

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»

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
4 (461)

OCTOBER – DECEMBER 2024

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың бірінші проректоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, PhD докторы, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университетінің профессоры (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) Н = 13

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

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия) Н = 15

«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.

Тиражы: 300 дана.

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

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

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы РҚБ, 2024

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 Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

АГАБЕКОВ В ладимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, Первый проректор КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, доктор PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛЬГАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 13

ФАРУК Асана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия) Н = 15

«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.

Тираж: 300 экземпляров.

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

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

© РОО Национальная академия наук Республики Казахстан, 2024

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

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, president of NAS RK, general director of JSC "Institute of fuel, catalysis and electrochemistry named after D.V. Sokolsky (Almaty, Kazakhstan) H = 4

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) H = 11

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) H = 13

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the institute of Experimental Botany of the Czech academy of sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) H = 66

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, first vice-rector of al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan) H = 11

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, university of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) H = 38

ROSS Samir, Ph.D., professor, school of Pharmacy, national center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 35

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D., pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) H = 40

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of NAS RK, ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 13

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine. faculty of Oriental medicine, Hamdard university (Karachi, Pakistan) H = 21

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director for institute of Organic synthesis and coal chemistry (Karaganda, Kazakhstan) H = 6

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) H = 4

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the academy of sciences of Tajikistan, institute of Chemistry named after V.I. Nikitin AS RT (Tajikistan) H = 6

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) H = 13

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) H = 15

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.

Circulation: 300 copies.

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, 2024

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

NEWS

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

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 5–15

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.246>

УДК 581.192.2

**G.E. Azimbayeva, G.N. Kudaibergenova, A.K. Kamysbayeva*,
N.M. Kurbanbayeva, Sh. Zh. Balkhashbay, 2024.**

Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kamysbayeva.a@qyzpu.edu.kz

DETERMINATION OF FATTY ACIDS IN THE COMPOSITION OF JERUSALEM ARTICHOKE AND DAHLIA LEAVES

Azimbayeva Gulbaira Eralievna – candidate of chemical sciences, acting professor of the department of chemistry, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: azimbaeva.g@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6558-8146>;

Kudaibergenova Gulzira Nursapaevna – candidate of chemical sciences, Senior Lecturer of the department of chemistry, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: kudaibergenova.g@qyzpu.edu.kz <https://orcid.org/0009-0006-9888-8061>;

Kamysbayeva Aliya Kenesbekovna – master of pedagogical sciences, Senior Lecturer of the department of chemistry, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: kamysbayeva.a@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0092-4636>;

Kurbanbayeva Nurzhamol Maratovna – master of natural sciences, lecturer of the department of chemistry, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: knurzhamol@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3997-3375>;

Balkhashbay Shynar Zhasulankyzy – master of pedagogical sciences, lecturer of the department of chemistry, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: synarbalkasbaj@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8755-3788>.

Abstract. Nowadays, most of the medicinal preparations are made from these plants and are used for therapeutic purposes against many diseases. Therefore, plants of the complex family are of greatest interest in theoretical and practical terms. The determination of higher fatty acids (High liquid chromatography) in plant raw materials such as topinambur and dahlia leaves is an important task in the field of biochemistry and pharmacognosy. These acids play a significant role in plant metabolism and may have various beneficial properties for humans, including antioxidant and anti-inflammatory effects. Higher fatty acids are organic compounds with a long hydrocarbon chain and a carboxyl group (-COOH). They are an important constituent of lipids and perform key functions in cell membranes, energy metabolism and biosynthesis. In nature, fatty acids are found in triglycerides, phospholipids and waxes. The analysis of higher fatty acids in plants allows the identification of biologically active components, which is particularly important for the food and pharmaceutical industries.

This article describes the determination of fatty acids in the composition of

topinambur and dahlia leaves. Dahlia and topinambur leaves from Turksib district, Almaty were taken as an object of study. The fatty acid composition of dahlia and topinambur leaves was investigated by gas chromatography method. The content of higher fatty acids was determined by gas-liquid chromatograph “Crystalux-4000 M” with PID and mass-spectrum detector “MS7-800”. According to chromatographic data, topinambour leaf contains 12 fatty acids, dahlia leaf contains 13 fatty acids.

Keywords: Fatty acids, topinambur, dahlia, gas chromatography-mass spectrometry

**Г.Е. Азимбаева, Г.Н. Кудайбергенова, А.К. Камысбаева*,
Н.М. Курбанбаева, Ш. Балқашбай, 2024.**

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: kamysbayeva.a@qyzpu.edu.kz

ТОПИНАМБУР ЖӘНЕ ГЕОРГИН ЖАПЫРАҚТАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНДАҒЫ МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫН АНЫҚТАУ

Азимбаева Гулбайра Ералиевна – х.ғ.к., профессор м.а., Химия кафедрасы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: azimbaeva.g@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6558-8146>;

Кудайбергенова Гульзира Нурсапаевна – х.ғ.к., аға оқытушы, Химия кафедрасы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail:kudaibergenova.g@qyzpu.edu.kz <https://orcid.org/0009-0006-9888-8061>;

Камысбаева Алия Кенесбековна – п.ғ.магистрі, аға оқытушы, Химия кафедрасы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: kamysbayeva.a@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0092-4636>;

Курбанбаева Нуржамол Маратовна – ж.ғ.магистрі, оқытушы, Химия кафедрасы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: knurzhamol@gmail.com , <https://orcid.org/0009-0008-3997-3375>;

Балқашбай Шынар Жасұланқызы – п.ғ.магистрі, оқытушы, Химия кафедрасы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: synarbalkasbaj@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-8755-3788> .

Аннотация. Қазіргі уақытта дәрі-дәрмектердің көпшілігі өсімдіктерден жасалады және емдік мақсатта көптеген ауруларға қарсы қолданылады. Сондықтан күрделі тұқымдасының өсімдіктері теориялық және практикалық тұрғыдан үлкен қызығушылық тудырады. Бұл қышқылдар өсімдіктер метаболизмінде, антиоксиданттық және қабынуға қарсы әсерін қоса есептегенде адам үшін де әр түрлі пайдалы қасиеттерге ие. Жоғары май қышқылдары – ұзын көміртек тізбекті карбоксил (-COOH) тобы бар органикалық қосылыстар. Олар липидтердің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады және жасуша мембраналарында, энергия алмасуында және биосинтезде негізгі функцияларды орындайды. Табиғатта май қышқылдары триглицеридтердің, фософлипидтердің, талшықтардың құрамында кездеседі. Өсімдіктердегі жоғары май қышқылдарын талдау әсіресе тамақ және фармацевтика өнеркәсібі үшін маңызды биологиялық белсенді компоненттерді анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл мақалада топинамбур мен георгин жапырақтарының құрамындағы май

қышқылдарын анықтау сипатталған. Зерттеу нысаны ретінде Алматы қаласы, Түркістан ауданының георгина мен топинамбурдың жапырақтары алынды. Топинамбур мен георгина жапырақтарының май қышқылдарының құрамы газды хроматография әдісімен анықталды.

Жоғары май қышқылдарының құрамы ЖИД және «Кристаллюкс-4000 М» масс-спектр детекторы бар «Кристаллюкс-4000 М» газ-сұйықтық хроматографы арқылы анықталды. Хроматографиялық мәліметтер бойынша топинамбур өсімдігінің жапырағында 12 май қышқылы, георгина өсімдігінің жапырағы 13 май қышқылдары бар.

Түйін сөздер: май қышқылдары, топинамбур, георгина, ГХ/МС (газды хромато-масс-спектрометрия)

**Г.Е. Азимбаева, Г.Н. Кудайбергенова, А.К. Камысбаева,
Н.М. Курбанбаева, Ш. Балкашбай, 2024.**

Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан.

E-mail: kamysbayeva.a@qyzpu.edu.kz

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ ТОПИНАМБУРА И ГЕОРГИНА

Азимбаева Гулбайра Ералиевна – кандидат химических наук, и.о. профессора, кафедра химии, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, E-mail: azimbaeva.g@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6558-8146>;

Кудайбергенова Гульзира Нурсапаевна – кандидат химических наук, старший преподаватель, кафедра химии, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, E-mail: kudaibergenova.g@qyzpu.edu.kz <https://orcid.org/0009-0006-9888-8061>;

Камысбаева Алия Кенесбековна – магистр педагогических наук, старший преподаватель, кафедра химии, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, E-mail: kamysbayeva.a@qyzpu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0092-4636>;

Курбанбаева Нуржамол Маратовна – магистр естественных наук, преподаватель, кафедра химии, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, E-mail: knurzhamol@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3997-3375>;

Балкашбай Шынар Жасуланкызы – магистр педагогических наук, преподаватель, кафедра химии, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, E-mail: synarbalkasbaj@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8755-3788>.

Аннотация. В настоящее время поиск новых растительных источников жирных кислот и их исследования являются актуальным. Поэтому наибольший интерес в теоретическом и практическом плане представляют растения семейства сложных. Определение высших жирных кислот (ВЖК) в растительном сырье, таком как листья топинамбура и георгина, является важной задачей в области биохимии и фармакогнозии. Эти кислоты играют значительную роль в метаболизме растений и могут обладать различными полезными свойствами для человека, включая антиоксидантное и противовоспалительное действие. Высшие жирные кислоты – это органические соединения с длинной углеводородной цепью, имеющие

карбоксильную группу (-COOH). Они являются важной составной частью липидов и выполняют ключевые функции в клеточных мембранах, энергетическом метаболизме и биосинтезе. В природе жирные кислоты встречаются в составе триглицеридов, фосфолипидов и восков. Анализ высших жирных кислот в растениях позволяет выявить биологически активные компоненты, что особенно важно для пищевой и фармацевтической промышленности.

В данной статье описаны определения жирных кислот в составе листьев топинамбура и георгина. В качестве объекта исследования были взяты листья георгина и топинамбура из Турксибского района города Алматы. Методом газовой хроматографии исследован жирнокислотный состав листьев георгина и топинамбура. Содержания высших жирных кислот определяли в газожидкостном хроматографе «Кристаллюкс-4000 М» с ПИД и детектором масс-спектра марки «МС7-800». По хроматографическим данным, лист растения топинамбур содержит 12 жирных кислот, лист растения георгин содержит 13 жирных кислот.

Ключевые слова: жирные кислоты, топинамбур, георгин, ГХ /МС (газовая хромато-масс-спектрометрия).

Введение

Мировое производство функциональных продуктов ежегодно увеличивается на 15-20%. Согласно результатам исследования Global Industry Analysts, Inc., к 2024 г. объем мирового рынка функциональных продуктов превысит 195 млрд долларов США. Основным фактором его роста является повышение интереса потребителей к продуктам, способствующим профилактике заболеваний, увеличению продолжительности жизни и улучшению здоровья.

Проблема здорового питания приобретает массовый, глобальный характер. Из-за ухудшающейся экологической обстановки и нехватки качественной пищевой продукции практически во всех странах мира организация питания населения становится составной частью политики государства. На первый план выходит производство продуктов питания функционального назначения. В такой ситуации рекомендация использовать топинамбур в качестве сырья позволит вывести на отечественный рынок целый спектр ценных пищевых продуктов. Анализ биохимического состава данной культуры подтверждает наличие физиологически важных и функциональных составляющих, прежде всего инулина, фруктозы, пектина, а также витаминов, минеральных веществ и др. (Манохина, и др, 2020).

Топинамбур (*Helianthus tuberosus*) — это многолетнее травянистое растение высотой до 4 метров. Его цветы по запаху похожи на подсолнечник, а корневые клубни крупные, сочные и питательные (Великородов, и др, 2018). Это растение ценилось гораздо выше в Европе, несмотря на его происхождение из Соединенных Штатов, и до сих пор остается ценным. Доказательством его популярности является то, что с момента его первой публикации в 1789 году было опубликовано около 35 монографий и книг об этой культуре, в основном на французском, немецком и русском языках. Несмотря на его простоту по сравнению с основными степными культурами, существует множество научных публикаций о топинамбуре, число

которых постепенно увеличивается с 400 в 1932 году до 1300 в 1957 году и сегодня составляет более нескольких тысяч (Zhong, et al,2019). Топинамбур характеризуется очень высокой холодостойкостью и морозостойкостью. Они устойчивы к морозам – 20-40°C (Pacanowski, et al,2020).

В настоящее время на основе топинамбура разрабатываются и производятся различные диетические и функциональные пищевые продукты, первые и вторые блюда, салаты, компоты, хлебобулочные и кондитерские изделия, соки, сиропы, мука, консервы, фитосборы, биокорректоры, пищевые добавки, лекарственные препараты, косметические средства и другие продукты. В последние годы обоснованы и продемонстрированы перспективы использования топинамбура-сырья для производства моторного топлива и других технических продуктов (Кудрявцева, и др, 1981).

Топинамбур содержит много соединений. В том числе Кабело Уртадо (1998) исследовал кумарины, Мацууру (1993) и Йошихару (1991) ненасыщенные жирные кислоты и производные полиацетилена и обнаружил, что топинамбур обладает антимикробной и противогрибковой активностью. Накагава и другие ученые (1996) обнаружили, что стебель топинамбура содержит неочищенный экстракт каллуса, который легко возбуждается и размножается в жидкой среде, и что этот экстракт обладает сильной активностью против гемагглютинации. Топинамбур обладает стимулирующим, желчегонным, мочегонным, сперматогенным, желудочным и тонизирующим действием и используется в качестве народной медицины для лечения ревматизма. Из-за низкого уровня полиаминов и наличия инулина, который можно превратить в фруктозу, в последнее время было предложено преимущественное использование этого фруктозы в рационе людей с особыми потребностями (Барта и рост, 1958; Упоф, 1968). Блюда из клубней топинамбура отлично подходят для лечения больных ожирением, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Также было установлено, что топинамбур хорошо противостоит опухолевым клеткам молочной железы человека (Гриффаут, 2007; Xiao, et al, 2011).

Среди цветущих травянистых растений, используемых в декоративном садоводстве, одним из самых популярных является георгин (*Dahlia evelines*). Они появились в начале двадцатого века. В настоящее время мировой ассортимент составляет более 12 тысяч сортов. Георгин-светлолюбивое и теплолюбивое растение, требующее плодородной почвы. Георгин размножается черенками путем отделения луковичных гнезд для размножения. Чтобы соцветия растения были крупными, перед посадкой срезают слабые побеги, оставляя 2-3 сильных побега. Для лучшего хранения зимой луковицы выкапывают до наступления холодов. Сушеные луковицы хранят в сухих, темных хранилищах (температура 4-5°C) (Заливский, 1954; Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона 1890-1907).

Родина георгина-горные районы Мексики, Колумбии и Гватемалы. В благоприятных климатических условиях этого региона (среднегодовая температура 18 °C) георгин растет как многолетнее корневищное растение.

Путешественники XVI века первыми отметили культурную георгину в Мексике. Местные жители-ацтеки ели корнеплоды георгина, а сами растения назывались «акокотли» (водопровод) (Abd-Elkader, et al, 2020).

Китайский город Цзянсу в государственной лаборатории пищевых наук и технологий Университета Цзяннань обнаружил, что клубни георгина содержат различные концентрации минералов. Среди них преобладали калий, кальций, магний, фосфор, цинк и хром. Установлено, что клубни сорта белоцветковый богаты магнием и фосфором, клубни сорта красноцветковый – калием и хромом, а клубни сорта желтоцветковый – кальцием и цинком. Клубни георгина содержат водорастворимые и жирорастворимые витамины. Среди них наиболее распространены витамины B_2 , B_6 , B_7 и E.

Эксперимент был проведен на экспериментальном исследовательском полигоне Барамун в провинции Дакалия для определения химических компонентов цветов георгина. Также исследовательские работы дали информацию о наибольшей высоте растения георгина (81-86 см), количестве соцветий (63,0-66,6), массе соцветия (15,59-16,70), диаметре соцветия (12,3-13 см). Кроме того, было определено общее количество углеводов в листьях и цветах и количество фосфора и калия в листьях. Исследовано, что глицин, аргинин, триптофан содержатся в избытке в данном растении (ГОСТ 30623-98, 1996).

В настоящее время поиск новых растительных источников жирных кислот и их исследования является актуальным. Поэтому наибольший интерес в теоретическом и практическом плане представляют растения семейства сложных.

Целью нашего исследования явилось изучение жирнокислотного состава в листьях георгина и топинамбура.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили листья георгина и топинамбура из Туркисибского района города Алматы.

Определение жирнокислотного состава и колчественного содержания жирных кислот проводили методом газо-жидкостной хроматографии на газо-жидкостной хроматографе «Кристаллюкс-4000 М» с ПИД и детектором масс-спектра марки «МС7-800». Определение проводили в таких условиях: колонка газохроматографическая из нержавеющей стали длиной 2 м и внутренним диаметром 2 мм, стационарная фаза – инертон, обработанный 10% диэтиленгликольсукцинатом (DEGS).

На хроматографе были установлены следующие параметры работы: температура термостата колонок -180°C ; температура испарителя -250°C ; температура печи детекторов -200°C ; газ-носитель-азот; скорость потока газа-носителя -30 см^3 ; объем пробы 1 мм^3 раствор метиловых эфиров жирных кислот в гексане.

Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот осуществляли по времени удерживания пиков в сравнении со стандартной смесью. В качестве референтных образцов использовали стандарты насыщенных и ненасыщенных метиловых эфиров жирных кислот фирмы «Sigma».

Пробы для анализа выделяли гексаном, после чего растворитель отгоняли в потоке азота во избежание перекисидации ненасыщенных метиловых эфиров жирных кислот. Затем пробы поддавали немедленной переэтерификации по модифицированной методике Пейскера смесью хлороформ-метанол-кислота серная концентрированная в соотношении (100:100:1) в запаянных ампулах. В стеклянные ампулы отмеривали по 30-50 мкл липофильного экстракта, добавляли 2,5 мл метилирующей смеси и запаивали. Затем их помещали в термостат на 3 часа при температуре 105°C. После окончания процесса метилирования и раскрытия ампул, их содержимое переносили в пробирки, добавляли порошок цинка сульфата на кончике скальпеля, 2 мл воды очищенной и 2 мл гексана для экстракции метиловых эфиров. После тщательного взбалтывания и отстаивания гексановый экстракт использовали для проведения хроматографического анализа (Коломинец, и др., 2024; Кацуба и др., 2013, 247-249).

Результаты и их обсуждение

Результаты изучения содержания высших жирных кислот в листьях топинамбура и георгина представлены в таблицах 1-2 и рисунках 1-2.

Установлено, что жирнокислотный состав в листьях георгина 13, топинамбура 12 соединениями. Изучаемые растения содержат сложных эфиров масляной, капроновых кислот.

Таблица 1 - Содержание жирнокислотного состава листьев топинамбура

№	Компонент	Площадь, %	Концентрация, % мас.	Общая формула
1	Methyl Butyrate	49,9336	4,252204	$C_5H_{10}O_2$
2	Methyl Hexanoate	46,1983	174,913207	$C_7H_{14}O_2$
3	Methyl Laurate	0,0173	0,001849	$C_{13}H_{26}O_2$
4	Myristoleic acid methyl	0,1635	0,007920	$C_{15}H_{28}O_2$
5	Cis-10-Heptadecenoic acid methyl ester	0,2153	0,006224	$C_{18}H_{34}O_2$
6	Methyl Stearate	0,0742	0,013313	$C_{19}H_{38}O_2$
7	Methyl cis-5,8,11,14,17- Eicosapentaenoate	0,3192	0,013930	$C_{21}H_{32}O_2$
8	Methyl cis-5,8,11,14- Eicosatetraenoic	0,1848	0,015397	$C_{21}H_{34}O_2$
9	Cis-11,14,17- Eicosatrienoic acid methyl ester	0,0658	0,002870	$C_{21}H_{36}O_2$
10	Cis-11,14 - Eicosadienoic acid methyl ester	0,7932	0,072032	$C_{21}H_{38}O_2$
11	Cis-13,16- Docosadienoic acid methyl ester	1,6810	0,138280	$C_{23}H_{42}O_2$
12	Methyl Erucate	0,3538	0,021664	$C_{23}H_{44}O_2$

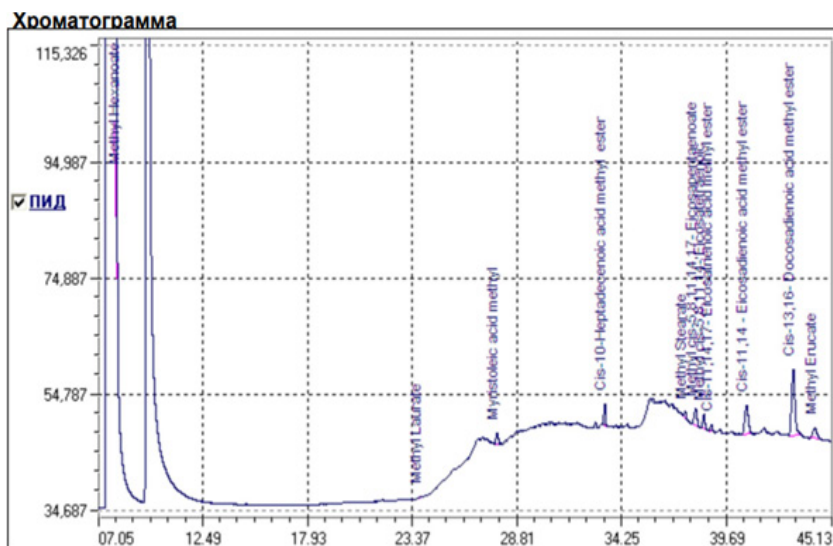


Рисунок 1-Хроматограмма жирнокислотного состава листьев топинамбура

По данным ГХ/МС, в листьях топинамбура и георгина в свободном виде присутствуют практически все кислоты с числом атомов углерода от 12 до 20, включая жирные кислоты с нечетным числом атомов углерода. Эфиры насыщенных и ненасыщенных жирных кислот выходят в промежутке 23.37–45.13 мин (рис. 1), 24.06–46.69 (рис. 2). В таблицах 1,2 приведены данные по количественному содержанию идентифицированных компонентов.

Таблица 2 - Содержание жирнокислотного состава листьев георгина

№	Компонент	Площадь, %	Концентрация, % мас.	Общая формула
1	Methyl Butyrate	49,6240	4,094333	$C_5H_{10}O_2$
2	Methyl Hexanoate	44,9490	164,887119	$C_7H_{14}O_2$
3	Methyl Octanoate	0,0328	0,005533	$C_9H_{18}O_2$
4	Methyl Undecanoate	0,0921	0,005216	$C_{12}H_{24}O_2$
5	Methyl Laurate	0,1184	0,012234	$C_{13}H_{26}O_2$
6	Myristoleic acid methyl	0,5975	0,028044	$C_{15}H_{28}O_2$
7	Methyl Myristate	0,6843	0,126234	$C_{15}H_{30}O_2$
8	Cis-10-Pentadecenoic acid methyl ester	0,1641	0,007198	$C_{16}H_{30}O_2$
9	Cis-10-Heptadecenoic acid methyl ester	1,4644	0,041012	$C_{17}H_{32}O_2$
10	Methyl Heptadecanoate	1,6973	0,155049	$C_{18}H_{36}O_2$
11	Methyl Linoleate	0,1195	0,010676	$C_{19}H_{34}O_2$
12	Methyl Heneicosanoate	0,1656	0,007583	$C_{22}H_{44}O_2$
13	Methyl Behenate	0,2911	0,059458	$C_{23}H_{46}O_2$

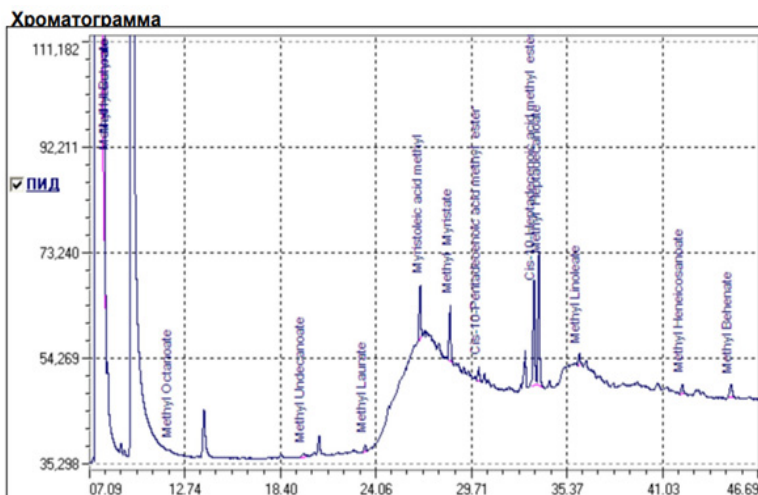


Рисунок 2 - Хроматограмма жирнокислотного состава листьев георгина

Из приведенных данных следует, листья топинамбура содержит 12 высших жирных кислот, листья георгина содержит 13 высших жирных кислот. Наиболее распространенными эогенными жирными кислотами являются метил бутират, метил гексаноат, метил ундеcanoат, метил лаурат.

Жирная кислота-это насыщенные или ненасыщенные карбоновые кислоты с длиной алифатической цепью. Большинство жирных кислот являются прямолинейными с четным числом атомов углерода, присутствующих в природе, от 4 до 28. Жирные кислоты являются основным компонентом липидов (до 70%) (Clement, et al, 2007).

Метилбутират, как и другие эфиры, обладает характерным приятным запахом и вкусом. В связи с этой особенностью метилбутират используется в качестве добавки в пищевой и парфюмерной промышленности. Он растворяется в воде и является бесцветной жидкостью в нормальных условиях. Общая формула $C_5H_{10}O_2$, молярная масса 102 г / моль. Температура кипения составляет $102^{\circ}C$, плотность равна 898 кг/м^3 .

Метилбутират является основным ферментом, который уничтожает бактерии, присутствующие в желудке и кишечном тракте. Он способствует росту костей, служит против простуды и заболеваний горла и предотвращает рак кишечника (Бутират: зависимость, последствия, 2020 эл. ресурс).

Метилгексаноат-бесцветная жидкость. Он также имеет названия метилкапронат, метиловый эфир гексановой кислоты, метиловый эфир капроновой кислоты. Общая формула- $C_7H_{14}O_2$. Молярная масса равна 130 г/моль.

Метилгексаноат производится в больших количествах для использования в качестве ароматизатора и является легковоспламеняющимся (Balkashbay, et al, 2023; Метиловый эфир капроновой кислоты, структурная формула, химические свойства, 2024 эл. ресурс).

Заключение

Методом газовой хроматографии изучено содержание высших жирных кислот в листьях георгина и топинамбура. Установлено, что жирнокислотный состав листьев представлен сложными эфирами капроновой и масляной кислот. Полученные результаты свидетельствуют о возможности дальнейшего использования листьев георгина и топинамбура в медицине и промышленности для получения жирных кислот.

Литература

Abd-Elkader, H. H.; Kasem M. M., Younis T. T. E., Gad A. E. A. Impact of some Amino Acids on Vegetative Parameters, Flowering and Chemical Constituents of Dahlia Cut Flowers. *J. of Plant Production // Mansoura Univ.*, -2020.-Vol.11 (4). –P.333 –339. DOI: 10.21608/jpp.2020.95627

А.А. Манохина, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, Н.П. Мишуров, Л.А.Неменушая, Ж.Ж. Аллаяров Конкурентоспособные технологии производства функциональных продуктов из топинамбура: аналит. обзор. –М.: ФГБНУ «Рос информагротех», 2020. – 84 с.

А.В. Великородов, В.Б. Ковалев, С.Б. Носачев А.Г. Тырков, Л.В. Морозова Жирнокислотный состав масел семян некоторых дикорастущих и культивируемых растений астраханской области, полученных методом сверхкритической флюидной экстракции// *Химия растительного сырья*-2018. -№2. С. 153–158.

Бутират: зависимость, последствия. Комментирует нарколог | Клиника доктора Шурова | 2020 dzen.ru Электронный ресурс, дата обращения 21.06. 2020.

BalkashbaySh.Zh., Azimbayeva G. E., Aytbay D.Sh., AkhtayevaM.B.Determination of higher fatty acids in the composition of urtica dioica leaves. *Chem. J. Kaz.*, -2023.Vol. 4(84). –P.94-100. DOI:https://doi.org/10.51580/2023-4.2710-1185.43.

В. М. Кудрявцева, О. И. Манкевич, И. Е. Ботяновский, Э. А. Бурова, Л. П. Гусарова, И. А.Коревко, Н. М. Лунина, Н. А.Янукова, Н. А. Панько цветные фотографии выполнены Р. П. Дитловоп Цветоводство в БССР (ассортимент и агротехника выращивания). Мн.: Наука и техника, 1981.— С. 264.

«Георгин. Растения из семейства Сложноцветных» Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона 1890—1907.

ГОСТ 30623-98, Межгосударственный стандарт, масла растительные и маргариновая продукция, Метод обнаружения фальсификации, *Vegetable oils and margarine. Detection of falsification*, 1996.

Zhong Q., Yang S., Sun X., Wang L., Li Y. The complete chloroplast genome of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and an adaptive evolutionary analysis of the *ycf2* gene. // *PeerJ* 7: -2019. P.7596 <https://doi.org/10.7717/peerj.7596> .

Заливский И. Л. Георгины.—М.Л.:Сельхозгиз, 1954.—с.140 <https://medictionary.ru/georginy/>

И.К. Кацуба, В. С. Кисличенко, Е. Н. Новосел Исследование жирнокислотного состава листьев, цветков и корней мать-и-мачехи обыкновенной // *Медицина. Фармация*-2013.№18.С. 247-249.

Clément, M., Tremblay, J., Lange, M., et al. Whey-derived free fatty acids suppress the germination of *Candida albicans* in vitro // *FEMS Yeast Res.*-2007.Vol 7(2). -P.276-285

Метилловый эфир капроновой кислоты, структурная формула, химические свойства <https://acetyl.ru/o/a69ka1.php> Электронный ресурс, 2024.

Н.Э. Коломиец, Р.С. Боев, Л.В. Жалнина, Али Абдуджалил Каид Хасан, А.А. Марьин Оценка элементного профиля листьев, корней, семян и сухих экстрактов *Arctium lappa* и *Arctium tomentosum* // *Химия растительного сырья* -2024. -№2. С.138-147. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240212998>

Pasanoski Z., Mehmeti A. The first report of the invasive alien weed Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in the Republic of North Macedonia // *Agriculture and Forestry*-2020.-Vol. 66 (1).P. 115-127. DOI:10.17707/AgricultForest.66.1.12.

XiaoYong Ma, Li Hua Zhang, Hong Bo Shao , Gang Xu, Feng Zhang, Fu Tai Ni and M. Brestic, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values // *Journal of Medicinal Plants Research*. – 2011. -Vol. 5(8). -P. 1272-1279.

References

- Abd-Elkader, H. H.; Kasem M. M., Younis T. T. E., Gad A. E. A. Impact of some Amino Acids on Vegetative Parameters, Flowering and Chemical Constituents of Dahlia Cut Flowers. *J. of Plant Production // Mansoura Univ.*, -2020.-Vol.11 (4). –P.333 –339. DOI: 10.21608/jpp.2020.95627
- A.A. Manokhina, V.I. Starovoitov, O.A. Starovoitova, N.P. Mishurov, L.A. Nemenushaya, J.J. Allayarov Competitive technologies for the production of functional products from topinambour: analytical review. - Moscow: FGBNU “Ros informagroteh”, 2020. - 84 p.
- A.V. Velikorodov, V.B., Kovalev, S.B. Nosachev, A.G. Tyrkov, L.V. Morozova Fatty acid composition of seed oils of some wild and cultivated plants of the Astrakhan region obtained by supercritical fluid extraction// *Chemistry of Plant Raw Materials*-2018. -№2. P. 153-158.
- Butyrate: addiction, consequences. Commented by a narcologist | Clinic of Dr. Shurov | 2020 dzen.ru Electronic resource, date of address 21.06. 2020.
- Balkashbay Sh.Zh., Azimbayeva G. E., Aytbay D.Sh., Akhtayeva M.B. Determination of higher fatty acids in the composition of urtica dioica leaves. *Chem. J. Kaz.*, -2023.Vol. 4(84). –P.94-100. DOI:<https://doi.org/10.51580/2023-4.2710-1185.43>.
- B. M. Kudryavtseva, O. I. Mankevich, I. E. Botyanovskii, E. A. Burova, L. P. Gusarova, I. A. Korevko, N. M. Lunina, N. A. Yanukova, N. A. Panko color photos by R. P. Ditlovop Floriculture in the BSSR (assortment and cultivation techniques). Mn.: Nauka i tekhnika, 1981.- C. 264.
- Dahlia. Plants of the family of the Complex-flowered” *The Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Ephron 1890-1907*.
- GOST 30623-98, Interstate standard, Vegetable oils and margarine products, Detection of falsification, Vegetable oils and margarine. Detection of falsification, 1996.
- Zhong Q., Yang S., Sun X., Wang L., Li Y. The complete chloroplast genome of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and an adaptive evolutionary analysis of the *ycf2* gene. // *PeerJ 7*: -2019. P.7596 <https://doi.org/10.7717/peerj.7596> .
- Zalivsky I.L. Dahlias.-M.L.:Selkhozgiz, 1954.- p.140. <https://medictionary.ru/georginy/>
- I.K. Katsuba, , V.S. Kislichenko, E.N. Novosel Study of fatty acid composition of leaves, flowers and roots of common mother uterus // *Medicine. Pharmacia*-2013.№18.P. 247-249.
- Clément, M., Tremblay, J., Lange, M., et al. Whey-derived free fatty acids suppress the germination of *Candida albicans* in vitro // *FEMS Yeast Res.*-2007.Vol 7(2). -P.276-285
- Methyl ester of caproic acid, structural formula, chemical properties <https://acetyl.ru/o/a69ka1.php> Electronic resource, 2024.
- N.E. Kolomiets, R.S. Boev, L.V. Zhalnina, Ali Abdujalil Kaid Hasan, A.A. Maryin Evaluation of elemental profile of leaves, roots, seeds and dry extracts of *Arctium lappa* and *Arctium tomentosum* // *Chemistry of plant raw materials* -2024. -№2. P.138-147. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240212998>
- Pacanoski Z., Mehmeti A. The first report of the invasive alien weed Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in the Republic of North Macedonia // *Agriculture and Forestry*-2020.-Vol. 66 (1).P. 115-127. DOI:10.17707/AgricultForest.66.1.12.
- XiaoYong Ma, Li Hua Zhang, Hong Bo Shao , Gang Xu, Feng Zhang, Fu Tai Ni and M. Brestic, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values // *Journal of Medicinal Plants Research*. – 2011. -Vol. 5(8). -P. 1272-1279.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 16–33

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.247>

ӘОЖ 63.637.5

FTAXP 65.59.15

© **Zh.S. Baizakova¹, E.V. Solodova¹, A.T. Kozhabergenov², S. Kozykan²,
L.K. Bupebaeva², 2024.**

¹International Engineering and Technology University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Zhumakulb@mail.ru

TECHNOCHEMICAL CONTROL MEASURES IN THE PROCESS OF MEAT PRODUCTION

Baizakova Zh. S. – PhD, associate professor of the Department «Technique and technology of food production» of the International University of engineering and technology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Zhumakulb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-002-4482-9879>;

Solodova E.V. – candidate of biological sciences, Head of the Department «Biochemical Engineering» of the International University of engineering and technology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Neftgas@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0136-4220>;

Kozhabergenov A.T. – candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department “Technology and safety of food products” of the Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: kozhabergenov79@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5963-1435>;

Kozykan S. – candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department “Technology and safety of food products” of the Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Sabira.713@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-39177>;

Bupebayeva L.K. – candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of «Zooengineering» of the Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Ms.bupebaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>.

Abstract. The article describes the features of the preparation of chemical preparations for sanitary processing depending on the type of work of meat production. A diagram of the pre-slaughter resting base, slaughterhouse, meat and fat production facilities, freezers, production facilities for meat processing, canned food production, etc. is given. In order to obtain high-quality meat and meat products, the issue of the technological method of all sanitary work performed during the preparation of animals for slaughter, slaughter and primary processing of carcasses is mentioned. The features of the preparation of chemical preparations in the processes of sanitary disinfection treatment, carried out according to technological methods, with the correct use of appropriate technological methods for the preparation, slaughter, primary processing of carcasses, by-products and meat products for post-acceptance slaughter. All information about the main place of production in the meat industry, the main production facilities

are summarized. And the technology of processing products and cable cars the way of grouping the technological flow is based on the transmission of products in the process of calculating products and Inter-shop transportation of heavy goods. Main properties: no contamination of products during the processing process; convenience of all-round processing conditions without additional moving operations; ensuring the possibility of applying the required sanitary and hygienic conditions in the workshops; in accordance with the requirements of Veterinary and sanitary control, it is necessary to install a sanitary protection zone between production buildings and neighboring enterprises. In order to improve the quality of meat at the processing sites of animal products, the capacity of the workshop, the capacity of the units used in it, the productivity of suspended conveyors, and the dimensions of the workplaces by length are indicated.

Keywords: meat, quality, sanitation, technology, installation, production calculation methods.

© Ж.С. Байзакова¹, Е.В. Солодова¹, А.Т. Кожаберженов², С. Қозықан²,
Л.К. Бупебаева², 2024.

¹Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: Zhumakulb@mail.ru

ЕТ ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН ТЕХНОХИМИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ШАРАЛАРЫ

Байзакова Ж.С. – PhD философия докторы, Халықаралық инженерлік-технологиялық университетінің «Тағам өндірісінің техникасы және технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан, E-mail: Zhumakulb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-002-4482-9879>;

Солодова Е.В. – биология ғылымдарының кандидаты, Халықаралық инженерлік-технологиялық университетінің «Биохимиялық инженерия» кафедрасының меңгерушісі, Алматы, Қазақстан, E-mail: Neftgas@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0136-4220>;

Кожаберженов А.Т. – ауыл шарушылығы ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Тағам өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан, E-mail: kozhabergenov79@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5963-1435>;

Қозықан С. – техника ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Тағам өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан, E-mail: Sabira.713@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-39177>;

Бупебаева Л.К. – ауыл шарушылығы ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Зооинженерия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан, E-mail: ms.bupebaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>.

Аннотация. Мақалада ет өндірісінің жұмыс түріне қарай санитариялық өңдейтін химиялық препараттардың дайындалу ерекшеліктері айтылған. Малды сою алдындағы тынықтыру базасы, сойыс алаңы, ет-май өндіру орындары, мұздатқыштар, етті қайта өңдеу өндірістік орындары, консерві дайындау және т.б. орындардың сызбасы берілген. Сапалы ет және ет өнімдерін алу мақсатында қабылданған малдарды союға дайындау, сою және тушаны алғашқы өңдеуден өткізу кезіндегі барлық орындалатын санитариялық жұмыстардың технологиялық

әдіс бойынша атқарылу мәселесі айтылған. Малды қабылдағаннан кейінгі союға әзірлеу, сою, тушаны алғаш өңдеу, қосымша өнімдерін өңдеу және еттен алынатын өнімдер үшін тиісті технологиялық әдістерді дұрыс қолдану арқылы, технологиялық әдістер бойынша жасалынатын санитариялық дезинфекциялық өңдеу процестерінде химиялық препараттарды дайындау ерекшеліктеріне тоқталған. Ет өнеркәсібіндегі басты өндіріс орыны, негізгі өндіріс орындарын анықтау жайында барлық мәліметтер жинақталып айтылған. Және өнімдерді өңдеу технологиясы мен аспалы жолдар технологиялық ағынның топтасу тәсілі өнімді есептеу процесіндегі өнімнің берілісіне және ауыр жүктерді цехаралық тасымалдауға негізделген. Негізгі қасиеттері: қайта өңдеу процесі кезінде өнімнің ластануы болмайды; қосымша қозғалмалы оперциясыз жан-жақтан өңдеу жағдайына ыңғайлы болуы; цехтарда талап етілетін санитарлы-гигиеналық жағдайларын қолдану мүмкіншіліктері қамтамасыз етілуі; ветеринарлы-санитарлық бақылау талабына сәйкес өндірістік ғимараттар мен көрші кәсіпорындар аралығына санитарлық-қорғау аймағы орнатылуы қажеттігі айтылған. Мал өнімі түрлерін өңдеу орындарында ет сапасын арттыру мақсатындағы цех қуатын, ондағы пайдаланылатын қондырғылар, аспалы конвейерлер өнімділігі, жұмыс орындарының ұзындығы бойынша өлшемдері көрсетілген.

Түйін сөздер: ет, сапа, санитария, технология, қондырғы, өндірісті есептеу әдістері.

© **Ж.С. Байзакова¹, Е.В. Солодова¹, А.Т. Кожаберенов², С. Козыкан²,
Л.К. Бупебаева², 2024.**

¹Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан;

²Казакский национальный аграрный исследовательский университет,
Алматы, Казахстан.

E-mail: Zhumakulb@mail.ru

МЕРЫ ТЕХНОХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА МЯСА

Ж.С. Байзакова – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Техника и технология пищевых производств» Международного инженерно-технологического университета, Алматы, Казахстан, E-mail: Zhumakulb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-002-4482-9879>;

Е.В. Солодова – к.б.н., заведующий кафедрой «Биохимическая инженерия» Международного инженерно-технологического университета, Алматы, Казахстан, E-mail: Neftgas@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0136-4220>;

А.Т. Кожаберенов – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов» Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан, E-mail: kozhabergenov79@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5963-1435>;

С. Козыкан – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов» Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан, E-mail: Sabira.713@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-39177>;

Л.К. Бупебаева – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры «Зооинженерия» Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан, E-mail: ms.bupebaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>.

Аннотация. В статье изложены особенности приготовления химических препаратов для санитарного приготовления, в зависимости от вида работ мясного производства. Приведена схема мест предубойной базы отдыха скота, убойной площадки, мест мясопереработки, морозильников, производственных мест переработки мяса, заготовок консервов и др. Отмечается, что все санитарные работы при подготовке к убою, убою и первичной обработке туш, принятые с целью получения качественного мяса и мясопродуктов, выполняются технологическим методом. Остановился на особенностях приготовления химических препаратов в процессах санитарной дезинфекционной обработки, производимых по технологическим методам, с правильным применением соответствующих технологических методов для убоя после приема скота, убоя, первичной обработки туш, переработки побочных продуктов и получения мяса. Обобщены все данные по определению основных производственных мощностей, основных производственных мощностей в мясной промышленности. И технология обработки продуктов, и канатные дороги способ группировки технологического потока основан на передаче продукта в процессе расчета продукта и межцеховой транспортировке тяжелых грузов. Основные свойства: отсутствие загрязнения продукции в процессе переработки; удобство в условиях комплексной обработки без дополнительной подвижной операции; обеспеченность необходимыми санитарно-гигиеническими условиями в цехах; необходимость установки санитарно-защитной зоны между производственными зданиями и соседними предприятиями в соответствии с требованиями ветеринарно-санитарного контроля. В местах переработки видов животноводческой продукции указаны мощность цеха с целью повышения качества мяса, используемые в нем установки, производительность подвесных конвейеров, размеры рабочих мест по длине.

Ключевые слова: мясо, качество, санитария, технология, установка, методы расчета производства.

Кіріспе. Мемлекет басшысы агроөнеркәсіптік кешенді дамытудың негізгі үш бағытын атап өтті: жаңа технологияларды енгізу және ауыл шаруашылығы шикізатын қайта өңдеуді арттыру арқылы еңбек өнімділігін арттыру, елдің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету және ауыл шаруашылығы саласының экспорттық әлеуетін іске асыру (Ramazanova, et al, 2019). Ет және ет өнімдері айтарлықтай құнды азық-түлік тағамдары қатарына жатады. Ет құрамына енетін компоненттер ағзаның тіршілік эрекетін реттейтін қажетті жүйенің биосинтезіне, ұлпаның пайда болуына, сонымен қатар энергиялық шығынды өтеуге қажетті негізгі материал ретінде қызмет етеді. Сондықтан оны өндіру процесінде технохимиялық бақылау - шикізаттың, жартылай, немесе дайын өнімнің сапасын, сонымен бірге дұрыс өңделінуін, технологиялық процестердің дұрыс жүргізілуін анықтау болып табылады (Байзакова, 2019)

Мұнда сапалы ет және ет өнімдерін алу мақсатында атқарылатын жұмыстар процестеріне байланысты алынатын өнімдер үшін тиісті технологиялық әдістерді дұрыс қолдану арқылы, жасалынатын жұмыстарды атқаратын қондырғылар,

машиналар мен аппараттардың жұмысына көп көңіл бөлу арқылы қосымша техномиялық бақылау шараларын қатар жүргізіп отыру басты мәселесі.

Өнімнің биологиялық, органолептикалық және тағамдық жағынан көрсеткіштерінің төмендігі көп жағдайда өндіріс орындарындағы жұмыс әдістерінің технологияға сәйкес келмеуінен. Өнім сапасының басты сипаттамасы - қасиетінің тұрақтылығы. Ол сақтау, тасымалдау және сату кезінде өнімнің тағамдық құндылығы мен қауіпсіздігінің өзгеру деңгейі болып табылады. Әр уақытта да кәсіпорындағы еңбек өнімділігінің деңгейін өзара тығыз байланыстыратын екі фактор - өндіріс технологиясы мен оны іске асыратын техникалық құрал-жабдықтар (Асенова, т.б., 2022).

Экономикалық тұрғыдан алғанда шаруашылықтардан малды өндіріс орындарына тасымалдау кезіндегі атқарылатын іс әрекеттер малдан алынатын ет сапасын жақсарту арқылы орындалып отырады және тасымалдау көлігінің түрі, сапасы, малды көлікке тиеу және түсіру, тасу жылдамдығы, жол жағдайы т.б. жұмыстары қарастырылады. Мал сою орындарында сойысқа дайындаған мал тірілей салмағы, еттің шығымы мен сапасы бойынша малдәрігерлік тексеруден өткізіліп барып қабылдануы керек. Ет өндіру саласында малды союға әзірлеу үшін алғашында сұрыпталынады, әртүрлі тексеруден өткізіледі, таразыға тартылғаннан кейін жасына, жынысына байланысты арнайы алаңдарға орналастырылады. Және малды ұстау мерзімі екі тәуліктен аспауы керек.

Қазақстандық кәсіпорындардың инновациялық белсенділігін басқа елдермен бірлескен жоғары технологиялық жобаларға қатысу арқылы арттыру - басқа елдермен бірлескен жоғары технологиялық жобаларға сәйкес зерттелетін үлгілердің құрамы мен қасиетін анықтаудың заманауи әдістерінде химиялық, физика-химиялық, физикалық және биологиялық бақылауды қолданып отыру (Асенова, т.б., 2020).

Мал сою орындарында ұшаны тазалау, таразылап, ұшаның категориясына қарай таңба түрлерін басу, ұшаны бөлу, жетілдіру және сақтау кезіндегі операциялардың барлығы технология бойынша орындалатыны ескеріледі. Ондағы арнайы техномиялық бақылау құралдар және реактивтердің көмегімен шикізат пен дайын өнімнің сапалық және сандық құрамын, ақуыз, май, ылғал мөлшерлерін, құрылымдық-механикалық қасиеттерін, түстік сипаттамасын және басқа да көрсеткіштерін анықтайды (Khusain, et al, 2021).

Зерттеу материалдары мен әдістері. Негізінен сойыс малдарын өңдеу және өндіру ісі өндірістік қуаты мен техникалық деңгейі әртүрлі кәсіпорындарда әрқалай жүзеге асырылады. Қазақстанда ет өңдеу мақсатындағы кәсіпорындардың төмендегідей түрлері бар:

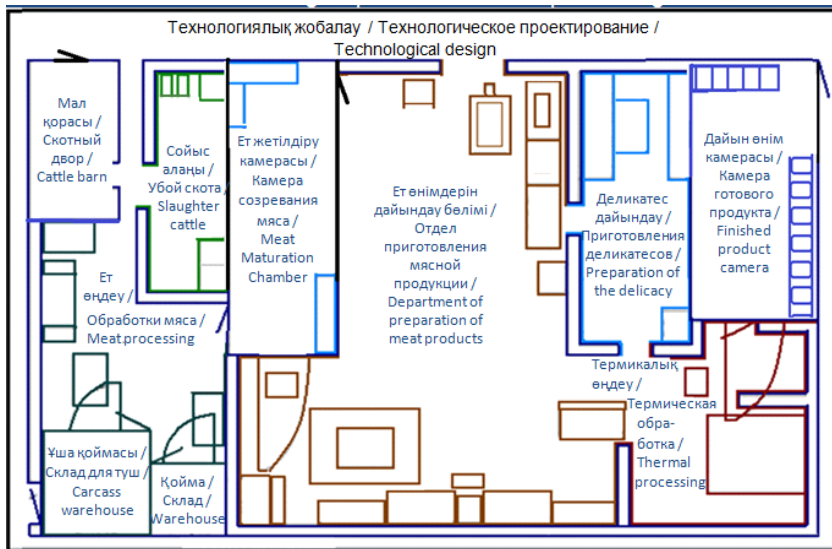
- қасапхана - мал түрлерін сою қасапханалары, немесе алғашқы өңдеу жұмысы ғана жүргізілетін қарапайым кәсіпорын;

- өнімді салқындатып, мұздатқыш орындар - қасапхана және мұздатқыштармен қамтылған кәсіпорындар;

- ет комбинаты - мал союдан бастап барлық өнімдерін өңдеу және қайта өңдеу арқылы дайын өнім түрлерін шығару кәсіпорны.

Ет өнеркәсібіндегі басты өндіріс орыны - ет комбинаты. Ондағы негізгі өндірістер - ет-май өңдеу орындары, мұздатқыштар және етті қайта өңдеу орындары. Шығаратын өнім түрлерінің санына байланысты (қуаты) ет комбинаттарын мынадай бөліктерге бөлінеді: кішігірім (қуаттылығы ауысымда 50т), орташа (қуаттылығы ауысыма 50т-дан 100 т-ға дейін) (қуаттылығы ауысымда 100т-дан жоғары) (Blackwell Publishing, et al, 2006).

Ет комбинаттарының қандай түрі болмасын, олар негізгі және қосымша өндірістік орындардан тұрады. Негізгі өндіріс орындарына малды сою алдындағы тынықтыру базасы, сойыс алаңы, ет-май өндіру орындары, мұздатқыштар, етті қайта өңдеу өндірістік орындары және т.б. орындар (1 - сурет).



Сурет1 Мал сою және ет өнімдерін өңдеу орындарының жобасы

Мал етін алу орындарындағы қоршаған ортаны қорғау саласы мақсатында көң, бензин, майұстағыш тазалау құрылғыларымен, құмұстағыш, лайтұндырғы және пайдаланған суды дезинфекциялау-тазалау ерітінділерімен жабдықталған орындар, материалдар мен құрал-саймандарға арналған қойма, қызметкерлер үшін жуынып-шайынатын бөлме және карантинді оқшаулағыш, санитарлы сойыс алаңы. Ол алаң сойысқа дайындалған ауырғаны күмәнді және ауру малдарға арналған: уақытша мал ұстау қорасы, мал сою және ұшаны өңдеу алаңы, малдың қосымша өнімдері мен қосалқы өнімдерін өңдеу және теріні дезинфекция жасау мен етті стерильдеу орындары, өнім түрлерін салқындату және мұздату камералары (Christopher, et al, 2019).

Тазаланған ұша етті ұқсату немесе қайта өңдеу орындарында жалпы салмағы мен сапасы бойынша тоңазытылып, жетілдіріліп болғанан кейін қабылданады. Мал сою алдындағы тынықтыру базасында қабылдау және уақытша тынықтыру жұмыстары атқарылады.

Мал сою және ет өнімдерін алу технологиялық жабдықтары мынадай топтарға бөлінеді.

Көтеру-тасымалдау жабдықтары:

- аспалы жолдар мен конвейерлер және оларға қызмет көрсету жабдықтары;
- едендік қозғалмалы (мысалы арбаша) және тұрақты көтеру-тасымалдау жабдықтары.

Аспалы жолдар технологиялық ағынның топтасу тәсілі болып табылады. Ол өнімді есептеу процесіндегі өнімнің берілісіне және ауыр жүктерді цехаралық тасымалдауға негізделген. Негізгі қасиеттері: қайта өңдеу процесі кезінде өнімнің ластануы болмайды; қосымша қозғалмалы оперциясыз жан-жақтан өңдеу жағдайына ыңғайлы болуы; цехтарда талап етілетін санитарлы-гигиеналық жағдайларын қолдану мүмкіншіліктері қамтамасыз етілуі; ветеринарлы-санитарлық бақылау талабына сәйкес болуы керек (Nyamakwere, et al, 2017).

Аспалы жолдар жіктелімі бойынша: салмақ түсу бойынша конвейерлі немесе конвейерсіз; орналасуы бойынша жазықтықты (тік, көлденең, көлбеу) және кеңістікті; салмақ құрылымы бойынша түрі бойынша аспалы, шынжырлы, арқанды шнекті және штангілі; орналасуы бойынша малдың бір түрін қайта өңдеуге арналған қарапайым аспалы жолдар және бірнеше түрін қолданады. Мал сою жабдықтарына жататындар: тері сыпыру; қыл, жүн тазалау; ішек өңдеуге арналған. Жұмыс орнының жалпы ұзындығына ұшалар арасының ара қашықтығы және жұмыс операциясының орындалуы енеді (Сидоров, и др., 2019).

Мал сою орындарының ғимараттарындағы көрші кәсіпорындар аралығы санитарлық-қорғау аймағы болуы тиіс: ірі қараға арналған еткомбинатындағы мал қабылдау, сою, жуып-шаю, мал таситын вагондарды дезинфекция жасау алаңында ені 500 м-ден кем болмауы; үш тәуліктік шикізат қоры бар малқорасымен бірге алғанда ені 100м-ден кем болмауы тиіс.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау. Мал етін өндіру және өңдеу кәсіпорындарына қойылатын талаптарда - техникалық жабдықталуы күшті, қажетті технологиясы және білікті жұмысшылары мен қызметкерлері бар өндіріс орындары болуы. Өндірістік ғимараттар мен көрші кәсіпорындар аралығына санитарлық-қорғау аймағы орнатылуы тиіс: таза су және суды салқындату мен жылытуға байланысты энергияны тұтыну орны (Abdykerova, et al, 2019).

Қазақстанның көптеген өнеркәсіптік қалаларында ауаның ластану деңгейі көлік құралдарының, қазандықтардың және өнеркәсіптік қондырғылардың шығарындыларына байланысты қолданыстағы стандарттардан бірнеше есе жоғары. Ет өнеркәсібі кәсіпорындарында Кеден одағы ережелерінің талаптарына сәйкес құрамы бойынша ерекшеленетін ағынды суларды бөлек бұру үшін бірнеше ішкі кәріз жүйелерін жобалау жүзеге асырылады. Пайдаланылған суларды әдетте бес негізгі ағынға бөледі: құрамында майы бар, құрамында көні бар, санитарлық қасапхананың, карантин мен изолятордың ағынды сулары, сондай-ақ қалған ағынды сулар (шаруашылық-нәжіс және құрамында маймен ластанған). Сонымен қатар, жаңбыр мен еріген суды, сондай-ақ ғимараттардың аумақтары мен шатырларын бұру үшін дренаж жүйесі жобаланады. Ет өнеркәсібі

кәсіпорындарын жобалау кезінде құрамы бойынша бөлінетін сарқынды сулардың түрлерін бөлек бұру үшін бірнеше ішкі кәріз жүйелері көзделеді (Федоренко, и др, 2016).

Ет және ет өнімдерін тасымалдауға арналған көлік құралдары күн сайын жұмыс аяқталғаннан кейін тамақ қалдықтарынан щеткамен және сыпырғымен тазартылып отыруы тиіс. Ерітіндіге қосылатын химиялық қоспа - 1-2% белсенді хлор, немесе 0,1% натрий дихлоризоциануратының ерітіндісі бар 2% каустикалық сілтінің ерітіндісі, немесе хлорлы әк ерітіндісі. Сойылған малдарды кәсіпорынға жеткізетін көлік құралдары арнайы жабдықталған алаңда өңделеді. Механикалық тазалаудан кейін машина борты шлангтан сумен жуылады және формальдегидтің 2 % ерітіндісімен, я болмаса, 2% ыстық каустикалық сода ерітіндісімен немесе құрамында 2-3 % белсенді хлор бар ағартылған хлорлы әк ерітіндісімен жуылып, соңынан таза сумен шайылады. Өндіріс орнындағы қоқысты шығаруға арналған көлік күн сайын жұмыс соңында натрий дихлоризоцианурат ерітіндісімен өңделінеді. Ерітінді құрамы кемінде 52% хлор бар ұсақ кристалды ақ немесе сәл қызғылт ұнтақ түрінде болады. Ал 0,1% натрий дихлоризоциануратының концентрациясы 0,05% белсенді хлордың құрамын алмастыра алады. Профилактикалық дезинфекциялау үшін натрий дихлоризоциануратын қолданар алдында ұзақ уақыт сақтағаннан кейін оның құрамындағы белсенді хлордың мөлшері анықталады. Мұнда 1 литр дезинфекциялық ерітінді дайындауға арналған препараттың қажетті мөлшерін анықтау:

$$X = \frac{0.05 \cdot 1000}{B}, \quad (1)$$

мұндағы X - 1 литр суға қажетті дезинфекциялық зат мөлшері, г;

0,05 - жұмыс ерітіндісіндегі белсенді хлордың қажетті концентрациясы;

B - препараттағы белсенді хлор, %;

1000 - қайта есептеу коэффициенті.

Ал натрий сульфаты ерітіндісінің 0,1 н титр түзету коэффициентін анықтау - 0,15-0,2 г мөлшерінде тұрақты салмаққа дейін кептірілген екі мовоқышқылды калий суспензиясын 50 мл суда ерітеді де, оған 2 г калий йодид, немесе 8 мл концентрацияланған тұз қышқылы, немесе 10 мл күкірт (1:2) қосылады. Ерітіндіні араластырылғаннан соң мөлшерін 400 мл-ге дейін жеткізіп, ол бөлінген йод натрий сульфатының 0,1 н ерітіндісі көмегімен қоңырдан сары-жасыл түске дейін өзгереді. Ары қарай 1,5-2,0 мл крахмал ерітіндісін қосып, көк түстен изумруд жасыл түске дейін ауысқанша титрлеу жалғастырылады. Сонымен қатар, қосымша титрлеуді бақылау жүргізіледі, онда 50 мл суға 1 г калий йодид, 8 мл концентрацияланған NOI немесе 10 мл H_2SO_4 (1:2) қосылады да қосымша 400 мл-ге дейін су құйылады, 1,5-2,0 мл крахмал ерітіндісі қосылады және жоғарыда сипатталғандай натрий гипосульфитімен титрленеді.

K коэффициентін түзету формуласын есептеу:

$$L_o = t_o v \cdot 1,2 \quad (2)$$

мұндағы a -калий бихроматының сынамасы, г;
 v - титрлеуге жұмсалған 1,0 н натрий сульфаты ерітіндісінің көлемі, мл;
 v_1 - титрлеуді бақылауға жұмсалған 0,1 н натрий сульфаты ерітіндісінің көлемі, мл;

0,0049035 - қайта есептеу коэффициенті.

Сойылатын мал және қосымша жұмыстарды атқаратын көліктерді химиялық ерітінділермен өңдеу үшін белсенді хлордың (X) мөлшерін мына формуламен анықтайды:

$$X = \frac{(a - b) \cdot K \cdot 0,3545}{p} \quad (3)$$

мұндағы a - көлемі 0,1 н титрлеуге кеткен натрий сульфаты ерітіндісі, мл;
 b - титрлеуді бақылауға жұмсалған 0,1 н натрий сульфаты ерітіндісінің көлемі, мл;

K - натрий сульфатының титрлеуді түзету коэффициенті;

0,3545 - қайта есептеу коэффициенті;

p - сынама, г (Сидоров, и др., 2019).

Ет өндірісінде ары қарай атқарылатын жұмыс малды союдың технологиялық әдістеріне қажетті құрал жабдықтар.

Мал өнімі түрлерін өңдеу орындарында цех қуатына қарай қондырғылар есептелініп алынады. Үзіліссіз әрекеттегі мал сою және ұшасын өңдеуге қажетті қондырғыларды анықтау жағдайында:

$$N = \frac{A}{QT} \quad (4)$$

Ал үзілісті әрекеттегі қондырғылар үшін мына формуланы қолдануға болады:

$$N = \frac{A}{Q_1 K} \quad (5)$$

мұндағы N - қондырғы саны;

A - бір ауысымдағы шикізат мөлшері, кг;

Q - қондырғының сағаттық өнімділігі, кг;

T - ауысым ұзақтығы, сағ;

Q_1 - машинаға бір мезгілде арту өнімділігі, кг;

K - ауысымдағы цикл саны ($K = T/t$);

t - цикл ұзақтығы.

Қондырғылар өнімділігі каталог немесе машина паспортына қарай алынады. Мал сою орындарында өңдеу желісінің өткізу қабілеті, желідегі ілгіш жолы бар конвейердің жылжу жылдамдығымен алынады:

$$v = \frac{AR}{60T} \quad (6)$$

мұндағы v - шынжырлы конвейердің жылжу жылдамдығы, м/мин;

A - цех өнімділігі, бас/ауысымда;

R - конвейердегі жұмыс саусақтарының ара қашықтығы, м (ірі малдар үшін 1,8 м.).

Конвейер желісінің ұзындығын келесідей анықтауға болады:

$$L = v \cdot t; \quad (7)$$

мұндағы L - конвейер ұзындығы, м;

t - операция ұзақтығы, мин.

Конвейер бойындағы жұмыс істеу орны келесідей анықталынады:

$$L_o = t_o v \cdot 1,2, \quad (8)$$

мұндағы L_o - жұмыс орнының ұзындығы, м;

t_o - өндірістік операцияны орындауға қажет уақыт, мин;

1,2 - тәжірибелік шарттарды ескерудегі түзету коэффициенті. Конвейерсіз жұмыс жағдайында жұмыс істеу орындары ірі малдар үшін орташа 2 м; ұсақ малдар мен шошқаны өңдеу үшін 1,5 м. Мұнда жұмыс істеу орнының ұзындығы жасалынатын операцияларға байланысты есептелінеді (Асенова, т. б., 2022).

Мал сою орындарында смена жұмысы аяқталғаннан кейін алаң бастапқыда кірден, қаннан, шырыштан және т.б. тазартылады. Содан кейін барлық технологиялық кондырғылар мен жабдықтар, сою цехының және оған іргелес алаңдардың едендері мен қабырғалары: салқындалу бөлімшесі, ішек және қосалқы өнім цехы (үстелдер, ванналар, бассейндер, арбалар, конвейер, аралар және т. б.) бастапқыда химиялық ерітінділерімен дезинфекцияланып, 30-45 минуттан кейін ыстық су ағынымен шайылады. Мал сою алаңындағы барлық технологиялық жабдықтарды тазалауға қажетті жуып-дезинфекциялағыш құралдары ретінде -2% «Демпа» ыстық ерітіндісі, 0,1-0,2% ыстық каустикалық сода ерітіндісі, 0,15-0,3% «Каспос» ыстық ерітіндісі пайдаланылады.

«Каспос» ерітіндісі - сыртқы түрі сарғыш келген құрамында 40-42% каустикалық сілтілер және 2%-ға дейін басқа тұздар бар сұйықтық. Суда жақсы ериді. Ерітіндіні дайындау мөлшері 1- кестеге сәйкес жүргізіледі.

Кесте 1 «Каспос» препаратының ерітіндісін дайындау кестесі

Ұсынылатын % каустикалық сода ерітіндісі	«Каспос» препараты ерітіндісі, %	Литрмен алу керек	
		«каспос» препараты	су
0,1	0,15	0,15	99,85
0,2	0,3	0,3	99,7
0,3	0,45	0,45	99,55
0,5	0,75	0,75	99,25
1,0	1,5	1,5	98,5
1,5	2,25	2,25	97,75
2,0	3,0	3,0	97,0
3,0	4,5	4,5	95,5
5,0	7,5	7,5	92,5
10,0	15,0	15,0	85,0

«Каспос» препаратындағы каустикалық сілтілердің құрамын, 8г-дық сынама бойынша кристалды каустикалық натри құрамындағы каустикалық натрийды анықтау әдістемесі арқылы жүргізіледі.

Мал сою алаңдарын, технологиялық қондырғылар мен жабдықтарды КСРО Ауыл шаруашылығы министрлігінің Ветеринариялық дезинфекция, дезинвазия, дезинсекция және дератизация жүргізу жөніндегі қолданыстағы нұсқаулығын басшылыққа ала отырып дезинфекциялау құралдары ретінде - құрамында 2% белсенді хлор бар хлорлы әк ерітіндісі, формальдегидтің 2% ерітіндісі, 2% ыстық (80°С) каустикалық сода ерітіндісі, 3% каустикалық натрий және 3% формальдегид бар формальдегидтің сілтілі ерітіндісімен өндейді.

Ал қарапайым жабдықтарды (пышақтар, қайшылар, кескіштер, мусаттар, және т.б.) жуып-дезинфекциялау ерітіндісінен өткеннен кейін сумен шайып, стерилизаторларда бу қысымымен өндеп майсыздандырылады. Артып тиеу орындарын және ондағы қондырғылар мен жабдықтарды дезинфекциялауға әк ерітіндісі пайдаланылады. Ал екінші әдісінде ерітінді дайындауда алдымен құрғақ хлорлы әктегі белсенді хлордың құрамы анықталады, содан кейін төмендегі кестені қолдана отырып, қажетті концентрациядағы ағартылған ерітіндінің қажетті мөлшерін дайындау үшін хлорлы әктің қажетті мөлшері есептеледі (2 - кесте) (Асенова, т. б., 2020).

Кесте 2 -Тығыздығына байланысты хлорлы әк ерітінділеріндегі белсенді хлор мөлшері

Ерітіндінің тығыздығы, 20°/4°С жағдайда	Хлорлы әк ерітіндісінің г/л құрамындағы белсенді хлордың мөлшері	Ерітіндінің тығыздығы 20°/4°С жағдайда	г/л хлорлы әк ерітіндісіндегі белсенді хлордың мөлшері
1,0025	1,40	1,0350	20,44
1,0650	2,71	1,0400	23,75
1,0100	5,58	1,0450	26,62
1,0150	8,48	1,0500	29,60
1,0200	11,41	1,0550	32,68
1,0250	14,47	1,0600	35,81
1,0300	17,36	1,0650	39,10

Ағартылған ерітіндіні дайындау үшін мөлшермен өлшенген ағартқыш тиісті контейнерге енгізіледі, су құйылып, араластырылады да, тұндырылғаннан кейін бір күн ішінде тұнбадан алынған жоғарғы мөлдір қабат төгіліп, дезинфекциялау үшін қалған ерітінді қолданылады. Концентрацияланған ерітіндіден арнайы қондырғыларды өндеуге арналған жұмыс ерітіндісін дайындау үшін мына формула қолданылады:

$$A_{мл} = \frac{B \cdot B \cdot 1000}{K}, \quad (9)$$

мұндағы $A_{мл}$ - хлорлы әктегі концентрацияланған ерітінді мөлшері, мл;

B - дайындалуы керек ыдыстағы жұмыс ерітіндісінің мөлшері;

B - 1 литр жұмыс ерітіндісіндегі белсенді хлордың мөлшері, мг;

К - концентрацияланған ерітіндінің мг/л құрамындағы белсенді хлордың мөлшері.

Титрлеу арқылы хлорлы әк ерітіндісіндегі белсенді хлордың құрамын анықтауда 50 мл 2% калий йодидіне 50 мл тазартылған су және қышқылдандыру үшін 5 мл күкірт қышқылы ерітіндісі (1:5) құйылады. Шайқағаннан кейін 1 мл хлорлы әк ерітіндісін қосып, алынған қоспаны 0,1 н гипосульфит ерітіндісімен титрлейді. Титрлеудің соңында 1 мл 1% крахмал ерітіндісі (индикатор) қосылады және титрлеу сұйықтықтың толық түссізденуіне дейін жалғасады. Ерітіндідегі белсенді хлордың пайызын мына формуламен анықталады:

$$X = 0,3546 \cdot a, \quad (10)$$

мұндағы 0,3546 - қайта есептеу коэффициенті;

a - титрлеуге кеткен гипосульфит ерітіндісінің 0,1 н мөлшері.

Ет өндіру орнындағы қондырғылар орналасқан алаңды химиялық ерітіндімен дезинфекциялау үшін құрғақ хлорлы әктегі белсенді хлордың құрамын анықтау қажет. Мұнда 200-250 мл колбаға 0,5 г хлорлы әк салынып, шайқағаннан кейін цилиндрге жеке 100 мл тазартылған су құйылады. Одан 35 тамшы ерітінді алынып колбаға құйылады да шайқап араластырғаннан кейін ерітіндіні цилиндрдегі суға құйылады. Осыдан кейін колбаға 2 г калий йодиді, 15 тамшы тұз ерітіндісі немесе 25 тамшы сірке қышқылы қосылады. Бұл жағдайда сұйықтық қара қоңыр түске боялауы тиіс. Ары қарай 2 г гипосульфитті өлшеп алып аздап колбадағы ерітінді толығымен түссізденгенше колбаға салып отырады. Содан кейін колбаға қосымша 2-3 тамшы тұз немесе сірке қышқылы қосылады. Бояу пайда болған кезде титрлеу сұйықтықтың толық түссізденуіне дейін жалғасады. Осыдан кейін қалған гипосульфит өлшенеді және оның қанша мөлшерде жұмсалғанын анықтайды.

Белсенді хлордың пайызын келесі формула бойынша анықталынады:

$$X = \frac{0,142 \cdot B \cdot 100}{500}, \quad (11)$$

мұндағы x - белсенді хлордың анықталатын пайызы;

0,142 - гипосульфиттің бір салмақ бірлігіне баламалы хлор мөлшері;

B - гипосульфиттің миллиграмм өлшемдері бойынша жұмсалған саны;

500 мг - зерттелетін хлор әгінің сынамасы.

3-кестеден белсенді хлордың пайыздық мөлшерін анықтауға болады.

Кесте 3 - Белсенді хлордың пайыздық мөлшерін есептеу жолдары

Жұмсалған кристалды натрий гипосульфитінің мөлшері, мг	Хлорлы әктегі белсенді хлордың мөлшері, %	Жұмсалған кристалды натрий гипосульфитінің мөлшері, мг	Хлорлы әктегі белсенді хлордың мөлшері, %	Жұмсалған кристалды натрий гипосульфитінің мөлшері, мг	Хлорлы әктегі белсенді хлордың мөлшері, %
1	0,0284	10	0,284	100	2,84
2	0,0568	20	0,568	200	5,68
3	0,0852	30	0,852	300	8,52

4	0,1136	40	1,136	400	11,36
5	0,1420	50	1,420	500	14,20
6	0,1700	60	1,700	600	17,00
7	0,1990	70	1,990	700	19,90
8	0,2270	80	2,270	800	22,70
9	0,2550	90	2,550	1000	28,40

Кесте бойынша анықтауда 0,5 г хлорлы әкті титрлеу үшін 123 мг натрий гипосульфиті жұмсалады. Зерттелетін хлорлы әктегі белсенді хлордың пайызын есептеу үшін 100, 20 және 3 сандарын тақ бағандардан алуға болады. Жұп бағандардағы тиісті сандардың қосындысы зерттелетін хлорлы әк сынамасындағы белсенді хлор құрамының пайызын көрсетеді. Олай болса 100 саны 2,84 жұп бағанында, 20 саны - 0,568 және 3 саны - 0,0852-ге сәйкес келеді. Олардың қосындысы $2,84+0,568+0,0852=3,4932\approx 3,49$. Зерттелетін хлорлы әктің құрамында 3,49% белсенді хлор бар. Осы есептеулер негізінде химиялық препараттармен дезинфекциялауға қажет ерітінді мөлшерін дайындау жалпы жұмыс орнының ауданы бойынша есептеліп алынады (Серегин, и др., 2018). Жұмыс орнының жалпы ұзындығына ұшалар арасының ара қашықтығы және жұмыс операциясының орындалуы енеді. Келесі 4 - кестеде жұмыс орындарының жалпы ұзындығы берілген.

Кесте 4. Жұмыс орындарының жалпы ұзындығы

№, Р.н.	Жұмыс орны аты	Ірі қара малдар үшін жұмыс орындарының ұзындығы, м	
		1 жұмыс орны	1 бас малға арналған
1	2	3	4
1.	Есеңгіретілген малды асқыш конвейерге ілу орны	4,0...5,0	–
2.	Қасапшының жұмыс орны	1,6	–
3.	Қан ағызу жолының орны	–	1,0
4.	Басынан ажырату учаскесі	1,6	–
5.	Басты ветеринарлық тексеру учаскесі	1,6...2,0	–
6.	Терісін қолмен іреу учаскесі	1,6	–
7.	Ұшаны келесі конвейерге ілу алдындағы дайындық учаскесі	–	1,0
8.	Ұшаны келесі конвейерге ілу учаскесі	2,0	–
9.	Ұшаны іш құрылысынан ажырату алдындағы дайындық	–	1,0
10.	Кеуде сүйектерін аралау учаскесі	1,0	–
	Ұшаны іш құрылысынан ажырату, тексеру	1,6	–
11.	Ұшаны арамен бөлу учаскесі	1,0	–
12.	Ұшаны ветеринарлық-санитарлық тексеру учаскесі	2,5...3,0	–
13.	Ұшаның төменгі және жоғарғы жақтарын тазалау учаскесі	1,6	–
14.	Ұшаны таңбалау учаскесі	1,6	–
15.	Ұшаны таразылау учаскесі	–	1,0
16.	Ұшаны мұздатқышқа жіберу алдындағы ілгішке ілу учаскесі	1,5	–

Жұмыс орнының жалпы ұзындығына ұшалар арасынының ара қашықтығы және жұмыс операциясының орындалуы енеді. Мұндағы негізгі, қосымша және қосалқы орын-жайлардың ауданы, м²:

$$F = A \cdot d, \quad (12)$$

мұндағы A - цех қуаты, бас/смена;

d – цех ауданының үлестік нормасы, м²/т.

Мал сою алдындағы алаң, м²

$$F = \frac{A \cdot k \cdot \tau}{T}, \quad (13)$$

мұндағы A - цехтың ауысымдық қуаты, бас;

k - бір басқа арналған алаң нормасы, м² (ІҚМ үшін - 2,5 м²);

τ - малдың қорада болу ұзақтығы, сағ;

T - смена ұзақтығы, сағ.

Мал сою және ұшаны өңдеу алаңы, м²

$$F = A \cdot b, \quad (14)$$

мұндағы A - цех қуаты, бас/смена;

b - ауданның үлестік нормасы, м²/т. (ІҚМ үшін – 1,15 м²/бас).

Ал малдан алынған өнімдерді сақтау қоймаларының ауданы, жалпы жұмыс алаңының 20%-ын алады. Бастапқы өңдеу цехындағы негізгі есеп конвейерлік, конвейерлік емес немесе жартылай конвейерлік болуы мүмкін аспалы жолдардың ұзындығын есептеу, м

$$L = \frac{A \cdot l \cdot \tau}{T \cdot 60}, \quad (15)$$

мұндағы A - мал саны бойынша сменадық өнімділік;

l - конвейерге ілінген ұшалар арасындағы қашықтық;

t - минутпен есептегендегі процестің (операцияның) ұзақтығы;

T - сағатпен есептегендегі ауысым ұзақтығы. ІҚМ үшін ілінген ұшалар арасындағы қашықтық 1,8 м. Таразыға беруге арналған конвейерлік жолдың ұзындығы, таразыда өлшеу, ары қарай сырғыту тасымалдау ұзындықтарын анықтау:

$$L = l \cdot n + 3,3, \quad (16)$$

мұндағы l - ІҚМ ұшалары арасындағы қашықтық, м;

n - жұмыскерлер саны.

Малды бастапқы өңдеуге арналған конвейерсіз жолдың ұзындығы мына формула бойынша анықталады:

$$L = \sum l \cdot n, \quad (17)$$

мұндағы l - әрбір жұмыс орнының ұзындығы,

n - жұмыс орнының саны мен конвейердің жалпы ұзындығы (Асенова, т.б., 2022).

Ет өндіру және сақтау кәсіпорнына байланысты алаң көлемі барлық сойылатын малдан шығатын өнімдер мөлшері бойынша алынады (Федоренко, и др., 2016).

Ет өндіру орындарында жұмыскерлер санитарлық өңдеу кезіндегі қауіпсіздік техникасы мен жеке гигиенасын қадағалап отыруы тис. Дезинфекциялау құралдарының жұмыс ерітінділерін дайындауда, кейбір химиялық препараттармен бүрку арқылы өңдеу жұмысын атқарғанда санитариялық өңдеуді жүргізетін Персонал В маркалы патрондары және қорғаныш көзілдірігі бар РУ-60М,

немесе РПГ-67 маркалы респираторларды пайдалануы тиіс. Әр смена сайын арнайы киімдері мен жұмыс халаттарын таза киімдермен ауыстырып отыруы тиіс. Алжапқыштары мен қолдарына киген қолғап жеңдері жұмыстан кейін ыстық сумен және сабынмен жуылады да, «Б» хлораминінің әлсіз ерітіндісімен шайылады.

Өндірістік цехтардың жұмыскерлері жұмыс басталар алдында, цехтан әрбір шығып-кіргеннен кейін қолдарын жуып, дезинфекциялауы тиіс. Цехта қолдары ластайтын заттармен жанасқан жағдайда, олар әр уақытта қосымша жуылады. Өндірістік цехтардың технологиялық қондырғылары мен жабдықтарын, қабырғалары мен едендерін жуу және профилактикалық дезинфекциялау бекітілген кестеге сәйкес Кәсіпорынның санитарлық қызметі мен МЖӘ бақылауымен жүйелі түрде жүзеге асырылады. Жууды және профилактикалық дезинфекцияны уақтылы және сапалы ұйымдастыруға өндіріс басшысы жауапты. Өндіріске бекітілген ветеринариялық немесе санитариялық қызметкер дезинфекцияның дұрыс орындалуын әрқашанда бақылап отыруы тиіс.

Ет өндіру орындарында санитарлық өңдеуден кейін химиялық бақылау үшін аптасына бір рет таза қолбаларға немесе сүртілген немесе резеңке тығындары бар бөтелкелерге 500мл жуу және дезинфекциялау ерітінділері іріктеліп алынады да, олардағы тиісті әдістемелер бойынша жұмыс істейтін химиялық заттардың құрамын анықтау үшін химиялық зертханаға жіберіледі. Қондырғылар мен жабдықтарды майсыздандыратын сілтілі ерітіндіден жуу сапасын бақылау жуғаннан кейін тікелей цехта тексеру жүргізіледі (Инструкция, 1976).

Жұмысымыздың негізгі мақсаты - ет өндірісінде технология мен қондырғылар жұмысын жақсарту және мал сою ұстанымын қадағалау арқылы халықты сапалы ет өнімдері түрлерімен қамтамасыз ету. Сапалы ет және ет өнімдерін алу мақсатында мал сою, ұшасы және қосымша өнімдерін өңдеу процестерін жетілдіру принциптерін жинақтау арқылы: сойыс малдарын тасымалдау, өңдеу технологиясы, мал сою өндірісінің орналасуы және қондырғыларды орналастыру, алынатын өнімдер шамасын анықтау және барлық өндірістік процесте санитарлық ұстанымдарды қадағалау арқылы халықты сапалы ет және ет өнімдерімен қамтамасыз ету.

Қорытынды

Әлемдік нарықтардағы жаңа сын-қатерлер ауыл шаруашылығына жаңа технологияларды енгізуді жеделдету қажеттілігіне алып келеді. Ауыл шаруашылығы тауарын өндірушілер үшін озық білім мен агротехнологияларды таратудың, санитариялық жағынан жақсы жолға қоюдың тетіктері жоқ. Дәлірек айтсақ, проблемалардың бірі аграрлық бизнесті жетілдірудің кешенді технологиялық шешімдерінің жоқтығынан дүкендерде сатылатын ет өнімдерінің кейбірінің сапасының төмендігі болды. Сондықтан елді мекендердегі мал сою әдістерінің өзіндік ерекшеліктерін зерделеуде - тыныққан малдың түріне және үлкен-кішілігіне қарай сойылу әдістері әрқалай болып, әртүрлі технологиялық әдістер арқылы өңделінеді. Оның ішінде есеңгірету әдісі арқылы ірі қара малды сою тиімді. Мал сойылатын орындарда міндетті түрде аспа жолдар немесе аспа орындары орнатылуы тиіс. Өйткені малдың қанын алу, терісін сыпыру, іш құрылысын алу, құрғақтай және ылғалды тазалау, арамен бөлу кезінде мамандардың жұмыс жасауына ыңғайлы, жеңіл және тазалық сақталынады.

Қабылданған малдарды союға дайындау, сою және ұшаны алғашқы өңдеуден өткізу кезіндегі барлық орындалатын жұмыстардың технологиялық әдіс бойынша атқарылуын қадағалау және осы технологиялық операцияларды орындайтын қондырғылар, машиналар, аппараттар мен жабдықтардың жұмысының дұрыс атқарылуы, санитарлық тазалық, ол малдан алынатын ет пен ет өнімдері сапасының жақсаруына септігін тигізеді.

Осы мақала негізіндегі айтпағымыз ет және еттен алынатын өнімдер сапасының стандартқа сай келуі - сойыс малдарын тынықтыру әдістеріне, сою технологиясына, ондағы технологиялық қондырғылардың жұмысына және ветеринарлық-санитарлық талаптардың орындалуына байланысты.

Әдебиеттер

Абдуллахи, А., Хассан, А., Кадарман, Н., Салех, А., Луа, П. (2016). «Food safety knowledge, attitude, and practice toward compliance with abattoir laws among the abattoir workers in Malaysia» *International journal of general medicine*, vol. 9, p. 79.

Abdykerova, G., Aikupesheva, D., Jempeissova, G., Baytikenova, A. (2019). Trends in the development of innovative activity in the agro-industrial complex of Kazakhstan. /REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ISSN 2224-5227 Volume 2, Number 324, 63-68 <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1483.38>

Ansari-Lari, M., Soodbakhsh, S., Lakzadeh, L. (2010). «Knowledge, attitudes and practices of workers on food hygienic practices in meat processing plants in Fars, Iran» *Food Control*, vol. 21, no. 3, pp. 260-263.

Асенова, Б., Ребезов, М., Нургазезова, А., Бакирова, Л., Нурымхан, Г., Бауыржанова, А., Игенбаев, А. (2022). Ет және ет өнімдері өндірісіндегі теххимиялық бақылау және сапаны басқару: Оқу құралы. - Алматы: TechSraith, -144 б.

Асенова, Б., Ребезов, М., Амирханов, К., Нургазезова, А., Бакирова, Л. (2020). Ет өнімдерін өндірудің физика-химиялық және биохимиялық негіздері. Оқу құралы. - Алматы: Эверо, -160 б.

Байзакова Ж. (2018). Мал шаруашылығы өнімдерін өңдеу және қайта өңдеу технологиялары мен машиналары. - Алматы: «Айтұмар» баспасы, - 423 бет. ISBN 978-601-241-730-2 <http://rmebrk.kz/book>

Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists (2006). All rights reserved Blackwell Publishing Professional 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA. ISBN-13: 978-0-8138-0882-6; ISBN-10: 0-8138-0882-0/2006. 11-37.

Christopher, H. (2019). *Food Irradiation Research and Technology*. Sommars Xuotong Fan. Web site: www.blackwellprofessional.com Blackwell Publishing Ltd 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK.

Инструкция по мойке и профилактической дезинфекции на предприятиях мясной и птицеперерабатывающей промышленности. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293806/4293806258.htm>

Kassymova, M., Alibekov, R., Kobzhasarova, Z., Orymbetova, G., Urazbayeva, K. (2023). Halal beef sausage products using malt. / NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY ISSN 2224–5286 Volume 2, Number 455, 124–142 <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.169>

Khusain, B., Brodskiy, A., Sass, A., Yaskevich, V., Rahmetova, K. (2021). Study of poisoning and regeneration of catalytic converters of toxic components of exhaust gases from industrial enterprises and vehicles. REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ISSN 2224-5227 Volume 4, Number 338, 143–149 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.71>

Matchawe, C., Ndip, L., Zuliani, A. (2019). «Knowledge, attitude and practices (KAP) regarding meat safety and sanitation among carcass handlers operating at the Yaoundé slaughterhouse» *Cameroon*, vol. 3, no. 9, p. 6.

Мид, Джефф. (2017). Микробиологический анализ мяса, мяса птицы и яйцепродуктов / Дж.К. Мид (ред). - Пер. с англ. - СПб: Профессия, - 384 с., табл. ISBN 978-5-91913-165-0 ISBN 978-1-4200-4397-6 (CRC Press) ISBN 978-1-84569-059-5 (Woodhead Publishing).

Микробиология мяса и мясopодуктов. (2019). Учебник для СПО / Сидоров, М., Корнелаева, Р. - СПб.: ООО «Квадро». - 240 с.: ил.

Мустафаева, А. (2021). Ет және сүт өнімдерінің технологиялық машиналарын монтаждау және жөндеу: оқу құралы / Мустафаева А.К. - Алматы: Эпиграф, -144 бет.

Nyamakwere, F., Muchenje, V., Mushonga, B., Kandiwa, E., Makepe, M., Mutero G. (2017). «Evaluation of meat safety knowledge, attitudes and practices among slaughterhouse workers of Amathole District in eastern Cape Province, South Africa» *Journal of Food Safety and Hygiene*, vol. 3, no. 1/2, pp. 7-15.

Ramazanovа, Sh., Kuchukova, N., Legostaeva, L., Foot, Yu. (2019). State financial support of agroindustrial complex in the Republic of Kazakhstan. *REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ISSN 2224-5227 Volume 2, Number 324, 149–154* <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1483.52>

Серегин, И., Никитченко, Д., Никитченко, В. (2018). Ветеринарно-санитарные требования при убое животных на мясо в разных странах мира // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. Т. 13. № 1. С. 61-69.

Uazhanova, R., Serikkyzy, M. (2021). Scientific bases for the identification and quality control of poultry meat. - *Almaty*, - p. 216.

Федоренко, В., Мишуров, Н., Коноваленко, Л., Неменущая, Л. (2016). Технологические процессы и оборудование, применяемые при убое животных на мясокомбинатах, мясокладобойнях и переработке побочного сырья: науч. аналит. обзор. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», - 166 с.

References

Abdullahi, A., Hassan, A., Kadarman, N., Saleh, A., Lua, P. (2016). “Food safety knowledge, attitude, and practice towards compliance with abattoir laws among the abattoir workers in Malaysia.” *International journal of general medicine*, vol. 9, p. 79.

Abdykerova, G., Aikupesheva, D., Jempeissova, G., Baytikenova, A. (2019). Trends in the development of innovative activity in the agro-industrial complex of Kazakhstan. *REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ISSN 2224-5227 Volume 2, Number 324, 63-68*. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1483.38>

Ansari-Lari, M., Soodbakhsh, S., Lakzadeh, L. (2010). “Knowledge, attitudes and practices of workers on food hygienic practices in meat processing plants in Fars, Iran.” *Food Control*, vol. 21, no. 3, pp. 260-263.

Asenova, B., Rebezov, M., Amirhanov, K., Nurgazezova, A., Bakirova, L. (2020). *Et onimderin ondirudin fizika-himiyalyk zhane biokhimiyalyk negizderi*. Oku kuraly. Almaty: Evero, -160 b.

Asenova, B., Rebezov, M., Nurgazezova, A., Bakirova, L., Nurymkhan, G., Bauyrzhanova, A., Igenbaev, A. (2022). *Et zhene et onimderi ondirisindegi technohimiyalyk bakylau zhene sapany baskaru: Oku kuraly*. Almaty: TechSraith, -144 b.

Baizakova J. (2018). *Mal sharuashylygy onimderin ondeu zhane kaita ondeu technologiylary men mashinalary*. Almaty: “Aitumar” baspasy, - 423 бет. ISBN 978-601-241-730-2 <http://rmebrk.kz/book>

Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists (2006). All rights reserved Blackwell Publishing Professional 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA. ISBN-13: 978-0-8138-0882-6; ISBN-10: 0-8138-0882-0/2006. 11-37.

Christopher, H. (2019). *Food Irradiation Research and Technology* Sommers Xueting Fan. Web site: www.blackwellprofessional.com Blackwell Publishing Ltd 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK.

Fedorenko, V., Mishurov, N., Konovalenko, L., Nemenuschaya, L. (2016). Technological processes and equipment used in the slaughter of animals in meat processing plants, meat slaughterhouses and processing of by-products: scientific. the analyte. review. M.: FSBI “Rosinformaгротех”, 166 p.

Instructions for washing and preventive disinfection at meat and poultry processing enterprises. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293806/4293806258.htm>

Kassymova, M., Alibekov, R., Kobzhasarova, Z., Orymbetova, G., Urazbayeva, K. (2023). Halal beef sausage products using malt. *NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY ISSN 2224–5286 Volume 2, Number 455, 124–142*. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.169>

Khusain, B., Brodskiy, A., Sass, A., Yaskevich, V., Rahmetova, K. (2021). Study of poisoning and regeneration of catalytic converters of toxic components of exhaust gases from industrial enterprises and vehicles. REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ISSN 2224-5227 Volume 4, Number 338, 143-149. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.71>

Matchawe, C., Ndip, L., Zuliani, A. (2019). “Knowledge, attitude and practices (KAP) regarding meat safety and sanitation among carcass handlers operating at the Yaoundé slaughterhouse.” Cameroon, vol. 3, No. 9, p. 6.

Mead, Jeff. (2017). Microbiological analysis of meat, poultry meat and egg products / J.K. Mead (ed.). Persian. From English - St. Petersburg: Profession. - 384c., table ISBN 978-5-91913-165-0 ISBN 978-1-4200-4397-6 (CRC Press) ISBN 978-1-84569-059-5 (Woodhead Publishing).

Microbiology of meat and meat products. (2019). Textbook for SPO/ Sidorov, M., Kornelaeva R. St. Petersburg: OOO “Quadro”. - 240 p.: ill. (Textbooks and manuals for students of secondary specialized educational institutions).

Mustafayeva, A. (2021). Et zhane sut onimderin tehnologiyalyk mashinalaryn montazhdau zhane zhondeu: oku kuraly / Mustafayeva A.K. - Almaty: Epigraph, -144 bet.

Nyamakwere, F., Muchenje, V., Mushonga, B., Kandiwa, E., Makepe, M., Mutero G. (2017). “Evaluation of meat safety knowledge, attitudes and practices among slaughterhouse workers of Amathole District in eastern Cape Province, South Africa.” Journal of Food Safety and Hygiene, vol. 3, no. 1/2, pp. 7-15.

Ramazanova, Sh., Kuchukova, N., Legostaeva, L., Foot, Yu. (2019). State financial support of agroindustrial complex in the republic of Kazakhstan. REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN ISSN 2224-5227 Volume 2, Number 324, 149–154. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1483.52>

Seregin, I., Nikitchenko, D., Nikitchenko, V. (2018). Veterinary and sanitary requirements for the slaughter of animals for meat in different countries of the world. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry. Vol. 13. No. 1. pp. 61-69.

Uazhanova, R., Serikkyzy, M. (2021). Scientific bases for the identification and quality control of poultry meat. Almaty, p. 216.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 34–42

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.248>

ISSN 2224-5286

IRSTI 31.25.15

**G.Zh. Baisalova^{1*}, A.B. Zhunisova¹, A.B. Shukirbekova²,
B.B. Torsykbaeva², B.S. Imangaliyeva³, 2024.**

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

²Astana Medical University, Astana, Kazakhstan;

³Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan.

*Email: galya_72@mail.ru

OPTIMIZATION OF THE EXTRACTION PROCESS OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPLEXES FROM *PSORALEA DRUPACEA* BGE ROOTS

Baisalova Galiya – Professor of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>;

Zhunisova Aktoty – Student of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, aqtotyzhunis@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6349-2783>;

Shukirbekova Alma – Professor of Astana Medical University, Astana, Kazakhstan, shukirbekova.a@amu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3316-558>;

Torsykbaeva Bigamila – Associate Professor of Astana Medical University, Astana, Kazakhstan, maha-1505@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6999-3900>;

Imangaliyeva Bazarkhan – K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Aktobe, Kazakhstan, nur_70@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>.

Abstract. The article is devoted to the development of technology for obtaining a dry extract from the root of *Psoralea drupacea* Bge. with the aim of using it to create effective drugs for the prevention and treatment of avian influenza. The influence of various factors on the extraction process was studied: the nature of the extractant, the degree of grinding of the raw materials, the duration of extraction, the extraction method (maceration, percolation, extraction with a boiling solvent in a Soxhlet apparatus) on the total yield of extractives and the amount of furocoumarins.

The optimal values of technological parameters for obtaining a dry extract from the root of *Psoralea drupacea* Bge. have been established. The most effective extractant is ethanol, and the optimal degree of grinding of raw materials is 1,25 mm. The maximum yield of extractive substances (5,80%) and the maximum content of the total furocoumarins (72,34%) were detected in extracts obtained in a Soxhlet apparatus for three days. However, maceration with stirring and heating can give good results, and the advantage of the process is its simplicity and the possibility of increasing the load

of raw materials. The yield of the extract after 4 hours is 5,66% with a content of total furocoumarins of 57,23%.

Keywords: *Psoralea drupacea* Vge., extract, maceration, percolation, Soxhlet apparatus, extractant

**Г.Ж. Байсалова^{1*}, А.Б. Жунусова¹, А.Б. Шукирбекова²,
Б.Б. Торсыкбаева², Б.С. Имангалиева³, 2024.**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Астана медициналық университеті, Астана, Қазақстан;

³Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

Email: galya_72@mail.ru

PSORALEA DRUPACEA VGE ТАМЫРЫНАН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ КЕШЕНДЕРДІ ЭКСТРАКЦИЯЛАУ ҮДЕРІСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Байсалова Галия – Л.Н. Гумилева атындағы ЕҰУ профессоры, Астана, Қазақстан, galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>;

Жунусова Ақтоты – Л.Н. Гумилева атындағы ЕҰУ студенті, Астана, Қазақстан, aqtotyzhunis@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6349-2783>;

Шукирбекова Алма – Астана Медицина университеті профессоры, Астана, Қазақстан, shukirbekova.a@amu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3316-558>;

Торсыкбаева Бигамила – Астана Медицина университеті доценті, Астана, Қазақстан, maha-1505@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6999-3900>;

Имангалиева Базархан – К. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, педагогикалық ғылымдар кандидаты, доцент, Ақтөбе, Қазақстан, nur_70_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>.

Аннотация. Мақала құс тұмауының алдын алу және емдеу үшін тиімді препараттарды жасау мақсатында *Psoralea drupacea* Vge тамырынан құрғақ сығынды алу технологиясын дамытуға арналған. Экстракция процесінің әртүрлі факторларының: экстрагенттің табиғаты, шикізатты ұнтақтау дәрежесі, экстракция ұзақтығы, экстракция әдістерінің (шөгу (мацерация), перколяция, Сокслет аспабында қайнаған еріткішпен экстракциялау) экстрактивтік заттардың жалпы шығымы мен фурукумариндер мөлшеріне әсері зерттелді. *Psoralea drupacea* Vge тамырынан құрғақ сығынды алудың технологиялық параметрлерінің оңтайлы мәндері анықталды. Ең тиімді экстрагент этанол болып табылады, ал шикізатты ұнтақтаудың оңтайлы дәрежесі 1,25 мм. Сокслет аппаратында үш күн бойы алынған сығындылардан экстрактивті заттардың максималды шығымы (5,80%) мен жалпы фурукумариндердің максималды мөлшері (72,34%) анықталды. Дегенмен, араластыру және қыздыру арқылы жүргізілген мацерация жақсы нәтиже бере алады, ал процестің артықшылығы - оның қарапайымдылығы және шикізат жүктемесін арттыру мүмкіндігі болды. 4 сағат бойы мацерациялау барысында сығындының шығымы 5,66%, ал жалпы фурукумариндер мөлшері 57,23% құрайды.

Түйін сөздер: *Psoralea drupacea* Vge., сығынды, мацерация, перколяция, Сокслет аспабы, экстрагент

**Г.Ж. Байсалова^{1*}, А.Б. Жунусова¹, А.Б. Шукирбекова²,
Б.Б. Торсыкбаева², Б.С. Имангалиева³ 2024.**

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан;

³Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Актобе, Казахстан.

E-mail: galya_72@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ КОРНЕЙ *PSORALEA DRUPACEA* VGE

Байсалова Галия – профессор ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, E-mail: galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>;

Жунусова Актоты – студентка ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, E-mail: aqtotyzhunis@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6349-2783>;

Шукирбекова Алма – профессор Медицинского университета Астана, Астана, Казахстан, E-mail: shukirbekova.a@amu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3316-558>;

Торсыкбаева Бигамила – доцент Медицинского университета Астана, Астана, Казахстан, E-mail: maaha-1505@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6999-3900>;

Имангалиева Базархан – Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, кандидат педагогических наук, доцент, Актобе, Казахстан, E-mail: nur_70_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3121-3135>.

Аннотация. Статья посвящена разработке технологии получения сухого экстракта из корня *Psoralea drupacea* Vge. с целью использования его для создания эффективных препаратов для профилактики и лечения птичьего гриппа. Изучено влияние различных факторов на процесс экстракции: природы экстрагента, степени измельчения сырья, продолжительности экстракции, способа экстракции (мацерация, перколяция, экстракция кипящим растворителем в аппарате Сокслета) на общий выход экстрактивных веществ и количества фурукумаринов. Установлены оптимальные значения технологических параметров получения сухого экстракта из корня *Psoralea drupacea* Vge. Наиболее эффективным экстрагентом является этанол, а оптимальная степень измельчения сырья составляет 1,25 мм. Максимальный выход экстрактивных веществ (5,80%) и максимальное содержание суммы фурукумаринов (72,34%) выявлен в экстрактах, полученных в аппарате Сокслета с продолжительностью три дня. Тем не менее, мацерация с перемешиванием и подогревом может дать хороший результат. Достоинством процесса является простота и возможность увеличения загрузки сырья. Выход экстракта за 4 часа составляет 5,66 % с содержанием суммы фурукумаринов 57,23 %.

Ключевые слова: *Psoralea drupacea* Vge., экстракт, мацерация, перколяция, аппарат Сокслета, экстрагент.

Introduction. One of the main priorities of scientific support for the pharmaceutical industry of the republic is the search and production of domestic herbal medicines, the

development of highly effective technologies for their production and introduction into industrial production.

One of the promising potential sources of natural biologically active substances is the plant *Psoralea drupacea* Bge. of the Fabaceae family, used in folk and official medicine. *P. drupacea* Bge. is an endemic Central Asian-Iranian species that grows in the Commonwealth of Independent States - in the republics of Central Asia and Southern Kazakhstan. It grows on dry fine-earth slopes, hills and on plains among ephemeral vegetation, where the landscape is often formed; it is also found in rainfed crops. The stems are used for fiber, which is used to make strong but rough and brittle ropes. All parts of the plant contain essential oils and sticky resins, so the plant is not eaten raw, despite its high nutritional value. In winter, after frost, it is eaten in pastures by camels and sheep.

More than 100 biologically active substances have been isolated from plants of the genus *Psoralea*, but among these compounds, bakuchiol, psoralen, and isopsoralen (angelicin) are of greatest interest. Since they have pronounced antioxidant, antitumor, antibacterial and antiviral properties (Alam, et al, 2018; Prabha, et al, 2013; Jin, et al, 2020; Egamberdieva, et al, 2013).

The use of *P. drupacea* Bge. in medical practice is based on the properties of furocoumarins (psoralen and angelicin) in plant roots, which make the skin more sensitive to ultraviolet rays and promote the formation of the pigment melanin. This property is used to treat vitiligo, alopecia and common hair loss, and psoriasis.

Psoralen and isopsoralen have a pronounced hepatoprotective effect (Zhou, et al, 2019). Also, the above-mentioned furocoumarins show activity in the treatment of AIDS (Nabi, et al, 2017). It has been revealed that the structure of psoralen can be used as the basis for drugs that can be used to treat patients suffering from Alzheimer's disease (Koul, et al, 2019).

Bakuchiol possess a higher estrogenic activity and estrogen receptor binding affinity than genistein (Koul, et al, 2019).

Based on bakuchiol, its modified analogues have been synthesized in order to increase activity, search for and create compounds with new biological activity. The work (Mi-Ran, et al, 2012) assessed the inhibitory effect of bakuchiol and analogues on the proliferation of cultured human cancer cell lines: A549 (non-small cell lung cancer), SK-OV-3 (ovarian cystadenocarcinoma) and SK-MEL-2 (melanoma).

Psoralea drupacea Bge. is a promising object for research, since we previously assessed the antiviral activity dry extract of the roots of this plant against strains of avian influenza compared to already known commercial drugs such as tamiflu and rimantadine. It was revealed that the *P. drupacea* Bge. extract has the predominant antiviral activity (Baisalova, et al, 2020).

In this regard, the studies to optimize the extraction process for the isolation of biologically active substances (BAS) from the roots of *P. drupacea* Bge. have been conducted.

Materials and methods. As an object of study, the root of the *P. drupacea* Bge. plant was collected at Shagyr station, South Kazakhstan region, Arys district, in the autumn season of 2023.

The method of maceration (Olivia, et al, 2021), percolation (Rath, et al, 2006;

Azwanida, et al, 2015) and extraction by Soxhlet apparatus have been carried out according to the methods specified in the literature (Vongsak, et al, 2013).

For obtaining a dry extract from the resulting liquid extract, it is necessary to evaporate the organic solvent into a liquid vacuum evaporator, which is implemented according to the method (Hossain, et al, 2013).

Monitoring of the quantitative content of furocoumarins in the dry extract was carried out using gas chromatography-mass spectrometry (Agilent 7890A/5975C).

Results and discussion. Extraction (from the Latin word *extragere*, which means “extract, pull out”) is a method of extracting a substance from a solution or dry mixture using a selective solvent (extractant). The most widely used method in the production of herbal medicines is extraction in the “solid-liquid” system, where the solid is the medicinal plant material and the liquid is the extractant (solvent).

In the process of extraction from raw materials with a cellular structure, three main stages can be distinguished: impregnation of dry plant material with an extractant, dissolution of plant cell components and transfer of dissolved substances into the extractant.

The completeness and speed of extraction are influenced by various factors, such as the nature of the extractant, the degree of grinding of the raw materials, the duration of extraction, and the extraction method.

The influence of various parameters of the extraction process, namely extractant nature, raw material grinding degree, extraction duration, extraction method maceration, percolation, extraction by Soxhlet apparatus with boiling of the solvent) on the total yield of extractive substances and the amount of furocoumarins was studied.

The selected optimal parameters based on the total yield of extractive substances (ES) and the amount of furocoumarins. The mass of the raw material in the experiments was 5.0 grams, the ratio of the mass of the raw material:extractant is 1:10.

Solvents used in the extraction of plant and biological materials are called extractants. The extractant must have the ability to penetrate cell walls and selectively dissolve biologically active substances inside the cell.

To select the optimal extractant, the extractant (50 ml) was poured into 5.0 g of ground (1.25 mm) raw material in a ratio of 1:10, left to settle at room temperature for 24 hours, filtered, and the solvent was removed in a rotary evaporator. The residue was dried in an oil vacuum pump and weighed. The yield of extractive substances (ES) (biologically active complexes) was determined in relation to the original raw material. The composition of furocoumarins was determined by gas chromatography-mass spectrometry (Table 1).

Table 1 shows that the maximum yield of ES was obtained with methanol extraction. At the same time, the selectivity of furocoumarin extraction with methanol is lower than with ethanol, and the amount of furocoumarins in the methanol extract may be lower due to the extraction of by-products. In addition, due to the restriction of methanol use in the extraction of medicinal substances, ethanol was used in extraction optimization experiments.

Table 1 – Effect of the extractant nature on the yield of extractive substances

Extractant	The yield of ES, %	Angelicin, %	Psoralen, %	Furocoumarin content, %
Ethyl acetate	0.70	37.55	14.77	52.32
Acetone	1.02	44.15	21.75	65.90
Ethyl alcohol	2.80	41.52	17.34	58.86
Methyl alcohols	4.00	34.83	12.47	47.30

When extracting from plant materials, biologically active substances diffuse from the internal structures of the material particle. The diffusion process, based on direct contact of the extractant with the contents of the cells, is complicated by the fact that the cells containing the active substances are separated from the extractant by a layer that does not contain valuable substances (epidermis, cork, cortex). To facilitate the diffusion process, the raw materials must be crushed. This achieves a significant increase in the contact surface between the particles of the raw material and the extractant.

To determine the effect of raw material grinding degree on the yield of ES, the plant raw material was crushed and sifted through sieves with different mesh sizes. Raw material particles of 6.00-3.15 mm, 2.80 mm, 1.25 mm and 0.80 mm in size were selected. Then, 5.0-gram portions of the raw material were filled with ethanol in a ratio of 1:10, left for 10 days at room temperature, and then the extracts were processed as described above. The yield was determined in relation to the original raw material. The amount of furocoumarins was determined by GC-MS sample analysis (Table 2).

Table 2 shows that the yield of furocoumarins increases with increasing degree of raw material grinding. Reducing the amount of raw material particles leads to an increase in the surface washed by the extractant and, as a consequence, to increase the yield of extractable substances. It should be noted that with particle sizes of 1.25 mm and 0.80 mm, the yields are quite close, and too high degree of grinding (particle size – 0.80 mm) is technologically unacceptable, that is, difficulties with filtration or formation of emulsions may arise. Therefore, raw materials with a grinding degree of 1.25 mm is optimal, and the raw materials with a particle size of 1.25 mm were used in subsequent experiments.

Table 2 – Dependence of the ES yield on the particle size

ES	The particle size			
	6.00 - 3.15 mm	2.80 mm	1.25 mm	0.80 mm
The yield of ES, %	5.72	5.74	5.95	6.10
Angelicin, %	25.95	31.52	33.86	33.86
Psoralen, %	13.25	12.72	16.07	17.94
Furocoumarin content, %	39.20	44.24	49.93	51.80

From the equation describing the extraction process it follows that the amount of substance diffused through a certain layer is directly proportional to the extraction time. That is, as the extraction time increases, the amount of extracted substances will increase.

Further, the dependence on the extraction duration was determined. For this, ethanol was poured into the raw material of 1.25 mm in size in a ratio of 1:10. During a period of 4 hours, 24 hours, 5 and 10 days, the extracts were settled and filtered. It was processed as described above, and the yield was determined in relation to the raw material. The results are presented in Table 3.

Long maceration increases the yield of the total extract, but the content of furocoumarins in the extract after 10 days of infusion decreases, apparently due to the complete extraction of other substances contained in the plant material. Taking into account the yield of the total extract and the content of furocoumarins in it, maceration for 5 days is preferable.

Table 3 – Dependence of the yield of ES on the extraction duration

ES	4 hours	24 hours	5 days	10 days
The yield of ES, %	2.22	2.80	5.34	5.95
Angelicin, %	31.01	41.52	41.46	33.86
Psoralen, %	11.75	17.34	14.90	16.07
Furocoumarin content, %	42.76	58.86	56.36	49.93

Maceration is the simplest method of extraction, but not the most effective. Extraction efficiency can be increased by mixing. Increasing the temperature of the extractant also helps. For this purpose, ethanol was poured into 1.25 mm samples of raw materials, keeping a ratio of 1:10. They were stirred at room temperature and at 50°C for 4 hours. The resulting extracts were processed as described above. The results are presented in Table 4.

Table 4 – Dependence of the ES yield on the maceration process activation

Extractable substances	Maceration conditions		
	20°C, infusion	20°C, stirring	50°C, stirring
The yield of ES, %	2.22	4.12	5.66
Angelicin, %	31.01	35.77	37.82
Psoralen, %	11.75	19.25	19.41
Furocoumarin content, %	42.76	55.02	57.23

Stirring and heating help activate the maceration process. Stirring allows approximately double the yield of extract in one go, and slight heating allows tripling the yield of ES (same as 5-day extraction at room temperature).

To determine the optimal extraction method, the extraction process was conducted by percolation method and ethanol extraction in a Soxhlet apparatus.

Percolation was conducted as follows: plant material (20 g) was loaded into a column with a tap at the bottom, 200 ml of ethanol was poured in and the material was left for 6 hours to moisten and swell. The extract was decanted, a fresh portion of the extractant

was added, and after 1 hour the extract was poured out. Percolation was carried out in 4-stroke and 9-stroke modes. The combined extracts were processed as described above. The extract was analyzed by GC-MS.

Extraction was conducted by Soxhlet apparatus in the following order: raw material loading – 200,0 g, extractant volume – 2,0 l. Extraction duration was 3 days and 5 days. The extract was processed as indicated above and analyzed by GC-MS (Table 5).

Table 5 - Yield of ES obtained by percolation and Soxhlet apparatus

ES	Percolation 4 cycles	Percolation 9 cycles	Soxhlet apparatus, 3 days	Soxhlet apparatus, 5 days
The yield of ES, %	2.85	3.60	5,80	7.60
Angelicin, %	34.88	53.47	56.12	51.73
Psoralen, %	14.46	14.63	16.22	13.26
Furocoumarin content, %	49.34	68.10	72.34	64.99

The extraction method using a Soxhlet apparatus turned out to be the most effective compared to the maceration and percolation method, where the amount of extracted compounds is determined by the equilibrium concentration.

As we see, existing traditional extraction methods do not allow the process of extraction of biologically active substances to be carried out effectively and efficiently. This necessitates the search for new modern extraction methods. One such method is ultrasonic extraction. When using ultrasound, there is an acceleration of the production process, as well as an increase in the main product.

Speeding up and increasing the completeness of the extraction of biologically active substances can be achieved by another modern extraction method - microwave extraction.

This type of extraction makes it possible to obtain extractive substances with high yields in a short time, while the consumption of extractants is noticeably reduced. Microwave extractors allow more precise control of extraction parameters (temperature and time), resulting in more reproducible results. A noticeable acceleration of microwave extraction will preserve the quality of the extracts and also makes it possible to obtain production volume in a short time.

Further work will be devoted to microwave and ultrasonic influence on the process of extracting biologically active substances of *P. drupacea* Bge.

Conclusion.

Thus, a technology for obtaining *P. drupacea* Bge. extract was developed. An important role in obtaining the extract is played by the extraction method, the nature of the extractant, the particle size, and the duration of extraction. By varying these parameters, you can obtain the maximum possible yield of extractives and the amount of furocoumarins.

Analyzing the obtained data, we can conclude that the most effective extraction method is the extraction of *P. drupacea* Bge. roots with ethanol by Soxhlet apparatus. In this case, the yield of dry extract after 3 days was high (5.80%) and the maximum

amount of furocoumarins was also high (72.34%). However, maceration with stirring and heating can give good results, and the advantage of the process is its simplicity and the possibility of increasing raw materials loading. After 4 days, the yield of the extract became 5.66%, and the total content of furocoumarin was 57.23%.

References

- Alam, F., Khan, G., Asad, M. (2018). *Psoralea corylifolia* L: Ethnobotanical, biological, and chemical aspects: A review, *Phytotherapy Research*, 32, 597-615. DOI: 10.1002/ptr.6006 (in Eng.).
- Azwanida, N. (2015). A Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation. *Med Aromat Plants*, 4, 3. DOI: 10.4172/2167-0412.1000196 (in Eng.).
- Baisalova, G., Kokorayeva, A., Klivleyeva, N., Azhikanova, Z., Torsykbaeva, B. (2022). Anti-avian influenza virus H₅N₃ activity of ethanol extract. *Planta Med*, 88, 1567; DOI: 10.1055/s-0042-1759334; <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000921330500444> (in Eng.).
- Egamberdieva, D., Mamadalieva, N., Khodjimatomov, O., Tiezzi, A. (2013). Medicinal plants from Chatkal biosphere reserve used for folk medicine in Uzbekistan. *Med Aromat Plant Sci Biotechnol*, 7, 56-64. (in Eng.).
- Hossain, M., Al-Toubi, W., Weli, A., Al-Riyami, Q., Al-Sabahi, J. (2013). Identification and characterization of chemical compounds in different crude extracts from leaves of Omani neem. *J Naibah Univ Sci*, 7, 181-188. DOI: 10.1016/j.jtusci.2013.05.003
- Koul, B., Taak, P., Kumar, A., Sanyal, I. (2019). Genus *Psoralea*: A review of the traditional and modern uses, phytochemistry and pharmacology. *J. Ethnopharmacol.*, 232, 201-226. DOI: 10.1016/j.jep.2018.11.036 (in Eng.).
- Mi-Ran, C., Whan, C., Ji, Y., Young, S., Gyu, H., Sang-Un, C., Shi, Y. (2012). Anti-proliferative effect of synthesized bakuchiol analogues on cultured human tumor cell lines. *Bull. Korean Chem. Soc.*, 33, 2378-2380. DOI: 10.5012/bkcs.2012.33.7.2378 (in Eng.).
- Nabi, N., Shrivastava, M., Dhar, R. (2017). Endangered medicinal plant *Psoralea corylifolia*: Traditional, phytochemical, therapeutic properties and micropropagation. *UKJPB*, 5, 40-46. DOI: 10.20510/ukjpb/5/i1/147024 (in Eng.).
- Prabha, C., Maheshwari, G., Bajpai, V. (2013). Diverse role of fast growing rhizobia in growth promotin and enhancement of psoralen content in *Psoralea corylifolia* L. *Pharmacogn. Mag.*, 9, 57-65. DOI: 10.4103/0973-1296.117870 (in Eng.).
- Olivia, N., Goodness, U., Obinna, O. (2021). Phytochemical profiling and GS-MS analysis of aqueous methanol fraction of *Hibiscus asper* leaves. *Futur. J. Pharm. Sci.*, 7, 59. DOI: 10.1186/s43094-021-00208-4
- Rathi, B., Bodhankar, S., Baheti, A. (2006). Evaluation of aqueous leaves extract of *Moringa oleifera* Linn for wound healing in albino rats. *Indian J Exp Biol*, 44, 898-901. (in Eng.).
- Vongsak, B., Sithisarn, P., Mangmool, S., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., Gritsanapan W. (2013). Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method. *Ind. Crops Prod*, 44, 566-571. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.09.021 (in Eng.).
- Jin, L., Ma, X., Wang, T., Yang, Y., Zhang, N., Zeng, N., Zhang, Z. (2020). Psoralen suppresses cisplatin-mediated resistance and induce apoptosis of gastric adenocarcinoma by disruption of the miR196a-HOXB7-HER2 Axis. *Cancer Manag Res.*, 12, 2803-2827. DOI: 10.2147/CVAR.S248094 (in Eng.).
- Zhou, L., Tang, J., Yang, X., Dong, H., Xiong, X., Huang, J., Zhang, L., Qin, H., Yan, S. (2019). Five constituents in *Psoralea corylifolia* L. attenuate palmitic acid-induced hepatocyte injury via inhibiting the protein kinase C- α /nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate oxidase pathway. *Front. pharmacol.*, 10, 1589. DOI: 10.3389/fphar.2019.01589 (in Eng.).

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 43–57

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.249>

ӘОЖ (ҮДК) 669.822.3 + 535.34-1

FTAXP (MPHTI) 31.19.15

A.S. Dauletbayev^{1*}, **K.A. Kadirbekov**², **A.D. Altynbek**³, **M.Sh. Suleimenova**¹,
S.O. Abilkasova¹, **L.M. Kalimoldina**¹, 2024.

¹«Almaty Technological University» JSC, Almaty, Kazakhstan;

²«A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences» JSC, Almaty, Kazakhstan;

³«Semizbay-U» LLP of NAC «Kazatomprom», Astana, Kazakhstan.

E - mail: aklakz@mail.ru

STUDY OF CONCENTRATION AND CHARACTERISTICS OF CATION AND ANION COMPOSITION IN URANIUM PRODUCTION

A.S. Dauletbayev – Almaty Technological University, senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», E-mail: aklakz@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0007-8657-5495>;

K.A. Kadyrbekov – «A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences» JSC, Associate Professor, Head of Laboratory of Oil Chemistry and Petrochemical Synthesis, Doctor of Chemical Sciences, E-mail: kkairati@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3141-7661>;

A.D. Altynbek – «Semyzbay-U» LLP, NAC Kazatomprom, E-mail: akmurat.a@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4075-9703>;

M.Sh. Suleimenova – Almaty Technological University, Associate Professor of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», Candidate of Chemical Sciences, E-mail: s.mariyash@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-5455-6475>;

S.O. Abilkasova – Almaty Technological University, senior lecturer of the Department «Chemistry, chemical technology and ecology», Candidate of Technical Sciences, E-mail: sandy_ao@mail.ru Orcid ID 0000-0001-8322-4592;

L.M. Kalimoldina — Almaty Technological University, senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», Candidate of Technical Sciences, E-mail: kalimoldina.laila@mail.ru. Orcid ID 0000-0003-4397-9629.

Abstract. The article presents the results of the study of elemental (cationic and anionic) composition of ore during acid dissolution of underground borehole ore of the Irkol mine of the uranium mining enterprise "Semizbay-U" (Kazakhstan). The formation of cations and anions during acid dissolution of uranium ore has been experimentally shown; the main types of cations and anions accumulate in certain concentrations of sulfuric acid during acid dissolution and separation of uranium from the ore mixture. During uranium production in process solutions, the main part of elements contaminating ion exchange resins are Al, Fe, Mg and Ca, Si, Mn, V, Ni and Cu with content from 300 to 600 mg/l. The composition of some elements contained in the samples is of scientific interest. In particular, although their content in the production solution was

not high, significant amounts of chromium and copper were detected in the commercial desorbate (CD), indicating that these metals accumulated in the ion exchange resin. The process solutions used in the research work contain chlorine ions and a small amount of phosphate.

The quantitative and qualitative characteristics of ions released during the process of acid dissolution of ore are investigated. In the process of acid dissolution of underground borehole ore in uranium mining, the main part of associated elements are numerous cationic and anionic elements, affecting the technological stages of obtaining commercial uranium desorbate. Concentrations of anions and cations were investigated, also studied how the concentration of anion and cation species systematically changes in the stepwise technological stage of raw uranium production. Spectrophotometry, optical emission spectrometry, titrimetry, X-ray spectral analysis, atomic adsorption methods were used in the research work.

Keywords: uranium, anion, cation, acid dissolution, recycled solution.

© **Ә.С. Дәулетбаев^{1*}, Қ.А. Қадирбеков², А.Д. Алтынбек³, М.Ш. Сулейменова¹, С.О. Абилкасова¹, Л.М. Калимолдина¹, 2024.**

¹Алматы технологиялық университеті АҚ Алматы, Қазақстан;

²«Ә.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты АҚ» Алматы, Қазақстан;

³«Семізбай-У» ЖШС «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК, Астана, Қазақстан.

E-mail: aklakz@mail.ru

УРАН ӨНДІРУ КЕЗІНДЕГІ КАТИОНДЫҚ ЖӘНЕ АНИОНДЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ КОНЦЕНТРАЦИЯЛАРЫ МЕН СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Ә.С. Дәулетбаев – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының сениор-лекторы, E-mail: aklakz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8657-5495>;

Қ.А. Қадирбеков – «Ә.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты» АҚ, Мұнай химиясы және мұнай химиялық синтез зертханасының меңгерушісі, доцент, химия ғылымдарының докторы, E-mail: kkairati@mail.ru, E-mail: kkairati@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3141-7661>;

А.Д. Алтынбек – ЖШС «Semyzbay- U» «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК», E-mail: akmurat.a@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4075-9703>;

М.Ш. Сулейменова – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, химия ғылымдарының кандидаты, E-mail: s.mariyash@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5455-6475>;

С.О. Абилкасова – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының сениор-лекторы, техника ғылымдарының кандидаты, E-mail: sandy_ao@mail.ru, Orcid ID 0000-0001-8322-4592;

Л.М. Калимолдина – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының сениор-лекторы, техника ғылымдарының кандидаты, E-mail: kalimoldina.laila@mail.ru, Orcid ID 0000-0003-4397-9629.

Аннотация. Мақалада "Семізбай-У" (Қазақстан) уран өндіруші кәсіпорнының "Ирколь" кенішінің қышқылды жерасты ұңғымалық руданы қышқылдық еріту кезінде кеннің элементтік (катиондық және аниондық) құрамын зерттеу

нәтижелері баяндалған. Уран тектес кенді қышқылдық еріту кезінде катиондар мен аниондардың түзілуі эксперименталды түрде көрсетілген, катиондар мен аниондардың осы кендерде кездесетін түрлері уранды қышқылдық еріту және бөліп алу кезінде күкірт қышқылының белгілі бір концентрациясында жинақталатыны көрсетілген. Технологиялық ерітінділерде уранды өндіруде ион алмастырғыш шайырларды ластайтын элементтердің негізгі бөлігін Al, Fe, Mg және Ca, Si, Mn, V, Ni және Cu құрайтыны баяндалған. Сынамаларда кездесетін кейбір элементтердің құрамы ғылыми қызығушылық тудырады. Атап айтқанда, олардың өнім ерітіндісіндегі мөлшері жоғары болмағанына қарамастан, тауарлық десорбатта (ТД) хром мен мыстың айтарлықтай мөлшері табылып, бұл металдардың ион алмастырғыш шайырда жинақталғанын көрсетеді. Зерттеу жұмысында қолданылған технологиялық ерітінділерде хлор иондары және аз мөлшерде фосфаттар да кездескен.

Руданы қышқылдық еріту процесінде бөлінген иондарға сандық және сапалық анализдер жүргізілді. Уран өндіру кезінде, руданы қышқылдық еріту барысында ілеспелі элементтердің негізгі бөлігі тауарлық уран десорбатын алудың технологиялық сатыларына әсер ететіні және осы көптеген катиондық және аниондық түрдегі элементтердің болғаны баяндалған. Аниондар мен катиондардың концентрациясына да зерттеулер жүргізілді, шикізаттық уранды өндірудің сатылы технологиялық процесінде аниондар мен катиондар түрлерінің концентрациясы жүйелі түрде қалай өзгертетіні зерттелді. Жұмыста спектрофотометрия, оптикалық-эмиссиялық спектрометрия, титриметрия, рентген-спектрлік талдау, атомдық-адсорбциялық әдістер қолданылды.

Түйін сөздер: уран, анион, катион, қышқылдық еріту, айналым ерітінділер.

© А.С. Даулетбаев^{1*}, К.А. Кадирбеков², А.Д. Алтынбек³, М.Ш. Сулейменова¹, С.О. Абилкасова¹, Л.М. Калимолдина¹, 2024.

¹АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан;

²АО «Институт химических наук им А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан;

³ТОО «Семизбай-У» НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан.

ИЗУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИК КАТИОННОГО И АНИОННОГО СОСТАВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ УРАНА

А.С. Даулетбаев – Алматинский технологический университет, сениор-лектор кафедры «Химия, химическая технология и экология», E-mail: aklakz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8657-5495>;

К.А. Кадирбеков – АО «Институт химических наук им А.Б. Бектурова», доцент, заведующий лабораторией химии нефти и нефтехимического синтеза, д.х.н., E-mail: kkairati@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3141-7661>;

А.Д. Алтынбек – ТОО «Семизбай-У» НАК «Казатомпром», E-mail: akmurat.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4075-9703>;

М.Ш. Сулейменова – Алматинский технологический университет, асс.профессор кафедры «Химия, химическая технология и экология», к.х.н., E-mail: s.mariyash@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5455-6475>;

С.О. Абилкасова – Алматинский технологический университет, сениор-лектор кафедры «Химия,

химическая технология и экология», к.т.н., E-mail: sandy_ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>;

Л.М. Калимолдина – Алматинский технологический университет, сениор-лектор кафедры «Химия, химическая технология и экология», к.т.н., E-mail: kalimoldina.laila@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4397-9629>.

Аннотация. В статье изложены результаты исследования элементного (катионного и анионного) состава руды при кислотном растворении подземной скважинной руды рудника «Ирколь» уранодобывающего предприятия «Семизбай-U» (Казахстан). Экспериментально показано образование катионов и анионов при кислотном растворении руды уранового происхождения, основные виды катионов и анионов накапливаются в определенных концентрациях серной кислоты при кислотном растворении и выделении урана из смеси руд. При производстве урана в технологических растворах основную часть элементов, загрязняющих ионообменные смолы, составляют Al, Fe, Mg и Ca, Si, Mn, V, Ni и Cu с содержанием от 300 до 600 мг/л. Состав некоторых элементов, содержащихся в образцах, представляет научный интерес. В частности, несмотря на то, что их содержание в продуктивном растворе не было высоким, в товарном десорбате (ТД) было обнаружено значительное количество хрома и меди, что указывает на то, что эти металлы накапливались в ионообменной смоле. Технологические растворы, использованные в исследовательской работе, содержат ионы хлора и небольшое количество фосфатов.

Исследованы количественные и качественные характеристики ионов, выделяемых в процессе кислотного растворения руды. В процессе кислотного растворения подземной скважинной руды при добыче урана основной частью сопутствующих элементов являются многочисленные катионные и анионные элементы, влияющие на технологические стадии получения товарного десорбата урана. Исследованы концентрации анионов и катионов, также изучено как систематически изменяется концентрация видов анионов и катионов на ступенчатой технологической стадии производства сырьевого урана. В исследовательской работе использованы спектрофотометрия, оптико-эмиссионная спектрометрия, титриметрия, рентген-спектральный анализ, атомно-адсорбционные методы.

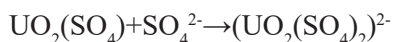
Ключевые слова: уран, анион, катион, кислотное растворение, оборотный раствор.

Кіріспе

Атом энергетикасы еліміз үшін ең негізгі стратегиялық ресурсы болып табылады. Көмірқышқыл газының шығарындыларының қоршаған ортаға зиянды әсерін азайту мақсатында, бұл бағыт экологиялық таза энергия көзі болып табылады. Атом энергетикасы үшін негізгі отын уран болып табылады, сондықтан бұл элементті тиімді өндіру ядролық энергетиканы дамыту үшін маңызды болып табылады (Pankoon, 2018; Farjana, 2018). Уран жер қыртысында кең таралған, оның құрамын бағалау маңызды (Clark, et al., 2006). Кейбір әдеби дереккөздерде уранның кендердегі концентрациясы орташа есеппен 2 кг/т құрайды.

Бүгінгі таңда әлемдік тәжірибеде уран өндірудің үш әдісі қолданылады: жерасты өндіру, ашық өндіру, жерасты ұңғымалы әдіспен руданы қышқылдық еріту. Жерасты кенін ұңғымалы әдіспен еріту рН мәніне байланысты қышқыл, бейтарап, сілтілі әдістерге бөлінеді. Қазіргі таңда көптеген елдерде өнеркәсіптік ластануға байланысты-жерасты, ашық өндіру әдістері біртіндеп жерасты ұңғымалы әдістеріне ауыстырылуда (Farjana, 2018). Уранды ұңғымалы арқылы қышқылдық еріту барған сайын өзекті болып келеді (Zauner, 2020) және уран өндірудің негізгі әдісіне айналды. Кейбір елдерде, мысалы Сирияда азот, тұз қышқылын фосфатты құрамнан уран алу үшін қолданылады (Alkheder, 2020). Жерасты ұңғымаларын қышқылдық еріту уранды ашық түрде шахталарда өндірудің маңызды баламасы болды. Жерасты кенін ұңғымалы әдіспен қышқылдық ерітудің артықшылығы – кен орындардағы жұмысшыларға жазатайым оқиғалардан сақтануы, радиациядан болатын қауіптердің төмендеуі, төмен шығындар және уран зауыттарында қалдықтардың болмауы болып табылады (IAEA, 2016).

Қазіргі уақытта уран кендері көбінесе қышқыл (күкірт қышқылының ерітіндісі) *n/e* сілтілі (натрий карбонаты-бикарбонаты) реагентпен өңделеді. Сілтілік еріту жоғары карбонатты кендерді (7-9% - дан астам карбонаттар) көптеп қолданылады, өйткені ол қышқылды сілтілеуге қарағанда селективті. Мұндай кендер қышқылдың артық мөлшерін қажет етеді. Уранды еріту химиясы әдеби дереккөздерде қысқаша баяндалған (Edwards, 2000). Уран табиғатта UO_3 *n/e* UO_2 түрінде болатын екі валенттік күйде кездеседі. Алты валентті түрінде уран күкірт қышқылының ерітіндісінде ериді, ол келесі реакциялармен анықталады (Lottering et al., 2008):



Жерасты кенін ұңғымалы әдіспен қышқылдық еріту (ЖҰЕ) принципі келесідей: қышқылдық ерітінді бастапқыда айдау ұңғымалары арқылы кенді сулы горизонтқа айдалдырады. Кенді қабаттың гидрогеохимиялық өрістерінде ағып кетуді басқару үшін сұйықтық айналымын қолдана отырып, уранның еруіне қозғалуына ықпал ететін химиялық орта қалыптасады. Уранмен байытылған фильтратты соңғы өнімді алу бірнеше өндіруші ұңғымалар арқылы жүзеге асырылады, содан кейін кен орындарына шығарылады (Wellmer, 2002).

Жерасты ұңғымаларын қышқылдық еріту әдісі Болгарияда, Чехияда, Қазақстанда, Украинада, АҚШ-та, Австралияда, Қытайда, Ресей Федерациясында және Өзбекстанда пайдаланылады (International, 2018).

Қазіргі таңда уранның әлемдік қорының 57,4 %-ы ЖҰЕ (NEA and IAEA, 2020) әдістерімен жүзеге асырылады. Алайда, жер асты ұңғыма әдісімен қышқылдық еріту кезінде пайда болатын гидрогеохимиялық процестер жеткілікті зерттелмеген. Әлемдік уран қорының шамамен 25%-ы Қазақстан Республикасының аумақтарында бар екендігі анықталды. Кен орындарындағы уранның бұл қорлары

жерасты ұңғымалы әдіспен қышқылдық ерітудің экологиялық таза әдісімен өндіріледі (Altaev, 2003).

Кейбір түзілген катиондар сирек кездесетін элементтерді қышқылдық еріту сапасына әсер ететін маңызды фактор болып табылатыны белгілі. Ерітуші заттың молярлық концентрациясы белгілі бір дәрежеде негізгі элементтің еру тиімділігіне әсер етеді.

Зерттеу барысында аммоний тұзымен ерітілген кендерде ерітіндінің рН жоғарылауымен руданың ерігіштігі төмендегені, ал керісінше аммонийдің молярлық концентрациясының жоғарылауымен руданың ерігіштігі жоғарылайтыны анықталды (Chen Z., 2018).

Металдарды қышқылдық еріту кезінде Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ Cl^- , NO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} сияқты әртүрлі концентрациядағы әртүрлі катиондар мен аниондар әсері зерттелді (Li S. C., 2019).

Осы бағытта жұмыстардың аз зерттелгендігіне байланысты, кендердегі катиондар және олардың уранды қышқылдық ерітудің технологиялық сатысына әсері туралы бірқатар зерттеулер жүргізілді.

Көптеген жұмыстар кенді қышқылдық еріту кезінде катиондар мен аниондардың түзілуінің химиялық реакцияларын, осы иондардың мақсатты элементтерді өндіру процесіне әсерін зерттеуге бағытталғандықтан (Zhenyue Zhang, 2020), бұл мақалада уран кенішінің жер асты қышқылды еріту кезіндегі катиондық (элементті) аниондық құрамын зерттеу қарастырылған. Қышқылды жерасты ұңғымалы әдіспен қышқылдық еріту кезінде уран өндіруде көзделген элементтерден басқа негізгі бөлікті алюминий, темір, магний, кальций болып табылып, олардың құрамы 300-ден 600 мг/л-ге дейін жетіп, кремний, марганец, ванадий, никель және мыс сияқты катиондар да кездесетіні белгілі болды (әрқайсысы 10 мг/л шегінде).

Материалдар мен әдістер

Зерттеу объектілері "Семізбай-У" кәсіпорындарының "Ирколь" кенішінің технологиялық ерітінділерінің сынамалары таңдалып алынды: өнім ерітіндісі (ӨЕ), тауарлық десорбат (ТД), олардың таңбалануы көрсетіле отырып келтірілген сынамалардың атауы:

1. ӨЕ (100/2) – өнімділік ерітінді;
2. ТД (218) – тауарлық десорбат;
3. АЕ_{бастапқы} (ион алмасу барысында өткізудің бастапқы сорбция жүру барысындағы айналым ерітіндісінің сынамасы);
4. АЕ_{соңғы} (ион алмасу барысындағы технологиялық процестің соңғы процестер барысындағы сорбциясының айналым ерітіндісі);
5. АЕ_{шайылу} 208/2 – сорбция процесінен кейінгі катиониттерді жуған су;
6. Айналым ерітіндісі 600/1– 100 м³ көлемді резервуардағы айналым ерітінділері.

208/2 позициясындағы айналым ерітіндісі – бұл жууға арналған техникалық су, өнімді ерітіндіні сорбциялау процесінен кейін қолданылады.

Сынамалардың сапалық, сандық құрамын анықтау, қоспалардың табиғатын анықтау мақсатында технологиялық ерітінділердің сынамалары бірқатар әдістердің көмегімен талданды, атап айтқанда:

– оптикалық-эмиссиялық спектрометрде сынамалардың элементтік құрамы анықталды,

– спектрофотометрде, титриметриялық әдіспен ондағы аниондардың құрамына талдаулар жүргізілді,

– рентген спектрлік аппараттарда сынамаларда қалқыма бөлшектер мен тұнбалардың фазалық құрамы бар екендігі анықталды.

Зерттеу индуктивті байланысқан плазмасы бар (ИБП) атомдық-эмиссиялық спектрометрі Optima: 8000DV құрылғысында өнімділік ерітінділер, сорбциялық бастапқы (аналық) сұйықтықтар, ондағы иондардың құрамына арналған айналымдағы ерітінділер талданады.

Нәтижелер мен талқылау

Атомдық-адсорбциялық әдіспен оптикалық-эмиссиялық спектрометрде алынған элементтік құрамды, олардың концентрациясын талдау нәтижелері 1–кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Ерітінділердің элементтік құрамы

Элемент	ӨЕ (100/2), мг/л	АЕ _{бастапқы*} , мг/л	АЕ _{соңғы*} , мг/л	ТД (218), мг/л	АЕ208/2, мг/л	АЕ 600/1 (100м ³ сыйымдылығы), мг/л
Si	8,60	5,01	1,80	0	21,26	66,04
U	71,05	19,83	3,63	70,250	30,51	43,22
Al	453,25	177,51	95,70	0	399,05	427,05
Fe	312,11	12,2	10,25	0,90	313,46	400,93
Mg	603,75	170,83	184,52	18,3	309,31	330,61
Ca	478,10	150,10	169,01	8,43	163,20	205,77
Mn	11,61	0,16	2,85	0,27	6,04	37,25
K	3,21	0,16	0,86	2,14	4,52	9,41
Cu	0,60	0,05	0,22	9,18	0,60	1,50
V	9,64	0,18	4,46	9,14	7,21	8,17
Ni	1,21	0,02	0,18	0,29	0,86	0,76
Cr	0,08	0,03	0	6,60	0,09	0,02
Sr	6,24	3,42	1,07	0	6,5	6,40
Sc*	0,06	0	0,05	0	0,06	0,06

*Төрт еселенген концентрациядан кейін анықталды

1– кестеде көрсетілгендей өнім ерітіндісіндегі мақсатты емес металдардың негізгі бөлігін алюминий, темір, магний, кальций болып табылады. Олардың мәндері 300-ден 600 мг/л-ге дейін. Өнімді ерітіндідегі кейбір элементтер (ӨЕ) 10 мг/л аралығында болады, оларға кремний, марганец, ванадий жатады. Ерітіндіде айтарлықтай мөлшерде стронций (6,24 мг/л), калий (3,21 мг/л) никель (1,21 мг/л), мыс (0,60 мг/л) бар.

Ион алмасу барысында ионды сорбциялау процесін жүргізу кезінде олардың құрамындағы көзделген металмен бірге, бірдей мөлшерде алюминий, темір, магний, кальций, кремний қалып қояды. Бұл жағдайда кестелік деректерде катионитте алюминий, магний, кальций иондарының бастапқы құрамының шамамен үштен бірі қалатынын көрсетеді. Темір катионитте толығымен дерлік сорбцияланады (96%), бұл 109 позициядан (10,2 – 12,2 мг/л) сорбция аналықтарынан, техникалық судан, көлік ылғалдылығынан тұратын аралас ерітінді үлгілеріндегі темірдің төмен болуымен дәлелденеді.

208/2 позициядағы айналым ерітінділеріне қатысты кесте деректері ион алмасу катиониттерінде сумен жуған кезде оның ұстап қалған темір иондары толығымен жуылатынын, алюминий иондары айтарлықтай мөлшерде жойылатынын және катиониттегі магний мен кальций иондарының мөлшері жартысына азаятынын көрсетеді. Марганец пен ванадий де катионитте толығымен ұсталады, сонымен бірге катионитті сумен шаю кезінде марганецтің көп мөлшері жойылады, ванадийдің бір бөлігі катиониттен суға ауысады, ал екінші бөлігі катионитті десорбциялау кезінде жойылады және тауарлық десорбатқа (ТД) түседі.

Осы зерттеу жұмысына тікелей қызығушылық тудыратын кремний элементі ион алмасу барысында көбірек сіңіріледі. Оның бастапқы құрамы өнім ерітіндісінде (ӨЕ) -8,6 мг/л және сорбция аналығымен аралас ерітіндіде 5,0 – 1,8 мг/л дейін азаятыны, демек, ион алмасу барысында өнім ерітіндісін сорбциялау кезінде ӨЕ 3,6-дан 6,8 мг/л кремний қалады. Кремнийдің едәуір мөлшері 208/2 позициясындағы айналым ерітінділерінде кездеседі, мұнда оның концентрациясы 21,26 мг/л құрайды. Кремнийдің бұл мәні оның өнім ерітіндісіндегі (8,6 мг/л) мәндерінен әлдеқайда көп. Шамасы, кремний ион алмасу барысында мықтап ұсталады және оның құрылымдарында жиналады. Ион алмасу барысында қанығу уақыты өте келе одан артық кремнийдің шайылуына әкеледі.

Айта кетерлігі, кремнийдің ең көп мөлшері айналым ерітінділер 600/1 позициясынан табылған, оның мөлшері 66,01 мг/л құрайды. Бұл белгілі жағдай, өйткені кәсіпорынның барлық айналым ерітінділері мен жуу ерітінділері осы резервуарға келіп төгіледі. Мұнда механикалық тазартудан кейін айналым ерітінділер технологиялық циклге қайтарылады. Сондай-ақ, 1-кестедегі мәліметтерден үлгілерде табылған кейбір элементтер де маңызды. Өнімнің ерітіндісінде олардың мөлшері көп болмаса да, тауарлық десорбатта хром мен мыстың едәуір мөлшері табылды, бұл ион алмасу барысында осы металдардың жиналуын көрсетеді.

Көзделген металдың концентрациясына назар аудару керек, ол техникалық тапсырма бойынша 1 мг/л-ден аз болуы керек, іс жүзінде 3,63-тен 43,36 мг/л-ге дейін өзгереді.

Сондай-ақ, нәтижелер белгілі бір уақыт кезеңінде кен орнынан алынған осы сынамалар үшін ғана сәйкес келетінін атап өткен жөн. Ерітінділердегі элементтердің құрамы әртүрлі факторлардан, соның ішінде табиғи факторлардан да ерекшеленеді.

Өнім ерітінділерін, сорбция аналықтарын, ондағы аниондардың

(сульфаттар, нитраттар, хлор, фосфаттар) құрамындағы айналым ерітінділерін спектрофотометрия әдісімен зерттеу НАСН- DR 3900 құралында талданды. Стандартты әдістер бойынша аспап реестрде және титриметриялық әдіспен технологиялық ерітінділердің сынамалары олардағы негізгі аниондардың құрамы зерттелді (2-кесте).

Кесте 2 – Ерітінділер сынамаларының аниондық құрамы

Аниондар	АЕ (100/2), г/л	ТД (218), г/л	АЕ 600/1 (100 м ³ сыйымдылығы), г/л
Сульфаттар	81,7	12,8	18,1
Нитраттар	0,0	56,0	0,5
Хлор	0,7	3,5	0,4
Фосфаттар	0,01	0,03	0,1

Кестедегі мәліметтерге сәйкес, АЕ – негізінен сульфаттар, ТД – нитраттар мен сульфаттар, айналым ерітінді 600/1 позициясында (резеруар 100 м³) - күкірт қышқылы бар. Зерттелген барлық технологиялық ерітінділерде хлор иондары мен аз мөлшерде фосфаттар табылды. Қышқылдық ТД (рН=0,8) рН мәні бірдей айналым ерітіндісінен жоғары (рН=1,9).

D8 Advance (Bruker) аппаратындағы рентген–спектрлік және рентген–фазалық талдау әдісімен тұнбаның бөлшектерінің фазалық құрамы зерттелді. (поз. 600/1). Ол үшін айналым ерітіндісі құрғақ қалдыққа дейін 105-110°C электр пешінде кептірілді. Өз кезегінде, бұл көлемі 100 м³ болатын резервуардың түбінен алынды.

Айналым ерітіндісі сынамасының құрғақ қалдығының құрамының дифрактограммасы 600/1 позицияда 1-суретте көрсетілген, ал 3-кестеде үлгінің негізгі компоненттері, фазалық құрамы көрсетілген. 2-суретте жоғарыда аталған тұнбаның дифрактограммасы, оның фазалық құрамын құрайтын компоненттердің атауы көрсетілген.

Кесте 3 – АЕ 600/1 позицияда сынамасының құрғақ қалдығының фазалық құрамы

Қосылыстар атауы	Формула
Afghanite	$(\text{Na}_{17,28}\text{K}_{4,72}\text{Ca}_2)\text{Ca}_8(\text{Si}_{24}\text{Al}_{24}\text{O}_{96})(\text{SO}_4)_6\text{Cl}_{5,8}\text{F}_{0,18}$
Gypsum	$\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$
Coquimbite	$\text{Fe}^{2+}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Giniite	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Mesolite	$\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Si}_9\text{Al}_6\text{O}_{30} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Goethite	$\text{FeO}(\text{OH})$
Gibbsite	$\text{Al}(\text{OH})_3$
Magnesium Chlorate Hydrate	$\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Goethite, cadmian, syn	$(\text{Fe}_{0,9}\text{Cd}_{0,1})\text{O}(\text{OH})$
Iron Sulfite Hydrate	$\text{FeSO}_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$
Potassium Iron Oxide	$\text{K}_2(\text{Fe}_2\text{O}_4)$
Polyhalite	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

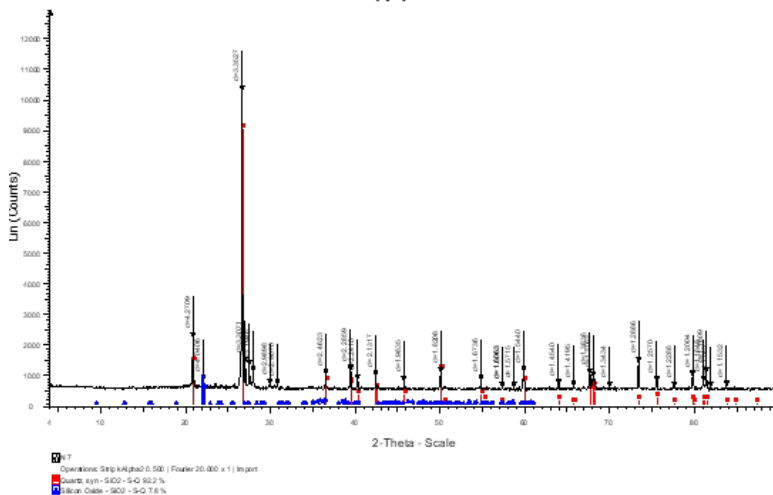
Sodium Aluminum Chlorate Silicate	$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{ClO}_4(\text{SiO}_4)_3$
Sodium Silicate	$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
Uranyl Oxonium Hydrogen Phosphate Hydrate	$(\text{UO}_2\text{H}_x\text{PO}_4)(\text{H}_3\text{O})_{1-x} \cdot \text{H}_2\text{O}$
Calcium Sulfate Hydrate	$\text{CaSO}_4 \cdot 0.15\text{H}_2\text{O}$
Calcium Aluminum Oxide	$\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{O}_{14}$
Albite, calcian, ordered	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$
Silicon	Si

N 3



Сурет 1. Көлемі 100 м³ сыйымдылықтағы айналым ерітіндісінің дифрактограммасы (поз.600/1)

N 7



Сурет 2. Көлемі 100 м³ сыйымдылықтағы тұнбаның дифрактограммасы (поз.600/1)

Дифрактограмма мен 3-кестенің талдауынан құрамы бойынша 600/1 позицияда өте күрделі құрамды айналым ерітіндісінің структурасы шықты. Оның негізгі компоненттері кремнийдің әртүрлі қосылыстары, соның ішінде бос кремний, темір, алюминий, кальций, магний, калийдің еріген тұздары (негізінен сульфаттар), олардың гидроксидтері болып табылды. Бұл деректер элементтік, рентгендік-флуоресцентті сынама талдауларының деректеріне сәйкес келеді (4-кесте).

Кесте 4 – Айналым ерітіндісі сынамасының құрамын рентген-флуоресцентті талдау нәтижелері

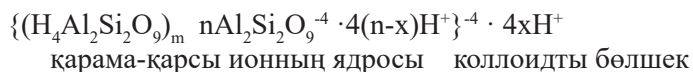
Элементтік құрамы, %													
O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	V	Mn	Fe	U
47,18	3,86	1,67	2,15	0,51	0,19	19,77	0,42	0,3	1,3	0,07	0,32	3,6	0,57

100 м³ резервуардағы тұнбаның рентгендік фазалық талдауы көп мөлшерде бір негізгі фазаны көрсетті. Бұл кварц (SiO₂), оның тұнбасы 92% құрайды, оның осы концентрациясы қалған аз мөлшерлік фазаларды анықтауға мүмкіндік бермеді.

600/1 позициясынан айналма ерітінді сияқты күрделі ерітіндінің рентгендік фазалық талдауы кремний қышқылы туралы ақпарат бермейтінін ескеру қажет, алайда ерітіндіні булану кезінде құрғақ қалдықта кремний мен алюминий табылды, бұл алюмосиликаттардың айналымдағы ерітіндісінің сынамасында коллоидты дисперсті қоспалардың болуын көрсетеді. Алюминий силикаттары Al₂O₃ySiO₂zH₂O жалпы формуласы бар сазды суспензиясында немесе Al₂O₃ ySiO₂ zH₂O қарапайым түрінде болуы мүмкін. Химиялық тұрғыдан алғанда, сазды бөлігі сутегі катионына, алюминий кремний қышқылының қышқыл қалдығына диссоциациялауға қабілетті шамамен H₄Al₂Si₂O₉ түріндегі алюминий-кремний қышқылының молекулаларынан тұрады:



Мицелла құрылымының нұсқаларының бірі алюминий кремний қышқылының коллоидты ерітіндісі келесі түрде ұсынылуы мүмкін:



Алюмосиликат аниондары он иондар сферасымен қоршалған теріс зарядталған саз бөлшегінің негізін құрайды. Қышқылдану кезінде коллоидтық бөлшектің теріс заряды бейтараптандырылады, зарядты жоғалтқан бөлшектер бір-біріне жабысып, салмағы ауырлайды, ауырлық күшінің әсерінен тұнбаға түседі.

Әдеби дереккөздерге сәйкес [Кемельбаева А.С., 2020], кремний қышқылы – бұл әртүрлі жағдайларда еритін (α , β -түрінде), ерімейтін полимер түрінде (γ -формасында) болуы мүмкін лабильді қосылыс.

Альфа-кремний қышқылы - ең қарапайым кремний қышқылы, бұл формаға кремний қышқылдарының полимер қатарының алғашқы екі мүшесі – моно, дикремний қышқылы ғана енуі мүмкін.

Бета-формасына кремний қышқылының ішінде полимерленген кремний қышқылдары жатады.

Гамма-формасына коагуляцияға қабілетті терең полимерленген кремний қышқылдары жатады.

Кремний қышқылының әртүрлі формаларының болуы мен құрамы ерітіндінің қышқылдығына байланысты. Сонымен, монокремний қышқылы $pH = 2,5-3$ тар аймағында ең тұрақты, ал дикремний қышқылы қышқыл ерітінділерде тұрақты ($pH=1$ кезінде). Бейтарапқа жақын, сәл сілтілі ерітінділерде моно-, дикремний қышқылдарының полимерленуі тез жүреді (Annenkov, 2017).

Ортаның қышқылдығынан басқа, оның концентрациясы кремний қышқылының полимерлеу процесіне айтарлықтай әсер етеді. Аз концентрациялы ерітінділерде (100 мг $SiO_2/л$) γ -формасы тұз қышқылының 10н ерітіндісімен сағаттық қыздырудан кейін де түзілмейді (Chorpin, 2008).

Кремний қышқылының концентрациясының 800-ден 2000 мг-ға дейін жоғарылауы $SiO_2/дм^3$ ерітіндідегі α -формасының мөлшерінің күрт төмендеуіне, поликремний қышқылдарының түзілуіне әкелетін γ -формасының пайда болуына әкеледі. Бұл жағдайда полимерлеу процесінің жылдамдығы кремний қышқылының бастапқы концентрациясы неғұрлым жоғары болса, ерітіндінің қышқылдығы соғұрлым жоғары болады.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, айналым ерітіндісінің жоғары қышқылдығы, оның құрамындағы SiO_2 және басқа кремний қосылыстарының көп мөлшері кремний қышқылының терең полимерленген түрін γ -формасы) түзіледі деп айтуға болады. Ол мүмкін күрделі темір қосылыстарымен (оның гидроксиді коллоидтарымен), сондай-ақ табылған басқа металдармен бірге ион алмасу өнімділігін төмендетеді мақсатты металды алу кезінде шайыр.

Қорытынды

«Семізбай-У» (Қазақстан) уран өндіру кәсіпорнының «Ирколь» кенішінің технологиялық ерітінділерінің катиондық, аниондық құрамы анықталды. Технологиялық ерітінділерде уранды алу кезінде ион алмастырғыш катиониттерде ластайтын элементтердің негізгі бөлігін құрамы 300-ден 600 мг/л-ге дейін құрайтын алюминий, темір, магний, кальций, кремний, марганец, ванадий, никель және мыс (әрқайсысы 10 мг/л шегінде) құрайды.

Айналымдағы ерітіндінің жоғары қышқылдығы, оның құрамындағы SiO_2 , басқа кремний қосылыстарының жоғары болуы кремний қышқылының терең полимерленген түрінің γ -форма) түзілуіне әкеледі, ол мүмкін болатын күрделі темір қосылыстарымен (немесе олардың гидроксидінің коллоидтарымен), басқа да анықталған металдар көзделген металды алу кезінде ион алмастырғыш катиониттердің өнімділік сипаттамаларын төмендетеді.

Ерітінділерде негізінен нитраттар мен сульфаттар болады. 600/1 (резервуар 100 м³) айналымдағы ерітінді күкірт қышқылды болып табылады. Барлық зерттелген технологиялық ерітінділерде хлор иондары, аз мөлшерде фосфаттар табылды. ТД қышқылдығы, pH мәні бірдей ӨЕ мен айналымдағы ерітіндіге қарағанда жоғары.

Айналымдағы ерітіндінің 600/1 позициясынан рентгендік фазалық талдау барысында кремний қышқылы туралы ақпарат бермейді, алайда ерітіндінің құрғатып, кептіру кезінде құрғақ қалдық құрамында кремний мен алюминий табылды, бұл коллоидты дисперсті қоспалардың құрамында алюмосиликаттардың айналымдағы ерітіндісінің сынамаларының бар екендігін көрсетеді.

5. Айналымдағы ерітіндіде дисперстік фазаның белсенді компоненттерінің болуының мүмкін формалары анықталды, ал рентгендік дифракция деректері бойынша олар алюмосиликаты минералдар, сульфаттар түрінде н/е алюминий, кремний, темір, кальцийдің т.б. күрделі қосылыстары түрінде болады. Алюмосиликаттар $Al_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O$ жалпы формуласы бар сазды суспензияларда болуы мүмкін н/е шамамен $H_4Al_2Si_2O_9$ түріндегі алюмокремний қышқылының молекулаларынан тұрады. Құрамында уран бар минерал негізінен шайырмен $((U,Th)O_2 (O_{0,5-3})UO_3 \times PbO)$ ұсынылған. Бұл құрамдар сонымен қатар негізінен кварцтан (SiO_2), альбиттен ($NaAlSi_3O_8$), глаукониттен (K, H_2O) (Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg) $[Si_3AlO_{10}](OH)_2 \times nH_2O$, кальциттен ($CaCO_3$), каолиниттен ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), серицит ($K_2O_3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$), иллит ($(KH_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$), сидерит ($FeCO_3$) және титанит $CaTiSiO_5$ тұратын уран кендерінің зерттеулерін растайды.

Әдебиеттер

Alkheder, Mouhammad Nour, Yousef Jammaal, and Kher Aldeen Alkhateb. (2020) A study of uranium and P_2O_5 transfer in syrian phosphate leaching by commercial nitric and hydrochloric acids. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* 55.4 839-842.

Altaev ShA, Chernetsov GE, Oringozhin ES. (2003) *Tekhnologiya razrabotki gidrogennykh uranovykh mestorozhdeniy Kazakhstana [Technology for the development of hydrogenous uranium deposits in Kazakhstan]*. Almaty. P. 294.

Annenkov, V. V., Danilovtseva, E. N., Pal'shin, V. A., Ol'ga, N. V., Zelinskiy, S. N., & Krishnan, U. M. (2017). Silicic acid condensation under the influence of water-soluble polymers: from biology to new materials. *RSC advances*, 7(34), 20995-21027.

Chen Z., Zhang Z. Y., He Z. Y., Chi R. A. (2018). Mass transfer process of leaching weathered crust elution-deposited rare earth ore with magnesium salts. *Physicochem. Prob. Miner. Process.* 54, 1004-1013. 10.5277/ppmp18102

Choppin, G. R., Pathak, P., & Thakur, P. (2008). Polymerization and complexation behavior of silicic acid: A review. *Main Group Metal Chemistry*, 31(1-2), 53-72.

D.L. Clark et al. (2006). Uranium and uranium compounds, Kirk-Other encyclopedia of chemical technology.

Edwards, C.R., Oliver, A.J. (2000) Uranium processing: A review of current methods and technology. *JOM* 52, 12, 20.

Effects of Ion Characteristics on the Leaching of Weathered Crust Elution-Deposited Rare Earth Ore. Zhenyue Zhang, 1,2 Ru'an Chi, 1,2 Zhuo Chen, 1 and Wendou Chen, 1, *Front. Chem.*, 15 December 2020 Sec. Green and Sustainable Chemistry Vol. 8, 2020

Farjana, Shahjadi Hisan, et al. (2018). "Comparative life-cycle assessment of uranium extraction processes. *Journal of cleaner production*. 202: P.666-683.

I.M.S.K. Ilankoon, Yuan Tang, Yousef Ghorbani, Stephen Northey, Mohan Yellishetty, Xiangyi Deng, Diane McBride (2018) The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry: Challenges and opportunities, *Minerals Engineering*, 125, 206-222, ISSN 0892-6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.06.006>.

IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-1.4 English STI/PUB/1741 | 978-92-0-102716-0 60 pages, Date published: 2016.

- IAEA P1741_Web 2016.
IAEA-trs359_Web Uranium Extraction Technology 1993.
International Atomic Energy Agency (IAEA); 28 - 31 May 2018.
Li S. C., Wang X. J., Zou Y. G., Huang G. L., Nie Y. L. (2019). Study on the relationship between cationic activity of leaching agent and leaching characteristics of rare earth. *Min. Res. Dev.* 39, 104-108. 10.13827/j.cnki.kyyk. 2019 03-023.
M.J. Lottering et al. Mineralogy and uranium leaching response of low grade South African ores. *Miner. Eng.* (2008). F.L. Hess
NEA and IAEA. 2020.
Significance of mineralogy in the development of flow sheets for processing uranium ores, Technical reports series. 1980. 196. IAEA, Vienna.
Technical Reports Series No. 196 English STI/DOC/010/196 | 92-0-145080-X | Date published. 1980.
Than Van Lien, Tran The Dinh, Nguyen Thi Kim Dung. (2020) Study on leaching systems and recovery for PALUA-PARONG low grade uranium sandstone ores, *Hydrometallurgy* 191, 105164.
Wellmer, .FW., Becker-Platen, J. (2002) Sustainable development and the exploitation of mineral and energy resources: a review. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 91, 723-745.
World Uranium Mining 2016.
Zauner, Micha, Andreas Weller, and Matthias Halisch. (2020)."Laboratory core investigations of sandstone-hosted uranium for in situ recovery." *Applied Earth Science* 129. 1, 27-40.
Кемельбаева А.С., Дуйсебаев Б.О., Сайкыева С.Х., Алыбаев Ж.А. (2010) Метод очистки урансодержащих растворов от кремниевой кислоты/ *Известия НАН РК. Серия Химическая*, 5. 65-68.

References

- Alkheder, Mouhammad Nour, Yousef Jammoal, and Kher Aldeen Alkhateb. (2020) A study of uranium and P_2O_5 transfer in syrian phosphate leaching by commercial nitric and hydrochloric acids. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* 55.4 839-842.
Altaev ShA, Chernetsov GE, Oringozhin ES. (2003) *Tekhnologiya razrabotki gidrogennykh uranovykh mestorozhdeniy Kazakhstana* [Technology for the development of hydrogenous uranium deposits in Kazakhstan]. Almaty. 294
Annenkov, V. V., Danilovtseva, E. N., Pal'shin, V. A., Ol'ga, N. V., Zelinskiy, S. N., & Krishnan, U. M. (2017). Silicic acid condensation under the influence of water-soluble polymers: from biology to new materials. *RSC advances*, 7(34), 20995-21027.
Chen Z., Zhang Z. Y., He Z. Y., Chi R. A. (2018). Mass transfer process of leaching weathered crust elution-deposited rare earth ore with magnesium salts. *Physicochem. Prob. Miner. Process.* 54, 1004–1013. 10.5277/ppmp18102
Choppin, G. R., Pathak, P., & Thakur, P. (2008). Polymerization and complexation behavior of silicic acid: A review. *Main Group Metal Chemistry*, 31(1-2), 53-72.
D.L. Clark et al. (2006). Uranium and uranium compounds, *Kirk-Other encyclopedia of chemical technology*.
Edwards, C.R., Oliver, A.J. (2000) Uranium processing: A review of current methods and technology. *JOM* 52, 12, 20.
Effects of Ion Characteristics on the Leaching of Weathered Crust Elution-Deposited Rare Earth Ore. Zhenyue Zhang,1,2 Ru'an Chi,1,2 Zhuo Chen,1 and Wendou Chen1, *Front. Chem.*, 15 December 2020 Sec. Green and Sustainable Chemistry. Volume 8 -2020
Farjana, Shahjadi Hisan, et al. (2018). "Comparative life-cycle assessment of uranium extraction processes. *Journal of cleaner production*. 2018. 202: P.666-683.
I.M.S.K. Ilankoon, Yuan Tang, Yousef Ghorbani, Stephen Northey, Mohan Yellishetty, Xiangyi Deng, Diane McBride (2018) The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry: Challenges and opportunities, *Minerals Engineering*, 125, 206-222, ISSN 0892-6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.06.006>.
IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-1.4 English STI/PUB/1741 | 978-92-0-102716-0 60, Date published: 2016.

IAEA P1741_Web 2016.

IAEA-trs359_Web Uranium Extraction Technology 1993.

International Atomic Energy Agency (IAEA); 28 - 31 May 2018.

Kemelbaeva A.S., Duysebaev B.O., Saikieva S.H., Alybaev J.A. (2010) Method of purification of uranium-containing solutions from silicic acid/Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemical, 5. 65-68.

Li S. C., Wang X. J., Zou Y. G., Huang G. L., Nie Y. L. (2019). Study on the relationship between cationic activity of leaching agent and leaching characteristics of rare earth. *Min. Res. Dev.* 39, 104–108. 10.13827/j.cnki.kyyk. 03, 023

M.J. Lottering et al. (2008). Mineralogy and uranium leaching response of lowgrade South African ores. *Miner. Eng. F.L. Hess*

NEA and IAEA. 2020

Significance of mineralogy in the development of flow sheets for processing uranium ores, Technical reports series. 1980. 196. IAEA, Vienna

Technical Reports Series No. 196 English STI/DOC/010/196 | 92-0-145080-X | Date published. 1980

Than Van Lien, Tran The Dinh, Nguyen Thi Kim Dung. (2020). Study on leaching systems and recovery for PALUA—PARONG low grade uranium sandstone ores, *Hydrometallurgy* 191, 105164.

Wellmer FW., Becker-Platen J. (2002) Sustainable development and the exploitation of mineral and energy resources: a review. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 91, 723-745.

World Uranium Mining, 2016.

Zauner, Micha, Andreas Weller, and Matthias Halisch. (2020). Laboratory core investigations of sandstone-hosted uranium for in situ recovery. *Applied Earth Science* 129. 1, 27-40.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 58–74

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.250>

УДК 544.6.076.2

**N. Zhumasheva^{1*}, M. Tursynbek¹, F. Sultanov¹, A. Mentbaeva², L. Kudreyeva³,
Z. Bakenov^{1,2}, 2024.**

¹National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan;

Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan;

³ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nazerke.zhumasheva@nu.edu.kz

RICE HUSK-BASED POROUS GRAPHENE-LIKE CARBON COMPOSITE WITH NICKEL OXIDE NANOPARTICLES FOR LITHIUM-SULFUR BATTERIES

N. Zhumasheva – Master of Chemical Sciences, National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan, Nazerke.zhumasheva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5266-3429>;

M. Tursynbek – Bachelor of Chemical Sciences, National Laboratory Astana, Astana Kazakhstan, malika.tursynbek@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1840-3831>;

F. Sultanov – Doctor of Chemical Sciences, National Laboratory Astana, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-7789-9398>;

A. Mentbayeva - Doctor of Philosophy, Professor of the Department of Chemical Engineering and Materials Technology of the 2nd Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan, almagul.mentbayeva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9132-1173>;

L. Kudreeva - Candidate of Chemical Sciences, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-2387-5670>leila.kudreyeva@kaznu.kz;

Zh. Bakenov - Professor of Chemical Sciences, National Laboratory Astana; Department of Chemical Engineering and Materials Technology, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan, zbakenov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2781-4955>.

Abstract. Lithium-sulfur (Li-S) batteries are promising energy storage systems due to their high theoretical energy density and cost-effectiveness, but challenges like poor cycle life and low conductivity limit their practical application. This study aimed to improve Li-S battery performance by developing a sulfur-host cathode material and a separator modifier, synthesized from biomass-derived carbon and nickel oxide. The RHG, RHG@S, RHG-NiO@S cathode, and RHG-NiO composite were synthesized and characterized using scanning electron microscopy (SEM) with energy-dispersive spectroscopy (EDS), transmission electron microscopy (TEM), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Graphene-like porous carbon with a high specific surface area was efficiently synthesized from rice husk biowaste through carbonization and thermochemical activation. Sulfur was encapsulated in the pores of the composite

using a melting-diffusion method, with thermogravimetric analysis confirming a sulfur content of approximately 60% in the RHG-NiO@S composite. Electrochemical tests showed that the RHG-NiO@S cathode paired with the modified RHG-NiO separator exhibited superior performance, achieving an initial discharge capacity of 1599 ± 20 mAhg⁻¹ and maintaining 790.29 ± 10 mAhg⁻¹ after 100 cycles at 0.2 C, surpassing the performance of the RHG@S cathode without the modified separator. This study demonstrates the potential of biomass-derived materials and their composites to address key limitations of Li-S batteries, paving the way for the development of high-performance energy storage systems.

Keywords: graphene-like porous carbon, nickel oxide, sulfur, lithium-sulfur batteries, lithium polysulfides.

**Н. Жумашева^{1*}, М. Турсынбек¹, Ф. Султанов¹, А. Ментбаева², Л. Кудреева³,
Ж. Бакенов^{1,2}, 2024.**

¹National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан;

²Назарбаев университеті, Астана, Қазақстан;

³Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: nazerke.zhumasheva@nu.edu.kz

ЛИТИЙ-КҮКІРТТІ АККУМУЛЯТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН НИКЕЛЬ ОКСИДІНІҢ НАНОБӨЛШЕКТЕРІ БАР КҮРІШ ҚАУЫЗЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КЕУЕКТІ ГРАФЕН ТӘРІЗДІ КӨМІРТЕКТІ КОМПОЗИТ

Н. Жумашева – химия ғылымдарының магистрі, National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан, Nazerke.zhumasheva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5266-3429>;

М. Турсынбек – химия ғылымдарының бакалавры, National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан, malika.tursynbek@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1840-3831>;

Ф. Султанов – химия ғылымдарының PhD докторы, National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан, <https://orcid.org/0000-0002-7789-9398>;

А. Ментбаева – химия ғылымдарының PhD докторы, профессор; Назарбаев университетінің Химиялық инженерия және материалдар технологиясы кафедрасы, Астана, Қазақстан, almagul.mentbayeva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9132-1173>;

Л. Кудреева – химия ғылымдарының кандидаты, химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; eila.kudreyeva@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2387-56701>;

Ж. Бакенов – химия ғылымдарының профессоры, National Laboratory Astana; Назарбаев университетінің Химиялық инженерия және материалдар технологиясы кафедрасы, Астана, Қазақстан, zbakenov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2781-4955>

Аннотация: Литий-күкірт (Li-S) батареялары жоғары теориялық энергия тығыздығы мен үнемділігі арқасында болашағы зор энергия сақтау жүйелері болып табылады, бірақ олардың практикалық қолданылуын циклдің қысқа ұзақтығы мен төмен өткізгіштік сияқты мәселелер шектейді. Бұл зерттеу Li-S батареяларының өнімділігін жақсарту үшін биомасса негізінде алынған көміртегі мен никель оксидінен синтезделген күкірт-тасығыш катодтық материал мен сепаратор модификаторын әзірлеуге бағытталған. КҚГ, КҚГ@S, КҚГ-

NiO@S және КҚГ-NiO композиті сканерлеуші электронды микроскопия (SEM) энергия-дисперсиялық спектроскопиямен (EDS), трансмиссиялық электронды микроскопия (TEM) және рентгендік фотоэлектронды спектроскопия (XPS) әдістерімен сипатталды. Көміртектің жоғары меншікті беткі ауданына ие графен тәрізді кеуекті көміртек күріш қауызы қалдықтарын карбонизация және термохимиялық белсендіру арқылы тиімді синтезделді. Композиттің кеуектеріне күкірт балқытып-диффузиялық әдіспен енгізілді, ал термогравиметриялық талдау нәтижесінде КҚГ-NiO@S композитіндегі күкірт мөлшері шамамен 60% екені анықталды. Электрохимиялық сынақтар КҚГ-NiO сепараторымен үйлескен КҚГ-NiO@S катодының бастапқы разрядтық сыйымдылығы 1599 ± 20 мАсағ⁻¹ құрап, 0.2 С ток тығыздығымен 100 циклдан кейін 790.29 ± 10 мАсағ⁻¹ деңгейінде сақталғанын көрсетті, бұл КҚГ@S катодына қарағанда жақсы нәтиже берді. Бұл зерттеу Li-S батареяларының негізгі шектеулерін шешуде биомасса негізіндегі материалдар мен олардың композиттерінің әлеуетін көрсетіп, жоғары өнімді энергия сақтау жүйелерін әзірлеудің жолын ашады.

Түйін сөздер: графен тәрізді көміртек, никель оксиді, күкірт, литий-күкіртті батареялар, литий полисульфидтері.

Алғыс білдіріміз:

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің BR21882402 «Жасыл экономика үшін материалдар мен энергия сақтау жүйелерінің жаңа технологияларын әзірлеу» ғылыми-зерттеу грантымен жүзеге асырылды.

**Н. Жумашева^{1*}, М. Турсынбек¹, Ф. Султанов¹, А. Ментбаева², Л. Кудреева³,
Ж. Бакенов^{1,2}, 2024.**

¹National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан;

² Nazarbayev University, Астана, Қазақстан;

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Қазақстан.

E-mail: nazerke.zhumasheva@nu.edu.kz

ПОРИСТЫЙ ГРАФЕНОПОДОБНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ С НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА НИКЕЛЯ ДЛЯ ЛИТИЙ-СЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Н. Жумашева – магистр химических наук, National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан, Nazerke.zhumasheva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5266-3429>;

М. Турсынбек – бакалавр химических наук, National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан, malika.tursynbek@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1840-3831>;

Ф. Султанов – PhD, National Laboratory Astana, Астана, Қазақстан, <https://orcid.org/0000-0002-7789-9398>;

А. Ментбаева – PhD, профессор, кафедра химической инженерии и технологии материалов Назарбаев университета, Астана, Қазақстан, almagul.mentbayeva@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9132-1173>;

Л. Кудреева – кандидат химических наук, факультет химии и химической технологии, Казахский

национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы, <https://orcid.org/0000-0003-2387-5670/leila.kudreyeva@kaznu.kz>;

Ж. Бакенов – профессор химических наук, National Laboratory Astana, Кафедра химической инженерии и технологии материалов Назарбаев Университета, Астана, Казахстан, zbakenov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2781-4955>.

Аннотация. Литий-серные (Li-S) батареи являются перспективными системами хранения энергии благодаря их высокой теоретической плотности энергии и экономичности, однако их практическое применение ограничено такими проблемами, как низкий срок службы и слабая проводимость. Настоящее исследование было направлено на улучшение характеристик Li-S батарей путем разработки катодного материала с удержанием серы и модификатора сепаратора, синтезированных из углерода и оксида никеля, полученных из биомассы. RHG, RHG@S, RHG-NiO@S катод и RHG-NiO композит были охарактеризованы с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM) с энергодисперсионной спектроскопией (EDS), трансмиссионной электронной микроскопии (TEM) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS). Графеноподобный пористый углерод с высокой удельной поверхностью был эффективно синтезирован из биологического отхода — рисовой шелухи — путем карбонизации и термохимической активации. Сера была внедрена в поры композита методом плавления-диффузии, а термогравиметрический анализ показал, что содержание серы в композите RHG-NiO@S составляет около 60%. Электрохимические испытания показали, что катод RHG-NiO@S в сочетании с модифицированным сепаратором RHG-NiO демонстрирует превосходную производительность: начальная разрядная емкость составила 1599 ± 20 мАч⁻¹, а после 100 циклов при 0.2 С емкость сохранилась на уровне 790.29 ± 10 мАч⁻¹, что значительно лучше показателей катода RHG@S без модифицированного сепаратора. Исследование подчеркивает потенциал материалов из биомассы и их композитов в решении ключевых ограничений Li-S батарей, предлагая перспективный подход к разработке высокоэффективных систем хранения энергии.

Ключевые слова: графеноподобный пористый углерод, оксид никеля, сера, литий-серные аккумуляторы, полисульфиды лития.

Кіріспе. Жоғары меншікті сыйымдылық ($1675 \text{ мА сағ г}^{-1}$) пен айтарлықтай энергия тығыздығы ($2500 \text{ Вт сағ кг}^{-1}$) болғандықтан литий-күкіртті (Li-S) аккумуляторлары энергия сақтаудың ең ұтымды шешімдерінің бірі ретінде қарастырылады (Azam, et al, 2023; Chabu, et al, 2019; Chen, et al, 2018). Алайда, Li-S батареяларын практикалық қолданысқа енгізбес бұрын шешілуі тиіс мәселелер бар. Күкірттің электрөткізгіштігі ($5 \times 10^{-30} \text{ С см}^{-1}$) өте төмен болғандықтан, ол типтік оқшаулағыш элемент. Разрядталу кезінде түзілетін төменгі ретті полисульфидтер де (Li_2S_2 , Li_2S) төменгі өткізгіштікке йе. Разрядталу кезінде түзілетін жоғары ретті полисульфидтер электролитте ериді және катодты белсенді материалдың жоғалуына әкеледі, нәтижесінде электр тогы азаяды. Литий полисульфидтерінің

электролитте еруі және олардың анод жаққа қарай диффузиясы «шаттл эффектісін» тудырады. Разрядтау/зарядтау процесі кезінде ұяшық көлемнің кеңеюі электрод құрылымының тұрақсыздығына алып келеді. Бұл мәселелер литий-күкіртті батареялардың сыйымдылығының тез төмендеуіне және тұрақтылықтың нашарлауына алып келеді (Chen, et al., 2021; Chung, et al., 2018; Dörfler, et al., 2021; Du, et al., 2019). Жоғарыда аталған қиындықтарды еңсеру үшін көптеген әдістер зерттелді, соның ішінде тірек катодты материалдардың құрылысы (García, et al., 2017), модификацияланған сепараторлар, функционалды аралық қабаттардың құрылысы (Huang, et al., 2019) және анодты қорғауды (Lee, et al., 2021) жүзеге асыруды айтуға болады. Полисульфидтердің электролитте еру мәселесін шешудің бір жолы – күкіртті өзінде ұстап тұратын өткізгіш катод материалдарды пайдалану болып табылады (Chen, et al., 2018). Катодты оңтайландыруда күкірт разрядының өнімдерін шектеп және олардың электрохимиялық түрлену жылдамдығын арттыратын көміртегі негізіндегі материалды жобалау және модификациялау перспективті әдіс болып табылады (Lin, et al., 2017). Күкірт өткізгіштігін жақсарту үшін күкірт-полимер (Mai et al., 2019) және күкірт-көміртекті композиттер (Manoj, et al., 2019) сияқты композиттік материалдар зерттелген. Күкіртті өзіне жүктеуші материал ретінде көміртегі негізіндегі нанокұрылымды материалдар кең ауқымы зерттелді: сфералық көміртегі, кеуекті көміртегі, көміртекті нанотүтіктер мен наноталшықтар және графен (Li et al., 2017; Lin, et al., 2017; Mai, et al., 2019). Композиттік материалдарда кеуекті көміртегі мен металл оксидтерін пайдалану осы қиындықтарды шешудің ықтимал шешімдерін ұсынады. Дегенмен, көміртектен төмен полярлығымен сипатталады, полярлы литий полисульфидтерімен әлсіз Ван-дер-Ваальс күштерімен әрекеттеседі, бұл туындайтын шаттл әсерін басуға жеткіліксіз. Кеуекті көміртегі материалдары көлемді кеңейту үшін кеңістікті қамтамасыз етеді, бірақ полисульфидтерді химиялық түрде сіңірмейді, ал полярлы қосылыстар оларды химиялық түрде сіңіре алады (Manoj, et al., 2019; Meng, et al., 2023). Зерттеушілер әр түрлі полярлы қосылыстар металл оксидтері (Ogoke, et al., 2017), металл сульфидтері (Ould Ely, et al., 2018), металл нитридтері (Ould Ely, et al., 2018), металорганикалық қосылыстар (MOF) (Robinson, et al., 2021), сондай-ақ көміртегі гетероатомды (N, B, S) (Seh, et al., 2016) қоспалары бар көміртегі композиттерінің әсерін зерттеді. Бұл полисульфидтердің оқшаулануына ықпал етті және күкірт негізіндегі катодты материалдарды оңтайландыруға үлкен әсер етті. Энергия сақтау құрылғыларында, әсіресе литий батареяларында биомассадан алынатын көміртегі бойынша зерттеулер соңғы жылдары артты. Биомасса көміртектің бай көзі болып табылады. Биомассадан синтезделетін көміртегі жоғары меншікті беті мен қажетті кеуек көлемі, кеуек өлшемдерінің иерархиялық таралуы, жақсы өткізгіштігі, қолжетімділігі және қарапайым синтез әдістеріне байланысты қолжетімді тиімді композиттер болып есептеледі. Әртүрлі кеуекті құрылымдары бар биокөмір композиттері жеткілікті күкіртті сыйдыра алады. Әртүрлі биомассадан алынған көміртегі материалдары күкірт-сульфидті батареялар қызметін жақсарту үшін (мысалы, сарымсақ қабығы, күріш сабаны, помело қабығынан, күріш қабығы, жаңғақ қабығы, жүгері дәні) зерттелді (Sultanov,

et al., 2024; Sun, et al., 2021; Wang, et al., 2018; Wang, et al., 2021; Wang, et al., 2020; Xiao, et al., 2020).

Күріш қауызы мол, арзан және экологиялық таза ауыл шаруашылығы қалдықтарының бірі болып табылады. Күріш қабығынан (RH) арзан белсендірілген және өндіруге тиімді графен тәрізді кеуекті активтелген көміртектен синтездеуге болады. Күріш қабығының негізгі компоненттері инертті атмосферада пиролизденген кезде көміртегі түзетін целлюлоза (38%), гемицеллюлоза (18%) және лигнин (22%) болып табылады (Sun, et al., 2021). Күріш қабығынан алынған көміртекті материал жақсы электр өткізгіштікке ие, ол күкірт катодының жалпы өткізгіштігін арттырады. Күріш қабығынан алынған көміртегі материалдары батареяларда анод және катод ретінде қолданылған зерттеулер бар. Күріш қабығын пайдалана отырып, экологиялық таза бір сатылы пиролиз процесі арқылы Li-йонды батареялары үшін сыйымдылығы жоғары және тұрақты циклді SiOx/C композиттік анодтарын синтездеу әдісі әзірленген. Алдын ала тазартылған SiOx/C анодымен және S-PAN катодымен жинақталған толық ұяшықтың электрохимиялық сынау нәтижелері бірінші циклдің қайтымды сыйымдылығы 1500 мА сағ г-1 мәнін көрсетті. Бұл нәтижелер Li металы жоқ күкіртті аккумуляторларда пайдалану үшін күріш қабығынан алынған SiOx/C композиттерінің перспективтілігін көрсетеді [30]. Танх-Тунг Май тобының зерттеу жұмысында күріш қабығын көміртектендіру және оны K₂CO₃-пен өңдеу арқылы микро/мезо кеуектілігі бар жоғары кеуекті белсендірілген көмір материалдарын жасау көрсетілген. RHAC@S композиттері литий-күкірт (Li-S) батареялары үшін катодтар ретінде қолданылған. 0,25 мг см-1 күкірт жүктемесі бар үлгі 0,1 С жылдамдықта 1080 мА сағ г-1 бастапқы разрядтау қабілетін көрсетіп, ток тығыздығы 0,2 С болған кезде 50-ші зарядтау/разрядтау циклінен кейін қайтымды қуат 312 мА сағ г-1 деңгейінде қалған (Yang, et al., 2018). Никель оксиді (NiO) және никель (Ni) қосылыстары литий-күкіртті (Li-S) батареяларында маңызды рөл атқарады, бұл батарея жүйесінің жалпы өнімділігі мен тұрақтылығына ықпал етеді. Ni қосылыстары зарядтау және разряд процесі кезінде электрондардың тасымалдануын жеңілдеті отырып, катодтың электронды өткізгіштігін күшейте алады. Бұл Li-S батареясының қуат өнімділігінің жақсаруына әкелетін жылдамдық мүмкіндігінің жақсаруына және ішкі кедергінің төмендеуіне әкеледі. NiO полисульфидтердің төменгі ретті сульфидтерге (Li₂S₂ және Li₂S) айналуын катализдей алады, тотығу-тотықсыздану кинетикасын жақсартады және жалпы электрохимиялық өнімділікті арттырады. NiO полисульфидтердің адсорбциясын жақсарту және олардың конверсиясын катализдеу үшін литий-күкіртті батареялардағы көміртекті материалдармен біріктіріліп қолданылады (Zhang, et al., 2019; Zhang, et al., 2019; Zhao, et al., 2023). Келесі зерттеу жұмысында, NiO бөлшектерін Li-S батареясында катод композитіне біріктіру полисульфидтерді ұстауда, әсіресе сепаратордың катод жағындағы жұқа көміртекті пленкамен жұптастырылған кезде өте тиімді болған. NiO кеуекті желілі құрылымы күкірт полисульфидтерімен әрекеттесуі нәтижесінде шаттл эффектісін төмендетіп, батареяның жұмысын жақсартқан. NiO нанобөлшектерін қолдану жылдамдық мүмкіндігін де, ұзақ мерзімді тұрақтылықты да жақсартқан. 80 %

күкірт жүктемесінде 0,2 С жылдамдықпен 1100 мА сағ г-1 бастапқы меншікті сыйымдылықты көрсеткен (Zhu, et al., 2019).

Бұл зерттеу жұмысында күріш қауызы қалдықтарынан синтезделген графен көміртекті материал (КҚГ) және никель оксидінен тұратын катодты материал мен сепаратор дайындалып, литий сульфидті батарея үшін қолданысы зерттелді. Графен көміртекті материал және никель оксидінен тұратын композитті материалдың синергетикалық әсері қарастырылды. Синтезделген композитті материал тиімді күкірт жүктеуші катод ретінде және сепаратор түрлендіруші агент ретінде қолданылып, шаттл эффектісін азайтуға ықпалын тигізді. КҚГ-NiO@S/КҚГ-NiO-ұяшығы, 0,2 С-де жоғарғы бастапқы 1599 ± 20 мАсағ г-1 разряд сыйымдылығын, ал 100 циклден кейін 790 ± 10 мАсағ г-1 разрядталу сыйымдылығын көрсетті.

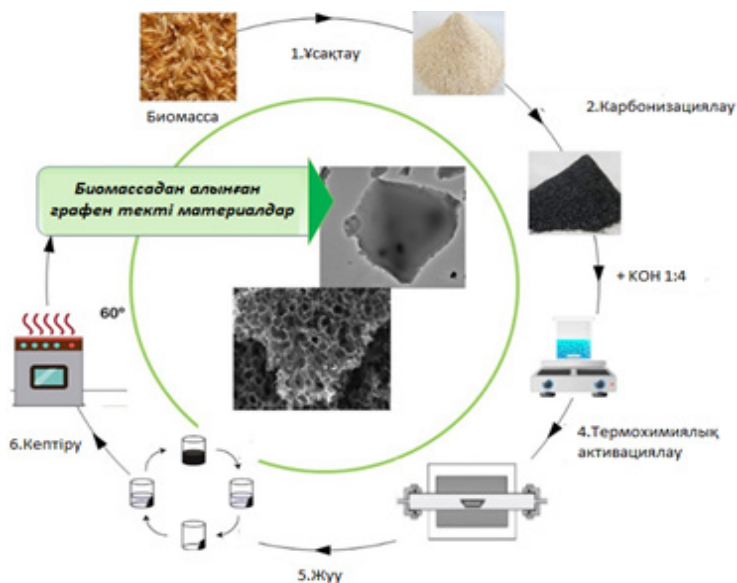
Материалдар мен әдістер

Химиялық заттар Күкірт ұнтағы (S, $\geq 99,0$ %), күкірт көміртегі (CS₂ сусыз, $\geq 99,0$ %), калий гидроксиді (KOH, $\geq 85,0$ %), никель нитраты (Ni(NO₃)₂, $\geq 99,0$) Сигма-Олдричтен сатып алынды. Аргон (99,993%) «Ихсан газ» компаниясынан сатып алынды. Барлық эксперименттерде өте таза ионсыздандырылған су (DI) қолданылды. Барлық химиялық заттар қосымша тазартусыз қолданылды.

Үлгілердің сипаттамасы. Алынған үлгілер әртүрлі аналитикалық әдістер арқылы сипатталды. Бетінің морфологиясы мен элементтік құрамы энергия-дисперсиялық спектроскопиямен (EDS) жабдықталған сканерлеуші электрондық микроскоп (SEM) Crossbeam 540 көмегімен бағаланды. Құрылымдық керекшеліктері трансмиссиялық электронды микроскоп (TEM) арқылы зерттелді (JEOL JEM - 1400 Plus, 120 кВ). Рентгендік дифракция (XRD) талдауы CuK α сәулеленуі бар SmartLab (Rigaku) - рентгендік дифракция жүйесі арқылы жүргізілді. Химиялық байланыстар мен өзара әрекеттесулер монохромдалған төмен қуатты Al K α рентгендік көзі (1486,6 эВ) бар рентгендік фотоэлектрондық спектроскопияның (XPS, NEXSA, Thermo Scientific) көмегімен зерттелді. КҚГ-NiO@S композиттік матрицасындағы күкірт мөлшері азот атмосферасында бір уақыттағы термиялық анализатор (STA) 6000 көмегімен термогравиметриялық талдау (TGA) арқылы анықталды.

Биомасса синтезі. Биомасса қалдықтарының прекурсоры ретінде Қазақстандағы Қызылорда облысынан алынған күріш қауызы (КҚ) биомасса қалдықтарының прекурсоры пайдаланылды. Күріш қауызын табиғи қоспалардың қалдықтарынан тазалау үшін, су мөлдір болғанша ыстық деионизацияланған (DI) суда қайталап жібіту арқылы тазартудан өткізілді. Кейіннен тазартылған КҚ вакуумдық пеште 110°C температурада 5 сағат бойы кептірілді. Осыдан кейін КҚ көміртектендірілуі үшін цилиндрлік тот баспайтын болаттан жасалған реакторда (500°C температурада 120 минут бойы, аргон (Ar) газ ағыны (160 с/см) астында орташа қыздыру жылдамдығы минутына 5°C/мин) қыздыру жүргізілді. Алынған көміртекті өнім өлшеніп, 1:4 қатынасында калий гидроксидімен араластырылды. Бұл қоспаны жақсылап ұнтақтап, тот баспайтын болаттан жасалған реакторға салып, көміртекті өнімнің КОН-ты толық сіңдіруін қамтамасыз ету үшін ауаның қатысуымен 12 сағат бойы 150°C температурада қыздырылды. Кейіннен көміртекті

өнімді термохимиялық активтендіру үшін 800°C температурада орташа қыздыру жылдамдығы минутына 5°C/мин Ag ортасында (250 с/см) 90 минут бойы қыздыру жүргізілді. Шығарылған КҚГ ұнтағы сілтілі қоспаларды жою үшін шамамен 6–7 рН мәніне жеткенше DI суымен бірнеше рет шаюдан өткізіліп, содан кейін вакуумдық пеште 150°C температурада 12 сағат бойы кептірілді.



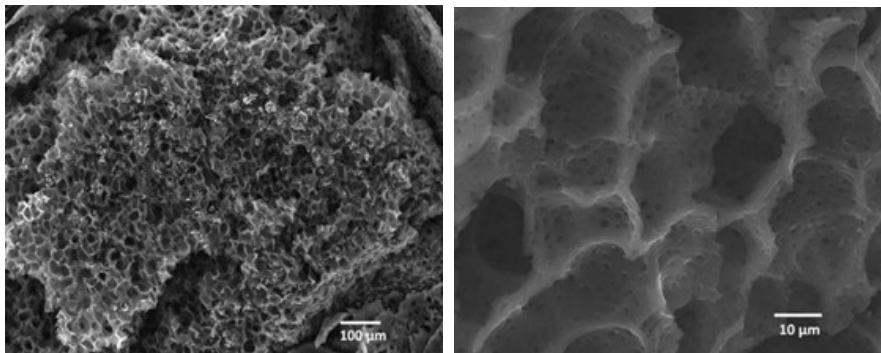
Сурет 1. Графен тәрізді кеуекті көміртектерді алу процесінің схемасы

NiO синтезі және КҚГ-NiO@S катодтарын алу. КҚГ-NiO@S синтездеу үшін композициялық көміртекті күріш қабығы мен никель нитраты 10 мл суда араластырылып, 12 сағатқа қалдырылды. Никель оксидінің үлесі бастапқы алынған прекурсордың массасына байланысты: 20% NiNO₃ мас.%. Араластырған ерітінді еріткіш толық буланғанша кептірілді. Қалған ұнтақ 5°C/мин жылдамдықпен 300°C температурада 2 сағат бойы термиялық өңдеуге арналған құбырлы пешке жіберілді. Келесі қадам күкіртті инкапсуляциялау болды. Күкірт КҚГ-NiO кеуектеріне әдеттегі балқыма диффузиясы әдісімен иммобилизацияланды. Күкірт КҚГ-NiO 60%-40% мөлшерде CS₂:изопропанол еріткішінде пропорционалды қатынаспен араластырылды. Еріткіштің толық булануынан кейін ұнтақ КҚГ-NiO@S композитін алу үшін құбырлы пешке қойылды. КҚГ-@S композиті де осы әдіспен синтезделді.

Сепараторды модификациялау. Коммерциялық Celgard 2400 сепараторын модификациялау дәстүрлі суспензияны құю әдісімен дайындалды. Коммерциялық Celgard 2400 сепараторының беті суспензияны құю әдісін пайдаланып өзгертілді. Суспензия дайындау үшін КҚГ-NiO массасының 90%-ы n-метил пирролидонда (NMP) ерітілген 10% поливинилиденді фторидпен (PVDF) біртекті түрде араластырылып, содан кейін Doctor Blade әдісімен сепараторға жағылды.

Дайындалған модификацияланған сепаратор вакуумдық пеште 60°C температурада 12 сағат бойы кептірілді.

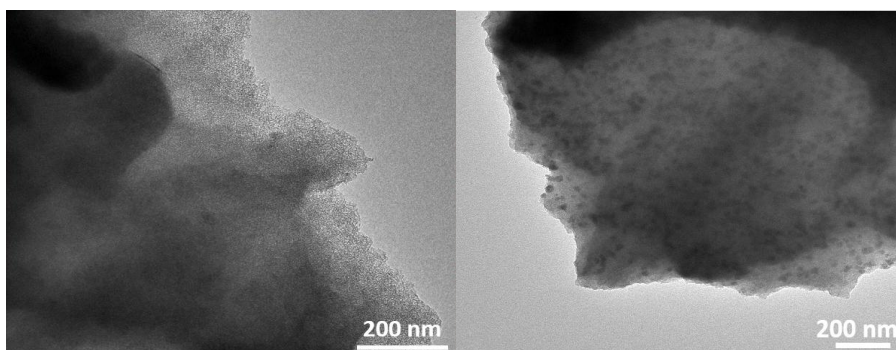
Нәтижелер және талқылау



Сурет 2. Синтезделген КҚГ-нің СЭМ суреттері

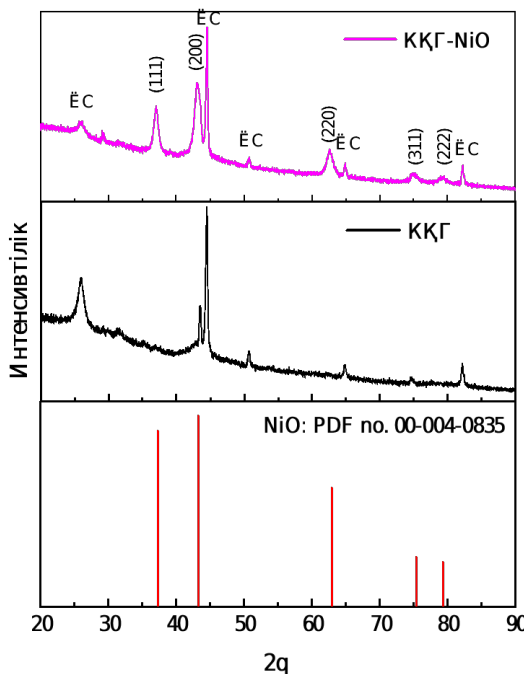
SEM суреттері КҚГ бетінде 15-тен 30 мкм-ге дейінгі кеуектер диаметрі бар жоғары дамыған макрокеуекті құрылымды анықтады. Жақынырақ тексерген кезде үлкенірек макрокеуектер ішінде диаметрі 1 және 2 мкм арасындағы кішірек кеуектер байқалды (сурет 2). Бұл кеуектер термохимиялық белсендіру процесі кезінде КОН булануының нәтижесінде пайда болады деп болжанды. КОН булану кезінде ол бос орындарды қалдырады, бұл КҚГ ішіндегі кеуектер құрылымына ықпал етеді.

ТЕМ талдауы нәтижелерінен ашық және қараңғы аймақтарды байқауға болады, бұл КҚГ -нің қабыршақ тәрізді графен құрылымын растайды. Ашық аймақтар бір қабатты графен тәрізді құрылымға сәйкес келеді деп болжанады, ал күңгірт аймақтар бірнеше қабатты құрылымды құрайтын графен парақтарының қабаттасуынан қалыптасады деп болжам жасалды. КҚГ-NiO ТЕМ кескіні КҚГ көміртегі композитінде NiO нанобөлшектері біркелкі таралғандығын анық көрсетті (сурет 3).



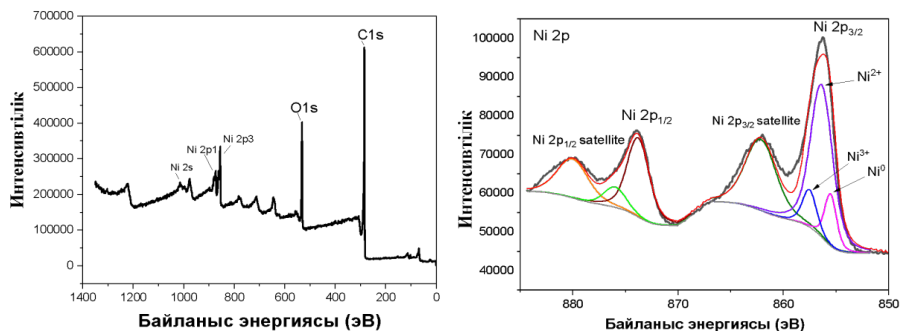
Сурет 3. КҚГ және КҚГ-NiO ТЕМ кескіндері

КҚГ-NiO композитінің XRD үлгілері 4-суретте көрсетілген. КҚГ, КҚГ-NiO және КҚГ-NiO@S XRD нәтижелері КҚГ, NiO үшін барлық сипаттамалық шыңдарды көрсетті. КҚГ-NiO@S үлгісіндегі XRD нәтижелері бойынша (111), (200), (311) және (222) шыңдары NiO-ға сәйкес келеді, басқалары КҚГ көміртегі дифракциясының шыңдары.



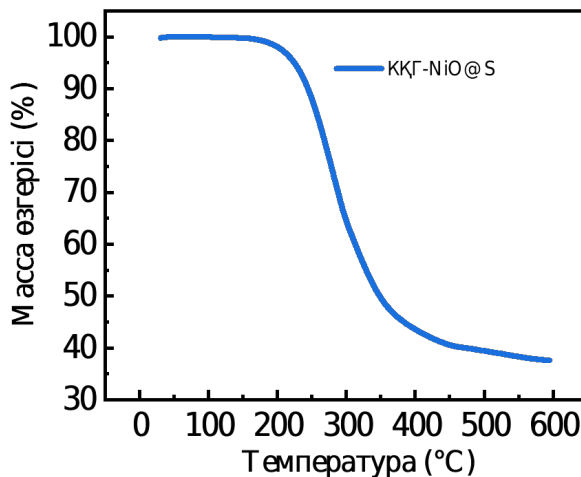
Сурет 4. КҚГ және КҚГ-NiO композитінің XRD нәтижелері

XPS талдауы КҚГ-NiO никель композитінің элементтік құрамы мен беттік қабаттағы байланыс түрлерін анықтау үшін жасалды. Жалпы спектр мен Ni 2p негізгі деңгейінің спектрлері -суретте келтірілген. Барлық спектрлерді калибрлеу үшін 284,8 эВ көміртегінің C1s шыңы пайдаланылды. КҚГ /NiO-ның Ni 2p XPS спектрлері 5-суретте көрсетілген. КҚГ-NiO-ның Ni 2p XPS спектрлері төрт шыңнан тұрады, оның ішінде спин-орбиталық дублет және екі қосымша шыңдар. Олардың Ni2p_{1/2}, Ni2p_{3/2}, Sat.1 және Sat.2, байланыс энергиялары сәйкесінше шамамен 855,3 эВ, 860,8 эВ, 863 эВ және 880 эВ аймақта орналасқан. 854 эВ жанында және 858 эВ аймағындағы әлсіз шыңдар Ni⁰ және Ni³⁺ тотыққан күйлер шыңдарына сәйкес келеді. 854 эВ центрінде орналасқан әлсіз шыңның пайда болуы көміртегі атомдарымен әрекеттесу нәтижесінде никель оксидінің Ni⁰-ге дейін тотықсыздануынан түзілуі мүмкін, Ni³⁺ тотыққан күйлері NiO одан әрі тотығу нәтижесінде болуы мүмкін деп болжанды. XPS нәтижелері бойынша КҚГ-NiO құрамында никель атомдарының Ni²⁺, Ni⁰ және Ni³⁺ түрлері бар деген қорытынды жасауға болады.



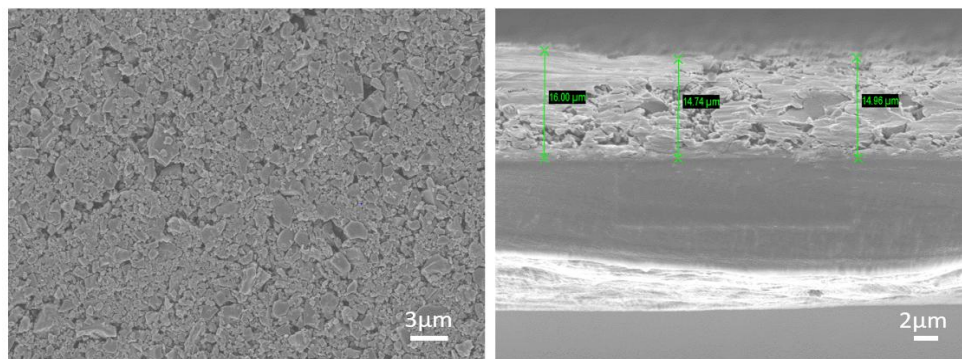
Сурет 5. КҚГ-NiO композитінің жалпы және Ni 2p XPS спектрлері

КҚГ-NiO@S композитіндегі күкірттің құрамын анықтау үшін TGA талдауы жүргізілді (сурет 6). КҚГ-NiO@S құрамындағы күкірттің үлесі шамамен $60\% \pm 1$ -ды құрады. Бұл анализ нәтижесі бастапқы алынған күкірттің мөлшерімен бірдей үлесте, КҚГ-NiO композиті кеуектеріне күкірт балқыма-диффузия әдісімен сәтті жүктелгенін көрсетеді.



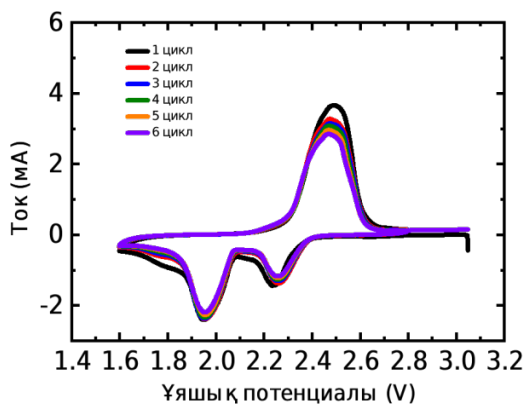
Сурет 6. КҚГ/NiO@S композитінің TGA анализі нәтижесі

Celgard 2400 PP сепараторы КҚГ-NiO композитімен түрлендірілді. КҚГ-NiO 9:1 қатынасындай NMP құрамында 3% PVDF-пен араластырылып 10 микрон қалыңдықты пайдаланып Doctor Blade құралымен жағылды. Алынған модификацияланған сепаратордың бүкіл бетінде КҚГ-NiO бірдей қалыңдықта болуы үшін орамды престеу құралынан өткізілді. Сепаратордың өзгертілген бетінің қалыңдығы SEM әдісімен бағаланды (сурет 7). Көлденең қима суреттерінің нәтижелері сепаратор бетінде КҚГ-NiO қапталған орташа қалыңдық 15 мкм тең екенін көрсетті. Беттік қабат тығыздығы біркелкі екенін байқауға болады.

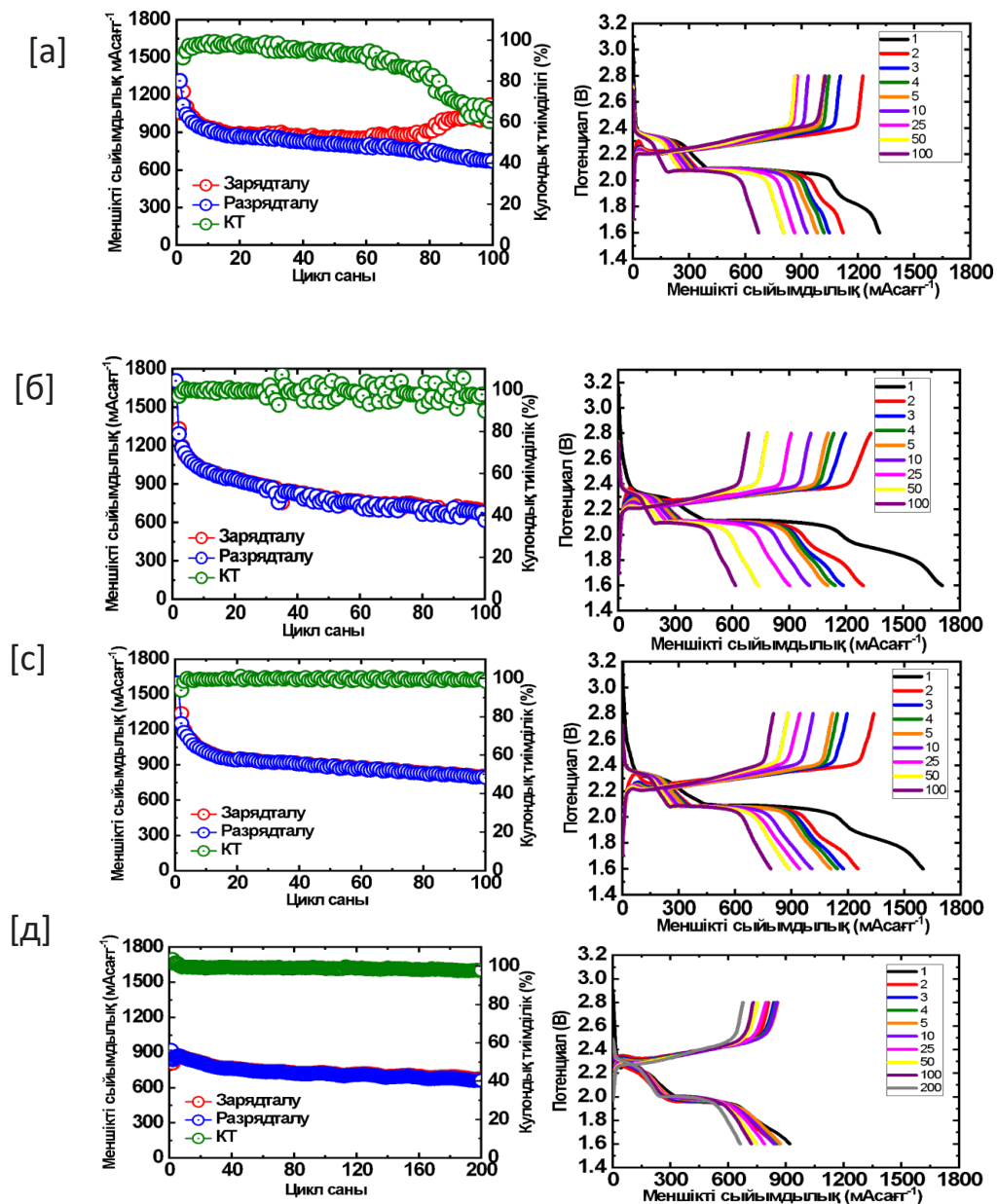


Сурет 7. КҚГ-NiO композитімен модификацияланған сепаратордың СЭМ көлденең қимасы

8 суретте КҚГ-NiO@S/ КҚГ-NiO сепаратор ұяшығының $0,1 \text{ мВ с}^{-1}$ сканерлеу жылдамдығындағы алғашқы алты циклге арналған қайтымды CV қисықтары көрсетілген. Катодтық сканерлеуде элементар күкірттің (S_8) ұзын тізбекті полисульфидтерге және Li_2S_2/Li_2S тотықсыздануына сәйкес шыңдар шамамен 2,3 В және 1,9 В аймағында пайда болды. Анодтық сканерлеу Li_2S_2/Li_2S -тің S_8 -ге қайтымды электрохимиялық түрленуіне жататын 2,5 В шамасында кең жалғыз шыңды көрсетеді. Цикл бойынша бірдей қайталанатын CV қисықтары ұяшықтың жақсы электрохимиялық тұрақтылығын және электрохимиялық процестердің қайтымдылығын көрсетеді (сурет 8).



Сурет 8. КҚГ-NiO модификацияланған сепараторы бар КҚГ-NiO@S катодтан тұратын ұяшықтың CV анализі

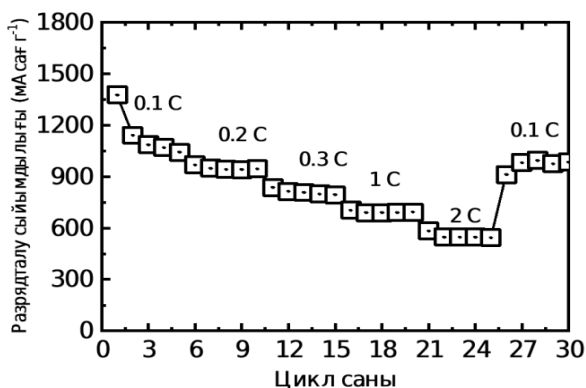


Сурет 9. Li-S ұяшықтарының электрохимиялық өнімділігі а) КҚҒ@S катодты, жалаң –сепараторлы ұяшықтың 0,1С-дағы, КҚҒ-NiO@S катодты, КҚҒ-NiO –сепараторлы ұяшықтың б) 0,1 С с) 0,2 С д) 1,0 С-дағы циклдік өнімділік және разрядталу/зарядталу қисықтары

Катод материалы ретінде КҚҒ@S композитінің электрохимиялық өнімділігін зерттеу үшін бастапқыда ұяшық модификацияланған сепараторсыз құрастырылды. Никель оксидінің синтезге бастапқы алынған үлесі NiNO_3 20% болды. Анод

ретінде Li металл дискілері, электролит ретінде 2% LiNO₃ бар LiTFSI және сепаратор ретінде Celgard 2400 PP пайдаланылды. КҚГ@S модификацияланған сепараторсыз 0,1C-де және КҚГ-NiO@S модификацияланған сепаратормен 0,1C, 0,2C, 1,0C әр түрлі ток жылдамдықтарындағы катодты ұяшықтардың циклдік өнімділігі мен разрядталу/зарядталу өнімділіктері зерттелді. Модификацияланған сепараторы бар және жоқ (сурет 9) КҚГ@S, КҚГ-NiO@S батареяларының гальваностатикалық заряд/разряд қисықтары катодтың бірінші разрядтық платосы 2,3-2,4 В-қа жақын екенін көрсетеді, ал екіншісі разряд үстірті 2,0 және 2,1 В аралығында. Бұл екі разрядтық үстірт сәйкесінше жоғары және төмен ретті литий полисульфидтеріне күкірттің тотықсыздануының екі сатысына сәйкес келеді. Шамамен 2,4 В платосы бұл күкірттің кері тотығуына сәйкес келеді. КҚГ@S катодының бастапқы разрядтау сыйымдылығы 1313±20 мАсағ г⁻¹ болды, ал 100 циклден кейінгі мәні 669±10 мАсағ г⁻¹ болды, сыйымдылық 51 % ұстап тұрумен төмендеді. Өзгертілген сепараторы жоқ КҚГ@S катодты материалы 0,1C ток жылдамдығында тұрақсыз Кулондық тиімділікті көрсетті. КҚГ-NiO@S катод КҚГ-NiO сепараторы бар ұяшық бастапқы разрядтау сыйымдылығы 0,1C кезінде алғашқы разрядталу сыйымдылығы 1705±20 мАсағ г⁻¹ болды, 0,2C-де бастапқы разрядталу сыйымдылығы 1599±20 мАсағ г⁻¹, 1,0C-де 919±10 мАсағ г⁻¹ сыйымдылықты көрсетті. КҚГ-NiO@S катод КҚГ-NiO сепараторы бар ұяшықтар КҚГ@S модификацияланған сепараторсыз ұяшықпен салыстырғанда жоғары тұрақтылық пен жоғары Кулондық тиімділігімен ерекшеленді.

Жылдамдық қабілеттілік сынағы КҚГ-NiO@S / КҚГ-NiO сепараторлы жартылай ұяшығының жоғары жылдамдық өнімділігін көрсеткенін көрсетті (сурет 10). Атап айтқанда, 0,1C, 0,2C, 0,3C, 1,0C және 2,0C ағымдағы жылдамдықтарда КҚГ-NiO@S / КҚГ-NiO ұяшығы шамамен 1376±20, 967±10, 836±10, 703±10 және 583±10 мАсағ г⁻¹ разрядталу сыйымдылықтарын көрсетті. Қайтадан токтың жылдамдығы мәні 0,1C ток жылдамдығында, ұяшық 910±10 мАсағ г⁻¹ разрядтық сыйымдылығын сақтап қалды.



Сурет 10. КҚГ-NiO@S катодты, КҚГ-NiO-сепараторлы ұяшықтың әр түрлі жылдамдықтардағы электрохимиялық өнімділігі

Қорытынды

Қорытындылай келе, КҚГ-NiO (20 NiNO₃ масса %) композиті сәтті синтезделді және катодты материал ретінде сондай-ақ КҚГ-NiO сепаратор модификаторы ретінде қолданылды. XPS деректері бойынша КҚГ-NiO композиті құрамында Ni²⁺, Ni⁰ және Ni³⁺ никельдің байланыстары бар екені анықталды. Никель оксидінің бар екені XRD талдауымен расталды. КҚГ-NiO@S композитіндегі күкірттің нақты мөлшері TGA әдісімен 60±1%-ға жуық екені расталды. Модификацияланған және модификацияланбаған сепаратор жағдайында КҚГ@S, КҚГ-NiO@S катодты ұяшықтардың электрохимиялық көрсеткіштері талданды. КҚГ-NiO@S катодты және КҚГ-NiO сепараторлы батареялар КҚГ@S түрленбеген сепараторлы ұяшықпен салыстырғанда жақсартылған электрохимиялық өнімділікті көрсетті. КҚГ-NiO сепаратор бетін жабудың орташа қалыңдығы 15±1 мкм-ге тең болды. КҚГ-NiO@S катоды және КҚГ-NiO сепараторлы ұяшықтар КҚГ@S катоды мен модификацияланбаған сепараторлы ұяшықтармен салыстырғанда жоғары тұрақтылық пен кулондық тиімділікті көрсетті. КҚГ-NiO@S композитінен және КҚГ-NiO сепараторынан жасалған катодты материал бастапқыда 1599±20 мА сағ г⁻¹ разрядтық сыйымдылыққа қол жеткізіп, 0,2 С жылдамдықта 100 циклден кейін 790±10 мА сағ г⁻¹ сыйымдылықты көрсетті.

References

- Azam, S., Wei, Z., & Wang, R. (2023). Adsorption-catalysis design with cerium oxide nanorods supported nickel-cobalt-oxide with multifunctional reaction interfaces for anchoring polysulfides and accelerating redox reactions in lithium sulfur battery. *Journal of Colloid and Interface Science*, 635, 466–480.
- Chabu, J., & Li, Y. (2019). Biomass-Derived N, O, and S-Tridoped Hierarchically Porous Carbon as a Cathode for Lithium–Sulfur Batteries. *ChemNanoMat*, 5(5), 612–618.
- Chen, K., Cao, J., Lu, Q., Wang, Q., Yao, M., Han, M., & Niu, Z. (2018). Sulfur nanoparticles encapsulated in reduced graphene oxide nanotubes for flexible lithium-sulfur batteries. *Nano Research*, 11(3), 1345–1357.
- Chen, Y., Wang, T., Tian, H., Su, D., & Zhang, Q. (2021). Advances in Lithium–Sulfur Batteries: From Academic Research to Commercial Viability. In *Advanced Materials* (Vol. 33, Issue 29). John Wiley and Sons Inc.
- Chung, S. H., & Chang, C. H. (2018). Progress on the Critical Parameters for Lithium–Sulfur Batteries to be Practically Viable. In *Advanced Functional Materials* (Vol. 28, Issue 28). Wiley-VCH Verlag.
- Dörfler, S., Walus, S., Locke, J., Fotouhi, A., Auger, D. J., Shateri, N., Abendroth, T., Härtel, P., Althues, H., & Kaskel, S. (2021). Recent Progress and Emerging Application Areas for Lithium–Sulfur Battery Technology. *Energy Technology*, 9(1).
- Du, Z., Chen, X., Hu, W., Chuang, C., Xie, S., Hu, A., Yan, W., Kong, X., Wu, X., Ji, H., & Wan, L. J. (2019). Cobalt in Nitrogen-Doped Graphene as Single-Atom Catalyst for High-Sulfur Content Lithium-Sulfur Batteries. *Journal of the American Chemical Society*, 141(9), 3977–3985.
- Garcia, J. R., Do Lagoa, D. C. B., Cesar, D. V., & De Senna, L. F. (2017). The effect of electrolyte pH on the Ni-Co mixed oxides coatings produced from citrate baths. *Materials Research*, 20, 748–757.
- Huang, S. S., Tung, M. T., Huynh, C. D., Hwang, B. J., Bieker, P. M., Fang, C. C., & Wu, N. L. (2019). Engineering Rice Husk into a High-Performance Electrode Material through an Ecofriendly Process and Assessing Its Application for Lithium-Ion Sulfur Batteries. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(8), 7851–7861.
- Lee, S. Y., Choi, Y., Kim, J. K., Lee, S. J., Bae, J. S., & Jeong, E. D. (2021). Biomass-garlic-peel-derived porous carbon framework as a sulfur host for lithium-sulfur batteries. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 94, 272–281.

- Li, G., Sun, J., Hou, W., Jiang, S., Huang, Y., & Geng, J. (2016). Three-dimensional porous carbon composites containing high sulfur nanoparticle content for high-performance lithium-sulfur batteries. *Nature Communications*, 7.
- Li, H., Zhu, S., Xi, H., & Wang, R. (2006). Nickel oxide nanocrystallites within the wall of ordered mesoporous carbon CMK-3: Synthesis and characterization. *Microporous and Mesoporous Materials*, 89(1–3), 196–203.
- Li, J., Xie, F., Pang, W., Liang, Q., Yang, X., & Zhang, L. (2024). Regulate transportation of ions and polysulfides in all-solid-state Li-S batteries using ordered-MOF composite solid electrolyte. In *Sci. Adv* (Vol. 10).
- Li, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xu, M., Tatara, R., Dokko, K., & Watanabe, M. (2017). Three-Dimensionally Hierarchical Ni/Ni₃S₂/S Cathode for Lithium-Sulfur Battery. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(44), 38477–38485.
- Lin, H., Yang, L., Jiang, X., Li, G., Zhang, T., Yao, Q., Zheng, G. W., & Lee, J. Y. (2017). Electrocatalysis of polysulfide conversion by sulfur-deficient MoS₂ nanoflakes for lithium-sulfur batteries. *Energy and Environmental Science*, 10(6), 1476–1486.
- Mai, T. T., Vu, D. L., Huynh, D. C., Wu, N. L., & Le, A. T. (2019). Cost-effective porous carbon materials synthesized by carbonizing rice husk and K₂CO₃ activation and their application for lithium-sulfur batteries. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 4(2), 223–229.
- Manoj, M., Muhamed Ashraf, C., Jasna, M., Anilkumar, K. M., Jinisha, B., Pradeep, V. S., & Jayalekshmi, S. (2019). Biomass-derived, activated carbon-sulfur composite cathode with a bifunctional interlayer of functionalized carbon nanotubes for lithium-sulfur cells. *Journal of Colloid and Interface Science*, 535, 287–299.
- Meng, L., Song, C., Lin, Q., Sun, G., Long, J., Zhang, X., Li, H., Hu, J., & Ye, S. (2023). CO₂-Activation Nanofiber Carbon Paper as a High-Performance Interlayer for Trapping Polysulfides in Li-S Batteries. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 15(17), 21585–21594.
- Ogoke, O., Wu, G., Wang, X., Casimir, A., Ma, L., Wu, T., & Lu, J. (2017). Effective strategies for stabilizing sulfur for advanced lithium-sulfur batteries. In *Journal of Materials Chemistry A* (Vol. 5, Issue 2, pp. 448–469). Royal Society of Chemistry.
- Ould Ely, T., Kamzabek, D., Chakraborty, D., & Doherty, M. F. (2018). Lithium-Sulfur Batteries: State of the Art and Future Directions. In *ACS Applied Energy Materials* (Vol. 1, Issue 5, pp. 1783–1814). American Chemical Society.
- Rakhimbek, I., Baikarov, N., Konarov, A., Mentbayeva, A., Zhang, Y., & Bakenov, Z. (2023). Nickel and nickel oxide nanoparticle-embedded functional carbon nanofibers for lithium sulfur batteries. *Nanoscale Advances*, 6(2), 578–589.
- Robinson, J. B., Xi, K., Kumar, R. V., Ferrari, A. C., Au, H., Titirici, M. M., Puerto, A. P., Kucernak, A., Fitch, S. D. S., Araez, N. G., Brown, Z. L., Pasta, M., Furness, L., Kibler, A. J., Walsh, D. A., Johnson, L. R., Holc, C., Newton, G. N., Champness, N. R., & Shearing, P. R. (2021). 2021 roadmap on lithium sulfur batteries. In *JPhys Energy* (Vol. 3, Issue 3). IOP Publishing Ltd.
- Seh, Z. W., Sun, Y., Zhang, Q., & Cui, Y. (2016). Designing high-energy lithium-sulfur batteries. In *Chemical Society Reviews* (Vol. 45, Issue 20, pp. 5605–5634). Royal Society of Chemistry.
- Sultanov, F., Zhumasheva, N., Dangaliyeva, A., Zhaisanova, A., Baikarov, N., Tatykayev, B., Yeleuov, M., Bakenov, Z., & Mentbayeva, A. (2024). Enhancing lithium-sulfur battery performance with biomass-derived graphene-like porous carbon and NiO nanoparticles composites. *Journal of Power Sources*, 593.
- Sun, Z., Hu, Y., Qin, F., Lv, N., Li, B., Jiang, L., Zhang, Z., & Liu, F. (2021). Sulfurized polyacrylonitrile cathodes with electrochemical and structural tuning for high capacity all-solid-state lithium-sulfur batteries. *Sustainable Energy and Fuels*, 5(21), 5603–5614.
- Wang, J., Liang, J., Wu, J., Xuan, C., Wu, Z., Guo, X., Lai, C., Zhu, Y., & Wang, D. (2018). Coordination effect of network NiO nanosheet and a carbon layer on the cathode side in constructing a high-performance lithium-sulfur battery. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(15), 6503–6509.
- Wang, W., Zhao, Y., Zhang, Y., Liu, N., & Bakenov, Z. (2021). Nickel embedded porous macrocellular carbon derived from popcorn as sulfur host for high-performance lithium-sulfur batteries. *Journal of Materials Science and Technology*, 74, 69–77.

Wang, Z., Xu, X., Ji, S., Liu, Z., Zhang, D., Shen, J., & Liu, J. (2020). Recent progress of flexible sulfur cathode based on carbon host for lithium-sulfur batteries. *Journal of Materials Science and Technology*, 55, 56–72.

Xiao, Q., Li, G., Li, M., Liu, R., Li, H., Ren, P., Dong, Y., Feng, M., & Chen, Z. (2020). Biomass-derived nitrogen-doped hierarchical porous carbon as efficient sulfur host for lithium-sulfur batteries. *Journal of Energy Chemistry*, 44, 61–67.

Yang, K., Gao, Q., Tan, Y., Tian, W., Qian, W., Zhu, L., & Yang, C. (2016). Biomass-Derived Porous Carbon with Micropores and Small Mesopores for High-Performance Lithium-Sulfur Batteries. *Chemistry - A European Journal*, 22(10), 3239–3244.

Yang, X., Li, X., Adair, K., Zhang, H., & Sun, X. (2018). Structural Design of Lithium-Sulfur Batteries: From Fundamental Research to Practical Application. In *Electrochemical Energy Reviews* (Vol. 1, Issue 3). Springer Singapore.

Zhang, H., Tian, D., Zhao, Z., Liu, X., Hou, Y. N., Tang, Y., Liang, J., Zhang, Z., Wang, X., & Qiu, J. (2019). Cobalt nitride nanoparticles embedded in porous carbon nanosheet arrays propelling polysulfides conversion for highly stable lithium-sulfur batteries. *Energy Storage Materials*, 21, 210–218.

Zhang, L., Wang, Y., Niu, Z., & Chen, J. (2019). Advanced nanostructured carbon-based materials for rechargeable lithium-sulfur batteries. *Carbon*, 141, 400–416.

Zhao, M., Peng, H. J., Li, B. Q., & Huang, J. Q. (2023). Kinetic Promoters for Sulfur Cathodes in Lithium-Sulfur Batteries. *Accounts of Chemical Research*.

Zhu, K., Wang, C., Chi, Z., Ke, F., Yang, Y., Wang, A., Wang, W., & Miao, L. (2019). How Far Away Are Lithium-Sulfur Batteries From Commercialization? *Frontiers in Energy Research*, 7(November), 1–12.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 75–93

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.251>

UDC 615.32

D.T. Kassymova*, G.E. Zhusupova, 2024.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: Dariya.kassymova@kaznu.kz

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF TOPICAL HERBAL GELS WITH PLANT EXTRACTS FROM *LIMONIUM GMELINII*

Kassymova Dariya – PhD candidate, Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Dariya.kassymova@kaznu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3808-2051>;

Zhusupova Galiya – Doctor of Chemical Science, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-2040>.

Abstract. The article presents the results of the development of topical gel formulations based on plant extracts derived from the roots and the above-ground parts of *Limonium gmelinii*. The study evaluated the compatibility of plant extracts with excipients and optimized their content in the gel formulations. Various concentrations of carbomer and PG were tested to determine the most optimal gel compositions. The optimal formulations were selected based on organoleptic characteristics, colloidal and thermal stability, rheological properties, and the release kinetics of plant extracts. Gels containing 1.0% carbomer demonstrated optimal viscosity and thixotropic behavior, ensuring ease of application and product stability. The use of 10.0% PG resulted in a cumulative release of 87.36% for the above-ground parts extracts and 85.78% for the root extracts in *in vitro* tests. Long-term stability of the gels was confirmed over 12 months of storage.

Key words: *Limonium gmelinii*, topical gel formulations, soft dosage forms, carbomer, pharmaceutical development, plant-based extracts

Acknowledgements.

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19174425 for 2023-2025 years).

Д.Т. Касымова*, Г.Е. Жусупова, 2024.

«Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті», Алматы, Қазақстан.

*E-mail: Dariya.kassymova@kaznu.kz

LIMONIUM GMELINII ӨСІМДІГІНЕН АЛЫНҒАН ӨСІМДІК ЭКСТРАКТТАРЫ БАР ЖЕРГІЛІКТІ ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН ГЕЛЬДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

Касымова Дария – PhD докторанты, зерттеуші, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, Dariya.kassymova@kaznu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3808-2051>;
Жусупова Галия – химия ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-2040>.

Аннотация. Мақалада *Limonium gmelinii* өсімдігінің тамыры мен жер үсті бөліктерінен алынған өсімдік экстракттары негізінде жергілікті қолдануға арналған гельдік формулаларды әзірлеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу барысында өсімдік экстракттарының қосымша заттармен үйлесімділігі бағаланып, гель құрамындағы оңтайлы мөлшері анықталды. Гельдердің құрамын анықтау үшін карбомер мен пропиленгликольдің әртүрлі концентрациялары зерттелді. Оңтайлы құрамдар органолептикалық қасиеттері, коллоидтық және термиялық тұрақтылығы, реологиялық сипаттамалары және өсімдік экстракттарының босап шығу кинетикасы негізінде таңдалды. 1,0% карбомерді қамтитын гельдер оңтайлы тұтқырлық пен тиксотроптық қасиеттерді көрсетті, бұл олардың қолдану жеңілдігі мен өнімнің тұрақтылығын қамтамасыз етті. Пропиленгликольдің 10,0% концентрациясы *in vitro* сынақтарында жер үсті бөліктерінің экстракттары үшін 87,36% және тамыр экстракттары үшін 85,78% жинақталған босап шығуын қамтамасыз етті. Гельдердің ұзақ мерзімді тұрақтылығы 12 ай бойы сақтау кезінде расталды.

Түйін сөздер: *Limonium gmelinii*, жергілікті қолдануға арналған гельдер, жұмсақ дәрілік түрлер, карбомер, фармацевтикалық әзірлеу, өсімдік экстракттары.

Д.Т. Касымова*, Г.Е. Жусупова, 2024.

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

*E-mail: Dariya.kassymova@kaznu.kz

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ГЕЛЕЙ ДЛЯ МЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЭКСТРАКТАМИ ИЗ РАСТЕНИЙ ВИДА *LIMONIUM GMELINII*

Касымова Дария Талгатовна – PhD докторант, исследователь, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, Dariya.kassymova@kaznu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3808-2051>;

Жусупова Галия Евентаевна – доктор химических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-2040>.

Аннотация: В статье представлены результаты разработки гелевых форм для местного применения на основе растительных экстрактов, полученных из корней и надземной части *Limonium gmelinii*. В ходе исследования была оценена совместимость растительных экстрактов с вспомогательными веществами и оптимизировано их содержание в составе гелей. Для определения оптимальных составов были изучены различные концентрации карбомера и пропиленгликоля. Оптимальные составы были выбраны на основе органолептических характеристик, коллоидной и термической стабильности, реологических свойств и кинетики высвобождения растительных экстрактов. Гели, содержащие 1,0% карбомера, продемонстрировали оптимальную вязкость и тиксотропное поведение, что обеспечило удобство нанесения и стабильность продукта. Использование 10,0% пропиленгликоля обеспечило кумулятивное высвобождение экстрактов надземной части растения на уровне 87,36% и экстрактов корней — 85,78% *in vitro* тестах. Долгосрочная стабильность гелей была подтверждена в течение 12 месяцев хранения.

Ключевые слова: *Limonium gmelinii*, гели для местного применения, мягкие лекарственные формы, карбомер, фармацевтическая разработка, растительные экстракты.

Introduction. According to the WHO, plant materials are actively used in various countries both as traditional remedies and as ingredients in over-the-counter drugs and pharmaceutical raw materials, constituting a significant part of the global pharmaceutical market. WHO data from 2019 show that 109 countries have a registration system for herbal medicines, and 34 countries have included them in their national essential medicines list (NEML), indicating a growing interest in phytotherapy (WHO, 2019).

This trend is driven by an increasing number of studies on the chemical composition of plant extracts, improvements in the extraction techniques of biologically active compounds (BACs), and the proven efficacy of herbal medicines (Wegener, 2017). As of today, between 35,000 and 70,000 plant species have been screened for their therapeutic potential (Dapar, et al., 2020). Herbal preparations are widely used for respiratory, gastrointestinal, and urinary diseases, joint disorders, and as sedatives (Wegener, 2017).

Due to their wide range of therapeutic activities, plant extracts are highly valued in soft dosage forms such as gels as well. The pharmacological activity of herbal medicines is attributed to their complex chemical composition and the unique combinations of BACs, which often act synergistically, making them effective in treating various diseases (Wink, 2015). The use of plant-based preparations for topical treatment of skin conditions has several advantages, including ease of use, lack of systemic side effects, and the avoidance of first-pass liver metabolism (Javadzadeh and Azharshekoufeh Bahari, 2017).

Numerous studies in recent years have demonstrated the antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, and other beneficial properties of plant extracts for treating skin diseases. These extracts can also positively affect immune processes in the skin, improving inflammatory responses (Sitarek, et al., 2020).

There are positive results from testing plant-based gels for atopic dermatitis (Chu, et al., 2020), psoriasis (Herman and Herman, 2016), vitiligo (Choo, et al., 2020), arthritis (Aiyalu, et al., 2016) and osteoarthritis (Cameron and Chrubasik, 2013), herpes (Aslani, et al., 2018), diabetic foot ulcers (Marchianti, et al., 2021) and etc. The extracts used in these studies exhibited antimicrobial and wound-healing, antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, hepatoprotective, and antipyretic properties.

Extracts from the roots and the above-ground parts of *Limonium gmelinii* (*L. gmelinii*) are rich in polyphenols, flavonols, tannins, and other bioactive compounds (Gadetskaya et al., 2015; Zhussupova et al., 2015), which explain their therapeutic potential. Extracts derived from the roots of this plant were used in the ointment “Limonidin,” which is recommended for treating herpes, ulcerative processes, and inflammatory conditions in the oral cavity (Patent 14418 RK, 2008). However, hydrophilic gel bases may be more suitable for delivering active extracts from *L. gmelinii* due to their polarity and good solubility in aqueous solutions.

In this regard, the aim of this study was to develop and formulate topical gel preparations based on plant extracts from *Limonium gmelinii*, in accordance with ICH Q8 “Pharmaceutical Development” guidelines (European Medicines Agency, 2015). Additionally, the study aimed to evaluate the physicochemical properties and stability of the formulated gels to ensure their suitability for potential therapeutic use.

Methods and materials

The roots and above-ground parts of *L. gmelinii* were collected during the flowering period in Almaty region in 2020. The raw materials were authenticated using macro- and microscopy methods, thoroughly cleaned, dried, and then ground to a particle size of 2.0–3.0 mm. For the extraction of the above-ground parts and roots, the plant material was subjected to single ultrasonic extraction in an Elmasonic S 450 bath (Germany) at a raw material-to-extractant ratio of 1:5 (roots) and 1:7 (above-ground parts) for 45 minutes at 30°C. The filtered hydroalcoholic extracts were concentrated under vacuum at 40–45°C until dry to obtain a brown crystalline powder (Kassymova, et al., 2023).

The preparation of gel samples was carried out in several stages: 1) preparation of the aqueous dispersion of carbomer and its homogenization under constant stirring with the addition of a co-solvent to improve the wetting of the polymer; 2) neutralization of the base to pH 5.5–6.0; 3) preparation of solutions of plant extracts (active pharmaceutical ingredients, API) and the addition of excipients until all components were fully dissolved; 4) gradual mixing of the gel base with the solution of plant extracts and excipients; 5) adjustment of the gel pH to 5.5–6.0.

The compatibility of plant extracts with excipients was studied using IR spectra analysis on a PerkinElmer Spectrum BX Fourier-transform infrared spectrometer (USA). All gel samples based on plant extracts were tested for pH using a HANNA HI 2020-02 Edge electronic pH meter (USA), organoleptic properties, colloidal stability (centrifugation at 3000 rpm), thermostability (freezing/thawing), and homogeneity (Aiyalu, et al., 2016b; Aslani et al., 2018; Jamadar and Husen Shaikh, 2017).

The rheological behavior of the gels was evaluated using a Rheolab QC rotational

viscometer (Austria) in the shear rate range of 0.01–150 s⁻¹. The release kinetics of the API was studied using the *in vitro* method through a dialysis membrane with a Franz diffusion cell immersed in a thermostatic bath at 36–37°C as described in (Shahtalebi, et al., 2018). The stability during storage, organoleptic properties, pH, and the quantitative content of tannins and polyphenols were monitored for twelve months for all gel samples stored at room temperature (Aslani, et al., 2018).

The total polyphenol content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent following the methodology described in (Kupina, et al., 2018), with certain modifications.

Results and Discussion

Justification for the selection of gel components and determination of their compatibility.

At the first stage, the compatibility of the extracts with excipients was studied, namely with the hydrophilic gelling agent carbomer, solvents—propylene glycol (PG), polyethylene glycol-400 (PEG-400), glycerin—which also serve as humectants and penetration enhancers, the neutralizer—triethanolamine (TEA), and the preservative—potassium sorbate. Menthol was used as a fragrance, but it also acted as a penetration enhancer (Leon Lachman, 2009). The compatibility of these gel components and extracts was studied using IR spectrum analysis of individual components and their mixtures with extracts from the above-ground parts and roots of *Limonium gmelinii*.

Each excipient was thoroughly mixed with extracts from the roots and the above-ground parts, dissolving them if necessary in 20% ethanol, at concentrations used in the gel formulation. Each mixture was placed in dark bottles and stored for one month while monitoring any changes.

After 30 days of storing the plant extracts mixed with various excipients at room temperature, no physical changes were observed, indicating their compatibility (Table 1).

Table 1 – Results of the study of plant extracts compatibility with gel excipients

Mixture with excipients	Extract from the roots	Extract from the above-ground parts
	Physical changes	
Carbomer	-	-
Carbomer + TEA	-	-
Glycerin	-	-
Propylene glycol	-	-
PEG-400	-	-
Menthol	-	-
Potassium sorbate	-	-

In the IR spectra of the extracts from the above-ground parts (Figure 1 (a)) and roots (Figure 1 (b)), broad absorption bands are observed at 3407 and 3399.1 cm⁻¹, respectively, characteristic of -OH groups involved in the formation of intermolecular hydrogen bonds in di- and/or polymers. The absorption bands at 1612.22 and 1613.4 cm⁻¹ indicate C–C stretching vibrations of aromatic carbon atoms. Peaks between 700

and 1800 cm^{-1} , known as the “fingerprint region,” may also be associated with aromatic ring stretching ($\text{C}=\text{C}-\text{C}$), characteristic of polyphenolic compounds (1450.8 , 1348.43 , 1035.49 , 766.47 cm^{-1} for root extracts; 1447.25 , 1037.08 , 767.25 cm^{-1} for the above-ground parts). Peaks at 1225.63 and 1233.09 cm^{-1} may also correspond to the vibrations of the phenolic $\text{C}-\text{O}-\text{H}$ group.

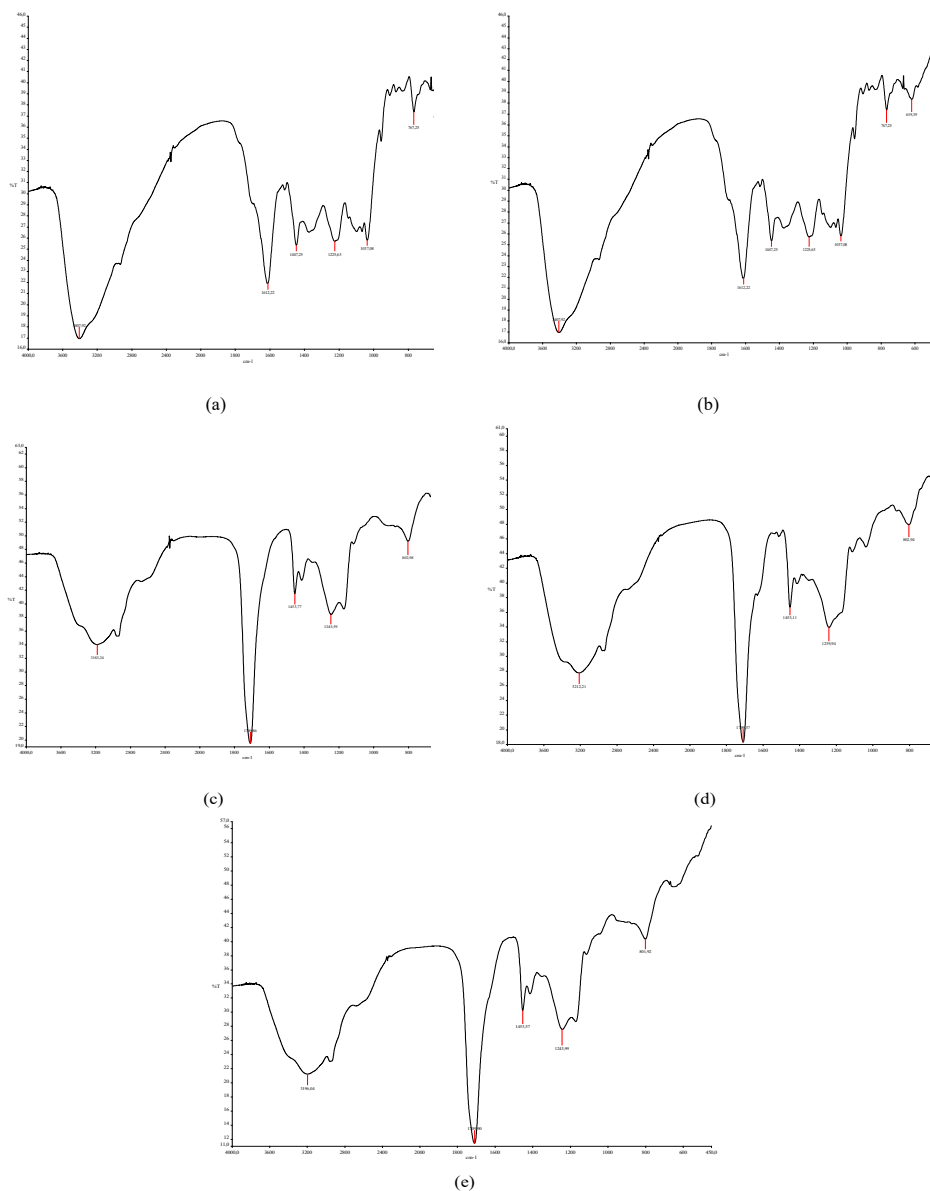


Figure 1. IR spectra of extract from the above-ground parts (a), extract from the roots (b), carbomer (c), mixture of extracts from the roots with carbomer (d), mixture of extracts from the above-ground parts with carbomer (e)

The IR spectrum of carbomer (Figure 1 (c)) is characterized by the largest absorption band at 1709.86 cm^{-1} , which is typical of C=O stretching vibrations involved in hydrogen bonding. In the physical mixture of carbomer and the extracts, characteristic peaks of the individual components are observed, indicating no chemical interaction between them (Figure 1 (d, e)).

Similarly, the absorption spectra of the mixtures of extracts with other excipients were analyzed, leading to the conclusion that the components are compatible.

Thus, based on experimental observations and IR analysis, it was concluded that there was no chemical or physical interaction between the gel components, and their compatibility was acceptable.

Determination of the optimal concentration of the gelling agent.

After establishing the compatibility of excipients and plant extracts derived from *L. gmelinii*, various gel formulations were tested. The aim of this stage was to select the optimal concentrations of excipients to achieve the desired characteristics in the final dosage form.

As mentioned earlier, the hydrophilic polymer carbomer was chosen as the gelling agent, due to its non-toxicity, ability to form transparent and bioadhesive gels, and the absence of skin irritation with repeated use. A technological advantage of carbomers also is their ability to form gels at room temperature.

To thicken the compositions with carbomer, the most commonly used mechanism is the neutralization of the polymer with an appropriate base. Triethanolamine (TEA) was selected as the neutralizing agent. The pH of the gels before neutralization with TEA was 3.5–4.0. According to the manufacturer's recommendations and literature data, the carbomer was neutralized to a pH of 5.5–6.0, which is considered favorable for topical skin application and does not provoke allergic reactions (Nurman, et al., 2019).

The concentration of carbomer varied from 0.5% to 1.5% (Table 2), while the concentrations of other components remained constant. The gels were evaluated organoleptically, as well as for homogeneity, flowability, viscosity, pH, and in tests for aggregate and thermal stability.

Table 2 – Composition of model gel samples with varying concentrations of carbomer

Gel components	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Extract from the above-ground parts, %	5.0	5.0	5.0	-	-	-
Extract from the roots, %	-	-	-	5.0	5.0	5.0
Carbomer, %	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Glycerin, %	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Propylene glycol, %	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Menthol, %	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ethanol (96.0%), %	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Potassium sorbate, %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Triethanolamine, %	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Purified water, %	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.

The organoleptic properties of the gels were evaluated immediately after preparation by visual inspection in transparent bottles under transmitted or reflected daylight. All

the gel samples exhibited an acceptable pH, were transparent and homogeneous. All compositions remained stable in the phase separation test during centrifugation, where no sedimentation, phase separation, or coalescence was observed, further confirming the compatibility of the extracts and excipients. The pH of the gel samples before neutralization was in the range of 3.0–3.5 but was later adjusted to pH 5.0–6.0, which corresponds to the pH of topical skin applications (Nurman, et al., 2019). All results of the physicochemical analysis of the gels are summarized in Table 3.

Table 3 – Physicochemical properties of model gel samples

Quality indicators	F1	F2	F3	F4	F5	F6
pH	5.67±0.03	5.74±0.05	5.81±0.02	5.66±0.03	5.95±0.02	5.82±0.05
Viscosity, Pa*s	0.35±0.05	0.64±0.03	1.12±0.13	0.41±0.06	0.67±0.11	1.17±0.09
Appearance	Flowing, homo- geneous, transparent dark-brown sample, easily spreadable	Thick, plastic, ho- mogeneous, transparent dark-brown sample, easi- ly spreadable	Jelly-like, homogeneous, transparent dark-brown sample, easily spreadable	Flowing, homo- geneous, transparent dark-brown sample, easily spreadable	Gel-like, homo- geneous, transparent dark-brown sample, easily spreadable	Jelly-like, homo- geneous, transparent dark-brown sample, easily spreadable
Aggregate stability (centrifugation at 3000 rpm)	stable	stable	stable	stable	stable	stable
Thermal stability	stable	stable	stable	stable	stable	stable

The structural viscosity of the gels, as expected, increases with the concentration of carbomer (Figure 2) and falls within the range of 0.34–108 Pa*s (Pertsev, i dr., 2002), which is optimal for topical application. Measurements were taken at a shear rate of 100 s⁻¹, which corresponds to the approximate shear rates when squeezing the product out of the package and applying it (Khachatryan, et al., 2022).

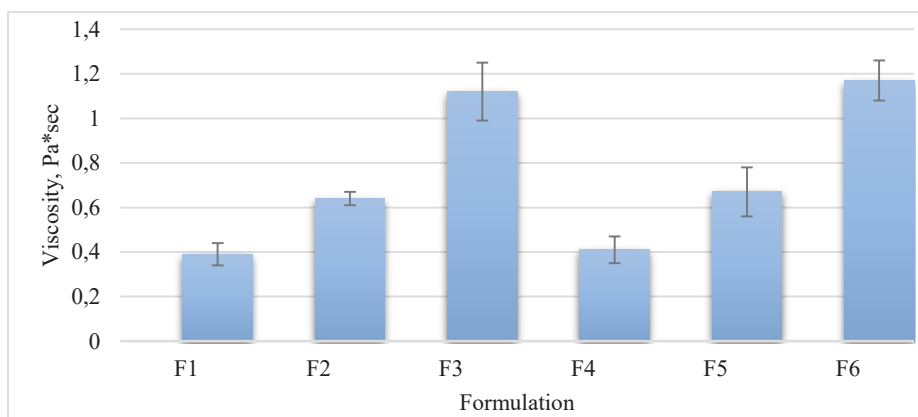


Figure 2. Structural viscosity of model gel samples

Gels with a carbomer concentration of 0.5% in samples F1 and F4 were visually insufficiently viscous, while samples F3 and F6 were thick, non-flowing, and jelly-like, which seems less convenient for patient use and may cause difficulties during subsequent technological operations (Gupta and Garg, 2002). Additionally, thick gels can limit the release of active pharmaceutical ingredients and reduce bioadhesive properties (Safitri, et al., 2021).

Based on the collected data, gels with a carbomer concentration of 1.0% were selected as the most optimal for further research. These results are consistent with those reported in previous studies. For instance, the research conducted by Suzilla W. et. al. (Suzilla, et al., 2020) found that gels formulated with 1.0% carbopol 940 had the best overall physicochemical properties, including optimal viscosity, stability, and spreadability. The study on *Boswellia* vaginal gel found that 1% carbomer formed the most stable and homogenous gel, while lower concentrations (e.g., 0.5%) resulted in insufficient viscosity and poor stability, leading to phase separation (Dehdari et al., 2021). These consistent outcomes suggest that a 1.0% carbomer concentration is a robust choice for ensuring the desired balance between the gel's texture and application ease. Moreover, higher concentrations, as noted in the research (Suzilla, et al., 2020), often lead to overly thick gels that compromise spreadability and user experience. This further supports the selection of 1.0% carbomer for the optimized formulation of topical gels.

Determination of the optimal concentration of excipients.

As co-solvents, humectants, and penetration enhancers, glycerin, propylene glycol (PG), and polyethylene glycol-400 (PEG-400) were tested. These solvents are widely used in various gel compositions and can affect both the swelling process of polymers and the solubility of active pharmaceutical ingredients (API). Propylene glycol is considered one of the best non-toxic penetration enhancers and plasticizers, increasing the transdermal absorption of many APIs (Aiyalu et al., 2016b; Budi et al., 2022). Additionally, it is reported that PG not only enhances penetration but also increases the retention of flavonoids such as chrysin and quercetin in the skin (Dyja and Jankowski, 2017). In several studies, PEG-400 or glycerin is frequently added to water when forming carbomer gels, positively affecting their rheological and mucoadhesive properties (Slavkova et al., 2023). These solvents also help dissolve menthol more effectively. The compositions of the model gel samples are presented in Table 4. The gels were formulated with constant concentrations of carbomer (1.0%) and plant extracts (5.0%).

Table 4 – Composition of model gel samples with varying concentrations of co-solvents

Gel components, %	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
Extract from the above-ground parts	5.0	-	5.0	-	5.0	-	5.0	5.0	-	-
Extract from the roots	-	5.0	-	5.0	-	5.0	-	-	5.0	5.0
Carbomer	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Glycerin	5.0	-	-	5.0	-	-	-	-	-	-
Propylene glycol	-	5.0	-	-	5.0	-	10.0	15.0	10.0	15.0

PEG-400	-	-	5.0	-	-	5.0	-	-	-	-
Ethanol (96.0%)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Menthol	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Potassium sorbate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Triethanolamine	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Purified water	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.

The physicochemical properties of gels F7–F16 were studied using the previously described methods and showed satisfactory results (Table 5).

Table 5 – Physicochemical properties of model gel samples

Quality indicators	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
pH	5.78± 0.05	5.88± 0.02	5.91± 0.05	5.82± 0.01	5.84± 0.06	5.88± 0.05	5.92± 0.03	5.78± 0.04	5.75± 0.04	5.95± 0.02
Appearance	Thick, plastic, homogeneous, transparent dark-brown sample, easily spreadable									
Aggregate stability (centrifugation at 3000 rpm)	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable

During the preparation of the laboratory gel series, it was noted that the time required to mix formulas with PG and PEG-400 into a homogeneous state was shorter than for compositions with glycerin, where lumps of swollen polymer remained for a longer time. Homogeneous gels with PG and PEG-400 were obtained within 3 hours, while it took up to 4.5 hours to prepare gels with glycerin.

However, it was more important to establish and compare the release rates of extracts from different bases using the *in vitro* method. The release kinetics directly influence the therapeutic effect of the medicinal form (Leon Lachman, 2009). Optimal compositions were also selected based on data from studies on the viscoelastic properties of the gels.

The release kinetics from the gel base were studied using the diffusion method of plant extracts through a cellulose membrane into phosphate buffer solution (pH=6.0–6.5).

The release evaluation was performed using UV spectrophotometry. The absorption maxima for both extracts corresponded to a wavelength of 268 nm, at which the optical density was measured to build calibration graphs.

According to the curves presented in Figure 3, samples F7–F9 exhibited high release rates of extracts from the gel bases. Within 10 minutes, the released amount of extracts from formulations F7, F8, and F9 was 53.4%, 60.4%, and 42.8%, respectively. The maximum release after 360 minutes was 81.8% for F8, which contained PG. The gel composition F7 with glycerin had a slightly lower release rate than F8, with a cumulative release of 78.2%. Formulation F9 had the lowest release rate, as evidenced by the first hour's result of 63.5%.

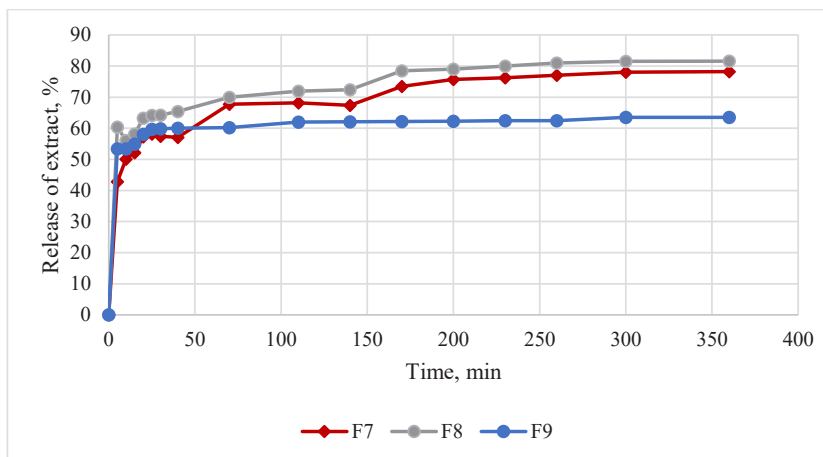


Figure 3. Release curves of the extracts from roots from formulations F7–F9

A similar release kinetics was observed for formulations F10–F12 (Figure 4). The extract from the above-ground parts diffused from the gel bases F10, F11, and F12 within 10 minutes in the amounts of 51.8%, 59.6%, and 43.1%, respectively. The highest release of extract from the above-ground parts occurred within 360 minutes from formulations F10 and F11, at 80.5% and 82.3%, respectively.

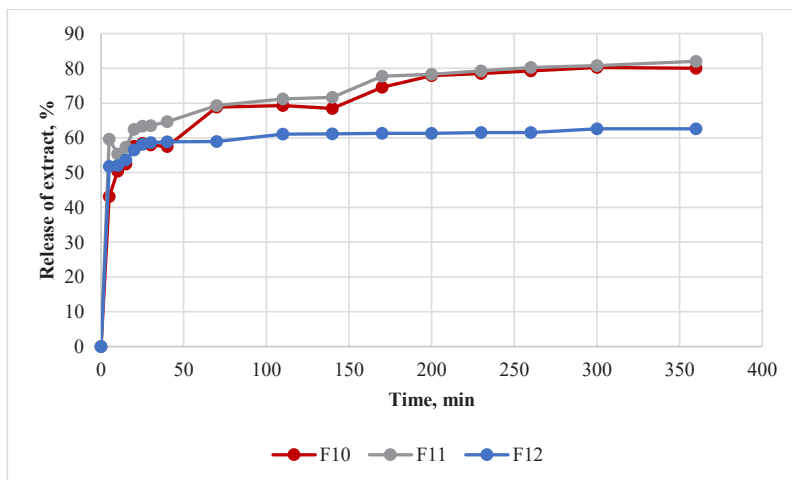


Figure 4. Release curves of the extracts from the above-ground parts from formulations F10–F12

Formulations with PG demonstrated a high release rate of up to 70% for both root and above-ground part extracts within the first hour, indicating their good solubility in the gel base. The preliminary dissolution of the extracts in a water-ethanol mixture, as the most suitable solvent, significantly influenced their subsequent solubility in the gel

base. However, it should also be noted that the extracts from roots and above-ground parts of *L. gmelinii* are soluble in propylene glycol, moderately soluble in water, and insoluble in glycerin and PEG-400. Thus, formulations F8 and F11 contain a solvent mixture that is most optimal for the release of extracts from the medicinal form.

The next step was to determine the optimal amount of PG to be added to the gel composition. Additional gels were prepared with PG concentrations increased to 10.0% and 15.0%, and their release kinetics were studied (Figure 5), along with their flow rheograms.

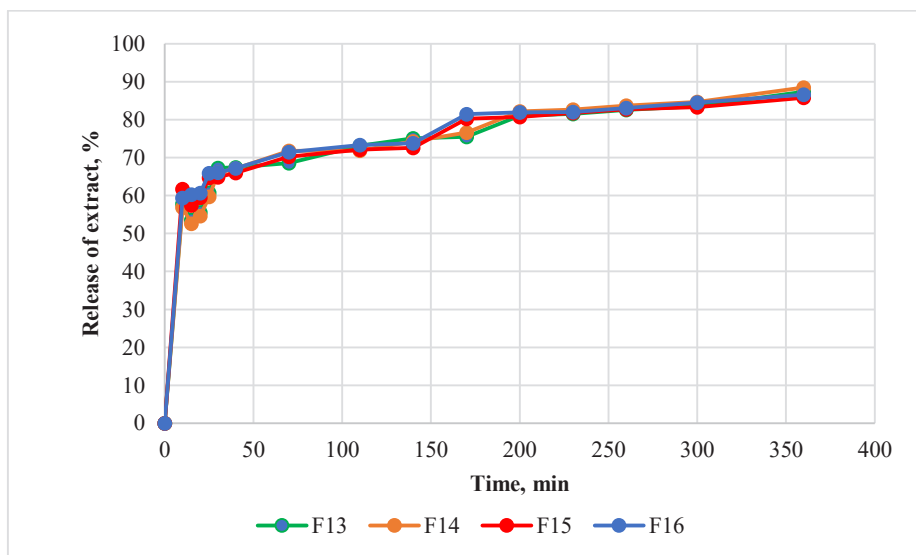


Figure 5. Release curves of the extracts from roots and above-ground parts from formulations F13–F16

The addition of 10% propylene glycol (PG) increased the release percentage to 87.36%, and further increasing the concentration to 15% had a negligible effect on this parameter. This led to the conclusion that both 10.0% and 15.0% PG concentrations are equally optimal for use in the gel formulations.

Determining the rheological characteristics of medicinal gel forms is not mandatory according to pharmacopoeial requirements, but they are important parameters for assessing the quality of dosage forms during development, stability studies, and selecting production conditions. To study the viscoelastic properties of the gels, flow curves were constructed to show the relationship between shear stress and shear rate, ranging from 0 to 150 s⁻¹ at 20°C (Figure 6).

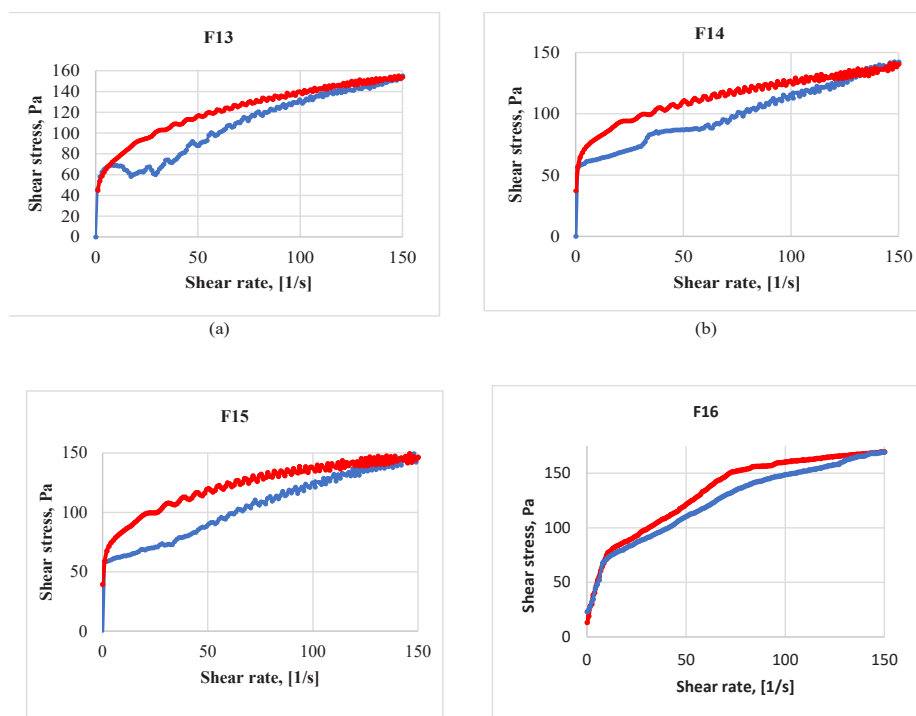


Figure 6. Flow rheograms of gel samples F13 (a), F14 (b), F15 (c), F16 (d)

As seen in Figure 6, the flow curves exhibit ascending and descending lines, forming a pronounced hysteresis loop, which indicates the presence of thixotropic properties in the gel samples. Thixotropy is typical for structured systems with plastic flow behavior, which deform under the influence of mechanical force. This characteristic reflects the good pharmaceutical and consumer properties of the product, particularly its ease of extrusion from tubes and spreadability, which in turn influences user convenience. The hysteresis loop area of sample F16 is somewhat smaller than that of samples F13–F15, and the differences in the rheology of samples F13 and F14 are statistically insignificant.

Thus, based on the release kinetics and rheological characteristics, propylene glycol (PG) at a concentration of 10.0% was chosen as the co-solvent, plasticizer, and penetration enhancer for the gel carrier base of extracts derived from *L. gmelinii*. PG enhances the solubility of plant extracts and promotes higher release rates of active ingredients, which is consistent with findings from other studies where PG significantly improved drug release from topical gels (Dehdari et al., 2021). Similarly, research shows that PG facilitates drug permeation through biological membranes and enhances skin retention of active compounds, leading to improved drug flux and delivery efficiency in skin-mimicking systems (Ruiz et al., 2022). These studies reinforce the conclusion that PG is an optimal choice for topical gel formulations, allowing for better drug absorption and retention, ultimately enhancing the therapeutic potential of the gel while minimizing systemic exposure.

Determination of optimal concentration of plant extracts and study of gel stability

The development of herbal gel formulations was further conducted with two concentrations of the active ingredient – 5.0% and 7.0%. Previously developed ointments based on root extracts of *L. gmelinii* demonstrated therapeutic activity at a 5.0% concentration (Patent 14418 RK., 2008). To enhance therapeutic efficacy, it was feasible to develop gel formulations with a higher concentration.

At this stage of research, an additional method of preparing gels from concentrated extracts was also studied to simplify the technology and reduce the time required to prepare the gels. The concentrated extracts were obtained during the concentration stage after the ultrasonic extraction process. The percentage of dried extract in the concentrated herbal extracts was measured after ultrasonic extraction, concentration, and complete removal of the solvent. The percentage of introduced extract, calculated based on dry matter, was $5.0 \pm 1.05\%$. This method allows for significantly reducing the time required to obtain dry extracts during ultrasonic extraction and introduces the extracts into the gel base in a pre-dissolved form. The gel formulations are shown in Table 6.

Table 6 – Composition of model gel samples with different co-solvent concentrations

Formulation	F17	F18	F19	F20	F21	F22
Extract from the above-ground parts	5.0	7.0	-	-	-	-
Extract from the root	-	-	5.0	7.0	-	-
Concentrated extract (above-ground parts) 17.0%	-	-	-	-	30.0	-
Concentrated extract (roots) 17.0%	-	-	-	-	-	30.0
Ethanol	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Propylene glycol	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Carbomer	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Menthol	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Triethanolamine (TEA)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Potassium sorbate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Purified water	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.

The appearance of the gels containing extracts from the roots and the above-ground parts did not differ and is shown in Figure 7 – transparent brown-colored gels with a specific plant odor.

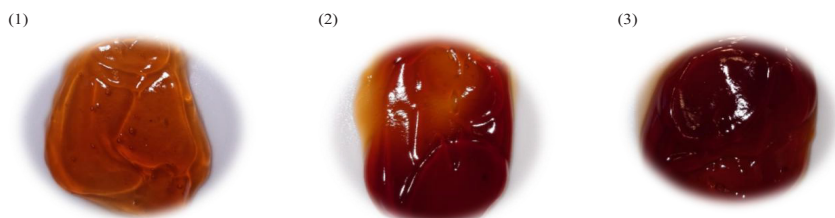


Figure 7. Gel appearance (1) – 5% gel obtained from dry extracts; (2) – 5% gel obtained from concentrated extract; (3) 7% gel obtained from dry extract

Upon changing the percentage of introduced extracts in the gels, it was found that the concentration of the extracts did not significantly affect the rheological properties of the gels or their cumulative release from the base. Formulations F17-F22 exhibited similar pseudoplastic behavior and the presence of a hysteresis loop, confirming their thixotropic properties (Figure 8).

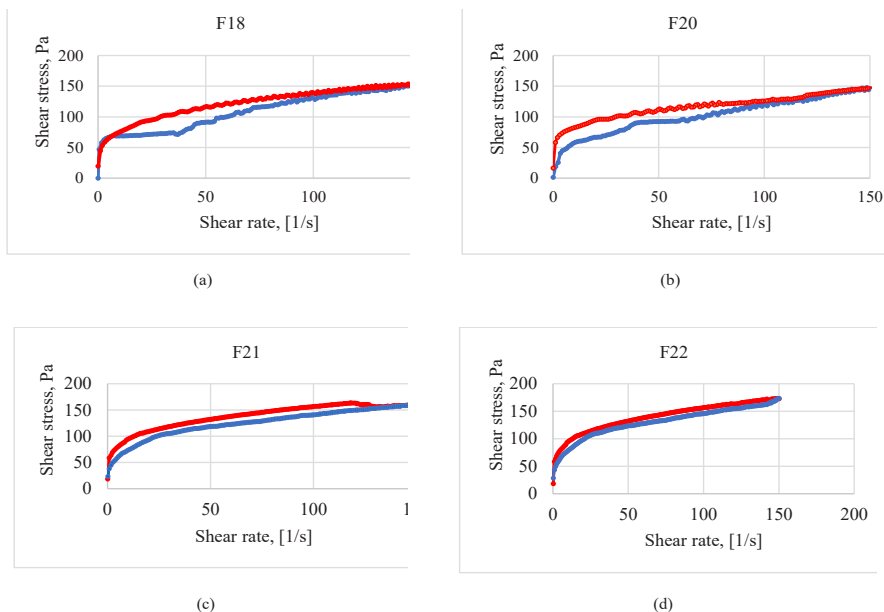


Figure 8. Flow rheograms of gel samples F18 (a), F20 (b), F21 (c), F22 (d)

The data obtained once again demonstrated that the prepared gels are capable of deforming under mechanical force and flowing, positively affecting the pharmaceutical-technical characteristics and allowing the base to spread easily over the skin (Jurca et al., 2020). The release from formulations F17-F22 also showed satisfactory results, ranging from 84.25% for F22 to 88.49% for F18 (Figure 9).

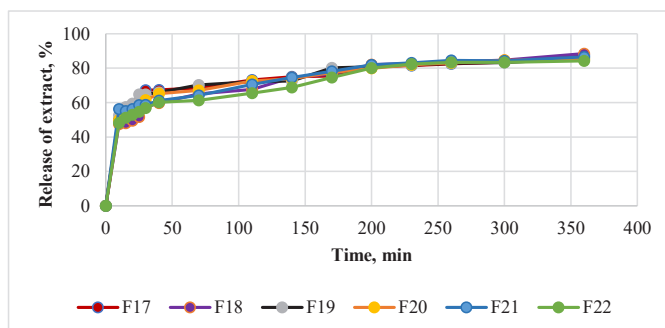


Figure 9. Release kinetics of extracts from model gel samples F17-F22

Subsequent evaluation of the gels with varying concentrations of the active extract was conducted using a set of physicochemical methods according to the quality requirements of the State Pharmacopoeia of Kazakhstan (Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Kazakhstan, 2008). The gel samples were tested for stability during 12 months of storage. During this period, the quantitative content of the active extract in the gel samples was monitored.

The active ingredients of the extracts are various polyphenolic compounds, which, as noted earlier, are strong anti-inflammatory agents. The Folin-Ciocalteu test for total polyphenols showed high levels in the dry extracts from *L. gmelinii* plants – $32.5 \pm 1.2\%$ in the above-ground parts and $44.7 \pm 2.5\%$ in the roots. This method was also used for the quantitative measurement of total polyphenols in the gels, and a direct correlation was confirmed between the amount of introduced extract and the quantity of the analytical marker found (Table 7).

Table 7 – Physicochemical properties of model gel samples

Quality indicators	F17	F18	F19	F20	F21	F22
Description	Homogeneous transparent thick gel of soft consistency, brown color, easily rubs in					
pH	5.98 ± 0.02	6.35 ± 0.04	6.40 ± 0.02	5.99 ± 0.01	6.21 ± 0.01	6.35 ± 0.02
Identification - Tannins	+	+	+	+	+	+
Homogeneity	Homo-geneous	Homo-geneous	Homo-geneous	Homo-geneous	Homo-geneous	Homo-geneous
Quantitative determination - Tannins ($\geq 1.0\%$)	1.15 ± 0.05	1.59 ± 0.03	1.60 ± 0.02	2.20 ± 0.05	1.52 ± 0.04	2.15 ± 0.04
Total polyphenols ($\geq 1.50\%$)	2.01 ± 0.05	2.88 ± 0.04	1.25 ± 0.02	2.19 ± 0.01	1.62 ± 0.04	2.85 ± 0.04
Aggregate stability	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable

The evaluation of gels with varying concentrations of active extract from *Limonium gmelinii* demonstrated their stability over a 12-month storage period, maintaining physicochemical consistency such as pH, homogeneity, and active ingredient content. The total polyphenol content showed a direct correlation between the amount of extract introduced and the concentration of polyphenols detected, confirming the efficient incorporation of bioactive compounds into the gels. The stable levels of tannins and polyphenols, along with consistent gel characteristics, suggest that the formulations are both chemically stable and effective over time. This indicates their suitability for further pharmaceutical development and potential therapeutic applications, particularly for their anti-inflammatory properties.

Conclusion

The study successfully developed stable topical gel formulations based on plant extracts from *Limonium gmelinii*. The optimal concentration of carbomer (1.0%) and propylene glycol (10.0%) was identified, ensuring suitable viscosity, ease of application, and effective release of active compounds. Rheological analysis demonstrated

thixotropic behavior, contributing to the gel's practicality for topical use. Stability testing confirmed that the gels maintained their physical and chemical properties over 12 months, ensuring consistency in the therapeutic ingredients. The findings suggest that these gel formulations are well-suited for industrial-scale production and could be further developed as plant-based topical treatments for various inflammatory skin conditions.

References

- Aiyalu R.; Govindarjan A.; Ramasamy A. (2016) Formulation and Evaluation of Topical Herbal Gel for the Treatment of Arthritis in Animal Model, *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, doi:10.1590/s1984-82502016000300015 (in Eng.). Aiyalu, R., Govindarjan, A., Ramasamy, A., 2016b. Formulation and evaluation of topical herbal gel for the treatment of arthritis in animal model. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 52, 493–507. <https://doi.org/10.1590/s1984-82502016000300015>
- Aslani A., Zolfaghari B., Fereidani Y. (2018) Design, Formulation, and Evaluation of a Herbal Gel Contains Melissa, Sumac, Licorice, Rosemary, and Geranium for Treatment of Recurrent Labial Herpes Infections, *Dent Res J (Isfahan)*, doi:10.4103/1735-3327.231865 (in Eng.). Bao, Y., Li, H., Li, Q.Y., Li, Y., Li, F., Zhang, C.F., Wang, C.Z., Yuan, C.S., 2018. Therapeutic effects of *Smilax glabra* and *Bolbostemma paniculatum* on rheumatoid arthritis using a rat paw edema model. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 108. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.004>
- Budi H.S., Anitasari S., Ulfa N.M., Juliastuti W.S., Aljunaid M., Ramadan D.E., Muzari K., Shen Y.-K. (2022) Topical Medicine Potency of *Musa Paradisiaca* Var. *Sapientum* (L.) Kuntze as Oral Gel for Wound Healing: An In Vitro, In Vivo Study, *Eur J Dent.*, doi:10.1055/s-0041-1740226 (in Eng.). Cameron, M., Chrubasik, S., 2013. Topical herbal therapies for treating osteoarthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 5. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010538>
- Choo W.T., Teoh M.L., Phang S.M., Convey P., Yap W.H., Goh B.H., Beardall J. (2020) Microalgae as Potential Anti-Inflammatory Natural Product Against Human Inflammatory Skin Diseases, *Front Pharmacol*, DOI: 10.3389/fphar.2020.01086.
- Chu M., Tsang M.S., Lam C.W.-K., Quan Z.B., Wong C.K. (2020) The Active Compounds and Therapeutic Mechanisms of Pentaherbs Formula for Oral and Topical Treatment of Atopic Dermatitis Based on Network Pharmacology, *Plants*, 1166, doi:10.3390/plants9091166 (in Eng.).
- Dapar, M.L.G., Alejandro, G.J.D., Meve, U., Liede-Schumann, S., 2020. Quantitative ethnopharmacological documentation and molecular confirmation of medicinal plants used by the Manobo tribe of Agusan del Sur, Philippines. *J Ethnobiol Ethnomed* 16, 14. <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00363-7>
- Dehdari S.; Hajimehdipoor H.; Ara L., Tansaz M. (2021) Formulation and Quality Assessment of *Boswellia* Vaginal Gel, *Research Journal of Pharmacognosy*, doi:10.22127/rjp.2021.233569.1600 (in Eng.).
- Dya R., Jankowski A. (2017) The Effect of Additives on Release and in Vitro Skin Retention of Flavonoids from Emulsion and Gel Semisolid Formulations, *Int J Cosmet Sci.*, doi:10.1111/ics.12395 (in Eng.).
- European Medicines Agency ICH Guideline Q8 (R2) on Pharmaceutical Development (2017) <https://www.ema.europa.eu.01.06.2009> (in Eng.).
- Gadetskaya A.V., Zhussupova A.I.; Shalakhmetova T.M.; Murzakhetova M.K.; Zhussupova G.E. (2015) Natural Antioxidants of Plant Origin, *International Journal of Biology and Chemistry*, doi:10.26577/2218-7979-2015-8-1-67-72.
- Gianfaldoni S., Wollina U., Tirant M., Tchernev G., Lotti J., Satolli F., Rovesti M., França K., Lotti T. (2018) Herbal Compounds for the Treatment of Vitiligo: A Review, *Maced J Med Sci*, doi: 10.3889/oamjms.2018.048 (in Eng.).
- Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Kazakhstan (2008). Almaty, Izdatel'skiy dom «Zhibek zholy», ISBN 978-601-7152-43-7.
- Gupta P., Garg S. (2002) Recent Advances in Semisolid Dosage Forms for Dermatological Application, *Pharmaceutical Technology*, <https://www.pharmtech.com/view/recent-advances-semisolid-dosage-forms-dermatological-application> (in Eng.).

- Herman A.; Herman A. (2016) Topically Used Herbal Products for the Treatment of Psoriasis – Mechanism of Action, Drug Delivery, Clinical Studies, *Planta Med.*, doi:10.1055/s-0042-115177 (in Eng.).
- Jamadar M.J.; Husen Shaikh R. (2017) Preparation and evaluation of herbal gel formulation, *Journal of Pharmaceutical Research*, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:211630783> (in Eng.).
- Javadzadeh Y., Azharshekoufeh Bahari L. (2017) Therapeutic Nanostructures for Dermal and Transdermal Drug Delivery, *Nano- and Microscale Drug Delivery Systems*. Elsevier, Amsterdam. ISBN 978-0-323-52727-9.
- Jurca T., Józsa L., Suciú R., Pallag A., Marian E., Bácskay I., Mureşan M., Stan R.L., Cevei M., Cioară F. et al. (2020) Formulation of Topical Dosage Forms Containing Synthetic and Natural Anti-Inflammatory Agents for the Treatment of Rheumatoid Arthritis, *Molecules*, doi:10.3390/molecules26010024 (in Eng.).
- Kassymova D., Zhusupova G., Ogay V., Zhussupova A., Katragunta K., Avula B., Khan I.A. (2023) Phytochemical Profiles and In Vitro Immunomodulatory Activities of Extracts Obtained from *Limonium Gmelinii* Using Different Extraction Methods, *Plants*, 4019, doi:10.3390/plants12234019 (in Eng.).
- Khachatryan G., Khachatryan L., Krystijan M., Lenart-Boroń A., Krzan M., Kulik K., Białecka A., Grabacka M., Nowak N., Khachatryan K. (2022) Preparation of Nano/Microcapsules of Ozonated Olive Oil in Hyaluronan Matrix and Analysis of Physicochemical and Microbiological (Biological) Properties of the Obtained Biocomposite, *Int J Mol Sci.*, 14005, doi:10.3390/ijms232214005 (in Eng.).
- Kupina S., Fields C., Roman M.C., Brunelle S.L. (2018) Determination of Total Phenolic Content Using the Folin-C Assay: Single-Laboratory Validation, *First Action 2017.13*, *J AOAC Int.*, doi:10.5740/jaoacint.18-0031 (in Eng.).
- Leon Lachman (2009) *The Theory and Practice of Industrial Pharmacy*. CBS Publishers & Distributors, New Delhi. ISBN 0812109775, 9780812109771.
- Marchianti A.C.N., Sakinah E.N., Elfiah U., Putri N.K.S., Wahyuliswari D.I., Maulana M., Ulfa E.U. (2021) Gel Formulations of *Merremia Mammosa* (Lour.) Accelerated Wound Healing of the Wound in Diabetic Rats, *J Tradit Complement Med*, doi:10.1016/j.jtcme.2019.12.002 (in Eng.).
- Nurman S., Yulia R., Irmayanti, Noor E., Candra Sunarti T. (2019) The Optimization of Gel Preparations Using the Active Compounds of Arabica Coffee Ground Nanoparticles, *Sci Pharm*, doi:10.3390/scipharm87040032 (in Eng.).
- Patent 14418 RK. Method for obtaining a total polyphenolic complex from the roots of *Limonium gmelinii* / K.D. Rakhimov, G.E. Zhusupova, Abilov; published on 15.10.2007, *Bulletin No. 6.* – 5 pages. Pat. 14418 RK. Sposob polucheniya summar'nogo polifenol'nogo kompleksa iz korney kermeka Gmelina / K.D. Rakhimov, G.E. Zhusupova, Abilov; opubl. 15.10.2007, *Byul. № 6.* – 5 s.
- Pertsev I.M. i dr. (2002) Kontrol' kachestva i proizvodstvo myagkikh lekarstvennykh sredstv v svete trebovaniy gosudarstvennoy farmakopei Ukrainy [Tekhnologiya lekarstv] 8: 29–31 (in Russ.).
- Ruiz V.H., Encinas-Basurto D., Sun B., Eedara B.B., Dickinson S.E., Wondrak G.T., Chow H.-H.S., Curiel-Lewandrowski C., Mansour H.M. (2022) Design, Physicochemical Characterization, and In Vitro Permeation of Innovative Resatorvid Topical Formulations for Targeted Skin Drug Delivery, *Pharmaceutics*, doi:10.3390/pharmaceutics14040700 (in Eng.).
- Safitri F.I., Nawangsari D., Febrina D. (2021) Overview: Application of Carbopol 940 in Gel. *International Conference on Health and Medical Sciences (AHMS 2020)*, Paris, Atlantis Press. P. 5.
- Shahtalebi M., Asghari G., Rahmani F., Shafiee F., Jahanian-Najafabadi A. (2018) Formulation of Herbal Gel of Antirrhinum Majus Extract and Evaluation of Its Anti- Propionibacterium Acne Effects, *Adv Biomed Res.*, doi: 10.4103/abr.abr_99_17 (in Eng.).
- Sitarek P., Merez-Sadowska A., Kowalczyk T., Wiecefinska J., Zajdel R., Śliwiński T. (2020) Potential Synergistic Action of Bioactive Compounds from Plant Extracts against Skin Infecting Microorganisms, *Int J Mol Sci*, doi:10.3390/ijms21145105 (in Eng.).
- Slavkova M., Tzankov B., Popova T., Voycheva C. Gel Formulations for Topical Treatment of Skin Cancer: A Review, *Gels*, doi:10.3390/gels9050352 (in Eng.).
- Suzilla W.Y., Izzati A., Isha I., Zalina A., Rajaletchumy V.K. (2020) Formulation and Evaluation of Antimicrobial Herbosomal Gel from *Quercus Infectoria* Extract, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, 022030, doi:10.1088/1757-899X/736/2/022030 (in Eng.).
- Thandar Y., Gray A., Botha J., Mosam A. (2017) Topical Herbal Medicines for Atopic Eczema: A

Systematic Review of Randomized Controlled Trials, *British Journal of Dermatology*, doi:10.1111/bjd.14840 (in Eng.).

Wegener T. (2017) Patterns and Trends in the Use of Herbal Products, Herbal Medicine and Herbal Medicinal Products, *Int J Complement Altern Med*, doi:10.1186/s13002-020-00363-7 (in Eng.).

WHO Global Report on Traditional and Complementary Medicine. – Luxembourg: World Health Organization, 2019. – 228 pp.

Wink M. (2015) Modes of Action of Herbal Medicines and Plant Secondary Metabolites, *Medicines*, doi:10.3390/medicines2030251 (in Eng.).

Zhussupova A., Zhussupova G., Gadetskaya A. (2015) Creation of Medicinal Products on the Basis of *Limonium Gmelinii*, *Planta Med.*, doi:10.1055/s-0035-1565422 (in Eng.).

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 94–110

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.252>

ӘОЖ 669.2

**B.K. Kenzhaliyev, T.S. Omirbek*, A.N. Berkinbayeva, Sh. Saulebekkyzy,
N.M. Tolegenova, 2024.**

Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”,
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: omirbek_ts@mail.ru

MICROWAVE-ASSISTED ZINC EXTRACTION FROM INDUSTRIAL CLINKER: OPTIMIZING PHASE TRANSFORMATIONS AND ENHANCING LEACHING EFFICIENCY

Kenzhaliev Bagdaulet Kenzhaliyevich – doctor of technical sciences, professor, General Director in the “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

Omirbek Tursynkul Serikbekkyzy – master’s student. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: omirbek_ts@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6230-6609>;

Berkinbayeva Ainur Nurkalievna – candidate of technical sciences, head of the laboratory of chemical laboratory. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: a.n.berkinbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-2569-9087>;

Shynar Saulebekkyzy – junior researcher, master. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: sh.saulebekkyzy@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7214-9627>;

Tolegenova Nazerke Mauleshkyzy – engineer, master’s student. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: n.tolegenova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-8059-2960>.

Abstract. This paper proposes an advanced method utilizing microwave irradiation to efficiently extract zinc from materials with high processing complexity. The described method comprises two sequential phases: phase transformation via microwave treatment and subsequent leaching in sulfuric acid at ambient temperature. During the phase transformation facilitated by microwave energy, insoluble zinc phases are converted into a controlled phase. Experimental results confirm that microwave treatment at 600°C for 5–7 minutes is effective in converting ZnS to ZnO while preventing the formation of ZnO·Fe₂O₃. With a microwave radiation power of 25 kW, zinc extraction from clinker over the specified time period reaches 46.47%. Thus, the study unveils the potential for environmentally safe zinc production from complexly processed resources.

Keywords: zinc, clinker, microwave roasting, phase transformation, leaching.

**Б.К. Кенжалиев, Т.С. Өмірбек *, А.Н. Беркинбаева, Ш. Сәулебекқызы,
Н.М. Төлегенова, 2024.**

Satbayev University; «Металлургия және кен байыту институты» АҚ,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: omirbek_ts@mail.ru

МИКРОТОЛҚЫНДЫ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ӨНДІРІСТІК КЛИНКЕРДЕН МЫРЫШТЫ АЛУ: ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ШАЙМАЛАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Кенжалиев Бақдәулет Кенжалыұлы – техника ғылымдарының докторы, профессор. Бас директор «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Алматы, Қазақстан, E- mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

Өмірбек Тұрсынқұл Серікбекқызы – магистрант. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Алматы, Қазақстан, E-mail: omirbek_ts@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6230-6609>;

Беркинбаева Айнұр Нұрқалиқызы - техника ғылымдарының кандидаты, хиялық талдау зертханасының меңгерушісі. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Алматы, Қазақстан, E-mail: a.n.berkinbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-2569-9087>;

Шынар Сәулебекқызы – кіші ғылыми қызметкер, магистр. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Алматы, Қазақстан, E-mail: sh.saulebekkyzy@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7214-9627>;

Төлегенова Назерке Маулешқызы – инженер, магистрант. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Алматы, Қазақстан, E -mail: n.tolegenova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-8059-2960>.

Аннотация. Бұл мақалада өңдеу күрделілігі жоғары материалдардан мырышты тиімді экстракциялау мақсатында микротолқынды әсер ету бойынша озық әдіс ұсынылған. Сипатталған әдіс екі кезекті фазаны қамтиды: микротолқынды әсер ету арқылы фазалық өзгеріс және амбиентті температурада күкірт қышқылында шаймалау. Микротолқынды энергияны пайдалану арқылы жүзеге асырылатын фазалық өзгеріс барысында қиын еритін мырыш фазалары бақыланатын фазаға ауысады. Эксперимент нәтижелері микротолқынды өңдеу 600°C-та 5–7 минут бойы ZnS-ті ZnO-ға түрлендіру үшін тиімді екенін, ZnO·Fe₂O₃ түзілуін болдырмайтынын растайды. Микротолқынды сәулелену қуаты 25 кВт кезінде көрсетілген уақыт аралығында клинкерден мырыш экстракциясы 46,47% құрайды. Осылайша, зерттеу, күрделі өңделетін ресурстардан мырышты экологиялық қауіпсіз өндірудің болашағын ашады.

Түйін сөздер: мырыш, клинкер, микротолқынды күйдіру, фазалық өзгеру, шаймалау.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің (грант AR 19675985) гранттық қаржыландыру шеңберінде жүргізілді.

**Б.К. Кенжалиев, Т.С. Омирбек*, А.Н. Беркинбаева, Ш. Саулебеккызы,
Н.М. Толегенова, 2024.**

АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан.

E-mail: omirbek_ts@mail.ru

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИНКА ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО КЛИНКЕРА С ПОМОЩЬЮ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Кенжалиев Багдаулет Кенжалиевич – доктор технических наук, профессор, Генеральный директор АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

Омирбек Турсынкуль Серикбеккызы – магистрант, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, Алматы, Казахстан, E-mail: omirbek_ts@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6230-6609>;

Беркинбаева Айнур Нуркалиевна – кандидат технических наук, заведующая химико-аналитической лабораторией, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: a.n.berkinbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-2569-9087>;

Шынар Саулебеккызы – младший научный сотрудник, магистр, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: sh.saulebekkyzy@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7214-9627>;

Толегенова Назерке Маулешкызы – инженер, магистрант, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: n.tolegenova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-8059-2960>.

Аннотация. В данной статье предлагается передовой метод, использующий микроволновое излучение для эффективной экстракции цинка из материалов со сложной переработкой. Описанный метод включает два последовательных этапа: фазовое преобразование с помощью микроволнового облучения и последующее выщелачивание в серной кислоте при комнатной температуре. В процессе фазового преобразования, осуществляемого с использованием микроволновой энергии, нерастворимые фазы цинка превращаются в контролируемую фазу. Экспериментальные результаты подтверждают, что микроволновая обработка при 600°C в течение 5–7 минут эффективна для превращения ZnS в ZnO, предотвращая образование $ZnO \cdot Fe_2O_3$. При мощности микроволнового излучения 25 кВт экстракция цинка из клинкера за указанный период времени составляет 46,47%. Таким образом, исследование открывает перспективы экологически безопасного производства цинка из ресурсов со сложной переработкой.

Ключевые слова: цинк, клинкер, микроволновое обжиг, фазовая трансформация, выщелачивание.

Кіріспе. Мырыш металлургиясы саласындағы қазіргі заманғы үрдістер осы металдың жаһандық тұтыну көлемінің тұрақты өсуін көрсетеді, бұл оның түрлі өнеркәсіп салаларында қолданылу ауқымының кеңеюімен, сондай-ақ мырыштың

өзі мен мырышты өнімдердің құнының артуымен қатар жүреді. Маңызды үрдістердің бірі – қайта өңдеу көлеміндегі екінші реттік шикізат үлесінің өсуі болып табылады. Лондон металдар биржасының (LME) деректері бойынша, мырыштың ағымдағы бағасы тоннасына 2,390.0 АҚШ долларын құрайды (<https://metallcheckiy-portal.ru/index-cen-lme>), бұл зерттеудің маңыздылығын көрсетеді.

Мырышнарығының қазіргі жағдайын талдау осы металдың әлемдік нарықта өсіп келе жатқан тапшылығын көрсетеді, бұл оның тұтыну қарқынының қолданыстағы кәсіпорындардың өндірістік қуаттарынан асып түсуімен байланысты (Kaplunov, 2011: 22; <https://dknews.kz/ru/ekonomika/105991-v-kazahstane-ezhegodno-proizvoditsya-300-tysyach-tonn>). Мырыш қорының көлемі бойынша жетекші елдер – Қытай мен Австралия, әрқайсысы шамамен 30 миллион тоннаға ие, олардың артынан 25 миллион тонна қорымен АҚШ келеді, ал айтарлықтай артта қалған Канада мен Перу.

Әлемдік мырыш қорының 60%-дан астамы сульфидті-полиметалл кен орындарында шоғырланған, ал шамамен 30%-ы стратиформды кен орындарына тиесілі. Әлемде жыл сайынғы мырыш өндіру 13,5 млн тоннадан асады (<https://home.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/10/ru-ru-metals-and-mining-prices-report-3q-2019.pdf>), соның ішінде негізгі бөлігі (85%) сульфидті концентраттардан өндіріледі. Сонымен қатар, кондицияланбаған және екінші реттік шикізат түрлерінің, оның ішінде ұжымдық концентраттар, тотыққан кендер, шламдар және басқалардың үлесі аз болып қалады. Бұл олардың өңдеу үшін тиімді технологиялық шешімдер мен әдістердің жоқтығымен байланысты, бұл осы саладағы жаңа тәсілдерді әзірлеудің өзектілігін көрсетеді (Esezobor, et al., 2006: 425; U.S. Geological survey, 2020: 200).

Мырыш құрамдас техногендік шикізатты өңдеу үшін пиро- және гидрометаллургиялық әдістер қолданылады (Yang, et al., 2021: 221; Klein, et al., 2009: 492; Akhtamov, et al., 2016: 72; Naboychenko, et al., 1997: 255). Ең кең таралған пирометаллургиялық өңдеу әдісі – кокс қосу арқылы 1100–1300 °C температурада күйдіру (қалпына келтіру-возгонный күйдіру), бұл өңделетін материал массасының 35–45%-ын құрайды. Бұл процесс цинк дистилляттарын және кейіннен күкірт қышқылымен шаймалау арқылы пайдаланылатын құнды компоненттерді қамтитын клинкерді алуға мүмкіндік береді (Kozlov 2020: 36). Алайда, бағалаулар бойынша, Қазақстанда мырыш өнеркәсібінің 4,5–5,7 млн тонна қалдығы жиналған (Kolesnikov, et al., 2022: 324; Yessengaziyev, et al., 2017: 980), бұл олардың кәдеге жаратылуы қажеттілігінің өзекті мәселесін көрсетеді.

Пиропроецестер, олардың кең таралғанына қарамастан, жоғары энергия шығыны және процедуралардың күрделілігі сияқты елеулі кемшіліктерге ие, бұл оларды құрамының және матрицалық құрылымының күрделілігіне байланысты жоғары кремнийлі техногенді мырыш құрамдас шикізатты өңдеу үшін аз тиімді етеді (Beisembaev, et al., 2002: 220). Бұл мұндай шикізаттың жиі өңделмей, шламды алаңдарда сақталуына әкеліп соғады, бұл экологиялық және экономикалық мәселелерді тудырады.

Осыған байланысты, УЖЖ-сәулеленуді алдын ала қолдану арқылы қиын

ашылатын мырыш құрамдас шикізатты өңдеудің жаңа тиімді технологиясын әзірлеудің өзектілігі айқын болуда (Singh, et al., 2022). Бұл тәсіл тек техногенді қалдықтар орналасқан аймақтардағы экологиялық жағдайды жақсартуға ғана емес, сондай-ақ өңделмеген шикізат көлемін азайту арқылы қосымша түсті және асыл металдар түріндегі өнімдерді алуды қамтамасыз етуге, олардың қолдану салаларын кеңейтуге мүмкіндік береді.

Ұсынылған әдіс пирометаллургиялық процестерді қолдануды болдырмай, шикізаттың қиын ашылатын матрицасын бұзу үшін электромагниттік әсерді қолдануды ұсынады. Мұндай тәсіл өңдеу процестерін жеңілдетіп қана қоймай, олардың тиімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді, бұл техногенді мырыш құрамдас шикізатты кәдеге жарату және пайдалану үшін жаңа перспективалар ашады.

УЖЖ-сәулеленудің күрделі құрамды қиын ашылатын мырыш құрамдас шикізатқа әсері оның құрылымына айтарлықтай өзгерістер әкеледі. Бағалы компоненттерді қамтитын негізгі минералдар арасындағы байланыстардың әлсіреуі құрылымдық өзгерістерді тудырады, матрицаны химиялық әсерге қол жетімді және икемді етеді. Осылайша, бағалы компоненттер жеңілірек ашылатын түрлерге ауысып, олардың ерітіндіге толығырақ шығуын қамтамасыз етеді (Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2008, (6): 44-48. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6532.2008.06.013).

Микротолқынды сәулелену алдын ала өңдеу минералдарында кеңінен қолданылады, мұнда ол минералдардың құрылымдық және физикалық қасиеттерін өзгертуге ықпал етеді, олардың кейінгі өңдеуін жеңілдетеді. Metallургия саласында бұл зерттеу бағыты кеннен металдарды алуға микротолқынды өңдеуді қолдануды негіздейді, бұл энергия шығындарын азайтуға және өнім шығуын арттыруға мүмкіндік береді. Материалтану саласында микротолқынды өңдеу өндіріс шығындарын салыстырмалы түрде төмендете отырып, функционалдық материалдарды жақсартылған қасиеттермен синтездеудің тиімді тәсілі болып табылады (Ramesh, et al, 2018: 8927).

Микротолқынды өңдеудің айтарлықтай артықшылығы жоғары сапалы функционалдық материалдарды өңдеуде байқалады. Бұл жоғары біртектілікті және жақсартылған механикалық және электрлік қасиеттерді қамтамасыз етеді, сондай-ақ өндірістік шығындарды азайтады. Зерттеулер микротолқынды қыздыру синтез процестерін айтарлықтай жеделдетуге, алынатын материалдардың морфологиясы мен құрылымдық сипаттамаларын оңтайландыруға қабілетті екенін көрсетті, бұл материалтану және ілеспе пәндер саласында технологияларды дамыту үшін жаңа перспективалар ашады (Kamariah, et al., 2022:183; Soni, et al., 2020: 97; Kalebic, et al., 2022: 13313; Wei, et al., 2019: 157; Feng, et al., 2019:1090).

Осылайша, бұл зерттеудің негізгі мақсаты - УЖЖ-сәулеленудің әсерінен қиын ашылатын мырыш құрамдас шикізаттың фазалық құрамы мен құрылымдық трансформациясының өзгеру заңдылықтарын талдау. Ерекше назар шикізаттың негізгі компоненттерінің қышқылдармен және сілтілермен өзара әрекеттесуінің кинетикалық заңдылықтарын зерттеуге аударылады, бұл УЖЖ-сәулелену

арқылы өңделген мырыш құрамдас шикізаттағы құрылымдық өзгерістер туралы бар деректер базасын жаңа мәліметтермен толықтырып, құрамында мырыш бар күрделі шикізаттан бағалы компоненттерді алудың тиімді технологиялық шешімдерін әзірлеуге негіз болады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу объектісі

Зерттеу объектісі ретінде қиын ашылатын техногендік мырыш құрамдас шикізат – клинкер таңдалды. Рентгенофлуоресцентті талдау нәтижелері айтарлықтай мөлшерде темірдің – 37,53%, кальцийдің – 3,81%, кремнийдің – 4,58%, оттегінің – 41,64%, мыс – 1,04%, мырыш – 1,2%-дан астам және басқа да элементтердің құрамын көрсетеді, олар кесте 1-де берілген.

Кесте 1. Клинкердің рентгенофлуоресцентті талдауы

Элементтердің құрамы, %											
O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr
41,644	0,173	1,030	0,912	4,581	0,055	0,807	0,011	0,109	3,807	0,101	0,020
Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Zr	Mo	Sb	Ba	Pb
0,110	37,532	0,033	1,037	1,217	0,138	0,043	0,012	0,026	0,034	0,825	0,154

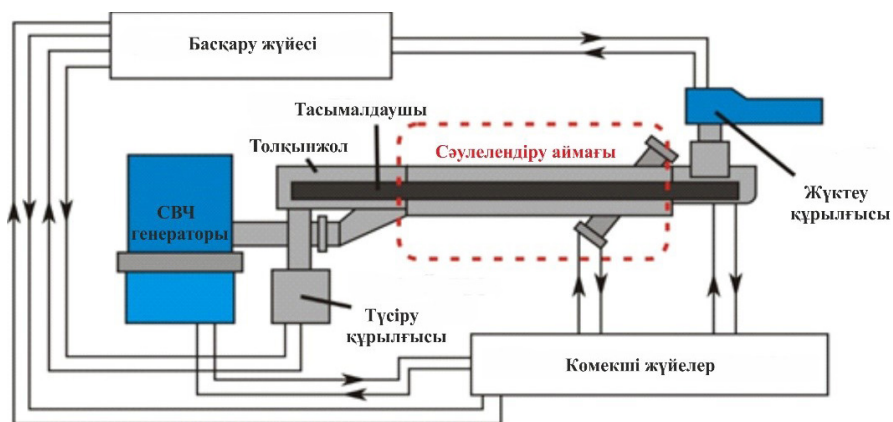
Клинкер құрамын талдау зерттелетін шикізаттың химиялық табиғатын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді, бұл оны өндеудің ең тиімді әдістерін анықтау үшін өте маңызды. Рентгенофлуоресцентті талдау нәтижелері кейінгі эксперименттік зерттеулердің негізін құрайды.

Эксперименттік бөлім

Клинкерден мырыш алу технологиясы үш негізгі кезеңді қамтиды: клинкерді 90% болатын - 0,071+0 мм дәрежесіне дейін ұсақтау, микротолқынды фазалық өзгерту және H_2SO_4 көмегімен шаймалау. Бірнеше егжей-тегжейлі кезеңдер 1-суретте көрсетілген, оның ішінде сынаманы дайындау, жоғары температуралы микротолқынды реакторда «ЭНЕРГИЯ К-50» қондырғысында (915 МГц, 25 кВт) клинкерді өңдеу, оның артықшылығы жоғары қуаттылық, жұмыстың тұрақтылығы (Liu, et al, 2023: 356; Namidi, et al, 2023: 109472), жоғары тиімділік, сондай-ақ клинкерді кейіннен шаймалау (2-сурет). Клинкерді шаймалау 100 г/дм³ концентрациялы H_2SO_4 ерітіндісінде 6 сағат бойы 300 айн/мин араластыру жылдамдығымен, қатты заттың сұйықтыққа қатынасы 1:5 және температурасы 293 К болған жағдайда жүргізілді.



Сурет 1. Эксперименттің ағын диаграммасы

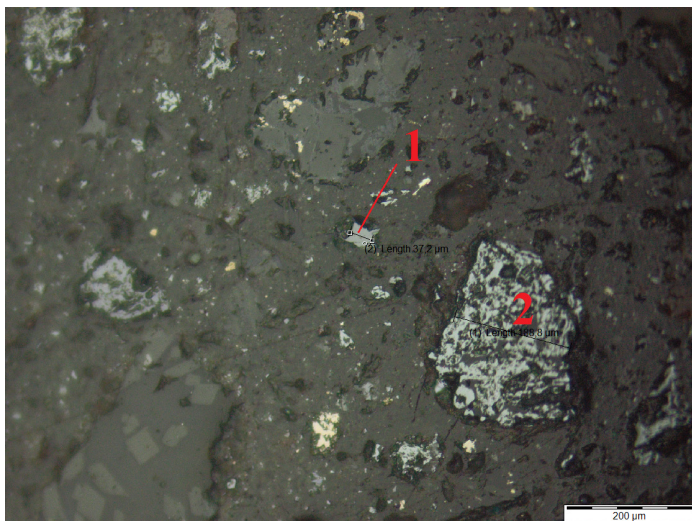


Сурет 2. «ЭНЕРГИЯ К-50» УЖЖ қондырғысының схемасы

Нәтижелер мен талқылау

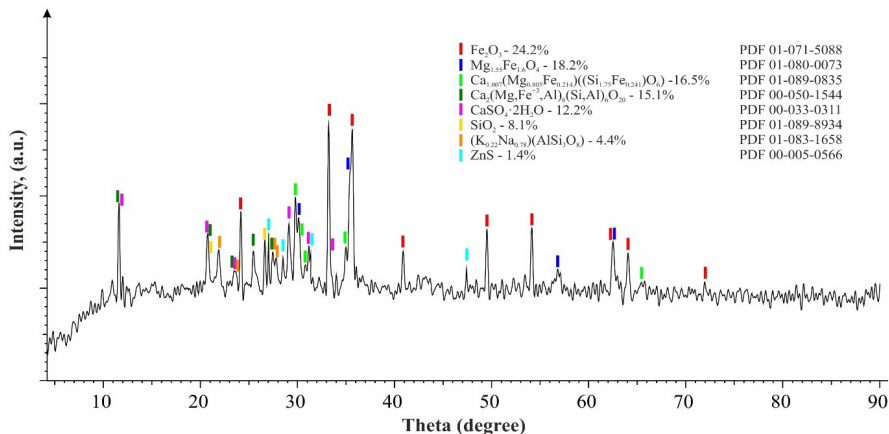
Клинкердің минералогиялық сипаттамалары

OLYMPUS BX51 микроскопының көмегімен жүргізілген клинкердің минералогиялық талдауы 3-суретте көрсетілген бірнеше негізгі минералдардың бар екенін анықтады. Олардың ішінде сирек ұсақ дисперсті андральді түйіршіктер түрінде анықталған сфалерит (ZnS), пирит (FeS_2) және сфалеритпен сингенетикалық ассоциациялары бар халькопирит ($CuFeS_2$), сондай-ақ өлшемдері мен пішіндерінің едәуір әртүрлілігін көрсететін гематит (Fe_2O_3) және көміртекті қосылыстар бар.



Сурет 3. Сфалерит (1), гематит (2)

Рентгенофазалық талдау клинкердің негізгі фазалық компоненттері гематит (Hematite) – 24,2%, темір мен магний оксиді (Magnesium Iron Oxide) – 18,2% екенін анықтады, сондай-ақ басқа фазалар 4-сурет пен 2-кестеде көрсетілген.



Сурет 4. Клинкердің дифрактограммасы

Кесте 2. Клинкердің рентгенофазалық талдауының нәтижелері

Compound Name	Formula	S-Q, %
Hematite	Fe_2O_3	24,2%
Magnesium Iron Oxide	$Mg_{1.55}Fe_{1.604}$	18,2%
Diopside, ferrian	$Ca_{1.007}(Mg_{0.805}Fe_{0.214})((Si_{1.75}Fe_{0.241})O_6)$	16,5%

Calcium Magnesium Iron Aluminum Silicate	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{+3},\text{Al})_6(\text{Si,Al})_6\text{O}_{20}$	15,1%
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12,2%
Quartz	SiO_2	8,1%
Albite, potassian	$(\text{K}_{0,22}\text{Na}_{0,78})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	4,4%
Sphalerite	ZnS	1,4%

Микротолқынды сәулелену арқылы фазалық түрлендіру

Микротолқынды (УЖЖ) толқындар жиілігі 300 МГц-тен 300 ГГц-ке дейінгі диапазонды қамтиды, бұл материалдарға атомдық немесе молекулалық деңгейде, әсіресе диэлектриктерге, диэлектрлік қыздыру әсері арқылы тиімді әсер етуге мүмкіндік береді.

Микротолқынды генератор, әдетте магнетрон, микротолқынды толқындар шығарады, олар толқынжол арқылы материалға бағытталады. Микротолқындар материалға енген кезде, олар «жүгіретін толқын» түрінде таралады. Бұл толқын материал арқылы қозғалғанда, оның электрлік және магниттік өрістері бір-біріне және толқынның таралу бағытына перпендикуляр тербеледі. Жүгіретін толқынды жасау үшін УЖЖ энергиясы толқынжол немесе резонаторға бағытталады, сондықтан толқын айтарлықтай шағылыспай бір бағытта таралады. Толқынжолдар толқынның белгілі бір жол бойымен таралуын қолдайтындай етіп жасалған, бұл толқынның жүйе арқылы «жүгіруіне» мүмкіндік береді (Okress, 1971: 272).

Жүгіретін толқын әдісінің артықшылықтары (Jiraushek, et al., 2021; Wong, et al., 2020): Материалдың барлық көлемінде энергияны біркелкі тарату, бұл кейбір аймақтардың шамадан тыс қызуын немесе жеткіліксіз қызуын болдырмауға мүмкіндік береді; Энергияның материалға тікелей берілуі есебінен жоғары тиімділік және энергияны үнемдеу; Өңдеу процесін дәл бақылау мүмкіндігі; Дәстүрлі қыздыру әдістерімен салыстырғанда өңдеу жылдамдығының жоғары болуы.

Материал арқылы жүгіретін микротолқынды толқынның таралуын Максвелл теңдеулері тұрғысынан түсіндіруге болады (Bruell, et al., 2022), электрлік (E) және магниттік (H) өрістері келесідей сипатталады:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} + J$$

мұндағы B – магниттік индукция, D – электрлік ығысу, ал j – ток тығыздығы.

Бұл теңдеулер электромагниттік толқындардың әртүрлі орталар арқылы қозғалысын, электрлік және магниттік компоненттер арқылы материалға энергияның берілуін реттейді.

Микротолқындардың материалға енуі және материалдың бөліктерінің

селективті қыздырылуы барысында локализацияланған температура градиенттері қалыптасады. Материал ішіндегі индуцирленген температура градиенті фазалық өзгерістерге әкелуі мүмкін. Фазалық ауысу жылдамдығы материалдың меншікті жылу сыйымдылығына (C_p), тығыздығына (ρ) және жылу өткізгіштігіне (k) байланысты болуы мүмкін, бұл келесі жылуөткізгіштік теңдеуімен сипатталады:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T$$

мұндағы T – температура, t – уақыт.

Бұл градиенттер материалда фазалық өзгерістерді, мысалы, балқуды, агломерацияны немесе химиялық реакцияларды тудыруы мүмкін.

Материал өңделетін аймақ жүгіретін толқынның әсер ету аймағына орналастырылады. Микротолқынды толқынның энергиясы материалға беріледі, диэлектрлік шығындар есебінен оның қызуына әкеледі – бұл процесс кезінде электромагниттік өрістің энергиясы материал ішінде жылу энергиясына айналады (Lachana, et al., 2022; Luo, 2022:234; Kumar, et al., 2019: 3326).

Материалдың микротолқынды сәулелену әсерінен қызу жылдамдығы келесі теңдеумен сипатталуы мүмкін:

$$P = \frac{\varepsilon' \cdot E^2 \cdot \omega \cdot \varepsilon_0}{2}$$

мұндағы P – бір көлем бірлігіне сіңірілетін қуат, ε' – материалдың диэлектрлік өтімділігі, E – электр өрісінің кернеулігі, ω – микротолқынды сәулеленудің бұрыштық жиілігі, ε_0 – бос кеңістіктің диэлектрлік өтімділігі.

Материалды қыздыру процесі УЖЖ генераторының қуатын, әсер ету уақытын және жүгіретін толқынның сипаттамаларын реттеу арқылы басқарылады. Бұл өңдеу процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді, мысалы, материалды біркелкі қыздыру үшін.

Кесте 3 УЖЖ қондырғысы «ЭНЕРГИЯ К-50» бойынша жүргізілген эксперименттердің параметрлерін көрсетеді. Сынақтар барысында микротолқындардың қуаты (25 кВт) және толқын жиілігі (915 МГц) бірдей болғанымен, әртүрлі температуралық режимдерде төрт эксперимент жүргізілді. Әр эксперименттің ұзақтығы 5–7 минутты құрады, температуралары тиісінше 250, 460, 600 және 700 °C деңгейінде орнатылды.

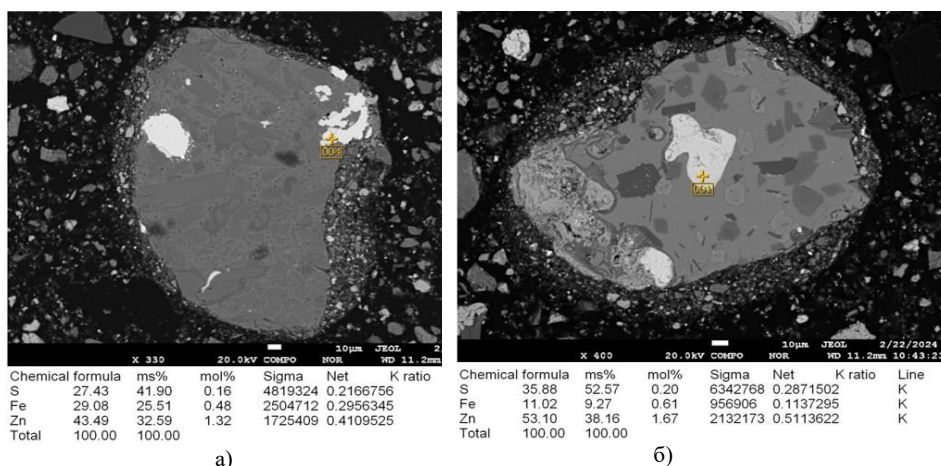
Кесте 3. УЖЖ қондырғысы бойынша эксперименттердің параметрлері

Көрсеткіш атауы	1-тәжірибе	2-тәжірибе	3-тәжірибе	4-тәжірибе
Микротолқындардың қуаты, кВт	25	25	25	25
Толқын жиілігі, МГц	915	915	915	915

Эксперименттің ұзақтығы, мин	5-7	5-7	5-7	5-7
Температура, °С	250	460	600	700

Эксперименттердің нәтижелері JEOL JXA-8230 сканерлеуші электрондық микроскоптың көмегімен, энергодисперсиялық анализатормен жабдықталған (5, 6, 7-суреттер), УЖЖ сәулеленуіне дейін және одан кейін жүргізілген сфалериттің электрондық микроскопиялық зерттеулерімен көрсетілген. 5а және 5б суреттерінің талдауы, өңдеу температуралық шарттарының әртүрлілігіне қарамастан, үлгілердің микроструктурасында, фазалық және химиялық құрамында айтарлықтай өзгерістерді анықтамады.

Сфалериттің микроструктурасы мен құрамында байқалатын өзгерістердің болмауы бұл минералдың зерттелген температуралық диапазондардағы микротолқынды сәулеленуге жоғары төзімділігін көрсетуі мүмкін. Бұл физика-химиялық қасиеттерін өзгерту мақсатында материалдарды өңдеуге арналған УЖЖ технологияларының әлеуетін көрсетеді, сондай-ақ айтарлықтай фазалық және құрылымдық өзгерістерге қол жеткізуге болатын шарттарды анықтау үшін қосымша зерттеулердің қажеттілігін көрсетеді. Мұндай зерттеулерге өңдеу параметрлерін, мысалы, сәулелену қуатын, оның әсер ету ұзақтығын немесе материалда мақсатты өзгерістерге қол жеткізу үшін модификацияланған толқын режимдерін өзгерту кіруі мүмкін.

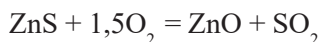


Сурет 5. а) Бастапқы үлгінің микроструктурасы және сфалериттің 25°C температурада УЖЖ-сәулелендіргенге дейінгі энергетикалық дисперсиялық анализі

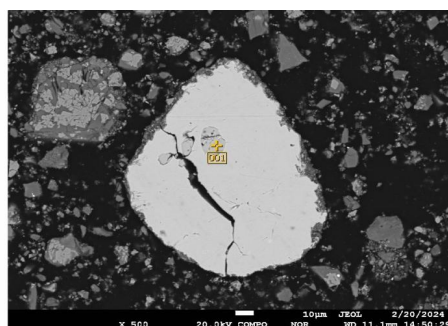
б) УЖЖ-сәулелендіргеннен кейінгі микроструктурасы және сфалериттің 250°C температурада энергетикалық дисперсиялық анализі

ба, бб және бс суреттерінде көрсетілген тәжірибелік деректер УЖЖ-өңдеу әсерінен сфалерит құрылымындағы маңызды өзгерістерді көрсетеді. ба суретінде байқалған сфалерит дәндеріндегі жарықтардың пайда болуы термоиндукциялық механикалық кернеулердің нәтижесі болып табылады. Бұл кернеулер минерал

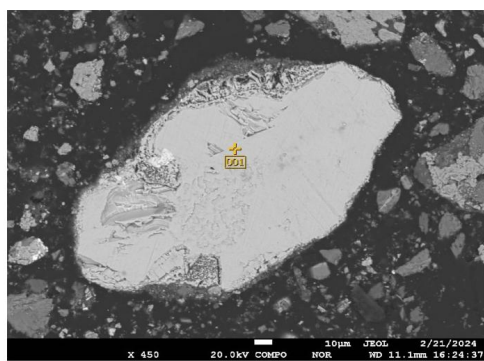
ішіндегі температураның біркелкі емес таралуы салдарынан УЖЖ-сәулелену кезінде пайда болады. Біркелкі емес қыздыру минералдың әртүрлі аймақтарында әртүрлі дәрежедегі жылу кеңеюіне әкеледі, бұл жарықтардың пайда болуына себепші болады. 6б суретінде сфалериттің (ZnS) цинкитке (ZnO) 600°C жоғары температурада фазалық ауысуын көрсетеді (Karimi, et al., 2021; Li, et al., 2020). Бұл ауысу ауада мырыш сульфидінің тотығуы нәтижесінде пайда болады және мырыш оксиді мен мырыш сульфатының сәйкес химиялық реакцияларына әкелуі мүмкін:



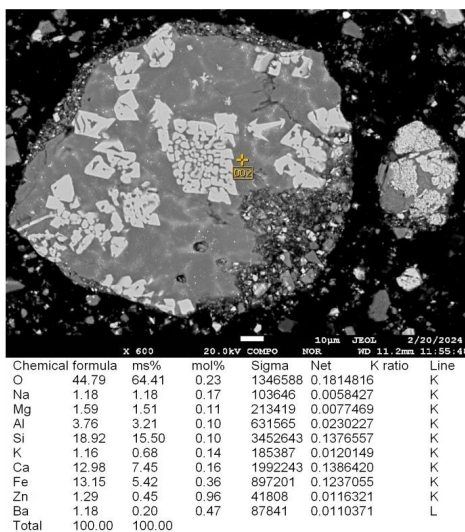
Тегіс контурлармен овалды цинкит дәнінің айналасындағы үзік-үзік жиектер мен жұқа минералды емес масса фазалық ауысуды растайды. Контраст ретінде 6с суретінде УЖЖ-өңдеу нәтижесінде сфалериттегі морфологиялық және фазалық өзгерістер көрсетілген. Оларға жылулық кеңеюдің айырмашылығы мен жылулық кернеулер нәтижесінде пайда болатын ұсақталу және микро жарықтар жатады. Бұл кернеулер минерал торын бұрмалайды, морфологиялық өзгерістерге әкеледі.



(a)

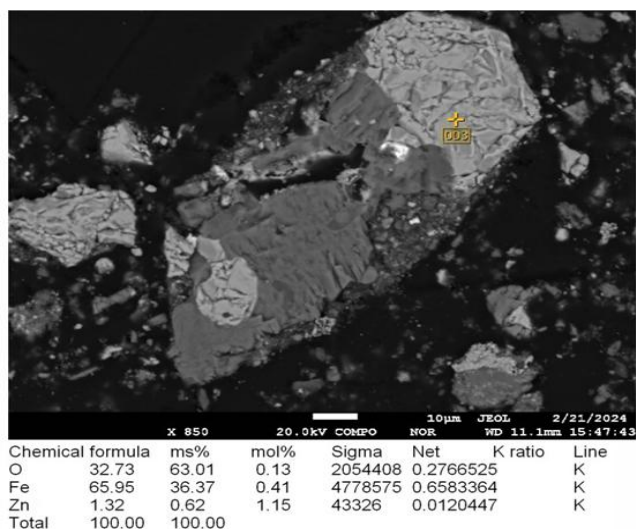


(b)



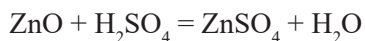
Сурет 6. а) Сфалериттің 460°C температурада УЖЖ-сәулендіргеннен кейінгі микроструктурасы және энергетикалық дисперсиялық анализі; б) Сфалериттің 600°C температурада УЖЖ-сәулендіргеннен кейінгі микроструктурасы және энергетикалық дисперсиялық анализі; с) Сфалериттің 600°C температурада УЖЖ-сәулендіргеннен кейінгі микроструктурасы және энергетикалық дисперсиялық анализі

7-суретте көрсетілгендей, 650°C жоғары температураларда мырыш оксиді Fe_2O_3 -пен әрекеттесу кезінде біртіндеп феррит ($Zn \cdot Fe_2O_3$) түзеді, ол сұйылтылған қышқылдарда іс жүзінде ерімейді (Junwei, et al, 2017: 42536).



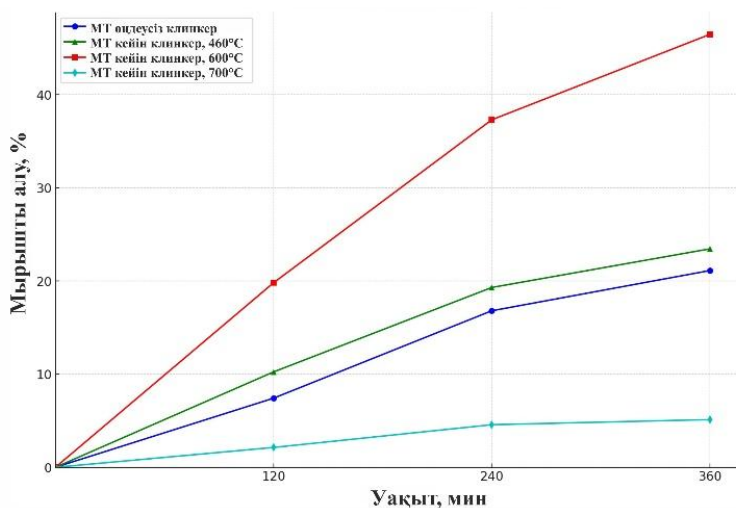
Сурет 7. Сфалериттің 700°C температурада УЖЖ-сәулендіргеннен кейінгі микроструктурасы және энергетикалық дисперсиялық анализі

Электронды-зондық микроанализатор көмегімен алынған нәтижелерден (5, 6, 7 суреттер) көріп отырғанымыздай, 250°C температурада микротолқынды күйдіргеннен кейінгі клинкер тек ZnS-тен тұрады және УЖЖ-өңдеуге дейінгі бастапқы шикізаттан іс жүзінде айырмашылығы жоқ. Бұл ZnS морфологиялық өзгерістерге немесе тотығуға ұшырауы үшін жоғары энергия қажет екенін көрсетеді, бұл ZnS физико-химиялық қасиеттеріне сәйкес келеді. УЖЖ қыздыру температурасы 460°C жеткенде сфалерит дәнінде термоиндукциялық механикалық кернеулер нәтижесінде жарықтар пайда болады. 600 °C күйдіру температурасында мырышты фазасы негізінен ZnO болып табылады. Температураны одан әрі арттырғанда және мырыш оксидінің (III) темір оксидімен термодинамикалық өзара әрекеттесу процесінде біртіндеп кешенді феррит қосылысы (ZnO·Fe₂O₃) синтезделеді (Chen, et al, 2001:241), әлсіз концентрленген қышқыл ортада жоғары химиялық төзімділікті көрсетеді. Сонымен бірге мырыш оксиді мына реакция бойынша сұйылтылған қышқылдарда жақсы ериді:



Демек, УЖЖ қыздыру арқылы клинкердің фазалық ауысу температурасы 600 °C тең болды. УЖЖ өңдеусіз бастапқы клинкерді, 460 °C температурада УЖЖ сәулеленген клинкерді, 600 °C температурада УЖЖ сәулеленген клинкерді және 700 °C температурада УЖЖ сәулеленген клинкерді салыстырдық. Шаймалау эксперименттері қатаң бірдей жағдайларда жүргізілді: H₂SO₄ концентрациясы 100 г/дм³, шаймалау уақыты – 6 сағат, араластыру жылдамдығы – 300 айн/мин, қатты заттың сұйықтыққа қатынасы 1:5 және температура 25 °C. Қалдық шаймалау өнімдері – ерітінді және тұнба сәйкесінше атом-эмиссиялық және аналитикалық талдауға ұшырады. Осы жағдайларда мырышты шығару, %: бастапқы клинкер – 21,12; УЖЖ сәулеленген клинкер (460 °C) – 23,45; УЖЖ сәулеленген клинкер (600 °C) – 46,47; УЖЖ сәулеленген клинкер (700 °C) – 5,12.

460 °C кезінде УЖЖ күйдіру электротермиялық күйдіруден жақсы нәтиже көрсетті. Мұндай тиімділік төмен күйдіру температурасында «термиялық емес микротолқынды әсерлерге» байланысты (Li, et al., 2019: 1396). Мырышты алудың ең жоғары деңгейі клинкерді 600°C температурада УЖЖ өңдеу кезінде қол жеткізілді. Процесс фазалық өзгерістермен қатар жүреді (8-сурет).



Сурет 8. Күкірт қышқылымен шаймалау кезіндегі мырышты алудың тиімділігін салыстыру

Келесі кезеңде клинкерді 600 °С температурада пеште 5–7 минут бойы дәстүрлі электротермиялық күйдірумен және осындай жағдайларда УЖЖ-күйдірумен салыстыру жүргізілді. Дәстүрлі қыздыру әдісінде жылу беру материалдың беткі қабатынан тереңдігіне қарай жүзеге асырылады, бұл процестің тиімділігінің төмендігіне әкеледі (Li et al., 2019: 61). Тіпті күйдіру уақытын 15 минутқа дейін арттыру қажетті нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік бермеді: мырыш алу дәрежесі 21,19 % құрады, ал УЖЖ-күйдіруді пайдаланып, өңдеу уақытын екі есе азайтқан кезде көрсеткіш 46,47% жетті. Бұл дәстүрлі қыздыру кезінде мырышқа айналмаған сфалериттің айтарлықтай бөлігі сақталатынын, мүмкін жеткіліксіз уақыттың әсерінен екенін көрсетеді. 600 °С температурадағы микротолқынды күйдіру дәстүрлі электротермиялық күйдірумен немесе УЖЖ-өңдеусіз бастапқы шикізатпен салыстырғанда екі есе көп (немесе 219,3% артық) мырыш алуға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Бұл зерттеуде клинкерден мырышты тиімді алу УЖЖ сәулелену көмегімен жүзеге асырылды. Алу процесі екі процедуранан тұрады: УЖЖ сәулелену арқылы фазалық ауысу және H_2SO_4 арқылы шаймалау. Электронды-зондтық микроанализатордың нәтижелері УЖЖ сәулелену мырыш сфалеритінің (ZnS) қатты фазасын цинкитке (ZnO) айналдыруға және ферриттің ($ZnO \cdot Fe_2O_3$) түзілуін тежеуге ықпал ететінін көрсетеді. Берілген жағдайларда, 600 °С температурада 5–7 минут бойы микротолқынды күйдіру, H_2SO_4 концентрациясы 100 г/дм³, шаймалау уақыты – 6 сағат, араластыру жылдамдығы – 300 айн/мин, қатты заттың сұйықтыққа қатынасы 1:5 және температурасы 293 К кезінде мырышты шығару 46,47% жетугі мүмкін. Бұл жұмыста техногендік қалдықтар жиналған

аудандардағы экологиялық жағдайды жақсартуға, алынған түсті және асыл металдар ассортиментін байытуға, сондай-ақ әртүрлі шикізат түрлерін өңдеу үшін әзірленген технологияларды бейімдеуге ықпал ететін дәстүрлі емес көздерден мырышты алу үшін экологиялық қауіпсіз әдістерді қолданудың елеулі әлеуеті көрсетілген.

References

- Akhtamov F.E., Nishonov B.U. (2016). On the issue of processing zinc cakes. *Theory and Technology of Metallurgical Production*, 1(18), pp. 69–72.
- Beisembaev B.B., Kenzhaliyev B.K., Gorkun V.I., Govyadovskaya O.U., Ignatyev M.M. (2002). Deep processing of lead-zinc ores and intermediary products with receiving of products with increased marketability. *Almaty*, p. 220.
- Bruell G., Idzik P., Reichel W. (2022). Traveling waves for a quasilinear wave equation.
- Chen H.-K., Yang C.-Y. (2001). A study on the preparation of zinc ferrite. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 30(4), pp. 238–241.
- Esezobor D.E., Balogun S.A. (2006). Zinc accumulation during recycling of iron oxide wastes in the blast furnace. *Ironmaking & Steelmaking*, 33, pp. 419–425.
- Feng D., Bai L., Xie H., Tong X. (2019). Study on separation of low-grade zinc oxide ore with sulfurization-amination flotation. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55, pp. 1082–1090.
- Hamidi A., Nazari P., Shakibania S., Rashchi F. (2023). Microwave Irradiation for the Recovery Enhancement of Fly Ash Components: Thermodynamic and Kinetic Aspects. *Chemical Engineering and Processing*. 191, p. 109472.
- Information Agency INSIDER. Observed growth in zinc prices on the London Metal Exchange (LME) market overview.
- Jirauschek C., Haider M. (2021). Traveling wave effects in microwave quantum photonics.
- Junwei H., Liu W., Zhang T., Xue K., Li W., Fen J., Qin W. (2017). Mechanism study on the sulfidation of ZnO with sulfur and iron oxide at high temperature. *Scientific Reports*, 7(1), p. 42536.
- Kalebic D., Dehaen W., Spooren J. (2022). Additive-free aqueous extraction of copper and zinc from sulfidic tailings using fast microwave-assisted pre- and post-treatments. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61, pp. 13303–13313.
- Kamariah N., Kalebic D., Xanthopoulos P., Blannin R., Araujo F.P., Koelewijn S.F., Spooren J. (2022). Conventional versus microwave-assisted roasting of sulfidic tailings: mineralogical transformation and metal leaching behavior. *Minerals Engineering*, 183, p. 107587.
- Kaplunov D.R. (2011). Rationale for the role and significance of geotechnological modules in the design of combined development of ore deposits. In *Combined Geotechnology: Comprehensive Development and Preservation of the Earth's Subsoil*. Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia, pp. 12–22.
- Karimi S., Rashchi F., Ghahreman A. (2021). The evaluation of sphalerite surface formed during oxidative leaching in acidic ferric sulfate media. *Journal of Sustainable Metallurgy*.
- Klein S.E., Kozlov P.A., Naboychenko S.S. (2009). Extraction of zinc from ore raw materials. *Ural State Mining University*. Yekaterinburg, Russia, p. 492.
- Kolesnikov A., Fediuk R., Kolesnikova O., Akhmetova E., Shal A. (2022). Processing of waste from enrichment with the production of cement clinker and the extraction of zinc. *Materials*, 15, p. 324.
- Kozlov P.A. (2020). Extraction of a Range of Non-Ferrous and Rare Metals from Industrial Waste: Physico-Chemical Basis and Technical Solutions. *Tsvetnye Metally*. 5, pp. 28–36.
- Kumar P., Ingle A., Jhavar S. (2019). Parametric review of microwave-based materials processing and its applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), pp. 3306–3326.
- Lachana D.T., Mishra R.R. (2022). Microwave processing of materials.
- Li H., Shi S., Lin B., Lu J., Lu Y., Ye Q., Wang Z., Hong Y., Zhu X. (2019). A fully coupled electromagnetic, heat transfer, and multiphase porous media model for microwave heating of coal. *Fuel Processing Technology*, 189, pp. 49–61.

Li H.X., Li B.W., Deng L.B., Xu P.F., Du Y.S., Ouyang S.L., Liu Z.X. (2019). Evidence for non-thermal microwave effect in processing of tailing-based glass-ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 39, pp. 1389–1396.

Li Y., Tan W., Wu Y. (2020). Phase transition between sphalerite and wurtzite in ZnS optical ceramic materials. *Journal of the European Ceramic Society*.

Liu J., Li S., Zhang L., Yang K. (2023). Application of the microwave and ultrasonic combined technique in the extraction of refractory complex zinc ore. *Metals*, 13(2), p. 356.

Luo J. (2022). Processing of composite materials using microwave energy. pp. 223–234.

Naboychenko S.S., Karelov S.V., Mamayachenkov S.V., Yakornov S.A. (1997). Complex processing of zinc-containing technogenic wastes of Ural copper smelting enterprises. *Mining Journal*, 11–12, pp. 250–255.

Okress. (1971). *Microwave Power Engineering*. Edited by Mir. Moscow, Russia, p. 272.

Present Situation and Prospect about Comprehensive Utilization of Zinc Kiln Slags. (2008). *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 6, pp. 44–48.

Ramesh S., Teng W.D., Sopyan I., Bang L.T., Sarhan A.A. (2018). Comparison between microwave and conventional sintering on the properties and microstructural evolution of tetragonal zirconia. *Ceramics International*, 44(8), pp. 8922–8927.

Singh C., Khanna V., Singh S. (2022). Sustainability of microwave heating in materials processing technologies. *Materials Today: Proceedings*.

Soni A., Smith J., Thompson A., Brightwell G. (2020). Microwave-induced thermal sterilization: A review on history, technical progress, advantages, and challenges as compared to conventional methods. *Trends in Food Science & Technology*, 97, pp. 433–442.

Title in English: (2020). Annually, Kazakhstan Produces 300 Thousand Tons of Zinc and 150 Thousand Tons of Lead.

Title in English: (2019). Review of Price Dynamics for Key Products in the Mining and Metallurgical Sector.

U.S. Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries* (2020). U.S. Geological Survey. p. 200.

Wei W., Shao Z., Zhang Y., Qiao R., Gao J. (2019). Fundamentals and applications of microwave energy in rock and concrete processing – A review. *Applied Thermal Engineering*, 157, p. 113751.

Wong P., Zhang P., Luginsland J.W. (2020). Recent theory of traveling-wave tubes: A tutorial-review.

Yang C., Sun B. (2021). Modeling, optimization, and control of zinc hydrometallurgical purification process. In *Emerging Methodologies and Applications in Modelling, Identification and Control*. pp. 213–221.

Yessengaziyev A., Kenzhaliyev B., Berkinbayeva A., Sharipov R., Suleimenov E. (2017). Electrochemical extraction of Pb and Zn from a collective concentrate using a sulfur-graphite electrode as a cathode. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 52(5), pp. 975–980.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 111–128

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.253>

IRSTI 61.13.03

UDC 66.045.123

**D.M. Kenzhebekov¹, A.Ye. Khussanov^{1*}, I. Iristaev¹, A. Zholshybek¹,
D.Zh. Dzhanabayev², 2024.**

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

²Shymkent University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: khusanov_1975@inbox.ru

MULTIPHYSICAL MODELING OF A PIPE-IN-PIPE HEAT EXCHANGER WITH A FLOW INTENSIFIER IN THE FORM OF A TWISTED PROFILED STRIP

Kenzhebekov Doskhan Mukhitzhanuly – PhD Doctoral student, teacher, Department of Technological Machines and Equipment, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; doskhan_349@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-5975>;

Khussanov Alisher Yevadilloevich – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Technological Machines and Equipment, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; khusanov_1975@inbox.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1563-6437>;

Iristaev Iskandarbek – master, engineer of the laboratory “Multiphysical modeling of structures, devices and processes”, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; iskander_777_111@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3255-4602>;

Zholshybek Ayan – PhD Doctoral student, teacher, Department of Technological Machines and Equipment, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; ayan-97.zh@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4535-9730>;

Dzhanabayev Dauren Zhumagalievich – PhD of Shymkent University, Shymkent, Kazakhstan; janabaev19@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6522-0536>.

Abstract: The article discusses the multiphysical modeling of a pipe-in-pipe heat exchanger using a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip. The introduction presents the results of an analysis of the literature on the presented topic, the method of multiphysical modeling of the heat exchanger pipe-in-pipe is presented. The results of numerical researches of heat transfer and friction coefficient under twisted flow conditions using CFD-modelling with the software complex COMSOL multiphysics 6.1 are presented. The data obtained as a result of CFD modeling were compared with the literature data, the data obtained show that the heat transfer coefficient and the coefficient of friction increased significantly in a pipe equipped with a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip. The analysis conducted is aimed at evaluating the efficiency of heat exchange and optimizing the design of the apparatus. The use of a twisted strip

as a flow intensifier allows to significantly improve heat exchange characteristics by improving turbulence and reducing temperature gradients. The modelling was carried out using numerical methods, which allows to take into account the complex interaction of thermal and hydraulic processes. The results of the research show that optimizing the size and location of the intensifiers can lead to further improvement of heat exchange characteristics. The results of the research show that optimizing the size and location of the intensifiers can lead to further improvement of heat exchange characteristics.

Keywords: CFD modeling, intensification, heat transfer, multiphysical modeling, heat exchanger, pipe in pipe, flow intensifier, twisted profiled strip.

**Д.М. Кенжебеков¹, А.Е. Хусанов^{1*}, И. Иристаев¹, А. Жолшыбек¹,
Д.Ж. Джанабаев², 2024.**

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

²Шымкент Университеті, Шымкент, Қазақстан.

E-mail: khusanov_1975@inbox.ru

БҰРАЛҒАН ПРОФИЛЬДІ ЖОЛАҚ ТҮРІНДЕГІ АҒЫН ИНТЕНСИФИКАТОРЫМЕН «ҚҰБЫР ІШІНДЕГІ ҚҰБЫР» ЖЫЛУАЛМАСУ АППАРАТЫН МУЛЬТИФИЗИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Кенжебеков Досхан Мухитжанулы – PhD докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының оқытушысы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: doskhan_349@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-5975>;

Хусанов Алишер Евадиллоевич – техника ғылымдарының кандидаты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының доценті, Шымкент, Қазақстан, E-mail: khusanov_1975@inbox.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1563-6437>;

Иристаев Искандарбек – магистр, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Конструкцияларды, құрылғылар мен процестерді мультифизикалық модельдеу» зертханасының инженері, Шымкент, Қазақстан, E-mail: iskander_777_111@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3255-4602>;

Жолшыбек Аян – PhD докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының оқытушысы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: ayan-97.zh@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4535-9730>;

Джанабаев Даурен Жумагалиевич – Шымкент университетінің (PhD) докторы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: janabaev19@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6522-0536>.

Аннотация. Мақалада бұралған профильді таспа түріндегі ағынды күшейткіштің көмегімен «құбыр ішіндегі құбыр» жылу алмастырғышты мультифизикалық модельдеу қарастырылады. Кіріспеде ұсынылған тақырып бойынша әдебиеттерді талдау нәтижелері келтірілген, «құбыр ішіндегі құбыр» жылу алмастырғышты мультифизикалық модельдеу әдістемесі ұсынылған. COMSOL multytpysics 6.1 бағдарламалық кешенін, CFD модельдеуді пайдалана отырып, бұралған ағын жағдайында жылу беру сипаттамалары мен үйкеліс коэффициентін сандық зерттеу нәтижелері ұсынылған. CFD модельдеуінен

алынған мәліметтер әдеби деректермен салыстырылды, алынған мәліметтер жылу беру коэффициенті мен үйкеліс коэффициенті бұралған профильді жолақ түріндегі ағын күшейткішімен жабдықталған құбырда айтарлықтай өскенін көрсетеді. Жүргізілген талдау жылу алмасудың тиімділігін бағалауға және аппарат құрылымын оңтайландыруға бағытталған. Бұралған жолақты ағынды күшейткіш ретінде қолдану турбуленттілікті жақсарту және температура градиенттерін азайту арқылы жылу алмасу өнімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Модельдеу жылулық және гидравликалық процестердің кешенді өзара әрекеттесуін ескеруге мүмкіндік беретін сандық әдістерді қолдану арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу нәтижелері күшейткіштердің көлемі мен орналасуын оңтайландыру жылуалмасу сипаттамаларын одан әрі жақсарту мүмкін екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер энергетика мен мұнай-химияны қоса алғанда, әртүрлі салаларда тиімдірек жылу алмастырғыштарды жобалау үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: CFD модельдеу, интенсификация, жылу алмасу, мультифизикалық модельдеу, жылу алмастырғыш, құбыр ішіндегі құбыр, ағын күшейткіші, бұралған профильді жолақ.

**Д.М. Кенжебеков¹, А.Е. Хусанов^{1*}, И. Иристаев¹, А. Жолшыбек¹,
Д.Ж. Джанабаев², 2024.**

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

²Шымкентский Университет, Шымкент, Казахстан.

E-mail: khusanov_1975@inbox.ru

МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕННОГО АППАРАТА «ТРУБА В ТРУБЕ» С ИНТЕНСИФИКАТОРОМ ПОТОКА В ВИДЕ ВИТОЙ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ

Кенжебеков Досхан Мухитжанулы – PhD докторант, преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, E-mail: doskhan_349@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-5975>;

Хусанов Алишер Евадиллоевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, E-mail: khusanov_1975@inbox.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1563-6437>;

Иристаев Искандарбек – магистр, инженер лаборатории «Мультифизического моделирования конструкций, устройств и процессов» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, E-mail: iskander_777_111@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3255-4602>;

Жолшыбек Аян – PhD докторант, преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, E-mail: ayan-97.zh@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4535-9730>;

Джанабаев Даурен Жумагалиевич – PhD, Шымкентский университет, Шымкент, Казахстан, E-mail: janabaev19@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6522-0536>.

Аннотация: В статье рассматривается мультифизическое моделирование теплообменного аппарата «труба в трубе» с использованием интенсификатора

потока в виде витой профилированной ленты. Во введении приведены результаты анализа литературы по представленной тематике, представлена методика мультифизического моделирования теплообменника «труба в трубе». Представлены результаты численных исследований характеристик теплопередачи и коэффициента трения в условиях закрученного потока с использованием CFD –моделирования с использованием программного комплекса COMSOL multyphysics 6.1. Данные, полученные в результате CFD-моделирования, были сверены с литературными данными, полученные данные показывают, что коэффициент теплопередачи и коэффициент трения значительно увеличились в трубе, оснащенной интенсификатором потока в виде витой профилированной ленты. Проведенный анализ направлен на оценку эффективности теплообмена и оптимизацию конструкции аппарата. Применение витой ленты как интенсификатора потока позволяет существенно повысить теплообменные характеристики за счёт улучшения турбулентности и уменьшения градиентов температуры. Моделирование выполнено с использованием численных методов, что позволяет учесть комплексное взаимодействие тепловых и гидравлических процессов. Результаты исследования показывают, что оптимизация размеров и расположения интенсификаторов может привести к дальнейшему улучшению теплообменных характеристик. Полученные данные могут быть полезны для проектирования более эффективных теплообменников в различных отраслях, включая энергетику и нефтехимию.

Ключевые слова: CFD моделирование, интенсификация, теплообмен, мультифизическое моделирование, теплообменный аппарат, труба в трубе, интенсификатор потока, витая профилированная лента.

Introduction.

The heat exchanger is classified according to the transfer process, the amount of liquids, the degree of surface sealing, the design, the location of the flows, the heat transfer mechanism. Industrial enterprises assign heat exchangers depending on cost, high/low pressure limits, thermal characteristics, temperature range, liquid throughput, degree of purification. Heat exchangers, and especially double-pipe heat exchangers, play an important role in industrial and engineering applications such as air conditioning systems, petrochemical industry, power plants, refrigeration equipment, solar water heaters, The reprocessing industry, chemical and nuclear reactors. Due to this variety of applications, convective heat transfer in heat exchangers has been investigated in several studies over the past decades, and various methods of improving heat transfer have been presented to improve the overall heat transfer efficiency of heat exchangers. The use of a double pipe with lattice strip inserts (Quadir, et al, 2014), a finned double pipe (Gao, et al, 2015), a double pipe filled with metal foam (Shirvan, et al, 2016), and spiral wires in two-tube heat exchangers (Zhang, et al, 2023) are some of these methods. In addition, the special properties of nanofluids have been the subject of interest in a number of studies aimed at improving heat transfer for other applications (Yaday, et al, 2019). Among the previously studied researches of the efficiency of

heat transfer in heat exchangers, the following studies can be mentioned: Singh and co-authors (Singh, et al, 2020) conducted an experimental study of the efficiency of heat transfer, coefficient of friction, specific heat capacity and viscosity of a two-tube heat exchanger with countercurrent motion. They found that the heat transfer of the working fluid can be enhanced by increasing the Reynolds number or the percentage of nanomaterials. An experimental research of the effect of intermittent spiral turbulators on the flow and heat transfer characteristics in a two-tube water-air heat exchanger was carried out by Sheikholeslami and co-authors (Sheikholeslami, et al, 2016). The results showed that increasing the coefficient of the open surface and the angle of inclination reduces the coefficient of friction and the Nusselt number. In addition, thermal performance improves with an increase in the coefficient of the open surface, but decreases with an increase in the angle of inclination. Nakhchi et al. (Nakhchi, et al, 2020) conducted a numerical research of a multi-criteria analysis of the design of two-tube heat exchangers of a new shape (conical). This article analyzes the influence of hydraulic, geometric and thermodynamic characteristics. Under optimal conditions, the results showed a 55% increase in efficiency and a 40% improvement in heat transfer. It should be noted that when choosing in practice one or another method of heat transfer intensification, it is necessary to take into account not only the efficiency of the surface itself, but also its versatility for various single-phase and two-phase heat carriers, the manufacturability of the surface, the manufacturability of the heat exchanger assembly, strength requirements, surface contamination, operating characteristics, etc. All these circumstances significantly reduce the possibility of choosing one of the numerous methods of intensification studied (Syah, et al, 2022; Kassymov, et al, 2023).

The rapid development of computer technology and methods for numerically solving problems of heat transfer and hydrodynamics using multiphysical modeling programs has led to the fact that in many fields of science and technology, the results of multiphysical modeling of heat transfer and mass transfer processes become an essential element (Krutova, et al, 2020).

The study presents the results and conclusions obtained as a result of a study of the performance and optimization of a two-tube heat exchanger. Numerical modelling using ANSYS Fluent has successfully predicted the temperature of both hot and cold liquid outlet (Urvija, et al, 2024).

The results obtained by modeling make it possible not only to correctly comprehend and understand the physical effects observed on experimental devices, but also in certain cases to completely replace the natural experiment with computer modeling (Pulin, et al, 2024).

Currently, CFD packages for calculating heat transfer, mass transfer and hydrodynamics are widely used for engineering calculations and research. All CFD packages consist of preprocessors, a solver, and a postprocessor (Mukhametzhanov, et al, 2017).

As can be seen from the analysis of scientific and technical literature, heat exchangers with various flow intensifiers are currently of interest from the point of view of the development of heat exchange equipment, since they have higher efficiency. Thus, the

multiphysical modeling and study of heat transfer processes in such devices is an actual task (Tsvetova, 2022; Abiev, 2002).

The purpose of this work is to research the effectiveness of a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip using the COMSOL multiphysics software complex (Electronic resource Comsol 6.1., 2022).

To achieve this objective, it is necessary to solve the following tasks:

- construction of three-dimensional models of a heat exchanger with a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip;
- numerical modeling of heat transfer in the tube and inter-tube areas of the apparatus with a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip of the “pipes in a pipe” type;
- determination of thermal and hydraulic characteristics;
- evaluation and analysis of the results obtained.

Materials and methods.

For the multiphysical modeling of the pipe-in-pipe heat exchanger, the type of intensifier in the form of a profiled twisted strip installed inside the flow part of the pipe with a given pitch is studied; the profiled twisted strip located with a certain pitch and the flow part of the pipe are shown in Figure 1. The step between the turbulators in the studied cases was chosen for reasons of ensuring the maximum intensity of heat transfer according to the recommendations of the work (Jithin, et al, 2020) and is $t = 40$ mm, and the twist angle of the twisted strip is 360° . The length of the section L in numerical researches was 150 mm. The heat exchanger operates in parallel flow mode, i.e. the cooled and heated flow moves in the same direction. In numerical modeling, the physical constants of water viscosity were equated, respectively, to heating temperatures in a smoothed tabular reference manner: at 20°C — 1,002 MPa·s; at 40°C — 0,653 MPa·s; at 60°C — 0,467 MPa·s; at 100°C – 0,282 MPa·s. The specific heat capacity of water was taken at a temperature of 25°C $c=4180$ J/kg °C.

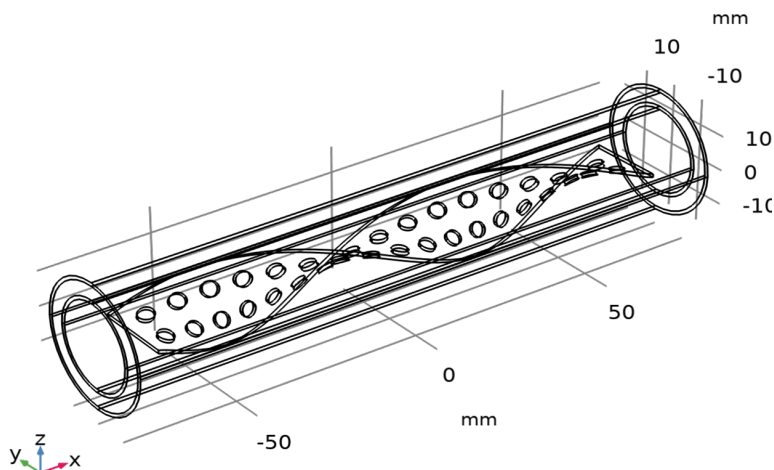


Figure 1 – 3D model of a “pipe in pipe” heat exchanger with a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip

When solving any problem, the aim is always to find a solution in some computational domain. As a rule, the size and shape of the computational domain are naturally determined by the problem under research. The creation and generation of a grid of the computational domain is an essential component of every engineering calculation where software packages based on CFD technology are used. The size of the calculated model grid directly affects the accuracy of the final results, the speed of calculation and accuracy (Figure 2).

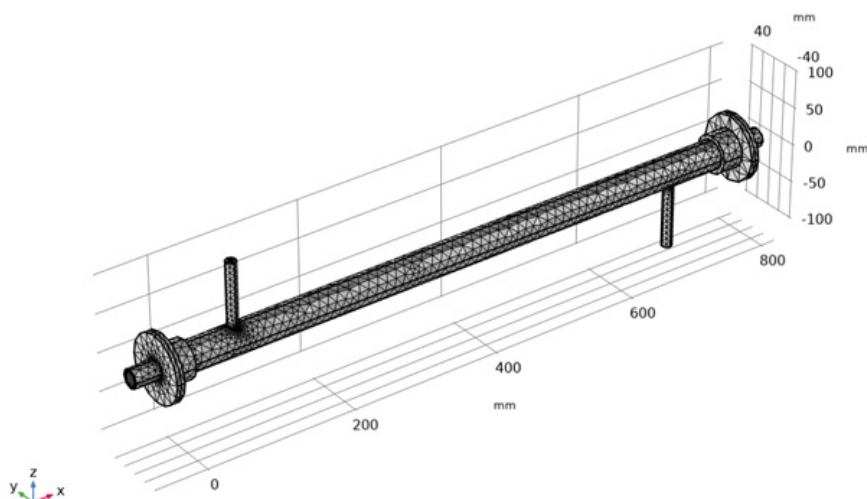


Figure 2 – Model grid *Mesh* of the heat exchanger

Heat transfer was studied during turbulent and laminar water flow with the following parameters at the entrance to the inner pipe: average temperature $T_{\infty} = 50^{\circ}\text{C}$, at the entrance to the outer pipe: average temperature $T_{\infty} = 19.3^{\circ}\text{C}$, pressure $P_{\infty} = 0.1 \text{ MPa}$, degree of turbulence $Tu_{\infty} = 0.1\%$, velocity profile – turbulent developed and laminar flow. Boundary conditions of the first kind $T_w = \text{const}$ were set. The similarity numbers were calculated based on the average outgoing liquid velocity w_{cp} and the determining inner diameter of the pipe D . The turbulent Prandtl number for the conditions under consideration was taken to be 0.9. The Reynolds number in the inner tube was varied from $Re=440$ to $Re=800$, and in the outer tube the Reynolds number varied from $Re=2430$ to $Re=7300$.

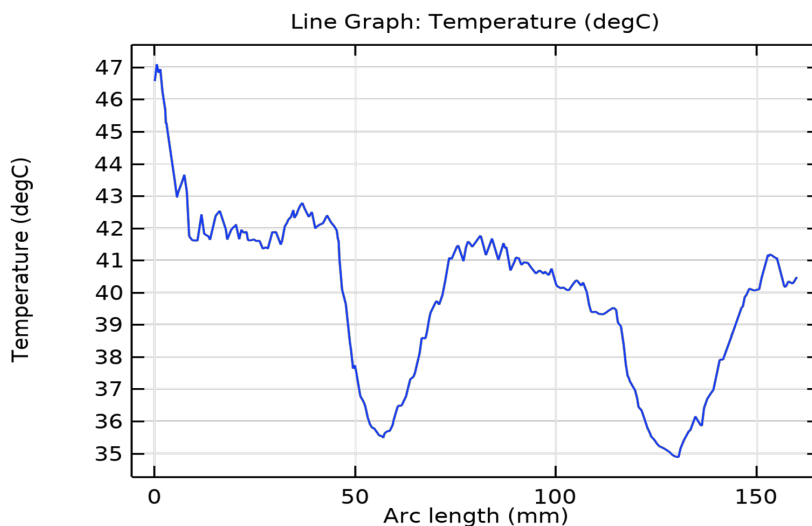
The numerical solution of the equations was based on an implicit finite-volume approach using the Global Definitions pressure correction procedure. The calculated area was covered with an uneven tetrahedral grid with condensation to the channel walls. The size of the minimum step of the grid nodes was selected according to the recommendations (Belov, et al, 2001). The maximum number of cells required to discretize the computational domain was ~ 4 million. For all equations of the system, the convergence criterion of the solution was 10^{-5} .

Experimental part. CFD modeling can be used for in-depth analysis of the movements

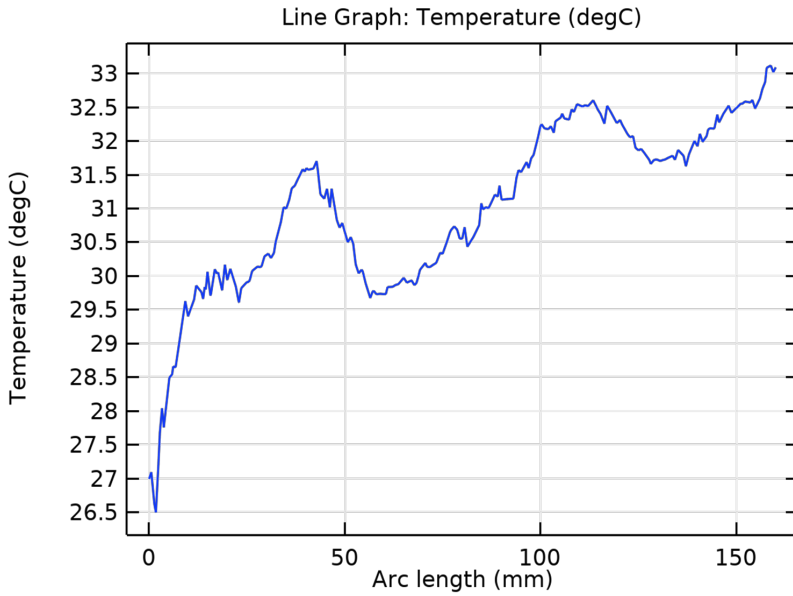
of liquids and their interaction with the coils of the profiled strip. This will help to obtain data on the distribution of velocity, temperature and pressure, as well as identify potential areas for improvement of the structure. The correct choice of the turbulence model (identification) and verification (verification) according to known experimental data were carried out using four models: the standard high-Reynolds $k-\varepsilon$ model ($k-\varepsilon$ Standard), the Realizable $k-\varepsilon$ model, the $k-\omega$ shear stress transfer model (SST) of Menter and the Reynolds stress model (RSM). The turbulence model was identified for smooth pipes and pipes with internal intensifiers with unchanged geometric characteristics and density of the calculated grid.

The distributions of heat transfer coefficients and hydrodynamic resistance are selected as criteria for the adequacy of the turbulence model and the correctness of CFD modeling.

Heat transfer and resistance in a smooth pipe more correctly describe the $k-\varepsilon$ turbulence models, however, they incorrectly predict changes in the average characteristics of heat transfer and resistance for pipes with turbulators. The data on heat exchange and resistance of pipes with turbulators, calculated using the $k-\omega$ SST model, deviate by 32% from the results of experimental researches. The best identification by heat transfer (Fig. 3 and 5) and resistance (Fig. 4 and 6) is shown by the RSM model of Reynolds stresses. At the same time, the maximum deviation of the data does not exceed 0.4% compared to the known dependencies. Figure 3 a and b show the temperature change of the flows along the length of the apparatus in laminar flow mode in the inner and outer pipe. The temperature peaks correspond, according to the geometric model of the device, to precisely such places where the profile strip is twisted and the gap between the strip and the pipe is minimal.



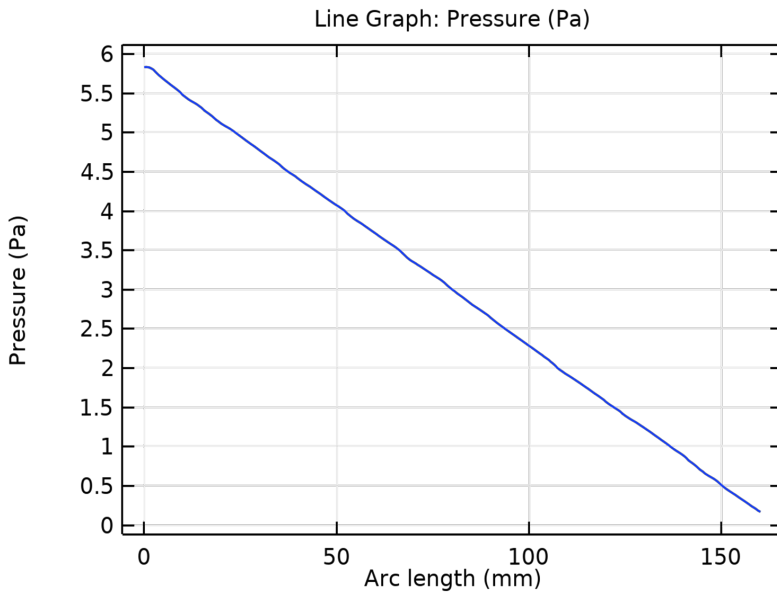
a)



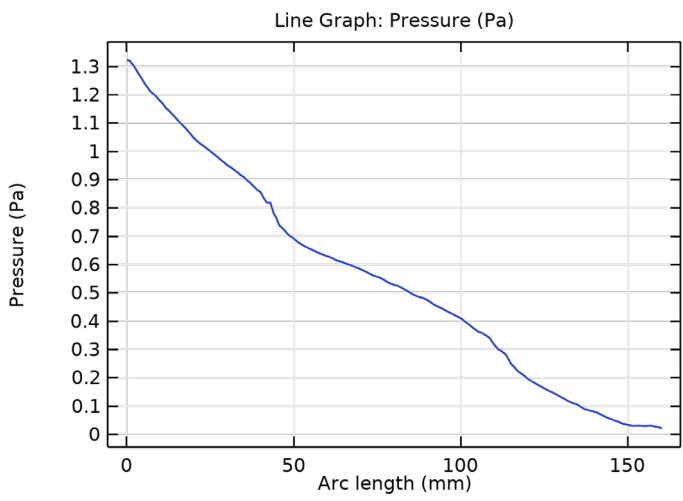
b)

a) inner pipe, b) outer pipe

Figure 3 – Temperature change of flows along the length of the heat exchanger during laminar flow movement



a)



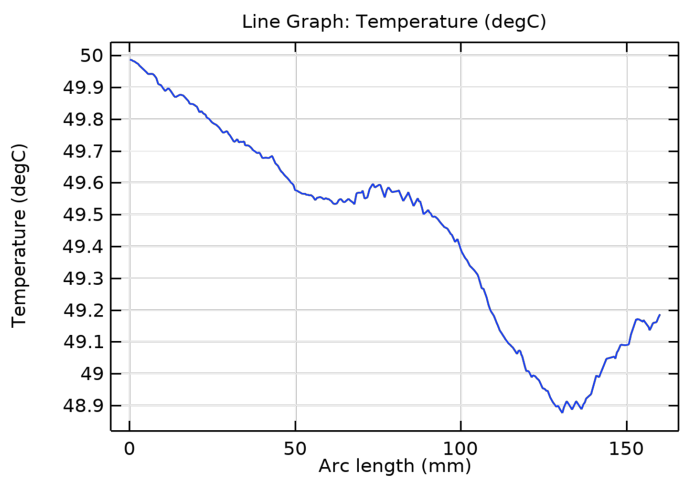
b)

a) outer pipe, b) inner pipe

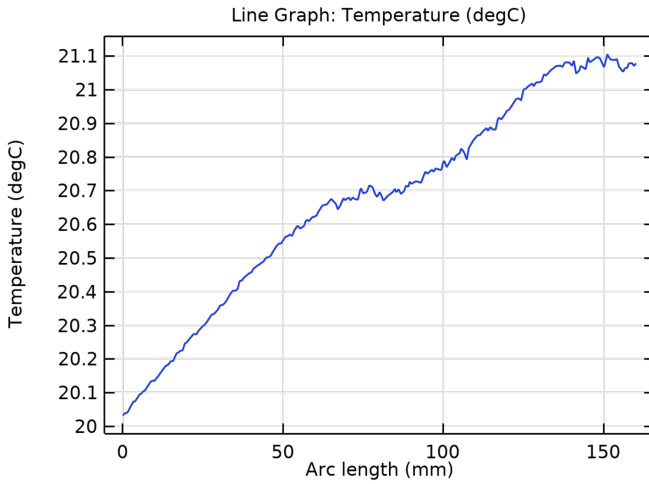
Figure 4 – Flow pressure change along the length of the heat exchanger during laminar flow movement

From Figure 4, it can be concluded that in the outer pipe, in the laminar mode, the pressure decrease along the length of the apparatus occurs uniformly, when this phenomenon occurs abruptly in the inner pipe, this is explained by the fact that a profiled twisted strip is installed in the inner pipe to intensify heat transfer.

A similar pattern can be observed in the turbulent regime in Figures 5 and 6.



a)

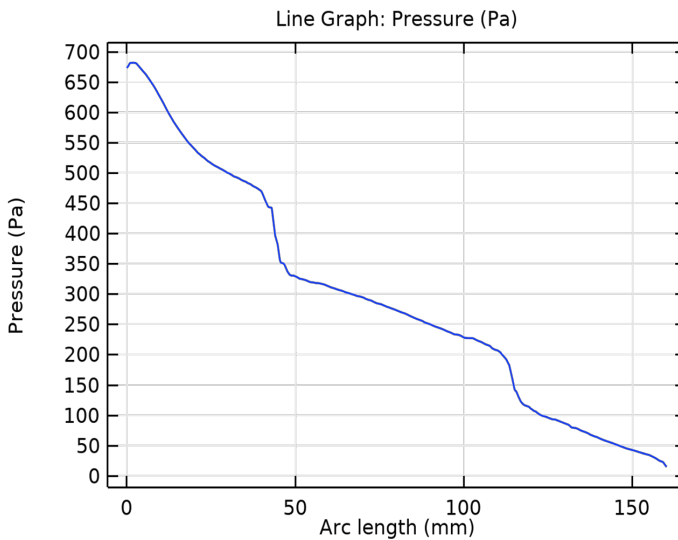


b)

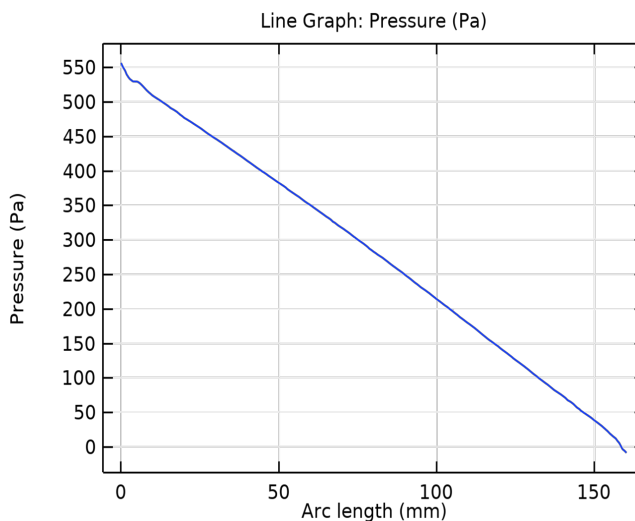
a) inner pipe, b) outer pipe

Figure 5 – Flow temperature change along the length of the heat exchanger during turbulent flow movement

In the turbulent mode, the temperature difference is 1.2⁰C for the hot stream, 1.1⁰C for the cold, and in the laminar mode, such a difference is 6⁰C and 7⁰C, respectively. This is due to the fact that the residence time of the flows in the laminar mode is longer than in the turbulent mode.



a)



b)

a) inner pipe, b) outer pipe

Figure 6 – Flow pressure change along the length of the heat exchanger during turbulent flow movement

Twisted profiled strip increases flow resistance, which can lead to increased inlet and outlet pressure. This should be taken into account when designing the system. To calculate the velocity and other flow characteristics, it is necessary to take into account the hydraulic radius, which varies depending on the design of the heat exchanger.

The coils of the profiled strip increase the contact surface between the liquids and the walls of the pipes, which improves heat transfer. The turbulent vortices created by the strip help to reduce the temperature gradient, contributing to a more even distribution of heat.

Heat exchangers with flow intensifiers in the form of a twisted profiled strip significantly increase the efficiency of heat transfer due to improved convection and turbulence. Understanding the movements of liquids and their relationship to heat transfer is key to optimizing the operation of such systems.

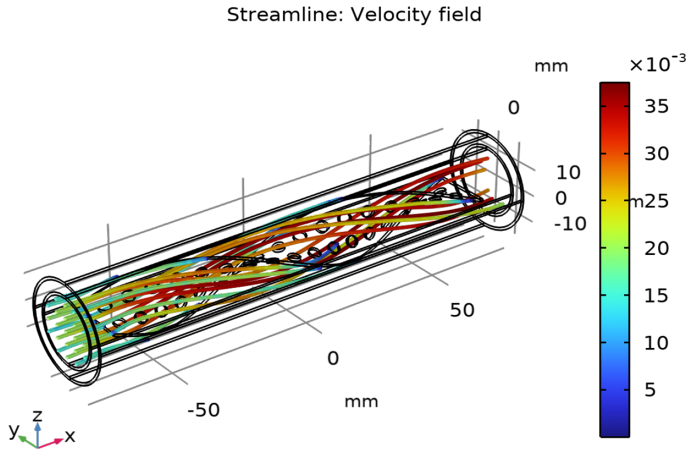
Results and discussion.

Figure 7 shows the effect of loosely fitting perforated twisted strips on flow characteristics. The results of CFD modeling are presented in the form of spatial distributions of velocity isolines and their pulsations, temperatures, flow lines and particle trajectories in the central mutually perpendicular sections of the pipes XOY and XOZ.

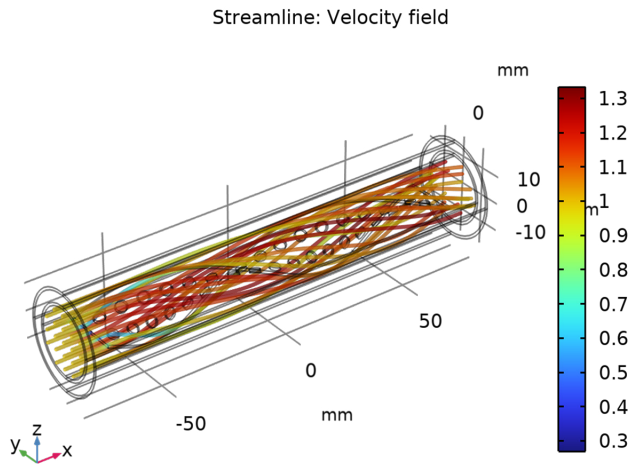
For pipes with turbulators (Fig. 7), an area of circulating flow is observed, formed as a result of the separation of a viscous layer from the surface of the turbulator, as it moves forward along the flow, the gradually detached boundary layer bends towards the pipe wall and then joins it in the region $x \approx 20$ mm. The boundary layer developing from the point of attachment flows onto the turbulator in front of which another separation

region is formed, which leads to a local increase in velocity and causes an increase in pulsations monotonously increasing downstream.

A local increase in velocity (Fig. 7a) contributes to an increase in pulsations and leads to an increase in the intensity of heat transfer in general. The flow gradually warms up near the wall (Fig. 7b). In this case, the flow disturbances near the wall behind the obstacle reach 1%, and the flow core remains undisturbed (Fig. 7b).



a)



b)

Figure 7 – Change in flow velocity along the length of the heat exchanger during laminar (a) and turbulent (b) flow movements

The swirling flow moves along the axis of the pipe, and the intensification of heat transfer in this case occurs due to the swirling of the flow.

The flow pattern in the pipe is shown in Fig. 7b, a diagram of current lines in the

circulation area and their further propagation in the plane of the XOZ pipe is also illustrated here.

The dependence of the coefficient of friction on the Reynolds number for various twisting coefficients and hole diameters is shown in Figure 8. A pipe fitted with loosely fitting perforated twisted strips resulted in a higher coefficient of friction than a conventional pipe. This is due to the disturbance of the fluid flow, a larger contact surface area with a longer flow path, and the dispersion of the dynamic pressure of the working fluid due to a high loss of viscosity near the pipe wall.

As can be seen from Figure 8, the coefficient of friction and the relative ratio of the coefficients of friction increase with a decrease in the Reynolds number, which can be explained by the fact that at lower values of the Reynolds number, the liquid can pass through the entire strip and generate more friction forces due to the occurrence of small vortices behind the strip.

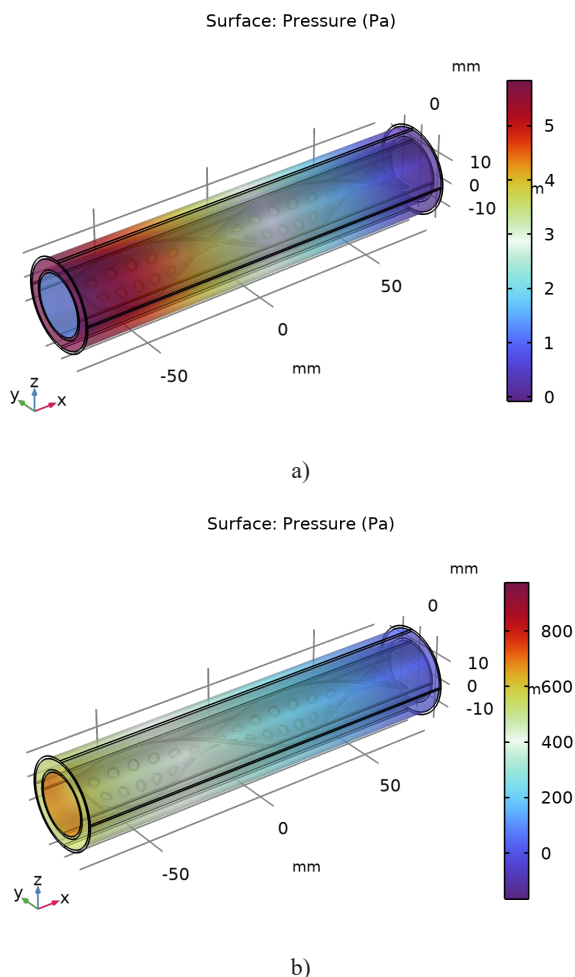


Figure 8 – Flow pressure change along the length of the heat exchanger during laminar (a) and turbulent (b) flow movements

Loosely fitting perforated twisted strips create less friction during flow movement compared to a conventional twisted strip. This is due to the fact that a conventional twisted strip creates a greater disturbance of the flow near the wall. The coefficient of friction tends to increase with a decrease in the coefficient of twisting and the diameter of the hole, similar to the coefficient of heat transfer. This is due to the fact that the use of a twisted strip with a lower twist coefficient and a smaller hole diameter leads to higher flow blocking and turbulence intensity in the flow field.

The theoretical part. The CFD modeling software package (COMSOL multiphysics 6.1) was used to perform three-dimensional numerical calculations of inserts from a conventional pipe and twisted strip in a pipe with a constant heat flow using the following basic equations [20].

The continuity equation for an incompressible fluid:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

The conservation of momentum equation:

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \rho \vec{g} + \nabla \cdot \tau_{ij} + \vec{F} \quad (2)$$

The energy conservation equation:

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot \{ \vec{v} (\rho E + p) \} = \nabla \cdot \{ K_{\text{eff}} \nabla T - \sum h_i (\vec{\tau}_{\text{eff}} \cdot \vec{v}) \} + S_h \quad (3)$$

The numerical values of mass flow and constant heat flow used for modeling formed the basis of this numerical research. Steel and aluminum, respectively, were chosen as the material for the manufacture of ordinary pipe and twisted strip. In all simulation cases, water was used as the working fluid.

The CFD modeling software package (COMSOL multiphysics 6.1) was used to solve the above-mentioned control equations based on certain boundary conditions.

For this research, a sequential solution algorithm (the algorithm of a separate solver) was chosen, and the solver setting includes an implicit formulation, a stationary (time-independent) calculation, a visco-laminar model and an energy equation. The SIMPLE algorithm has been selected as the pressure-velocity coupling method and the first-order upwind scheme was used for the energy and momentum equations solution. The following equations are used to calculate the Nusselt number (Nu) and the coefficient of friction (f) as the coefficient of surface friction (Salman, et al, 2013):

$$\text{Nu} = \frac{hD}{K} \quad (4)$$

where the heat transfer coefficient h was determined using the equation (5):

$$h = \frac{q}{T_w - T_b}, \quad (5)$$

coefficient of friction

$$f = \frac{16}{\text{Re}}. \quad (7)$$

Reynolds number

$$\text{Re} = \frac{\rho u D}{\mu}, \quad (8)$$

where D is the diameter of the tube, h is the heat transfer coefficient, K is the conductivity of water, q is the heat flow on the tube, T_w is the temperature of the tube wall, and T_b is the volumetric temperature of the water $T_b = (T_o + T_i)/2$, T_i inlet water temperature, T_o temperature of the water at the outlet, ρ is the density, μ is the dynamic viscosity, and u is the velocity of the water.

Conclusions.

Based on the research results, computational models of flows near the wall region for an intensifier in the form of a profiled strip were constructed, data were obtained on the distribution of turbulence, velocity and temperature inside the pipe and the influence of the intensifier shape on them, and the mechanisms of heat transfer intensification were explained.

Heat transfer in a pipe-in-pipe heat exchanger equipped with profiled twisted ribbon elements under turbulent and laminar flow modes of heat carriers was investigated. The main conclusions can be drawn as follows:

Strip flow intensifiers significantly increase the efficiency of heat transfer in both laminar and turbulent modes by increasing the surface area and improving flow distribution.

In the laminar mode, the intensifiers help to reduce the temperature gradient between the heat carriers, which improves heat transfer. However, the overall heat transfer coefficient remains lower than in the turbulent regime.

During the transition to a turbulent regime, a significant increase in the heat transfer coefficient is observed. Intensifiers provide a more uniform distribution of flows, which leads to increased heat transfer and reduced energy losses.

It has been established that the efficiency of intensifiers depends on the flow speed and viscosity of heat carriers. In high velocities and low viscosity, the benefits of the intensifiers become more noticeable.

The multiphysical modeling made it possible to take into account the interaction of heat transfer, hydrodynamics and heat transfer, which gave a more complete depiction of the processes taking place in the apparatus. Modeling has shown that changes in the flow rate and viscosity of heat carriers significantly affect the characteristics of heat transfer. High flow rates significantly increase the efficiency of heat transfer due to intensifiers. The simulation results indicated the possibility of optimizing the

sizes and shapes of the intensifiers to achieve maximum efficiency. Ideal parameters have been identified at which the greatest increase in heat transfer is achieved. The simulation has demonstrated the high efficiency of using such structures in various industrial applications, which opens up prospects for the development of more efficient heat exchangers. It is recommended to conduct additional experiments to validate the model and refine the flow data, which will help improve the accuracy of forecasting heat exchange processes.

The results of the research show that optimizing the size and location of the intensifiers can lead to further improvement of heat exchange characteristics. The data obtained can be useful for designing more efficient heat exchangers in various industries, including energy and petrochemicals.

References

- Abiev R.S. (2002) Computational fluid dynamics and heat and mass transfer. Introduction to the Finite Difference method, A study guide, St. Petersburg: Publishing House of the St. Petersburg State University of Chemistry. ISBN 978-5-230-09650-4.
- Belov I.A., Isaev S.A. (2001) Modeling of turbulent flows, A study guide, St. Petersburg, BSTU, 109 p.
- Comsol multiphysics user's guid. Comsol 6.1. / Electronic resource/ 2022, - 1292p.
- Gao T, Sammakia B, Geer J. (2015) Dynamic response and control analysis of cross flow heat exchangers under variable temperature and flow rate conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 81:542-553. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.10.046> (in Eng.).
- Jithin K.V., Pradeep A. (2020) Heat Transfer Enhancement of Concentric Double-Pipe Heat Exchanger Utilizing Helical Wire Turbulator, *Recent Asian Research on Thermal and Fluid Sciences*, 319-339. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1892-8_26 (in Eng.).
- Kassymov A., Adykanova A., Bektemissov A., Astemessova K., Turlybekova G. (2023) Intensification of Heat Transfer in Hybrid Solar Collectors by using nanofluids as a coolant, *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 348(4):69–79. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.243> (in Eng.).
- Krutova I. A., Zolotonosov Ya. D. (2020) Computer modeling of hydrodynamics and heat transfer in conical coil heat exchangers of the “pipe in a pipe” type [Komp'yuternoe modelirovanie gidrodinamiki i teploobmena v konicheskikh zmeevikovykh teploobmennikah tipa «truba v trube», *Izvestiya KGASU*, 3(53):65-73 (in Russ).
- Mukhametzyanov A.G., Soskov V.N., Alekseev K.A., Dolgova N.V. (2017) Creation of a three–dimensional computational domain and grid generation for CFD modeling of flow hydrodynamics in Kenics KM static mixers. Part 1,2. [Sozдание trekhmernoj raschetnoj oblasti i generaciya setki dlya CFD – modelirovaniya gidrodinamiki potoka v staticheskikh smesitelyah Kenics KM. Chast' 1,2] *Bulletin of the Technological University*, 20(4):93-102 (in Russ).
- Nakhchi M.E., Hatami M, Rahmati M. (2020) Experimental investigation of heat transfer enhancement of a heat exchanger tube equipped with double-cut twisted tapes, *Applied Thermal Engineering*, 180:115863. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115863> (in Eng.).
- Pulin A., Laptev, M., Kortikov N., Barskov V., Roschenko G., Alisov K., Talabira I., Gong B., Rassokhin V., Popovich A., Novikov P. (2024) Numerical Investigation of Heat Transfer Intensification Using Lattice Structures in Heat Exchangers, *Energies*, 17:3333. <https://doi.org/10.3390/en17133333> (in Eng.).
- Quadir G, Badruddin IA, Ahmed NS. (2014) Numerical investigation of the performance of a triple concentric pipe heat exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 75:165-172. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.03.042> (in Eng.).
- Salman S. D., Kadhum A. A. H., Takriff M. S., Mohamad A. B. (2013) CFD Analysis of Heat Transfer and Friction Factor Characteristics in a Circular Tube Fitted with Quadrant-Cut Twisted Tape Inserts, *Mathematical Problems in Engineering*, 1:273764. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/273764> (in Eng.).
- Sheikholeslami M, Ganji D. (2016) Heat transfer improvement in a double pipe heat exchanger by means

of perforated turbulators, *Energy Conversion and management*, 127:112-123. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.090> (in Eng.).

Shirvan KM, Ellahi R, Mirzakhani S, Mamourian M. (2016) Enhancement of heat transfer and heat exchanger effectiveness in a double pipe heat exchanger filled with porous media: numerical simulation and sensitivity analysis of turbulent fluid flow, *Applied Thermal Engineering*, 109:761-774. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.116> (in Eng.).

Singh N.K., Pradhan S.K. (2020) Experimental and numerical investigations of pipe orbital welding process, *Mater Today Proc [Internet]*, 27:2964–2969. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.902> (in Eng.).

Syah R, Batani A, Valizadeh K, Elveny M, Shaeban Jahanian M, Ramdan D, Davarpanah A. (2022) Computational fluid dynamic simulations to improve heat transfer in shell tube heat exchangers, *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 20(7):749-64. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2021-0145> (in Eng.).

Tsvetova E. V. (2022) Numerical modeling, A study guide, Ulyanovsk, UISTU. ISBN 978-5-9795-2265-4.

Urvija, Suresh Kumar Bhadoriya, Rajdev Se. (2024) Numerical investigation and optimization of double pipe heat exchangers using Complex Proportional Assessment techniques, *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5:5941-5947 (in Eng.).

Yadav S, Sahu S.K. (2019) Heat transfer augmentation in double pipe water to air counter flow heat exchanger with helical surface disc turbulators, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 135:120-132. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.11.018> (in Eng.).

Zhang Y, Hangi M, Wang X, Rahbari A. (2023) A comparative evaluation of double-pipe heat exchangers with enhanced mixing, *Applied Thermal Engineering*, Jul 25;230:120793. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120793> (in Eng.).

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 129–137

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.254>

ГРПТИ 61.57.01

УДК 541.183.24

©**M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova***, **Zh.D. Alimkulova, S.O. Abilkasova, S.T. Daumetova, 2024.**

Almaty technological university, Almaty, Kazakhstan.

E-mail:Zh.shaikhova1965@gmail.com

NEW SELECTIVE SORBENTS FOR THE EXTRACTION OF ALKALI METAL IONS

Kurmanaliev Musrepbek Kurmanalievich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Almaty Technological University, senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», e-mail: mkk@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8561-4332>;

Shaikhova Zhanat Erezhinovna – Master of Technical sciences, senior-lecturer, Almaty Technological University, senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», e-mail: Zh.shaikhova1965@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>;

Alimkulova Zhamilya Dzhakypberkyzy – Master of Chemistry, senior-lecturer, Almaty Technological University, senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», e-mail: Zhamilya111@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9938-6710>;

Abilkasova Sandugash Orynbaevna – Candidate of technical science, assistant professor, Almaty Technological University, senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», e-mail: sandy_ao@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>;

Daumetova Saltanat Turmaganbetkyzy – Master of Education, PhD student, Almaty Technological University, Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology», e-mail: daumetova83@mail.ru <https://orcid.org/0009-0008-2667-0228>.

Abstract. Macromolecules with crown ether groups represent a fundamentally new type of sorbents, the active centers of which are ligands that retain electroneutrality in the process of simultaneous binding of cations, anions or organic compounds. The aim of the research work is to study the conditions for the preparation of polymeric sorbents containing diaminodicyclohexylcrown ethers, as well as to study the activity of these sorbents with respect to the extraction of alkali metal cations. A macroporous copolymer of styrene and divinylbenzene containing 18.4% chlorine was used in this work. Chemical grafting of cycloaliphatic crown ethers onto macroporous chloromethylated copolymer of styrene and divinylbenzene was carried out. Under the selected conditions, polycrown-ethers with the content of crown ether groups 1.42 mmol/g were obtained when diaminodicyclohexyl-18-crown-6 (DADCH-18c6) was used, while the content of macrocyclic groups 1.24 mmol/g was obtained when diaminodicyclohexyl-24-crown-8 (DADCH-24c8) was used.

As a result, immobilization of macrocycles on the surface of polymeric carrier was confirmed by IR spectroscopy and elemental analysis. New selective sorbents for alkali metal ions based on diaminodicyclohexyl-24-crown-8 and diaminodicyclohexyl-18-crown-6 were developed. The extraction of alkali metals under static conditions by grafted type sorbents based on different macrocycles has been investigated. High values of distribution coefficients of alkali metals by synthesized sorbents in acidic medium were shown. The following selectivity series were found for the sorbent with diaminodicyclohexyl-18-crown-6 fragments: $K^+ > Cs^+ > Na^+$, and for the sorbent with diaminodicyclohexyl-24-crown-8 fragments: Na^+, K^+, Cs^+ . The efficiency of the obtained sorbent for the extraction of alkali metal cations was shown.

Keywords: polymeric sorbents, sorption, crown ethers, selectivity, styrene-divinylbenzene copolymer.

©М.Қ. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова*, Ж.Д. Алимқулова, С.О. Әбілқасова,
С.Т. Дауметова, 2024.

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: zh.shaikhova1965@gmail.com

СІЛТІЛІК МЕТАЛЛ ИОНДАРЫН ЭКСТРАКЦИЯЛАУҒА АРНАЛҒАН ЖАҢА ТАҢДАМАЛЫ СОРБЕНТТЕР

Құрманалиев Мүсірепбек Құрманәліұлы – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының профессоры, химия ғылымдарының докторы, e-mail: mkk@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8561-4332>;

Шаихова Жанат Ережинқызы – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының сениор-лекторы, техника ғылымдарының магистрі, e-mail: zh.shaikhova1965@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>;

Алимқулова Жамиля Жақыпбердіқызы – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының сениор-лекторы, химия ғылымдарының магистрі, e-mail: Zhamilya111@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9938-6710>;

Әбілқасова Сандуғаш Орынбайқызы – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының профессор ассистенті, техника ғылымының кандидаты, e-mail: sandy_ao@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>;

Дауметова Салтанат Тұрмағанбетқызы – Алматы технологиялық университеті, «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының PhD докторанты, педагогика ғылымдарының магистрі, e-mail: daumetova83@mail.ru ORCID 0009-0008-2667-0228.

Аннотация. Краун-эфир топтары бар макромолекулалар – белсенді орталықтары катиондарды, аниондарды немесе органикалық қосылыстарды бір мезгілде байланыстыру процесінде электронейтралдылықты сақтайтын лигандтар болып табылатын сорбенттердің түбегейлі жаңа түрі. Зерттеу жұмысының мақсаты – құрамында диаминодициклогексилкраун эфирлері бар полимерлі сорбенттерді алу жағдайларын зерттеу, сондай-ақ сілтілік металл катиондарын алуға қатысты осы сорбенттердің белсенділігін зерттеу болып табылады. Әдістер мен материалдар: жұмыста құрамында 18,4% хлор бар стирол мен дивинилбензолдың (8% дивинилбенол) макропоралы сополимері қолданылды.

Стирол мен дивинилбензолдың макропоралы хлорметилденген сополимеріне циклолифатты кроун-эфирлерді химиялық егу жүргізілді. Тандалған жағдайларда диаминодициклогексил-18-кроун-6 (ДАДЦГ-18к6) қолданған кезде құрамында 1,42 ммоль/г кроун-эфир топтары бар поликроун-эфирлер, диаминодициклогексил-24-кроун-8 (ДАДЦГ-24к8) қолданған кезде 1,24 ммоль/г макроциклді топтардың мазмұны алынды. зерттеулер мен нәтижелер. Макроциклдердің полимерлі тасымалдаушының бетіне иммобилизациясы ИҚ спектроскопиясы және элементтік талдау әдістерімен расталады. ДАДЦГ-24к8 және ДАДЦГ-18к6 негізіндегі сілтілі металл иондары үшін жаңа селективті сорбенттер әзірленді. Статикалық жағдайда сілтілі металдарды әртүрлі макроциклдер негізінде егілген типті сорбенттермен алу зерттелді. Қышқыл ортада синтезделген сорбенттермен сілтілі металдардың таралу коэффициенттерінің жоғары мәндері (Na^+ , K^+ , Cs^+) көрсетілген. ДАДЦГ-18к6 фрагменттері бар сорбент үшін келесі селективтілік қатарлары табылды: Na^+ , K^+ , Cs^+ , ал ДАДЦГ-24к8 фрагменттері бар сорбент үшін: Na^+ , K^+ , Cs^+ алынған сорбенттің сілтілі металл катиондарын алу тиімділігі көрсетілген.

Түйін сөздер: полимерлі сорбенттер, сорбция, кроун-эфирлер, таңдамалылық, стирол мен дивинилбензолдың сополимері.

©М.К. Курманалиев, Ж.Е. Шаихова*, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова,
С.Т. Дауметова, 2024.

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан.

*E-mail: zh.shaikhova1965@gmail.com

НОВЫЕ СЕЛЕКТИВНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Курманалиев Мусрепбек Курманалиевич – Алматинский технологический университет, профессор кафедры «Химия, химическая технология и экология», доктор химических наук, e-mail: mkk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8561-4332>;

Шаихова Жанат Ережиновна – Алматинский технологический университет, сениор-лектор кафедры «Химия, химическая технология и экология», магистр технических наук, e-mail: zh.shaikhova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>;

Алимкулова Жамиля Джакыпбердыкызы – Алматинский технологический университет, сениор-лектор кафедры «Химия, химическая технология и экология», магистр химических наук, e-mail: Zhamilya111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9938-6710>;

Абилкасова Сандугаш Орынбаевна – Алматинский технологический университет, ассистент профессора кафедры «Химия, химическая технология и экология», кандидат технических наук, e-mail: sandy_ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>;

Дауметова Салтанат Тұрмағанбетқызы – Алматинский технологический университет, PhD докторант кафедры «Химия, химическая технология и экология», магистр педагогических наук e-mail: daumetova83@mail.ru, ORSiD 0009-0008-2667-0228.

Аннотация. Макромолекулы с кроун-эфирными группами представляют собой принципиально новый тип сорбентов, активными центрами которых являются лиганды, сохраняющие электронейтральность в процессе одновременного связывания катионов, анионов или органических соединений. Целью

исследовательской работы является изучение условий получения полимерных сорбентов, содержащих диаминодициклогексилкраун-эфиры, а также исследование активности этих сорбентов в отношении извлечения катионов щелочных металлов. Методы и материалы. В работе использовали макропористый сополимер стирола и дивинилбензола (8% дивинилбензола), содержащий 18,4% хлора. Осуществлена химическая прививка циклоалифатических краун-эфиров на макропористый хлорметилированный сополимер стирола и дивинилбензола. В выбранных условиях при применении диаминодициклогексил-18-краун-6 (ДАДЦГ-18к6) получены поликраун-эфиры с содержанием краун-эфирных групп 1,42 ммоль/г, при использовании диаминодициклогексил-24-краун-8 (ДАДЦГ-24к8) содержание макроциклических групп 1,24 ммоль/г. Исследования и результаты. Имобилизация макроциклов на поверхность полимерного носителя подтверждена методами ИК-спектроскопии и элементного анализа. Разработаны новые селективные сорбенты для ионов щелочных металлов на основе ДАДЦГ-24к8 и ДАДЦГ-18к6. Исследовано извлечение щелочных металлов в статических условиях сорбентами привитого типа на основе различных макроциклов. Показаны высокие значения коэффициентов распределения щелочных металлов (Na^+ , K^+ , Cs^+) синтезированными сорбентами в кислой среде. Найденные следующие ряды селективности для сорбента с диаминодициклогексил-18-краун-6 фрагментами: $\text{K}^+ > \text{Cs}^+ > \text{Na}^+$, а для сорбента с диаминодициклогексил-24-краун-8 фрагментами: $\text{Cs}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Показана эффективность полученного сорбента для извлечения катионов щелочных металлов.

Ключевые слова: полимерные сорбенты, сорбция, краун-эфиры, селективность, сополимер стирола и дивинилбензола.

Introduction. Macrocyclic polyesters, in particular, crown ethers have specific physical and chemical properties, as they are able to form complexes with alkali metal salts, increase the solubility of hard-to-soluble salts in weakly polar organic solvents, and change the state of ion pairs in solutions of different polarity (Yankovskaya, 2015). They can bind certain ions by incorporating them into the inner cavity of the crown ether, with different complex structures being formed depending on the volume of the corresponding cation.

These complexes are most stable when the size of the metal ion is close to the cavity size of the crown ether molecule (Yankovskaya, 2016). This makes it possible to create selective sorbents of complex-forming type on the basis of crown ethers, which are able to effectively extract metal cations from various solutions. Soaking such sorbents in a salt solution leads to the fact that the concentration of metal cations in the crown ether becomes several orders of magnitude higher compared to their concentration in the initial solution.

Polyester macrocycles have high complexing ability towards alkali and alkaline earth metal cations. For their efficient extraction it is proposed to use sorbents based on crown ethers, which are selective to certain metals (Dovhyi, 2017). Their use significantly simplifies the analysis scheme and allows the separation of metal cation from solutions of complex composition (Yankovskaya, 2017, Dovgiy et.al. 2017).

Methods for the preparation of polymeric sorbents containing crown-ethers and their analogs can be divided into two large groups:

- immobilization of crown-ethers with covalent bonds;
- immobilization of crown-ethers without covalent binding (impregnation).

A number of sorbents based on dicyclohexyl-18-crown-6 and its derivatives (Yankovskaya, 2018; Yakshin, 2010; Zakurdaeva, et al., 2010; Bezhin, et al., 2017) without covalent binding have been obtained for selective sorption concentration of alkali metal ions, but they have a number of disadvantages. First of all, it is rather high solubility of dicyclohexyl-18-crown-6 in water, leading to its leaching from the sorption system.

In this regard, a promising method for the synthesis of crown-containing polymers is the immobilisation of crown-ethers with covalent bonds onto various polymeric carriers.

The aim of this work is to synthesize and investigate the complexing properties of selective sorbents based on diaminodicyclohexyl-18-crown-6 and diaminodicyclohexyl-24-crown-8 towards alkali metal ions.

Materials and methods

Diaminodicyclohexyl-18-crown-6 (DADCG18k6) and diaminodicyclohexyl-24-crown-8 (DADCG24k8) were prepared according to the method (Dovhyi, 2017). Chloromethylated copolymer of styrene and divinylbenzene (ChMC, 8% divinylbenzene) containing 18.4% chlorine was used.

The interaction of amino derivatives of cycloaliphatic crown ethers with ChMC was carried out under stirring in dioxane medium in the presence of NaHCO_3 at 90 °C for 8 h at a molar ratio of polymer: crown compound = 1:1.

The exchange capacity was determined by nitrogen content and by the method described in (Ergozhin, Kurmanaliev 2020).

The sorption of sodium, potassium and cesium ions was studied under static conditions from aqueous solutions of nitrate salts under stirring at room temperature. The sorption kinetics was investigated by the method of limited solution volume. To obtain the kinetic curves of sorption, 0.1 g of sorbent suspensions (m) were placed in a series of flasks and poured into 10 ml (V) of aqueous solution of the corresponding salt with an initial concentration (C_0) of 8 mg/l and a concentration of nitric acid 1M. After certain time intervals, the solution was separated from the sorbent by filtration and the current concentration of metal ions (C_t) in it was determined on a Kvant-2 atomic absorption spectrophotometer.

The distribution coefficient was calculated using the formula:

$$P = \frac{C_{init} - C_{fin}}{C_{fin}} \cdot \frac{V_s}{m_{sorb}} \text{ ml/g} \quad (1)$$

where C_{init} - concentration of strontium in the initial solution, mg/l;

C_{fin} - concentration of strontium in the solution after sorption, mg/l;

V_s - volume of initial solution taken for sorption, ml;

m_{sorb} - mass of sorbent taken for sorption, g.

IR spectra were recorded on a Vector-22 Fourier spectrometer in KBr tablets.

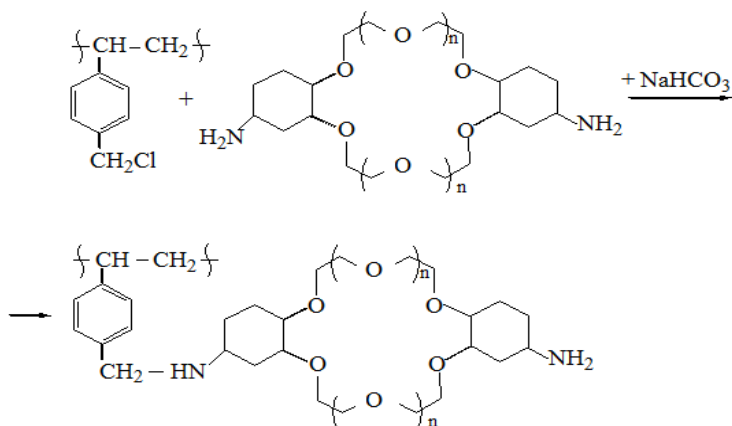
Results and discussion

The wide variety of available synthetic polymers has ensured their widespread use as carriers for the immobilization of crown-ethers. The copolymers of styrene and divinylbenzene have been most widely used for long grafting of crown ethers.

A macroporous copolymer of styrene and divinylbenzene (8% divinylbenzene) containing 18.4% chlorine was used in this work.

The alicyclic diaminodicyclohexylcrown ethers, which have the highest electron-donating ability, are of particular interest for the synthesis of kraun-containing sorbents.

The interaction reaction of ChMC with the indicated crown ethers proceeds according to the following scheme:



Immobilization of macrocycles on the surface of polymer carrier was confirmed by IR spectroscopy and elemental analysis. In the IR spectrum of kraun-containing sorbents there are characteristic absorption bands of valence vibrations of simple ether bonds -C-O-C- in the region of 1350, 1219, 1135 cm^{-1} , there are intense frequencies of valence vibrations of NH_2 - groups at 3425, 3355 cm^{-1} . The characteristic frequencies of CH_2Cl -groups at 1273 and 673 cm^{-1} are absent in the sorbent.

The highest degree of covalent binding of crown ethers to the carrier surface was achieved by immobilization in dioxane at 90° for 16 hours (Table 1).

Table 1. Results of immobilization of crown ethers on ploymer carriers

Crown-ether	Solvent	Temperature, °C	Crown ether content, %	Exchange capacity, mmol/g
DADCG18k6	dimethylformamide	90	48,5	1,18
DADCG18k6	dioxane	70	36,2	0,88
DADCG18k6	dioxane	80	50,2	1,22
DADCG18k6	dioxane	90	58.4	1,42
DADCG24k8	dioxane	90	54.1	1,24

Under selected conditions, diaminodicyclohexyl-18-crown-6 produced polycrown ethers with a content of crown ether groups of 1.42 mmol/g, while diaminodicyclohexyl-24-crown-8 produced a content of macrocyclic groups of 1.24 mmol/g.

The sorption activity of sorbents based on crown-ethers immobilized with polymeric molecules was investigated.

To determine the kinetic laws of sorption of alkali metals were extracted with the obtained sorbent from solutions with 1 M nitric acid concentration. The kinetics of sorption of metal cations was investigated at different duration of contact of sorbent samples with aqueous solutions of nitrate salts until complete saturation of the sorbent. The sorption process was investigated by sampling at intervals and measuring the residual concentration C of metal cations in solution.

The distribution coefficient of alkali metals was calculated using formula (1).

The contact time is an important parameter for studying the kinetic laws of the adsorption process. It was found that during the first 120 min the rate of adsorption process increases due to the large number of free adsorption sites on the surface of crown-ether. With further increase of the contact time, the adsorption rate decreases due to the gradual filling of the porous surface of the polymacrocycle with sorbate, and the adsorption process reaches equilibrium. The total sorption time is 48 hours.

The following selectivity series were found for the sorbent with DADCG18k6: $K^+ > Cs^+ > Na^+$, and for the sorbent with DADCG24k8: $Cs^+ > K^+ > Na^+$. It follows that the principle of cation-macrocycle structural correspondence is observed for the synthesized new sorbents.

To construct the sorption isotherm, extraction was carried out with the obtained sorbent from solutions with different strontium content and 3 M nitric acid concentration. The obtained systems were periodically stirred. After 48 hours the solutions were filtered and the concentration of alkali metals was measured. The results of the isotherm of sorption of alkali metals by the obtained sorbents are presented in Fig. 1.

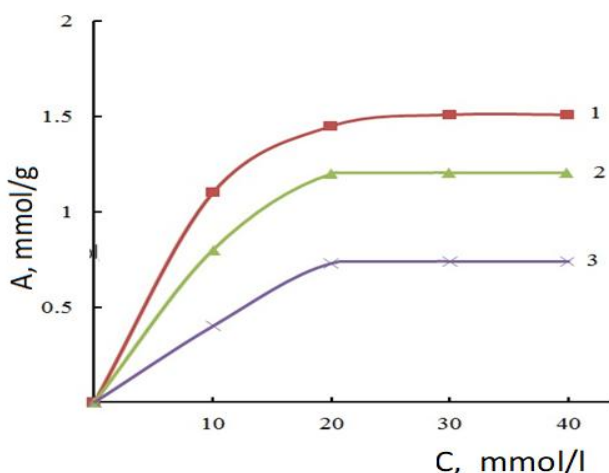


Figure -1 Isotherm of sorption of alkali metal ions by sorbents based on DCG18K6.1- K^+ ;2- Cs^+ ; 3- Na^+

The isotherm of strontium sorption by the obtained sorbent has a linear dependence in the studied concentration range, i.e. the distribution coefficient does not change.

The efficiency of metal ion extraction from aqueous solutions containing crown-ethers is influenced by the presence of amino groups. It is known that the amino group contributes to the formation of a water swelling polymer. When extracting metal salts from aqueous media, the use of sorbents based on water-swelling polymers will lead to an increase in the sorption capacity of sorbents due to easier access of metal ions present in water to the active centers of the sorbent immobilized in the polymer matrix.

Thus, the proposed method of immobilization of macrocycles on available polymeric carriers allows to obtain by polymeranalogous transformations granular sorbents possessing a high concentration of crown-ether groups as well as amino groups. The obtained polymacrocycles may be of interest as selective metal ion sorbents in chromatography, interfacial catalysis and environmental ecology.

Conclusions

1. New selective sorbents for alkali metal ions based on diaminodicyclohexyl-18-crown-6 and diaminodicyclohexyl-24-crown-8 have been developed.

2. The recovery of alkali metals under static conditions by graft-type sorbents based on different macrocycles has been studied.

High values of distribution coefficients of alkali metals (Na, K, Cs) by synthesized sorbents in acidic medium are shown. The following selectivity series were found for the sorbent with DADCH18c6: $K^+ > Cs^+ > Na^+$, and for the sorbent with DADCH24c8: $Cs^+ > K^+ > Na^+$.

References

Bezhin N. A., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu. (2017). Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – Vol. 311, No. 1. – P. 317–322. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4983-2>

Dovgiy I.I., Bezhin N.A., Baulin V.E., Vydysch A.A., Guba L.V., Milyutin V.V., Yankovskaya V.S., Tsivadze A.Yu. (2017). New sorbents of impregnated type on the basis of crown ethers for selective extraction of strontium, lead (II), cobalt (II), cesium and gold (III). Collection of articles on the materials of scientific-practical conference with international participation “Environmental, industrial and energy security - 2017”. September 11-15. Sevastopol. — p. 393-394.

Dovhyi I.I., Bezhin N.A., Vydysch A.A., Guba L.V., Yankovskaya V.S. (2017). Novel Impregnated Type Resins on the Base of Crown Ethers for Selective Sorption of Strontium, Lead(II), Cobalt (II), Cesium and Aurum(III). Proceedings of the X International Conference of Young Scientists in Chemistry “Mendeleev — 2017”. 4—7 April. St. Petersburg. — p. 506.

Ergozhin E.E., Kurmanaliev M.K. (2020). Fundamentals of ion exchange. Almaty, Almanakh. —275p.

Yakshin V.V., Vilkova O.M., N.A. Tsarenko, A.Yu. Tsivadze (2010). Metal extraction from nitric acid solutions by the macrocyclic endoreceptor dicyclohexyl-18-crown-6 immobilized in a polymer matrix. *Doklady Chemistry*. — Vol. 430. No 2. — P. 54–57. <https://doi.org/10.1134/S0012500810020060>

Yankovskaya V.S. (2018). Impregnated type sorbents on the basis of crown ethers for radioanalytical determination of cobalt in aqueous solutions AUTHORIZATION of thesis for the degree of Candidate of Chemical Sciences Moscow.

Yankovskaya V.S., Dovgiy I.I., Milyutin V.V., Nekrasova N.A. Extraction of microquantities of ^{60}Co by sorbents based on crown ethers from rhodanide solutions. Proceedings of the III All-Russian Conference “Analytical chromatography and capillary electrophoresis”. May 21—27. Tuapse. — p. 155.

Yankovskaya V.S., Lyapunov A.Yu., Dovgiy I.I. (2016). Extraction of cobalt by sorbents on the basis of crown ethers from rhodanide solutions. Proceedings of the III International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students “Isotopes: Technology, Materials and Applications”. September 19—23, Tomsk. — p. 57.

Yankovskaya, A.Yu. Lyapunov, I.I. Dovgiy. (2015). Extraction of cobalt by sorbents based on di-tert-butylidicyclohexyl-18-crown-6 /V.S. Proceedings of the II International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students “Isotopes: Technologies, Materials and Applications”. October 19-23, Tomsk. —C. 60.

Zakurdaeva O.A. (2010). An ESR study of radiation-chemical transformation of 4,4'(5')-di(tertbutylcyclohexano)-18-crown-6 and its solution in 1-octanol at 77 K. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — Vol. 284. — P. 641—645. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0529-1>

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 138–151

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.255>

UDC 577.12

IRSTI 34.15.03

D.S. Seitbekov¹, E.S. Ihsanov¹, Koji Matsuoka², 2024.

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

²Saitama University, Japan.

E-mail: dsejtbekov@gmail.com

TECHNOLOGY FOR OBTAINING A COMPLEX OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES BY LYOPHILIZATION FROM THE ABOVEGROUND PART OF THE HALOSTACHYS CASPICA

Ihsanov Erbol Saginovich – PhD, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Faculty of “Food Technology”, Department of “Chemistry, Chemical Technology and ecology”, assistant professor, scientific supervisor, Almaty, Kazakhstan, E-mail: erbol.ih@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4640-9584>;

Seitbekov Dinmukhammed – 2nd year master’s student of Almaty Technological University, Faculty of “Food Technology”, Department of “Chemistry, Chemical Technology and ecology”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: dsejtbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-8290-0502>;

Koji Matsuoka – Professor, Division of Material Sci., Saitama University, Japan, Phone: +81-70-8819-4601, koji@fms.saitama-u.ac.jp, <https://orcid.org/0000-0002-8987-2715>.

Abstract. In this paper, the technology of obtaining a complex of biologically active substances by lyophilization from the aboveground part of the Caspian saline plant is considered. Lyophilization is an effective method that allows you to preserve the structure and properties of valuable compounds obtained from plants. Plants growing in the Caspian Solon are distinguished by their exceptional adaptability and composition rich in bioactive compounds, which makes them interesting for research and use in medical and pharmaceutical contexts.

In the course of the study, raw materials were taken from the aboveground part of the plant and dried by lyophilization. This process is carried out at cold temperatures by evaporating moisture without disturbing the structure of the material. The resulting powder has a high concentration of biologically active substances, which are characterized by antioxidant, anti-inflammatory and adaptogenic properties, the determination of the good quality of the drug, the determination of the sum of extractive substances, the quantitative analysis of the primary raw materials and the main groups of biologically active substances in traditional herbal medicine were considered.

As a result of the study, it was found that a water-ethanol solution with a ratio of raw materials and extractant of 1:5, 50% is effective for extraction. The extraction process

was carried out within 24 hours, at a temperature of 24-28°C, which made it possible to obtain more than 40% of biologically active substances. The quality of the resulting product was at a high level in terms of moisture content, ash content and other physical and chemical indicators.

Practical significance is that this method contributes to the improvement of production technologies for herbal preparations, ensuring environmental safety. In addition, by increasing biological activity, it allows use in the fields of Medicine and pharmaceuticals.

The resulting complex of biologically active substances is potential for use in medicine, cosmetology and the food industry. The lyophilization method increases the quality, shelf life and bioactivity of these products, thus allowing more efficient use of Natural Resources.

Keywords: *Halostachys caspica*, lyophilization, biologically active substances, extraction, antioxidant properties, anti-inflammatory properties, adaptogenic properties, vegetable raw materials, technological parameters, herbal preparation, aqueous ethyl alcohol extract.

Д.С. Сейтбеков¹, Е.С. Ихсанов¹, Koji Matsuoka², 2024.

¹Алматы Технологиялық Университеті, Алматы, Қазақстан;

Сайтама Университеті, Жапония.

E-mail: dsejtbekov@gmail.com

КАСПИЙ СОРТАҢЫ ӨСІМДІГІНІҢ ЖЕР ҮСТІ БӨЛІГІНЕН ЛИОФИЛИЗАЦИЯ ӘДІСІМЕН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАР КЕШЕНІН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Ихсанов Ербол Сагинович – PhD, сениор лектор, Алматы Технологиялық Университет, “Тағам технологиясы” факультеті, “Химия, химиялық технология және экология” кафедрасы, ассистент-профессор, ғылыми жетекші, Алматы, Қазақстан, E-mail: erbol.ih@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4640-9584>;

Сейтбеков Дінмұхаммед – Алматы Технологиялық Университетінің 2 курс магистранты, “Тағам технологиясы” факультеті, “Химия, химиялық технология және экология” кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: dsejtbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-8290-0502>;

Koji Matsuoka – Материалтану кафедрасының профессоры., Сайтама Университеті, Жапония, Тел.: +81-70-8819-4601, kaji@fms.saitama-u.ac.jp, <https://orcid.org/0000-0002-8987-2715> б.

Аннотация. Бұл жұмыста Каспий сортаңы өсімдігінің жер үсті бөлігінен лиофилизация әдісімен биологиялық белсенді заттар кешенін алу технологиясы қарастырылады. Лиофилизация – өсімдіктерден алынатын құнды қосылыстардың құрылымы мен қасиеттерін сақтап қалуға мүмкіндік беретін тиімді әдіс. Каспий сортаңында өсетін өсімдіктер ерекше бейімделгіштік қабілеті мен биоактивті қосылыстарға бай құрамымен ерекшеленеді, бұл оларды медициналық және фармацевтикалық тұрғыда зерттеуге және пайдалануға қызықты етеді.

Зерттеу барысында өсімдіктің жер үсті бөлігінен шикізат алынып, лиофилизация әдісімен кептірілді. Бұл процесс суық температурада материалдың құрылымын

бұзбай, ылғалды буландыру арқылы жүзеге асырылады. Нәтижесінде алынған ұнтақ биологиялық белсенді заттардың жоғары концентрациясына ие, олар антиоксиданттық, қабынуға қарсы және адаптогендік қасиеттермен сипатталады, дәрілік заттың жақсы сапасын анықтау, экстрактивті заттар қосындысын анықтау, бастапқы шикізат пен дәстүрлі шөп медицинасындағы биологиялық белсенді заттардың негізгі топтарына сандық талдау жасау қарастырылды.

Зерттеу нәтижесінде, шикізат пен экстрагенттің қатынасы 1:5, 50%-дық су-этанол ерітіндісінің экстракцияға тиімді екені анықталды. Экстракция процесі 24 сағат ішінде, 24–28°C температурада жүргізіліп, биологиялық белсенді заттардың 40%-дан астамын алуға мүмкіндік берді. Алынған өнімнің сапасы ылғалдылығы, күлділігі және басқа физикалық-химиялық көрсеткіштері бойынша жоғары деңгейде болды.

Практикалық маңыздылығы – бұл әдіс экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етіп, шөптік препараттардың өндірістік технологияларын жетілдіруге ықпал етеді. Сонымен қатар, биологиялық белсенділікті арттыру арқылы медицина мен фармацевтика салаларында қолдануға мүмкіндік береді.

Алынған биологиялық белсенді заттар кешені медицинада, косметологияда және азық-түлік өнеркәсібінде қолдануға әлеуетті болып табылады. Лиофилизация әдісі бұл өнімдердің сапасын, сақталу мерзімін және биоактивтілігін арттырады, осылайша табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Каспий сортаңы, лиофилизация, биологиялық белсенді заттар, экстракция, антиоксиданттық қасиеттер, қабынуға қарсы қасиеттер, адаптогендік қасиеттер, өсімдік шикізаты, технологиялық параметрлер, шөптік препарат, су-этил спирті сығындысы.

Д.С. Сейтбеков¹, Е.С. Ихсанов¹, Koji Matsuoka², 2024.

¹Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан;

²Университет Сайтама, Япония.

E-mail: dsejtbekov@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ЛИОФИЛИЗАЦИИ ИЗ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ СОЛЯНОКОЛОСНИКА ПРИКАСПИЙСКОГО

Ихсанов Ербол Сагинович – PhD, сениор лектор, Алматинский технологический Университет, факультет «Пищевая технология», кафедра «Химия, химическая технология и экология», ассистент-профессор, научный руководитель, Алматы, Казахстан, E-mail: erbol.ih@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4640-9584>;

Сейтбеков Динмухаммед – магистрант 2 курса Алматинского технологического университета, факультет «Пищевая технология», кафедра «Химия, химическая технология и экология», Алматы, Казахстан, E-mail: dsejtbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-8290-0502>;

Koji Matsuoka – профессор кафедры материаловедения Университета Сайтама, Япония, тел.: +81-70-8819-4601, koji@fms.saitama-u.ac.jp, <https://orcid.org/0000-0002-8987-2715>.

Аннотация. В данной работе рассматривается технология получения комплекса биологически активных веществ методом лиофилизации из надземной части Каспийского солончака. Лиофилизация-эффективный метод, позволяющий сохранить структуру и свойства ценных соединений, полученных из растений. Растения, произрастающие на Каспийском солончаке, отличаются исключительной адаптивной способностью и богатым составом биоактивных соединений, что делает их интересными для изучения и использования в медицинском и фармацевтическом плане.

В ходе исследования сырье извлекали из надземной части растения и сушили методом лиофилизации. Этот процесс осуществляется путем испарения влаги при низких температурах, не разрушая структуру материала. Полученный порошок обладает высокой концентрацией биологически активных веществ, они характеризуются антиоксидантными, противовоспалительными и адаптогенными свойствами, рассмотрены определение хорошего качества лекарственного средства, определение комбинации экстрактивных веществ, количественный анализ основных групп биологически активных веществ в исходном сырье и традиционной фитотерапии.

В результате исследования установлено, что для экстракции эффективен водно-этанольный раствор с соотношением сырья и экстрагента 1:5, 50%. Процесс экстракции проводился в течение 24 часов при температуре 24-28°C, что позволило получить более 40% биологически активных веществ. Качество получаемой продукции было на высоком уровне по влажности, зольности и другим физико-химическим показателям.

Практическая значимость заключается в том, что этот метод обеспечивает экологическую безопасность и способствует совершенствованию технологий производства лекарственных трав. Кроме того, он позволяет использовать в медицине и фармацевтике за счет повышения биологической активности.

Полученный комплекс биологически активных веществ имеет потенциал для применения в медицине, косметологии и пищевой промышленности. Метод лиофилизации повышает качество, срок хранения и биоактивность этих продуктов, что позволяет более эффективно использовать природные ресурсы.

Ключевые слова: соляноколосник прикаспийский, лиофилизация, биологически активные вещества, экстракция, антиоксидантные свойства, противовоспалительные свойства, адаптогенные свойства, растительное сырье, технологические параметры, растительный препарат, водно-этиловый спирт экстракт.

Кіріспе. Өсімдіктерден биологиялық белсенді заттарды алу қазіргі ғылым мен өндірістің маңызды бағыты болып табылады. Өсімдіктерде құнды фармакологиялық және биологиялық қасиеттері бар әртүрлі химиялық қосылыстар бар. Осындай өсімдіктердің бірі – Каспий теңізінің жағалау аймақтарында өсетін амарант тұқымдасының көпжылдық өсімдігі каспий сортаңы.

Каспий сортаңы тұзды топырақ пен жоғары тұзды орта сияқты төтенше жағдайларға бейімделу тәсілімен танымал. Дәл осы қабілеттің арқасында өсімдік

өз тіндерінде адам ағзасына жағымды әсер ете алатын бірегей биологиялық белсенді заттарды жинайды.

Бұл зерттеудің мақсаты – лиофилизация әдісімен Каспий сортаңы өсімдігінің ауа бөлігінен биологиялық белсенді заттар кешенін алу технологиясын жасау. Лиофилизация – биологиялық белсенді заттардың пайдалы қасиеттері мен құрылымын сақтауға мүмкіндік беретін өсімдік материалынан суды мұздату және сублимациялау процесі. Зерттеу аясында лиофилизацияға дейін өсімдіктің антенналық бөлігін дайындау, суды мұздату және сублимациялау, биологиялық белсенді заттармен құрғақ қалдық алу, сонымен қатар алынған кешеннің сапасын бақылау жүргізіледі.

Зерттеу Каспий сортаңы өсімдіктердің әлеуетін және оны фармацевтика, косметика және тамақ өнеркәсібінде пайдалану мүмкіндігін толық зерттеуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер адамның денсаулығы мен әл-ауқатын жақсартуға ықпал ететін жаңа препараттарды, табиғи косметиканы және функционалдық тағамдарды әзірлеуге негіз бола алады.

Материал мен әдістер.

IES C-B шартты шөп дәрісін алу әдісі келесі жолмен жүзеге асырылады. 50-100 г өсімдік шикізаты (Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) ауа бөліктері) шикізат-экстрагент қатынасы 1:5 болатын 250-500 мл 50% су-этил спиртіні құйып, 24-28°C температурада жарықсыз 24 сағатқа қояды. Колбаның ішіндегісін суытып, жақсылап шайқайды және қағаз фильтр арқылы құрғақ колбаға сүзеді. Экстракция процесі жоғарыда көрсетілген тәртіппен тағы үш рет қайталанады. Сығындыларды біріктіріп, сол сүзгі арқылы бір колбаға сүзеді және 35-40°C температурада 100-120 мл көлемге дейін су ағынды сорғыштың вакуумында құрғағанша концентрлейді. Содан кейін сығындыны арнайы пішіндерге құйып, 12 сағатқа - 20° температурада мұздатылған салады. Содан кейін мұздатылған сығынды Иней-4 мұздату аппаратында лиофилизацияланады. (Suleimenov, 2021)

Олар 15 г шартты шөптен жасалған дәрі алады.

1-кестеде экстракция режимі туралы деректер берілген.

Алынған мәліметтерді ескере отырып, 24-28°C температурада Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) жер үсті бөлігі үшін 24 сағаттық экстракция уақыты таңдалды.

Сулы және спиртті су сығындылары үшін экстракциялардың уақыты мен температурасы және жиілігі бірдей.

Экстракция үшін 100 г кептірілген және стандартталған өсімдік шикізаты алынды.

1-кесте – Шартты шөптік препаратты алудың технологиялық параметрлері.

Экстракциялар саны	Шығару уақыты, сағ.	Кептіруге кеткен уақыты, сағ.	Пайдаланылған сығынды көлемі, мл.	Алынған препараттың массасы, г.	Экстрагент көлемі ,мл.
1	24	10	300	9,515	400
2	24	10	300	7,178	400
3	24	10	300	2,555	400

Технологиялық параметрлерді әзірлеудің бұл шарттары оңтайлы деп саналады.

Экстракция технологиясы. Таңдалған экстрагентпен шикізат пен экстрагенттің оңтайлы қатынасы 1:5 болды. «Шикізат экстрагенті» параметрлерін анықтаудың орындылығы ең алдымен экономикалық тұрғыдан анықталады, өйткені өнеркәсіптік кәсіпорын үшін агентті пайдаланатындар саны туралы мәселе маңызды.

Шикізаттан шартты шөптік препаратты максималды алу үшін қажетті оңтайлы экстракция уақыты да зерттелді және ол 24 сағатқа дейін өзгерді.

Сонымен қатар, биологиялық белсенді заттар кешенін экстракциялау, сондай-ақ еселік және экстракция температурасы арқылы қол жеткізіледі. Экстракция температурасы 5°C, өйткені сығынды ешқандай термиялық немесе химиялық өңдеуге ұшырамайды.

Осы ойлар мен біз алған мәліметтер негізінде келесі экстракция режимі таңдалды - 5°C аспайтын температурада 48 сағат ішінде 1 экстракция. Экстракт – 20°C температурада мұздатады, кептіру 2,3 Па қысымда және –55°C температурада 10 сағат бойы жүргізіледі (Khorasani, et al, 2022).



1-сурет – Экстракциялардың динамикасы

Сублимация процесінің негізгі кемшілігі оның энергия шығыны мен ұзақтығы болып табылады, сондықтан бірінші және екінші экстракцияларды ғана кептіру немесе кейінгі экстракцияларда экстрагент көлемін азайту үнемді.

Осылайша, мұздату әдісімен 19,22 г препарат алынды, ол биотестілеуге Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ жанындағы “Экология Институты” ҒЗИ-де тапсырылды. Осылайша, бұл әдіс тұтанғыш сұйықтықтарға немесе SDYA-ға жататын қосылыстарды өндірістік циклден шығаруға мүмкіндік береді, бұл өндіріс қауіпсіздігін арттырады, улы шығарындылардың көлемін азайтады және ең бастысы - соңғы өнімге шетелдік қоспалардың түсуі.

Сонымен қатар, биологиялық белсенділікті жоғарылататын алкоголь-су

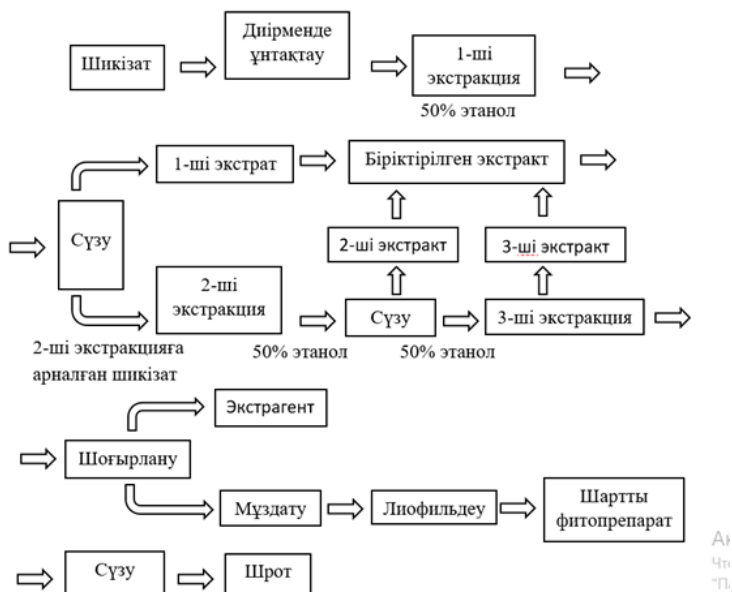
сығындысынан (50%) препарат алынды. Алынған мәліметтер негізінде шөптен алынатын дәріні алудың келесі технологиялық схемасы жасалды және дәрілік шөптерді алу процесінің материалдық балансы жасалды (Sarker, et al, 2019).

Деректер 1-суретте және 2-кестеде берілген.

2-кесте – Экстракция процесінің материалдық балансы

Жүктеп салынды	Жүктеп салынды
Шикізаттың массасы =100,00г	Тамақ массасы = 73,752 г Шартты шөптен жасалған дәрінің массасы = 19,248 г
Экстрагент көлемі = 1200 мл	Экстракт көлемі =900мл
V1 = 400 мл	V1 = 300 мл
V2 = 400 мл	V2 =300мл
V3 = 400 мл	V3 =300мл
Шығындар	
Шикізат	экстрагент
26,3 г (26,3%)	300 мл (25%)
Экстрактивті заттардың шығымы = 19,25%	

Сондай-ақ сығындының жоғары шығыны өсімдік шикізатының ерекшеліктерімен және шартты фитопрепаратты алу технологиясымен түсіндіріледі. Кәдімгі шөптік препараттағы биологиялық белсенді заттардың негізгі топтарының сапасы мен сандық құрамы бастапқы шикізатқа арналған әдістермен анықталады.



2-сурет-*halostachys caspica* әуе бөлігінен шартты фитопрепаратты алудың технологиялық схемасы

2-суретте келтірілген блок-схема жеткілікті жоғары өнімділікпен әдеттегі шөптік препаратты алуға мүмкіндік береді. Дәрілік заттың жақсы сапасын анықтау. Шөптік препараттың сапасы оның сыртқы сипаттамаларымен және сандық көрсеткіштерімен (ылғалдылығы, күлділігі, экстрактивті заттардың мөлшері) анықталады. Шикізат сапасының маңызды көрсеткіші тауарлық ылғал болып табылады. Өндірістік ылғал деп шикізатты тұрақты массаға кептіру кезінде анықталатын гигроскопиялық ылғал мен ұшқыш заттардың әсерінен шикізат массасының жоғалуын айтады.

Halostachys caspica жер үсті бөлігінен алынған экстрактивті заттардың қосындысын анықтау. Дәрілік өсімдік шикізатының экстрактивті заттары шартты түрде өсімдік шикізатынан тиісті еріткішпен алынатын және құрғақ қалдық түрінде сандық түрде анықталатын органикалық және бейорганикалық заттар кешені деп аталады.

Дәрілік өсімдік шикізатындағы экстрактивті заттардың құрамы оның қатерсіздігін анықтайтын маңызды сандық көрсеткіш болып табылады, әсіресе белсенді заттарды сандық анықтау жүргізілмейтін шикізат түрлері үшін. Дәрілік шикізаттың химиялық құрамына және қолданылатын еріткішке байланысты белгілі бір белсенді және ілеспе заттар экстракцияға өтеді. Әдетте осы шикізаттан тұнбаны немесе сығындыны дайындауда қолданылатын еріткіш қолданылады. Экстракциялардың толықтығы туралы мәліметтер әртүрлі экстрагенттермен 4-кестеде және 4-суретте келтірілген. (Kozhakhmetova, et al, 2023)

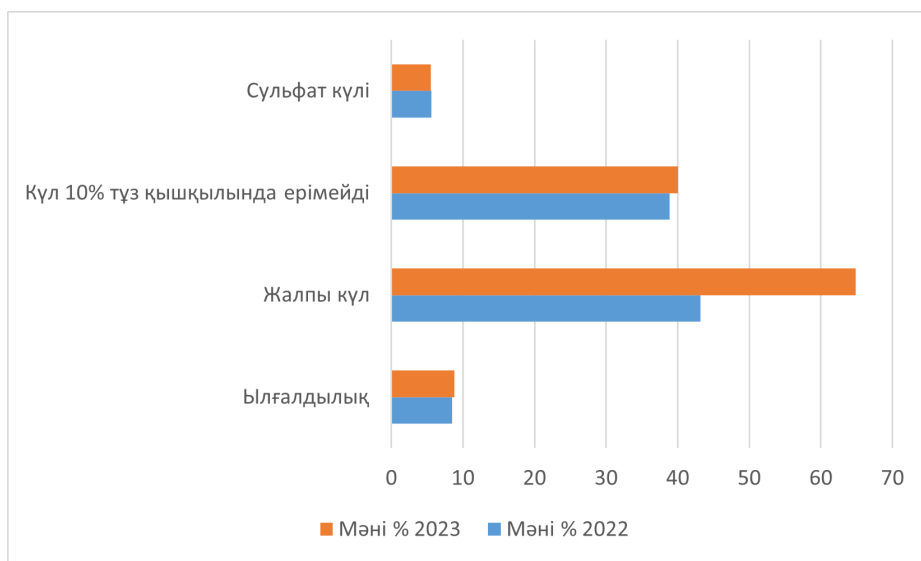
Бастапқы шикізат пен дәстүрлі шөп медицинасындағы биологиялық белсенді заттардың негізгі топтарына сандық талдау жасау. Каспий сортаңы Орта Азия мен Қазақстан аумағында таралғанына қарамастан салыстырмалы түрде аз зерттелген. Атап айтқанда, Каспий сортаңының жер үсті бөлігінің фитохимиялық құрамы іс жүзінде зерттелмеген. Сорттың жер үсті бөлігінде биологиялық белсенді заттардың келесі топтары анықталды: флавоноидтар, бос органикалық қышқылдар, аминқышқылдары, алкалоидтар, сапониндер, таниндер, су.

Анықтаулардың нәтижелері 5-кестеде берілген.

Нәтижелер мен талқылау

3-кесте – Ченопо тұқымдасының Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) жер үсті бөлігінен алынған шартты шөп дәрілерінің сапа көрсеткіштерінің салыстырмалы кестесі 2022-2023 жж.

Көрсеткіш	Мәні %	
	2022	2023
Көп жылдық тәжірибе		
Ылғалдылық	8,48	8,83
Жалпы күл	43,19	64,89
Күл 10% тұз қышқылында ерімейді	38,90	40,067
Сульфат күлі	5,58	5,48



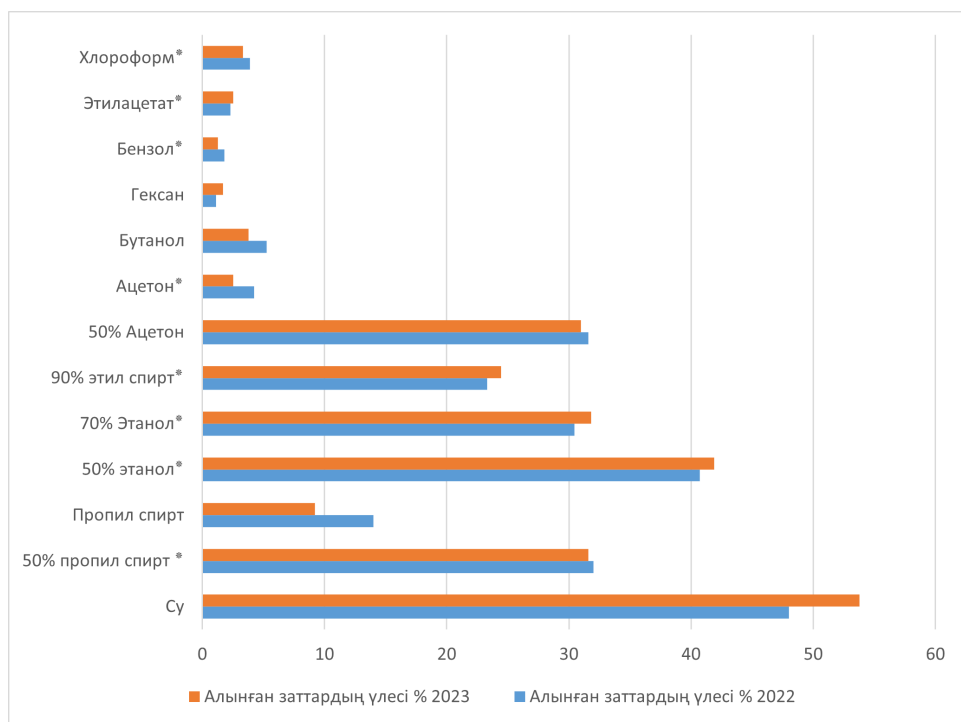
3-сурет – Chenopodiaceae тұқымдасына жататын Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) жер үсті бөлігінен алынған дәрілік шөптердің сапа көрсеткіштерінің салыстырмалы талдауы. 2022 - 2023 жылдар

3-кестеде келтірілген мәліметтерден көрініп тұрғандай, зерттелетін зауыттан алынған фиопрепарат экстрактивті заттардың жоғары құрамымен сипатталады.

Бұл көрсеткіш зерттелетін өсімдікті жеткілікті жоғары сапалы дәрілік шикізат ретінде сипаттайды.

4-кесте-әртүрлі экстрагенттердің экстракциялардың толықтығын салыстырмалы талдау деректері. 2022-2023 жж.

Экстрагент	Алынған заттардың үлесі %	
	2022	2023
Дайындық жылдары		
Су	48	53,77
50% пропилен спирті *	32	31,61
Пропил спирті	14	9,2
50% этанол*	40,7	41,88
70% Этанол*	30,44	31,83
90% этил спирті*	23,29	24,43
50% Ацетон	31,61	31,00
Ацетон*	4,25	2,54
Бутанол	5,27	3,79
Гексан	1,1	1,69
Бензол*	1,8	1,28
Этилацетат*	2,3	2,54
Хлороформ*	3,9	3,33



4-сурет-әртүрлі экстрагенттердің экстракцияларының толықтығы туралы салыстырмалы деректер. 2022-2023

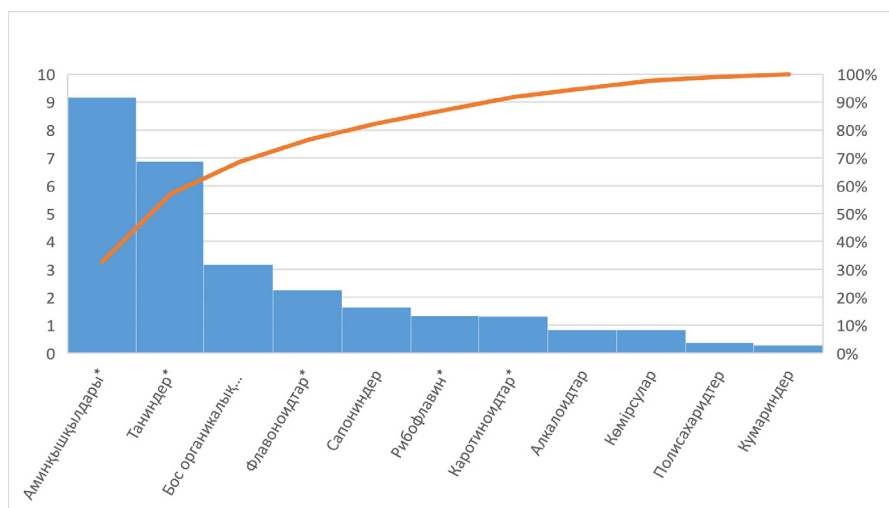
4-сурет пен 4-кестеден оптималды экстрагенттер су, 50% сулы этил спирті, 50% сулы изопропил спирті, 50% сулы ацетон екені анық, өйткені олар биологиялық белсенді заттардың 40% дейін экстракциялайды. Алайда, жоғары құны мен уыттылығына байланысты 50% сулы изопропил спирті және 50% сулы ацетон таңдалған технологияны пайдалана отырып, шөптік препараттарды алу процесіне жарамсыз деп танылды. Кейіннен су және спиртті-су сығындыларының биологиялық белсенділігін анықтау бойынша жұмыстар жүргізілді, бұл төмен экстракцияда маңызды биологиялық белсенділіктің жоқтығын және алкоголь-су экстракциясының жоғары биологиялық белсенділігін көрсетті, бұл шешуші фактор болды. экстрагентті таңдау.

Осылайша, біз экстрагент ретінде этил спирті мен судың 50% ерітіндісін таңдадық, өйткені ол құрғақ шикізаттың салмағынан 40% астам ББЗ экстракциялайды. Экстракция 1 г құрғақ ұсақталған шикізаттан 50 мл еріткішпен жүргізілді.

5-кесте – Биологиялық белсенді заттардың негізгі топтарының құрамының салыстырмалы кестесі 2022-2023 ж.ж.

ББЗ тобы	Мазмұны %	
	2022	2023
Дайындық жылдары		

Флавоноидтар*	2,26	2,68
Бос органикалық қышқылдар	3,17	5,00
Аминқышқылдары*	9,17	10,66
Алкалоидтар	0,83	1,35
Сапониндер	1,65	4,27
Таниндер*	6,86	2,41
Көмірсулар	0,83	0,24
Кумариндер	0,28	0,33
Рибофлавин*	1,33	1,51
Каротиноидтар*	1,32	1,24
Полисахаридтер	0,36	0,29



5-сурет-ББЗ негізгі топтарының мазмұнын салыстырмалы талдау

2022-2023

5-кестеден Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) жер үсті бөлігіндегі сандық құрамы бойынша аминқышқылдары, таниндер, флавоноидтар, бос органикалық қышқылдар, сапониндер, каротиноидтар және рибофлавин басым болады.

Әдістеме бойынша анықталған шикізаттың аминқышқылдық құрамы. *Chenopodiaceae* тұқымдасының Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) жер үсті бөлігінде глютамин және аспарагин қышқылдары, сондай-ақ алмастырылмайтын аминқышқылдары жеткілікті жоғары. Сонымен қатар, лейцин, изолейцин, фенилаланин және лизиннің жоғары мазмұнын атап өткен жөн.

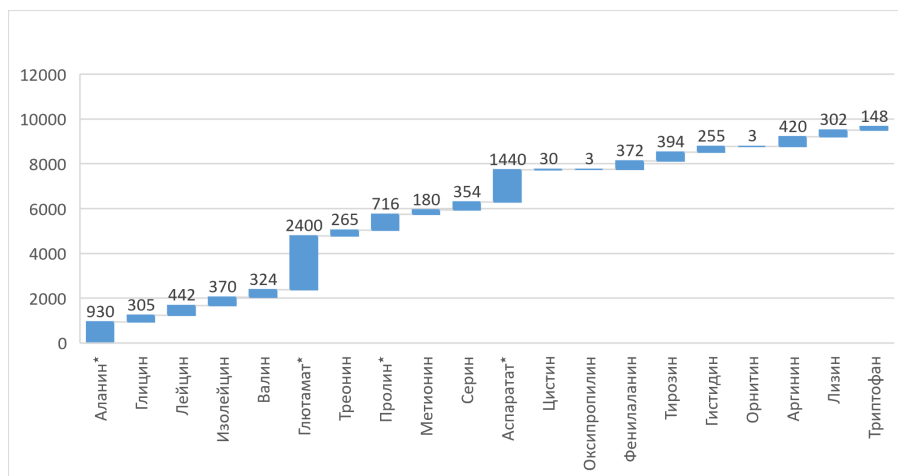
Ұсынылған деректер тұзды шөптен алынған табиғи шөптік препараттың жоғары биологиялық белсенділікке ие екендігін дәлелдеуге мүмкіндік береді, ал өсімдіктің өзі маңызды тағамдық құндылықты білдіреді - оны қыста және көктемде ұсақ және ірі қара малға жабайы жем ретінде пайдалану .

Амин қышқылдарының сапалық құрамы стандартты заттардың қатысуымен

хроматография (жұқа қабатта қағазда), әдіс бойынша сапалық және сандық құрамы – GLC арқылы анықталды. Нәтижелер 6-кестеде және 6-суретте берілген. (Tursynbai, 2018)

6-кесте – Chenopodiaceae тұқымдасына жататын Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) аминқышқылдарының құрамы, %

Амин қышқылы	Мазмұны мг/100г	Мазмұны мг/г	Мазмұны %
Аланин*	930	9,3	0,93
Глицин	305	3,05	0,305
Лейцин	442	4,42	0,44
Изолейцин	370	3,7	0,31
Валин	324	3,24	0,32
Глутамат*	2400	24,00	2,4
Треонин	265	2,65	0,27
Пролин*	716	7,16	0,72
Метионин	180	1,8	0,18
Сурин	354	3,54	0,35
Аспаратат*	1440	14,4	1,44
Цистин	30	0,3	0,03
Оксипропилин	3	0,03	0,003
Фенилаланин	372	3,72	0,37
Тирозин	394	3,94	0,39
Гистидин	255	2,55	0,26
Орнитин	3	0,03	0,003
Аргинин	420	4,2	0,42
Лизин	302	3,02	0,30
Триптофан	148	1,48	0,15



6-сурет-Мареви тұқымдасының (*Chenopodiaceae*) Каспий маңы тұзының (*Halostachys caspica*) аминқышқылдық құрамы %

6-кестеде және 6-суретте келтірілген мәліметтерден көрініп тұрғандай, Каспий маңы тұзының зерттелетін түрінің құрамында 20 амин қышқылы бар, сандық құрамы бойынша глутамин және аспаргин қышқылдары, пролин және аланин басым.

Аминқышқылдарының сандық құрамы әдісімен де анықталды және 9,07% құрады.

Қорытынды

ІЕС С-В шартты шөп дәрісін алу әдісі Каспий сортаңының (*Halostachys caspica*) өсімдік шикізатынан биологиялық белсенді заттар кешенін тиімді экстракциялау әдісі ретінде оңтайлы технологиялық шешімдермен жасалды. Процесс келесі нәтижелерді көрсетті:

Шикізат пен экстрагент қатынасы: Шикізат-экстрагенттің оңтайлы қатынасы 1:5 болып таңдалды. Бұл өндірістік масштабтағы тиімділікті арттыру мақсатында экономикалық тұрғыдан негізделді.

Экстракция уақыты мен температурасы: 24 сағаттық экстракция уақыты және 24-28°C температура аралығы ең тиімді режим деп табылды. Алайда, экстракция 5°C температурада 48 сағат ішінде жүзеге асырылды, мұнда сығынды термиялық өңдеуге ұшырамады.

Экстракция нәтижелері: Бірнеше экстракциядан кейін алынған сығындылар мұздатып кептіру әдісімен өңделіп, нәтижесінде 19,22 г биологиялық белсенді препарат алынды.

Технологиялық артықшылықтар: Бұл әдіс тұтанғыш сұйықтықтар мен зиянды заттарды қолданбай, өндірістің қауіпсіздігін арттырды, улы шығарындыларды азайтып, экологиялық таза өнім алуға мүмкіндік берді.

Экстракцияның тиімділігі: Экстрактивті заттардың шығымы 19,25%-ды құрады, бұл өсімдік шикізатының ерекшеліктеріне және экстракцияның таңдалған технологиясына негізделді.

Алынған экстрактивті заттардың биологиялық белсенділігі жоғары, оның ішінде антиоксиданттық, қабынуға қарсы және адаптогендік қасиеттері бар.

Экстракция процесінің технологиялық параметрлері мен материалдық балансы анықталды.

Аминқышқылдары мен флавоноидтардың мазмұны бойынша өсімдік құрамының биологиялық құндылығы жоғары деп анықталды.

Жалпы, зерттеу нәтижелері Каспий сортаңының шөптік препараттарын фармацевтикада қолдану үшін маңызды шикізат көзі екенін көрсетеді.

Әдебиеттер

- «4: Extraction». Chemical Texts. 2017-10-05. Checked 2019-11-10.
Abdizhapparov, B.J. Pharmacognosy of zhane darilik osimdikter. Astana: Elordanyn baspa uyi, 2022.
Al-Farabi atyndagi KazUU zhanyndagi «Ecology Institutes» GZI. «Extractenterdin aseri men extraction of chartara.» Instituttyk zertteuler No.12 (2023): 34-41.
Kozhakhmetova S.S., Aliev B.Zh., Abilova N.M. «Kaspiy sortanyn extractionalau technologiyasyn optimizatsiony.» Pharmaceutika zhane biotekhnologiya. – 2023. – No.2. – 61-67 b.
Kozhakhmetova, Zh.K., Seydakhmetova, G.A., Tuyakbayeva, S.S. «Lyophilization of adisi arkyly biologiyalyk belsendi zattar keshenin alu.» KazUU Khabarshysy No.5 (2022): 23-29.
Kozlov D.I., Ilyina I.V. Lyophilization of pharmaceutical preparations. Moscow: Meditsina, 2016.

- Khorasani G., Aram A. Methods of obtaining natural products. CRC Press, 2022.
- Kravtsov S.G., Zakharov A.I. Phytochemistry and pharmacognosy of medicinal plants. Saint Petersburg: Nauka, 2020.
- Nurseitov, E.A. «Kaspiy sortanyn biologiyalyk belsendiligi.» Kazakhstanyn agrarlyk gylymy No.2 (2022): 67-72.
- Sarker S.D., Nahar L. Isolation of natural products. 3rd ed. CRC Press Publishing House, 2019.
- Shan B., Tsai Y.Z. Biologically active compounds from medicinal plants: extraction and purification. Springer, 2021.
- Suleimenov, A.E. Osimdikterdin biologiyalyk belsendiligin zertteu adisteri. Shymkent: Technologiyalyk universitetin baspasy, 2021.
- Tursynbai, A. «Kazakhstan florasyndagi darilik osimdikterdin himiyalyk kuramy.», 2018.
- Wang, Y., & Zhang, H. (2024). Influence of Lyophilization Conditions on the Structure and Activity of Biologically Significant Components from Caspian Sea Sturgeon. Food Chemistry, 30(2), 145-158.
- Zhanalieva, N.A., Ismagulov, T.B. «Osimdik shikizatyndan biologiyalyk belsendi zattardy alu tehnologiyasy.» Pharmaceutical Journal No.8 (2023): 45-54.

References

- “4: Extraction”. Chemical Texts. 2017-10-05. Checked 2019-11-10.
- Abdizhapparov, B.Zh. Pharmacognosy and medicinal plants. Astana: Capital Publishing House, 2022.
- Kozhakhmetova, Zh.K., Seidakhmetova, G.A., Tuyakbayeva, S.Sh. “Obtaining a complex of biologically active substances by the lyophilization method.” KazNU Bulletin No. 5 (2022): 23-29.
- Kozhakhmetova S.S., Aliyev B.Zh., Abilova N.M. Optimization of the extraction technology of Caspian brine // Pharmaceutics and biotechnology. – 2023. – No. 2. – pp. 61-67.
- Kozlov D.I., Ilyina I.V. Lyophilization of pharmaceutical preparations. Moscow: Meditsina, 2016.
- Khorasani G., Aram A. Methods of obtaining natural products. CRC Press, 2022.
- Kravtsov S.G., Zakharov A.I. Phytochemistry and pharmacognosy of medicinal plants. Saint Petersburg: Nauka, 2020.
- Nurseitov, E.A., “Biological activity of the Caspian salt marsh.” Agrarian Science of Kazakhstan No. 2 (2022): 67-72.
- Research Institute “Institute of Ecology” at Al-Farabi Kazakh National University, “The Effect of Extractants and Extraction Conditions.” Institutional Research No. 12 (2023): 34-41.
- Sarker S.D., Nahar L. Isolation of natural products. 3rd ed. CRC Press Publishing House, 2019.
- Shan B., Tsai Y.Z. Biologically active compounds from medicinal plants: extraction and purification. Springer, 2021.
- Suleimenov, A.E. Methods for studying the biological activity of plants. Shymkent: Publishing House of the Technological University, 2021.
- Tursynbay, A. “Chemical composition of medicinal plants in Kazakhstan”, 2018.
- Wang, Y., & Zhang, H. (2024). Influence of Lyophilization Conditions on the Structure and Activity of Biologically Significant Components from Caspian Sea Sturgeon. Food Chemistry, 30(2), 145-158.
- Zhanalieva, N.A., Ismagulov, T.B., “Technology of obtaining biologically active substances from plant raw materials.” Pharmaceutical Journal No. 8 (2023): 45-54.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 152–164

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.256>

UDC 577.12

IRSTI 34.15.03

© S.K. Smailov, E.Zh. Gabdullina, J.T. Lesova, E.K. Assembayeva*,
D.E. Nurmukhanbetova², 2024.

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

²Narxoz University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

BIOLOGICAL ACTIVITY OF POLYPHENOLIC COMPOUND FROM ALHAGY (*ALHAGI KIRGISORUM S*) PLANTS

Smailov Salim Kamalovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: smailovs@inbox.ru, ORCID: 0009 - 0009 - 3003 – 6411;

Gabdullina Elzada Zhumagalievna – Doctor of Biological Sciences, associate Professor, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: elzadag@mail.ru, ORCID: /0000-0002-8255-1070;

Lesova Zhanikha Tureevna – Candidate of Biological Sciences, associate Professor, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: zhaniha_lesova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6471-1894;

Assembayeva Elmira Kuandykovna – PhD, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Nurmukhanbetova Dinara Erikovna – candidate of technical sciences, Narxoz University, EP “Restaurant and hotel business”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narxoz.kz, ORCID: 0000-0002-8939-6325.

Abstract. Flavonoids are plant aromatic compounds derived from diphenylolpropane ($C_6-C_3-C_6$) of various degrees of oxidation and substitution. Flavonoids belong to chromane and chromone derivatives containing an aryl radical at position 2, 3 or 4. They have antioxidant activity, scavenge free radicals, prevent coronary heart disease, have hepatoprotective, anti-inflammatory and antitumor and potential activity against viruses.

The aim of the present work was to study the biological activity of polyproanthocyanidin (flavonoid from aqueous-ethanol extract of Alhagi plant) during protein biosynthesis in a model cell-free system.

As a result of these studies, it was shown that polyproanthocyanidin (PPA) in micromolar concentrations specifically and reversibly binds eukaryotic protein biosynthesis initiation factor eIF-2 (inhibition of the 2nd stage of protein biosynthesis).

The stage of polypeptide elongation on the ribosome (stage 3 of protein biosynthesis) is not blocked in the presence of PPA both in the case of peptide synthesis on matrix RNA of tobacco mosaic virus and in the case of polypeptide elongation reaction on artificial matrix (poly U). The reaction of aminoacylation of transport RNA by aminoacyl-tRNA synthetases (step 1 of protein biosynthesis) is also not blocked by polyproanthocyanidin. Inhibition of viral protein synthesis by suppressing eIF-2 activity in virus-infected cells is a mechanism of antiviral defense in mammals.

Antiviral activity has been shown for plant flavonoids such as proanthocyanidin A2, catechin and their derivatives.

It can be concluded that the specific interaction of polyproanthocyanidin from camel thorn (*Alhagi kirghisorum* S.) with the initiation factor eIF-2 is part of the antiviral defense system in plants.

Keywords: flavonoids, polyproanthocyanidin, protein biosynthesis, eukaryotic translation initiation factor eIF-2.

© С.К. Смаилов, Е.Ж. Габдуллина, Ж.Т. Лесова, Э.К. Асембаева*,
Д.Е. Нурмуханбетова², 2024.

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

ТҮЙЕ ТІКЕНЕКТІ (*ALHAGI KIRGISORUM* S.) ӨСІМДІКТЕРДІҢ ПОЛИФЕНОЛДЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТІ

Смаилов Салим Камалович – биология ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: smailovs@inbox.ru, ORCID: 0009-0009-3003-6411;

Габдуллина Ельзада Жумағалиевна – биология ғылымдарының докторы, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: elzadag@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8255-1070;

Лесова Жаниха Туреевна – биология ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: zhaniha_lesova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6471-1894;

Асембаева Эльмира Куандыковна – PhD, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Нурмуханбетова Динара Ериковна – техника ғылымдарының кандидаты, Нархоз университеті, «Мейрамхана және отель бизнесі» білім беру бағдарламасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narхоз.kz, ORCID: 0000-0002-8939-6325.

Аннотация. Флаваноидтар – өсімдіктің хош иісті қосылыстары, дифенилолпропанның (C₆-C₃-C₆) әртүрлі тотығу және орынбасу дәрежесіндегі туындылары. Флаваноидтар 2, 3 немесе 4 орындарында арил радикалы бар хроман және оның туындылары болып табылады. Олар антиоксиданттық белсенділікке ие, бос радикалдарды жояды, жүректің ишемиялық ауруын болдырмайды, гепатопротекторлық, қабынуға қарсы және қатерлі ісікке қарсы әсерге, сондай-ақ вирустарға қарсы потенциалды белсенділікке ие.

Бұл жұмыстың мақсаты жасушасыз модельдік жүйеде ақуыз биосинтезі кезінде полипроантоцианидиннің (Алхаги өсімдігінің су-этанол сығындысынан алынған флавоноид) биологиялық белсенділігін зерттеу болды.

Зерттеулер нәтижесінде полипроантоцианидиннің (ППА) микромолярлық концентрациядағы ақуыз биосинтезінің эукариоттық инициациялық факторын eIF-2 (ақуыз биосинтезінің 2 сатысының тежелуі) спецификалық және қайтымды байланыстыратыны көрсетілді. Рибосомадағы полипептидтің синтезі (ақуыз биосинтезінің 3 сатысы) темекі мозаикасы вирусының матрицалық РНҚ-да полипептидтердің синтезі жағдайында да, жасанды матрицада (Поли У) полипептидтің ұзару реакциясы жағдайында да ППА қатысуымен бұғатталмайды. Аминоацил-тРНҚ синтетазалары арқылы тасымалданатын РНҚ-ның аминоацилдену реакциясы (ақуыз биосинтезінің 1 сатысы) да полипроантоцианидинмен бөгелмейді. Вирус жұқтырған жасушаларда eIF-2 белсенділігін басу арқылы вирустық ақуыз синтезін тежеу сүтқоректілердегі вирусқа қарсы қорғаныс механизмдерінің бірі болып табылады. Проантоцианидин А2, катехин және олардың туындылары сияқты өсімдік флавоноидтары үшін вирусқа қарсы белсенділік көрсетілген.

Түйе тікенегінен алынған полипроантоцианидиннің (*Alhagi kirghisorum* S.) eIF-2 инициациялық факторымен спецификалық әрекеттесуі өсімдіктің вирусқа қарсы қорғаныс жүйесінің бөлігі болып табылады деген қорытынды жасауға болады.

Түйін сөздер: флавоноидтар, полипроантоцианидин, ақуыз биосинтезі, eIF-2 эукариоттық трансляцияны бастау факторы.

© С.К. Смаилов, Е.Ж. Габдуллина, Ж.Т. Лесова, Э.К. Асембаева*
Д.Е. Нурмуханбетова², 2024.

¹ Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан;

² Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан.

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ ВЕРБЛЮЖЬЕЙ КОЛЮЧКИ (*ALHAGI KIRGISORUM* S)

Смаилов Салим Камалович – кандидат биологических наук, Алматинский технологический университет, «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: smailovs@inbox.ru, ORCID: 0009-0009-3003-6411;

Габдуллина Эльзада Жумагалиевна – доктор биологических наук, Алматинский технологический университет, «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: elzadag@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8255-1070;

Лесова Жаниха Туреевна – кандидат биологических наук, Алматинский технологический университет, «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: zhaniha_lesova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6471-1894;

Асембаева Эльмира Куандыковна – PhD, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Нурмуханбетова Динара Ериковна – кандидат технических наук, Университет Нархоз, ОП «Ресторанный и отельный бизнес», Алматы, Казахстан, E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narхоз.kz, ORCID: 0000-0002-8939-6325.

Аннотация. Флавоноиды – растительные ароматические соединения, производные дифенилпропана ($C_6-C_3-C_6$) различной степени окисления и замещения. Флавоноиды относятся к производным хромана и хромона, содержащим арильный радикал в положении 2, 3 или 4. Они обладают антиоксидантной активностью, поглощают свободные радикалы, предотвращают ишемическую болезнь сердца, обладают гепатопротекторным, противовоспалительным и противоопухолевым действием, а также потенциальной активностью против вирусов.

Целью настоящей работы было изучение биологической активности полипроантоцианидина (флавоноида из водно-этанольного экстракта растения верблюжьей колючки (*Alhagi kirghisorum S.*) при биосинтезе белка в модельной бесклеточной системе.

В результате проведенных исследований было показано, что полипроантоцианидин (ППА) в микромолярных концентрациях специфически и обратимо связывает эукариотический фактор инициации биосинтеза белка eIF-2 (ингибирование 2 этапа биосинтеза белка). В клетках эукариот фактор инициации eIF-2 является ключевым регулятором биосинтеза белка, обратимая блокировка активности фактора инициации eIF2 является механизмом контроля биосинтеза белка.

Синтез полипептида на рибосоме (3 этап биосинтеза белка) не блокируется в присутствии ППА как в случае синтеза полипептидов на матричной РНК вируса табачной мозаики, так и в случае реакции удлинения полипептида на искусственной матрице (поли У). Реакция аминокислотирования транспортной РНК аминокислот-тРНК-синтетазами (1 этап биосинтеза белка) также не блокируется полипроантоцианидином. Ингибирование синтеза вирусного белка путем подавления активности eIF-2 в инфицированных вирусом клетках является одним из механизмов противовирусной защиты у млекопитающих.

Противовирусная активность была показана для растительных флавоноидов, таких как проантоцианидин А2, катехин и их производные. Можно сделать вывод, что специфическое взаимодействие полипроантоцианидина из растений верблюжьей колючки (*Alhagi kirghisorum S.*) с фактором инициации eIF-2 является частью системы противовирусной защиты растений.

Ключевые слова: флавоноиды, полипроантоцианидин, биосинтез белка, эукариотический фактор инициации трансляции eIF-2.

Введение

Флавоноиды являются полифенольными соединениями. В соответствии с рисунком 1, можно увидеть 15 углеродных атомов, которые образуют два ароматических кольца (А и В), которые соединяются с помощью трех углеродных мостиков (кольцо С).

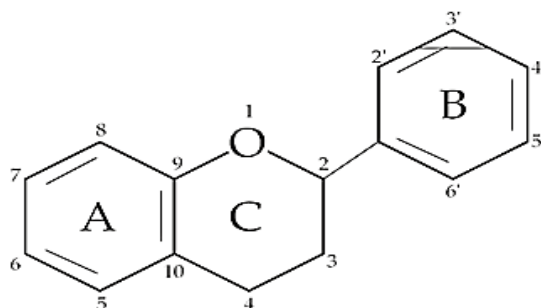


Рисунок 1 – Химическая структура флаваноидов

Флавоноиды – наиболее распространенные полифенолы, встречающиеся в растениях. К ним относятся катехины, антоцианы, лейкоантоцианы, флавонолы, флавоны, флавононы и халконы, которые различаются по степени окисления пропанового фрагмента, размеру гетерокольца, положению бокового фенильного кольца и структуре связующего трехуглеродного фрагмента. Наиболее восстановленными являются катехины, а наиболее окисленными – флавонолы (Роздорожная, и др, 2021; Уранова, и др, 2021).

Флавоноиды, будучи эволюционно адекватными организму человека, обуславливают антиоксидантные, ангиопротекторные, гепатопротекторные, желчегонные, диуретические, нейротропные и другие важнейшие фармакологические свойства (Куркин, и др, 2013).

Большой интерес в качестве источника биологически активных веществ представляют растения рода верблюжьей колючки (*Alhagi*) из полупустынной зоны Центральной Азии. В работе (Охундедаев и др, 2018) из растений верблюжьей колючки вида *Alhagi kirghisorum* S. были выделены и идентифицированы спектральным анализом четыре индивидуальных соединения фенольной природы: галловая кислота (I), (+)-катехин (II), нарциссин (III) рутин (IV).

Виды растений верблюжьей колючки являются источниками биологически активных соединений с низкой токсичностью. Как показано в работе (Титова и др., 2021) к таким биологически активным соединениям можно отнести: свободные изофлавоны, глюкозиды изофлавонов, ацилированные глюкозиды изофлавонов, которые могут быть полезны в клинической практике.

Проантоцианидины, выделенные из *A. pseudo alhagi*, влияют на показатели крови. Антимикробной активностью обладают флавоноиды из *A. camelorum* и *A. maurorum*. В работах (Asghari, et al., 2016; Бурашева, и др.; 2012, Сапко и др., 1992) флавоноиды указаны, не только как потенциальные лекарственные препараты, но и как вещества, используемые самим растением в качестве ингибиторов и активаторов роста.

Как было показано в работе (Putri, et al., 2017) пять активных флавоноидов из тамаринда индийского (кверцетин, рутин, проантоцианидин, катехин и эпикатехин) ингибируют синтазу жирных кислот. Синтаза жирных кислот играет важную роль

в пролиферации злокачественных новообразований, поэтому связывание синтазы патью флавоноидами из тамаринда индийского может подавлять злокачественные новообразования. Группа растительных флавоноидов обозначаемая как проантоцианидины имеет полезные медицинские свойства. Эти вещества обладают антиоксидантными, противоопухолевыми и иммуномодулирующими свойствами. Помогают от вредного воздействия солнечной радиации, улучшают зрение, повышают гибкость суставов, артерий и тканей, таких как сердце, а также улучшают кровообращение укрепляя капилляры, артерии и вены (Shi, et al., 2003).

Олигомерные проантоцианидиновые комплексы (ОПК) обладают антиоксидантным, антибактериальным, противовирусным, антиканцерогенным, противовоспалительным, противоаллергическим и сосудорасширяющим действием. Ингибируют перекисное окисление липидов, агрегацию тромбоцитов и повышенную проницаемость капилляров (Fine, et al., 2000). влияют на апоптоз, экспрессию генов и факторы транскрипции, такие как NFkB (Cos, et al., 2004). Исследование *in vitro* показало, что экстракт из *A. pseudalhari* может снижать уровень билирубина (Nabavizadeh, et al., 2010) за счет активации ферментов печени. Другое исследование показало, что внутривенное введение проантоцианидинов, выделенных из *A. pseudoalhari*, снижает уровни креатининфосфата в сыворотке крови и перекисного окисления липидов как в миокарде, так и в сыворотке крови животных с экспериментальным инфарктом миокарда (Khushbaktova, et al., 1992). *A. camelorum* также обладает терапевтическим потенциалом при лечении диабета и других хронических заболеваний (Pandeya, et al., 2013).

Целью настоящей работы было изучение биологической активности полипроантоцианидина (флавоноида из водно-этанольного экстракта растений верблюжьей колючки при биосинтезе белка в модельной бесклеточной системе.

Материалы и методы.

Объектом исследования послужили флавоноид из водно-этанольного экстракта растения верблюжьей колючки; белковый фактор инициации eIF-2.

Полимерный флавоноид – проантоцианидин с формой связи C₄-C₈ (или C₆) (ППА), был выделен из растений верблюжьей колючки вида *Alhagi kirghisorum* S. экстракцией этанолом (состоит из эпигаллокатехина, катехина, эпикатехина), рисунок 2.

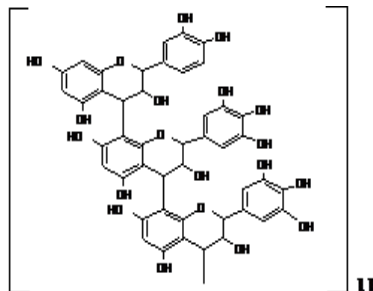


Рисунок 2 – Структура полипроантоцианидина из растений *Alhagi kirghisorum* S.

Свежее растительное сырье (0,5 кг) измельчили и обработали бензолом для удаления липидных соединений. После полного испарения остаточного бензола к растительному материалу добавляли 1 л этанола, слегка встряхивая в течение 3 ч. Затем к этанольной фракции добавляли равный объем ацетона, собирали темный нижний слой и снова добавляли равный объем ацетона. Через 4 ч появлялся осадок ППА. Этот осадок был собран, высушен в эксикаторе и хранился в присутствии CaCl_2 . Полученный коричневый порошок ППА перед использованием растворяют в воде. Перед исследованиями объединенный спиртово-водный экстракт концентрировали, разбавляли деионизованной водой (1:1) и экстрагировали соответственно хлороформом (400 мл x 5), этилацетатом (400 мл x 5) и н-бутанолом (400 мл x 5). Фракцию, полученную после обработки этилацетатом последовательно хроматографировали на колонке с силикагелем, промывали хлороформом, затем пропускали градиент смеси хлороформ-метанол.

ППА был протестирован путем взаимодействия с ванилином в присутствии HCl . С помощью гель-фильтрации на колонке Sephadex G-50, уравновешенной 0,1 М раствором NaCl , было установлено, что ППА имеет молекулярную массу около 10000 дальтон. Идентификация полимерного флавоноида (ППА), выделенного из растений верблюжьей колючки вида *Alhagi kirghisorum* S. проводилась методом инфракрасной спектроскопии. ИК-спектр показал сильное поглощение (-ОН групп) в области $3500\text{-}3200\text{ см}^{-1}$; типичное поглощение для ароматических колец в области $1610, 1535, 1440\text{ см}^{-1}$; поглощение характерное для замещенных бензольных колец в области $1535, 1515, 1150, 1040, 830, 805, 770, 747\text{ см}^{-1}$, что типично для олигомерных проантоцианидинов.

Растительный фактор инициации трансляции eIF-2 выделяли как описано (Shaikhin, et al., 1992). Фракционирование сульфатом аммония проводили постепенным добавлением сульфата аммония до 40% насыщения, поддерживая pH 7,6; перемешивали 30 мин и центрифугировали при 23 000 г в течение 20 мин. Осадок отбрасывали и к надосадочной жидкости добавляли сульфат аммония до 70% насыщения и центрифугировали как описано выше. Осадок растворяли в буфере 20 мМ трис- HCl , pH 7,6, 0,1 мМ ЭДТА, 5 мМ МЭТ, диализовали против этого же буфера, содержащего 100 мМ KCl , и осветляли раствор центрифугированием при 15 000 г в течение 20 мин. Дальнейшее выделение фактора инициации eIF-2 проводили из фракции 40-70% насыщения сульфатом аммония. Раствор белков фракции 40-70% NH_2SO_4 в буфере, содержащем 100 мМ KCl , наносили со скоростью 10 мл/мин на колонку с 200 мл фосфоцеллюлозы P11. Не связавшиеся белки отмывали и фракции с активностью eIF-2 элюировали буфером, содержащим 300 мМ KCl . Элюат (300 мл, ~1 г белка) разбавляли в 2 раза и наносили на колонку с 120 мл ДЭАЭ-целлюлозы DE-52. Порции по 200 мл, ~0,1 г белка осветляли центрифугированием при 15 000 г, 15 мин, далее разбавляли в 3 раза и наносили на колонку с 40 мл Q-сефарозы, уравновешенной буфером с 50 мМ KCl . После промывки смолы от не связавшихся белков фракции с активностью eIF-2 элюировали линейным градиентом концентрации KCl от 50 до 500 мМ KCl . Фактор eIF-2 элюировался в интервале концентраций KCl от

250 до 350 мМ. Фракции, содержащие eIF-2, разбавляли в 3 раза буфером с 50 мМ HEPES, pH 7,0, 0,1 мМ ЭДТА, 5 мМ МЭТ и наносили на колонку Mono S, уравновешенную буфером, содержащим 100 мМ KCl. Фактор eIF-2 элюировали линейным градиентом концентрации KCl от 100 до 400 мМ. Фракции, содержащие активность eIF-2 и элюируемые в интервале 250- 300 мМ KCl, собирали, добавляли к ним глицерин до конечной концентрации 10%, замораживали и хранили при – 70°C как очищенный препарат eIF-2.

Препараты суммарной тРНК выделяли методом фенольной депротеинизации гомогената ткани с последующей хроматографией РНК на ДЭАЭ-целлюлозе. eIF-2 обнаруживали по способности образовывать тройственный комплекс с ГТФ (гуанозинтрифосфат – пуриновый нуклеотид) и инициаторной Met-тРНК (метионил-тРНК).

Реакцию аминоацилирования -тРНК проводили в 100 мкл инкубационной смеси, содержащей 100 мМ трис-HCl буфер pH 7,8, 20 мМ MgCl₂, 30 мМ KCl, 0,3-0,6 мМ лейцина или фенилаланина, 20 мкг тРНК, 150 мкг препарата аминоацил-тРНК -синтеаз. Пробы инкубировали 20 мин при 37°C. Высокомолекулярные комплексы аминоацил-тРНК-синтеаз из растений получали хроматографией постмикросомальной фракции на сефадексе G-200.

Влияние ППА на биосинтез белка в бесклеточной системе было протестировано, как описано (Denisenko, et al., 1989). Инкубационная смесь (25 мкл) содержала 15 мкл бесклеточной системы, 25 мМ HEPES/КОН, pH 7,6, 120 мМ К-ацетата, 1 мМ ДДТ, 1 мМ АТФ, 0,2 мМ ГТФ. Инкубационная смесь также содержала:

- в случае эндогенной трансляции мРНК необходимые аминокислоты по 40 мкМ каждая, 10 мкг мРНК вируса табачной мозаики и 1 мМ Mg-ацетата;
- в случае трансляции поли (У), 5 мкМ фенилаланина, 10 мкг поли(У) и 10 мМ Mg-ацетата.

В обоих случаях после инкубации в течение 45 мин при 34 °С добавляли 2 мл смеси 1М NaOH и 0,5 М Н₂О₂ (1:1) и образцы инкубировали в течение 15 мин при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

В представленной работе изучали биологическую активность полипроантоцианидина на 3-х этапах биосинтеза белка:

- 1 этап- реакция образования тройственного комплекса eIF-2*ГТФ* тРНК;
- 2 этап -реакция инициации синтеза белков на матричной РНК;
- 3 этап -реакция синтеза полипептидов (элонгация)

ППА, в отличие от растительного флавоноида кверцетина, ингибирует образование тройственных комплексов фактора инициации eIF-2 из зародышей пшеницы, ГТФ и Met-тРНК в рабочей концентрации 1 мкМ ППА. Однако ППА не оказывал ингибирующего действия на поли(У)-направляемый синтез полифенилаланина в бесклеточной системе с компонентами из зародышей пшеницы. Эти результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Проверка ингибирующей активности ППА на трех этапах биосинтеза белка

Концентрация ППА, мкМ	Включение лейцина в полипептид, %	Связывание Мет-тРНК, %	Включение фенилаланина в полипептид, %
0	100	100	100
1	13	11	101
2	11	10	102
5	10	7	98
10	7	5	90
Кверцитин, 5 мкМ	91	95	93

Как видно из данных, представленных в таблице 1, элонгация пептида, измеренная методом включения и полимеризации аминокислоты фенилаланина на полирибидиловой матрице (поли (У), остается почти на уровне контроля даже при 10 мкМ ППА или 5 мкМ кверцитина, то есть 3 этап биосинтеза белка не ингибируется. Однако в бесклеточной системе включение лейцина в белки, синтезируемые на внутриклеточной мРНК, снижается примерно до 86% в присутствии 1 мкМ ППА, что указывает на ингибирование 2 этапа биосинтеза белка. Такая же концентрация ингибитора в аналогичной степени снижает образование тройственных комплексов при использовании очищенного фактора инициации eIF-2 (ингибирование 1 этапа биосинтеза белка).

Включение аминокислоты лейцин в новосинтезируемый белок проводили в стандартной эукариотической системе биосинтеза белка. Анализ связывания Мет-тРНК с фактором инициации трансляции eIF-2 проводили путем добавления 2 мкг фактора eIF-2 к реакционным смесям, содержащим 20 пмоль Мет-тРНК. ППА и кверцитин добавляли в концентрации как указано в таблице 1.

Трансляция экзогенно добавленной мРНК ингибировалась, когда ППА присутствовал в начале инкубации, но не при его добавлении через 5 мин после начала инкубации. Поскольку ингибирование образования тройственных комплексов наблюдается при той же низкой концентрации ППА, которая ингибирует синтез белка в бесклеточной системе, можно сделать вывод, что взаимодействие ППА с eIF2 является основной причиной его влияния на синтез белка.

Для проверки данного предположения были проведены эксперименты по влиянию ППА на биосинтез белка при добавлении фактора инициации трансляции eIF-2 в бесклеточную систему (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние ППА на биосинтез белка при добавлении фактора инициации трансляции eIF-2

Количество добавленного eIF-2, мкг	Включение лейцина в синтезируемый полипептид, пмоль	
	в контрольной системе (-ППА)	В присутствии ППА
0	10,5	0,55
0,2	10,6	1,45
0,45	11,2	7,55
1,0	11,5	9,6

Из данных таблицы 2 видно, что ингибирующее действие ППА на биосинтез белка компенсируется добавлением экзогенного дополнительного фактора eIF-2 к бесклеточной системе, обработанной ППА, что подтверждает предположение о специфическом ингибировании ППА 1 этапа биосинтеза белка. Синтез белка определяли в контрольных бесклеточных системах, содержащих 3 мкМ ППА. Фактор инициации eIF-2 добавляли в реакционную смесь в указанных количествах.

Нами показано, что растительный флавоноид ППА в отличие от растительного флавоноида кверцетина, ингибирует 1 этап биосинтеза белка: образование тройственных комплексов фактора инициации eIF-2, ГТФ и Мет-тРНК в концентрации 1 мкМ. Однако ППА не ингибировал поли(У)-зависимый синтез полифенилаланина в бесклеточной системе (3 этап биосинтеза белка) даже в концентрации 10 мкМ. Селективное ингибирование инициации трансляции (2 этап биосинтеза белка) в присутствии ППА было протестировано в бесклеточной системе, где матрицей служила мРНК вируса табачной мозаики.

В инкубационную смесь добавляли 10 мкМ ППА до или через 5 мин после добавления мРНК. Когда ППА присутствовал в инкубационной смеси с начала трансляции, полипептид не синтезировался (ингибирование 2 этапа биосинтеза белка). Если ППА добавляли через 5 мин после начала трансляции, то ингибирования синтеза полипептидов не наблюдалось. Поскольку эффективность трансляции мРНК была одинаковой в присутствии и в отсутствие ППА, можно сделать вывод, что ППА влиял только на стадию инициации. Установлено, что ППА является специфическим ингибитором функции eIF-2. Следовательно, полное ингибирование инициации синтеза белка ППА было связано с блокадой образования тройственного комплекса eIF-2 * ГТФ * Мет -тРНК. Для дополнительной проверки ингибирующего действия ППА на биосинтез белка была проверена возможность прямого селективного связывания флавоноида ППА с фактором инициации 2 биосинтеза белка эукариот (eIF-2). Показано, что ППА избирательно связывается только с фактором инициации 2 эукариот в неочищенном клеточном экстракте, образуя нерастворимый комплекс. После низкоскоростного центрифугирования в получившемся осадке выявляется только белковый фактор инициации 2.

Интересной особенностью ППА является его способность специфическим образом взаимодействовать с полипептидами при низких микромолярных концентрациях. Тот факт, что ППА не ингибирует активность eIF-2 -киназы и активность фосфатазы типа 1, и поли(У)-направленный синтез полифенилаланина указывает на специфическое взаимодействие ППА с фактором инициации трансляции eIF-2. Ингибирование синтеза вирусных белков путем подавления активности eIF-2 в клетках, инфицированных вирусами, является механизмом противовирусной защиты клеток хозяина у млекопитающих. Противовирусная активность показана для растительных флавоноидов, таких как проантоцианидин А2, катехин и их производных.

Закключение

На основании результатов исследований можно заключить, что специфическое взаимодействие полипроантоцианидина из растений верблюжьей колючки вида *Alhagi kirghisorum* S. с фактором инициации eIF-2 входит в систему противовирусной защиты у растений.

В данной работе показана возможность использования полифенолов из полупустынного растения верблюжьей колючки как источника полифенолов с противовирусными свойствами, которые могут быть полезны химикам и фармацевтам при создании новых противовирусных препаратов.

Литература

Asghari M.H., Fallah M., Moloudizargari M., Mehdikhani F., Sepehrnia P., & Moradi B. (2016). A systematic and mechanistic review on the phytopharmacological properties of Alhagi species. *Ancient science of life*. — 36(2) — 65-71. DOI: 10.4103/asl.ASL_37_16. (in Eng).

Бурашева Г. Ш., Рахимов К. Д., & Абилов, Ж. А. (2012). Химико-технологические особенности биологически активного комплекса из верблюжьей колючки киргизской (*Alhagi kirghisorum* S.). Доклады национальной академии наук Республики Казахстан. — (2) — 69-81. (in Rus).

Denisenko O. N., & Yarchuk O. B. (1989). Regulation of LacZ mRNA translatability in a cell-free system at heat shock by the last four sense codons. *FEBS letters*. — 247(2) — 251-254. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(89\)81346-8](https://doi.org/10.1016/0014-5793(89)81346-8). (in Eng).

Куркин В.А., Куркина А.В., & Авдеева Е.В. (2013). Флавоноиды как биологически активные соединения лекарственных растений. *Фундаментальные исследования*. — 11(9) — 1897-1901. <https://s.fundamental-research.ru/pdf/2013/11-9/33478.pdf>. (in Rus).

Khushbaktova Z. A., Syrov V. N., Kuliev Z., Bashirova N. S., Shadieva Z., Gorodeyskaia E. A., & Medvedev O. S. (1992). The effect of proanthocyanidins from *Alhagi pseudoalhagi* (MB) Desv on the course of experimental myocardial infarct. *Ekspiermental'naia i Klinicheskaia Farmakologiiia*. — 55(6) — 19-21.A. PMID: 1305866. (in Eng).

Cos P., Bruyne, T. D., Hermans N., Apers S., Berghe D. V., & Vlietinck, A. J. (2004). Proanthocyanidins in health care: current and new trends. *Current medicinal chemistry*. — 11(10) — 1345-1359. DOI: <https://doi.org/10.2174/0929867043365288>. (in Eng).

Nabavizadeh, S. H., & Nabavi, M. (2010). The effect of herbal drugs on neonatal jaundice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research, (Supplement 2)* — 39-40. (in Eng).

Охундадаев Б. С., Бобакулов Х. М., Нишанбаев С. З., & Абдуллаев Н. Д. (2018). Фенольные соединения надземной части *Alhagi kirghisorum*. *Farmatsevtika jurnali*. — 41 — 134-136. <https://assets.uzsci.uz/edition/file/5dc0fd36ea412.pdf#page=41> (in Rus).

Pandeya K. B., Tripathi I. P., Mishra M. K., Dwivedi N., Pardhi Y., Kamal A., ... & Mishra, C. (2013). A critical review on traditional herbal drugs: An emerging alternative drug for diabetes. — Vol.3 DOI:10.4236/ijoc.2013.31001. (in Eng).

Putri C.R.H., Sumitro S.B., & Karyono S. (2017). Quercetin, rutin, proanthocyanidin, catechin and epitacethin as fatty acid synthase inhibitor using virtual screening. *Berkala Penelitian Hayati*. — 23(1) — 25-31. DOI 10.23869/62 (in Eng).

Роздорожная Я.А., & Жалолова Д.О. (2021). К вопросу об обогащении крафтовых сыров флавоноидами и витамином С из растительного сырья. //Студенческая наука-взгляд в будущее. — 454-458). (in Rus).

Сапко О. А., Мухамеджанов Б. Г., & Кунаева Р. М. (1992). Образование фенольных соединений в культуре ткани верблюжьей колючки. *Физиология растений*. — 39(5) — 1197. (in Rus).

Титова М.В., Кочкин Д.В., Фоменков А.А., Иванов И.М., Котенкова Е.А., Кочарян, Г.Л., ... & Носов А. М. (2021). Получение и характеристика суспензионной культуры клеток *Alhagi persarum* Boiss. et Buhse-продуцента изофлавоноидов. *Физиология растений*. — 68(4) — 392-401. DOI: 10.31857/S0015330321040205 (in Rus).

Уранова В.В., Ломтева Н.А., & Кайсарова М.А. (2021). Определение содержания флавоноидов в растительном сырье Шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis*), произрастающего на территории Астраханской области. Тенденции развития науки и образования. — (69-1) — 101-104. doi: 10.18411/lj-01-2021-28 (in Rus).

Fine A.M. (2000). Oligomeric proanthocyanidin complexes: history, structure, and phytopharmaceutical applications. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*. — 5(2) — 144-151. PMID: 10767669. (in Eng).

Shaikhin S.M., Smailov S.K., Lee A.V., Kozhanov E.V., & Iskakov B.K. (1992). Interaction of wheat germ translation initiation factor 2 with GDP and GTP. *Biochimie*. — 74(5) — 447-454. [https://doi.org/10.1016/0300-9084\(92\)90085-S](https://doi.org/10.1016/0300-9084(92)90085-S). (in Eng).

Shi J., Yu J., Pohorly J. E., & Kakuda Y. (2003). Polyphenolics in grape seeds - biochemistry and functionality. *Journal of medicinal food*. — 6(4) — 291-299. <https://doi.org/10.1089/10966200377251983>. (in Eng).

References

Asghari M.H., Fallah M., Moloudizargari M., Mehdikhani F., Sepehrnia P., & Moradi B. (2016). A systematic and mechanistic review on the phytopharmacological properties of *Alhagi* species. *Ancient science of life*. — 36(2) — 65-71. DOI: 10.4103/asl.ASL_37_16. (in Eng).

Burasheva G. Sh., Rakhimov K. D., & Abilov Zh. A. (2012). Chemical and technological features of the biologically active complex from Kyrgyz camel thorn (*Alhagi kirghisorum* S.). *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. — (2) — 69-81. (in Rus).

Denisenko O. N., & Yarchuk O. B. (1989). Regulation of LacZ mRNA translatability in a cell-free system at heat shock by the last four sense codons. *FEBS letters*. — 247(2) — 251-254. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(89\)81346-8](https://doi.org/10.1016/0014-5793(89)81346-8). (in Eng).

Kurkin V.A., Kurkina A.V., & Avdeeva E.V. (2013). Flavonoids as biologically active compounds of medicinal plants. *Fundamental research*. — 11(9) — 1897-1901. <https://s.fundamental-research.ru/pdf/2013/11-9/33478.pdf>. (in Rus).

Khushbaktova Z. A., Syrov V. N., Kuliev Z., Bashirova N. S., Shadieva Z., Gorodeyskaia E. A., & Medvedev O. S. (1992). The effect of proanthocyanidins from *Alhagi pseudoalhagi* (MB) Desv on the course of experimental myocardial infarct. *Ekspiermental'naia i Klinicheskaia Farmakologiiia*. — 55(6) — 19-21.A. PMID: 1305866. (in Eng).

Cos P., Bruyne, T. D., Hermans N., Apers S., Berghe D. V., & Vlietinck, A. J. (2004). Proanthocyanidins in health care: current and new trends. *Current medicinal chemistry*. — 11(10) — 1345-1359. DOI: <https://doi.org/10.2174/0929867043365288>. (in Eng).

Nabavizade, S. H., & Nabavi M. (2010). The effect of herbal drugs on neonatal jaundice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research, (Supplement 2)* — 39-40. (in Eng).

Okhundedaev B. S., Bobakulov Kh. M., Nishanbaev S. Z., & Abdullaev N. D. (2018). Phenolic compounds of the aerial part of *Alhagi kirghisorum*. *Farmatsevtika jurnali*. - 41 - 134-136. <https://assets.uzsci.uz/edition/file/5dc0fd36ea412.pdf#page=41> (in Rus).

Pandeya K. B., Tripathi I. P., Mishra M. K., Dwivedi N., Pardhi Y., Kamal A., ... & Mishra, C. (2013). A critical review on traditional herbal drugs: An emerging alternative drug for diabetes. — Vol.3 DOI:104236/ijoc.2013.31001. (in Eng).

Putri C. R. H., Sumitro, S. B., & Karyono, S. (2017). Quercetin, rutin, proanthocyanidin, catechin and epitaecethin as fatty acid synthase inhibitor using virtual screening. *Berkala Penelitian Hayati*. — 23(1) — 25-31. DOI 10.23869/62 (in Eng).

Rozdoroznaya Ya.A., & Zhalolova D.O. (2021). On the issue of enriching craft cheeses with flavonoids and vitamin C from plant raw materials. // *Student science - a look into the future*. - 454-458. (in Rus).

Sapko O. A., Mukhamedzhanov B. G., & Kunaeva R. M. (1992). Formation of phenolic compounds in camel thorn tissue culture. *Plant Physiology*, 39(5), 1197. (in Rus).

Titova, M. V., Kochkin, D. V., Fomenkov, A. A., Ivanov, I. M., Kotenkova, E. A., Kocharyan, G. L., ... & Nosov, A. M. (2021). Obtaining and characterizing the suspension cell culture of *Alhagi persarum* Boiss. et Buhse, an isoflavonoid producer. *Plant Physiology*. — 68(4) — 392-401. DOI: 10.31857/S0015330321040205 (in Rus).

Uranova V.V., Lomtev, N. A., & Kaisarova M. A. (2021). Determination of flavonoid content in plant materials of Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis*) growing in the Astrakhan region. Trends in the development of science and education. — 69(1) — 101-104. doi: 10.18411/lj-01-2021-28 (in Rus).

Fine A.M. (2000). Oligomeric proanthocyanidin complexes: history, structure, and phytopharmaceutical applications. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*. — 5(2) — 144-151. PMID: 10767669. (in Eng).

Shaikhin S. M., Smailov S. K., Lee A. V., Kozhanov E. V., & Iskakov B. K. (1992). Interaction of wheat germ translation initiation factor 2 with GDP and GTP. *Biochimie*. — 74(5) — 447-454. [https://doi.org/10.1016/0300-9084\(92\)90085-S](https://doi.org/10.1016/0300-9084(92)90085-S). (in Eng).

Shi J., Yu J., Pohorly J. E., & Kakuda Y. (2003). Polyphenolics in grape seeds - biochemistry and functionality. *Journal of medicinal food*. — 6(4) — 291-299. <https://doi.org/10.1089/10966200377251983>. (in Eng).

NEWS

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

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 165–174

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.257>

© **L. Sultanova, G. Musina, A. Amanzholova, K. Erlanova, M. Ayapbergen, 2024**

NAO “Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov”,

Karaganda, Kazakhstan;

E-mail: aidana455.kz@mail.ru

THE EFFECT OF STORAGE YIELD ON THE FLOTATION CAPACITY OF SODIUM DITHIOPHOSPHATE IN RELATION TO SAMPLES OF MANGANESE ORES

L. Sultanova — Candidate of Chemical Sciences, NJSC “Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan E-mail: sultanova-liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9282-7982>;

G. Musina — Candidate of Chemical Sciences, NJSC “Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan E-mail: kargtu@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6582-9731>;

A. Amanzholova — Teacher, NJSC “Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan E-mail: aidana455.kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9245-7168>;

K. Erlanova — Master student, NJSC “Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan E-mail: erlanovake@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7841-1415>;

M. Ayapbergen — Master student, NJSC “Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan E-mail: ayapbergen2002@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7571-2607>.

Abstract. The article examines the effect of collector reagents’ dosage on the flotation capacity of sodium dithiophosphates in manganese ore beneficiation. Currently, the enrichment and processing of mineral raw materials hold an important place, as special methods must be applied to effectively utilize the valuable substances contained in them. The work focuses on methods of enriching useful minerals, paying particular attention to flotation processes, which are widely used to separate minerals based on their physicochemical properties. The aim of the study is to investigate the effect of various concentrations of sodium dithiophosphate on the flotation capacity of manganese ores and to evaluate its efficiency in the beneficiation process. The research identified the flotation process parameters through the use of different reagents. Additionally, the flotation processes of manganese ores and the impact of reagents, particularly the role and efficiency of sodium dithiophosphate in beneficiation, were analyzed. The experimental part discusses the methodology of flotation processes and methods of enrichment through the influence of electromagnetic fields. The article proposes conducting flotation experiments using sodium dithiophosphate and other reagents, as well as utilizing electromagnetic fields to improve the beneficiation process. The flotation complex “flotation reagent-particle” polarizes and is subjected to the influence

of a magnetic field, which acts as a guiding or driving force. This complex becomes positively charged and is therefore discharged at the negative electrode. The results of the study show that optimizing reagent consumption can significantly improve the efficiency of the flotation process by enhancing the quality of the final product and reducing beneficiation costs. The advantage of enrichment under the influence of an electromagnetic field is that no frother is required, and the consumption of flotation reagent is lower. The duration of the process is shorter compared to flotation. Therefore, the use of this type of beneficiation is economically advantageous.

Keywords: sodium dithiophosphate, flotation, manganese ores, reagent, electromagnetic field

© **Л. Султанова, Г.Мусина, А. Аманжолова, К.Ерланова,
М.Аяпберген, 2024**

«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ,
Қарағанды, Қазақстан;
E-mail: aidana455.kz@mail.ru

НАТРИЙ ДИТИОФОСФАТЫНЫҢ МАРГАНЕЦ РУДАЛАРЫНЫҢ ҮЛГІЛЕРІНЕ ҚАТЫСТЫ ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІНЕ ЖИНАҒЫШТАР ШЫҒЫМЫНЫҢ ӘСЕРІ

Султанова Л. — химия ғылымдарының кандидаты, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан E-mail: sultanova-liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9282-7982>;

Мусина Г. — химия ғылымдарының кандидаты, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан E-mail: kargtu@kstu.kz , <https://orcid.org/0000-0001-6582-9731>;

Аманжолова А. — оқытушы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан E-mail: aidana455.kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9245-7168>;

Ерланова К. — магистрант, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан E-mail: erlanovake@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7841-1415>;

Аяпберген М. — магистрант, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан E-mail: ayapbergen2002@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7571-2607>.

Аннотация. Мақалада натрий дитиофосфатының марганец рудаларын байыту кезіндегі флотациялық қабілетіне жинағыш реагенттердің мөлшерінің әсері зерттелген. Қазіргі кезде минералды шикізаттарды байыту және өңдеу маңызды орын алады, себебі олардың құрамындағы пайдалы заттарды тиімді пайдалану үшін арнайы әдістер қолдану қажет. Жұмыста минералдарды физика-химиялық қасиеттері бойынша бөлу үшін кеңінен қолданылатын флотациялық процестерге баса назар аудара отырып, пайдалы қазбаларды байыту әдістері қарастырылады. Жұмыстың мақсаты - марганец кендерінің флотациялық қабілетіне натрий дитиофосфатының әртүрлі концентрациясының әсерін зерттеу және оның байыту процесінде тиімділігін бағалау. Зерттеу барысында әртүрлі реагенттерді қолдану арқылы флотация процесінің көрсеткіштері анықталды. Сонымен қоса, марганец

рудаларының флотациялық процестері мен реагенттердің әсері талданды, соның ішінде натрий дитиофосфатының байытудағы рөлі мен оның тиімділігіне ерекше назар аударылды. Тәжірибелік бөлімде флотациялық процестердің әдістемесі және электромагниттік өріспен әсер ету арқылы байыту жолдары қарастырылған. Мақалада натрий дитиофосфатын және басқа реагенттерді қолдана отырып флотациялық тәжірибелер жүргізу, сондай-ақ байыту процесін жақсарту үшін электромагниттік өрісті қолдану ұсынылған. Флотациялық комплекс «флотореагент-бөлшек» поляризацияланады және бағыттаушы немесе қозғаушы күш болатын магнитті өрістің әсеріне ұшырайды. Бұл комплекс оң зарядталады, сондықтан теріс электродта разрядталады. Жұмыстың нәтижелері бойынша реагенттерді тұтынуды оңтайландыру соңғы өнімнің сапасын жақсарту және байыту шығындарын азайту арқылы флотация процесінің тиімділігін айтарлықтай арттыра алатынын көрсетеді. Электромагниттік өріс әсерінен байыту артықшылығы көпірткіш қосылмайды және флотореагенттің шығымы аз. Флотация процесіне қарағанда процесс ұзақтығы төменірек. Сондықтан байытудың бұл түрін қолдану экономикалық тұрғыдан тиімді.

Түйін сөздер: натрий дитиофосфаты, флотация, марганец кендері, реагент, электромагниттік өріс

© **Л. Султанова, Г. Мусина, А. Аманжолова, К. Ерланова,
М. Аяпберген, 2024**

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
Караганда, Казахстан.
E-mail: aidana455.kz@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА НАКОПИТЕЛЕЙ НА ФЛОТАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ДИТИОФОСФАТА НАТРИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ОБРАЗЦАМ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

Султанова Л. — кандидат химических наук, НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан E-mail: : sultanova-liliya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9282-7982>;

Мусина Г. — кандидат химических наук, НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан E-mail: kargtu@kstu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6582-9731>;

Аманжолова А. — преподаватель, НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан E-mail: aidana455.kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9245-7168>;

Ерланова К. — магистрант, НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан E-mail: erlanovake@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7841-1415>;

Аяпберген М. — магистрант, НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» Караганда, Казахстан E-mail: ayapbergen2002@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7571-2607>.

Аннотация. В статье изучено влияние дозировки собирательных реагентов на флотационную способность натрий дитиофосфатов при обогащении марганцевых

руд. В настоящее время обогащение и переработка минерального сырья занимает важное место, поскольку для эффективного использования полезных веществ, содержащихся в них, необходимо применять специальные методы. В работе рассматриваются методы обогащения полезных ископаемых, с особым акцентом на флотационные процессы, которые широко применяются для разделения минералов по их физико-химическим свойствам. Цель работы — исследовать влияние различных концентраций натрия дитиофосфата на флотационную способность марганцевых руд и оценить его эффективность в процессе обогащения. В ходе исследования были определены параметры флотационного процесса с использованием различных реагентов. Также проанализированы флотационные процессы марганцевых руд и влияние реагентов, в частности, роль и эффективность натрия дитиофосфата в обогащении. В экспериментальной части обсуждаются методика флотационных процессов и способы обогащения с воздействием электромагнитного поля. В статье предлагается проведение флотационных экспериментов с использованием натрия дитиофосфата и других реагентов, а также использование электромагнитного поля для улучшения процесса обогащения. Флотационный комплекс «флотореагент-частица» поляризуется и подвергается воздействию магнитного поля, которое выступает направляющей или движущей силой. Этот комплекс заряжается положительно, и, следовательно, разряжается на отрицательном электроде. Результаты работы показывают, что оптимизация расхода реагентов может значительно повысить эффективность флотационного процесса, улучшив качество конечного продукта и снизив затраты на обогащение. Преимущество обогащения под воздействием электромагнитного поля заключается в том, что пенообразователь не требуется, а расход флотореагента ниже. Продолжительность процесса ниже по сравнению с флотацией. Следовательно, использование этого типа обогащения экономически выгодно.

Ключевые слова: тиофосфат натрия, флотация, марганцевые руды, реагент, электромагнитное поле

Кіріспе

Қазіргі кезде халық шаруашылығының барлық салаларында жер қойнауынан алынатын минералды шикізаттардың маңызы өте зор. Олардан металдар, химиялық заттар, отын түрлері және құрылыс материалдары алынады. Оларды өндіру үшін бастапқы шикізат көптеген өңдеу процестерінен өтеді. Көпшілік минералды шикізаттар құрамы күрделі келеді (Бектурганов, т.б., 2009). Сондықтан олардың құрамындағы пайдалы заттарды тиімді пайдалану үшін бір-бірінен ажыратып бөлу қажет. Кен байытуда алға қойылатын мақсаттар-кен құрамынан бағалы заттарды неғұрлым толығырақ бөліп алу және алынған өнімдердің сапасы неғұрлым жоғары болуы.

Кендерді байытудың технологияларын жетілдіру негізінде өте кедей кендерден жоғары сапалы концентраттар алу және күрделі құрамды кендерден жеке металдар концентраттарын алу мүмкіншілігі туды (Бектурганов, т.б., 2009).

Қазіргі кезде барлық дерлік пайдалы қазбалар байыту процестерінен өткізіледі (Бектурганов, т.б.,2008). Тек темір,марганец және фосфор кендерін тікелей металлургиялық не химиялық әдістермен өңдеуге болады.Байыту техникасының дамуы,үлестік мөлшері өте төмен сирек кездесетін металдар кендерінің қорын молайтып,іске қосуға себеп болады (Бектурганов, т.б.,2008)..

Пайдалы қазбаларды байытуда флотация ең көп тараған байыту әдісіне жатады (Кушекова, т.б.,2007). Қазіргі кезде ол пайдалы қазбалардың барлық түрін байытуда ол негізгі әдіс болса,қара металдар кендерін, көмірді және кейбір қазба түрлерін байытуда басқа әдістермен бірге қолданылады (Рахимбаев, т.б.,2008). Флотацияның универсалды әдіс болуының себебі, ол минералдардың физика-химиялық қасиеттерінің айырмашылығына негізделген (Семушкина, т.б.,2008). Ол қасиеттер әр минералда әртүрлі. Сондықтан тәжірибе жүзінде пиритті мыс-қорғасын-цинкті кендерді байыту үшін классикалық реагенттерге жататын бутильді,изопропильді, этильді ксантогенаттар, ал диалкилдитиофосфат ксантогенаты мыс-молибденді кендерді байытуда кеңінен қолданылады (Семушкина, т.б.,2007).

Бұл курстық жұмыста жинағыш ретінде органикалық қосылыстарды пайдаланып,флотация нәтижесінде кендердің байытылу дәрежесі анықталды.

Жұмыстың мақсаты: кендерді байыту кезіндегі натрий дитиофосфатының марганец рудаларына қатысты флотациялық қабілетіне жинағыштар шығымының әсерін бағалау болып табылады.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Қолданылатын реактивтер «х.т.», «х.а.т.» классификацияға ие. Зерттеулер үшін келесі ерітінділер қолданылды: дистильденген суда ерітілген натрийдің дибутилдитиофосфатының $(C_4H_9O)_2PS_2Na$ 10^{-5} моль/л ерітіндісі, мыс сульфатының $CuSO_4$ 10^{-5} М ерітіндісін өлшендіні дистильденген суда еріту арқылы дайындалды, дистильденген суда ерітілген аммонийдің диизоактилдитиофосфаты $(C_8H_{17}O)_2PS_2NH_4$ ерітіндісі.

Қолданылған құрылғылар: флотациялық машина, электромагнитті өріспен әсер ету арқылы байыту құрылғысы, түрлі өлшемді колбалар, стакандар мен т.б. химиялық ыдыстар қолданылды.

Флотация жүргізу әдістемесі бойынша флотация процесінің негізгі көрсеткіштерін (өнім шығымы, шығу дәрежесі, концентрлену дәрежесі) кинетикалық қисықтар тұрғызып есептейді және жұмыс бойынша қорытындылар жасайды.

Өнім (концентрат) шығымы E (%) – алынған концентрат массасының m алынған кен массасына m қатынасы:

$$E = \frac{m_k}{m} 100\% \quad (1.1)$$

Шығу дәрежесі x (%) пайдалы компоненттің қандай бөлігі оның кендегі бастапқы мөлшерінен концентратқа бөлінетінің көрсетеді:

$$x = \frac{c_k m_k}{c_m} 100\% \quad (1.2)$$

мұндағы C_k , C – пайдалы компоненттің концентратта және кендегі мөлшері, массалық үлес.

Концентрлену дәрежесі (байыту дәрежесі) K – бөлінетін элементтің концентраттағы мөлшерінің оының кендерін мөлшеріне қатынасы:

$$K = C_k / C. \quad (1.3)$$

Флотация жылдамдығы уақыт бірлігінде алынған концентрат мөлшерімен анықталады. Бұл мөлшерді анықтау үшін өнім массасының уақттан тәуелді графикті – кинетикалық қисықты тұрғызады.

Графиктік дифференцирлеуді қолданып кез келген уақыт бірлігіндегі процес жылдамдығын анықтауға болады. Ол үшін берілген нүктедегі кинетикалық қисықа қатысты қисаю бұрышының тангенсін және координат масштабын анықтау керек.

Флотацияның орташа жылдамдығы белігілі интервал аумағында белгілі уақыт аралығындағы $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ концентрат массасының $\Delta m_k = m_2 - m_1$ артуымен анықталады:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{\tau_2 - \tau_1} \quad (1.4)$$

Пульпаның тығыздығы ρ келесі формуламен анықталады:

$$\rho = \frac{m + m_B}{v} \quad (1.5)$$

мұндағы m , m_B , v — кеннің массасы, судың массасы және судың көлемі.

Пульпа тығыздығын анықтау үшін қақттылық қатынасының сұйықпен қатынасымен анықтауда қатынасты қолданады.

$$T:Ж = m/m_B \quad (1.6)$$

Байытудың электромагнитті өріспен әсер ету арқылы байыту әдістемесі келесі түрде жүргізіледі. Керекті ірілікті кені бар пульпа (Қ:С) 1:1,15 (133 г қатты затты), полимерлі материалдан жасалған түтік бойынша өтеді. Ол түтікше жазыққа 5^0 горизонталь орналасады, оның ішкі жағында, пульпаны әрі қарай жылжытатын, тұрақты магнит өрісін туғызатын индуктивтілік катушкасының алдында және кейін орналасатын қалыңдығы 1 см болатын мыс электродтары бар.

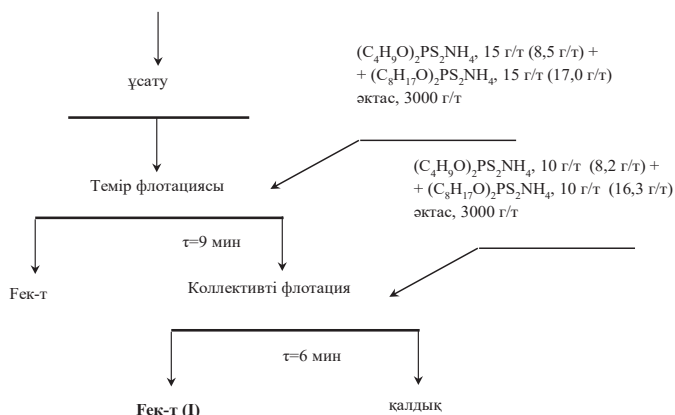
Үлгілердің ИҚ-спектроскопиялық сараптамасы екісәулелі сканирлеуші UV – 1800 Shimadzu спектрофотометрде, Е.А.Бөкетов атындағы ҚарМУ химия факультетінің «Физико-химиялық сараптама әдістері» инженерлі профилді лабораторияда жүргізілді.

Атомдық абсорбция әдісінің артықшылығы жұтылу спектрін бақылау үшін толық спектр көзінің орнына, сызықты спектр – анықталатын элементтің резонансты сызығының сәулеленуін қолдануға болады. Бұл сызықтар шығарудан

басқа, жұтылу кезінде де байқалады, бұл кезде резонансты сызықтық сәулеленуінің төмендеу дәрежесінің жұтылатын бу құрылғының қабілетіне тәуелді емес, ол арқылы бақылау жүргізіледі. құрылғының осы жағдайдағы міндеті тек басқа спектр сызықтарынан басқа резонансты сызықтарды бөлу ғана болып табылады.

Нәтижелер мен талқылаулар

Атомдық-абсорбциялық сараптамаға сәйкес, бұл кендегі доминантты элемент темір болып табылады, бұл сонымен қатар КГИЮ лабораториясында өткізілген өткізілген геоаналитикалық сараптама нәтижелерімен дәлелденеді (63,104%). Үлгідегі металлдың мөлшері 0,622 мг/л. Концентраттағы металлдың құрамы 0,827 мг/л. Флотация мәліметтері бойынша концентрат шығымы 1,8%, негізгі кендегі металл құрамы 6,22%, металлдың концентраттағы құрамы 45,94%, байыту дәрежесі 7,38%, алыну дәрежесі 13% құрайды. Флотация бірсатылы сызба бойынша жүргізілді (сур. 1). Осылайша, көпіршікті флотацияның берілген әдісі құрамында темірі бар минералдарды толығымен алуға мүмкіндік бермейді, себебі олар берілген жағдайда көбінесе оксидтермен келтірілген.



Сурет 1. Марганец кенін флотациялық байытудың бірсатылы сызбасы

Бұдан әрі қарай электромагнитті өрістің сульфгидрильді жинағыштардың флотациялық қабілетіне әсерін зерттеу жұмыстары жүргізілді. Магнитті кендерді байытудың негізгі әдісі магнитті сепарация болғандықтан, анықтаушы фактор минералдардың магнитті сезімталдылығы болады. Минералдар қатты магнитті, әлсіз магнитті және магнитсіз болып бөлінеді. Берілген жағдайда рентген-құрылыстық сараптама бойынша, кенде қуаттылығы 800-1500 кА/м мен жоғары мәндерде, күшті өрістерде магнитті сепараторларда алынатын, әлсіз магнитті минералдар кездеседі. Бұл топқа меншікті магнитті сезімталдылығы $(750-10) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ минералдар кіреді: тотықтар, темір және марганецтің карбонаттары мен гидрототықтары, ильменит, вольфрамит, гранат, биотит және т.б. Күшті өрісі бар сепараторларда алынатын, минералдардың меншікті магнитті сезімталдылықтың төменгі шекарасы, сепараторлар конструкцияларының даму мәніне қарай

төмендеу тенденциясына ие. Гематит магнитті сезімталдылығы $(380-60) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ тең. Гематиттегі темірдің құрамы 70% құрайды. Өндірісте магнитті кендерді байытуға магнитті дешломаторларды, гидроциклондар мен тұрақты магниттары бар сеператорларды қолданады. Берілген жағдайда тұрақты магнит өрісі тұрақты тоқтың катушқасымен жасалады. Рентген-құрылыстық сараптамаға сәйкес сулы магнитті байыту кендегі гематиттің мөлшерін арттырады, ал бос жыныс мөлшері төмендейді. Алынған концентраттар екі классқа бөлінді. Үлгілерді үш жерден алды: үлгі №1 катушқадан кейін оң электродтан соң, үлгі №2 теріс электродтан кейін, үлгі №3 қалдық. Нәтижелер 1-кестеде келтірілген.

Кесте1. Электр және магнит өрісімен өңдеу процессі кезіндегі метал мөлшерінің өзгеруі атомдық-абсорбциялық сараптама әдісімен бақыланды

Металл атауы	Үлгідегі металл құрамы №, мг/л				$m_{\text{конц}}$, г	Рудадағы металл құрамы, %	Концентраттағы металл құрамы, %	Байытылу деңгейі, %
	1	2	3	Бастапқы				
Темір	23,2800	5,0000	8,6700	6,2200	0,1000	$8,5 \cdot 10^{-2}$	0,0050	37,4280
Мыс	-0,0034	0,0056	-0,0086	0,0003	0,1000	$8,4 \cdot 10^{-2}$	0,0006	180,6500

Темір иондарына жасалған атомдық-абсорбциялық сараптама, оң электродтан кейін алынған концентраттағы металдың мөлшері 0,17%, ал байыту дәрежесі 2,76 рет екендігін көрсетті. Яғни, флотациялық комплекс «флотореагент-бөлшек» поляризацияланады және бағыттаушы немесе қозғаушы күш болатын магнитті өрістің әсеріне ұшырайды. Бұл комплекс оң зарядталады, сондықтан теріс электродта разрядталады.

Кесте2. «Марганец кені – натрий дибутилдифтиофосфат» жүйесіндегі адсорбциялық тепе-теңдікті $T=313 \text{ К}$ кезіндегі потенциометриялық анықтаудың нәтижелері

Ерітінді №	$C_0 \cdot 10^4$, моль/л	$C_p \cdot 10^4$, моль/л	$x/m \cdot 10^3$	$\lg C_p$	$\lg(x/m)$	$\lg K$
1	3,2	3,6	7,36	-3,44	-2,13	15,743
2	3,2	2,8	2	-3,55	-2,70	
3	4,0	3,2	4	-3,49	-2,40	

Кесте мәліметтері бойынша, сорбция процессі $T=313 \text{ К}$ температура кезінде қарқынды өтетіні белгілі. Бұл кезде ерітіндідегі флотореагенттің концентрациясының артуы, кен үлгілеріндегі сорбцияның артуына әкеледі. Сорбция изотермасының ішке қисайған сипаты, нәтижесінде гидрокомплексер түзілетін, бір сатысы кен бөлшектерінің беттік қабатының гидролизі болатын, бірнеше сатыдан тұратының дәлелдейді. Ерітіндіде сульфгидрильді жинағыштар болған кезде, гидроксильді топтардың флотореагенттердің ксантогенатты топтарына ауысу процессі жүзеге асуы мүмкін. Тепе-теңдік константаларының температуралық тәуелділіктері мәліметтерінен, берілген сорбция процессі үшін белсендіру энергиясының үлкен шамасы туралы болжауға болады. Осылайша, марганец кенінің флотациясын ыдырату температурасынан төмен жоғары

температураларда, немесе ион алмасу процесстерін жүзеге асыратын, жоғары рН кезінде іске асыру керек.

Кесте3. ИҚ-спектраскопиялық сараптама нәтижелері

Жұтылу жолақтарының жиіліктер, см ⁻¹		Құрылыстық бірліктер мен топтар	Жолақтардың интерпритациясы
1		2	3
470			
533			
801	814	G	Ароматты сақинадағы С-Н байланысының жазықтық сыртындағы деформациялық тербелістер
908	915		ССН веерлі тербелістері
1008	1011		Интерпритация жоқ
1632	1616		Ароматты сақинаның қаңқалы тербелістер
1638	1655, 1675		Ароматты сақинамен қосарланған, С=О байланысының валенттік тербелістері
3140	3000-3100	С – Н сақинасы	С-Н ароматтық байланыстарының валенттік тербелістері

Қорытынды

Бұл жұмысты қорытындылай келе, марганец рудасының көбікті флотация бойынша атомдық-абсорбциялық сараптамаға сәйкес, бұл кендегі доминантты элемент темір болып табылады, бұл сонымен қатар өткізілген геоаналитикалық сараптама нәтижелерімен дәлелденеді. Флотореагент ретінде натрий дибутилдифосфатының қатысында темірдің байытылу деңгейі 1,5 есе артқанын көрсетті.

Бұдан әрі қарай электромагнитті өрістің сульфгидрильді жинағыштардың флотациялық қабілетіне әсерін зерттеу жұмыстары жүргізілді. Рентген-құрылыстық сараптамаға сәйкес сулы магнитті байыту кендегі гематиттің мөлшерін арттырады, ал бос жыныс мөлшері төмендейді. Темір иондарына жасалған атомдық-абсорбциялық сараптама, концентраттағы металдың байыту дәрежесі 2,76 рет екендігін көрсетті. Яғни, флотациялық комплекс «флотореагент-бөлшек» поляризацияланады және бағыттаушы немесе қозғаушы күш болатын магнитті өрістің әсеріне ұшырайды. Бұл комплекс оң зарядталады, сондықтан теріс электродта разрядталады.

«Марганец кені – натрий дибутилдифосфат» жүйесіндегі адсорбциялық тепе-теңдікті $T=313$ К кезіндегі потенциометриялық анықтаудың нәтижесінде сорбция процесі $T=313$ К температура кезінде қарқынды өтетіні белгілі болды.

Алынған нәтижелер бойынша электромагниттік өріс әсерінен байыту артықшылығы көптігі қосылмайды және флотореагенттің шығымы аз. Флотация процесіне қарағанда процесс ұзақтығы төменірек. Сондықтан байытудың бұл түрін қолдану экономикалық тұрғыдан тиімді.

Әдебиеттер

Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н. К., Калугин С.Н., Семушкина Л.В., Калдыбаева Ж.А. Способ переработки полиметаллической медно-свинцово-цинковой руды /Иновационный патент РК № 21101 от 15.04.2009, бюл. № 4.-С.51.

Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н. К., Семушкина Л.В., Калиева Р.С., Турысбеков Д.К., Калдыбаева Ж.А. Применение нового флотореагента тетрагидропиранового ряда во флотации полиметаллических сульфидных руд // Труды VII Конгресса обогатителей стран СНГ.- Москва, 2-4 марта 2009.- 2 с.

Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К. и др. Способ разделения медно-свинцового концентрата /Предварительный патент РК № 20209 от 17.11.2008, бюл. № 11.- С.164.

Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н. К., Турысбеков Д. К., Семушкина Л.В., Калиева Р.С., Шаутинов М.Р., Нурахметова Г.Б.Разделение коллективного медно-свинцового концентрата с новым модификатором - катализатором окисления //Горный журнал Казахстана, 2008.-№ 8.- С. 9-13.

Кушекova А.К., Калугин С.Н., Абилов Ж., Омирбек Н., Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Калиева Р.С. Новые поверхностно-активные вещества тетрагидропиранового ряда //Труды Республиканской научно-практической конференции молодых ученых «Иновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане».- Алматы, 14 декабря 2007. - Сборник статей, часть 4, химические науки.- С. 203-206.

Рахимбаев Д.Е., Семушкина Л.В., Калиева Р.С., Тусупбаев Н.К., Омирзак М.Т., Бектурганова Н.Е. Влияние флотореагентов на флотационные параметры минералов //Материалы II Международного конгресса студентов и молодых ученых «Мир науки». - Казахстанские химические дни. – Алматы, 2008.- С.67.

Семушкина Л.В., Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Калдыбаева Ж.А. Использование нового сульфидрильного пенообразователя при селективном разделении меди и свинца //Новости науки Казахстана, 2008.- № 3.- С. 62-65.

Семушкина Л.В. Влияние нового флотореагента тетрагидропиранового ряда на флотацию сульфидных минералов //КИМС, 2007 г. - №6. - С.29-32

References

Bekturganov N.S., Tusupbaev N. K., Kalugin S.N., Semushkina L.V., Kaldybaeva Zh.A. Method of processing polymetallic copper-lead-zinc ore /Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 21101 dated 04/15/2009, byul. No. 4.-p.51.

Bekturganov N.S., Tusupbaev N. K., Semushkina L.V., Kalieva R.S., Turysbekov D.K., Kaldybaeva Zh.A. The use of a new tetrahydropyrene flotation agent in the flotation of polymetallic sulfide ores // Proceedings of the VII Congress of concentrators of the CIS countries.- Moscow, March 2-4, 2009.- 2 p.

Bekturganov N.S., Tusupbaev N.K., Semushkina L.V., Turysbekov D.K., etc. Method of separation of copper-lead concentrate / Preliminary patent of the Republic of Kazakhstan No. 20209 dated 11/17/2008, byul. . No. 11.- p.164.

Bekturganov N.S., Tusupbaev N. K., Turysbekov D. K., Semushkina L.V., Kalieva R.S., Shautenov M.R., Nurakhmetova G.B. Separation of a collective copper-lead concentrate with a new modifier - an oxidation catalyst //Mining Journal of Kazakhstan, 2008.-No. 8.- pp. 9-13.

Kushekova A.K., Kalugin S.N., Abilov Zh., Omirbek N., Tusupbaev N.K., Semushkina L.V., Kalieva R.S. New surfactants of the tetrahydropyrene series //Proceedings of the Republican scientific and practical conference of young scientists “Innovative development and relevance of science in modern Kazakhstan”.- Almaty, December 14, 2007. - Collection of articles, part 4, chemical sciences. - pp. 203-206.

Rakhimbayev D.E., Semushkina L.V., Kalieva R.S., Tusupbayev N.K., Omirzak M.T., Bekturganova N.E. Influence of flotation reagents on flotation parameters of minerals //Materials of the II International Congress of Students and Young Scientists “World of Science”. Kazakh Chemical Days. – Almaty, 2008.- p.67.

Semushkina L.V., Bekturganov N.S., Tusupbayev N.K., Turysbekov D.K., Kaldybaeva Zh.A. The use of a new sulfhydryl foaming agent in the selective separation of copper and lead //Science News of Kazakhstan, 2008.- No. 3.- pp. 62-65.

Semushkina L.V. The effect of a new tetrahydropyranic flotation agent on the flotation of sulfide minerals //KIMS, 2007 - No.6. - pp.29-32.

NEWS

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

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 175–185

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.258>

ӘОЖ 544.773.432

МРҲТІІ 31.25.15

**A.K. Toktabayeva, R.K. Rakhmetullayeva, G.S. Irmukhametova,
A.Z. Alikulov, 2024.**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com

REGULATION OF THE PHASE TRANSITION TEMPERATURE OF A HYDROGEL BASED ON N-(2-VINYLOXYETHYL)-N-(2-CYANOETHYL) AMINE (VOECEA) WITH SURFACTANTS

Toktabayeva Asel Kyrgyzbayevna – candidate of chemical sciences, associate professor, faculty of Chemistry and Chemical Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Asel.Toktabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-8696>;

Rakhmetullayeva Raikhan Kulymbetovna – candidate of chemical sciences, Associate Professor, Faculty of Chemistry and Chemical Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Irmukhametova Galiya Serikbayevna – candidate of chemical sciences, Associate Professor, Faculty of Chemistry and Chemical Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Galiya.Yrmukhametova@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>;

Alikulov Adilet Zhenisbekuly – senior lecturer, Faculty of Chemistry and Chemical Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: alikulov.adilet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0380-0612>.

Abstract. This study investigates cationic polymer hydrogels based on N-isopropylacrylamide (NIPAAm) and N-(2-vinyloxyethyl)-N-(2-cyanoethyl) amine (VOECEA), synthesized via three-dimensional radical copolymerization of the corresponding monomers. The complexation between the obtained NIPAAm-VOECEA copolymers and sodium dodecyl sulfate (NaDDS) was studied, along with the effects of factors such as concentration, pH, and temperature on this process. It was found that no complexation occurs between the copolymers and the surfactant in a basic medium. It was revealed that solutions of the copolymers actively form complexes with NaDDS in an acidic medium. Complexes are formed only at pH values below a critical threshold, as the copolymer macromolecules ionize in an acidic environment due to the positively charged amino groups. Additionally, the absorption and release behavior of aqueous NaDDS solutions by the NIPAAm-VOECEA hydrogels was studied. It was found that the release of surfactants from the hydrogel's lattice structure is directly dependent on temperature and decreases with increasing temperature. This indicates the thermosensitivity of the cationic hydrogel's lattice structure to temperature changes.

Keywords: N-isopropylacrylamide (NIPAAm), N-(2-vinylxyethyl)-N-(2-cyanoethyl) amine (VOESEA), water-swelling and stimuli-sensitive copolymers, cationic copolymers, thermosensitive properties, complexation.

©**А.К. Токтабаева, *Р.К. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова,**
А.Ж. Аликулов, 2024.

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

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com

N-(2-ВИНИЛОКСИЭТИЛ)-N-(2-ЦИАНОЭТИЛ) АМИН (ВОЭЦЭА) НЕГІЗІНДЕГІ ГИДРОГЕЛЬДІҢ ФАЗАЛЫҚ АУЫСУ ТЕМПЕРАТУРАСЫН БЕТТІК АКТИВТІ ЗАТТАРМЕН РЕТТЕУ

Токтабаева Асель – химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, E-mail: Asel.Toktabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-8696>;

Рахметуллаева Райхан – химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Ирмухаметова Галия – химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, E-mail: Galiya.Yrmuhametova@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>;

Аликулов Адилет – аға оқытушы, Химия және химиялық технология факультеті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, E-mail: alikulov.adilet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0380-0612>.

Аннотация. Бұл жұмыста N-изопропилакриламид (НИПААм) және N-(2-винилоксиэтил)-N-(2-цианоэтил) амині (ВОЭЦЭА) негізінде үшөлшемді радикалды сополимерлену нәтижесінде алынған катиондық типтегі полимерлі гидрогельдер зерттелді. Алынған НИПААм-ВОЭЦЭА сополимерлері мен натрий додецилсульфатының (NaДДС) арасындағы комплекстүзілу, сондай-ақ бұл процеске концентрация, рН және температура сияқты факторлардың әсері зерттелді. Сілтілі ортада сополимерлер мен беттік белсенді зат арасындағы комплекстүзілу процесі жүрмейтіні анықталды. Қышқыл ортада сополимерлердің ерітінділері NaДДС-пен белсенді комплекстер түзетіні анықталды. Комплекстер тек критикалық мәннен төмен рН жағдайында түзіледі, өйткені қышқыл ортада сополимер макромолекулалары оң зарядталған амин топтары арқылы иондалады. Сонымен қатар, НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің NaДДС-тің сулы ерітіндісін сіңіру және шығару заңдылықтары зерттелді. Беттік белсенді заттардың гидрогельдің торлы құрылымынан босап шығуы температураға тікелей тәуелді екені және температураның жоғарылауымен азаятындығы анықталды. Бұл катиондық гидрогельдің тор құрылымының температура өзгерісіне сезімтал екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: N-изопропилакриламид (НИПААм), N-(2-винилоксиэтил)-N-(2-цианоэтил) амин (ВОЭЦЭА), суға ісінетін және стимулға сезімтал сополимерлер, катионды сополимерлер, термочувствительный қасиеттер, комплекс түзу.

©А.К. Токтабаева, *Р.К. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова,
А.Ж. Аликулов, 2024.

КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: raikhan.rakhmetullayeva@gmail.com

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ГИДРОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ N-(2-ВИНИЛОКСИЭТИЛА)-N-(2- ЦИАНОЭТИЛА) АМИНА (ВОЭЦЭА) ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Токтабаева Асель Кыргызбаевна – кандидат химических наук, доцент, факультет химии и химической технологий, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: Asel.Toktabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-8696>;

Рахметуллаева Райхан Кулымбетовна – кандидат химических наук, доцент, факультет химии и химической технологий, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: gauharbur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1002-2046>;

Ирмухаметова Галия Серикбаевна – кандидат химических наук, доцент, факультет химии и химической технологий, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: Galiya.Yrmuhametova@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>;

Аликулов Адилет Женисбекулы – ст.преподаватель, факультет химии и химической технологий, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: alikulov.adilet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0380-0612>.

Аннотация. В работе исследованы полимерные гидрогели катионного типа на основе N-изопропилакриламида (НИПААм) и N-(2-винилоксиэтила)-N-(2-цианоэтила) амина (ВОЭЦЭА), полученные в результате трехмерной радикальной сополимеризации соответствующих мономеров. Исследовано комплексообразование между полученными сополимерами НИПААм-ВОЭЦЭА и додецилсульфатом натрия (ДДСNa), а также влияние таких факторов, как концентрация, рН и температура, на этот процесс. Установлено, что в щелочной среде процесс комплексообразования между сополимерами и поверхностно активным веществом не происходит. Обнаружено, что растворы сополимеров активно образуют комплексы с ДДСNa в кислой среде. Комплексы формируются только при значениях рН ниже критического, так как в кислой среде макромолекулы сополимера ионизируются за счёт положительно заряженных аминогрупп. Также изучены закономерности поглощения и высвобождения водного раствора ДДСNa гидрогелями НИПААм-ВОЭЦЭА. Установлено, что высвобождение поверхностно активных веществ из сетчатой структуры гидрогеля напрямую зависит от температуры и уменьшается с её повышением. Это указывает на термочувствительность решётки катионного гидрогеля при повышении температуры.

Ключевые слова: N-изопропилакриламид (НИПААм), N-(2-винилоксиэтил)-N-(2-цианоэтил) амин (ВОЭЦЭА), водонабухающие и стимулчувствительные сополимеры, катионные сополимеры, термочувствительные свойства, комплексообразование.

Кіріспе. Полионды полимерлер соңғы кездері зерттеушілердің қызығушылықтарын тудырып келеді. Олар электрохимиялық, конформациялық, ферментативті және басқа да биологиялық молекулалардың функцияларын моделдеу үшін қажет зат ретінде қызмет атқара алады. Поликатиондар тұрмыс шаруашылығының алуан түрлі салаларында, техникада және медицинада кең қолданысын тапқан. Осы полиэлектролиттер классының бірегей физика-химиялық қасиеттері полимерлі торлар бойындағы жоғары тығыздықты зарядтарымен байланысты. Полиондардың конформациялық жағдайларына әсер ететін негізгі факторлар: полимер, еріткіштің және ионға қарсы заттар табиғатына, еріткіштің иондық күшінің, рН және температура өзгерістері.

Қоршаған орта шарттарын өзгертуімен индуцирленетін, полимерлі гидрогельдердің коллапсы - иілгіштік қасиеттерін бақылануына мүмкіндік беруіне байланысты, қазіргі таңда көптеген зерттеушілердің қызығушылықтарын тудырып отыр. Осындай полимерлер техникада және алуан түрлі мақсаттарда қолданысқа ие болатын инновационды технология өндірісінде жаңа материалдар алу үшін пайдаланылады (Nakan, және т.б., 2021; Kanzhigitova, және т.б., 2023; Nakan, және т.б., 2020).

Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университетінде үшөлшемді радикалды полимерлеу әдісімен жаңа термосезімтал гидрогельдерді алу үшін бастапқы мономерлер ретінде құрамында (БМК) гидрофильді (>NH тобы) және гидрофобты (изопропил тобы) функционалды топтары бар N-изопропилакриламид (НИПААм) және N-(2-винилоксиэтил)-N-(2-цианоэтил) амин (ВОЭЦЭА) негізінде катионды полимерлі гидрогельдер алынған және оларға температураның, ортаның рН-ы мен иондық күшінің әсері зерттелінген (Karipullayeva, және т.б., 2017; Toktabayeva A.K. және т.б., 2019).

Материалдар мен әдістер

N-изопропилакриламид («Aldrich», АҚШ, 97%) өнімі құрамындағы тежегіштен арылу үшін 40°C-та, гександа қайта кристалдау арқылы тазаланды, алынған өнім бірнеше күн ауада, сосын вакуумде кептірілді. $T_{\text{балк.}} = 335-338 \text{ K}$, $T_{\text{кай.}} = 362 \text{ K}$.

N-(2-винилоксиэтил),п-(2-цианоэтил) амин А.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдарының институтында моноэтаноламиннің винил эфиірі мен акрилонитрилді бөлме температурасында 6 сағат бойы араластыру арқылы синтезделген. Мономер қосалқы өнім – N-(2-винилоксиэтил)-N, N-ди-(2-цианоэтил) аминнен вакуумды айдау арқылы бөлініп алынған. Өнімнің тазалығы 98% құрады. Аммоний персульфаты «ч» маркалы, («Aldrich», АҚШ, 98%) таза күйінде қолданылды.

N,N-метилен-бис-акриламид (МБАА) («Aldrich», АҚШ, 99%) қосымша тазаланусыз қолданылды.

Гидрогельдердің синтезі. НИПААМ-ВОЭЦЭА негізіндегі гидрогелдерді заттық иницирлеу жолымен радикалды полимерлену арқылы 30:70, 50:50, 70:30 моль.% мономер қатынастары алынды. Синтез сулы ерітіндіде молибден шынысынан жасалған ампулада, 60°C температурада жүргізілді. Инициатор ретінде аммоний персульфаты ($0,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л) және тігуші агент ретінде (0,5 мол.%) N,N-метилен-бис-акриламиді (БАА) алынды.

Гельдің көлемінің өзгеруін USB микроскобымен (Discovery Artisan 16, 20-230 есеелік, АҚШ) өлшеп, V/V_0 қатынасының өзгеруімен бағаланды, мұндағы V_0 – синтез кезіндегі және V – берілген жағдайда бірқалыпты деңгейде ісінген гидрогель көлемі.

Гидрогельдердің тепе-теңдік ісіну дәрежесін анықтау үшін полимердің өлшенген мөлшері еріткіште тепе-теңдік ісінуге жеткенге дейін ұсталынды. Гельдің ісіну дәрежесі мына формула бойынша анықталынды: $\alpha = m - m_0/m_0$ мұндағы: α – гельдің тепе-теңдік ісіну дәрежесі; m – тепе-теңдік ісінген гельдің массасы; m_0 – құрғақ гельдің массасы. Тепе-теңдік ісіну дәрежесі бірнеше параллельді өлшенулер арқылы жүргізіліп, орташа мәні алынды.

Нәтижелер мен талдау

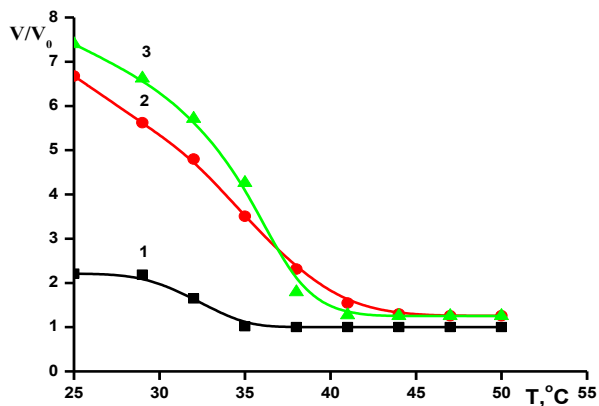
N-изопропилакриламид (НИПААм) пен N-(2-винилоксиэтил)-N-(2-цианоэтил) амин (ВОЭЦЭА) негізінде катион типті полимерлі гидрогелдер сәйкес мономерлердің үш өлшемдік радикалдық сополимерленуі нәтижесінде алынды.

Үшөлшемді сополимерлеудің басты заңдылықтары, золь-гель талдау гравиметрия әдістерімен зерттелген (Mun, және т.б., 2006). Бастапқы мономерлік қоспадағы (БМК) НИПААм-ның пайыздық мөлшерін арттырғанда гель шығымының артатыны анықталды және оны тігілу дәрежесінің төмендеуімен түсіндіруге болады.

Әдеби шолудан (Karipullayeva, және т.б., 2017; Toktabayeva, және т.б., 2019) НИПААм-ВОЭЦЭА сулы ерітінділері мен торлы құрылымдарына төменгі критикалық еру температурасы (ТКЕТ) тән екені және оны әртүрлі факторлар арқылы өзгертуге деген қызығушылықтың артуы байқалады. Зерттеу нәтижелері бойынша, алынған катион типті гидрогельдің температуралық әсерін зерттегенде (1-сурет), сополимердің бастапқы молекулалық құрамындағы НИПААм-ның %-дық мөлшері артқан сайын гидрогельдің фазалық ауысуы тар температуралық диапазонда өтетіні анықталды. Бұл құбылыс бұрында айтылғандай (Mun, және т.б., 2006; Rakhmetullaeva, және т.б., 2004), НИПААм макромолекуласының гидрофобты әрекеттесулеріне байланысты түсіндіріледі. Макромолекула буындарының саны артқан сайын сутектік байланыстар үзіліп, гидрофобтық әсер күшейеді. Соның нәтижесінде, полимерде конформациялық ауысулар байқалады. Сонымен қатар, сополимердің құрамындағы ВОЭЦЭА-ның %-дық мөлшері артқан жағдайда, жиырылу амплитудасы азайып, гидрогельдің фазалық ауысуы өзгереді. Бұл құбылыс ВОЭЦЭА-ның протондалуына байланысты аттас зарядтардың тебілуі және осыған қарама-қарсы осмостық қысымның пайда болуымен түсіндіріледі.

Алынған сополимеріміз катион типті болғандықтан, олардың әртүрлі рН ортада өз көлемін өзгертуін зерттеу қызығушылық танытты.

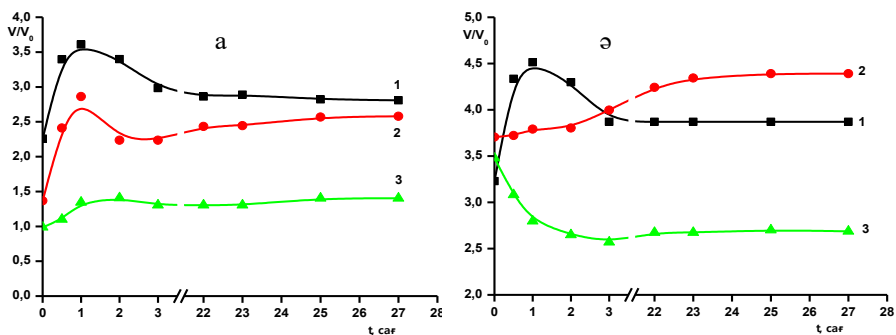
Осыған орай жұмыста юбастапқы мономерлік қоспадағы НИПААм буындары 30 моль.% болғандағы гидрогельдің әртүрлі рН ортадағы ісіну кинетикасы зерттелді. 2 (а) - суретте көрсетілгендей, ортаның рН-ы негізден қышқылдыққа ауысқанда, бастапқы 5-6 сағат аралығында гидрогельдің салыстырмалы көлемі максимум арқылы өтіп, уақыт өте жиырылғаны анықталды. Ол қышқылдық ортада ВОЭЦЭА құрамындағы азот тобы протондалу салдарынан, гидрогельде қосымша ісіну пайда болуымен түсіндіріледі.



БМҚ [НИПААМ]:[ВОЭЦЭА] = 30:70 (1); 50:50 (2); 70:30 (3) мол.%.

Сурет 1. НИПААМ-ВОЭЦЭА негізіндегі торларға температураның әсері

Бастапқы мономерлік қоспадағы НИПААМ-ның пайыздық мөлшері артқан кезде (2 (ә)-сурет), ортаның әртүрлі рН мәндерінде гидрогельдің салыстырмалы көлемінің өзгеруі өзгеше болатыны анықталды. Мысалы, рН=4,0 болғанда, гидрогель бастапқыда (алғашқы 3 сағат ішінде) ісініп, кейін қайта жиырылғаны байқалды. Бұл азот топтарының протондалуы және электрстатикалық тебісудің пайда болуына байланысты гидрогельдің көлемі уақыт өте ұлғаюына әкеледі. Ал рН=7,0 кезінде сополимер құрамында ионды емес сомономер буындарының болуына байланысты тор салыстырмалы түрде көлемін аз ғана өзгертеді. Ал рН=9,0 кезінде еріткіштің термодинамикалық сапасының нашарлауы салдарынан полимерлі гидрогель жиырылады.



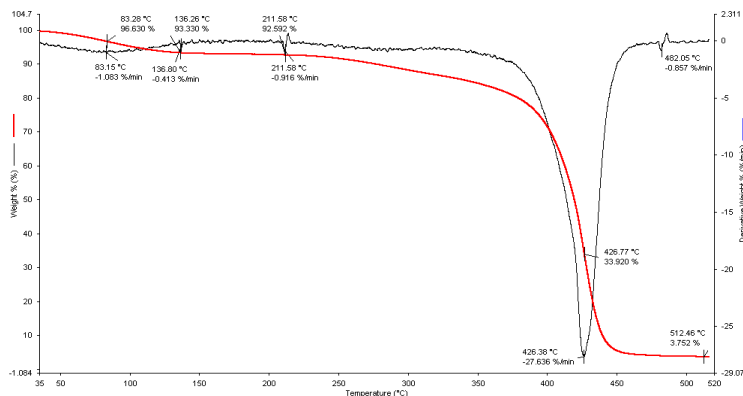
БМҚ [НИПААМ]:[ВОЭЦЭА]=30:70 (а); 50:50 (ә) мол.%; рН=4,0 (1); 7,0 (2); 9,0 (3).

Сурет 2. НИПААМ-ВОЭЦЭА негізіндегі торлардың әр түрлі рН ортада ісіну кинетикасын зерттеу

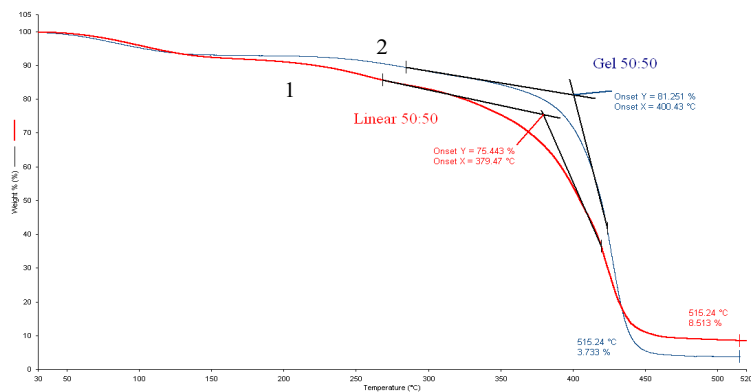
НИПААМ- ВОЭЦЭА сополимерлерінің физика-механикалық қасиеттерін анықтау мақсатында термогравиметриялық талдау жасалды. Термогравиметрия – температура бойынша ($v_{\text{жылыту}} = \text{const}$) немесе уақыт (τ) бойынша ($T^\circ = \text{const}$) үлгінің

салмағын үздіксіз өлшеудің динамикалық әдісі (изотермиялық немесе статикалық термогравиметрия). Термогравиметриялық талдау тұрақты атмосфералық қысымда 50-850 °С температура аралығында 10⁰С/мин жылдамдықпен азот газын қолдана отырып орындалды.

Жұмыста бастапқы мономерлік қоспасындағы мономерлердің мольдік пайызы үш түрлі қатынаста алынған сополимерлерге термогравиметриялық талдау жасалды (3, 4-суреттер). Суреттерде көрсетілгендей сызықты сополимерге қарағанда торлы құрылымның термомыдырау қисығы температураның жоғары аймағына ауысатыны анықталды және бұл гидрогель құлымындағы көлденең жатқан химиялық байланыстарының үзілуімен түсіндіріледі.



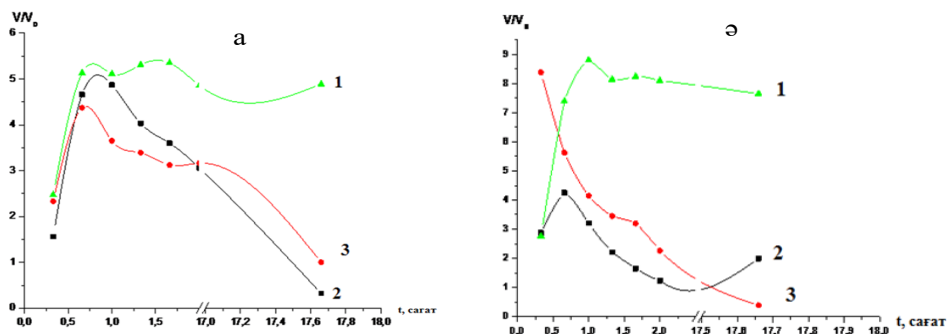
Сурет 3. НИПААм-ВОЭЦЭА (50:50 мол. %) негізіндегі торлы сополимерлердің термогравиметриялық талдауы



Сурет 4. НИПААм-ВОЭЦЭА (50:50 мол. %) негізіндегі сызықты (1) және торлы (2) сополимерлердің термогравиметриялық талдауы

НИПААм-ВОЭЦЭА және беттік белсенді заттар (ББЗ) негізіндегі комплекстерді құруға беттік белсенді заттардың концентарциясының әсерін зерттеген кезде, гидрогелдердің натрий додецилсульфатының (NaДДС) концентрациясы артқан

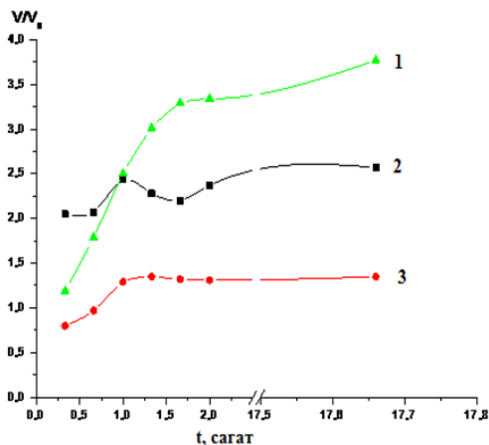
сайын ($[NaДДС] = 5 \cdot 10^{-5}, 8 \cdot 10^{-4}, 2 \cdot 10^{-3} \text{ М}$) жоғарғы концентрациялы ББЗ-мен гидрогельдердің комплекстүзу қабілеті бірден артып, гидрогель жиырылып, контракцияға ұшырайды. Оның себебі, ББЗ мөлшері артқанда, гидрогелдің протондалған топтарымен электростатикалық әрекеттесіп, гидрофобты байланыстары үдеп комплекс түзіледі (5- сурет).



БМК [НИПААМ]:[ВОЭЦА] = 50:50 (а) 30:70 (ә) мол.%;
 $[NaДДС] = 5 \cdot 10^{-5}$ (1), $8 \cdot 10^{-4}$ (2), $2 \cdot 10^{-3}$ (3) М; pH = 2,0; [ТА] = 0,5% .

Сурет 5. НИПААМ:ВОЭЦА гидрогелінің ББЗ ерітіндісінде көлемдік өзгеру кинетикасы

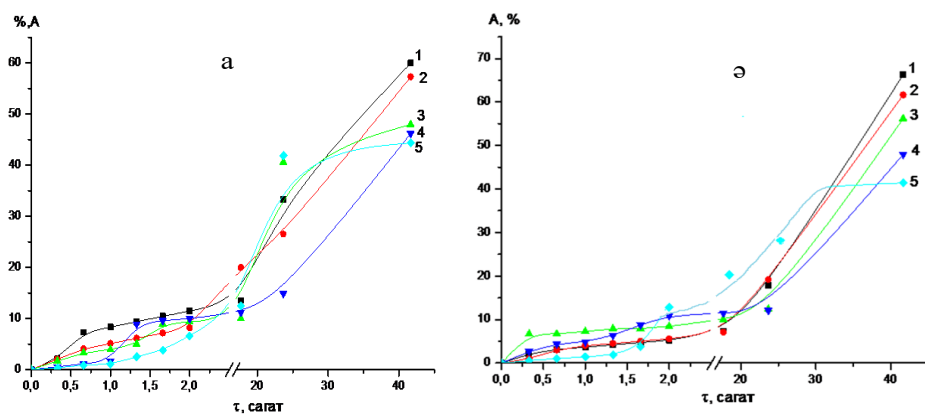
Гидрогельдердің NaДДС ерітіндісінде ісіну кинетикасын зерттеу барысында ортаның pH-ын өсіргенде (pH=1), НИПААМ-ВОЭЦА 50:50 мол.% гидрогельдерінің көлемдері pH=2-мен салыстырғанда жиырылмай, монотонды өсетіндігін байқалды (6-сурет, 2, 3-кисықтар). Бұл НИПААМ-ВОЭЦА гидрогельдерінің зарядтары оң болғандықтан, қышқылдық ортада аттас зарядтардың әсерінен жақсы ісініп, ББЗ-бен комплекс жақсы түзетінін дәлелдейді.



БМК [НИПААМ]:[ВОЭЦА] = 50:50 мол.%; $[NaДДС] = 5 \cdot 10^{-5}$ (1), $8 \cdot 10^{-4}$ (2), $2 \cdot 10^{-3}$ (3) М;
 pH = 1,0; [ТА] = 0,5%

Сурет 6. [НИПААМ]:[ВОЭЦА] гидрогелдің ББЗ ерітіндісінде көлемдік өзгеру кинетикасы

Жұмыста НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің NaДДС-пен әрекеттесуінің адсорбция мәні уақыт бойынша зерттелді. Алынған мәліметтерге (7-сурет) сәйкес, гидрогель торларының NaДДС-пен адсорбциясы уақыт өткен сайын артады, бірақ температура 25°C-тен 40°C-ке дейін өскен сайын төмендейді. Бұл құбылыс НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің температураның артуына байланысты жиырылуына және контракцияға ұшырауына байланысты деп түсіндіріледі. Сополимерлердің бастапқы мономерлік құрамындағы ВОЭЦЭА мөлшері артқан сайын (50 моль % дейін) гидрогельдердің адсорбция қабілеті де артады. Мысалы, [НИПААм]:[ВОЭЦЭА] = 70:30 моль % гидрогелінің адсорбциясы 2 тәулікте 60%-ды құраса (7(а)-сурет), [НИПААм]:[ВОЭЦЭА] = 50:50 моль % гидрогельдерінің адсорбциясы сол уақытта 70%-ға жетеді (7(ә)-сурет). Бұл құбылыс торлы құрылымдағы протондалатын ВОЭЦЭА мөлшерімен және БАЗ-дың (беттік активті заттың) гидрогельмен электростатикалық байланыстарымен түсіндіріледі.



БМҚ [НИПААм]:[ВОЭЦЭА] = 70:30 (а); 50:50 (ә) мол.%;
[NaДДС] = $8 \cdot 10^{-4}$ М; T = 25(1), 30(2), 35(3), 37(4), 40(5)°C; [ТА] = 0,5%

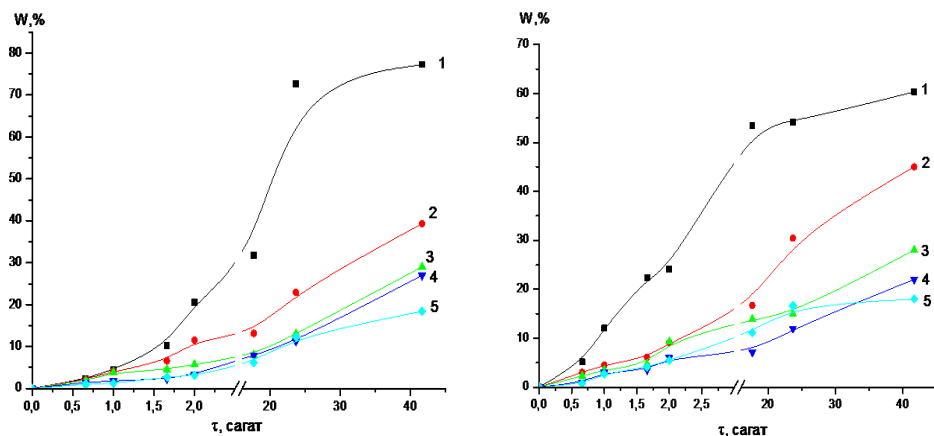
Сурет 7. [НИПААм] : [ВОЭЦЭА] гидрогелінің БАЗ ерітіндісі қатысындағы адсорбция кинетикасы

Адсорбцияланған БАЗ-дың торлы гидрогельдерден шығуын зерттеу мақсатында әртүрлі температураларда NaДДС-тың суға десорбциялану кинетикасы бақыланды. Бақылау нәтижелері бойынша (8-сурет), уақыт өте келе ерітіндідегі NaДДС концентрациясы монотонды түрде артып, 2 тәулікте 70-80%-ға жетеді.

Әртүрлі температураларда десорбциялану кинетикасын зерттеу барысында температураны 25°C-тен 40°C-ке дейін арттырғанда, NaДДС-тың НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогелінен шығуы 80%-дан 25%-ға дейін төмендейтіні анықталды.

БАЗ-дың торлардан шығуының температура артқан кезде азаюы НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің температураны көтергенде көлемінің жиырылуымен және термосезімталдығымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, бастапқы мономерлік қоспада протондалатын ВОЭЦЭА мөлшері 30 моль%-дан (8(а)-сурет) 50

моль%-ға дейін (8(b)-сурет) артқан сайын NaДДС-тың НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінен десорбциясы 80%-дан 70%-ға дейін төмендейді. Бұл құбылыс НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің NaДДС-пен электростатикалық әрекеттесу арқылы байланысатынын дәлелдейді.



БМҚ [НИПААм]:[ВОЭЦЭА] = 70:30 (а); 50:50 (b) мол.%;
[NaДДС] = $8 \cdot 10^{-4}$ М; Т = 25 (1), 30 (2), 35 (3), 37 (4), 40 (5)°С; [ТА] = 0,5%

Сурет 8. NaДДС ерітіндісінің [НИПААм]:[ВОЭЦЭА] гидрогелінен десорбциялану кинетикасы

Қорытынды

Сонымен, жұмыста НИПААм-ВОЭЦЭА сополимер гельдерінің Na-додецилсульфатпен (NaДДС) әртүрлі рН орталарда комплекстүзуі және түзілген комплекстерге температураның әсері зерттелді. Зерттеу барысында сополимерлер ерітінділерінің қышқыл ортада NaДДС-пен белсенді түрде комплекстүзетіні анықталды.

Сонымен қатар, НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің NaДДС-пен адсорбциялық және десорбциялық заңдылықтары зерттелді. Адсорбцияланған БАЗ-дың торлы гидрогельдерден шығуын зерттеу мақсатында әртүрлі температураларда NaДДС-тың суға десорбциялану кинетикасы бақыланды. Бақылау нәтижесінде БАЗ-дың торлардан шығуы температура артқан сайын азаятындығы анықталды. Бұл құбылыс НИПААм-ВОЭЦЭА гидрогельдерінің температура көтерілгенде көлемінің жиырылуымен және олардың термосезімталдығымен түсіндіріледі.

Әдебиеттер

Накан Ү., Биркехажи Ш., Толқын Б., Мун Г. А., Асанов М., Нурсултанов М. Е., Рахметуллаева Р. К., Тоштай К., Негим Эль-Сайед, Ыдырыс Ә. (2021) N,N-диметилакриламид және акрил қышқылы негізіндегі сополимерлерді синтездеу, сипаттау және бактерияға қарсы қолдану // Материалдар. 2021, 14(20), 6191; <https://doi.org/10.3390/ma14206191>

Қанжігітова Д., Асқар П., Тапхаров А., Кудряшов В., Әбутәліп М., Рахметуллаева Р., Әділов С., Нурадже Н. Жоғары сезімталдықты сутегі сенсоры үшін p-толуолсульфон қышқылы қосылған ванадий пентоксиді/полипиррол үлдірі // Заманауи композ. гибриді материалдар 6, 218, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42114-023-00796-0>

Ұлантай Нақан, Григорий А. Мун, Гүлжахан Ж. Елігбаева, Шаяхати Б. (2020) N-изопропилакриламид және 2-гидроксизтилакрилат негізіндегі гидрогельдер: синтездеу, сипаттау және олардың бактерияға қарсы белсенділігін зерттеу // Халықаралық полимер 2020, 69, -Б.1220-1226. <http://dx.doi.org/10.1002/pi.6065>

Карипуллаева А.С., Токтабаева А.К., Нұрланова А.Е., Аликулов А.Ж. (2017) N-(2-винилоксиэтил)-N-(2-цианоэтил) амин негізіндегі композициялық материалдарды жасау // Халықаралық биология және химия журналы. 10, №2(45), 2017. –Б.45-48. <https://doi.org/10.26577/2218-7979-2017-10-2-45-48>

Токтабаева А.К., Аликулов А.Ж., Рахметуллаева Р.К., Мун Г.А., Тұмбабаева А.М., Үркімбаева П.И., Ю, В.К., Сейілханов, Т.М. (2019) N-изопропилакриламид және n-(2-винилоксиэтил)-n-(2-цианоэтил) амин негізіндегі жаңа катионды (со)полимерлердің физика-химиялық сипаттамаларын синтездеу және зерттеу // Химиялық технология және металлургия журналы, 3(54), 2019, -Р. 467-474 <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55903710100>

Мун Г.А., Нұркеева З.С., Ахметқалиева Г.Т., Шмаков С.Н., Хуторянский В.В., Ли С.С., Пак К. (2006) 2-гидроксизтил акрилаты мен винил бутил эфиріне және олардың поли(карбон қышқылдарымен) әрекеттесуіне негізделген жаңа температураға сезімтал суда еритін сополимерлер // Ж. Полим. Ғылымы. В бөлігі. Физ. полимер. – 2006. – Т.44. –Б.195-204.

Рахметуллаева, Р.К., Нұркеева, З.С., Серғазиев, А.Д., Дуболазов, А.В. (2004) Жаңа N-изопропилакриламид және винилэфирінің этиленгликоли негізіндегі сополимерлері // Еуразиялық химия. техника. журнал. – 2004. - Т.6. –Б.279-284.

References

Nakan U., Bieerkehazhi Sh, Tolkyun B., Mun G.A., Assanov M., Nursultanov M.E., Rakhmetullayeva R.K., Toshtay K., Negim ES., Ydyrys A (2021) Synthesis, Characterization and Antibacterial Application of Copolymers Based on N,N-Dimethyl Acrylamide and Acrylic Acid // Materials. 2021, 14(20), 6191; <https://doi.org/10.3390/ma14206191>

Kanzhigitova D., Askar P., Tapkharov A., Kudryashov V., Abutalip M., Rakhmetullayeva R., Adilov S., Nuraje N. (2023) p-Toluenesulfonic acid doped vanadium pentoxide/polypyrrole film for highly sensitive hydrogen sensor // Adv Compos Hybrid Mater 6, 218, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42114-023-00796-0>

Ulantay Nakan, Grigoriy A Mun, Gulzhakhan Zh Yeligbayeva, Shayahati B. (2020) Hydrogels based on N-isopropylacrylamide and 2-hydroxyethylacrylate: synthesis, characterization, and investigation of their antibacterial activity // Polymer International 2020, 69, –P.1220–1226. (<http://dx.doi.org/10.1002/pi.6065>)

Karipullayeva A.S., Toktabayeva A.K., Nurlanova A.E., Alikulov A.Zh. (2017) (Development of the composite materials based on N-(2-vinylxyethyl)-N-(2-cyanoethyl) amine. // International Journal of Biology and Chemistry. 10, № 2, 45, 2017. P.45-48. <https://doi.org/10.26577/2218-7979-2017-10-2-45-48>

Toktabayeva A.K., Alikulov A.Z., Rakhmetullayeva R., Mun G.A., Tumabayeva A.M., Urkimbayeva P.I., Yu, V.K., Seilkhanov, T.M. (2019) Synthesis and study of physico-chemical characteristics of novel cationic (co)polymers based on n-isopropylacrylamide and n-(2-vinylxyethyl)-n-(2-cyanoethyl) amine // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 3 (54), 2019, –P.467-474 <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55903710100>

Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Akhmetkalieva G.T., Shmakov S.N., Khutoryanskiy V.V., Lee S.C., Park K. (2006) Novel temperature-responsive water-soluble copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate and vinyl butyl ether and their interactions with poly(carboxylic acids) // J. Polym. Sci. Part B. Polym. Phys. – 2006. – Vol.44. –P.195–204.

Rakhmetullaeva, R.K., Nurkeeva, Z.S., Sergaziyev, A.D., Dubolazov, A.V. (2004) Novel copolymers of N-isopropylacrylamide and vinyl ether of ethyleneglycol // Eurasian Chem. Tech. Journal. – 2004. - Vol.6. –P.279-284.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 4. Number 461 (2024), 186–194

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.259>

UDC 547.447

**M.Y. Khakimov, D.T. Abduletip*, P.I. Urkimbayeva, G.S. Irmukhametova,
Z.A. Kenessova, 2024.**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: abduletipovad@gmail.com

**OBTAINING HYDROGEL DRESSINGS BASED ON COPOLYMERS
OF POLYVINYL ALCOHOL, 2-HYDROXYETHYL ACRYLATE, AND
N-VINYLCAPROLACTAM WITH A BACTERIOCIDAL EFFECT**

M.Khakimov – Master’s student, 1st year, e-mail: mkmov01@gmail.com, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0009-0002-6177-4715>;

D.Abduletip – Master of Engineering and Technical Sciences, Almaty, Kazakhstan, e-mail: abduletipovad@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-4604-3418>;

P.Urkimbayeva – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Almaty, Kazakhstan, e-mail: urkimbayeva.perizat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7775-0238>;

G.Irmukhametova – Associate professor, Candidate of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan, e-mail: galiya.yrmuhametova@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>;

Z.Kenessova – PhD, Senior Lecturer, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zarina.kenesova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2768-824X>.

Abstract. Currently, polymer-based wound dressings are effective dosage forms, which accelerate wound healing, can prevent penetration of microorganisms, possess sufficient air permeability, elasticity, absence of allergic effects. The aim of work is to synthesize hydrogel dressings, based on the crosslinked copolymers of N-vinylcaprolactam, 2-hydroxyethylacrylate and polyvinyl alcohol, with of CuO (II) nanoparticles; to study their main characteristics. Hydrogel dressings were obtained by crosslinking using radiation. Main physico-mechanical and bacteriostatic properties were studied using IR spectroscopic and gravimetric analysis methods, as well as mechanical property testing and the diffusion method to determine bacteriostatic activity. Hydrogel dressings based on PVA-HEA:NVCL of various compositions were obtained. It was found that with a decrease in the concentration of CuO (II) nanoparticles in the composition of dressings, the gel yield increases. At the concentration of nanoparticles of 0.075%, the maximum degree of swelling in water (4.19 g/g) and saline (4.14 g/g) is observed. It has been established that with an increase in the concentration of nanoparticles, the strain limit decreases, the mechanical properties are due to an increase in the hydrogel crosslink density. Samples of dressings with a concentration of nanoparticles of 0.1% have a slight bacteriostatic effect against the test strain of *Escherichia coli* and *Staphylococcus*

aureus in comparison with the control sample; the inhibition zone averaged 12 ± 1 mm. It has been established that hydrogel dressings with a ratio of PVA-HEA:NVCL = 60-20:20 and 60-30:10 mol.% with a concentration of nanoparticles of 0.1% have no significant bacteriostatic effect.

Keywords: hydrogel dressings, 2-hydroxyethyl acrylate, N-vinylcaprolactam, polyvinyl alcohol, radiation exposure, copper oxide nanoparticles, bacteriostatic effect.

**М.Я. Хакимов, Д.Т. Абдулетип*, П.И. Уркимбаева, Г.С. Ирмухаметова,
З.А. Кенесова, 2024.**

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: abduletipovad@gmail.com

ПОЛИВИНИЛ СПИРТІ, 2-ГИДРОКСИЭТИЛ-АКРИЛАТ ЖӘНЕ N-ВИНИЛКАПРОЛАКТАМ НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРЛЕРДЕН БАКТЕРИЦИДТІК ҚАСИЕТІ БАР ГИДРОГЕЛЬДІ ТАҢҒЫШТАРДЫ АЛУ

М.Я. Хакимов – магистрант, 1 курс, Алматы, Қазақстан, e-mail: mkmov01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6177-4715>;

Д.Т. Абдулетип – Техника ғылымдарының магистрі, Алматы, Қазақстан, e-mail: abduletipovad@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-4604-3418>;

П.И. Уркимбаева – х.ғ.к, доценті, Алматы, Қазақстан, e-mail: urkimbayeva.perizat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7775-0238>;

Г.С. Ирмухаметова – қауымдастырылған профессор, х.ғ.к, Алматы, Қазақстан, e-mail: galiya.yrnuhametova@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>;

З.А. Кенесова – PhD, аға оқытушы, Алматы, Қазақстан, e-mail: zarina.kenesova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2768-824X>.

Аннотация. Қазіргі уақытта полимер негізіндегі таңғыштары жараның жазылуын тездететін, микроорганизмдердің енуіне жол бермеуге қабілетті, жеткілікті ауа өткізгіштігімен, серпімділігімен және аллергиялық әсерлері жоқ тиімді дәрілік формалар болып табылады. Осы күнге дейін барлық талаптарға сай полимерлі таңғыш алынбаған. Бұл жұмыстың мақсаты мыс (II) оксидінің нанобөлшектерін қосу арқылы поливинил спиртімен N-винилкапролактама мен 2-гидроксиэтилакрилаттың сополимерлері негізінде гидрогельді таңғыш материалдарды синтездеу және олардың қасиеттерін зерттеу. Гидрогельді таңғыштар радиациялық сәулеленуді қолдана отырып, тәгу әдісі арқылы алынды. Олардың негізгі физика-механикалық және бактериостатикалық қасиеттері зерттелді. Әр түрлі құрамдағы ПВС-ГЭА:NBKЛ негізіндегі гидрогельді таңғыштар алынды. Таңғыштардың құрамындағы мыс (II) оксидінің нанобөлшектерінің концентрациясының төмендеуімен гель шығым артатыны анықталды. Нанобөлшектердің 0.075% концентрациясында суда (4.19 г/г) және физиологиялық ерітіндіде (4.14 г/г) ісінудің максималды дәрежесі байқалады. Мыс (II) оксидінің нанобөлшектерінің концентрациясының жоғарылауымен деформация шегі, сондай-ақ гидрогельдің тігілу тығыздығының жоғарылауына байланысты механикалық қасиеттері төмендейтіні анықталды. Нанобөлшектер

концентрациясы 0.1% болатын таңғыш үлгілері мыс (II) оксиді нанобөлшектері жоқ бақылау үлгісімен салыстырғанда *Escherichia coli* және *Staphylococcus aureus* сынақ штаммына қатысты шамалы бактериостатикалық әсерге ие, басу аймағы орта есеппен 12 ± 1 мм құрады. ПВС-ГЭА:NBKЛ = 60-20:20 және 60-30:10 қатынасында мыс (II) оксиді нанобөлшектерінің концентрациясы 0.1% болатын гидрогельді таңғыштардың шамалы бактериостатикалық әсері бар екені анықталды.

Түйін сөздер: гидрогельді таңғыш материалдар, 2-гидроксиэтил акрилат, N-винилкапролактама, поливинил спирті, радиациялық сәулелендіру, мыс оксидінің нанобөлшектері, бактериостатикалық әсері.

**М.Я. Хакимов, Д.Т. Абдулетип*, П.И. Уркимбаева, Г.С. Ирмухаметова,
З.А. Кенесова, 2024.**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.
E-mail: abduletipovad@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕВЫХ ПОВЯЗОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, 2-ГИДРОКСИЭТИЛАКРИЛАТА И N-ВИНИЛКАПРОЛАКТАМА С БАКТЕРИЦИДНЫМ ДЕЙСТВИЕМ

М.Я. Хакимов – магистрант, 1-й курс, Алматы, Казахстан, e-mail: mkmov01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6177-4715>;

Д.Т. Абдулетип – магистр техники и технических наук, Алматы, Казахстан, e-mail: abduletipovad@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-4604-3418>;

П.И. Уркимбаева – кандидат химических наук, доцент, Алматы, Казахстан, e-mail: urkimbayeva.perizat@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7775-0238;

Г.С. Ирмухаметова – ассоциированный профессор, к.х.н., Алматы, Казахстан, e-mail: galiya.yrmuhametova@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>;

З.А. Кенесова – PhD, ст. преподаватель, Алматы, Казахстан, e-mail: zarina.kenesova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2768-824X>.

Аннотация. В настоящее время раневые повязки на полимерной основе являются эффективными лекарственными формами ускоряющие заживление ран, способные предотвращать проникновение микроорганизмов, обладающие достаточной проницаемостью для воздуха, эластичностью и отсутствием аллергических действий. К настоящему времени так и не получили раневую повязку, отвечающую всем предъявляемым требованиям. *Целью данной работы* является синтез гидрогелевых повязок на основе сшитых сополимеров N-винилкапролактама - 2-гидроксиэтилакрилата с поливиниловым спиртом с добавлением наночастиц оксида меди (II) и изучение их основных характеристик. Гидрогелевые повязки получали методом сшивки с использованием радиационного излучения. Исследованы их основные физико-механические и бактериостатические свойства с помощью ИК-спектроскопического, гравиметрического методов анализа, а также испытаний механических свойств и диффузного метода для

определения бактериостатического действия. Получены гидрогелевые повязки на основе ПВС-ГЭА: NBКЛ различного состава. Обнаружено, что с уменьшением концентрации наночастиц CuO (II) в составе повязок, гель выход увеличивается. При концентрации наночастиц 0.075 % наблюдается максимальная степень набухания в воде (4.19 г/г) и физиологическом растворе (4.14 г/г). Установлено, что с увеличением концентрации наночастиц CuO (II), уменьшается предел деформации, а также механические свойства, что обусловлено повышением плотности сшивки гидрогеля. Образцы повязок с концентрацией наночастиц 0.1%, обладают незначительным бактериостатическим действием в отношении тест-штамма *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* в сравнении с контрольным образцом без наночастиц оксида меди (II), зона подавления составила в среднем 12 ± 1 мм. Установлено, что гидрогелевые повязки при соотношении ПВС-ГЭА: NBКЛ = 60-20:20 и 60-30:10 моль% с концентрацией наночастиц CuO (II) 0.1%, обладают незначительным бактериостатическим действием.

Ключевые слова: гидрогелевые повязки, 2-гидроксиэтилакрилат, N-винилкапролактан, поливиниловый спирт, радиационное облучение, наночастицы оксида меди (II), бактериостатическое действие.

Введение

В настоящее время раневые повязки на полимерной основе являются эффективными лекарственными формами ускоряющие заживление ран, способные предотвращать проникновение микроорганизмов, обладающие достаточной проницаемостью для воздуха, эластичностью и отсутствием аллергических действий (Легонькова, др., 2015). Эксплуатационные свойства синтетических полимерных повязок определяются полимерной основой, а терапевтические – правильно подобранным лекарственным веществом (Макаренко, др., 2016). К настоящему времени не получили раневую повязку, отвечающую всем предъявляемым требованиям. В связи с чем, исследования в области создания и изучения свойств раневых повязок являются весьма актуальными. В работе (Kamoun, et al, 2017) повязки на основе поливинилового спирта – поливинилпирролидона (ПВП), сшитые радиационным излучением, улучшают защитную функцию покрова кожи и защищают от различных микробов. Поливиниловый спирт имеет хорошую биосовместимость и механические свойства, что позволят широко применять его в биомедицинских целях в качестве матрицы для гидрогелевых повязок.

Интересным с точки зрения применения в качестве полимерной основы является использование сополимеров на основе N-винилкапролактама (NBКЛ), широко использующихся в различных сферах (Cortez-Lemus, et al, 2016). Соплимеры на основе NBКЛ благодаря их доступности и ценным физико-химическим и биологическим свойствам являются значимыми (Sofia, et al, 2015). Добавление к NBКЛ небольшого количества (20-25 моль %) более гидрофильного сомономера увеличивает термочувствительность полимера (Рорков, et al, 2007). В качестве сополимера можно использовать 2-гидроксиэтилакрилат (ГЭА) - гидрофильный

мономер, широко используемый в медицине (Aguilar, et al, 2014). Однако, ГЭА не является термочувствительным полимером, что создает ограничения в его применении. Данный недостаток преодолевается путем полимеризации ГЭА с гидрофобными мономерами такими как NBKЛ или бутилакрилат (Khutoryanskaya, et al, 2008). Так в работе (Sawpan, et al, 2002) получены гидрогели из сополимеров ГЭА и гидроксипропилакрилата в водном растворе методом радиационной сшивки, где полученные повязки показали улучшенные физические и механические свойства.

С увеличением инфекции вокруг, растет потребность создания новых и эффективных антибактериальных средств, к примеру использование наночастиц (НЧ) золота, меди, цинка, серебра и оксидов металлов (оксида меди, оксида цинка) открывает широкие возможности (Zhou, et al, 2011). В исследовании (Liu, et al, 2012) показано применение НЧ цинка (ZnO) в пищевой промышленности, определено эффективное ингибирование размножения бактерии при использовании данных НЧ. В работе (Jadhav, et al, 2011) показана зависимость антибактериальных свойств Cu от диаметра НЧ синтезированных разными способами, выяснилось, что размеры в 5-10 нм достаточны для антибактериальных свойств проявляемых наночастицами. НЧ серебра проявляют ограниченное действие к некоторым грамположительным и грамотрицательным бактериям, в отличие от НЧ CuO (II) (Wu, et al, 2014).

Целью данной работы является синтез гидрогелевых повязок на основе сшитых сополимеров N-винилкапролактама - 2-гидроксиэтилакрилата с поливиниловым спиртом с добавлением наночастиц оксида меди (II) и изучение их основных характеристик. Добавление наночастиц CuO (II) обусловлено проявлением антибактериальной активности у последних (Miao, et al, 2016).

Материалы и методы

Исходные материалы: НЧ оксида двухвалентной меди (CuO) (Sigma-Aldrich); NBKЛс содержанием основного продукта 98 % (NBKЛ; Sigma-Aldrich); 2-ГЭА с содержанием основного продукта 96 % (ГЭА; SigmaAldrich); ПВС (Sigma-Aldrich) с ММ=145000 (Merck) степень гидролиза 98 %, остаточное содержание ацетатных групп 3.0-13.0; ДАК (98%, Sigma-Aldrich) использовали без дополнительной очистки.

Синтез гидрогелевых повязок. Гидрогелевые повязки получали методом сшивки с использованием радиационного излучения. Линейные сополимеры ГЭА-NBKЛ были синтезированы методом свободно-радикальной полимеризации в спиртовом растворе (смесь изопропилового и этилового спирта (1:1)). В качестве вещественного инициатора использовали - динитрил азобисизомаэляной кислоты (ДАК). Далее проводилась реакция синтезированных сополимеров с ПВС. Для этого была приготовлена реакционная смесь, состоящая из водных растворов ПВС, сополимера и агар-агара. Смесь размешивали, постепенно добавляя все исходные составные части, до однородной массы. Далее полученную смесь разливали в полиэтиленовые емкости. Добавляли в емкости наночастицы оксида меди (II).

После помещали в ультразвуковую ванну («Bandelin DT 255 Н», Германия) для равномерного распределения наночастиц по смеси. Полиэтиленовые емкости герметично закрывались, затем отправлялись на радиационную установку «ЭЛВ-4» для облучения.

Физико-химические и механические методы анализа полимеров. ИК - спектры регистрировались на ИК спектрометре «PerkinElmer Spectrum 65 FT-IR» в области 400-4000 см^{-1} в водном растворе.

Гель-выход полимера определялся путем отмывки образца полимера в воде в течение нескольких дней. Выход гель-фракции рассчитывается после того, как высушили образец до постоянного веса в вакуумно-сушильном шкафу (шкаф вакуумно-сушильный «BINDER VD 53», Германия).

Кинетику набухания гидрогелей изучали методом гравиметрии. Предварительно взвешенные сухие гидрогели (круглые образцы круглой формы $d=1$ см массой $\sim 0.02-0.08$ г) помещали в дистиллированную воду и изотонический 0.9 масс. % -ный раствор NaCl.

Метод испытания на растяжение. Для испытания на разрыв подготавливались образцы длиной не более 120 мм, шириной 10 мм, толщиной 5 мм. Испытание проводилось на универсальной испытательной машине «Tinius Olsen 10ST».

Определение антимикробной активности. Определение антимикробной активности осуществляли диско-диффузионным методом, согласно методике (Weinstein, et al, 2010).

Результаты и обсуждение

В данной работе синтезированы гидрогелевые повязки на основе сшитых сополимеров 2-гидроксиэтилакрилата-N-винилкапролактама на поливиниловый спирт.

В работе синтезирован ряд гидрогелевых полимерных материалов на основе ПВС-ГЭА:NBKЛ с наночастицами оксида меди (II) различного состава. Варьировалось соотношение сополимеров ГЭА и NBKЛ, а также концентрация наночастиц в составе повязки. Состав синтезированных повязок представлен в таблице 1. Для получения повязок различного состава ПВС-ГЭА:NBKЛ, для которых определены степень набухания, выход гель-фракции гидрогеля, предел прочности при растяжении, модуль Юнга и бактериостатическое действие.

В ИК-спектрах синтезированных повязок наблюдались полосы поглощения в области 2900, 1200 и 800 см^{-1} , характерные для колебаний алифатических групп -CH, -CH₂ и C-O групп ПВС, соответственно. Пик в области 3300 см^{-1} принадлежит -ОН группе ПВС. Также имеются интенсивные колебания карбонильной группы, характерные для NBKЛ и ГЭА при 1600 и 1700 см^{-1} . Наличие группы гидроксиэтилового эфира ГЭА было подтверждено наличием серии двойных пиков колебания C-O и C-O-C в области 1100 и 1000 см^{-1} , соответственно. Причем уменьшение содержания NBKЛ в исходной смеси приводит к увеличению высоты пика поглощения эфирной группы ГЭА. В то же время наблюдается смещение

спектра поглощения карбонильной группы с 1600 до 1550 см^{-1} и амидной группы с 1500 до 1430 см^{-1} .

В работе для полученных повязок различного состава ПВС-ГЭА:NBKЛ определен выход гель-фракции гидрогеля. По данным гель выхода наблюдается его максимальное значение для гидрогеля ПВС-ГЭА:NBKЛ=60-30:10%, равное 7.62%. Установлено, что с увеличением концентрации наночастиц CuO в составе повязок, гель выход уменьшается. Это связано с тем, что реакционноспособность ПВС с линейными сополимерами понижается вследствие образования комплекса между функциональными группами ПВС с наночастицами CuO (II), что препятствует образованию гидрогеля.

Из данных, представленных в таблице 1 видно, что равновесная степень набухания достигается по истечению 24 ч. Однако, значение степени набухания сильно зависят от концентрации НЧ CuO. Так при концентрации наночастиц 0.075% наблюдается максимальная степень набухания в воде и физиологическом растворе, равная 4.19 и 4.14 г/г, в то время как для повязок с концентрацией наночастиц 0.15% $\alpha = 3.2$ и 3.42 г/г, соответственно.

Таблица 1 – Основные характеристики гидрогелевых повязок на основе ПВС-ГЭА:NBKЛ (при дозе облучения 40 кГр) с наночастицами оксида меди

Состав повязки [ПВС-ГЭА:NBKЛ], моль. %	CuO, %	Гель выход (%)	α , г/г (дистиллированная вода)	α , г/г (изотонический раствор)	Удлинение, %	Модуль Юнга
60-10:30	0	6.5	2.2	2.1	101	0.0802
	0.075	4.1	2.0	2.2	102	0.091
	0.1	4.0	1.7	2.0	100	0.0798
	0.15	4.2	1.5	1.8	94	0.0763
60-20:20	0	6.8	2.56	2.52	104	0.0879
	0.075	4.2	2.73	2.48	127	0.114
	0.1	4.1	2.62	2.63	99,9	0.123
	0.15	4.7	2.93	2.69	120	0.113
60-30:10	0	7.6	4.3	4.33	133	0.0998
	0.075	6.7	4.19	4.14	115	0.119
	0.1	5.5	3.91	3.71	115	0.0985
	0.15	4.8	3.2	3.42	122	0.0941

Для синтезированных повязок изучены механические свойства – предел прочности на растяжение, модуль упругости и максимальное удлинение при растяжении. На основании экспериментальных данных, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что взаимодействия между макромолекулами ГЭА играют роль дополнительных узлов в структуре материала, что и вызывает повышение прочностных характеристик образцов гидрогелевых повязок. Наблюдается, что с увеличением концентрации наночастиц CuO, уменьшается предел деформации.

Повязка состава ПВС-ГЭА:NBKЛ=60-30:10 моль.%, показывает удлинение при растяжении до 133%. Такие механические свойства обусловлены, вероятно, повышением плотности сшивки гидрогеля.

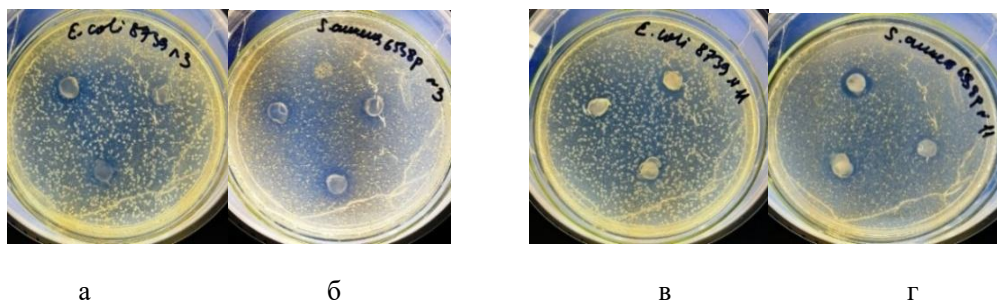
В таблице 2 представлены результаты антимикробной активности гидрогелевых повязок с наночастицами меди в отношении *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-р полученные диско-диффузионным методом.

Таблица 2 – Бактериостатическое действие гидрогелевых повязок на основе ПВС-ГЭА:NBKЛ с наночастицами CuO (II)

Штаммы микроорганизмов	[ПВС-ГЭА: NBKЛ], моль.%						Ампициллин
	60-10:30		60-20:20		60-30:10		
	(б/н)*	0.10%	(б/н)*	0.10%	(б/н)*	0.10%	
	Зона подавления, мм						
<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	6±0	6±0	6±0	12±1	6±0	9.33±0.57	27±1
Результат	У**	У**	У**	Ч***	У**	Ч***	Ч***
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538-р	6±0	6±0	6±0	13.33±0.57	6±0	12±1	45±1
Результат	У**	У**	У**	Ч***	У**	Ч***	Ч***

* б/н – без наночастиц CuO (II), ** "У" – устойчив, *** "Ч" – чувствителен

Учет результатов проводился путем визуальной оценки присутствия или отсутствия зоны угнетения роста тест-штамма в пробах, в сравнении с контрольным образцом (питательная среда с тест-штаммом без препарата) и в положительном контроле (с ампициллином). Из данных таблицы 2 видно, что образцы 60-20:20 и 60-30:10 моль.% с концентрацией наночастиц 0.1%, обладают незначительным бактериостатическим действием в отношении тест-штамма *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-р в сравнении с контрольным образцом без наночастиц меди (б/н), зона подавления составила в среднем 12±1 мм. Однако в сравнении с положительным контролем (ампициллином), опытные образцы гелей с наночастицами CuO высокой активностью не обладают (рисунок 1).



а

б

в

г

[НЧ] = 0.1%; [ПВС-ГЭА: NBKЛ] = 60-30:10 моль.% (а, б);
[ПВС-ГЭА: NBKЛ] = 60-20:20 моль.% (в, г)

Рис. 1. Результаты антимикробной активности гидрогелевых повязок в отношении *Escherichiacoli* (а, в) и *Staphylococcus aureus* (б, г)

Заключение

Получены гидрогелевые повязки на основе ПВС-ГЭА:NBKJ различного состава. Состав гидрогелевых повязок был определен с помощью ИК-спектроскопии. Физико-химические характеристики повязок изучались с помощью физико-химических методов определения золь-гель выхода, кинетики набухания, также были изучены механические свойства и бактериостатическое действие. Образцы повязок с концентрацией наночастиц 0.1%, обладают бактериостатическим действием в отношении тест-штамма *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

References

- Aguilar M.R., Roman J.S.(2014). Smart Polymers and their Applications. J. Chem. Inf. Mod. Vol.9. No.53, pp.1-540.
- Cortez-Lemus N.A., Licea-Claverie A. (2016). Poly(N-vinylcaprolactam), a comprehensive review on a thermoresponsive polymer becoming popular // Prog. Polym. Sci. Vol.51, 1-51.
- Jadhav S., Gaikwad S., Nimse M., Rajbhoj A. (2011).Copper Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Their Antibacterial Activity. J. Cluster Sci. Vol. 2, 121–129.
- Kamoun E.A., Kenawy E.R.S., Chen X.(2017). A review on polymeric hydrogel membranes for wound dressing applications: PVA-based hydrogel dressings. Vol.3. No.3? pp.217–233.
- Khutoryanskaya O. V., Mayeva Z.A., Mun G.A., Khutoryanskiy V. V.(2008). Designing temperature-responsive biocompatible copolymers and hydrogels based on 2-hydroxyethyl(meth)acrylates. Biomacromol. Vol.12. No. 3, pp. 3353–3361.
- Legonkova O.A., Vasilyev V.G., Asanova L.Y. (2015). Sorption and physico-mechanical properties of biomaterials used as dressings. Pharmaceutical Chemistry. Vol.10, pp. 7-13.
- Liu Y., Kim H. I. (2002). Characterization and antibacterial properties of genipin-crosslinked chitosan/poly(ethylene glycol)/ZnO/Ag nanocomposites. Carbohydr. Polym. No. 1, pp.111–116.
- Makarenko M.V., Kurchenko V.P., Usanov S.A. (2016), Modern approaches to the development of wound coatings. Physiological, biochemical and molecular bases of the functioning of biosystems. Vol. 11, pp.273-279.
- Miao L., Wang C., Hou J., Wang P., Ao Y., Li Y., Geng N., Yao Y., Lv B., Yang Y., You G., Xu Y. (2016). Aggregation and removal of copper oxide (CuO) nanoparticles in wastewater environment and their effects on the microbial activities of wastewater biofilms // Bioresour. Technol. No.216, pp.537–544..
- Popkov Y.M., Nakhmanovich B.I., Chibirova F.K., Bune E.V., Arest-Yakubovich A.A. (2007). Copolymerization in N-vinylcaprolactam-N-vinylpyrrolidone and N,N-diethylacrylamide-N,N-dimethylacrylamide systems: The effect of composition and spatial structure of copolymers on their thermal sensitivity. Polym. Sci. - Ser. B. Vol. 6, No.49, pp. 155–158.
- Sawpan M.A., Khan M.A., Abedin M.Z. (2002). Surface modification of jute yarn by photografting of low-glass transition temperature monomers. J. Appl. Polym. Sci. No. 6, pp. 993–1000.
- Sofia S.J., Merrill E.W. (2015).Protein Adsorption on Poly(ethylene oxide)-Grafted Silicon Surface ACS Symp. Vol. 20. No. 680, pp.342–360. .
- Weinstein M.P.,Lewis J.S. (2010). Performance Standards for Antimicrobial Disc Susceptibility Test. CLSI. Vol. 1.
- Wu J., Zheng Y., Song W., Luan J., Wen X., Wu Z., Chen X., Wang Q., Guo S. (2014). In situ synthesis of silver-nanoparticles/bacterial cellulose composites for slow-released antimicrobial wound dressing v Carbohydr. Polym. Vol. 1, pp.762–771.
- Zhou W., Ma Y., Yang H., Ding Y., Luo X. (2011). A label-free biosensor based on silver nanoparticles array for clinical detection of serum p53 in head and neck squamous cell carcinoma. Int. J. Nanomed. Vol. 6, pp.381–386.

NEWS

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

ISSN 2224–5286

Volume 4, Number 461 (2024), 195–207

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.260>

МРНТИ 61.01.94, 87.17

УДК 504.054;66.074.5

B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy*, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova, 2024.

JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”,

Almaty, Kazakhstan.

E-mail: albrod@list.ru

UNIVERSAL FASTENER ASSEMBLY FOR INSTALLATION OF NEUTRALIZATION MODULES IN INDUSTRIAL FLUES IN DECARBONIZATION TECHNOLOGY

Khussain Bolatbek Khussainovich – Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: b.khusain@ifce.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9588-1012>;

Brodskiy Aleksandr Rafelevich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical Methods, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: albrod@list.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>;

Sass Alexander Sergeevich – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Sector of Modeling of Technological Processes, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: aleksandr-sass@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4049-6314>;

Torlopov Ivan Igorevich – Junior Researcher, Sector of Design of Technological Processes, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: myndfrea@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9660-6397>;

Rakhmetova Kenzhegul Saginbayevna – Researcher, Sector of Modeling of Technological Processes, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: rahmetova_75@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>.

Abstract. Decarbonization, as a systemic problem for Kazakhstan, is becoming increasingly urgent. The Republic ranks 64th in the ranking of countries with the worst air pollution index. The share of harmful emissions from industrial enterprises exceeds 85%. In 2020, the Ministry of Ecology cited data that a total of more than 2.5 million tons of waste are emitted into the air each year. This figure increases by 100 thousand tons annually.

One of the main sources of air pollution are energy generating enterprises. In Kazakhstan, ~75% of electricity is generated from coal and oil products. The consequences of using coal as an energy source are most severe. During its burning, nitrogen- and sulfur-containing oxides, volatile organic compounds, ash, dust and CO₂, as well as metals are released, dispersing over large areas.

Decarbonization technology as a process can be greatly complicated by the presence

of the above components in the flue gases. Therefore, preliminary treatment is necessary, since no sorbent or membrane for CO₂ extraction can withstand long-term “pressure” from dust particles and toxic impurities.

At the same time, the installation of gas cleaning systems, including those using catalytic modules in flue gas ducts (pipes) of industrial enterprises, is associated with certain difficulties associated with changes in the strength characteristics of flue gas ducts and an increase in the gas-dynamic resistance for exhaust gases inside them.

This work is devoted to solving this problem by using a universal fastening unit for installing catalytic neutralization modules in industrial smoke exhausts during preliminary treatment of flue gases in decarbonization technology. The work describes the design of the universal fastening unit and provides its diagram.

Keywords: decarbonization, gas treatment, catalysis, fastening unit

Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский*, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, 2024.

«Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: albrod@list.ru

ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДАҒЫ ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ ТҮТІН МҰРЖАЛАРЫНА БЕЙТАРАПТАНДЫРУ МОДУЛЬДЕРІН ОРНАТУҒА АРНАЛҒАН ӘМБЕБАП БЕКІТКІШ ЖИНАҒЫ

Хусаин Болатбек Хусанұлы – техника ғылымдарының кандидаты, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» Бас директорының орынбасары, Алматы, Қазақстан, E-mail: b.khusain@ifce.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9588-1012>;

Бродский Александр Рафаэлевич – химия ғылымдарының кандидаты, доцент, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ физикалық әдістер зертханасының меңгерушісі, Алматы, Қазақстан, E-mail: albrod@list.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>;

Сасс Александр Сергеевич – химия ғылымдарының кандидаты, Технологиялық процестерді модельдеу секторының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: aleksandr-sass@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4049-6314>;

Торлопов Иван Игоревич – технологиялық процестерді модельдеу секторының кіші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: myndfrea@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9660-6397>;

Рахметова Кенжегүл Сағынбайқызы – технологиялық процестерді модельдеу секторының ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: rahmetova_75@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>.

Аннотация. Декарбонизация Қазақстан үшін жүйелі мәселе ретінде өзекті бола түсуде. Республика ауаның ластану индексі нашар елдер рейтингінде 64-ші орында тұр. Өнеркәсіптік кәсіпорындардан зиянды заттар шығарындыларының үлесі 85% - дан асады. 2020 жылы Экология министрлігі жыл сайын ауаға 2,5 млн. тоннадан астам қалдық шығарылатыны туралы деректер келтірді. Бұл көрсеткіш жыл сайын 100 мың тоннаға артып келеді.

Атмосфераны ластаудың негізгі көздерінің бірі энергия өндіруші кәсіпорындар. Қазақстанда электр энергиясының ~ 75%-ы көмір мен мұнай өнімдерінен өндіріледі. Көмірді энергия тасымалдаушы ретінде пайдаланудың салдары ең ауыр болып табылады. Оны жағу кезінде азот пен күкірті бар оксидтер, ұшпа органикалық қосылыстар, күл, шаң және CO₂, сондай-ақ үлкен аумақтарға таралуы мүмкін металдар бөлінеді.

Процесс ретінде декарбонизация технологиясы жоғарыда аталған компоненттердің түтін газдарының құрамында болуымен қатты қиындауы мүмкін. Сондықтан алдын ала тазалау қажет, себебі, көмірқышқыл газын алу үшін бірде бір сорбент немесе мембрана шаң бөлшектері мен улы қоспалардан ұзақ «қысымға» төтеп бере алмайды. Сонымен қатар, газ тазарту жүйелерін, оның ішінде катализдік модульдерді пайдалана отырып, өнеркәсіптік кәсіпорындардың түтін шығарғыштарына (кұбырларына) орнату түтін шығарғыштардың беріктік сипаттамаларының өзгеруіне және олардың ішіндегі шығатын газдар үшін газ-динамикалық кедергінің артуына байланысты белгілі бір қиындықтармен байланысты.

Бұл жұмыс дәл осы мәселені декарбонизация технологиясында түтін газдарын алдын-ала тазарту кезінде өнеркәсіптік кәсіпорындардың түтін мұржаларына катализдік бейтараптандыру модульдерін орнату үшін әмбебап бекіту қондырғысын қолдану арқылы шешуге арналған. Жұмыста бекіткіштердің әмбебап жинағының дизайны сипатталған және оның схемасы келтірілген.

Түйін сөздер: декарбонизация, газдары тазалау, катализ, бекіткіш жинағы

**Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский*, А.С. Сасс, И.И. Торлопов,
К.С. Рахметова, 2024.**

АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского»,
Алматы, Казахстан.
E-mail: albrod@list.ru

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УЗЕЛ КРЕПЕЖА ДЛЯ УСТАНОВКИ МОДУЛЕЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ В ДЫМООТВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Хусаин Болатбек Хусанович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: b.khusain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9588-1012>;

Бродский Александр Рафаэлевич – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, заведующий лабораторией АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>;

Сасс Александр Сергеевич – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: aleksandr-sass@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4049-6314>;

Торлопов Иван Игоревич – младший научный сотрудник АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: myndfrea@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9660-6397>;

Рахметова Кенжегуль Сагинбаевна – научный сотрудник АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: rahmetova_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>.

Аннотация. Декарбонизация, как системная проблема для Казахстана, становится всё более актуальной. Республика занимает 64-е место в рейтинге стран с худшим индексом загрязнения воздуха. Доля выбросов вредных веществ от промышленных предприятий превышает 85%. В 2020 году министерство экологии привело данные, что суммарно каждый год в воздух выбрасывается более 2,5 млн. тонн отходов. Этот показатель ежегодно увеличивается на 100 тыс. тонн.

Одним из основных источников загрязнения атмосферы являются энергогенерирующие предприятия. В Казахстане ~ 75% электроэнергии вырабатывается из угля и нефтепродуктов. Последствия использования угля в качестве энергоносителя являются наиболее тяжёлыми. При его сжигании выделяются азот- и серосодержащие оксиды, летучие органические соединения, зола, пыль и CO_2 , а также металлы, которые могут рассеиваться на больших площадях.

Технология декарбонизации как процесса может быть сильно осложнена присутствием в дымовых газах вышеперечисленных компонентов. Следовательно, необходима предварительная очистка, поскольку ни один сорбент или мембрана для извлечения диоксида углерода не выдержит длительного «давления» со стороны пылевых частиц и отравляющих примесей. Вместе с тем, установка систем газоочистки, в том числе с использованием каталитических модулей в дымоотводы (трубы) промышленных предприятий, сопряжена с определёнными трудностями, связанными с изменением прочностных характеристик дымоотводов и возрастания газодинамического сопротивления для отходящих газов внутри них.

Данная работа посвящена решению именно этой проблемы путём использования универсального узла крепежа для установки модулей каталитической нейтрализации в дымоотводы промышленных предприятий при предварительной очистке дымовых газов в технологии декарбонизации. В работе описывается конструкция универсального узла крепежа и приводится его схема.

Ключевые слова: декарбонизация, очистка газов, катализ, узел крепежа.

Работа выполнена при финансовой поддержке по программе целевого финансирования МОН РК ИРН BR21882241 «Исследование и разработка комплексной системы улавливания и хранения CO_2 на промышленных объектах Республики Казахстан для сокращения выбросов парниковых газов».

Введение

Экологическое состояние окружающей среды, особенно воздушного бассейна, не замыкается в национальных границах того или иного государства, а является

трансграничной, международной проблемой. Один из основных аспектов этой проблемы - снижение углеродного следа промышленных производств. Несмотря на то, что в мировом научном сообществе большое внимание уделяется вопросам декарбонизации (Adánez, et al, 2018; Koons, 2022; Mirza, et al, 2022; Robertson, et al, 2022; Munson, et al, 2022; Hüser, et al, 2017; Ахметов, и др., 2020; Aminu, et al, 2017), в настоящее время в мире насчитывается менее 30 крупных промышленных объектов в 10 странах, где улавливается и используется углекислый газ.

Казахстан подписал Парижское соглашение (Wang, et al, 2019), обязавшись снижать эмиссию парниковых газов. В связи с этим декарбонизация как системная проблема для Казахстана становится всё более актуальной. Республика занимает 64-е место в рейтинге стран с худшим индексом загрязнения воздуха. Доля выбросов вредных веществ от промышленных предприятий превышает 85%. В 2020 году Министерство экологии привело данные, по которым суммарно каждый год в воздух выбрасывается более 2,5 млн. тонн отходов. Этот показатель ежегодно увеличивается на 100 тыс. тонн. Необходимо учесть, что, с 2026 года ЕС планирует ввести налог на продукцию тех стран, которые оставляют высокий углеродный след (Adam, et al, 2022).

В Казахстане принята Программа газификации, и угольная генерация должна постепенно замещаться газовой, но, в ряде случаев, полностью эту замену произвести невозможно из-за логистических проблем и больших финансовых затрат (Mukhtarov, et al, 2020; Постановление Правительства РК, 2014; Постановление Правительства РК, 2022), кроме того, использование газа в качестве топлива не исключает выделения в атмосферу большого количества оксидов углерода.

Решение проблемы – создание систем выделения, сбора и утилизации CO₂. Диоксид углерода может найти широкое применение в народном хозяйстве (теплицы, производство соды и метанола, газирование напитков, пожаротушение, сварка, сухой лед, топливо, удобрения и т.д.).

Одним из основных источников загрязнения атмосферы являются энергогенерирующие предприятия. В Казахстане ~ 75% электроэнергии вырабатывается при использовании угля и нефтепродуктов. Вместе с тем, последствия использования угля в качестве энергоносителя наиболее тяжёлые (Марченко, 2019; Няшина, и др., 2017; Госс, и др., 2005). При его сжигании выделяются оксиды серы и азота, летучие органические соединения, зола, пыль, CO₂ и металлы, рассеивающиеся на больших площадях.

Технология декарбонизации как процесса может быть сильно осложнена присутствием в дымовых газах вышеперечисленных компонентов. Следовательно, необходима предварительная очистка, поскольку ни один сорбент или мембрана для извлечения диоксида углерода не выдержит длительного «давления» со стороны пылевых частиц и отравляющих примесей.

Вместе с тем, установка систем газоочистки, в том числе с использованием каталитических модулей в дымоотводы (трубы) промышленных предприятий,

сопряжена с определёнными трудностями, связанными с изменением прочностных характеристик дымоотводов и возрастания газодинамического сопротивления для отходящих газов внутри них (Kumar, 2020; Siwek, et al, 2018; Zhu, et al, 2024).

Данная работа посвящена решению именно этой проблемы и продолжает цикл статей, посвящённых вопросам декарбонизации, начатый работой (Хусаин, и др., 2024). Решение предлагается на пути использования универсального узла крепежа для установки модулей каталитической нейтрализации в дымоотводы промышленных предприятий при предварительной очистке дымовых газов в технологии декарбонизации. В работе описывается конструкция универсального узла крепежа и приводится его схема.

Материалы и основные методы

Для создания универсального узла крепежа использовалась конструкционная углеродистая сталь – СТ 3. Химический состав материала включает следующие элементы:

- железо – 97%;
- углерод – 0,14-0,22%;
- никель, медь, хром – каждый не больше 0,3%;
- марганец - 0,4-0,65%;
- кремний - 0,05-0,17%;
- мышьяк менее 0,08%;
- серы не более 0,05%;
- фосфор менее 0,04%.

Углерод определяет твёрдость, прочность, пластичность, показатели свариваемости, физико-механические свойства стали. Легирующие элементы в структуре этого сплава, которые влияют на его характеристики – это марганец, хром, медь и никель. Сера и фосфор – вредные примеси.

Элементный состав материала контролировался с помощью энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии с использованием энергодисперсионной системы микроанализа INCA Energy 450, установленной на сканирующий электронный микроскоп JSM 6610 LV, JEOL, Япония.

Свойства стали «ст3», требования к химическому составу, методы контроля и данные о международном стандарте качества регламентируются и соответствуют ГОСТу 380-2005.

Результаты и обсуждение

Обзор известных способов установки систем очистки непосредственно в дымоотводы промышленных предприятий показал, что этим методам присущ целый набор недостатков, затрудняющих их применение.

В частности, известно устройство для осуществления высокотемпературной каталитической обработки отработавших газов сгорания промышленных установок, которое содержит корпус, включающий в себя неподвижную часть

и элемент крышки, установленный на неподвижной части для перемещения из рабочего положения, закрывающего отверстие, в открытое положение, обеспечивающее доступ во внутреннее пространство внутри неподвижной части через отверстие, а также монтажный узел для стабильной установки каталитических нейтрализаторов как в осевом, так и периферическом направлении внутри корпуса, так, что во время работы выхлопные газы проходят только через каналы в каталитических блоках. Монтажный узел позволяет извлекать каталитические блоки из внутреннего пространства неподвижной части корпуса, когда закрывающий элемент перемещается в открытое положение для обслуживания, в то время как неподвижная часть остается закрепленной в пределах пути потока газа для приема другого каталитического блока нейтрализатора (Crothers, 1991).

Недостатком устройства являются значительные нагрузки, возникающие при его креплении на вертикальную дымовую трубу и связанные с тем, что в месте вставки устройства труба разрезается как минимум на половину профиля. Возникающие нагрузки в реальных условиях эксплуатации обуславливают неустойчивость всей конструкции.

Известно устройство, представляющее собой промышленный каталитический нейтрализатор со съёмным каталитическим блоком и выступающим наружу объемом для вставки и извлечения съёмного каталитического блока, причем на блоке закреплена твердая насадка таким образом, что, когда блок расположен в корпусе нейтрализатора, твердая насадка выступает в канал для вставки блока и, по крайней мере, частично блокирует поток выхлопных газов вокруг каталитического элемента (Newbury, 2002).

К недостаткам устройства относится то, что в ходе эксплуатации корпус каталитического нейтрализатора характеризуется пустотой («карманом») между катализатором и дверцей. Этот «карман» может служить источником утечек проходящих вредных газов и подводимого к корпусу тепла. Кроме того, наличие такого «кармана» обуславливает дополнительные механические нагрузки, связанные с пульсационными перепадами давления в корпусе, и увеличение газодинамического сопротивления.

Известно устройство каталитического нейтрализатора, которое включает в себя корпус со впускным и выпускным отверстиями, камеру со съёмным каталитическим блоком, отверстие с дверцей для доступа к блоку и внутреннюю уплотняющую поверхность, охватывающую периферию впускного или выпускного отверстий в камере. Каталитический блок вставляется в камеру и извлекается из нее через отверстие с дверцей. Механизм фиксации блока обеспечивает съёмную опору блока внутри камеры, так, что перемещение каталитического блока в поперечном направлении одновременно перемещает узел каталитического блока в осевом направлении. Механизм фиксации блока обеспечивает герметичное сцепление с впускным или выпускным отверстием, тем самым обеспечивая движение потока через каталитический блок между ними (Muter, et al, 1991).

Недостатком является форма корпуса каталитического нейтрализатора, которая в связи с универсальностью его конструкции необязательно соответствует форме

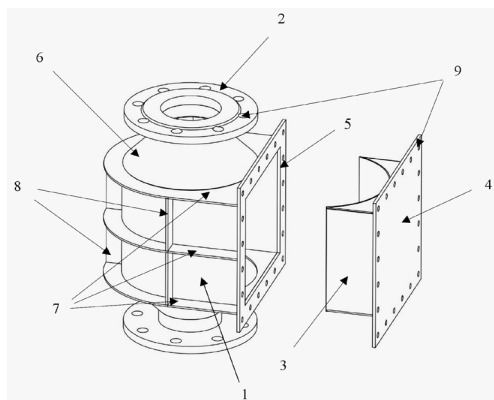
каталитического блока, вставляемого в него, и, хотя в описываемом изобретении каталитический блок в ходе эксплуатации жестко закреплен внутри аппарата с помощью специального механизма фиксации, свободное пространство между стенками каталитического блока и стенками корпуса нейтрализатора образует «карман», который может служить источником утечек проходящих вредных газов, тепла, а также источником дополнительных механических нагрузок, связанных с перепадами давления в корпусе, и дополнительного газодинамического сопротивления.

Известно устройство, представляющее собой корпус модульного каталитического нейтрализатора, который включает в себя различные функции для обслуживания и крепления каталитических блоков, прокладок и фильтрующих элементов. Корпус содержит впускное и выпускное отверстия для выхлопных газов, съемный каталитический блок, дверцу, обеспечивающую доступ к каталитическому блоку, прикрепленную к корпусу с возможностью перемещения между закрытым герметичным и открытым негерметичным положениями (Roe, et al, 2009).

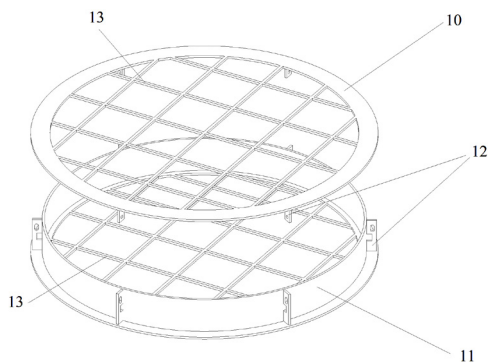
Недостатком является отсутствие ребра жесткости в конструкции дверцы для вставки и извлечения каталитического блока. В связи с этим описываемая конструкция нейтрализатора характеризуется недостаточной прочностью и жёсткостью, ввиду того что возникающие напряжения из-за отсутствия ребра жесткости будут концентрироваться в локальных областях (местах) конструкции. Отсутствуют специальные приспособления для предотвращения или уменьшения турбулентных завихрений, снижения газодинамического сопротивления.

В разработанном и описанном в настоящей работе универсальном узле крепежа для установки модулей каталитической нейтрализации дымовых газов в дымоотводы промышленных предприятий учтены и устранены все вышеперечисленные недостатки.

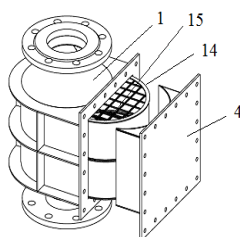
Схема устройства универсального узла крепежа с защитной кассетой для установки модулей каталитической нейтрализации дымовых газов в дымоотводы печей промышленных предприятий приведена на рисунке 1.



а



б



в

а - корпус универсального узла крепежа для установки блока каталитического нейтрализатора в защитной кассете в систему дымоотвода; б - защитная кассета для размещения блока каталитического нейтрализатора, предохраняющая от механических воздействий; в - универсальный крепежный узел в сборе с защитной кассетой и с размещённым внутри блоком каталитического нейтрализатора

1 - корпус универсального узла крепежа; 2 - фланец для крепления к трубе универсального узла крепежа; 3 - сегментная заглушка; 4 - крышка сегментной заглушки;
 5 - фланец для крепления сегментной заглушки; 6 - конусность крепежного узла;
 7 - «козырьки» - горизонтальные ребра жесткости; 8 - вертикальные ребра жесткости;
 9 - отверстия для крепежных болтов; 10 - верхняя решётчатая крышка кассеты;
 11 - нижняя решётчатая крышка кассеты с выступающим ободом для размещения блока каталитического нейтрализатора; 12 - проушины с отверстиями под болты для крепления верхней и нижней крышек кассеты друг к другу; 13 - рёбра решёток на верхней и нижней крышках кассеты; 14 - защитная кассета блока каталитического нейтрализатора; 15 - блок каталитического нейтрализатора внутри защитной кассеты.

Рисунок 1 - Схема устройства универсального узла крепежа с защитной кассетой для установки модулей каталитической нейтрализации дымовых газов в дымоотводы печей промышленных предприятий

Отличительными особенностями предлагаемого универсального узла крепежа являются:

- крепежный узел блока нейтрализатора, в целях сохранения прочностных характеристик дымовых труб и упрощения процедуры монтажа, выполнен с боковым вырезом на половину профиля дымовой трубы, снабжен «козырьком»,

усиленным ребрами жесткости в виде уголков, кроме того, крепёжный узел имеет сегментную заглушку для герметизации корпуса и устранения «мертвого» объема;

- конусность крепёжного узла по месту стыковки с дымовой трубой должна быть не менее 50° для предотвращения возникновения турбулентных завихрений;

- защитная кассета, где размещён блок каталитического нейтрализатора, в собранном (неразборном) виде помещается в узел крепежа и предохраняет блок каталитического нейтрализатора от механических воздействий в процессе установки и эксплуатации;

- отношение диаметра корпуса нейтрализатора, установленного в защитную кассету узла крепежа, к внутреннему диаметру трубы должно составлять не менее 1:1,5 для снижения газодинамического сопротивления блока каталитического нейтрализатора как целого и предотвращения срабатывания систем блокировки.

- блок каталитического нейтрализатора любого назначения (очистка дымовых газов от различных вредных компонентов) может быть выполнен на металлической или керамической основе, иметь любые геометрические размеры с сохранением цилиндрической формы, иметь любое количество каналов, с любой геометрией сечения, в том числе и хаотичного.

Заключение

Описанный универсальный узел крепежа может применяться при установке систем очистки отходящих дымовых газов тепловых устройств промышленных предприятий, имеющих дымоотводы на естественной тяге.

Положительным результатом использования данного универсального узла крепежа будет:

- размещение в защитной кассете, в системах дымоотвода печей как высокой, так и малой мощности, блоков каталитических нейтрализаторов на металлической или керамической основе с любыми геометрическими размерами, количеством каналов, с любой геометрией сечения, в том числе и хаотичного, без ухудшения прочностных характеристик и уменьшения естественной тяги;

- предотвращение механических повреждений каталитических блоков нейтрализации, как в процессе монтажа, так и при их эксплуатации.

Резюмируя, необходимо отметить, что описанный в настоящей работе универсальный узел крепежа с защитной кассетой может устанавливаться на системах очистки отходящих дымовых газов всех промышленных предприятий, имеющих системы дымоотвода на естественной тяге. Возможно его применение и при установке систем очистки от вредных компонентов на любые тепловые устройства, в том числе на водогрейные котлы, печи подогрева малой мощности.

Технических решений, совпадающих с совокупностью существенных признаков разработанного универсального узла крепежа, в литературе не выявлено, что позволяет сделать вывод о новизне описанной конструкции.

Литература

Adánez J., Abad A., Mendiara T., Gayán P., García-Labiano F. (2018) Chemical looping combustion of solid fuels, *Prog Energy Combust Sci*, 65:6-66. DOI: 10.1016/j.peccs.2017.07.005 (in Eng.)

Adam S., Delestre I., Levell P., Miller H. (2022) Tax policies to reduce carbon emissions. *Fisc Stud*, 43:235-263. DOI: 10.1111/1475-5890.12308 (in Eng.)

Ахметов В.Р., Смирнов О.В. (2020) Улавливание и хранение диоксида углерода. Проблемы и перспективы, *Башкирский химический журнал*, 27:3:103-115. DOI: 10.17122/bcj-2020-3-103-115

Aminu M.D., Nabavi S.A., Rochelle C.A., Manovic V. (2017) A review of developments in carbon dioxide storage, *Appl Energy*, 208:1389-1419. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.09.015 (in Eng.)

Crothers W.J., Jr. Catalytic converter with replaceable carrier assembly. US Patent 5169604. 30.10.1991.

Госс Д., Миллер Э.Ч. (2005) Побочные продукты сжигания угля в США: Проблемы и возможности. Материалы II Международной научно-практической конференции. С. 149.

Хусаин Б.Х., Бродский А.Р., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С. Предварительная очистка газов тепловых устройств в технологии декарбонизации // Доклады НАН РК. – 2024. – Т. 1, № 349. – С. 271-282.

Hüser N., Schmitz O., Kenig E.Y. (2017) A comparative study of different amine-based solvents for CO₂-capture using the rate-based approach, *Chem Eng Sci*, 157:221-231. DOI: 10.1016/j.ces.2016.06.027 (in Eng.)

Kumar P. Topics on Selective Catalyst Reduction // Design and Development of Heavy-Duty Diesel Engines: A Handbook / ed. P.A. Lakshminarayanan, A.K. Agarwal. – 2020. – P. 195-236. ISBN 978-981-15-0970-4.

Koons E. Top Carbon Capture Projects in 2022 – Great Plains. *Energy Tracker Asia* (2022). URL: <https://energytracker.asia/carbon-capture-projects> (in Eng.)

Марченко М.В. (2019) Уменьшение выбросов оксидов серы и методы сероочистки дымовых газов в энергетических установках, Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, С.2251-2254. (in Russ.)

Mirza N., Kearns D. Technical report. State of the art: CCS technologies 2022. Global CCS Institute (2022). URL: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2022/05/State-of-the-Art-CCS-Technologies-2022.pdf> (in Eng.)

Mukhtarov S., Hymbatova S., Seyfullayev I., Kalbiyev Y. (2020) The effect of financial development on energy consumption in the case of Kazakhstan, *J Appl Econ*, 23:75-88. DOI: 10.1080/15140326.2019.1709690 (in Eng.)

Munson R., Hancu D. Point Source Carbon Capture Program. National Energy Technology Laboratory (2022). URL: <https://netl.doe.gov/coal/carbon-capture/pre-combustion> (in Eng.)

Muter J.P., Liu H. Catalytic converter apparatus. US Patent 9101905. 30.10.1991.

Няшина Г.С., Шлегель Н.Е., Лыршиков С.Ю. (2017) Снижение выбросов при сжигании углей, водоугольных и органомугольных топлив, *Химия твердого топлива*, 6:26-32. DOI: 10.7868/S0023117717060044 (in Russ.)

Newbury D.M. Catalytic converter and catalyst element therefor. US Patent 7157060. 24.10.2002.

Постановление Правительства Республики Казахстан. Об утверждении Генеральной схемы газификации Республики Казахстан на 2015–2030 годы: утв. 4 ноября 2014 года, № 1171. (in Russ.)

Постановление Правительства Республики Казахстан. Об утверждении Комплексного плана развития газовой отрасли Республики Казахстан на 2022–2026 годы: утв. 18 июля 2022 года, № 488. (in Russ.)

Robertson V., Mousavian M. Shute Creek – world’s largest carbon capture facility sells CO₂ for oil production, but vents unsold. IEEFA (2022). URL: <https://ieefa.org/articles/shute-creek-worlds-largest-carbon-capture-facility-sells-co2-oilproduction-vents-unsold> (in Eng.)

Roe T., Kapsos D., Warner J., Bahr R., Degnan J., Marsh D., Trumm K. Catalyst housing converter. US Patent 8062602. 11.11.2009.

Siwek M., Chmielewski A.G. Process engineering aspects of diesel engine off gases treatment: A Report. – Warszawa, Poland: Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 2018. – 73 p. (INCT Reports: Series A).

Wang X., Zheng H., Wang Z., Shan Y., Meng J., Liang X., Feng K., Guan D. (2019) Kazakhstan’s CO₂ emissions in the post-Kyoto Protocol era: Production-and consumption-based analysis, *J Environ Manag*, 249:109393. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109393 (in Eng.)

Zhu Y., Yu J., Zhang J., Shi J., Wan Q., Xia C. Strength analysis of high-pressure SCR system based on thermo-fluid-solid coupling // *Atmosphere*. – 2024. – Vol. 15, Is. 8. – 877.

References

- Adánez J., Abad A., Mendiara T., Gayán P., García-Labiano F. (2018) Chemical looping combustion of solid fuels, *Prog Energy Combust Sci*, 65:6-66. DOI: 10.1016/j.pecs.2017.07.005 (in Eng.)
- Koons E. Top Carbon Capture Projects in 2022 – Great Plains. *Energy Tracker Asia* (2022). URL: <https://energytracker.asia/carbon-capture-projects> (in Eng.)
- Technical report. State of the art: CCS technologies 2022. Global CCS Institute (2022). URL: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2022/05/State-of-the-Art-CCS-Technologies-2022.pdf> (in Eng.)
- Shute Creek – world's largest carbon capture facility sells CO₂ for oil production, but vents unsold. IEEFA (2022). URL: <https://ieefa.org/articles/shute-creek-worlds-largest-carbon-capture-facility-sells-co2-oilproduction-vents-unsold> (in Eng.)
- Point Source Carbon Capture Program. National Energy Technology Laboratory (2022). URL: <https://netl.doe.gov/coal/carbon-capture/pre-combustion> (in Eng.)
- Hüser N., Schmitz O., Kenig E.Y. (2017) A comparative study of different amine-based solvents for CO₂-capture using the rate-based approach, *Chem Eng Sci*, 157:221-231. DOI: 10.1016/j.ces.2016.06.027 (in Eng.)
- Akhmetov V.P., Smirnov O.V. (2020) Carbon dioxide capture and storage. Problems and perspectives, *Bashkir Chemical Journal [Bashkirskiy khimicheskij zhurnal]*, 27:3:103-115. DOI: 10.17122/bcj-2020-3-103-115 (in Russ.)
- Aminu M.D., Nabavi S.A., Rochelle C.A., Manovic V. (2017) A review of developments in carbon dioxide storage, *Appl Energy*, 208:1389-1419. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.09.015 (in Eng.)
- Wang X., Zheng H., Wang Z., Shan Y., Meng J., Liang X., Feng K., Guan D. (2019) Kazakhstan's CO₂ emissions in the post-Kyoto Protocol era: Production and consumption-based analysis, *J Environ Manag*, 249:109393. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109393 (in Eng.)
- Adam S., Delestre I., Levell P., Miller H. (2022) Tax policies to reduce carbon emissions. *Fisc Stud*, 43:235-263. DOI: 10.1111/1475-5890.12308 (in Eng.)
- Mukhtarov S., Humbatova S., Seyfullayev I., Kalbiyev Y. (2020) The effect of financial development on energy consumption in the case of Kazakhstan, *JAppl Econ*, 23:75-88. DOI: 10.1080/15140326.2019.1709690 (in Eng.)
- Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan. On the approval of the General Scheme for the Gasification of the Republic of Kazakhstan for 2015-2030: approved on November 4, 2014, No. 1171. (in Russ.)
- Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan. On the approval of the Comprehensive Plan for the Development of the Gas Industry of the Republic of Kazakhstan for 2022-2026: approved on July 18, 2022, No. 488. (in Russ.)
- Marchenko M.V. (2019) Reduction of sulfur oxides emissions and methods of flue gas desulfurization in power devices, *International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod*, P. 2251-2254. (in Russ.)
- Nyashina G.S., Shlegel N.E., Lyrshchikov S.Yu. (2017) Reduction of emissions during the combustion of coals, water-coal, and organo-water-coal fuels, *Solid Fuel Chemistry [Khimiya tverdogo topliva]*, 6:26-32. DOI: 10.7868/S0023117717060044 (in Russ.)
- Goss D., Miller gvE.C. (2005) By-products of coal combustion in the US: Problems and opportunities. *Materials of the II International Scientific-Practical Conference*. P.149. (in Russ.)
- Kumar P. *Topics on Selective Catalyst Reduction // Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines: A Handbook / ed. P.A. Lakshminarayanan, A.K. Agarwal. – 2020. – P. 195-236. ISBN 978-981-15-0970-4.*
- Siwek M., Chmielewski A.G. *Process engineering aspects of diesel engine off gases treatment: A Report. – Warszawa, Poland: Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 2018. – 73 p. (INCT Reports: Series A).*
- Zhu Y., Yu J., Zhang J., Shi J., Wan Q., Xia C. *Strength analysis of high-pressure SCR system based on thermo-fluid-solid coupling // Atmosphere. – 2024. – Vol. 15, Is. 8. – 877.*
- Khussain B.Kh., Brodskiy A.R., Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S. *Pre-treatment of gases from thermal devices in decarbonization technology // Reports NAS RK. – 2024. – Vol. 1, Is. 349. – P. 271-282.*

Crothers W.J., Jr. Catalytic converter with replaceable carrier assembly. US Patent 5169604. 30.10.1991.

Newburry D.M. Catalytic converter and catalyst element therefor. US Patent 7157060. 24.10.2002.

Muter J.P., Liu H. Catalytic converter apparatus. US Patent 9101905. 30.10.1991.

Roe T., Kapsos D., Warner J., Bahr R., Degnan J., Marsh D., Trumm K. Catalyst housing converter. US Patent 8062602. 11.11.2009

МАЗМҰНЫ

ХИМИЯ

- Г.Е. Азимбаева, Г.Н. Кудайбергенова, А.К. Камысбаева, Н.М. Курбанбаева, Ш. Балқашбай**
ТОПИНАМБУР ЖӘНЕ ГЕОРГИН ЖАПЫРАҚТАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНДАҒЫ
МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫН АНЫҚТАУ.....5
- Ж.С. Байзакова, Е.В. Солодова, А.Т. Кожаберженов, С. Қозықан, Л.К. Бупебаева**
ЕТ ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН ТЕХНОХИМИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ШАРАЛАРЫ.....16
- Г.Ж. Байсалова, А.Б. Жунусова, А.Б. Шукирбекова, Б.Б. Торсыкбаева, Б.С. Иманғалиева**
PSORALEA DRUPACEA ВВЕ ТАМЫРЫНАН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ
КЕШЕНДЕРДІ ЭКСТРАКЦИЯЛАУ ҮДЕРІСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....34
- Ә.С. Дәулетбаев, Қ.А. Қадирбеков, А.Д. Алтынбек, М.Ш. Сулейменова, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина**
УРАН ӨНДІРУ КЕЗІНДЕГІ КАТИОНДЫҚ ЖӘНЕ АНИОНДЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ
КОНЦЕНТРАЦИЯЛАРЫ МЕН СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....43
- Н. Жумашева, М. Турсынбек, Ф. Султанов, А. Ментбаева, Л. Кудреева, Ж. Бакенов**
ЛИТИЙ-КҮКІРТТІ АККУМУЛЯТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН НИКЕЛЬ
ОКСИДІНІҢ НАНОБӨЛШЕКТЕРІ БАР КҮРІШ ҚАУЫЗЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН
КЕУЕКТІ ГРАФЕН ТӘРІЗДІ КӨМІРТЕКТІ КОМПОЗИТ.....58
- Д.Т. Касымова, Г.Е. Жусупова**
LIMONIUM GMELINII ӨСІМДІГІНЕН АЛЫНҒАН ӨСІМДІК ЭКСТРАКТТАРЫ
БАР ЖЕРГІЛІКТІ ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН ГЕЛЬДЕРДІ ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ
БАҒАЛАУ.....75
- Б.К. Кенжалиев, Т.С. Өмірбек, А.Н. Беркинбаева, Ш. Сәулебекқызы, Н.М. Төлегенова,**
МИКРОТОЛҚЫНДЫ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ӨНДІРІСТІК КЛИНКЕРДЕН
МЫРЫШТЫ АЛУ: ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ
ШАЙМАЛАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ.....94

- Д.М. Кенжебеков, А.Е. Хусанов, И. Иристаев, А. Жолшыбек,
Д.Ж. Джанабаев**
БҰРАЛҒАН ПРОФИЛЬДІ ЖОЛАҚ ТҮРІНДЕГІ АҒЫН
ИНТЕНСИФИКАТОРЫМЕН «ҚҰБЫР ІШІНДЕГІ ҚҰБЫР» ЖЫЛУАЛМАСУ
АППАРАТЫН МУЛЬТИФИЗИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ.....111
- М.К. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Әбілқасова,
С.Т. Дауметова**
СІЛТІЛІК МЕТАЛЛ ИОНДАРЫН ЭКСТРАКЦИЯЛАУҒА АРНАЛҒАН ЖАҢА
ТАҢДАМАЛЫ СОРБЕНТТЕР.....129
- Д.С. Сейтбеков, Е.С. Ихсанов, Koji Matsuoka**
КАСПИЙ СОРТАҢЫ ӨСІМДІГІНІҢ ЖЕР ҮСТІ БӨЛІГІНЕН ЛИОФИЛИЗАЦИЯ
ӘДІСІМЕН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАР КЕШЕНІН АЛУ
ТЕХНОЛОГИЯСЫ.....138
- С.К. Смаилов, Е.Ж. Габдуллина, Ж.Т. Лесова, Э.К. Асембаева,
Д.Е. Нурмуханбетова**
ТҮЙЕ ТІКЕНЕКТІ (*ALHAGI KIRGISORUM S.*) ӨСІМДІКТЕРДІҢ
ПОЛИФЕНОЛДЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТІ.....152
- Л. Султанова, Г.Мусина, А. Аманжолова, К.Ерланова, М.Аяпберген**
НАТРИЙ ДИТИОФОСФАТЫНЫҢ МАРГАНЕЦ РУДАЛАРЫНЫҢ
ҮЛГІЛЕРІНЕ ҚАТЫСТЫ ФЛОТАЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІНЕ ЖИНАҒЫШТАР
ШЫҒЫМЫНЫҢ ӘСЕРІ.....165
- А.К. Токтабаева, Р.К. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова, А.Ж. Аликулов**
N-(2-ВИНИЛОКСИЭТИЛ)-N-(2-ЦИАНОЭТИЛ) АМИН (ВОЭЦЭА)
НЕГІЗІНДЕГІ ГИДРОГЕЛЬДІҢ ФАЗАЛЫҚ АУЫСУ ТЕМПЕРАТУРАСЫН
БЕТТІК АКТИВТІ ЗАТТАРМЕН РЕТТЕУ.....175
- М.Я. Хакимов, Д.Т.Абдулетип, П.И. Уркимбаева, Г.С. Ирмухаметова,
З.А. Кенесова,**
ПОЛИВИНИЛ СПИРТІ, 2-ГИДРОКСИЭТИЛ-АКРИЛАТ ЖӘНЕ
N-ВИНИЛКАПРОЛАКТАМ НЕГІЗІНДЕГІ СОПОЛИМЕРЛЕРДЕН
БАКТЕРИЦИДТІК ҚАСИЕТІ БАР ГИДРОГЕЛЬДІ ТАҢҒЫШТАРДЫ
АЛУ.....186
- Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова**
ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДАҒЫ ӨНЕРКӘСПТІК
КӘСПОРЫНДАРДЫҢ ТҮТІН МҰРЖАЛАРЫНА БЕЙТАРАПТАНДЫРУ
МОДУЛЬДЕРІН ОРНАТУҒА АРНАЛҒАН ӘМБЕБАП БЕКІТКІШ
ЖИНАҒЫ.....195

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

- Г.Е. Азимбаева, Г.Н. Кудайбергенова, А.К. Камысбаева, Н.М. Курбанбаева, Ш. Балқашбай**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ
ТОПИНАМБУРА И ГЕОРГИН.....5
- Ж.С. Байзакова, Е.В. Солодова, А.Т. Кожабергенов, С. Козыкан, Л.К. Бупебаева**
МЕРЫ ТЕХНОХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПРОЦЕССЕ
ПРОИЗВОДСТВА МЯСА.....16
- Г.Ж. Байсалова, А.Б. Жунусова, А.Б. Шукирбекова, Б.Б. Торсыкбаева, Б.С. Имангалиева**
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ИЗ КОРНЕЙ PSORALEA DRUPACEA VGE.....34
- А.С. Даулетбаев, К.А. Кадирбеков, А.Д. Алтынбек, М.Ш. Сулейменова, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина**
ИЗУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИК КАТИОННОГО И
АНИОННОГО СОСТАВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ УРАНА.....43
- Н. Жумашева, М. Турсынбек, Ф. Султанов, А. Ментбаева, Л. Кудреева, Ж. Бакенов**
ПОРИСТЫЙ ГРАФЕНОПОДОБНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ КОМПОЗИТ НА
ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ С НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА НИКЕЛЯ
ДЛЯ ЛИТИЙ-СЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ.....58
- Д.Т. Касымова, Г.Е. Жусупова**
РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ГЕЛЕЙ ДЛЯ МЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ С
РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЭКСТРАКТАМИ ИЗ РАСТЕНИЙ ВИДА LIMONIUM
GMELINIИ.....75
- Б.К. Кенжалиев, Т.С. Омирбек, А.Н. Беркинбаева, Ш. Саулебеккызы, Н.М. Толегенова**
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИНКА ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО КЛИНКЕРА С ПОМОЩЬЮ
МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗОВЫХ
ПРЕОБРАЗОВАНИЙ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ.....94

- Д.М. Кенжебеков, А.Е. Хусанов, И. Иристаев, А. Жолшыбек,
Д.Ж. Джанабаев**
МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО
АППАРАТА «ТРУБА В ТРУБЕ» С ИНТЕНСИФИКАТОРОМ ПОТОКА В
ВИДЕ ВИТОЙ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ.....111
- М.К. Курманалиев, Ж.Е. Шаихова, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова,
С.Т. Дауметова**
НОВЫЕ СЕЛЕКТИВНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
ИОНОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ.....129
- Д.С. Сейтбеков, Е.С. Ихсанов, Koji Matsuoka**
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ЛИОФИЛИЗАЦИИ ИЗ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ
СОЛЯНОКОЛОСНИКА ПРИКАСПИЙСКОГО.....138
- С.К. Смаилов, Е.Ж. Габдуллина, Ж.Т. Лесова, Э.К. Асембаева,
Д.Е. Нурмуханбетова**
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ
РАСТЕНИЙ ВЕРБЛЮЖЬЕЙ КОЛЮЧКИ (ALHAGI KIRGISORUM S).....152
- Л. Султанова, Г. Мусина, А. Аманжолова, К. Ерланова, М. Аяпберген**
ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА НАКОПИТЕЛЕЙ НА ФЛОТАЦИОННУЮ
СПОСОБНОСТЬ ДИТИОФОСФАТА НАТРИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ
К ОБРАЗЦАМ МАРГАНЦЕВЫХ РУД.....165
- А.К. Токтабаева, Р.К. Рахметуллаева, Г.С. Ирмухаметова, А.Ж. Аликулов**
РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ГИДРОГЕЛЯ
НА ОСНОВЕ N-(2-ВИНИЛОКСИЭТИЛА)-N-(2-ЦИАНОЭТИЛА) АМИНА
(ВОЭЦЭА) ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ.....175
- М.Я. Хакимов, Д.Т. Абдулетип, П.И. Уркимбаева, Г.С. Ирмухаметова,
З.А. Кенесова**
ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕВЫХ ПОВЯЗОК НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ
ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, 2-ГИДРОКСИЭТИЛАКРИЛАТА И
N-ВИНИЛКАПРОЛАКТАМА С БАКТЕРИЦИДНЫМ
ДЕЙСТВИЕМ.....186
- Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова**
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УЗЕЛ КРЕПЕЖА ДЛЯ УСТАНОВКИ МОДУЛЕЙ
НЕЙТРАЛИЗАЦИИ В ДЫМООТВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ.....195

CONTENTS

CHEMISTRY

G.E. Azimbayeva, G.N. Kudaibergenova, A.K. Kamysbayeva, N.M. Kurbanbayeva, Sh. Zh. Balkhashbay DETERMINATION OF FATTY ACIDS IN THE COMPOSITION OF JERUSALEM ARTICHOKE AND DAHLIA LEAVES.....	5
Zh.S. Baizakova, E.V. Solodova, A.T. Kozhabergenov, S. Kozykan, L.K. Bupebaeva TECHNOCHEMICAL CONTROL MEASURES IN THE PROCESS OF MEAT PRODUCTION.....	16
G.Zh. Baisalova, A.B. Zhunisova, A.B. Shukirbekova, B.B. Torsykbaeva, B.S. Imangaliyeva OPTIMIZATION OF THE EXTRACTION PROCESS OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPLEXES FROM PSORALEA DRUPACEA BGE ROOTS.....	34
A.S. Dauletbayev, K.A. Kadirbekov, A.D. Altynbek, M.Sh. Suleimenova, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina STUDY OF CONCENTRATION AND CHARACTERISTICS OF CATION AND ANION COMPOSITION IN URANIUM PRODUCTION.....	43
N. Zhumasheva, M. Tursynbek, F. Sultanov, A. Mentbaeva, L. Kudreyeva, Z. Bakenov RICE HUSK-BASED POROUS GRAPHENE-LIKE CARBON COMPOSITE WITH NICKEL OXIDE NANOPARTICLES FOR LITHIUM-SULFUR BATTERIES.....	58
D.T. Kassymova, G.E. Zhusupova DEVELOPMENT AND EVALUATION OF TOPICAL HERBAL GELS WITH PLANT EXTRACTS FROM LIMONIUM GMELINII.....	75
B.K. Kenzhaliyev, T.S. Omirbek, A.N. Berkinbayeva, Sh. Saulebekkyzy, N.M. Tolegenova MICROWAVE-ASSISTED ZINC EXTRACTION FROM INDUSTRIAL CLINKER: OPTIMIZING PHASE TRANSFORMATIONS AND ENHANCING LEACHING EFFICIENCY.....	94
D.M. Kenzhebekov, A.Ye. Khussanov, I. Iristaev1, A. Zholshybek, D.Zh. Dzhanabayev MULTIPHYSICAL MODELING OF A PIPE-IN-PIPE HEAT EXCHANGER WITH A FLOW INTENSIFIER IN THE FORM OF A TWISTED PROFILED STRIP.....	111

M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova, Zh.D. Alimkulova, S.O.Abilkasova, S.T. Daumetova NEW SELECTIVE SORBENTS FOR THE EXTRACTION OF ALKALI METAL IONS.....	129
D.S. Seitbekov, E.S. Ihsanov, Koji Matsuoka TECHNOLOGY FOR OBTAINING A COMPLEX OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES BY LYOPHILIZATION FROM THE ABOVEGROUND PART OF THE HALOSTACHYS CASPICA.....	138
S.K. Smailov, E.Zh. Gabdullina, J.T. Lesova, E.K. Assembayeva, D.E. Nurmukhanbetova BIOLOGICAL ACTIVITY OF POLYPHENOLIC COMPOUND FROM ALHAGY (ALHAGI KIRGISORUM S) PLANTS.....	152
L. Sultanova, G.Musina, A. Amanzholova, K.Erlanova, M.Ayapbergen THE EFFECT OF STORAGE YIELD ON THE FLOTATION CAPACITY OF SODIUM DITHIOPHOSPHATE IN RELATION TO SAMPLES OF MANGANESE ORES	165
A.K. Toktabayeva, R.K. Rakhmetullayeva, G.S. Irmukhametova, A.Z. Alikulov REGULATION OF THE PHASE TRANSITION TEMPERATURE OF A HYDROGEL BASED ON N-(2-VINYLOXYETHYL)-N-(2-CYANOETHYL) AMINE (VOECEA) WITH SURFACTANTS.....	175
M.Y. Khakimov, D.T.Abduletip, P.I. Urkimbayeva, G.S. Irmukhametova, Z.A. Kenessova OBTAINING HYDROGEL DRESSINGS BASED ON COPOLYMERS OF POLYVINYL ALCOHOL, 2-HYDROXYETHYL ACRYLATE, AND N-VINYLCAPROLACTAM WITH A BACTERIOCIDAL EFFECT.....	186
B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova UNIVERSAL FASTENER ASSEMBLY FOR INSTALLATION OF NEUTRALIZATION MODULES IN INDUSTRIAL FLUES IN DECARBONIZATION TECHNOLOGY.....	195

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 17.12.2024.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

13,5 п.л. Тираж 300. Заказ 4.