуляторлық қасиеттерін қамтамасыз етуі мүмкін. *Тамырда* темір мен натрийдің көп мөлшерде болуы оны анемияға қарсы және детоксикациялық әсер көрсететін субстанция ретінде қарастыруға болатынын көрсетеді. Жалпы, *Arctium lappa*-ның минералдық құрамы оның фармакологиялық қасиеттеріне ықпал етіп, дәрілік өсімдік ретінде қолданылу мүмкіндігін растайды.

Arctium lappa өсімдігінің сығындыларының құрамына кіретін қосылыстарды толық әрі нақты анықтау мақсатында алғаш рет газдық хроматография–масс-спектрометрия (ГХ–МС) әдісімен салыстырмалы талдау жүргізілді. Компоненттерді анықтау хроматограммадағы шыңдардың ұсталыну уақыты мен жеке компоненттердің толық масс-спектрлерін масс-спектрлік кітапхананың таза қосылыстарының сәйкес деректерімен салыстыру арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың «Физикалық-химиялық зерттеу әдістері және талдау орталығында» жасалды.

Arctium lappa-ның жапырақтың этилацетатты сығындысының ГХ-МС талдау нәтижелері 4-суретте келтірілген:

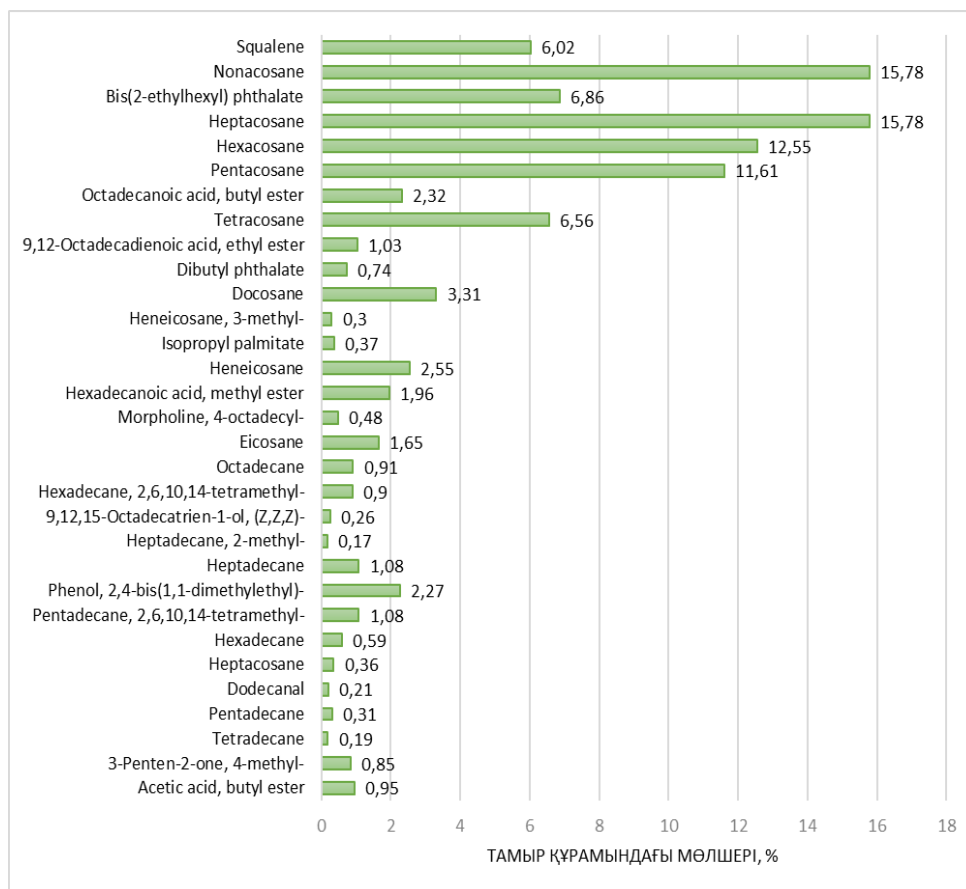


4 сурет – *Arctium lappa* жапырағының этилацетатты сығындысының
ГХ-МС сараптама нәтижелері

Талдау нәтижелері бойынша *Arctium lappa* жапырақтың этилацетатты сығындысының құрамында жалпы 32 қосылыс анықталды, оның ішінде спирттер, күрделі эфирлер, дитерпендер, көмірсулар және май қышқылдары бар екенін көрсетті. Ең жоғары пайыздық мөлшерге ие негізгі қосылыстар қатарына 1,3-Dioxolane-2,2-diethanol (39,07%), 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Z,Z,Z)- (8,81%), Phytol (4,99%), Sucrose (2,69%), 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol (2,12%) және cis-13-Eicosenoic acid (2,09%) жатады. Ғылыми зерттеулер көрсеткендей, 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Z,Z,Z)- жүрек-қантамыр жүйесіне оң әсер етіп, коронарлық артерия ауруының қаупін төмендетуге ықпал етеді. Сонымен қатар, соңғы зерттеулер оның антиметаболикалық синдромға қарсы, ісікке қарсы, қабынуға қарсы, антиоксиданттық, липид алмасуын реттейтін және нейροпротекторлық қасиеттерге ие екенін, сондай-ақ ішек микрофлорасының қызметін реттеуге қатысатынын дәлелдейді (Parvathi, et al, 2022). Phytol (фитол) – ациклді табиғи дитерпен спирті және хлорофилл молекуласының құрамдас

бөлігі. Бұл қосылыс көбінесе хош иісті компонент ретінде қолданылғанымен, оның биомедициналық әлеуеті зор. Фитол қабынуды басатын қасиетке ие, ол циклооксигеназа-1 (ЦОГ-1) және циклооксигеназа-2 (ЦОГ-2) ферменттерін тежеу арқылы қабыну процесін төмендетеді, сондай-ақ каппа В ядролық факторы (NF- κ B) мен интерлейкин-1 β (IL-1 β) сигналдық жолдарын басады. Фитол ацетилсалицил қышқылымен немесе натрий диклофенакымен бірге қолданғанда эксперименталды жануарларда табанның ісінуін азайту арқылы қабынуға қарсы әсерді күшейтеді (Islam, et al, 2020).

Arctium lappa-ның тамырынан бөліп алынған гексан сығындысының ГХ-МС талдау нәтижелері 5-суретте келтірілген:



5 сурет – *Arctium lappa* тамырының гександы сығындысының ГХ-МС сараптама нәтижелері

5-Суреттен көріп тұрғанымыздай, *Arctium lappa* тамырының гександы сығындысының құрамында 31 қосылыс анықталды, алайда оның компоненттері жапырақ құрамында болатын заттардан әлдеқайда өзгешелеу болды. Атап айтсақ, көмірсутектер, күрделі эфирлер, қышқылдар, спирттер және фталаттар

анықталды. Олардың ішінде ең жоғары пайыздық мөлшерге ұзын тізбекті алкандар: *Nonacosane* (15,78%), *Heptacosane* (15,78%), *Hexacosane* (12,55%) және *Pentacosane* (11,61%) болды. Бұл қосылыстар терінің гидрофобты тосқауылын қалыптастырып, ылғалдың жоғалуын азайтады, сонымен қатар антиоксиданттық әсері арқылы жасушалардың зақымдануын тежеуге ықпал етеді, сондықтан оларды косметикалық және дерматологиялық препараттарда кеңінен қолдануға болады (Ferracane, et al, 2010). Сондай-ақ, *Squalene* (6,02%), *Bis(2-ethylhexyl) phthalate* (6,86%) және *Octadecanoic acid, butyl ester* (2,32%) сияқты қосылыстардың едәуір мөлшері табылды. Фенолды қосылыс – *Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-* (2,27%) болуы антиоксиданттық қасиеттерін көрсетеді (Chan, et al, 2011). Сонымен қатар, май қышқылдарының күрделі эфирлері, мысалы, *Hexadecanoic acid, methyl ester* (1,96%) және *9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester* (1,03%) табылды. *Squalene* - табиғи антиоксидант болып, терінің тосқауыл қызметін жақсартып, қартаю процесін баяулатады және иммундық жүйені қолдауға ықпал етеді (Shyam, et al, 2024). Ал *Hexadecanoic acid, methyl ester* және *Octadecanoic acid, butyl ester* сияқты май қышқылының эфирлері теріні жұмсартып, қабынуға қарсы әсер көрсетеді және липид алмасуын реттейді, осылайша теріні қорғау және регенерация процестеріне оң әсер етеді. Зерттеу барысында кейбір фталат қосылыстары, мысалы, *Dibutyl phthalate* және *Bis(2-ethylhexyl) phthalate* анықталса да, олар табиғи құрамның тұрақты бөлігі ретінде қаралмайды. Сондай-ақ, кейбір фталаттар эндокринді бұзатын әсерлерге ие болуы мүмкін (Miyazawa, et al, 2005). Жалпы, *Arctium lappa* тамырларының химиялық профилі фармакологиялық тұрғыдан пайдалы биологиялық белсенді компоненттерді қамтығанын айқын болып тұр.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері шоңайна өсімдіктің тамыры мен жапырақтарының химиялық құрамы олардың әртүрлі биологиялық белсенділікке ие болуы мүмкіндігін көрсетеді. Жапырақтарда антиоксиданттық және қабынуға қарсы әсері бар тері илегіш заттар (16,34%), флавоноидтар (2,02%) және сапониндер (2,17%) жоғары деңгейде жинақталған, сонымен қатар кальций (281,46 мкг/мл), магний (228,29 мкг/мл) және темір (33,546 мкг/мл) көп мөлшері олардың қоректік құндылығын арттырады. Тамырлар алкалоидтар (1,92%) мен полисахаридтерге (1,36%) бай болып, адаптогендік және анальгетикалық әсер беруі мүмкін, сондай-ақ құрамында көмірсутектер (*Pentacosane* – 11,61%, *Heptacosane* – 15,78%, *Nonacosane* – 15,78%), фенолдық қосылыстар (2,27%) және сквален (6,02%) болуы дерматологиялық қолдану мүмкіндігін көрсетеді. ГХ-МС талдауы екі өсімдік бөлігі құрамында да фармакологиялық тұрғыдан маңызды биоактивті заттардың бар екенін растады. Жалпы, жапырақтары медицинада антиоксиданттық және микроэлементтік қасиеттерімен, ал тамырлары адаптогендік және дерматопротекторлық әлеуетімен перспективалы, бұл оларды фармакологиялық зерттеулерде және фитопрепараттар жасауда пайдалануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

Бурашева Г.Ш., Ескалиева Б.К., Кипчакбаева А.К. (2015) Табиғи қосылыстардың химиясы мен технологиясы: оқу құралы. — Алматы: Қазақ университеті. — 2015 — 464 б.

Васфилова Е. С. (2021) Фруктозосодержащие углеводы растений: биологическая активность и использование в медицине (Обзор). Растительные ресурсы. — 2021. — Т. 57. — №. 3. — С. 195-210. <https://new.ras.ru/upload/iblock/87c/husjj0fkr4sok83e9qsdtut00pzwtki.pdf>

Пугина В. А., Васильцова И. В., Коваль Ю. И. (2022) Лопух большой как источник биологически активных веществ. Химия и жизнь. — 2022. — С. 129-136. https://elibrary.ru/download/elibrary_48727180_36604440.pdf

Сычев И. А., Кокина Д. Г. (2024) Действие полисахарида листьев лопуха большого на гемопоэз здоровых животных и животных с железодефицитной анемией. Достижения науки и образования. — 2024. — №. 1 (92). — С. 5-10. <https://doi.org/10.17513/spno.32048>

Chaachouay N., Zidane L. (2024) Plant-derived natural products: a source for drug discovery and development. Drugs and Drug Candidates. — 2024. — Vol. 3. — №. 1. — С. 184-207. <https://doi.org/10.3390/ddc3010011>

Chan YS, Cheng LN, Wu JH, Chan E, Kwan YW, Lee SM, Leung GP, Yu PH, Chan SW. (2011) A review of the pharmacological effects of *Arctium lappa* (burdock). Inflammopharmacology. - 2011. — Vol. 19. - № 5. — P. 245-54. <https://doi.org/10.1007/s10787-010-0062-4>

Ferracane R, Graziani G, Gallo M, Fogliano V, Ritieni A. (2010) Metabolic profile of the bioactive compounds of burdock (*Arctium lappa*) seeds, roots and leaves. J Pharm Biomed Anal. — 2010. — Vol. 51. — №2. — P.399-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2009.03.018>

Genovesi L. (2014) Atomic Absorption Spectrometry: The Science of Atomization. American laboratory. — 2014. — Vol. 46. — №. 7. — P. 34-36. <https://www.labcompare.com/10-Featured-Articles/167294-Atomic-Absorption-Spectrometry-The-Science-of-Atomization/>

Islam M. T. et al. (2020) Phytol anti-inflammatory activity: Pre-clinical assessment and possible mechanism of action elucidation. Cellular and Molecular Biology. — 2020. — Vol. 66. — №. 4. — С. 264-269. <http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.31>

Jing, W., Xiaolan, C., Yu, C., Feng, Q., & Haifeng, Y. (2022) Pharmacological effects and mechanisms of tannic acid. Biomedicine & Pharmacotherapy. — 2022. — Vol. 154. — P. 113561 <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113561>

Kareem O. Tabasum A., Lateef A. D., Suhail A. M. et al. (2022) Positive health benefits of saponins from edible legumes: Phytochemistry and pharmacology. Edible Plants in Health and Diseases: Volume II: Phytochemical and Pharmacological Properties. — 2022. — P. 279-298. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-4959-2_8

Lu, N.; Wei, J.; Gong, X.; Tang, X.; Zhang, X.; Xiang, W.; Liu, S.; Luo, C.; Wang, X. (2023) Preventive effect of *Arctium lappa* polysaccharides on acute lung injury through anti-inflammatory and antioxidant activities. Nutrients. — 2023. — Vol. 15. — №. 23. — P. 4946. <https://doi.org/10.3390/nu15234946>

Lyu Y. R., Sol Ji Jung, Lee S. W., Yang W. K., Kim S. H. et al. (2020) Efficacy and safety of CAEC (Canavalia *Gladiata* *Arctium lappa* extract complex) on immune function enhancement: An 8 week, randomised, double-blind, placebo-controlled clinical trial. Journal of Functional Foods. — 2020. — Vol. 75. — P. 104259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2020.104259>

Maugeri, A., Lombardo, G. E., Cirmi, S., Süntar, I., Barreca, D., Laganà, G., & Navarra, M. (2022) Pharmacology and toxicology of tannins. Archives of Toxicology. — 2022. — Vol. 96. — №. 5. — P. 1257-1277. <https://doi.org/10.1007/s00204-022-03250-0>

Miyazawa M., Yagi N., Taguchi K. (2005) Inhibitory Compounds of α -Glucosidase Activity from *Arctium lappa* L. Journal of Oleo Science. — 2005. - Vol 54. - № 11. — P. 589-594. <https://doi.org/10.5650/jos.54.589>

Olofinson K., Abrahamse H., George B. P. (2023) Therapeutic role of alkaloids and alkaloid derivatives in cancer management. Molecules. — 2023. — Vol. 28. — №. 14. — P. 5578. <https://doi.org/10.3390/molecules28145578>

Parvathi K., Kandeepan C., Sabitha M., Senthilkumar N., Ramya S., Boopathi N. M., ... & Jayakumararaj R. (2022) *In-silico* absorption, distribution, metabolism, elimination and toxicity profile of

9, 12, 15-octadecatrienoic acid (ODA) from *Moringa oleifera*. Journal of Drug Delivery and Therapeutics. — 2022. — Vol. 12. — №. 2-S. — P. 142-50. <http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v12i2-s.5289>

Shyam M, Sabina E.P. (2024) Harnessing the power of *Arctium lappa* root: a review of its pharmacological properties and therapeutic applications. Nat Prod Bioprospect. — 2024. — Vol. 20. - №14(1). — P. 49. <https://doi.org/10.1007/s13659-024-00466-8>

Skowrońska W., Granica, S., Dziedzic, M., Kurkowiak, J., Ziaja, M., Bazylko, A. (2021) *Arctium lappa* and *Arctium tomentosum*, Sources of *Arctii radix*: Comparison of Anti-Lipoxygenase and Antioxidant Activity as well as the Chemical Composition of Extracts from Aerial Parts and from Roots. Plants. — 2021. — Vol. 10. — №. 1. — P. 78 <https://doi.org/10.3390/plants10010078>

WHO Traditional Medicine (2013). Report by the Secretariat of a WHO. Geneva, WHO, 2013, EB134/24

References

Burasheva G.SH., Eskalieva B.Қ., Kipchakbaeva A.K. (2015) Tabiri kosylystardyn himiyasy men tekhnologiyasy: oku kыraly [Chemistry and technology of natural compounds: a textbook]. —Almaty: Qazaq univaersiteti. — 2015. — 464 b. (in Kazakh)

Chaachouay N., Zidane L. (2024) Plant-derived natural products: a source for drug discovery and development. Drugs and Drug Candidates. — 2024. — Vol. 3. — №. 1. — C. 184-207. <https://doi.org/10.3390/ddc3010011>

Chan YS, Cheng LN, Wu JH, Chan E, Kwan YW, Lee SM, Leung GP, Yu PH, Chan SW. (2011) A review of the pharmacological effects of *Arctium lappa* (burdock). Inflammopharmacology. - 2011. — Vol. 19. - № 5. — P. 245-54. <https://doi.org/10.1007/s10787-010-0062-4>

Ferracane R, Graziani G, Gallo M, Fogliano V, Ritieni A. (2010) Metabolic profile of the bioactive compounds of burdock (*Arctium lappa*) seeds, roots and leaves. J Pharm Biomed Anal. — 2010. — Vol. 51. — №2. — P.399-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2009.03.018>

Genovesi L. (2014) Atomic Absorption Spectrometry: The Science of Atomization. American laboratory. — 2014. — Vol. 46. — №. 7. — P. 34-36. <https://www.labcompare.com/10-Featured-Articles/167294-Atomic-Absorption-Spectrometry-The-Science-of-Atomization/>

Islam M. T. et al. (2020) Phytol anti-inflammatory activity: Pre-clinical assessment and possible mechanism of action elucidation. Cellular and Molecular Biology. — 2020. — Vol. 66. — №. 4. — C. 264-269. <http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.31>

Jing, W., Xiaolan, C., Yu, C., Feng, Q., & Haifeng, Y. (2022) Pharmacological effects and mechanisms of tannic acid. Biomedicine & Pharmacotherapy. — 2022. — Vol. 154. — P. 113561 <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113561>

Kareem O. Tabasum A., Lateef A. D., Suhail A. M. et al. (2022) Positive health benefits of saponins from edible legumes: Phytochemistry and pharmacology. Edible Plants in Health and Diseases: Volume II: Phytochemical and Pharmacological Properties. — 2022. — P. 279-298. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-4959-2_8

Lu, N.; Wei, J.; Gong, X.; Tang, X.; Zhang, X.; Xiang, W.; Liu, S.; Luo, C.; Wang, X. (2023) Preventive effect of *Arctium lappa* polysaccharides on acute lung injury through anti-inflammatory and antioxidant activities. Nutrients. — 2023. — Vol. 15. — №. 23. — P. 4946. <https://doi.org/10.3390/nu15234946>

Lyu Y. R., Sol Ji Jung, Lee S. W., Yang W. K., Kim S. H. et al. (2020) Efficacy and safety of CAEC (Canavalia *Gladiata* *Arctium lappa* extract complex) on immune function enhancement: An 8 week, randomised, double-blind, placebo-controlled clinical trial. Journal of Functional Foods. — 2020. — Vol. 75. — P. 104259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2020.104259>

Maugeri, A., Lombardo, G. E., Cirmi, S., Süntar, I., Barreca, D., Laganà, G., & Navarra, M. (2022) Pharmacology and toxicology of tannins. Archives of Toxicology. — 2022. — Vol. 96. — №. 5. — P. 1257-1277. <https://doi.org/10.1007/s00204-022-03250-0>

Miyazawa M., Yagi N., Taguchi K. (2005) Inhibitory Compounds of α -Glucosidase Activity from *Arctium lappa* L. Journal of Oleo Science. — 2005. - Vol 54. - № 11. — P. 589-594. <https://doi.org/10.5650/jos.54.589>

Olofinisan K., Abrahamse H., George B. P. (2023) Therapeutic role of alkaloids and alkaloid derivatives in cancer management. Molecules. — 2023. — Vol. 28. — №. 14. — P. 5578. <https://doi.org/10.3390/>

molecules28145578

Parvathi K., Kandeepan C., Sabitha M., Senthilkumar N., Ramya S., Boopathi N. M., ... & Jayakumararaj R. (2022) *In-silico* absorption, distribution, metabolism, elimination and toxicity profile of 9, 12, 15-octadecatrienoic acid (ODA) from *Moringa oleifera*. Journal of Drug Delivery and Therapeutics. — 2022. — Vol. 12. — №. 2-S. — P. 142-50. <http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v12i2-s.5289>

Pugina V. A., Vasil'cova I. V., Koval' Ju. I. (2022) Lopuh bol'shoj kak istochnik biologicheskii aktivnykh veshchestv. Himija i zhizn'. — P. 129-136. https://elibrary.ru/download/elibrary_48727180_36604440.pdf (in Russian)

Shyam M, Sabina E.P. (2024) Harnessing the power of *Arctium lappa* root: a review of its pharmacological properties and therapeutic applications. Nat Prod Bioprospect. — 2024. — Vol. 20. - №14(1). — P. 49. <https://doi.org/10.1007/s13659-024-00466-8>

Skowrońska W., Granica, S., Dziedzic, M., Kurkowiak, J., Ziája, M., Bazyłko, A. (2021) *Arctium lappa* and *Arctium tomentosum*, Sources of *Arctii radix*: Comparison of Anti-Lipoxygenase and Antioxidant Activity as well as the Chemical Composition of Extracts from Aerial Parts and from Roots. Plants. — 2021. — Vol. 10. — №. 1. — P. 78 <https://doi.org/10.3390/plants10010078>

Sychev I. A., Kokina D. G. (2024) Dejstvie polisaharida list'ev lopuha bol'shogo na gemopoez zdorovykh zhivotnykh i zhivotnykh s zhelezodeficitnoj anemiej [The effect of burdock leaf polysaccharide on hematopoiesis in healthy animals and animals with iron deficiency anemia]. Dostizhenija nauki i obrazovanija — 2024. — №1(92). — S.5-10. <https://doi.org/10.17513/spno.32048> (in Russian)

Vasfilova E. S. (2021) Fruktozosoderzhashhie uglevody rastenij: biologicheskaja aktivnost' i ispol'zovanie v medicine (Obzor) [Fructose-Containing Carbohydrates of Plants: Biological Activity and Use in Medicine (Review)] Rastitel'nye resursy. — 2021. — T. 57. - №3. — S. 195-210. <https://new.ras.ru/upload/iblock/87c/husij0fkkr4sok83e9qsdtut00pzwtki.pdf> (in Russian)

WHO Traditional Medicine (2013). Report by the Secretariat of a WHO. Geneva, WHO, 2013, EB134/24

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 260–273

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.295>

УДК 541.138:544.653.2:546.181

© A. Tukibayeva*¹, A. Bayeshov², D. Asylbekova¹, G. Adyrbekova¹,
N. Kalieva³, 2025.

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

²JSC «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Organic Catalysis and Electrochemistry»,
Almaty, Kazakhstan;

³Kh.A. Yassawi Kazakh-Turkish International University, Turkestan, Kazakhstan.
E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru

STUDY OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF PHOSPHINE IN AQUEOUS SOLUTIONS

Tukibayeva Ainur Sultankhanovna — candidate of Chemistry, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6663-4272>;

Bayeshov Abduali — academician of NAS RK, doctor of Chemistry, professor, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Asylbekova DinaDuisenbekkyzy — candidate of Chemistry, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: asylbekova.dina@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8099-0662>;

Adyrbekova Gulmira Menlibayevna — candidate of Chemistry, associate professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: adyrbekova.gulmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4411-7713>;

KalievaNurziaAbdeshovna — senior lecturer, Kh.A.Yassawi Kazakh-Turkish International University, Turkestan, Kazakhstan,

E-mail: nur_2773@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8137-9427>.

Abstract. The aim of the study is to investigate the electrochemical properties of phosphine in neutral (sodium sulfate) and alkaline (sodium hydroxide) environments and to develop electrochemical methods for processing phosphine-containing waste from phosphorus production. Electrochemical studies were conducted by methods of recording cyclic anodic-cathode and anodic potentiodynamic polarization curves and electrolysis under galvanostatic conditions. The mechanism of anodic oxidation of phosphine was studied by recording cyclic anode-cathodic and anodic potentiodynamic polarization curves using a Potentiostat/galvanostat Electrochemical Workstation Corrtest Instruments. The results of the study show that on a platinum electrode in a sodium sulfate solution, the maximum of phosphine oxidation is clearly observed at a potential of about +0.73 V. In a sodium hydroxide solution on a platinum electrode, the

maximum of anodic oxidation of phosphine is observed as a weak flat maximum in the potential range of about +0.03 V. The phosphine oxidation wave on the copper electrode is not observed up to the overvoltage potential of oxygen evolution, but the results of electrolysis show that phosphine oxidation occurs with the formation of copper (I) phosphide. The effect of current density, electrolyte concentration and thickness of the layer of lump lead electrodes on the oxidation degree and current efficiency of phosphine oxidation were studied. Optimum conditions for anodic oxidation of phosphine on lump lead electrodes in a sodium sulfate solution were determined, with the current efficiency and oxidation state of phosphine being 69% and 72%, respectively. The obtained research results can be used in the purification of phosphine-containing waste from phosphorus production.

Keywords: phosphine, voltammetric measurements, electrolysis, lumpy electrodes, current efficiency, oxidation degree

© А. Тукибаева^{1*}, А. Баешов², Д. Асылбекова¹, Г. Адырбекова¹,
Н. Калиева³, 2025.

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

²«Д.В. Сокольский атындағы отын, органикалық катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

³Х.А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан, Қазақстан.

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru

ФОСФИННІҢ СУЛЫ ЕРІТІНДЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Түкібаева Айнұр Сұлтанханқызы — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6663-4272>;

Баешов Әбдуәлі — ҚР ҰҒА академигі, химия ғылымдарының докторы, профессор, Д.В. Сокольский атындағы отын, органикалық катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,
E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Асылбекова Дина Дүйсенбекқызы — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: asylbekova.dina@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8099-0662>;

Адырбекова Гүлмира Менлибаевна — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: adyrbekova.gulmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4411-7713>;

Калиева Нұрзия Әбдешқызы — аға оқытушы, Х.А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан,
E-mail: nur_2773@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8137-9427>.

Аннотация. Сары фосфордың электротермиялық өндірісінің негізгі қалдықтары құрамында 95% СО, 8% Н₂, 2% О₂ және 0,3-4% фосфин (РН₃), сары фосфор (Р₄), күкіртсутек (Н₂С) қоспалары бар өте улы пеш газы болып табылады. Фосфинді міндетті түрде бейтараптандыру қажет. Зерттеудің мақсаты – бейтарап

(натрий сульфаты) және сілтілі (натрий гидроксиді) орталардағы фосфиннің электрохимиялық қасиеттерін зерттеу және фосфор өндірісінің құрамында фосфині бар қалдықтарды өңдеудің электрохимиялық әдістерін жасау. Электрохимиялық зерттеулер циклді анодты-катодтық және анодтық потенциодинамикалық поляризациялық қисықтарын түсіру мен гальваностатикалық жағдайларда электролиз тәсілдері көмегімен жүргізілді. Фосфиннің анодты тотығу механизмі, Electrochemical Workstation Corrtest Instruments потенциостат/гальваностат көмегімен циклдік анодты-катодтық және анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисықтарын түсіру арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, натрий сульфаты ерітіндісіндегі платина электродында фосфиннің тотығу максимумы шамамен +0,73В потенциалында анық байқалады. Натрий гидроксиді ерітіндісінде платина электродында фосфиннің анодты тотығуы әлсіз жалпақ максимум түрінде шамамен +0,03 В потенциалдар аймағында байқалады. Мыс электродындағы фосфиннің тотығу толқыны оттегі бөлінуінің асқын кернеулік потенциалына дейін байқалмайды, бірақ электролиз нәтижелері фосфиннің тотығуы мыс (I) фосфидінің түзілуімен жүретіндігін көрсетеді. Фосфиннің тотығуының ток бойынша шығымы мен тотығу дәрежесіне түйіршікті қорғасын электродтарындағы ток тығыздығының, электролит концентрациясының және түйіршікті электрод қабаты қалыңдығы биіктігінің әсерлері зерттелді. Натрий сульфаты ерітіндісінде түйіршікті қорғасын электродтарында фосфиннің анодты тотығуының оңтайлы шарттары анықталды, бұл кезде фосфиннің тотығуының ток бойынша шығымы мен тотығу дәрежесі сәйкесінше 69% және 72% құрады. Алынған зерттеу нәтижелерін фосфор өндірісінің құрамында фосфині бар қалдықтарды залалсыздандыруда қолдануға болады.

Түйін сөздер: фосфин, вольтамперметрлік өлшеулер, электролиз, түйіршікті электродтар, ток бойынша шығым, тотығу дәрежесі

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант № AP19679002).

© А. Тукибаева^{1*}, А. Баяшов², Д. Асылбекова¹, Г. Адырбекова¹,
Н. Калиева³, 2025.

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²АО «Институт топлива, органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан;

³Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, Туркестан, Казахстан.

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОСФИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Тукибаева Айнур Султанхановна – к.х.н., ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6663-4272>;

Баешов Абдуали – академик НАН РК, доктор химических наук, профессор, АО «Институт топлива, органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан,
E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Асылбекова Дина Дуйсенбековна – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
E-mail: asylbekova.dina@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8099-0662>;

Адырбекова Гулмира Менлибаевна – кандидат химических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
E-mail: adyrbekova.gulmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4411-7713>;

Калиева Нурзия Абдешовна – старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, Туркестан, Казахстан,
E-mail: nur_2773@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8137-9427>.

Аннотация. Основным отходом электротермического производства желтого фосфора является высокотоксичный печной газ, содержащий 95% CO, 8% N_2 , 2% O_2 и 0,3–4% фосфина (PH_3), желтого фосфора (P_4) и сероводорода (H_2S). Фосфин обязательно необходимо обезвреживать. Цель исследования – изучение электрохимических свойств фосфина в нейтральной (сульфат натрия) и щелочной (гидроксида натрия) средах и разработка электрохимических способов переработки фосфинсодержащих отходов фосфорного производства. Электрохимические исследования проводились методами снятия циклических анодно-катодных и анодных потенциодинамических поляризационных кривых и электролиза в гальваностатических условиях. Механизм анодного окисления фосфина изучали путем снятия циклических анодно-катодных и анодных потенциодинамических поляризационных кривых с помощью потенциостата/гальваностата Electrochemical Workstation Corrtest Instruments. Результаты исследования показывают, что на платиновом электроде в растворе сульфата натрия максимум окисления фосфина отчетливо наблюдается при потенциале около +0,73В. В растворе гидроксида натрия на платиновом электроде максимум анодного окисления фосфина наблюдается в виде слабого плоского максимума в диапазоне около +0,03 В. Это можно объяснить постепенной пассивацией поверхности электрода и адсорбцией фосфина на поверхности электрода. Волна окисления фосфина на медном электроде не наблюдается вплоть до потенциала перенапряжения выделения кислорода, однако результаты электролиза показывают, что окисление фосфина протекает с образованием фосфида меди (I). Изучено влияние плотности тока, концентрации электролита и толщины слоя кусковых свинцовых электродов на степень окисления и выход по току окисления фосфина. Определены оптимальные условия анодного окисления фосфина на кусковых свинцовых электродах в растворе сульфата натрия, при этом выход по току и степень окисления фосфина составляют 69% и 72% соответственно. Полученные результаты исследований могут быть использованы при очистке фосфинсодержащих отходов фосфорного производства.

Ключевые слова: фосфин, вольтамперометрические измерения, электролиз, кусковые электроды, выход по току, степень окисления

Кіріспе. Фосфиннің түзілу көздері - шихта компоненттерімен бірге түсетін су, кокс және электродта түзілетін заттардың ұшқыш қосылыстары болып табылады. Дегенмен, фосфиннің түзілу жағдайы мен механизмдері әлі зерттелуде. Фосфин – өлімге әкелетін метаболикалық токсин, оның әсер ету механизмі аэробты тыныс алуға байланысты тотығу стрессін қамтиды. Фосфин газын жәндік-зиянкестерден тамақты қорғау үшін фумигант ретінде қолданылады (Saad, et al., 2024; Fluck, 2006; Musshoff, et al., 2008). Фосфиннің максималды концентрациясы фосфор өндірісінде фосфор-калий тыңайтқышын өндіруде байқалады (Справочник, 2021). Бүгінгі таңда фосфорлы-калийлі тыңайтқыштар өндірісінде өнеркәсіптік шығарындыларды тазарту үшін шаң тазартқыш қондырғылар қолданылады, бірақ газды толық жоюды қамтамасыз етпей отыр. Қалдық газдардағы фосфин концентрациясын төмендету үшін газ тазарту қондырғыларын жаңарту қажет.

Пайдаланылған газдарды фосфиннен тазартудың қолданыстағы химиялық әдістері құрамында әртүрлі хлордың оттекті қосылыстары (H_2SO_4 , HClO , KMnO_4 , H_2O_2 , NaClO , NaClO_3), марганец асқын тотығы, еріген озонмен фосфор қышқылы және т.б. негізделген. Бұл шешімдер практикалық қолдану үшін пайдаланылмайды, себебі олар қалпына келтірілмейді және жұмыс істегеннен кейін ауыстырылмайды (Труды ИОКЭ, 1980; Дорфман, et al., 1991; Полимбетова, 2016; Ibraimova, et al., 2021). Каталитикалық тотығу әдісінде катализатор ретінде (Cotton, 1977; Naack, 1988) толтырғыштарға жүктелген белсенді металдар қолданылады. PH_3 пайдаланылған газдағы оттегінің іздері арқылы таңдамалы және каталитикалық тотығуы, содан кейін катализаторлар (Honghong, 2011; Yang, et al., 2010) бетінде адсорбциялануы мүмкін. Дегенмен, барлық тәсілдердің ұқсас кемшіліктері, атап айтқанда, екіншілік ластану, жоғары капиталды шығындар, пайдалану шығындары және техникалық мәселелері бар.

Фосфор гидридтері - фосфин PH_3 , дифосфин P_2H_4 және бірқатар қатты гидридтері P_4H_2 белгілі, олардың ішінде соңғысы толық зерттелмеген (Osadchenko, et al., 1969, 2005). Фосфин күшті тотықсыздандырғыш және теріс потенциалға ие. Термодинамикалық тұрғыдан, фосфин «минус» 0,063 В потенциал аймағында элементті фосфор мен фосфат иондарына дейін тотықтыруға болады (Астахов, et al., 1981). Сондай-ақ, фосфинді ылғалды жоюдың электрохимиялық тәсілін ұсынған (Qu, et al., 2015), яғни фосфинді жою үшін Ti/SnO_2 анодын қолданып электрохимиялық тотығудың белгілі бір әсер ететіндігін анықтаған. Процеске бірқатар параметрлердің әсерін зерттеп, реакция өнімдерін талдау фосфин ерітіндідегі бірегей иондық өнім болып табылатын фосфат-иондарына дейін тотыққандығын көрсеткен.

Әдетте газдарды электрохимиялық тотықтыру немесе тотықсыздандыру мүмкін емес деп саналады, осыған байланысты әдебиетте мұндай процестер туралы іс жүзінде ақпарат жоқ; Біздің зерттеулеріміз газ тәрізді қосылыстар электродтық процестерге олардың бөлшектерінің электрод бетімен тікелей соқтығысуы немесе еру сатысы арқылы қатыса алатынын көрсетті (Tukibayeva, et al., 2023). Біздің тәжірибелеріміз көрсеткендей, фосфин газын электролизердің анодтық кеңістігінен өткізгенде оның тотығуы жеткілікті жоғары ток бойынша

шығыммен жүреді. Бұл кезде қоршаған ортаға қауіпті емес фосфор қосылыстары алынады. Оның үстіне халық шаруашылығының әртүрлі салаларында кеңінен қолданылатын құрамында фосфоры бар өнімдерді алуға болады. Алынған білім мен мәліметті әртүрлі өнеркәсіптік кәсіпорындарда түзілетін басқа газтәрізді заттарды бейтараптандыруға да қолдануға болады, сондықтан фосфиннің электрохимиялық қасиетін зерттеудің теориялық және практикалық маңызы бар. Фосфинді залалсыздандыру әдістерінің жетіспеушілігіне байланысты фосфиннің тотығуын электрохимиялық әдістермен зерттеу, перспективті болуы мүмкін, өйткені ол химиялық реагенттерді және қарапайым жабдықты аз қолдануды қажет етеді.

Бұған дейінгі зерттеулерімізде фосфинді бейтараптандыру және бағалы фосфор қосылыстарын алу үшін оны анодты тотықтыру әдісі жасалған. Әдістің жаңалығы Қазақстан Республикасының патентімен қорғалған ((Тукибаева, et al., 2024). Электролизердің анодты кеңістігіндегі газ тәрізді заттарды тотықтырудың жаңа әдісін күкіртсутек пен күкірт диоксиді сияқты басқа заттарды бейтараптандыру үшін де қолдануға болатынын атап өтеміз. Осыған орай, ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты — сулы ерітінділердегі фосфиннің электрохимиялық қасиетін зерттей отырып, оны бейтараптандырудың электрохимиялық тәсілін жасау және экологиялық таза фосфор қосылыстарын алу және жетілдіру болып табылады. Осыған байланысты бейтарап және сілтілі ерітінділердегі әртүрлі электрод материалдарындағы фосфиннің электрохимиялық қасиетін зерттеу болды. Әдетте, электрохимиялық процестер электродтардың бетінде жүреді, сондықтан фосфиннің әртүрлі электродтарға электрохимиялық қасиеттерін зерттеу өзекті болып табылады.

Поляризация қисықтарын түсіру арқылы газ күйіндегі заттардың электрохимиялық қасиеттерін зерттеу айтарлықтай қиын. Әдетте, оның тотықтырғыштық қасиеттерін тек осы газдарды сулы ерітінділерде еріту арқылы ғана зерттеуге болады. Фосфин – сулы ерітінділерде аз мөлшерде еритін газ, 100 көлем суда 26 көлем газ алады.

Материалдар мен әдістер. Фосфиннің анодты тотығу механизмі бейтарап және сілтілі ерітінділерде Electrochemical Workstation Corrtest Instruments потенциостат/гальваностаты және үш электродты электрохимиялық ұяшықты пайдалану арқылы циклдік анодтық-катодты және анодтық потенциодинамикалық поляризация қисықтарын түсіру көмегімен зерттелді. Құрылғы зерттеу барысында деректерді жинау және талдау үшін пайдаланылған CS Studio6 бағдарламалық құралымен жабдықталған. Негізгі поляризациялық қисықтар 50 мВ/сек потенциал берілу жылдамдығында тіркелді.

Поляризациялық қисықтарды түсіру арқылы фосфиннің электрохимиялық тотығуын зерттеу үшін концентрациясы 50 г/л натрий сульфаты және натрий гидроксиді ерітінділерін белгілі көлемдегі (100 мл) фосфин газымен қанықтырады. Реакцияға түспеген фосфин газын бейтараптандыру үшін калий перманганаты ерітіндісі қолданылды.

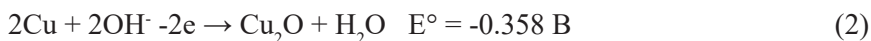
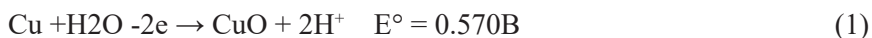
Электродтарды дайындау. Салыстырмалы электрод қызметін күмісхлорлы

Ag/AgCl ($E=+0,203$ В) және көмекші электрод қызметін платина(99,95%, 3 мм) қолданылды. Зерттеулерде жұмысшы электрод ретінде мыс және платина электродтары таңдалды. Потенциалдардың шамасы күмісхлорлы электродына салыстырылып келтірілді. Поляризациялық қисықтарды түсіру алдында электродтар оксидтік пленкалардан арылу үшін әрдайым егеу құмқағазымен тазаланып, спиртпен, содан соң дистилденген сумен шайылып, фильтр қағазымен сүртіліп отырылды. Вольтамперлік өлшеулер бөлме температурасында жүргізілді.

Электролиз жүргізу. Фосфиннің электрохимиялық қасиеттерін вольтамперлік қисықтар түсіру арқылы зерттеп болғаннан соң, фосфиннің анодты тотығуын гальваностатикалық жағдайда жүргіздік. Зерттеулерге қажетті фосфин газы белгілі реакцияның көмегімен алынды (Osadchenko, et al., 1969, 2005). Тәжірибелер әртүрлі концентрациялы натрий сульфаты ерітінділерінде, көлемі 100 мл электролизерде жүргізілді. Катод ретінде –қорғасын электроды, ал анод ретінде - түйіршікті қорғасын электродтары қолданылды. Электролиз, электрод кеңістіктері бөлінбеген жағдайда жүргізілді, себебі, фосфиннің тотығу реакциясы қайтымсыз.

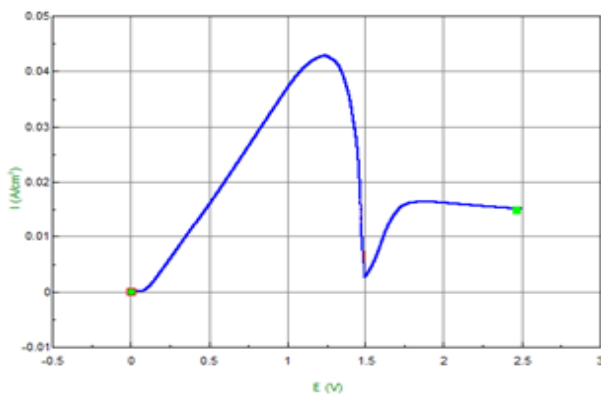
Нәтижелер мен талқылау. Электрохимиялық процестерде электрод тек қажетті элемент емес, сонымен қатар тотығу-тотықсыздану процесінің толық қатысушысы, көптеген химиялық тотықсыздандырғыштар мен тотықтырғыштарды алмастыратын әмбебап реагенттің бір түрі болып табылады. Электрод материалының табиғаты осы реагенттің қасиеттерін анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Бұл фактордың рөлін анықтау үшін біз бейтарап және сілтілі ерітінділердегі фосфиннің электрохимиялық тотығуына электрод материалдарының әсерін зерттедік. Біздің алдыңғы зерттеулерімізде фосфиннің электрохимиялық қасиетін күкіртқышқылды ерітінділерде қорғасын, платина және мыс электродтарында зерттелген болатын (Tukibayeva, et al., 2024). Осыған орай, келесі зерттеулер бейтарап натрий сульфаты ерітіндісінде мыс электродының анодты және анодты-катодты потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсіру тәсілімен жалғасты.

Құрамында 50 г/л натрий сульфаты бар ерітіндіде мыс электродының тотығу потенциалы оң жаққа қарай ығыстырған мыстың бір- және екі валентті оксидтерін түзе тотығу максимумдары байқалады:



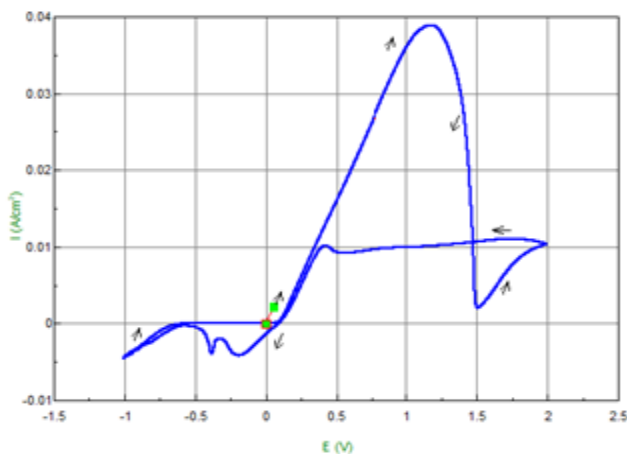
Фосфинмен қанықтырылған натрий сульфаты ерітіндісінде оның тотығу тогы полярограммада байқалмайды, бірақ тотығу максимумдарының мәні төмендейді. Түсірілген поляризациялық қисықтар, фосфин газының тотығу механизмі, газ көбікшелерінің электродпен тікелей соқтығысуы және аз мөлшерде болса да, алдын ала диссоциациялану- еру сатысы арқылы жүреді деп қорытындылауға мүмкіндік береді.

1 және 2-суреттерде анодты және анодты-катодты циклді поляризациялық қисықтар келтірілген.



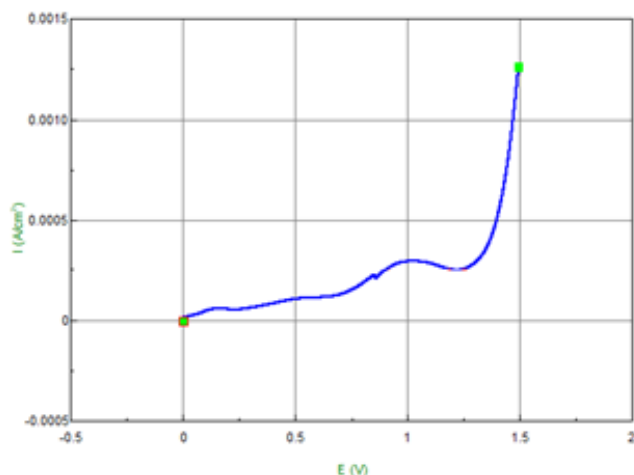
Сурет 1 –Фосфинмен қанықтырылған натрий сульфаты ерітіндісіндегі мыс электродының анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығы: $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ -50 г/л; потенциалдың берілу жылдамдығы – 50 мВ/с

Мыс электродында фосфиннің электрохимиялық тотығуын зерттеу нәтижелерінен көрініп тұрғандай, оттегінің бөліну потенциалына дейін ешқандай тотығу толқындары байқалмады, сондай-ақ, фосфиннің тотығуы, оттегінің бөліну потенциалымен қатар және жоғары аса кернеулікпен жүретіндігі анықталды.



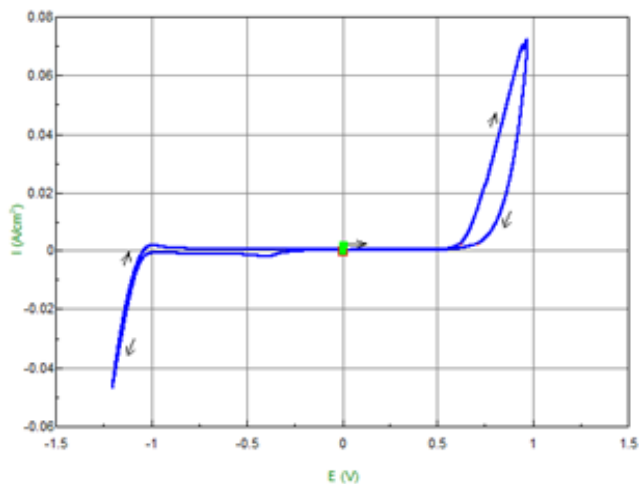
Сурет 2 – Фосфинмен қанықтырылған натрий сульфаты ерітіндісіндегі мыс электродының анодты-катодты циклді потенциодинамикалық поляризациялық қисығы: $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ -50 г/л; потенциалдың берілу жылдамдығы– 50 мВ/с

Фосфиннің электрохимиялық қасиетін зерттеу, фосфин газымен қанықтырылған натрий сульфаты ерітіндісінде платина электродында жүргізілді. Полярограммадан көрініп тұрғандай, шамамен +0,73В потенциалы шамасында фосфиннің тотығу максимумы айқын байқалады (3-сурет).



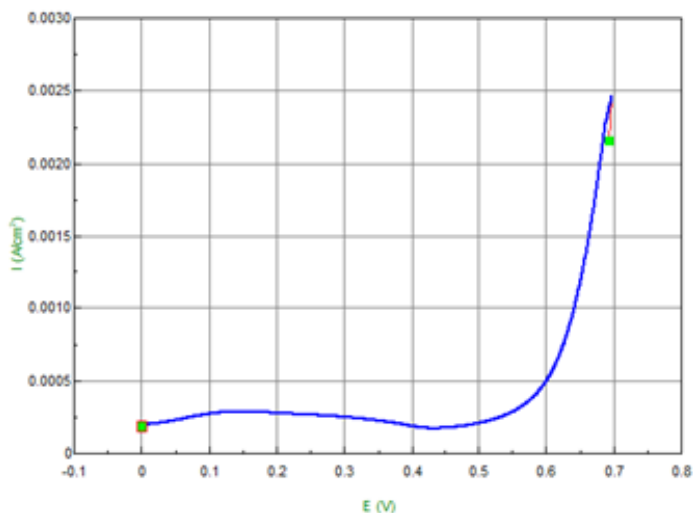
Сурет 3 - Фосфинмен қанықтырылған натрий сульфаты ерітіндісіндегі платина электродының анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығы: $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ -50 г/л; потенциалдың берілу жылдамдығы– 50 мВ/с

Натрий гидроксидінің фонды ерітіндісінде платина электродының циклды анодты-катодты поляризациялық қисығында (4-сурет), анод бағытында оттегі газының, ал катод бағытында сутегі газының бөліну токтары ғана байқалады.



Сурет 4 – Натрий гидроксиді ерітіндісіндегі платина электродының анод-катод бағытындағы циклді потенциодинамикалық поляризациялық қисығы: $[\text{NaOH}]$ -50 г/л; потенциалдың берілу жылдамдығы– 50 мВ/с

Ал фосфинмен қанықтырылған натрий гидроксиді ерітіндісінде фосфиннің тотығу тогы шамамен +0,03 В потенциалдар аумағында әлсіз жалпақ максимум түріндегі поляризациялық қисық түрінде тіркеледі (5-сурет).



Сурет 5– Фосфинмен қанықтырылған натрий гидроксиді ерітіндісіндегі платина электродының анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығы: [NaOH]-50 г/л; потенциалдың берілу жылдамдығы– 50 мВ/с

Поляризациялық қисықтан көрініп тұрғандай, фосфин қатысында оттегінің бөліну потенциалы, платина электродында оң бағытқа (+0,65 В) жылжығаны көрініп отыр.

Сондай-ақ, осыған ұқсас зерттеулер құрамында 50 г/л натрий гидроксиді бар ерітіндіде мыс электродының поляризациялық қисығында тек оттегі газының бөліну тогы байқалады. Ал фосфин газымен қаныққан ерітіндіде оттегі газының бөлінуінің жоғарылауы аса кернеулікпен бөлінетінін байқауға болады. Мұны, электрод бетінің біртіндеп пассивтелуімен және электрод бетіне фосфиннің адсорбциялануымен түсіндіруге болады. Демек, фосфин газымен қанықтырылған натрий гидроксиді ерітіндісінде, электродтарды анодты поляризациялағанда, тотығу процесі қарастырылған электрод материалында жоғары аса кернеулікпен жүреді деп жорамалдаймыз.

Сонымен, фосфин газының бейтарап және сілтілі сулы ерітінділердегі ерігіштігі аз. Сол себепті оның тотығу тогы поляризациялық қисықтарда тікелей максимум түрінде немесе анодтық реакцияларға өз әсерін тигізе отырып, поляризациялық қисықтарда өз көрінісін көрсете алады. Поляризациялық қисықтарды түсіру негізінде мынадай тұжырымға келуге болады: фосфин газын анодты тотықтыру үшін беттік аумағы жоғары түйіршікті электродтарды қолдану қажет. Осы жағдайда ғана фосфин газын анодты тотықтыру процесін жоғары өнімділікпен жүргізуге болады. Осыған орай, келесі зерттеулерімізді гальваностатикалық жағдайда, түйіршікті электродтарды қолдана отырып электролиз тәсілімен жүргіздік. Бұл электродтар меншікті беттік ауданының жоғары болуымен ерекшеленеді. Фосфин газын алу және оны тотықтыру электролизін жүргізу әдістемесі (Tukibayeva, et al., 2023) келтірілген.

Фосфин газын түйіршікті қорғасын электродтарында анодты поляризациялай

отырып, нейтрал ортада тотықтыру, натрий сульфаты ерітіндісінде жүргізілді. Электролизерге жіберілген газ көлемі- 300 мл. Газ ағынының жылдамдығы үш тармақты кран көмегімен реттеліп, электролиз барлық жағдайда 0,5 сағат бойы жүргізілді. Фосфиннің анодты тотығуының ток бойынша шығымына электродтардағы ток тығыздықтарының, электролит концентрацияларының және түйіршікті электродтар қабаты қалыңдықтарының әсерлері қарастырылды.

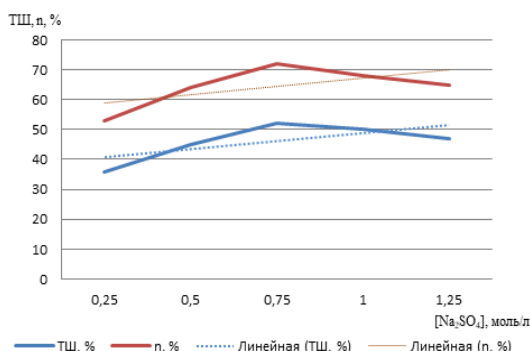
Фосфиннің тотығу дәрежесі мен тотығуының ток бойынша шығымына электродтағы ток тығыздығы айтарлықтай әсер етеді. Түйіршікті қорғасын электродтарындағы ток тығыздығын 200-1000 А/м²-қа дейін жоғарылатқанда, фосфиннің тотығуының ток бойынша шығымы 58%-дан 34%-ға төмендейді (1-кесте). Тафель теңдеуі ($\Delta a + blgi$) бойынша, ток тығыздығының жоғарылауы, анодты поляризация кезінде, электрод потенциалы мәнінің анағұрлым оң мәндер аумағына ығысуына әкеледі, сондықтан ток тығыздығы жоғарылаған сайын қосымша-оттегінің бөліну үлесі жоғарылайды да, фосфиннің тотығуының ток бойынша шығымы мен тотығу дәрежесінің төмендейді:



Кесте 1 - Натрий сульфаты ерітіндісінде фосфиннің тотығу дәрежесіне (1) және тотығуының ток бойынша шығымына (2) ток тығыздығының әсері: $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ - 0,5 моль/л, $V(\text{PH}_3)$ - 300 мл, τ 0.5 сағ., δ - 5 см

i, А/м ²	22	44	600	800	1000
ТШ, %	58	55	48	42	34
n, %	44	58	72	66	59

Натрий сульфаты ерітіндісі концентрациясы өзгерісінің тәуелділігін зерттегенімізде, ерітіндідегі сульфат-иондарының концентрациясын 0.25 моль/л -ден 1.25 моль/л-ге дейін арттырғанда, фосфиннің тотығу дәрежесі және тотығуының ток бойынша шығымы 0.5 моль/л-ге дейінгі аралықта артады, одан ары ерітінді концентрациясын арттыру, фосфиннің тотығу дәрежесі мәнін өзгертпейді, ал ток бойынша шығымның төмендеуі байқалады (6-сурет).



Сурет 6 - Натрий сульфаты ерітіндісі концентрациясының фосфиннің тотығу дәрежесіне (1) және тотығуының ток бойынша шығымына (2) әсері: i- 600 А/м², $V(\text{PH}_3)$ - 300 мл, τ -0.5 сағ., δ -- 5 см

Біздің жағдайымызда, ерітіндідегі сульфат-иондарының концентрациясының артуымен оттегінің бөліну жылдамдығы жоғарылайды, бұл негізгі процесс жылдамдығының төмендеуіне әкеледі:



Түйіршікті электродтардың барлық көлемінде зарядталған бөлшектер болады, осыған орай, осы электродтардың биіктігі де тотығу процесіне үлкен әсерін тигізеді, сондықтан фосфиннің анодты тотығуына электрод қабаты қалыңдығының әсері 1-5 см-ге дейінгі биіктіктерде қарастырылды. Фосфиннің тотығу дәрежесі мен тотығуының ток бойынша шығымына түйіршікті қорғасын электрод қабаты қалыңдығының әсерін зерттегенде, түйіршікті электрод қабаты қалыңдығының биіктігін 5 см-ге дейін арттырғанда, фосфиннің тотығу дәрежесі 77%, ал ток бойынша шығым 4 см биіктікте 68% жетті (2-кесте).

Кесте 2- Натрий сульфаты ерітіндісінде, фосфиннің тотығу дәрежесіне және тотығуының ток бойынша шығымына түйіршікті қорғасын электроды қабаты қалыңдығының әсері: i - 600 А/м², $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ - 0,5 моль/л, $V(\text{PH}_3)$ - 300 мл, τ - 1 сағ.

d	1	2	3	4	5
ТШ, %	33	45	57	68	84
п, %	44	49	65	72	77

Біздің ойымызша, электродтар үш өлшемдік жүйеден тұратындықтан, электродтардың беттік аудандары ұлғаюы нәтижесінде электрохимиялық процестер барлық электродтар көлемінің кеңістігіне таралып, тотығу процесі интенсификацияланады де, фосфиннің тотығу процесі артады.

Тиімді жағдайларды қалыптастарғанда, натрий сульфатының ерітіндісінде фосфиннің тотығу дәрежесі және тотығуының ток бойынша шығымы, сәйкесінше 72% және 69% құрайды.

Қорытынды. Фосфиннің анодты тотығу процесі әртүрлі электродтардағы (платина, мыс) тотығу заңдылықтарын анықтау үшін потенциодинамикалық поляризациялық қисықтарын түсіру арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, мыс электродындағы тотығу толқыны оттегінің бөліну потенциалына дейін байқалмайды, бірақ электролиз нәтижелері фосфиннің мыс фосфидін (I) түзе отырып тотығатындығын көрсетті. Натрий сульфаты мен гидроксиді ерітінділеріндегі платина электродының анодтық поляризациясы кезінде фосфиннің анодтық тотығуына сәйкес әлсіз максимум байқалады. Болашақта электролиз процесін жүргізу кезінде мыс электродтарына қатысты ойларға негізделген оңтайлы электродтарды таңдау қажет.

Гальваностатикалық жағдайда жүргізілген зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, фосфин газының натрий сульфаты ерітінділердегі анодты тотығуы зерттеліп, тотығу процесінің тиімді жағдайлары қалыптастырылды. Дамыған беттік ауданды және электролизді үздіксіз режимде жүргізілуіне байланысты түйіршікті көлемді электродтардың артықшылықтары және бұл ғылыми нәтижелерді фосфин газын тотықтыруда қолдануға болатындығы көрсетілді.

Әдебиеттер

Астахова Р.К., Белустин А.А., Беренблит В.В., Богоявленский А.Ф., Сухотин А.М. (1981) Справочник по электрохимии. Ленинград: Химия. — 478 с.

Дорфман Я.А., Юхт И.М., Левина Л.В., Полимбегова Г.С., Петрова Т.В., Емельянова В.С. (1991) Окисление фосфина и арсина комплексами металлов, свободным и связанным кислородом. Успехи химии. 6(60). — С. 190-1228.

Cotton M.L., Johnson N.D., Wheeland K.G. (1977). Removal of arsine from process emissions. Canadian Metallurgical Quarterly, 16(1). — P. 205-209.

Fluck Ekkehard. (2006) The Chemistry of Phosphine. 10.1007/BFb0051358.

Ibraimova Z.U., Polimbetova G.S., Borangazieva A.K., Itkulova S.S., Boleubaev E.A. (2021) Catalytic purification and ways for utilization of furnace gas of phosphorus production// Reports of the NAS of the Republic of Kazakhstan. Volume 5, No 339. — P. 136 – 143. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.92>

Haacke G., Brinen J. S. and Burkhard H. (1988) Arsine Adsorption on Activated Carbon. *J. Electrochem. Soc.* — Vol.135. — No 715 <https://dx.doi.org/10.1149/1.2095729>

Honghong Yi, Qiongfen Yu, Xiaolong Tang, Ping Ning, Liping Yang, Zhiqing Ye, and Jinghao Song, (2011) Phosphine Adsorption Removal from Yellow Phosphorus Tail Gas over CuO–ZnO–La₂O₃/ Activated Carbon. Industrial & Engineering Chemistry Research. 50 (7). — P. 3960-3965 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie101622x>

Yang Liping, Yi Honghong, Tang Xiaolong, Ning Ping, Yu Qiongfen, Ye Zhiqing. (2010) Effect of rare earth addition on Cu-Fe/AC adsorbents for phosphine adsorption from yellow phosphorous tail gas. Journal of Rare Earths. Volume 28, Supplement 1. — P. 322-325 [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60321-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60321-3)

Комплексные соединения в катализе. (1980) Труды ИОКЭ. Алматы: Наука КазССР. — 144 с.

Musshoff F., Preuss J., Lignitz E., Madea B. (2008) A gas chromatographic analysis of phosphine in biological material in a case of suicide, Forensic Science International. — Volume 177. — Issues 2–3. — P. 35-38. ISSN 0379-0738, <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.12.007>

Osadchenko M., Tomilov A.P. (1969) Phosphorus Hydrides. Russ. Chem. Rev., 38 (6). — P. 495-504 DOI: <https://doi.org/10.1070/RC1969v038n06ABEH001756>

Полимбетова Г.С., Борангазиева А.К., Абдраимова Р.Р., Акбаева Д.Н., Ибраимова Ж.У., Бугубаева Г.О. (2016) Кинетика и механизм окисления фосфина кислородом в растворах комплексов меди (I,II). Известия НАН РК. Серия химии и технологии. 4(418). — С. 42-47

Патент на полезную модель №9354 от 12.07.2024. Способ электрохимического окисления фосфина в кислых растворах. Тукибаева А.С., Башев А., Башева А.К., Исабаев Н.Н., Абжалов Р.С. Бюлл. №28 от 12.07.2024

Справочник по наилучшим доступным техникам производство неорганических химических веществ. (2021). — Астана. — 625 с.

Saad M. Alzahrani, Paul R. Ebert. (2024) Phosphine toxicology and mode of action. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition): Academic Press. — P. 597-604. ISBN 9780323854344 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.01068-X>.

Qu G., Zhang J., Lin Y., Li J., Ning P. and Yu Y. (2015) Electrochemical method for wet removal of phosphine. Environ. Prog. Sustainable Energy. 34. — P.1640-1646. <https://doi.org/10.1002/ep.12169>

Tukibayeva A., Bayeshov A., Abzhalov R., Asylbekova D.D., Yessentayeva A. (2023) The role of copper (II) ions in the process of anodic oxidation of phosphine in an acidic medium. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology, 3(456). — P. 175-186 <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.185>

Tukibayeva A., Bayeshov A., Asylbekova D., Aikozova L. and Essentayeva A. (2024) Potentiodynamic Polarization Study of PH₃ Electrochemical Oxidation. Electrochem. Sci. Adv., e202400025. <https://doi.org/10.1002/elsa.202400025>

References

Astakhova R.K., Belustin A.A., Berenblit V.V., Bogoyavlensky A.F., Sukhotin A.M. (1981) Spravochnik po elektrokimii [Handbook of Electrochemistry]. Leningrad: Chemistry, 478 p. (in Russian)

Dorfman Ya.A., Yukht I.M., Levina L.V., Polimbetova G.S., Petrova T.V., Emelyanova V.S. (1991)

Okislenie fosfina i arsina kompleksami metallov, svobodnym i svyazannym kislorodom [Oxidation of phosphine and arsine by metal complexes, free and bound oxygen]. *Uspekhi Chem.* 6(60). — P. 190-1228. (in Russian)

Cotton, M. L., Johnson, N. D., Wheeland, K. G. (1977). Removal of arsine from process emissions. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 16(1). — P. 205-209 (in English)

Fluck Ekkehard. (2006) The Chemistry of Phosphine. 10.1007/BFb0051358. (in English)

Ibraimova Z.U., Polimbetova G.S., Borangazieva A.K., Itkulova S.S., Boleubaev E.A. (2021) Catalytic purification and ways for utilization of furnace gas of phosphorus production// Reports of the NAS of the Republic of Kazakhstan. — Volume 5. — No 339. — P. 136-143. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.92> (in English)

Haacke G., Brinen J. S. and Burkhard H. (1988) Arsine Adsorption on Activated Carbon. *J. Electrochem. Soc.* — Vol.135. — No 715 <https://dx.doi.org/10.1149/1.2095729> (in English)

Honghong Yi, Qiongfeng Yu, Xiaolong Tang, Ping Ning, Liping Yang, Zhiqing Ye, and Jinghao Song, (2011) Phosphine Adsorption Removal from Yellow Phosphorus Tail Gas over CuO–ZnO–La₂O₃/Activated Carbon. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 50 (7). — P. 3960-3965 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie101622x> (in English)

Yang Liping, Yi Honghong, Tang Xiaolong, Ning Ping, Yu Qiongfeng, Ye Zhiqing. (2010) Effect of rare earth addition on Cu-Fe/AC adsorbents for phosphine adsorption from yellow phosphorous tail gas. *Journal of Rare Earths*. Volume 28, Supplement 1. — P. 322-325 [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60321-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60321-3). (in English)

Kompleksnye soedineniya v katalize [Complex compounds in catalysis]. (1980) Proceedings of the IOCE. Almaty: Science of the Kazakh SSR. — 144 p. (in Russian)

Musshoff F., Preuss J., Lignitz E., Madea B. (2008) A gas chromatographic analysis of phosphine in biological material in a case of suicide, *Forensic Science International*. — Volume 177. — Issues 2-3. — P 35-38 ISSN 0379-0738, <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.12.007> (in English)

Osadchenko M., Tomilov A.P. (1969) Phosphorus Hydrides. *Russian Chemical Reviews*, 38 (6). — P. 495-504 DOI: <https://doi.org/10.1070/RC1969v038n06ABEH001756> (in English)

Polimbetova G.S., Borangazieva A.K., Abdreimova R.R., Akbaeva D.N., Ibraimova Zh.U., Bugubaeva G.O. (2016) Kinetika i mekhanizm okisleniya fosfinakilorodom v rastvorah kompleksov medi (I,II) [Kinetics and mechanism of oxidation by phosphine oxygen in solutions of copper (I,II) complexes]. *News of the NAS RK. Series chemistry and technology*. 4(418). — P.42-47 (in Russian)

Patent for Utility Model No. 9354 dated 12.07.2024. Sposob elektrohimicheskogo okisleniya fosfina v kislykh rastvorah [Method for electrochemical oxidation of phosphine in acidic solutions]. Tukibaeva A.S., Baeshov A., Baeshova A.K., Isabayev N.N., Abzhalov R.S. Bulletin No. 28 dated 12.07.2024 (in Russian)

Spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnikam proizvodstva neorganicheskikh himicheskikh veshchestv [Handbook of best available techniques for the production of inorganic chemicals]. (2021). — Astana. — 625 p. (in Russian)

Saad M. Alzahrani, Paul R. Ebert. (2024) Phosphine toxicology and mode of action. *Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition)*: Academic Press. — P. 597-604, ISBN 9780323854344 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.01068-X>. (in English)

Qu G., Zhang J., Lin Y., Li J., Ning P. and Yu Y. (2015) Electrochemical method for wet removal of phosphine. *Environ. Prog. Sustainable Energy*. 34. — P.1640-1646. <https://doi.org/10.1002/ep.12169> (in English)

Tukibayeva A., Bayeshov A., Abzhalov R., Asylbekova D.D., Yessentayeva A. (2023) The role of copper (II) ions in the process of anodic oxidation of phosphine in an acidic medium. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology*, 3(456). — P. 175-186 <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.185> (in English)

Tukibayeva A., Bayeshov A., Asylbekova D., Aikozova L. and Essentayeva A. (2024) Potentiodynamic Polarization Study of PH₃ Electrochemical Oxidation. *Electrochem. Sci. Adv.*, e202400025. <https://doi.org/10.1002/elsa.202400025> (in English)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 2. Number 463 (2025), 274–290

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.296>

УДК 31.15.33

© O.S. Kholkin*, N.S. Ivanov, I.E. Adelbayev, A.B. Bayeshov, M. Zhurinov, 2025.

D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.abilmagzhanov@ifce.kz

FORMATION OF ZIRCONIUM DIOXIDE BY ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF ZIRCONIUM BY AC CURRENT IN ACIDIC MEDIA

O.S. Kholkin — PhD, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan, E-mail: g.freeman-17@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4797-3374>;

N.S. Ivanov — Candidate of Chemical Sciences, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: xumuk777@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2153-2802>;

I.E. Adelbayev — Master of engineering and technology of metallurgy, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: iskanderadelbayev@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1435-8583>;

A.B. Bayeshov — academic of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Chemical Sciences, professor, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bayeshov@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

M. Zhurinov — academic of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Chemical Sciences, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan, E-mail: ifce@ifce.kz. <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>.

Abstract. The production of zirconium-based chemical compounds, such as hexafluorozirconic acid $\text{H}_2[\text{ZrF}_6]$, is hindered by the chemical inertness of metallic zirconium. Although hydrofluoric acid can effectively dissolve this metal under normal conditions, its high volatility, toxicity, and handling difficulties limit its practical use. To solve this issue, we propose a method based on alternating current electrolysis with soluble zirconium anodes, resulting in the formation of zirconium dioxide. The electrochemical dissolution of zirconium was studied in 5M sulfuric acid with ammonium bifluoride as a stabilizing additive. In the anodic half-period zirconium dioxide is formed, followed by a cathodic recovery of the surface, provides further process. It was found that increasing the concentration of $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ and the temperature significantly enhances the rate of metal dissolution. The maximum current efficiency (95,3%) was achieved at 50 °C and a current density of 300 A/m², with $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ concentration of 2,8 g/L. Current efficiency was determined by gravimetric methods. Scanning electron microscopy (SEM) and elemental analysis confirmed the composition of the obtained powder: the

zirconium and oxygen contents were 69.97% and 28.12%, respectively, corresponding to ZrO_2 . The proposed approach offers a safer and practical alternative to HF-based methods for the synthesis of costly and scarcely available zirconium precursors used in the production of zirconia-based protective coatings. This is particularly relevant in the context of reducing dependence on imported materials and limiting the use of hazardous fluorinated reagents.

Keywords: zirconium, zirconium dioxide, electrolysis, alternating current, ammonium bifluoride

Funding: This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR24992812-OT-24).

© О.С. Холкин*, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, Ә.Б. Бешов,
М. Жұрынов, 2025.

Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: g.freeman-17@mail.ru

ҚЫШҚЫЛДЫ ОРТАДА АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ЦИРКОНИЙДІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЕРІТУ АРҚЫЛЫ ЦИРКОНИЙ ДИОКСИДІН АЛУ

О.С. Холкин — PhD, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: g.freeman-17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4797-3374>;

Н.С. Иванов — химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: xumuk777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2153-2802>;

И.Е. Адельбаев — Металлургия техникасы мен технологиясы магистрі, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: iskanderadelbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1435-8583>;

Ә.Б. Бешов — ҚР ҰҒА академигі, химия ғылымдарының докторы, профессор, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

М. Жұрынов — ҚР ҰҒА академигі, химия ғылымдарының докторы, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: ifce@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>.

Аннотация. Гексафторцирконий қышқылы $H_2[ZrF_6]$ сияқты цирконийдің химиялық туындыларын алу процесі металл цирконийдің химиялық инерттілігіне байланысты едәуір қиындық туғызады. Бұл металды қалыпты жағдайда тиімді ерітетін фторсутек қышқылын (HF) қолдану оның ұшқыштығы, улылығы және қолдану күрделілігіне байланысты шектеледі. Аталған мәселені шешу үшін біз ерітіндіге ерігіш цирконий анодтарын қолданып, айнымалы токпен электролиз жүргізу арқылы цирконийді диоксид цирконийге (ZrO_2) айналдыру

әдісін ұсынамыз. Зерттеу барысында цирконийдің 5М күкірт қышқылы ерітіндісінде аммоний бифториді тұрақтандырғыш қоспа ретінде қатысқандағы электрохимиялық еру процесі зерттелді. Анодтық жартылай периодта цирконий диоксиді түзіледі, ал катодтық жартылай периодта процестің одан әрі дамуын қамтамасыз ету үшін электрод беті ішінара қалпына келтіріледі. Сутегінің бөлінуіне байланысты пайда болған цирконий оксидінің тұнбасы бос және электродтардан оңай бөлінеді. Соңғы өнімнің шығымы 53,9 - 95,3% құрайды. $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ концентрациясы мен температураны арттыру металл еруінің тиімділігін едәуір арттыратыны анықталды. Ең жоғары ток шығымы (95,3%) 50 °C температурада, 300 А/м² ток тығыздығында және $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ концентрациясы 2,8 г/л болғанда байқалды. Ток шығымы гравиметриялық әдістермен анықталды. Электронды микроскопия (СЭМ) және элементтік талдау нәтижесінде алынған ұнтақтың құрамы цирконий мен оттегінің мөлшері тиісінше 69,97% және 28,12% екенін көрсетті, бұл материалдың ZrO_2 екенін дәлелдейді. Ұсынылған әдіс уытты фторсутек қышқылын қолданбай-ақ оксидті цирконий жаппаларын алуға арналған сирек әрі қымбат прекурсорларды синтездеуге балама болып табылады. Бұл әдіс импортқа тәуелділікті төмендету және фтор құрамдас қауіпті реагенттерді шектеу тұрғысынан өзекті.

Түйін сөздер: цирконий, цирконий диоксиді, электролиз, айнаымалы ток, аммоний бифториді

Қаржыландыру: Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант №BR24992812-ОТ-24).

© О.С. Холкин*, Н.С. Иванов, И.Е. Адельбаев, А.Б. Баешов,
М. Журинов, 2025.

Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского,
Алматы, Казахстан.

E-mail: g.freeman-17@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ РАСТВОРЕНИЕМ ЦИРКОНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ

О.С. Холкин — PhD, Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: g.freeman-17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4797-3374>;

Н.С. Иванов — кандидат химических наук, Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: xumuk777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2153-2802>;

И.Е. Адельбаев – магистр техники и технологии металлургии, Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: iskanderadelbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1435-8583>;

А.Б. Баешов — доктор химических наук, профессор, академик Национальной академии наук

Республики Казахстан, Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

М. Журинов — доктор химических наук, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан, E-mail: ifce@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5314-1219>.

Аннотация. Получение химических производных циркония, таких как гексафторциркониевая кислота $H_2[ZrF_6]$ осложнено химической инертностью металлического циркония. Использование плавиковой кислоты HF , которая эффективно растворяет этот металл при нормальных условиях, в свою очередь осложняется её летучестью, токсичностью и сложностью в использовании. Для решения данной проблемы нами был предложен метод, основанный на переводе циркония в химическое соединение (диоксид циркония) электролизом переменным током с растворимыми циркониевыми анодами. Проведено исследование реакции электрохимического растворения циркония в среде 5М серной кислоты в присутствии бифторида аммония в качестве стабилизирующей добавки. В анодном полупериоде происходит формирование диоксида циркония, а в катодном полупериоде – частичное восстановление поверхности электродов для обеспечения дальнейшего протекания процесса. Установлено, что увеличение концентрации $NH_4F \times HF$ и температуры значительно увеличивают интенсивность растворения металла. Максимальный выход по току (95,3%) достигается при температуре 50 °С и плотности тока 300 А/м², при концентрации $NH_4F \times HF$ в растворе 2,8 г/л. Определение выхода по току осуществлялось гравиметрическими методами. Методами СЭМ и элементного анализа определён элементный состав полученного порошка. Содержание элементов циркония и кислорода в полученном материале составляет 69,97 и 28,12%, что отвечает составу химического вещества ZrO_2 . Предлагаемая методика может быть использована как альтернатива использованию токсичной плавиковой кислоты при получении труднодоступных и дорогих прекурсоров для получения оксидноциркониевых покрытий, что особенно актуально в условиях ориентированности на импортонезависимость и ограничение работы с фторсодержащими реагентами.

Ключевые слова: цирконий, диоксид циркония, электролиз, переменный ток, бифторид аммония

Финансирование: Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и Высшего образования Республики Казахстан (грант №BR24992812-ОТ-24).

Введение. На протяжении многих лет Казахстан является важным мировым экспортером ценных сырьевых материалов. Казахстан занимает первое место в мире по запасам черных и некоторых цветных металлов, его месторождения полезных ископаемых широко известны мировым производителям. Однако в условиях растущего потребления сырья и ухудшения экономической ситуации в большинстве стран мира возникает объективная необходимость формирования в

Казахстане самостоятельного рынка продукции высокой степени переработки с высокой прибавочной стоимостью. Одним из перспективных материалов для такого рынка является цирконий и химические продукты на его основе. Цирконий обладает рядом ценных качеств, таких как высокая коррозионная стойкость, пластичность и легкость обработки, хороший внешний вид и биологическая нейтральность. Эти и многие другие свойства делают его важным и широко используемым металлом, что стимулирует производство циркония во всё больших объёмах.

Области применения циркония достаточно обширны, что обусловлено его высокой износоустойчивостью и теплопроводностью, низкой степенью взаимодействия с другими металлами и химическими веществами (Saridag, et al., 2013). Основным направлением использования циркония является производство керамических изделий (53,4%). Кроме того, его применяют в литейном производстве (13,6%), производстве огнеупорных кирпичей и прочих огнеупорных материалов (12,6%), в химической промышленности (14,8 %), ядерной энергетике (0,5%), электронике (3 %) и других отраслях (2,1 %) (Lundberg, 2011).

Важнейшее химическое производное металлического циркония – диоксид циркония, ZrO_2 . Диоксид циркония (ZrO_2) - бесцветные рыхлые кристаллы с температурой плавления 2715 °С. Оксид циркония – один из наиболее тугоплавких оксидов металлов, чем обусловлено его использование в самых разных отраслях промышленности и техники. Диоксид циркония проявляет амфотерные свойства, нерастворим в воде и водных растворах большинства кислот и щелочей, однако растворяется в плавиковой и концентрированной серной кислотах, расплавах щелочей.

С 20-х годов XX века двуокись циркония начала активно применяться в качестве тугоплавкой керамики (Ismagilov, et al., 2010), а в настоящее время материалы на основе ZrO_2 находят широкое применение в качестве монокристаллов, конструкционной и функциональной керамики (Zhigachev, et al., 2018; Geodakyan, et al., 2010; Kablov, et al., 2010; Manicone, et al., 2007), в качестве микроволокон, нанопорошков и композиционных материалов (Al'myasheva, et al., 2009; Artemov, et al., 2020), а также в качестве покрытий (Schulz, et al., 2003; Solncev, 2013; Okovityj, et al., 2018). Так, например, новое поколение конверсионных покрытий на основе циркония было представлено в 2005 году в такой важной отрасли, как автомобильная промышленность (Giles, et al., 2009; Giles, et al., 2012). В литературе описаны различные химические способы получения диоксида циркония – **термическим разложением комплексных соединений, например**, разложением комплексов циркония с лимонной кислотой (Krivcov, et al., 2013), термическим разложением силикатов (Fernández-González, et al., 2023), химическим осаждением из растворов (Prasad, et al., 2011). Эти и другие методы позволяют получить диоксид циркония с различными морфологическими и структурными характеристиками, что расширяет возможности его применения в различных отраслях промышленности.

Электрохимическое получение диоксида циркония представляет собой малоизученную область электрохимии несмотря на то, что данное направление обладает как прикладной, так и научной ценностью, особенно в контексте

разработки альтернативных методов получения диоксида циркония без использования высокотоксичных реагентов, таких как плавиковая кислота (HF).

Цирконий относится к вентильным металлам, то есть при воздействии окислительной среды на его поверхности образуется пассивный слой из оксида циркония, который является исключительно химически стойким соединением, а также обладает большим сопротивлением. В результате этого при анодной поляризации постоянным током на поверхности быстро образуется слой оксида циркония, ток растворения резко падает и процесс сильно замедляется, или же полностью прекращается. Однако применение переменного тока обеспечивает постоянную смену полярности на электродах. В анодном полупериоде происходит формирование оксида циркония, а в катодном – частичное восстановление поверхности, что может обеспечивать дальнейшее протекание процесса. Кроме того, цирконий склонен к пассивированию в кислых растворах, что затрудняет его электрохимическое растворение. Однако добавление фторидов, таких как HF, может способствовать разрушению пассивной оксидной плёнки, облегчая анодное растворение металла (Chatelut, et al., 1996). В области электрохимического растворения циркония при постоянном токе накоплен некоторый объём сведений, однако сведения о растворении циркония переменным током отсутствуют. Ниже представлены некоторые направления и результаты таких исследований.

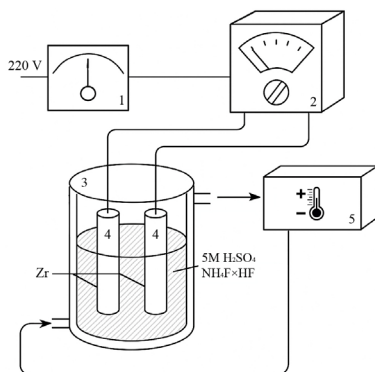
Так, в работе Amrutha и Srinivasan (Amrutha, et al., 2017) была проведена оценка скорости анодного растворения циркония в растворах плавиковой кислоты. Результаты показывают, что Растворение циркония в HF – это сложный многостадийный процесс, в котором участвуют промежуточные оксидные и оксифторидные формы на поверхности. Авторы установили, что в отсутствие фторосодержащих соединений, в растворах, содержащих только Na_2SO_4 , значения плотности тока растворения были практически нулевыми. В работе приводятся расчёты кинетических параметров процесса и зависимости плотности тока от потенциала, подтверждающие, что наиболее активной растворяющей формой является комплекс HF_2^- , поэтому процесс не протекает без добавок фторосодержащих веществ. Согласно приведённой модели, электрохимическое растворение циркония включает начальную оксидацию Zr^0 до промежуточных состояний Zr^{3+} и Zr^{4+} на поверхности электрода, за которыми следует либо электрохимическое удаление Zr^{3+} при участии молекулярной HF, либо химическое растворение Zr^{4+} в виде комплекса под действием ионов HF_2^- . Поскольку в настоящей работе рассматривается электролиз переменным током, то половину периода каждый из циркониевых электродов выступает в роли катода. Поэтому интерес представляют и катодные процессы, протекающие на поверхности циркония. Шавкуновым С.П. и Толкачёвым А.Б. (Shavkunov, et al., 2003), изучалось катодное поведение моно- и поликристаллических электродов из циркония в растворе серной кислоты. Авторы выявили, что процесс электрохимического водородовыделения (ЭВД) на цирконии сопровождается формированием поверхностного слоя гидроксида и остаточного оксида, оказывающих влияние на кинетику электрохимической реакции. На основании потенциодинамических

измерений установлено, что ЭВВ протекает по многостадийному механизму, включающему медленный заряд, десорбцию атомарного водорода и его диффузию в объём металла с последующим образованием гидрида ZrH_x . Установлено, что даже в условиях катодной поляризации цирконий сохраняет поверхностный оксидный слой, значительно влияющий на эффективность протекания процесса.

Можно заключить, что электрохимическое растворение циркония переменным током в кислых растворах является сложным и малоизученным, но перспективным направлением, позволяющим разработать более безопасные и контролируемые методы получения диоксида циркония, что особенно актуально в условиях стремления к снижению использования опасных химических веществ. Научная задача настоящего исследования состоит в разработке электрохимического способа получения оксида циркония в объёме раствора с минимальным количеством стадий и высоким выходом по току.

Материалы и методы исследования. *Устройство электрохимической ячейки.* Для проведения электрохимического растворения циркония использовалась термостатируемая ячейка, объём рабочей среды составлял 65 мл. Процесс растворения циркония протекает при плотностях тока более 100 А/м². Для контроля плотности тока использовался амперметр Э538 на 2,5-5А. Для контроля переменного напряжения использовался лабораторный трансформатор (ЛАТР) ТР/5 TDGC2-5. Для проведения электролиза использовался переменный ток частотой 50 Герц. Процесс идёт с выделением тепла, поэтому для контроля температуры использовалось термостатирование. Термостатирование ячейки проводили с помощью лабораторного термостата LOIP LT 108.

Электроды были изготовлены из металлического циркония. В процессе растворения масса электродов уменьшается, а осадок оксида циркония оседает на дно электрохимической ячейки. Масса каждого электрода определялась (после высушивания) гравиметрически при помощи аналитических весов. Точность взвешивания составляла $\pm 0,0001$ г. Площадь рабочей поверхности каждого электрода составляла 12,22 см². Принципиальная схема установки электролиза приведена на рисунке 1.



1 – лабораторный трансформатор (ЛАТР); 2 – амперметр; 3 – электрохимическая термостатируемая ячейка; 4 – циркониевые электроды; 5 – термостат.

Рисунок 1 - Принципиальная схема установки для электролиза

Реактивы и материалы. Серная кислота H_2SO_4 х.ч., ТОО «Лабхимпром». Цирконий металлический, чистота 99,995%. Вода дистиллированная. Бифторид аммония $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$, ч.

Рабочий раствор. В качестве электролита использовался раствор серной кислоты с концентрацией 5М. Для каждого эксперимента использовался свежий раствор, в который вносилось отмеренное количество бифторида аммония, после чего раствор перемешивался до полного растворения добавки.

Условия процесса электролиза. Плотность тока растворения варьировалась от 100 до 500 А/м². Опытным путём было установлено, что процесс химического растворения циркония прекращается при концентрации F- в растворе менее 0,1% (1,15 г/л), что эквивалентно концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 г/л. Поэтому процесс проводили в стационарных условиях без перемешивания рабочей среды при концентрациях бифторида аммония 0,7 и 2,8 г/л.

Исследование проводилось при температурах 30 и 50 °С. Продолжительность электролиза составляла 1 ч для всех экспериментов.

Сбор оксида циркония. Образующийся оксид циркония счищался с электродов, а также собирался на дне ячейки, после чего раствор фильтровали на предварительно взвешенном и высушенном бумажном фильтре, осадок многократно промывали водой и сушили в сушильном шкафу при температуре 50 °С.

Сушку порошка ZrO_2 , а также электродов проводили в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ, а также в муфельной печи ЭКПС-10.

Полученный осадок взвешивался на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Методы анализа. Взвешивание образцов, электродов, а также образующегося порошка и отмеренных количеств реактивов проводилось на электронных весах Ohaus RV 64 и Ohaus Adventurer RV64.

Перемешивание растворов проводили с использованием магнитной мешалки US-6120.

Элементный анализ и характеристику морфологии поверхности порошков выполняли с использованием сканирующего микроскопа JSM 6610 фирмы JEOL (Japan) с возможностями микроанализа и атомно-силового микроскопа JSPM 5200 (JEOL). Микрофотографии поверхности получали с различным увеличением. Состав компонентов определяли в атомных % с точностью $\pm 0,5$ %.

Результаты и обсуждение. *Особенности электрохимического растворения циркония.* В обычных условиях при попытке провести электрохимическое растворение под действием электрического тока цирконий быстро покрывается нерастворимым слоем оксидных соединений, и процесс растворения останавливается. Однако добавка фторосодержащего реактива даже в невысокой концентрации, такого как бифторид аммония $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$, обеспечивает растворение данного слоя. После этого цирконий может быть переведён в целевое химическое соединение – диоксид циркония, который в свою очередь может быть использован для синтеза гексафторциркониевой кислоты $\text{H}_2[\text{ZrF}_6]$.

При пропускании через ячейку переменного электрического тока напряжением до 100 В начинается интенсивное формирование белых хлопьев и осадка диоксида циркония.

Согласно составленному плану работ проведено 4 эксперимента по 5 опытов в каждом. Изучено влияние температуры, плотности тока и концентрации бифторида аммония $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ в растворе на процессы образования диоксида циркония ZrO_2 и эффективность растворения циркония (выход по току).

Все полученные данные представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 50 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 0,7 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	1	2	3	4	5
Плотность тока, А/м ²	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,0044	0,0022	0,0010	0,0002	0
Общая масса полученного оксида циркония, г	0,0615	0,1239	0,0437	0,0029	0,0004

Таблица 2 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 50 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	6	7	8	9	10
Плотность тока, А/м ²	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,1194	0,2341	0,3448	0,3977	0,4727
Общая масса полученного оксида циркония, г	0	0,0951	0,2902	0,3449	0,2611

Таблица 3 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 30 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 0,7 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	11	12	13	14	15
Плотность тока, А/м ²	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,0982	0,2013	0,0018	0	0
Общая масса полученного оксида циркония, г	0,0771	0	0	0	0

Таблица 4 - Параметры электрохимического растворения циркония при температуре 30 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 г/л

Параметр	Значения				
№ опыта	16	17	18	19	20
Плотность тока, А/м ²	100	200	300	400	500
Сила тока, А	0,122	0,244	0,366	0,488	0,610
Общая масса растворённого циркония, г	0,1124	0,1827	0,2670	0,3886	0,3912
Общая масса полученного оксида циркония, г	0,0004	0,0778	0,1847	0,3601	0,1312

Установлено, что при низкой концентрации бифторида аммония (менее 2,8 г/л) и плотностях тока более 300 А/м² процесс растворения прекращается после исчерпания запаса $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ в растворе. В данном случае процесс останавливается через промежуток времени менее 1 ч.

При 400 А/м² весь бифторид, присутствующий в растворе, вырабатывается

в течение примерно 30 минут и процесс прекращается. При этом в ячейке на поверхности электродов появляются искровые разряды. То же самое происходит при плотностях тока более 200 А/м^2 для растворов, содержащих 0,7 г/л бифторида аммония. В этом случае процесс растворения циркония протекает не более 20 мин при плотности тока 200 А/м^2 и не более 10 мин при 300 А/м^2 . Поэтому в данных случаях выход циркония по току за 1 ч был рассчитан теоретически, экстраполяцией имеющихся данных, исходя из практического времени электролиза.

При очень низких значениях плотности тока ($100\text{-}200 \text{ А/м}^2$) процесс образования диоксида циркония затруднен и белого осадка на поверхности электродов не образуется. В основном в растворе происходит образование рыхлых чёрных хлопьев фторидов циркония, предположительно имеющих состав $\text{ZrF}_3 - \text{ZrF}_4$, не оседающих на дно ячейки с течением времени. При 100 А/м^2 плотности тока становится недостаточно для протекания электрохимической реакции, поэтому растворение циркония в этом случае является химическим и не может быть адекватно описано уравнением Фарадея.

При достаточной концентрации бифторида (2,8 г/л) при плотностях тока 300 А/м^2 и более в растворе и на поверхности электродов при пропускании электрического тока начинается формирование диоксида циркония белого цвета. При плотностях тока $300\text{-}500 \text{ А/м}^2$ электроды покрываются плотным толстым слоем диоксида циркония характерного белого цвета (что в дальнейшем было подтверждено элементным анализом вещества, собранного с поверхности электродов). Слой нерастворим в воде и минеральных кислотах и может быть удалён лишь выдерживанием электродов в растворе плавиковой кислоты. Проникая в поры слоя, HF вызывает частичное растворение циркония и отслоение образовавшегося покрытия из ZrO_2 .

Это свойство было использовано для количественного сбора полученного диоксида циркония. Его сбор осуществлялся как со дна электрохимической ячейки посредством фильтрования рабочего раствора, так и с поверхности электродов после их обработки в растворе HF . Была проведена контрольная проверка погрешности, вносимой в процесс за счёт химического растворения циркония в растворе. Выяснено, что в течение 1 ч в химическое растворение подвергается 0,0488 и 0,0122 г циркония при концентрациях $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 и 0,7 г/л соответственно. Эта поправка учитывалась при расчёте выходов по току. *Определение выходов по току.* Были определены значения выходов по току. Для этого по убыли массы электродов рассчитывалась масса растворённого циркония, после чего она сравнивалась с теоретической, рассчитанной по уравнению Фарадея. Учитывалась поправка на химическое растворение.

Электрохимический эквивалент для циркония составляет $0,8487 \text{ г/А} \times \text{ч}$.

Результаты расчётов представлены в таблицах 5-8.

Таблица 5 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 50 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 0,7 г/л

Плотность тока, А/м^2	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,0615	0,0122	0,0493	0,1035	47,6
200	0,244	0,1239		0,1117	0,2071	53,9
300	0,366	0,0437		0,0315	0,3106	10,1
400	0,488	0,0029		0,0029	0,4142	0,7
500	0,610	0,0004		0,0004	0,5177	0,08

Таблица 6 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 30 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 0,7 г/л

Плотность тока, А/м^2	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,0982	0,0122	0,0860	0,1035	83,1
200	0,244	0,2013		0,1891	0,2071	91,3
300	0,366	0,0018		0,0018	0,3106	0,6
400	0,488	0		0	0,4142	0
500	0,610	0		0	0,5177	0

Таблица 7 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 50 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 г/л

Плотность тока, А/м^2	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,1194	0,0488	0,0706	0,1035	68,2
200	0,244	0,2341		0,1853	0,2071	89,5
300	0,366	0,3448		0,2960	0,3106	95,3
400	0,488	0,3977		0,3489	0,4142	84,2
500	0,610	0,4727		0,4239	0,5177	81,9

Таблица 8 - Выход по току для электрохимического растворения циркония при температуре 30 °С и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 г/л

Плотность тока, А/м^2	Сила тока, А	Масса раств. циркония, г	Поправка на хим. растворение, г	Масса электрохим. растворённого циркония, г	Масса электрохим. растворённого циркония теоретическая, г	Выход по току, %
100	0,122	0,1124	0,0488	0,0636	0,1035	61,4
200	0,244	0,1827		0,1339	0,2071	64,7
300	0,366	0,2670		0,2182	0,3106	70,3
400	0,488	0,3886		0,3398	0,4142	82,0
500	0,610	0,3912		0,3424	0,5177	66,1

Рассчитанные значения выходов по току, приведённые в таблицах 1–4, представлены в графической форме на рисунках 2 и 3.

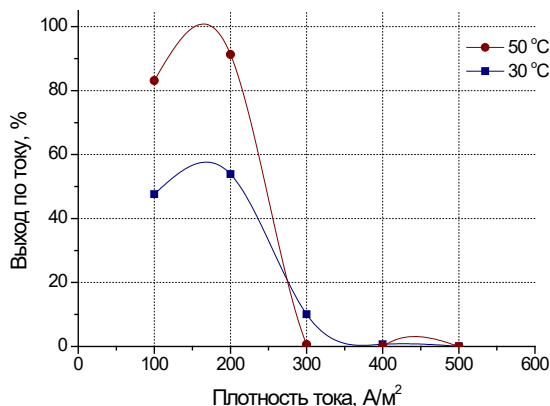


Рисунок 2 - Зависимость выхода по току для процесса растворения циркония от плотности тока при различной температуре и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 0,7 г/л

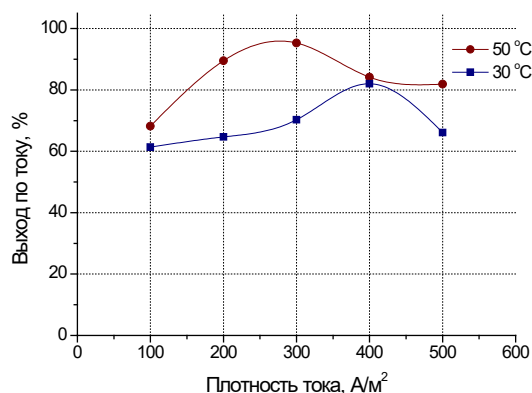


Рисунок 3 - Зависимость выхода по току для процесса растворения циркония от плотности тока при различной температуре и концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ 2,8 г/л

Из представленных данных видно, что концентрация бифторида аммония оказывает решающее воздействие на процесс электрохимического растворения циркония. В случае более низкой (0,7 г/л) концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$ с ростом плотности тока процесс растворения останавливается из-за быстрого истощения запаса этого химического вещества в растворе. При этом образование ZrO_2 происходит лишь при 200 А/м², повышение температуры до 50 градусов обеспечивает почти двукратный рост эффективности растворения, но затем после истощения в растворе бифторида аммония процесс останавливается. Выход по току для реакции растворения циркония в этой точке составляет 53,9 и 91,3% соответственно.

При более высокой концентрации бифторида аммония (2,8 г/л) область наибольшей эффективности процессов приходится на диапазон плотностей тока

от 300 до 400 А/м². В этом случае наблюдается не только интенсивное растворение циркония, но и наиболее эффективное его преобразование в диоксид циркония. Влияние температуры здесь менее выражено, что может быть обусловлено меньшими диффузионными ограничениями из-за более высокой концентрации $\text{NH}_4\text{F} \times \text{HF}$, принимающего участие в электрохимическом процессе.

При плотности тока 300 А/м² и температуре 50 °С выход по току достигает своего максимального значения в 95,3%. Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к уменьшению эффективности растворения циркония из-за повышенного газовыделения.

Анализ состава порошка диоксида циркония. При наиболее оптимальных условиях, определённых в ходе эксперимента, был получен порошок диоксида циркония. После промывки и высушивания порошок был проанализирован на сканирующем электронном микроскопе JSM 6610 фирмы JEOL (Japan) с возможностями микроанализа и атомно-силового микроскопа JSPM 5200 (JEOL).

Выдвинутое ранее предположение о составе порошка было подтверждено. Его основными составляющими являются цирконий и кислород. На рисунке 4 и в таблице 9 приведён состав исследованного образца.

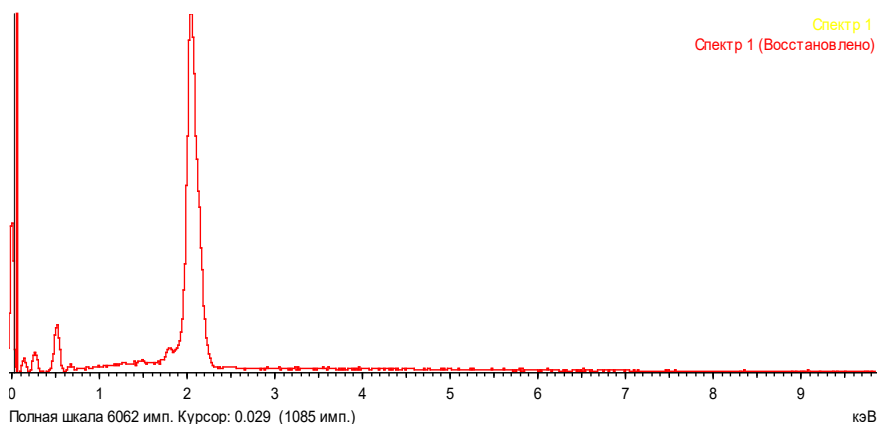


Рисунок 4 - Энергетический дисперсионный спектр (EDX) исследуемого порошка диоксида циркония

Таблица 9 - Элементный состав порошка в весовых процентах

Спектр	O	F	Zr	Итого
Спектр 1	27,92	2,30	69,78	100,00
Спектр 2	27,86	1,70	70,44	100,00
Спектр 3	28,59	1,74	69,66	100,00
Среднее	28,12	1,92	69,97	100,00

Примеси фтора вероятнее всего обусловлены остатками бифторида аммония, который, предположительно, остался в порошке после его промывки.

Соотношение атомных масс циркония и кислорода в диоксиде циркония составляет соответственно 73,98 и 26,01%:

$$\frac{Ar(Zr)}{Ar(ZrO_2)} = \frac{91}{123} \times 100\% = 73,98\%$$

$$\frac{Ar(O_2)}{Ar(ZrO_2)} = \frac{32}{123} \times 100\% = 26,01\%$$

В представленном образце доли этих элементов составляют 69,97 и 28,12%, что близко к теоретическим значениям и позволяет идентифицировать вещество и установить его химическую формулу. Порошок состоит из диоксида циркония ZrO_2 . Выход по току для порошка оксида циркония при этих условиях также составляет 95,3%.

Таким образом, в ходе работы был освоен эффективный метод электрохимического получения чистого диоксида циркония из металлического циркония.

Заключение. Проведённое исследование позволило разработать и экспериментально обосновать эффективный метод электрохимического растворения циркония в кислой среде с использованием переменного тока и растворимых анодов. Установлены ключевые параметры, влияющие на эффективность процесса: наибольшее влияние оказывает концентрация бифторида аммония, в меньшей степени температура раствора.

Влияние плотности тока в значительной степени определяется сочетанием первых двух переменных.

Установлено, что плотность тока осаждения влияет не только на интенсивность растворения металла, но и на состав попутно образующиеся при электролизе веществ. Так, при плотности тока >300 А/м² в растворе начинает образовываться белый осадок оксида циркония, его количество возрастает с ростом плотности тока до 500 А/м². Кроме того, существует такой диапазон плотности тока, при котором образующийся ZrO_2 целиком остаётся на электродах, формируя на них плотный белый слой оксида циркония.

Показано, что при оптимальных условиях (2,8 г/л $NH_4F \times HF$, 50 °С, 300 А/м²) достигается максимальный выход по току – 95,3%, при этом образуется порошок диоксида циркония высокой степени чистоты.

Предложенная методика позволяет ограничить использование высокотоксичной плавиковой кислоты, обеспечивая безопасное и эффективное получение ZrO_2 из металлического циркония. Полученные результаты подтверждают практическую применимость подхода и открывают перспективы для его использования при разработке импортонезависимых технологических решений в области получения циркониевых соединений, для приготовления растворов $H_2[ZrF_6]$ и оксидноциркониевых покрытий.

Литература

Amrutha, M.S., Srinivasan, R. (2017) Kinetics of anodic dissolution of Zr in acidic fluoride media. J. Solid State Electrochem., 21: 91-102. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3342-0>

Artemov S.A., Borik M.A., Volkova T.V., Gerasimov M.V., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Ryabochkina P.A., Tabachkova N.Y. (2020) Influence of growth and heat treatment conditions on lasing properties of ZrO_2 - Y_2O_3 - Ho_2O_3 crystals, *Optical Materials*, 99: 109611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109611>

Chatelut M., Gobert E., Vittori O. (1996) Electrochemical behaviour of zirconium electrodes in acidic medium and their applications to electrowinning of copper from dilute solutions, *Hydrometallurgy*, 43(1–3): 287–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(95\)00116-X](https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)00116-X)

Fernández-González D., Piñuela-Noval J., Ruiz-Bustanza I., González-Gasca C., Gómez-Rodríguez C., Viviana García Q.L., Fernández A., Verdeja L.F. (2023) Solar dissociation of zirconium silicate sand: A clean alternative to obtain zirconium dioxide, *Journal of Cleaner Production*, 420: 138371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138371>

Giles T.R., Goodreau B.H., Frisad W.E., Kroemer J., Frank M. (2009) An Update of New Conversion Coating for the Automotive Industry, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 1(1): 575–581. DOI: 10.4271/2008-01-

Giles T.R., Vonk D., Favero, S.-L. (2012) The Next Generation of Conversion Coatings, *Proceedings of the Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de Superfície III INTERFINISH Latino Americano*. São Paulo, Brazil: 11–14 April 2012, — C. 172–181

Lundberg M. Environmental analysis of zirconium alloy production. DiVA portal (2011) URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:475527/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 05.09.2024)

Manicone P.F., Iommetti P.R., Raffaelli L. (2007) An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications, *Journal of Dentistry*, 35(11): 819–826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.008>

Prasad K., Pinjari D.V., Pandit A.B., Mhaske S.T. (2011) Synthesis of zirconium dioxide by ultrasound assisted precipitation: Effect of calcination temperature, *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5): 1128–1137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.03.001>

Saridag S., Tak O., Alniacik G. (2013) Basic properties and types of zirconia: An overview, *World Journal of Stomatology*, 3: 40–47. DOI: 10.5321/wjs.v2.i3.40

Schulz U., Leyens C., Fritscher K., Peters M., Saruhan-Brings B., Lavigne O., Dorvaux J.-M., Poulain M., Mevrel R., Caliez M. (2003) Some recent trends in research and technology of advanced thermal barrier coatings, *Aerospace Science and Technology*, 7(1): 73–80. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1270-9638\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/s1270-9638(02)00003-2)

Shavkunov S.P., Tolkachev A.B. (2003) Electrochemical Behavior of Mono- and Polycrystalline Zirconium Electrodes in Sulfuric Acid Solutions, *Protection of Metals*, 39(3): 222–227. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023906902032>

Альмяшева О.В., Власов Е.А., Хабенский В.Б., Гусаров В.В. (2009) Термическая устойчивость и каталитическая активность композита "Аморфный Al_2O_3 -нанокристаллы ZrO_2 ", *Журнал прикладной химии*, 82(2): 224–229.

Геодакян Д.А., Костанян А.К., Геокчан О.К., Геодакян К.Д. (2010) Диоксидциркониевые термостойкие композиции, Огнеупоры и техническая керамика, 6: 11–15.

Жигачев А.О., Головин Ю.И., Умрихин А.В., Коренков В.В., Тюрин А.И., Родаев В.В., Дьячек Т.А. (2018) Керамические материалы на основе диоксида циркония. Москва: Техносфера, 357 с.

Исмагилов З.Р., Кузнецов В.В., Охлопкова Л.Б., Цикоза Л.Т., Яшник С.А. (2010) Оксиды титана, церия, циркония, иттрия, алюминия. Свойства, применение и методы получения. Новосибирск: Издательство СО РАН, 246 с.

Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. (2010) Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы, *Российский химический журнал*, 54(1): 20–24.

Кривцов И.В., Устименко А.В., Ильяева М.В., Авдин В.В. (2013) Синтез наночастиц диоксида циркония путем термического разложения комплекса циркония с лимонной кислотой, *Вестник ЮУрГУ, Серия: Химия*, 4: 38–39.

Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.В., Асташинский В.М., Углов В.В., Шиманский В.И., Черенда Н.Н. (2018) Формирование и исследование плазменных порошковых покрытий из

оксидной керамики, модифицированной высокоэнергетическими воздействиями, Наука и техника, 17(5): 378-389. DOI: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-378-389>.

Солнцев С.С. (2013) Эрозионностойкие влагозащитные терморегулирующие покрытия многоразовой теплозащиты орбитального корабля «Буран», Авиационные материалы и технологии, 1: 94-124.

References

Amrutha, M.S., Srinivasan, R. (2017) Kinetics of anodic dissolution of Zr in acidic fluoride media. *J. Solid State Electrochem.*, №21. — P.91–102. <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3342-0> (in English).

Artemov S.A., Borik M.A., Volkova T.V., Gerasimov M.V., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Ryabochkina P.A., Tabachkova N.Y. (2020) Influence of growth and heat treatment conditions on lasing properties of ZrO_2 - Y_2O_3 - Ho_2O_3 crystals, *Optical Materials*, №99. — Article №109611. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109611> (in English).

Chatelut M., Gobert E., Vittori O. (1996) Electrochemical behaviour of zirconium electrodes in acidic medium and their applications to electrowinning of copper from dilute solutions, *Hydrometallurgy*, Vol. 1–3, №43. — P.287–298. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(95\)00116-X](https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)00116-X) (in English).

Fernández-González D., Piñuela-Noval J., Ruiz-Bustanza I., González-Gasca C., Gómez-Rodríguez C., Viviana García Q.L., Fernández A., Verdeja L.F. (2023) Solar dissociation of zirconium silicate sand: A clean alternative to obtain zirconium dioxide, *Journal of Cleaner Production*, №420. — Article №138371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138371> (in English).

Giles T.R., Goodreau B.H., Fristad W.E., Kroemer J., Frank M. (2009) An Update of New Conversion Coating for the Automotive Industry, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, Vol. 1, №1. — P.575–581. 10.4271/2008-01-1153 (in English).

Giles T.R., Vonk D., Favero, S.-L. (2012) The Next Generation of Conversion Coatings, *Proceedings of the Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de Superfície III INTERFINISH Latino Americano*. São Paulo, Brazil: 11-14 April 2012, — P.172-181 (in English).

Lundberg M. Environmental analysis of zirconium alloy production. DiVA portal (2011) URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:475527/FULLTEXT01.pdf> (date of access: 05.09.2024) (in English).

Manicone P.F., Iommetti P.R., Raffaelli L. (2007) An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications, *Journal of Dentistry*, Vol. 11, №35. — P.819–826. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.008> (in English).

Prasad K., Pinjari D.V., Pandit A.B., Mhaske S.T. (2011) Synthesis of zirconium dioxide by ultrasound assisted precipitation: Effect of calcination temperature, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 5, №18. — P. 1128–1137. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.03.001> (in English).

Saridag S., Tak O., Alniacik G. (2013) Basic properties and types of zirconia: An overview, *World Journal of Stomatology*, №3. — P.40–47. 10.5321/wjs.v2.i3.40 (in English).

Schulz U., Leyens C., Fritscher K., Peters M., Saruhan-Brings B., Lavigne O., Dorvaux J.-M., Poulain M., Mevrel R., Caliez M. (2003) Some recent trends in research and technology of advanced thermal barrier coatings, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 1, №7. — P.73–80. [https://doi.org/10.1016/s1270-9638\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/s1270-9638(02)00003-2) (in English).

Shavkunov S.P., Tolkachev A.B. (2003) Electrochemical Behavior of Mono- and Polycrystalline Zirconium Electrodes in Sulfuric Acid Solutions, *Protection of Metals*, Vol. 3, №39. — P.222–227. <https://doi.org/10.1023/A:1023906902032> (in English).

Al'myasheva O.V., Vlasov E.A., Habenskij V.B., Gusarov V.V. (2009) Termicheskaya ustojchivost' i kataliticheskaya aktivnost' kompozita "Amorfnyj Al_2O_3 -nanokristally ZrO_2 " [Thermal stability and catalytic activity of the composite "Amorphous Al_2O_3 -nanocrystals ZrO_2 "]. *Journal of Applied Chemistry*, Vol. 2, №82. — P.224–229. (in Russian).

Geodakyan D.A., Kostanyan A.K., Geokchyan O.K., Geodakyan K.D. (2010) Dioksidcirkonievye termostojkie kompozicii [Dioxide zirconium heat-resistant compositions]. *Refractories and technical ceramics*, №6. — P. 11–15. (in Russian).

Zhigachev A.O., Golovin Yu.I., Umrihin A.V., Korenkov V.V., Tyurin A.I., Rodaev V.V., D'yachek T.A. (2018) Keramicheskie materialy na osnove dioksida cirkoniya [Ceramic materials based on zirconium dioxide]. Moscow: Technosphere, 357 p. (in Russian).

Ismagilov Z.R., Kuznecov V.V., Ohlopkova L.B., Cikoza L.T., Yashnik S.A. (2010) Oksidy titana, ceriya, cirkoniya, ittriya, alyuminiya. Svoystva, primeneniye i metody polucheniya [Oxides of titanium, cerium, zirconium, yttrium, aluminium. Properties, applications and methods of preparation]. Novosibirsk: Publishing house of Siberian Branch of Russian Academy of Science. — 246 p. (in Russian).

Kablov E.N., Grashchenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. (2010) Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Perspective high-temperature ceramic composite materials]. Russian Chemical Journal, Vol. 1, №54. — P. 20–24. (in Russian).

Krivcov I.V., Ustimenko A.V., Il'kaeva M.V., Avdin V.V. (2013) Sintez nanochastich dioksida cirkoniya putem termicheskogo razlozheniya kompleksa cirkoniya s limonnoj kislotoj [Synthesis of zirconium dioxide nanoparticles by thermal decomposition of zirconium complex with citric acid]. Bulletin of the Souty Ural State University, Series: Chemistry, №4. — P.38–39. (in Russian).

Okovityj V.A., Panteleenko F.I., Okovityj V.V., Astashinskij V.M., Uglov V.V., Shimanskij V.I., Cherenda N.N. (2018) Formirovaniye i issledovaniye plazmennyyh poroshkovyyh pokrytij iz oksidnoj keramiki, modifitsirovannoj vysokoenergeticheskimi vozdejstviyami [Formation and investigation of plasma powder coatings of oxide ceramics modified by high-energy impacts]. Science and Technology, Vol. 5, №17. — P.378–389. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-378-389>. (in Russian).

Solncev S.S. (2013) Eroziionnostojkie vlagozashchitnye termoreguliruyushchie pokrytiya mnogorazovoj teplozashchity orbital'nogo korablya «Buran» [Erosion-resistant moisture-proof thermo-regulating coatings for reusable thermal protection of the «Buran» space orbiter]. Aviation materials and technologies, №1. — P.94–124. (in Russian).

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

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The 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 Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

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 20.06.2025.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

13,5 п.л. Заказ 2.

*Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-19*