

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2
2026**

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

2026 • 2



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovitch, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960> <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial Board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center", (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

RAMAZANOV Tlekkaul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3A>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

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

РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГІНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея Биология және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIIBV), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанотехнология материалдары зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ӘБІШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі 05.06.2025 ж. берген № KZ93VPY00121157 Куәлік.

Тақырыптық бағыты: физика, химия.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

АДЕКЕНОВ Сергезы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО "Научно-производственного центра "Фитохимия" (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэжон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағәевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

АБИЛМАТЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан 05.06.2025

Тематическая направленность: физика, химия.

Периодичность: 4 раза в год.

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

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

PHYSICS

Koshtybayev T.B., Aliev Sh., Aliyeva M.E., Zhavliyeva A.T. Covariant approach to the kinetic theory of plasma in a strong electromagnetic field.....	13
Kemelbekova A., Shongalova A., Bondar E., Otunchi Ye. Recycling technologies for spent lithium-ion batteries: environmental impact, recovered products, and future development trends.....	25
Koilyk N., Baimbetova G., Dalelkhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh. Simplification of the fermionic dynamical symmetry model for identical particles and its mapping into bosonic space.....	38
Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M. Constraints on Yukawa-Type short-range interactions from neutron interferometry data.....	60
Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A. Tin-based perovskites.....	70
Nurtazina A.S., Zhubaev A.K. Study of the effect of highly dispersed ochre on the kinetic characteristics of epoxy composites.....	92
Shokanov A.K., Khamrayev Sh.I., Smikhan Y.A. Mössbauer studies of fly ash-based tracers.....	103
Ualikhanova U.A., Kurban Y.Y., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B. Breaking the degeneracy between metric and teleparallel gravity theories through multi-messenger gravitational-wave astronomy.....	119
Zhadyranova A.A., Yerzhan B. Dynamics of bounce regimes in modified teleparallel gravity.....	134
Zhusupova N.K. Application of machine learning methods in the analysis of gravitational waves and cosmological models.....	151

CHEMISTRY

Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K. Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts.....	164
Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K. Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....	175
Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh. Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....	188

Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Pustolaikina I.A., Kazhmuratova A.T., Tazhibay A.M. Production of α -, β -, γ -oligosaccharide clathrate cytosine complexes.....	200
Jalmakhanbetova R.I., Yelshibayeva A.M., Zhumagaliyeva Zh.Zh., Mukusheva G.K. Terpenoid compounds of <i>Artemisia terrae-albae</i> growing in the Turkestan Region of Kazakhstan.....	213
Kapizov O.S., Mukhanov D.K., Dzheldybaeva I.M., Seisenov E.B., Akimbayeva A.B. Sustainable recycling of ferrosilicon machining chips from metallurgical plants into high-performance silicon–carbon anodes.....	228
Massalimova B.K. Wastewater treatment methods for heavy metal removal: production of activated carbon from biomass.....	244
Nurtai Zh., Orynbassar R., Aimaganbetova Z.K., Zhanturina N.N. Simulation of kinetic parameters of vinyl ester resin samples with diatomite and dimethyl methylphosphonate fillers.....	272
Sagyntayeva A., Zhanikulov N., Sudarev E., Kaiyrbaeva M., Zhakipbayev B. Research on the quality of raw materials for obtaining gypsum-cement-pozzolanic composite material.....	286
Satayeva S., Yermukhanova S., Urazova A., Mendygaliyeva A., Sabitov B. Obtaining benzene by photocatalytic oxidation of toluene.....	302
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Sarova N.B., Muhtar T.Zh., Zhaltirbayeva N.K. Efficiency of phosphorus-containing inhibitors in protecting steel against corrosion.....	315
Shaimardan M., Azhikhanova Z., Abutalip M., Toktarbaiuly O. Isolation and Characterization of lignin from <i>Phlomis tuberosa</i> L. biomass via acid treatment.....	329
Yesimsiitova Z.B., Seisenova A., Oryngaliyeva S.Zh., Sanuar A., Manap K.R. Obtaining carbonized materials from rice husk using a mobile pyrolysis plant for energy applications.....	338
Zhetenova M.S., Suleimenova M.Sh., Nuraly A.M., Mutushev A.Zh., Kalimoldina L.M. Development and research of carotenoid-containing extracts obtained from plant raw materials.....	353
Zhortarova A.A., Kubicek V., Salkeyeva L.K., Ibrayev M.K., Seidakhmetova R.B. Synthesis and investigation of biological activity of 1,3-Bis(4-Phenylthiazol-2-yl)-2,4-Bis(N,N- Diethylamino)-1,3-Diaza-2,4-Diphosphétidine.....	367
Zhumabek M., Tungatarova S.A., Murzin D.Yu., Baizhumanova T.S. Structural and catalytic properties of SCS-derived Co–Al–Mg–Mn catalysts in dry reforming of methane.....	383

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Қоштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева Е.М., Жавлиева А.Т. Күшті электромагниттік өрістегі плазманың кинетикалық теориясына коварианттық көзқарас.....	13
Кемелбекова А., Шонғалова А., Бондарь Е., Отунчи Е. Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеу технологиялары: экологиялық әсері, алынатын өнімдер және болашақ даму бағыттары.....	25
Қойлық Н.О., Байымбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.А., Примкулова Ж.Е. Бірдей бөлшектер үшін фермионды динамикалы-симметриялық модельді ықшамдау және оны бозондық кеңістікке бейнелеу.....	38
Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курманғалиева В., Сноу М. Нейтрондық интерферометрия негізінде юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулерге шектеулер қою.....	60
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А. Қалайы негізіндегі перовскиттер.....	70
Нуртазина А.С., Жубаев А.К. Дисперстілігі жоғары охраның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Ұшқыш күл негізіндегі трассерлердің мессбауэрлік зерттеулері.....	103
Уалиханова У.А., Құрбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Көп арналы гравитациялық-толқындық астрономия арқылы метрикалық және телепараллельді гравитация теорияларының айырмашылығын зерттеу.....	119
Жадыранова А.А., Ержан Б. Модификацияланған телепараллель гравитациядағы серпіліс режимдерінің динамикасы.....	134
Жусупова Н.К. Машиналық оқыту әдістерін гравитациялық толқындар мен космологиялық модельдерді талдауда қолдану.....	151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ. Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру.....	164
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Серпентинит қалдықтарының фосфор қышқылымен әрекеттесу өнімдерінің физика-химиялық зерттелуі.....	175

Башова А.К., Башов А.Б., Түлешова Э.Ж.

Мыс иондарын күкіртқышқылды ерітінділерде титан (IV) иондары қатысында мырышпен тотықсыздандыру.....188

Фазылов С.Д., Сыздықов А.Қ., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.
Цитизиннің α -, β -, γ -олигосахаридтермен клатраттыкешендерін алу.....200

Джалмаханбетова Р.И., Елшібаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.
Қазақстанның Түркістан өңірінде өсетін *Artemisia terrae-albae* терпеноидты қосылыстары.....213

Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенев Е.Б., Акимбаева А.Б.
Металлургиялық зауыттардың ферросилиций жоңқаларын жоғары өнімді кремний-көміртекті анодтарға тұрақты қайта өңдеу.....228

Масалимова Б.К.
Ауыр металдардан ағын суларды жою әдістері: биомассада белсендендірілген көміртек алу.....244

Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймағанбетова З.К., Жантурина Н.Н.
Диатомит пен диметил метилфосфонат толтырғыштары бар винилэфир шайыр үлгілерінің кинетикалық параметрлерінің модельдеу.....272

Сағынтаева А., Жаниқұлов Н., Сударев Е., Қайырбаева М., Жакипбаев Б.
Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін қажетті шикізаттардың сапасын зерттеу.....286

Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендығалиева А., Сабитов Б.
Толуолдың фотокаталитикалық тотығуы арқылы бензол алу.....302

Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мұхтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.
Фосфор ингибиторлардың болаттың жемірілуіне қарсы тиімділігі.....315

Шаймардан М., Ажиханова Ж., Әбутәліп М., Тоқтарбайұлы О.
Phlomis Tuberosa L. өсімдігі биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы бөліп алу және сипаттау.....329

Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынғалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.
Энергиялық қолдану үшін жылжымалы пиролиз қондырғысын пайдалану арқылы күріш қауызынан көміртекті материалдар алу.....338

Жетенова М.С., Сүлейменова М.Ш., Нұралы Ә.М., Мутушев А.Ж., Калимолдина Л.М.
Өсімдік шикізатынан алынған құрамында каротиноид бар сығындыларды әзірлеу және зерттеу.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.
1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидиннің
синтезі және биологиялық белсенділігін зерттеу.....367

Жұмабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.
SCS әдісімен дайындалған Co–Al–Mg–Mn катализаторларының метанның құрғақ
реформингіндегі құрылымдық және каталитикалық қасиеттері.....383

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Коштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева М.Е., Жавлиева А.Т. Ковариантный подход к кинетической теории плазмы в сильном электромагнитном поле.....	13
Кемелбекова А., Шонгалова А., Бондарь Е., Отунчи Е. Технологии переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов: экологическое воздействие, получаемые продукты и будущие направления развития.....	25
Қойлық Н.О., Баймбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.Ә., Примкулова Ж.Е. Упрощение фермионной динамико-симметрической модели для идентичных частиц и её отображение в бозонное пространство.....	38
Масак Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М. Ограничения на юкавовские короткодействующие взаимодействия на основе нейтронной интерферометрии.....	60
Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А. Перовскиты на основе олова.....	70
Нуртазина А.С., Жубаев А.К. Исследование влияния высокодисперсной охры на кинетические характеристики эпоксидных композитов.....	92
Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А. Мёсбауэровские исследования трассеров на основе летучей золы.....	103
Уалиханова У.А., Курбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Разрешение вырождения метрических и телепараллельных теорий гравитации посредством многоканальной гравитационно-волновой астрономии.....	119
Жадыранова А.А., Ержан Б. Динамика отскоковых режимов в модифицированной телепараллельной гравитации.....	134
Жусупова Н.К. Применение методов машинного обучения при анализе гравитационных волн и космологических моделей.....	151

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай К., Амантайулы К. Конверсия полимерных отходов в синтетическое топливо путем модификации цеолита тайжугзен солями вольфрама.....	164
--	-----

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Физико-химическое исследование продуктов взаимодействия серпентинитовых отходов и фосфорной кислоты.....	175
Башова А.К., Башов А.Б., Тулешова Э.Ж. Восстановление ионов меди цинком в присутствии ионов титана (IV) в растворах серной кислоты.....	188
Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Пустолайкина И.А., Кажмуратова А.Т., Тажибай А.М. Получение α -, β -, γ -олигосахаридных клатратных комплексов цитизина.....	200
Джалмаханбетова Р.И., Елшыбаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К. Терпеноидные соединения <i>Artemisia terrae-albae</i> , произрастающего в Туркестанском регионе Казахстана.....	213
Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б. Устойчивая переработка стружки ферросилиция металлургических заводов в высокопроизводительные кремний-углеродные аноды.....	228
Масалимова Б.К. Методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: получение активированного угля из биомассы.....	244
Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймаганбетова З.К., Жантурина Н.Н. Моделирование кинетических параметров образцов винилэфирных смол с наполнителями из диатомита и диметилметилфосфоната.....	272
Сагынтаева А., Жаникулов Н., Сударев Е., Кайырбаева М., Жакипбаев Б. Исследование качества сырья для получения гипсо-цементно-пуццоланового композиционного материала.....	286
Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендыгилиева А., Сабитов Б. Получение бензола методом фотокаталитического окисления толуола.....	302
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мухтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К. Эффективность фосфорсодержащих ингибиторов против коррозии стали.....	315
Шаймардан М., Ажиханова Ж., Абуталип М., Токтарбай О. Выделение и характеристика лигнина из биомассы <i>Phlomis Tuberosa L.</i> с помощью кислотной обработки.....	329
Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынгалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р. Получение карбонизированных материалов из рисовой шелухи с использованием мобильной пиролизной установки для энергетических применений.....	338

**Жетенова М.С., Сулейменова М.Ш., Нуралы А.М., Мутушев А.Ж.,
Калимолдина Л.М.**

Разработка и исследование каротиноидсодержащих экстрактов, полученных
из растительного сырья.....353

Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.

Синтез и исследование биологической активности 1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-
бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидина.....353

Жумабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.

Структурные и каталитические свойства Co–Al–Mg–Mn катализаторов, приготовленных
методом SCS, для сухого риформинга метана.....383

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 2.
Number 358 (2026), 244–271

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.450>

UDC: 628.316:661.183.2:504.064

IRSTI: 31.21.01

©Massalimova B.K., 2026.

M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan.

E-mail: bkmasalimova@ku.edu.kz

WASTEWATER TREATMENT METHODS FROM HEAVY METALS: OBTAINING ACTIVATED CARBON FROM BIOMASS

Massalimova Bakytgul — Candidate of Chemical Sciences, Professor, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan,
E-mail: bkmasalimova@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0135-9712>.

Abstract. The rapid population growth, industrialization, the expansion of intensive agriculture, and global environmental changes have led to an increasing demand for high-quality freshwater resources. Over recent decades, water quality has significantly deteriorated due to anthropogenic impacts, including urbanization, industrial development, and the unsustainable use of natural water resources. In this context, the development of efficient, cost-effective, and environmentally sustainable water treatment technologies has become increasingly important.

Among existing water treatment methods, adsorption is considered one of the most promising approaches because of its high efficiency, operational simplicity, and ability to remove a wide range of contaminants. In wastewater treatment systems, adsorption processes are commonly applied after biological and chemical oxidation stages to eliminate dissolved organic and inorganic pollutants. Activated carbon remains the most widely used adsorbent due to its high sorption capacity for dyes and heavy metal ions in aqueous media.

Contamination of water resources with heavy metals represents a serious environmental and public health concern. This article reviews the principal methods for the removal of heavy metal ions from wastewater, with particular emphasis on adsorption techniques employing activated carbon derived from plant-based materials. Special attention is given to activated carbon produced from buckwheat husk as an agricultural waste precursor. The preparation methods, physicochemical properties, and adsorption performance of the obtained activated carbon toward heavy metal ions are analyzed. The study highlights the potential of agricultural waste valorization for the development of low-cost, environmentally friendly, and sustainable sorbent materials for wastewater treatment applications.



Keywords: wastewater, water treatment, heavy metals, adsorption, activated carbon, cheap adsorbents, buckwheat husk

Financing. *The study was conducted with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR28712227).*

For citations: *Massalimova B.K. Wastewater Treatment Methods for Heavy Metal Removal: Production of Activated Carbon from Biomass. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.2. Pp. 244–271. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.450>*

©Масалимова Б.К., 2026.

М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,

Петропавловск, Қазақстан.

E-mail: bkmasalimova@ku.edu.kz

АУЫР МЕТАЛДАРДАН АҒЫН СУЛАРДЫ ЖОЮ ӘДІСТЕРІ: БИОМАССАДАН БЕЛСЕНДЕНДІРІЛГЕН КӨМІРТЕК АЛУ

Масалимова Бакытгуль — химия ғылымдарының кандидаты, профессор, М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан,
E-mail: bkmasalimova@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0125>.

Аннотация. Дүниежүзіндегі халық санының жылдам өсуі, халық шаруашылығын индустрияландыру, озық ауылшаруашылық тәжірибелер, геологиялық, экологиялық және жаһандық өзгерістер сапалы тұщы су сұранысына әкеліп отыр. Жылдар бойы су сапасы негізінен антропогендік әрекеттердің, халық санының өсуінің, жоспарланбаған урбанизацияның, жедел индустрияланудың, табиғи су ресурстарды тиімсіз пайдаланудың салдарынан нашарлап келеді. Қазіргі экологиялық стратегиялардың әсерін ескере отырып, олардың маңыздылығының артуы зерттеушілерді судан ластаушы заттарды тиімді түрде жоя алатын, экономикалық тұрғыдан тиімді әрі экологиялық қауіпсіз технологияларды дамытуға әкелді, жаңа технологиялар халықтың денсаулығын қорғауға бағытталған.

Судың ластануын бақылау және азайту үшін әртүрлі тиімділік деңгейдегі көптеген тазарту технологиялары бар. Әдістердің көпшілігінің кемшіліктері бар, жоғары пайдалану және қызмет көрсету шығындары, улы тұнбалардың түзілуі және күрделі тазарту процестері жатады. Осыған қарағанда, адсорбция процесі су мен ағынды суларды тазартуда ыңғайлылығы, қолданудың қарапайымдылығы және құрылымының жеңілдігі себепті тиімді балама ретінде қарастырылады. Ағынды суларды тазарту қондырғыларында адсорбция процесі биологиялық кезеңдерден немесе химиялық тотығудан кейін суда қалған еріген ластаушы заттарды жою үшін қолданылады. Қазіргі таңда ең кең таралған адсорбент

– белсендендірілген көмір. Ол бояғыштар мен ауыр металл иондары сияқты әртүрлі ластанушыларды судан жою үшін жиі пайдаланылады.

Судың ауыр металл иондарымен ластануы қоршаған орта мен халық денсаулығы үшін күрделі мәселелер болып табылады. Мақалада ағынды сулардан ауыр металл иондарын жоюдың негізгі әдістері қарастырылды. Өсімдік материалдарынан алынатын белсендірілген көмірді қолдану арқылы адсорбциялау әдістеріне ерекше назар аударылды. Мақалада қарақұмық қауызынан белсендендірілген көмір алу технологияларына, олардың физика-химиялық қасиеттеріне және ауыр металл иондарын жоюдағы тиімділігіне шолу жасалды. Ауылшаруашылық қалдықтарынан белсендендірілген көмір алудың әдістері, технологиялық параметрлары, адсорбция факторлары талданды. Ауылшаруашылық қалдықтарын пайдалану арқылы үнемді және экологиялық таза сорбенттер жасаудың перспективалы жолы көрсетілді.

Түйін сөздер: ағынды сулар, суды тазарту, ауыр металдар, адсорбция, белсендірілген көмір, арзан адсорбенттер, қарақұмық қабығы

©Масалимова Б.К., 2026.

Северо-Казахстанский университет имени М.Козыбаева,

Петропавловск, Казахстан.

E-mail: bkmasalimova@ku.edu.kz

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ: ПОЛУЧЕНИЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ БИОМАССЫ

Масалимова Бакытгуль — кандидат химических наук, профессор, Северо-Казахстанский университет имени М.Козыбаева, Петропавловск, Казахстан,
E-mail: bkmasalimova@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0135-9712>.

Аннотация. Увеличение численности населения, индустриализация экономики, интенсификация сельского хозяйства и усиление антропогенной нагрузки приводят к росту потребности в качественных водных ресурсах и обострению проблемы загрязнения окружающей среды. Одним из наиболее опасных видов загрязнения является накопление тяжёлых металлов в природных и сточных водах, представляющее серьёзную экологическую и санитарно-гигиеническую угрозу. В настоящее время для удаления ионов тяжёлых металлов применяются различные физико-химические и биологические методы очистки. Однако многие из них характеризуются высокими эксплуатационными затратами, сложностью технологического процесса и образованием вторичных токсичных отходов. В связи с этим адсорбционные технологии рассматриваются как перспективное направление очистки воды благодаря высокой эффективности, простоте реализации и экономической доступности. В статье проведён анализ основных методов очистки сточных вод от тяжёлых металлов с особым вниманием к адсорбционным технологиям на основе активированного угля. Рассмотрены способы получения активированного угля из растительного сырья,

в частности из гречишной шелухи, являющейся доступным и возобновляемым биоресурсом. Проанализированы особенности химической активации биомассы, физико-химические свойства полученных углеродных материалов и их адсорбционная способность по отношению к ионам тяжёлых металлов. Показано, что использование биомассы для получения активированного угля позволяет одновременно решать задачи утилизации сельскохозяйственных отходов и создания эффективных сорбентов для водоочистки. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения активированных углеродных материалов растительного происхождения в технологиях очистки природных и сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, очистка воды, тяжелые металлы, адсорбция, активированный уголь, дешевые адсорбенты, гречневая шелуха

Кіріспе. Ағынды сулардан ауыр металл иондарын жою үшін әртүрлі әдістер қолданылса да, оңтайлы тазарту нақты жағдайға сәйкес практикалық болып қана қоймай, сонымен қатар ұлттық деңгейде белгіленген ең жоғары ластаушы деңгейлерге сай болуы керек. Мақала ағынды суларды ауыр металл иондарынан тазартудың әртүрлі әдістері, олардың артықшылықтары мен шектеулерін бағалау және ағынды сулардан ауыр металл иондарын жоюдың жаңа тенденцияларына шолу ретінде ұсынылды. Ағынды су құрамындағы ауыр металл иондарын жою үшін арзан адсорбент ретінде ауылшаруашылық қалдықтарын қолдануға бағытталған. Ауылшаруашылық қалдықтарынан белсендендірілген көмір алудың әдістері, технологиялық параметрлары, адсорбцияға әсер ететін факторлар талданды.

Біріккен Ұлттар Ұйымының «Дүниежүзілік суды дамыту 2025: таулар мен мұздықтар – су мұнаралары» баяндамасы қатып қалған су ресурстарындағы жылдам өзгерістерді бір уақытта азайтуға және оларға бейімделуге көмектесетін шешімдерді ұсынды. Аналитикалық есепте ағымдағы жағдайға нақты шолу жасалып, қажетті өзгертулер бойынша ұсыныстар берілген, атап айтқанда, көмірқышқыл газының шығарындыларын күрт азайтудың шұғыл қажеттілігіне баса назар аударған [UN Water, 2025]. БҰҰ есептеріне сәйкес (2024–2026 жж.), дүние жүзінде тұщы судың сапасы қарқынды түрде төмендеп, су ресурстары деградацияға ұшырап отыр. Ағынды сулардың шамамен 80% «сапасы жақсы» болып саналады, ал әлем халқының 50% су тапшылығынан зардап шегеді. Судың сапасы бойынша негізгі тұжырымдар мен фактілер (БҰҰ):

1) Тазарту дағдарысы: Өнеркәсіптік және тұрмыстық ағынды сулардың үлкен көлемі тазартылмаған күйде экожүйелерге түсіп, тұщы су көздерін ластайды.

2) Ресурстардың деградациясы: әлем елдерінің жартысында Тұщы су ресурстарын бақылаудың тиісті жүйелері жоқ, ал тіркелген жүйелер деградацияға ұшыраған.

3) Қолжетімділік және қауіпсіздік: Дүниежүзі тұрғындарының жартысына жуығы жылдың кем дегенде бір бөлігінде су тапшылығын сезінеді.

4) Гендерлік: су дағдарысы теңсіздікпен шиеленіседі; Әйелдер мен қыздар қауіпсіз суды табудың ауыртпалығын жиі көтереді.

Біріккен Ұлттар Ұйымы дағдарысты еңсеру үшін келісілген шараларды, тазарту құрылыстарына инвестиция салуды және су сапасын қатаң бақылауды қажет ететінін атап көрсетеді (UN Water, 2025).

Қазіргі уақытта қоршаған ортаға құрамында ауыр металл иондары бар ағынды сулардың көп мөлшері шығарылуы көптеген ғылыми зерттеу нәтижелерінде көрсетілген. Ауыр металдар атомдық салмағы 63,5-тен 200,6-ға дейінгі элементтер тобына жатады. Мысалы, қорғасын (Pb), кадмий (Cd), хром (Cr), никель (Ni), мыс (Cu) және т.б. Тұщы су ресурстарын ең қауіпті ластаушы заттар болып табылады. Сонымен қатар, канцерогенді, тератогенді және денсаулыққа елеулі мәселелер тудыратын ауыр металдар адам ағзасында қоректік тізбектер арқылы жиналуы мүмкін. Сондықтан ауыр металдармен ластанған ағынды суларды тазартудың өзектілігі өте жоғары (Seimukhanova et.al., 2025). Судың ластануы ең өзекті жаһандық мәселелердің бірі болып қала береді, өйткені су көздері ауыр металдар, бояғыштар, пестицидтер, беттік белсенді заттар, жеке гигиена құралдары және ауыл шаруашылығы, коммуналдық және өнеркәсіптік қызмет нәтижесінде пайда болатын заттармен көбірек ластанып отыр (Adamović et al., 2024; Wang et al., 2025; Zhao et al., 2026).

Ауыл шаруашылығы қалдықтарының жаһандық көлемі жылына 1,4 миллиард тоннадан асады, бұл жоғары көміртекті шикізатты және белсендендірілген көмірді табиғи кеуектермен қамтамасыз етеді. Қайта өңдеу метан шығарындыларын азайтады және шикізат шығындарын 60–80% қысқартады (Wang. et al., 2025). Қытайдың «қос көміртегі» стратегиясы және 14-ші бесжылдық жоспары 2025 жылға қарай сабанды 86% пайдалануды мақсат етеді, бұл биомассадан алынатын белсендендірілген көмірді индустрияландыруды жеделдетеді. Судың, әсіресе ауыр металл ионадрымен ластануы осы ластаушы заттардың тұрақтылығына, ыдырамайтындығына және биоаккумуляциялық қасиеттеріне байланысты күрделі жаһандық мәселе болып қала береді. Жылдам индустрияландыру, қаланың өсуі және адам әрекеті судың ластануына айтарлықтай әсеріне байланысты болғандықтан, тиімді, тұрақты және үнемді тазарту әдістерін қажет етеді. Суды тазартудың дәстүрлі әдістері кеңінен қолданылғанымен, су ортасындағы күрделі химиялық әрекетке және ауыр металл иондарының төмен концентрациясына жиі сәйкес келмейді. Қазіргі таңда беттік қасиеттері, реттелетін функционалдығы және жақсартылған реактивтілігіне байланысты арзан адсорбенттерді қолданатын адсорбция әдістеріне үлкен қызығушылық тудырды.

Қоршаған ортаны қалпына келтіру үшін ауылшаруашылық жанама өнімдерін пайдалану және осындай қалдықтардан құнды материалдарды алу тұрақты тәжірибелер мен қалдықтарды тиімді өңдеудің негізгі аспектілері болып табылады. Ауылшаруашылық қалдықтарын биоотынға қайта өңдеу, биоорганикалық тыңайтқыштар және белсендендірілген көмір (Metyouy et al., 2024) табиғи ресурстарға тәуелділікті азайтудың және дәстүрлі ауылшаруашылық тәжірибелерінің қоршаған ортаға әсерін азайтудың перспективалы әдісін ұсынады.

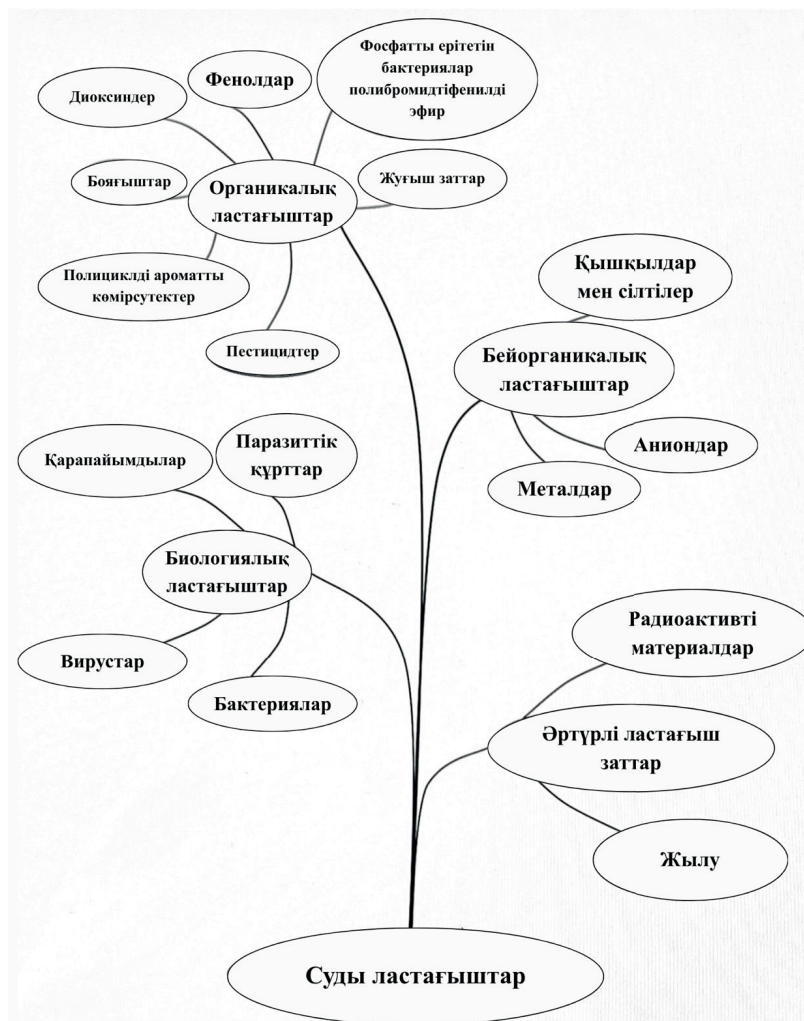
Халық санының өсуі, жылдам индустрияландыру, заманауи ауылшаруашылық тәжірибелері, отандық қызмет және басқа да геологиялық, экологиялық және жаһандық өзгерістер тұщы су сұранысы мен сапасына шамадан тыс қажеттілікке әкеліп отыр. Біріккен Ұлттар Ұйымының Суды дамыту есебіне сәйкес, су объектілеріне күн сайын шамамен 2 миллион тонна қалдық тасталады, соның ішінде өнеркәсіп қалдықтары, бояулар мен химиялық заттар, тұрмыстық қалдықтар және ауыл шаруашылығы қалдықтары (тыңайтқыштар мен пестицидтер). Осыған байланысты әлемде тұщы судың өткір тапшылығы туындауы мүмкін. Тұщы су біздің ғаламның маңызды және қажетті құрамдас бөлігі болып табылады және Жер экожүйесінің дұрыс жұмыс істеуінде маңызды рөл атқарады (Wang et al., 2023; Adamović et al., 2024). Дүниежүзілік су ресурстары шектеулі болғандықтан, алдағы онжылдықтарда тұщы су өндірудің жалғыз баламасы суды тазарту және қайта пайдалану әдістеріне байланысты ғылыми зерттеулер қарқынды түрде дамып келеді. Сондықтан, ағынды суларды тазартудың қолайлы, арзан және жылдам технологияларын, сондай-ақ оны қайта пайдалану немесе сақтау әдістерін әзірлеу қажет. Осы мақсатта суды тазартудың бірнеше технологиялары жасалған. Осы фактілерді ескере отырып, суды тазарту және қайта пайдалану технологияларының әртүрлі түрлерін олардың негізгі принциптері, қолданылуы, техникалық қызмет көрсетуі және жарамдылығы тұрғысынан қарастыру қажет.

Жоғарыда талқыланғандай, 2050 жылға қарай әлем халқының саны 9,5 миллиардқа жетеді деп күтілуде. Халықтың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіп өседі. Осы факторлардың барлығы – халық санының өсуі, өнеркәсіп және ауыл шаруашылығы – тұщы су қорының ұлғаюына әкеледі. Әрине, біздің планетамыздағы тұщы судың мөлшері шектеулі және болашақта өсіп келе жатқан сұранысты ағынды суларды қайта өңдеу және қайта пайдалану арқылы қанағаттандыруға болады. Қазіргі уақытта көптеген елдер суды қайта өңдеуді пайдаланады, бірақ болашақта бүкіл әлем осы технологияға тәуелді болады. Бүгінгі таңда суды қайта өңдеу әдістері экономикалық тұрғыдан тиімді емес және дамушы және дамымаған елдер үшін қолжетімсіз. Сондықтан дамымаған елдер болашақта суды қайта өңдеуді пайдалана алуы үшін суды қайта өңдеудің үнемді әдістерін әзірлеу қажет. Қорытындылай келе, суды өңдеу технологиясы біздің өміріміздің маңызды бөлігі ретінде болашақтың қажеттілігіне айналады (Diaz De Tuesta et al., 2022; Adamović et al., 2024).

Қазіргі кезеңдегі қоғамның әлеуметтік-экономикалық дамуының экологиялық концепциясына жауап беретін жоғары тиімді, экологиялық таза өнеркәсіптік технологиялар мен қоршаған ортаны қорғау іс-шараларын дамытудың перспективалық бағыттарының бірі белсендендірілген көмірдің әртүрлі түрлерін пайдалану болып табылады. Ауыл шаруашылығы, тұрмыстық және өнеркәсіптік қосалқы өнімдердің төмен құны оларды ағынды суларды тазартуға жарамды етеді. Қалдықтарды азайта отырып, ағынды сулардан ластаушы заттарды жоя алады және оларды қалпына келтіруге және қайта пайдалануға болады. Соңғы жылдары жарияланған көптеген аналитикалық шолуларға қарамастан, әртүрлі сорбенттерді

қолдану арқылы алынған мәліметтерді тікелей салыстыру қазіргі уақытта оларды ұсынудағы сәйкессіздіктерге байланысты қиын.

Осы мақсатта сорбенттер келесі топқа бөлінді: ауыл шаруашылығы және тұрмыстық қалдықтар, өнеркәсіптік қосалқы өнімдер; теңіз материалдары, топырақ және кен материалдары, жаңа арзан адсорбенттер (Gupta, 2013; Adamović et al., 2024). Суды ластағыштар табиғаты мен шығу тегі бойынша органикалық, бейорганикалық және биологиялық болып жіктеледі. Ластағыш заттардың жіктелуі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Суды ластағыш заттардың химиялық табиғаты бойынша жіктелуі (Gupta, 2013).

Сонымен қатар, әртүрлі ластағыш заттарды шығаратын объектілердің тізімі 1-кестеде келтірілген. Төменде ластаушы заттардың түрлерінің қысқаша сипаттамасы берілген.

Кесте 1. Әртүрлі ластағыш заттарды шығаратын өнеркәсіптер тізімі (Gupta, 2013).

№	Өнеркәсіптер	Бейорганикалық ластағыштар	Органикалық ластағыштар
1	Мұнай өңдейтін зауыттар	Сульфидтер, Hg, Cr, Sb	Oil-30, phenol-30, dioxin, furan, PAH, PCBs
2	Металдар өндірісі және өңдеу	As, Cd, Pb, Se, Fe, Zn, Al, Ni	PCB, PAH, dioxins, oil, cyanides
3	Шыны өндірісі	Силикаттар және басқа минералды оксидтердің қалдықтары	Эмульсияланған май, кальцинирленген сода
4	Керамика өндірісі	фторидтер	Ақпарат қолжетімсіз
5	Кокс-химия өндірісі	Аммиак, цианидтер	Фенолдар, күкіртті сутек, шайырлар, көмірсутектер, тиоцианаттар, органикалық суспензия
6	Қалдықтарды жағу және көмуге арналған полигондар	Кадмий, қорғасын, сынап	Хлорбензол, хлорфенолдар, Фурандар және диоксиндер
7	Целлюлоза-қағаз комбинаттары, картон өңдеу зауыттары	Сульфидтер, бос хлор	Метилмеркаптандар, пентахлорфенольдегидтер, кетондар, сульфонат лигнита және органикалық суспензия
8	Органикалық химия	Ақпарат қолжетімсіз	Фенолдар, органикалық қышқылдар, нитрокосылыстар
9	Тыңайтқыш	Күкірт қышқылы, фосфор және кремний қышқылдары, фтор қосылыстары, тұз қышқылы, мышьяк	моноэтаноламиндер
10	Мұнай өңдеу	Сульфидтер, хлоридтер, сульфаттар	Нафталинді қышқыл, мұнай-өнімдері, фенолдар, беттік белсенді заттар
11	Болат зауыттары	NH ₃ /N-1000	Май, майлағыш заттар, фенолдар
12	Металл өндірісі	Мыс, қорғасын, кадмий, хром, мырыш	Ақпарат қолжетімсіз
13	Текстиль өндірісі	Cr-5	Жұғыш заттар, бояғыштар
14	Металлургия өнеркәсібі	Цианды қосылыстар	Кокс, ізбес, фенол, майлар
15	Теріні илеу және өңдеу	Хроматтар, аммонийлі азот, натрий хлориді	Тұндырылған әк
16	Полимерлі және пласт-масса өндірісі	сульфаттар	Стирол, ацетонитрил, акрилаттар, фенолдар, ароматты көмірсутектер, альдегидтер, циклогексан, органикалық қышқылдар және суспензия
17	Синтетикалық каучук өндірісі	Ақпарат қолжетімсіз	Бутилендер, бутадиен, органикалық қышқылдар, ацетонитрил, альдегидтер, спирттер, және көмірсутектер

18	Chlorine industry	Сынап, хлор және хлоридтер	Ақпарат қолжетімсіз
19	Шарап өнеркәсібінің қалдықтары	Натрий, калий, кальций, темір, сульфаттар, хлоридтер	Ақпарат қолжетімсіз
20	Сабын және жуғыш заттар кндірісі	Ақпарат қолжетімсіз	Пропиленнен алынған алкил-бензолсульфонат,
21	Фото өнеркәсібі	Hypo, silver bromide spent solution, and xing reducing agents	Ақпарат қолжетімсіз
22	Тамақ өнеркәсібі	Сілтілік металдар, фосфаттар	аминқышқылдары
23	Пестицидтер өнеркәсібі		дихлорфенол
24	Былғары өнеркәсібі	Хром, сульфидтер	Фенолдар, шарап қышқылы
25	Жарылғыш заттар өнеркәсібі	Ақпарат қолжетімсіз	гитрокосылыстар
26	Кір жуу өнеркәсібі	Сілтілер, бос хлор	Майлар, майлағыш заттар
27	Ағаш өңдеу өнеркәсібі	Мырыш, сульфидтер және сілтілер	Ақпарат қолжетімсіз

Ауылшаруашылық қалдықтарының биомассасы (күнбағыс, күріш, қарақұмық қабығы және т.б.) негізінен 5-6 көміртекті атомдары бар полисахаридтер (целлюлоза – 30-40% және гемицеллюлоза – 10-27%) және жоғары хош иістендірілген полимерлерден (лигнин – 18-24%) құралған. Олардың құрамындағы көміртегі мөлшері салыстырмалы түрде жоғары, күлі 2-3,5% шамасында төмен және ұшқыш қосылыстардың жоғары шығымдылығымен сипатталуына байланысты, мұнай сорбенттері үшін шикізат болып табылады. Сорбенттерді алу мақсатында қалдықтар термотүрлендіруге түседі. Ұшқыш қосылыстарды жою және бастапқы кеуекті құрылымды ұлғайту үшін оларды оттегінің қатысуынсыз карбонизациялайды (Adamović et al., 2024; Ai et al., 2020). Карбонизациялау кезінде құрамы, құрылымы, механикалық сипаттамалары және т.б. физика-химиялық қасиеттерді көрсететін кокс немесе жартылай кокс түзіледі. Карбонизациялау кезінде кокстың бөлінуі және оның қасиеттері процестің жекелеген кезеңдерінің технологиялық параметрларымен анықталады. 2-кестеде әртүрлі өсімдік қалдықтарын түрлендірудің химиялық механизмдері жалпылама түрде сипатталған.

Кесте 2. Арзан адсорбенттерге арналған ғылыми мақалаларға шолу.

№	Әдебиетке сілтеме	Мақсаты	Адсорбент түрі	Зерттелетін ластағыш заттар
1	JiaYu Zhao et.al., 2026	Төмен концентрациядағы қорғасынмен ластанған ағынды суларды тазарту маңызыдылығы көрсетілген. Зерттеуде Pb ²⁺ тиімді жою үшін хитозан-қарақұмық қабықшасынан жасалған биокөмір композитін қолданатын жаңа динамикалық адсорбция процесін ұсынылған.	Қарақұмық қабығы	Ауыр металдар

2	Adamović et.al., 2024	Қарақұмық қабығы, қарақұмық өңдеудің жанама өнімі, олардың қолжетімділігімен, үнемділігімен және энергетикалық және экологиялық мақсаттар үшін шикізат ретінде қолданылуына басымдылық берілген. Ауыр металдар мен синтетикалық бояғыштарды қоса алғанда, суды ластағыш заттарды жою үшін адсорбциялық процестерде табиғи (түрлендірілмеген) және химиялық немесе физикалық түрлендірілген қарақұмық қабығын пайдалану қарастырылған.	Қарақұмық қабығы	Ауыр металдар
3	Wang et.al, 2023.	Шолуда ауыр металдардың көздері, жою әдістері және биомассада белсендірілген көмірді алу әдістері қарастырылған. Адсорбенттердегі негізгі факторларға, физикалық және химиялық факторларға ерекше назар аударылып, ауыр металдардың қасиеттері және ауыр металдардың адсорбциясына әсер ететін адсорбция жағдайлары талданған. Сонымен қатар, биомассада алынған белсендірілген көмірге адсорбцияланған ауыр металдардың көпшілігі десорбция арқылы қалпына келтіру мүмкіндігі сипатталған. Биомасса, карбонизация түрі және белсендіруді таңдау көміртегінің кеуектілігі және бетінің ауданына әсері көрсетілген.	Ауылшаруашылық және тұрмыстық қалдықтар	Ауыр металдар
4	Diaz De Tuesta J.L. et.al., 2022	Мандарин қабығынан белсендірілген көмір алу сипатталған. Тепе-теңдік изотермаларына негізделген адсорбциялық модельдер көрсетілген. Көміртекті материалдардағы Ni адсорбциясын болжайтын ең жақсы изотермиялық және кинетикалық модельдер бірегей қасиеттеріне байланысты ерекшеленді. Лангмюр, Хан және Йованович модельдері сәйкесінше белсендірілген көмір, пиролизикалық көмір және бикарбонаттағы Ni адсорбциясын туралы сипаттаған. Екінші жағынан, Ni кинетикалық адсорбциясы белсендірілген көмір мен бикарбонат үшін псевдоекінші ретті модельмен болжанған. Гидротермиялық карбонизация кезінде FeCl ₃ сияқты химиялық агенттердің болуы гидрокөмірлердің морфологиясы мен беткі химиялық құрамын реттеудің тиімді құралын жасауға, олардың карбондану шығымын арттыруға және белсендірілген көмір алуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, гидротермиялық карбонизация нәтижесінде пайда болған микросфералардың пішіні мен өлшемі кыздырудан кейін де сақталады, бұл кеуектілігі жоғары белсендірілген көмір микросфераларын өндіруге мүмкіндік береді.	Ауылшаруашылық қалдықтары	Ауыр металдар

5	Shaikhiev et al., 2020	Қарақұмық қабығында ең алдымен целлюлоза мен лигнин болатыны анықталды. Су ортасынан металл иондарын, мұнайды, мұнай өнімдерін кетіру үшін сорбциялық материалдар ретінде қарақұмық қабығын пайдалану туралы ақпарат берілген.	Қарақұмық қабығы	Ауыр металдар
6	Duan et.al., 2020	Ауыр металдардың ластануы қоршаған орта мен адам денсаулығына үлкен қауіп көрсетілген. Құрамында көміртегі бар материалдар, биокөмірден/белсендірілген көмірден модификацияланған материалдарға дейін ауыр металдарды сулы ерітінділерден тазарту үшін тиімді адсорбенттер ретінде кеңінен зерттелген.	Ауылшаруашылық қалдықтары	Ауыр металдар

Қоршаған ортаның ластануы ауада, суда және топырақта ауыр металдар мен органикалық ластаушы заттар сияқты улы заттардың болуына байланысты экологиялық қауымдастық үшін үлкен қауіп тудырады. Жылдам экономикалық даму және халықтың өсуі, сондай-ақ әртүрлі салалардағы, соның ішінде ауыл шаруашылығындағы прогресс қоршаған ортаның ластануының негізгі себебі болып табылады. Қалдықтарды жағу, синтетикалық өнеркәсіп және көмірді қайта өңдеу сияқты ластаушы заттар абиотикалық ортаға (ауа, су және топырақ) және биотикалық популяцияларға (өсімдіктер, жануарлар мен адамдар) үлкен қауіп төндіреді. Мыс, кадмий, никель, сынап, хром, қорғасын және мырыш сияқты ауыр металдар қоршаған ортаға төзімділігіне байланысты ерекше алаңдаушылық тудырады. Улы металдар су объектілері мен топыраққа шөгінділердің төгілуі және балқу процестері арқылы еніп, қоректік тізбектердегі биомагнификация арқылы тірі организмдерге үлкен зиян келтіруі мүмкін. Зерттеушілер қоршаған ортадан қауіпті ауыр металл иондарының жойылуын маңызды мәселе ретінде анықтады (Abiodun et.al., 2024).

Қоршаған ортаның токсиндеріне көбінесе бояғыштар, пестицидтер және ауыр металдар жатады, олар бүкіл экологиялық айналымға қауіп төндіреді, оның қызметі мен құрылымын айтарлықтай бұзады. Шөгінділердің төгілуі және балқу процестері қоршаған ортаның ауыр металдармен ластануына ықпал етеді. Шөгінді ағынды сулардағы ауыр металдардың жоғары деңгейі топырақтың ластануына әкелуі мүмкін. Топырақ сипаттамасы дақылдардың өсуі үшін өте маңызды. Улы металдар топыраққа енген кезде, өсімдіктердің сапасы мен өнімділігіне қатты әсер етеді, азық-түлік тізбегіндегі биоайналым арқылы адамдар мен жануарларға үлкен қауіп төндіреді. Ауыр металл иондары топырақтан өсімдіктерге оңай ауысады, осылайша олардың уыттылығын арттырады. Үлкен қалалар жағдайында ағынды сулардың шығарылымы көлемі жағынан өте үлкен, оларды кәдеге жарату мен өңдеудің тиімді жолдарын табу өте маңызды. Нәтижесінде зерттеушілер қауіпті металдар иондарынан қоршаған ортаны толық тазартуды негізгі мәселе ретінде анықтады. Осы жылдар ішінде ауыр металдар иондарын ағынды сулардан жоюдың әртүрлі әдістері жасалды. Атап айтқанда, адсорбция,

еріткіштерді алу, ион алмасу, химиялық тұндыру, коагуляция және флокуляция, мембраналық процестер және тотығу жатады. Алайда, технологиялардың бірқатар кемшіліктері бар, соның ішінде төмен концентрацияда (1-100 мг/л) жоғары шығындар мен адсорбция қабілеті төмен.

Тазарту жүйесінің әдісін таңдау ағынды сулардың қасиеттеріне байланысты, өйткені әр әдістің тиімділігі, қоршаған ортаға әсері, орындылығы, құны, практикалық, сенімділігі, шөгінділердің пайда болуы, пайдалану қиындықтары, алдын-ала өңдеу талаптары және химиялық шөгінділердің пайда болуы сияқты өзіндік шектеулері бар. Адсорбция ластаушы заттарды жоюдың ең жақсы стратегияларының бірі болып саналады, өйткені оны пайдалану оңай, оны әртүрлі тәсілдермен жасауға болады және ағынды сулардағы ауыр металдардың биологиялық қолжетімділігіне, уыттылығына және тасымалдануына айтарлықтай әсер етеді.

Сорбент бетінде металл иондарының жиналуы тасымалдау процесі арқылы жүреді, оның барысында олар химиялық немесе физикалық байланысады. Барлық адсорбция процестері қатты және сұйық заттар мен масса тасымалдау жылдамдығы арасындағы тепе-теңдікті қажет етеді. Қатты сорбенттерде адсорбцияның үш негізгі процесі бар: ерітіндіден сорбент бетіне ластаушы заттарды алмастыру; қатты беттегі адсорбция; сорбенттегі бөлшек ішіндегі қозғалысы. Ауыр металдар жер бетіне электростатикалық күштер немесе гидроксил немесе басқа функционалдық топтар арқылы тартылады. Бірнеше рет қолдану үшін адсорбенттерді десорбциялау және регенерациялау мүмкіндігі әдісті жоғары тиімді етеді және жақсы тазартылған ағынды суларды аз шығынмен шығарады. Бейорганикалық ағынды суларды адсорбциялау судың сапасын жақсарту, адам денсаулығына ұзақ мерзімді теріс әсер етудің алдын алу үшін қолданылуы мүмкін, ең бастысы таза өнімдерге және бағалы заттардың қалпына келуіне әкеледі. Көптеген зерттеулер әртүрлі биомасса негізіндегі және магниттік оксид негізіндегі адсорбенттерді қолдану арқылы ауыр металдардың адсорбциясын сипаттаған.

Белсендендірілген көмір – жоғары адсорбциялық қабілеті мен меншікті бетінің ауданына байланысты ағынды сулардан металл иондарын кетіру үшін кеңінен қолданылатын полярлы емес адсорбент. Бірақ, оның құны жоғары болғандықтан, зерттеушілерді адсорбент ретінде пайдалану үшін ауыл шаруашылығы қалдықтары, табиғи материалдар және өнеркәсіптік жанама өнімдер сияқты балама көздерден алуға байланысты ғылыми жұмыстарды жүргізуге әкеліп отыр. Материалдар коммерциялық адсорбенттерге қарағанда үнемді, таңдаулы, тиімді және экологиялық таза және ауыр металл иондарын жою үшін ағынды суларды тазартуда қолданылады (Wang et al., 2025; Pandey et al., 2023). Адсорбент ретінде модификацияланған биомассаның көптеген түрлері, соның ішінде үгінділер, қарақұмық қабығы, грек жаңғағының қабығы, шай қалдықтары, кокос қабықтары, шымтезек және күріш қабығы қолданылды (Shaikhiev et al., 2020; Adamović et al., 2024). Сонымен бірге, ауыр металдарды сорбциялау үшін изотермалар мен изотермиялық модельдерді зерттеу және түсіну шектеулі болып келеді. Ауыр

металл иондарын сорбциялауда кинетикалық және изотермиялық модельдерді қолдану өте маңызды, өйткені ол әртүрлі адсорбенттік материалдардың жойылу тиімділігін түсіну және болжау үшін теориялық негіз болады. Көптеген зерттеушілер ауыр металдардың биосорбциясының кинетикалық және изотермиялық модельдерін зерттеді. γ -алюминий оксиді нанобөлшектері мен көп қабатты көміртекті нанотүтікшелерді қолдана отырып, зиянды никельді (II) жою кезінде адсорбция изотермаларына кинетикалық зерттеулер жүргізді. Олар адсорбциялық тепе-теңдік пен кинетикалық деректер сәйкесінше Лэнгмюр және псевдоекінші ретті кинетикалық модельдермен жақсы сәйкес келетінін анықтады.

Шолу мақаласы көптеген артықшылықтарына байланысты биомасса негізіндегі адсорбенттерге бағытталған. Біріншіден, олар ауылшаруашылық және орман шаруашылығы қалдықтарынан, балдырлардан немесе басқа биологиялық көздерден алынуы мүмкін болғандықтан, үнемді және оңай қол жетімді. Екіншіден, олар экологиялық таза және жаңартылатын, дәстүрлі химиялық әдістерге тұрақты балама әдіс ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Биомасса негізіндегі адсорбенттер сонымен қатар ауыр металдарға жоғары селективтілік пен жақындықты көрсетеді, ластаушы заттарды ағынды сулардан тиімді түрде жоюға мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары. Зерттеу материалдары ретінде ағынды суды ластағыштардың түрлері мен жіктелуі, ағынды суларды ауыр металдардан тазарту технологиялары, ағынды суларды ауыр металдар иондарынан тазартудың типтік әдістері, ауылшаруашылық қалдықтарының биомассасы, ауыр металдармен ластану көздерінің графикалық көрінісіне арналған ғылыми жарияланымдар, Біріккен Ұлттар Ұйымының аналитикалық есептері пайдаланылды. Суды ластағыштар табиғаты мен шығу тегі, әртүрлі ластағыш заттарды шығаратын өнеркәсіптердің мәліметтері пайдаланылды. Мақалада қолданылған материалдар ағынды су құрамындағы ауыр металл иондарын кешенді түрде тазартуда қолайлы технологияны таңдауға мүмкіндік берді.

Зерттеу әдістері. Зерттеу барысында Scopus, Web of Science, Google Scholar мәліметтер базалары жүйелі түрде талданды, атап айтқанда, ағынды судың ластану жолдары, ағынды су құрамындағы ауыр металл иондарын тазарту әдістері, ауылшаруашылық қалдықтарынан белсендендірілген көмір алу және оларды ағынды суды тазартуда қолдану әдістері, ағынды суды тазартудың әдістеріне жалпы сипаттама, қарақұмық қабығынан адсорбент алуға байланысты ғылыми еңбектерге талдау жүргізілді. Сонымен қатар мақала тақырыбы мен мазмұнына байланысты аналитикалық әдістер: салыстырмалы талдау, экологиялық және технологиялық шешімдерді жіктеу, сондай-ақ алынған деректерді талдау, синтездеу, салыстыру және жалпылау әдістері пайдаланылды.

Зерттеу нәтижелері және талқылау. *Адсорбция.* Көптеген адсорбция әдістері ластаушы бөлшектерді оның кеуекті құрылымында ұстау үшін көміртегі негізіндегі затты пайдаланады. Белсендірілген көмірдің негізгі құрамдас бөліктері қымбат емес болуы мүмкін, бірақ жоғары сапалы белсендірілген көмір өндіру үшін қоршаған ортаға зиянсыз энергия көздерін пайдалану экожүйеге

айтарлықтай әсер ететіні көрсетілген. Белсендендірілген көмірді тазарту адсорбцияланған органикалық молекулаларды жою үшін көміртекті материалды қайта белсендіруді талап етеді. Альтернативті адсорбциялық материалдарды өндіру кейде қымбатқа түседі және қызмет ету мерзімі шектеулі, қымбат қайта белсендіруді қажет етеді. Кейбір арзан баламалар анықталғанымен, олар көп жағдайда жоғары тиімділік көрсетпейді және үлгінің кеуектеріне әсер етеді. Адсорбция ластаушы затты қасиеттерін өзгеріске ұшыратпай жояды, ол жойылатын қауіпті қалдықтар ағынының түзілуіне әкеледі. Егер адсорбент процесс барысында қайта белсендірілмесе, оны жоюдың арнайы әдістерін қажет ететін және қосымша шығындарға әкелетін қауіпті қалдықтар ретінде қарау керек (Hussein et.al., 2025).

Адсорбция–адсорбентке ауыр металдар иондарының немесе молекулаларының қосылуымен сипатталатын беттік құбылыс. Процесс әдетте екі кезеңде жүреді: біріншісі, адсорбент пен ауыр металл иондарымен ластанған сулы ерітінді арасындағы бастапқы өзара әрекеттесу; екіншісі ауыр металл иондары бар адсорбенттің тазартылған ағынды судан кейінгі бөлінуі.

Адсорбция екі негізгі әдісті қолдану арқылы жүзеге асырылады: мерзімді режимде және бағаналық. Мерзімді режимді адсорбцияда адсорбент қатты және сұйық фазалар арасында тепе-теңдікті орнату үшін үздіксіз араластыра отырып, ластанған суда таралады. Бағаналық адсорбция ластанған судың адсорбент қабаты арқылы үздіксіз жүруін қамтиды; әдістің тиімділігі мен ауқымдылығына байланысты өнеркәсіпте жиі қолданылады. Адсорбенттің физика-химиялық сипаттамалары және жұмыс жағдайлары адсорбция процесінің тиімділігін айтарлықтай анықтайды. Тиімді адсорбенттің үлкен меншікті беттік ауданы, көптеген белсенді байланыстыру орындары, құрылымдық тұрақтылығы және бәсекелес ластаушы заттарға тәуелсіз мақсатты ауыр металл иондарының селективтілігі болуы керек. Сонымен қатар, тиімді адсорбенттер экономикалық тұрғыдан тиімді, улы емес, экологиялық тұрақты және өнімділіктің ең аз төмендеуімен қайталанатын регенерацияға және қайта пайдалануға қабілетті болуы керек.

Халық саны, жоспарсыз урбанизация, қарқынды индустрияландыру және табиғи су ресурстарын біліктіліксіз пайдаланудың тұрақты түрде жоғарылауы салдарынан әлемнің көптеген бөліктерінде су сапасының нашарлауына әкелді. Көптеген дамушы елдерде жер асты сулары ел халқының жартысынан астамын ауыз сумен қамтамасыз етеді және көптеген ауылдық жерлер мен кейбір ірі қалалар үшін ауыз судың негізгі көзі болып табылады. Өнеркәсіптік, ауылшаруашылық және тұрмыстық қызметке байланысты әртүрлі химиялық заттар топыраққа сіңіп, табиғи су ресурстары мен су қоймаларын ластауы мүмкін. Соңғы жылдары дүние жүзінің көптеген елдерінде ауыз судың құрамында адам денсаулығына үлкен қауіп төндіретін қауіпті концентрацияда әртүрлі улы химикаттар/қосылыстар анықталды. Уытты ластаушы заттардың концентрациясының жоғарылауынан туындаған денсаулыққа елеулі проблемаларды ескере отырып, оларды ауыз судан шығару және зардап шеккен азаматтардың денсаулығын сақтау үшін

үнемді және экологиялық таза процестерді әзірлеу қажет. Егер адсорбент арзан және қолданар алдында алдын ала өңдеуді қажет етпесе, суды тазартудың әртүрлі әдістерінің ішінде адсорбция процесі суды тазартудың тиімді және оңтайлы тәсілі болып табылады (Pandey et.al., 2023). Көптеген қолданыстағы тәжірибелерге сүйенсек, адсорбция процесінің бірқатар себептері бойынша басқа әдістерден артықшылықтарын атауға болады: дизайнның қарапайымдылығы, төмен құны, жоғары жою тиімділігі, пайдаланудың қарапайымдылығы және қол жетімділігі. Сонымен қатар, адсорбция процесі ластаушы заттардың әртүрлі түрлерін жоя алады немесе азайтады, сондықтан судың ластануын бақылауда кеңірек қолданылады. Ал, белсендендірілген көмір ағынды суларды тазарту үшін әмбебап адсорбент болып саналады және судан әртүрлі ластаушы заттарды жою үшін кеңінен қолданылады. Дегенмен, оның ағынды суларды тазартуда кеңінен қолданылуы оның қымбаттығына байланысты кейде шектеледі. Дәстүрлі емес адсорбенттердің көпшілігі судан және ағынды сулардан әртүрлі ластаушы заттарды жою қабілеті үшін зерттелді. Белсендендірілген көмір адсорбциялық материал ретінде кеңінен қолданылады, себебі ол осы адсорбенттерге өте төмен концентрациялар мен жоғары ластаушы жүктемелерге мүмкіндік береді.

Адсорбциялық зерттеулердің көпшілігі сыйымдылығы жоғары адсорбенттерді әзірлеуге бағытталған, ал кейбіреулері оңай қалпына келетін адсорбенттерді әзірлеуге бағытталған. Әртүрлі көздерден жасалған әртүрлі арзан адсорбенттер коммерциялық белсендендірілген көмірмен салыстырғанда сулы ластаушы заттарды жою үшін төмен немесе әлсіз сорбциялық потенциалды көрсететіні анықталды (Adamović et al., 2024). Белсендендірілген көмір негізіндегі адсорбенттер электрохимиялық жолмен регенерацияланады. 3-кестеде ағынды сулардан ауыр металдарды жоюдың негізгі әдістері сипатталған.

Кесте 3. Ағынды сулардан ауыр металл иондарын жоюдың негізгі әдістері.

Химиялық әдістер	Физика-химиялық әдістер	Биологиялық әдістер	Адсорбциялық тазарту әдістері
Тұндыру (гидроксид, сульфид); коагуляция және флокуляция; тотығу-тотықсыздану реакциялары	Ион алмасу; Мембраналық технологиялар (кері осмос, ультрафилтрация); Электрокоагуляция.	Металдарды байланыстыру үшін микроорганизмдерді немесе биомассаны пайдаланады.	Адсорбция ауыр металдарды жоюдың ең тиімді әдістерінің бірі болып саналады. Негізгі артықшылықтары: Тазартудың жоғары дәрежесі; Сорбентті қалпына келтіру мүмкіндігі; Қарапайым жабдық дизайны.
Кемшіліктері: көп мөлшерде тұнбаның түзілуі; шламды қосымша кәдеге жарату қажеттілігі.	Жоғары құны; Операцияның күрделілігі.	Кемшіліктері: қоршаған орта жағдайларына сезімталдық және ластаушы заттардың жоғары концентрацияларында шектеулі тиімділік жатады.	Белсендендірілген көмір ең көп таралған адсорбент: Жоғары меншікті бетінің ауданы; Кеуекті құрылым дамыған; Функционалдық топтардың болуы.

Адсорбция процесін модельдеу әртүрлі жұмыс жағдайларында еріген заттың адсорбентке адсорбциясын болжау үшін ғана емес, сонымен қатар жүйеде болатын адсорбция механизмін жақсы түсіну үшін де баға жетпес (Diaz De Tuesta et al., 2022). Ленгмюр теңдеуі – адсорбцияға бірдей қол жетімді учаскелері бар біртекті адсорбент бетінде адсорбция жүреді деп болжайтын белгілі изотермиялық модель. Бөлу коэффициенті (R_L) Ленгмюр изотермасының маңызды параметрі болып табылады, зерттелетін адсорбцияның қолайсыз ($R_L > 1$), сызықтық ($R_L = 1$), қолайлы ($0 < R_L < 1$) немесе қайтымсыз ($R_L = 0$) екенін тексеру үшін қолданылады. Ленгмюр теңдеуі мен R_L теңдеулер арқылы өрнектеледі (1,2):

$$q_e = \frac{q_m \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e}, \quad (1)$$

$$R_L = \frac{1}{1 + K \cdot C_0}, \quad (2)$$

мұндағы q_e және C_e адсорбент массасының бірлігіне шаққандағы адсорбцияланған заттың мөлшерін (мг/г) және сулы ортадағы адсорбаттың концентрациясын (мг/л) тепе-теңдік сатысында көрсетеді, q_m және K константалар (екі параметрлі модель), сәйкесінше мг/г және л/мг өлшемдерімен өлшенеді, R_L – бөліну коэффициенті (өлшемсіз мән), ал C_0 – адсорбаттың бастапқы концентрациясы.

Фрейндлих изотермасы – эмпирикалық теңдеу (3) ретінде адсорбаттық әрекеттесулері бар гетерогенді жүйелер үшін кеңінен қолданылады, сулы ортадағы адсорбциялық сыйымдылық (q_e) мен тепе-теңдік концентрациясы (C_e) арасындағы сәйкес асимптотикалық емес адсорбция қисықтарын көрсетеді. Гетерогенділік коэффициентін (n) адсорбцияның сызықтық, химиялық немесе физикалық процесс екенін анықтау үшін қолдануға болады (тиісінше $n = 1$, $n < 1$ немесе $n > 1$). Көрсетілген екі параметрлі модель келесідей ұсынылған:

$$q_e = K \cdot C_e^{1/n}, \quad (3)$$

мұндағы, K – Фрейндлих тұрақтысы, $L^{1/n} \text{ мг}^{-1/n}$ өлшенеді, ал n – көрсеткіш.

Адсорбция процесі кезінде бірдей белсендірілген көмірдің адсорбциялық механизмі әртүрлі ластаушы заттар үшін әртүрлі болуы мүмкін. Температура да адсорбция процесіне айнымалы әсер етеді. Біріншіден, белсендірілген көмірдің кеуектеріндегі диффузия жылдамдығы адсорбция жылдамдығына әсер ететін негізгі фактор болып табылады. Диффузия жылуды сіңіру процесі, сондықтан температураның жоғарылауы адсорбция жылдамдығын арттырады. Екіншіден, адсорбция физикалық және химиялық адсорбцияға бөлінеді. Бірінші процесс негізінен экзотермиялық, сондықтан температураны төмендету адсорбциялық қасиетін жақсартуға мүмкіндік береді, ал химиялық адсорбция процесінде

адсорбция жылдамдығы температураның жоғарылауымен жоғарылайды, ал кейбір химиялық байланыстар температураның жоғарылауымен үзіледі, адсорбция орындарының санын және белсендендірілген көмірдің соңғы адсорбциялық қабілетін одан әрі арттырады (Duan et al., 2020; Yuan et al., 2021). Авторлар термохимиялық белсендіру әдісін қолдана отырып, кіндік апельсин қабығынан АСПН800 деп аталатын белсендірілген көмір биомассасын дайындады (Khalil et al., 2022).

Адсорбция уақыты ластаушы заттарды кетіру тиімділігіне әсер ететін негізгі фактор болып табылады. Адсорбция уақытын дұрыс ұлғайту адсорбцияланған белсендендірілген көмірдің мөлшерін тиімді арттырады. Дегенмен, адсорбция уақытын ұлғайту ағынды сулардың тоқырау уақытын арттырады, ағынды суларды тазартудың жалпы тиімділігін төмендетеді және тазалау шығындарын арттырады. Сондықтан оңтайлы адсорбция уақытын таңдау белсендендірілген көмірді адсорбциялау тиімділігін арттыру үшін өте маңызды. Қолайлы жағдайларда немесе тиісті түрлендіргіштер арқылы биомассада алынатын белсендендірілген көмірлердің барлығы ауыр металл иондары үшін жоғары адсорбциялық қабілет көрсетеді. Ауыр металл иондарының адсорбциясына адсорбенттің физикалық түрі де, химиялық функционалдық топтары да әсер етеді. Жалпы үлкен беттік аудан және кеуектіліктің төмен болуы адсорбцияға ықпал етеді, ал функционалдық топтардың әсері құрамында ауыр металдары бар ағынды сулардың рН мәніне байланысты. Температура және рН сияқты адсорбция жағдайлары ауыр металдардың адсорбциясына айтарлықтай әсер етеді (Wang et al., 2023). Ерітіндінің рН мәні адсорбцияның маңызды факторы болып табылады, себебі ағынды суларда ауыр металл иондарының болатын пішініне әсер етеді. Адсорбенттегі белсенді топтардың химиялық күйі және адсорбент бетіндегі зарядтың таралуы, өз кезегінде, мақсатты метал иондарына қатысты адсорбенттің тиімділігіне әсер етеді. Сондықтан рН мәнін анықтау адсорбциялық қасиеттерді зерттеудің міндетті шарты болып табылады, ал ерітіндінің қолайлы рН мәнін таңдау ауыр металл иондарының адсорбциясы үшін үлкен маңызға ие (Yin et al., 2019; Vahedi et al., 2021).

Әдетте, адсорбция уақытының ұлғаюымен хемосорбция мөлшері алдымен күрт артады, содан кейін біртіндеп төмендейді. Керісінше, физикалық адсорбция әдетте адсорбция уақыты ұлғайған сайын баяу артады, ал адсорбция уақыты химиялық адсорбцияға қарағанда ұзағырақ болады. Тәжірибелік температура мен рН-дан басқа, ауыр металл иондарының концентрациясы, белсендірілген көмірдің дозаланған мөлшері және адсорбция уақыты сияқты басқа адсорбция жағдайлары да көміртекті материалдарға ауыр металл иондарының адсорбциясына әсер етеді. Ерітіндідегі ластаушы заттардың бастапқы концентрациясы төмен болған кезде белсендендірілген көмірдің адсорбциялық қабілеті бастапқы концентрация артқан сайын артады.

Бастапқы концентрация белгілі бір мәнге жеткеннен кейін адсорбция орындары қаныққан болады, ал адсорбциялық қабілеті бір уақытта қанығуға жетеді. Бастапқы концентрацияның жоғарылауымен адсорбция жылдамдығы біртіндеп

төмендейді. Сондықтан белсендендірілген көмір адсорбциясын практикалық өнеркәсіпте қолдану үшін тиісті бастапқы концентрацияны таңдау қажет. Белсендендірілген көмірдің мөлшері адсорбция процесінің тиімділігіне әсер ететін факторлардың бірі болып табылады. Егер белсендірілген көмірдің масса бірлігіндегі адсорбция аlandарының саны анықталса, белсендірілген көмірдің көп мөлшері адсорбциялық қабілетті арттырады, сонымен қатар ағынды суларды тазарту құнын арттырады (Biltayib et al., 2021). Сондықтан, жоғары адсорбциялық қабілеті және салыстырмалы түрде төмен құны бар белсендірілген көмірдің мөлшерін таңдау ластаушы заттарды жоюдың және белсендендірілген көмірді қолдану арқылы адсорбциялық ағынды суларды тазартудың құнын төмендетудің шешуші факторы болып табылады. Адсорбция уақыты ластаушы заттарды кетіру тиімділігіне әсер ететін негізгі фактор болып табылады. Адсорбция уақытын дұрыс ұлғайту адсорбцияланған белсендендірілген көмірдің мөлшерін тиімді арттырады. Адсорбция уақытын ұлғайту ағынды сулардың тоқырау уақытын арттырады, ағынды суларды тазартудың жалпы тиімділігін төмендетеді және ағынды суларды тазарту шығындарын арттырады. Сондықтан оңтайлы адсорбция уақытын таңдау белсендендірілген көмірді адсорбциялау тиімділігін арттыру үшін өте маңызды. Қорытындылай келе, ауыр металдардың биомассадан алына-тын белсендірілген көмірмен адсорбциясына температураның әсері күрделі. Адсорбция температурасын жоғарылату, бір жағынан, физикалық адсорбцияны төмендетеді, ал екінші жағынан, молекулалық диффузия мен хемосорбцияны күшейтеді (Zhao et al., 2026; Seimukhanova et al., 2025).

Белсендендірілген көмір және оның сипаттамасы. Табиғаттағы ең таңғажайып материалдардың бірі бола отырып, көміртегі қышқылдар мен сілтілерге төзімділік, коррозияға, жоғары және төмен температураларға, биоүйлесімділік сияқты қасиеттері бар. Көміртекті материалдар адамзат өркениетінің бүкіл тарихында маңызды рөл атқарды (Cheng et al., 2022).

Биомассадан алынған белсендендірілген көмір және белсендірілген көмір көміртегі бар пиролиз материалдары және қоршаған ортаны қорғау технологияларындағы маңызды өнімдер болып табылады. Белсендендірілген көмірдің негізгі шикізаты төрт санатқа бөлінеді: көмірден алынған белсендендірілген көмір, ағаштан алынған белсендірілген көмір, синтетикалық белсендірілген көмір және белсендірілген көмірдің басқа түрлері.

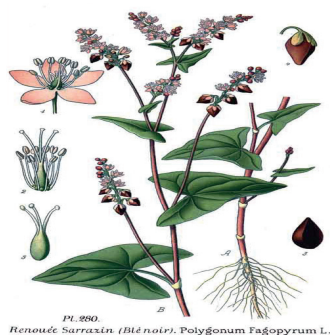
Белсендендірілген көмір - химия өнеркәсібінде кеңінен қолданылатын материал (Diaz De Tuesta et al., 2022; Pandey et al., 2023) Оның беттік ауданның жоғары болуы, физикалық және химиялық тұрақтылығы сияқты физика-химиялық қасиеттері оны кеңінен қолдануға мүмкіндік береді, мысалы, суды тазарту үшін, газ сүзгілері, суперконденсатор электродтары және катализатор тасымалдағыштары.

Жаһандық экологиялық қоғамдастықта ауыл шаруашылығы қалдықтарын табиғи және сарқынды сулардан ластаушы заттарды кетіру үшін реагенттер ретінде пайдалану сияқты жаңа инновациялық тәсіл қарқынды дамып келеді. Қазіргі уақытта дүние жүзіндегі негізгі өндіріс көзі ауыл шаруашылығы

дақылдары болып табылады. Демек, оларды өңдеу нәтижесінде сабан, ұн, еден төсеніштері, астық қабықтары және т.б. сияқты көптеген қалдықтар пайда болады. Соңғылары су ортасынан зиянды заттарды алу үшін әртүрлі өнеркәсіп салаларында сорбциялық материалдар ретінде қолданылады. Жарияланған шолулар бидай, арпа және сұлыны өңдеу қалдықтары су ортасынан металл иондарын, бояғыштарды, пестицидтерді, майларды және май туындыларын кетіру үшін тиімді сорбциялық материалдар болып табылатынын көрсетті. Агроөнеркәсіптік биомассаның перспективалық әлеуетіне сүйене отырып, қарақұмық қабығы арзан және экологиялық тұрақты адсорбенттерді әзірлеу үшін ерекше перспективалық ресурс ретінде ерекшеленеді (Ai et al., 2020).

Көптеген жұмыстарда су ортасынан ластаушы заттарды кетіру үшін қарақұмық қалдықтарын өңдеп, сорбциялық материалдар ретінде пайдалану бойынша әдебиеттер талданып, қорытындыланған (Adamović et al., 2024). Жоғары тиімділік, жоғары биосорбциялық сыйымдылық, үнемділік және қалпына келтіру мүмкіндігі материалдарды ауыр металл иондарынан тазарту және қалдықтарды өңдеу үшін үнемді балама жасайтын маңызды параметрлер болып табылады. Қолданыстағы адсорбциялық және кинетикалық модельдерді қолдануды, сондай-ақ температура мен рН өзгерістерінің бидай сабаны мен бидай кебегі, қарақұмық қабығы арқылы ауыр металл иондарына сорбция әсері зерттелген.

Қарақұмық (лат. Fagopyrum) – қарақұмық тұқымдасының (Polygonaceae) шөптесін өсімдіктер тұқымдасы (Сурет 2). Биіктігі 10–100 см болатын бір жылдық немесе көп жылдық шөптесін өсімдік. Сабақтары жалаңаш, тік, бұтақтанған, біркелкі жапырақты. Жапырақтары кезектесіп орналасқан, үшбұрышты-үшбұрышты немесе сагитт-сопақша, ұзындығы 2,5-9 см, ұшы ұзартылған. Гүлдері қос жынысты, диморфты және гетеростильді. Перигинт бес бөлікті, сарғыш-жасыл, ақ немесе ашық қызғылт, ұзындығы 1,3-4 мм. Жемістер үшбұрышты, күңгірт, ұзындығы 4,5-6,5 мм. Тәжірибелік тұрғыдан алғанда тұқымдастың ең маңызды өсімдігі – нан және бал беретін өсімдік тұқымды қарақұмық (*Fagopyrum esculentum*).



Сурет 2. Қарақұмық тұқымдасы; а) Қарақұмық өсімдігі; б) Қарақұмық қабығы.

Қарақұмық тұқымында қоректік заттардың көп мөлшері бар: 63% көмірсулар, 11,7% белок, 2,4% май, 9,9% талшық, 11% су, 2% минералды заттар. Қарақұ-

мықта көп мөлшерде темір, кальций, калий, фосфор, йод, мырыш, фтор, молибден, кобальт, сондай-ақ, В1, В2, В9 (фолий қышқылы), РР және Е дәрумендері болады. Қарақұмықтың гүлденген жер үсті бөлігінде рутин, фагопирин, пирокатехол, галль, хлороген және кофеин қышқылдары. Тұқым құрамында крахмал, ақуыз, қант, майлы май, органикалық қышқылдар (малеин, менолленді, қымыздық, алма және лимон), рибофлавин, тиамин, фосфор және темір. Қарақұмық ақуызы барлық дәнді дақылдар арасында лизин мен метиониннің ең жоғары деңгейін қамтиды; оның сіңімділігі жоғары – 78%-ға дейін (Shaikhiev et al., 2020; Adamović et al., 2024).

Қарақұмық өндірісінің тағы бір негізгі қалдығы жемістің қабығы (қабығы) болып табылады. Қарақұмықты өнеркәсіптік өңдеуде қабық дәннің жалпы салмағының 14-30% құрайды. Судан ластаушы заттарды жоюға арналған адсорбенттер ретінде қарақұмық қабықтарының мүмкіндігін зерттеу өзекті болып табылады. Таза суға жаһандық сұраныстың ұдайы өсіп отырғанын және судың ластануының жоғары деңгейін ескере отырып, суды тазартудың тиімді әдістерін дамытудың басты маңызы бар. Олардың ішінде белсендірілген көмірді қолданып адсорбциялау ең тиімді әдістердің бірі. Қарақұмық қауызының тиімді адсорбент ретінде әлеуетін кеңейте отырып, олардың химиялық құрамы мен құрылымдық сипаттамалары олардың қоршаған ортаны қорғау үшін маңызы зор (Zhao et al., 2026).

(Adamović et al., 2024) жұмысында қарақұмық қабығының химиялық құрамы, әртүрлі функционалдық топтар және қолайлы физикалық қасиеттеріне байланысты ағынды суларды тазарту үшін қолдану мүмкіндігіне шолу берілген. Бірақ, қарақұмық қабығының арзан адсорбент ретіндегі мүмкіндігі жоғары болса да, қарақұмық қабығын биосорбент ретінде пайдалану туралы ғылыми әдебиеттер өте аз. 4-кестеде көрсетілгендей, биосорбент ретінде қарақұмық қабығын пайдалану арқылы ағынды су құрамындағы кейбір ауыр металл иондарын тазартуда қолдану сипатталған

Кесте 4. Судан және басқа адсорбаттардан ластаушы заттарды тазартуға арналған қарақұмық қабығы негізіндегі биосорбенттер (Adamović et al., 2024).

Биосорбенттер	Ластағыш	$q_{\max}$ (мг/г)	Түрлендіру
Бастапқы қарақұмық қабығы	Hg (II), Zn (II), Cd (II)	244.0 (35°C)	жоқ
	Zn (II), Cd (II), Co (II), Cu (II), Ni (II)	0.4-0.8	жоқ
	Cr(VI)	63.61 (35°C)	жоқ
Химиялық әдіспен түрлендірілген қарақұмық қабығы	Cu (II)	50.0	5% NaOH
	пестицид 2,4-дихлорфенок-сисірке қышқылы	161,1 (35°C)	Күкірт қышқылы
Термиялық әдіспен түрлендірілген қарақұмық қабығы	Zn (II)	151.52	Аммоний хлоридінің ерітіндісімен (2 г/л) және Fe ₃ O ₄ түрленген биокөмір (массалық қатынасы 6,5:2).
	Co (II)	24.0 (35°C)	1,5 масса% натрий алгинатында + 1% (салм/көлем) CaCl ₂ иммобилизацияланған биокөмір

Қарақұмық қабығы судан ауыр металл иондарының кең спектрін жоюға арналған әмбебап және тиімді адсорбент екенін көрсетіліп, адсорбциялық қабілеттілігі оның құрамындағы арнайы функционалдық топтардың болуына және қатысатын металл иондарының сипаттамаларына тәуелділігі әдеби шолу ретінде көрсетілген (Adamović et al., 2024). Сонымен қатар, калий гидроксидімен (KOH) химиялық белсендірілген, одан кейін мочевина және Prussian Blue түрлендірілген қарақұмық қабығынан алынған белсендірілген көмірді алу және оның сипаттамасына арналған жұмыстар бар (Seimukhanova et al., 2025). Қарақұмық қабығынан алынған белсендірілген көмір органикалық ластану заттар мен радионуклидтерді (мысалы, ^{137}Cs және ^{90}Sr), сондай-ақ металл катиондарын (K^+ , Na^+ және Li^+) жоюды қоса алғанда, суды тазарту үшін қолдану мүмкіндігі сипатталған. Авторлар алынған көміртектегі материалдар бөлшектердің көлемдік таралуы, бетінің морфологиясы, құрылымдық ерекшеліктері және электрокинетикалық қасиеттерін сканерлеуші электронды микроскопиямен біріктірілген энергиядисперсиялық рентгендік спектроскопия (SEM-EDS), Фурье түрлендіру инфрақызыл спектроскопиясы (FTIR), Раман спектроскопиясы және электрофорез, сондай-ақ N_2 адсорбция-десорбция әдістерімен зерттеген. Зерттеуде белсендірілген көмірдің беттік қасиеттері мен адсорбциялық сипаттамалары оларды химиялық белсендіру мен түрлендіргішке байланысты екенін көрсетеді.

Коммерциялық белсендірілген көмір мен цеолиттер су мен ағынды суларды тазарту үшін ең көп қолданылатын адсорбенттер болып табылады, өйткені олардың беткі қабаты үлкен және ластануды жоюдың тиімді мүмкіндіктерін айқындайды; ауылшаруашылық қалдықтарынан алынған лигноцеллюлоза материалдары мен биокөмірлер сияқты балама адсорбенттердің құны төмен, экологиялық таза және регенерацияға түсуге бейімділігі бар, оларды ағынды суларды басқарудың тұрақты шешімдерін әзірлеу үшін қолданады. Қарақұмық қабығы, қарақұмық өңдеудің жанама өнімі, олардың қолжетімділігімен, үнемділігімен және энергетикалық және экологиялық мақсаттар үшін шикізат ретінде әлеуетті пайдалылығымен перспективалы нұсқа болып табылады. Қарақұмық қабығының физика-химиялық қасиеттеріне және оларды суды тазартуда қолдануға байланысты ғылыми шолулар жасалды. Судан ауыр металдар мен синтетикалық бояғыштарды қоса алғанда, ластану заттардың ауқымын жою үшін адсорбциялық процестерде қарақұмықтың табиғи (модификацияланбаған) және химиялық немесе физикалық түрлендірілген қабықшаларын пайдалануға ерекше назар аударылады. Қолда бар әдебиеттерге сүйене отырып, әртүрлі пішіндегі қарақұмық қабықтары дәстүрлі қалпына келмейтін адсорбенттерге тұрақты және тиімді балама болып табылатыны анық. Оларды пайдалану суды тазартудың экологиялық таза шешімін ұсынып қана қоймайды, сонымен қатар айналмалы экономика қағидаттарына сәйкес агроөнеркәсіптік қосымша өнімдерді/қалдықтарды қайта өңдеуді жеңілдетеді.

Әртүрлі әдеби көздерден алынған деректерге сүйене отырып, мақалада қарақұмық сабаны мен қабықтарының химиялық құрамы туралы ақпарат берілген. Қарақұмық өңдеу қалдықтарын әртүрлі бағалы компоненттерді алу көзі ретін-

де пайдалану туралы ақпарат берілген. Сондай-ақ табиғи және ағынды сулардан ауыр металдар иондары мен мұнай өнімдерін алу үшін ұсақталған қарақұмық сабанын сорбциялық материал ретінде пайдалану туралы әдеби деректер келтірілген (Shaikhiev et al., 2020; Adamović et al., 2024). Қарақұмық сабанын әртүрлі химиялық реагенттермен өңдеу арқылы сорбциялық қасиеттерін арттыру мүмкіндігі көрсетілген. Қарақұмық қабығында ең алдымен целлюлоза мен лигнин болатыны анықталды.

Су ортасынан ауыр металл иондарын, мұнайды, мұнай өнімдерін кетіру үшін сорбциялық материалдар ретінде қарақұмық қабығын пайдалану туралы ақпарат берілген. Ластаушы заттардың сорбциялық қасиеттерін сорбцияны өңдеу арқылы жақсартуға болатыны көрсетілді қышқыл химиялық реагенттер мен жоғары жиілікті, төмен қысымды плазмасы бар материал.

Ең жоғары адсорбция жылдамдығына қол жеткізетін қышқылмен өңдеу немесе плазмалық эсер ету параметрлері анықталды. Табиғи сабан мен қарақұмық қабықтары сулы ортадан ауыр металл иондары мен майды кетіруге арналған тиімді сорбциялық материалдар болып табылады. Сорбция ластаушы заттардың қасиеттерін химиялық немесе физика-химиялық түрлендіру арқылы жақсартуға болады.

Ауыр металл иондарын жою. Ауыр металл иондарын жою үшін көптеген тиімді әдістер бар. Дәстүрлі әдістерге химиялық тұндыру, мембраналық сүзу және ион алмасу жатады. Химиялық тұндыру әдісі қарапайымдылығына байланысты кеінен қолданылады, себебі құрамында металдары бар шөгінділерді жою үшін көп мөлшерде химиялық заттар қолдана отырып одан әрі өңдеуді қажет етеді. Химиялық тұндыру, мембраналық сүзу әдістері бастапқы капиталды және пайдалану үшін үлкен шығындарды қажет етеді. Ион алмасу әдісі сұйық немесе газ тәрізді ортадан катиондарды немесе аниондарды сорбенттер (иониттер) арқылы бөліп алудың және оларды қатты денедегі басқа иондарға алмастыруға негізделген. Ион алмасу әдісі концентрлі металл ерітінділерін тазарту үшін қолайсыз болады, өйткені матрица ағынды сулардың құрамындағы органикалық және басқа қатты заттармен оңай ластанады. Сонымен қатар, рН көрсеткіші көптеген тазарту әдістері үшін маңызды фактор болып табылады. Соңғы жылдары арзан және тиімді адсорбенттерді зерттеулерге байланысты дәстүрлі тазарту әдістерінің баламаларының бірі ретінде адсорбцияға көп назар аударылды. Адсорбенттер ретінде органикалық немесе биологиялық шығу тегі, түрлендірілген материалдар, наноөлшемді материалдар және өнеркәсіптік жанама өнімдер немесе минералды заттар, түрлендірілген биополимерлер, биомассадан алынған био-адсорбенттер және модификацияланған ауылшаруашылық және биологиялық қалдықтар қолданылуы мүмкін (Seimukhanova et al., 2025). Адсорбция процесі қайтымды және перспективалы болғандықтан, жобалау мен эксплуатация үшін икемділікті қамтамасыз етеді. Қымбат емес адсорбенттер қымбат тазарту жүйелерін алмастыра алады, сонымен бірге дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жоғары нәтиже береді. Қымбат емес адсорбенттерді қолдану әлеуеті материалдарды бағалы және тауарлы өнімге айналдыруға мүмкіндік беретін әрі қарай түрлендіру

арқылы айтарлықтай кеңейеді. SWOT талдау арқылы талданатын қымбат емес адсорбенттердің әлсіз жақтары мен қауіптерін материалдарды модификациялау, жетілдіру және регенерациялау бойынша одан әрі зерттеу арқылы анықтауға болады. Сондықтан суды тұрақты пайдалану үшін арзан адсорбенттерді таңдау ұсынылады.

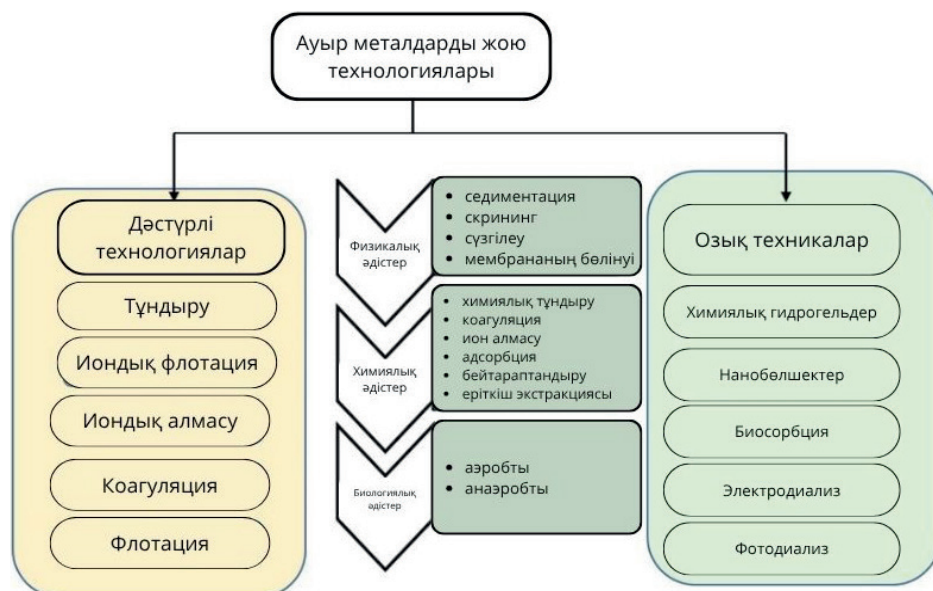
Қоршаған ортаға ауыр металдар шығарындылары, әсіресе дамушы елдерде өсуде. Органикалық ластанушылардан айырмашылығы, ауыр металдар биологиялық ыдырамайды және тірі организмдерде жиналуға бейім. Көптеген ауыр металл иондары улы немесе қатерлі ісік туғызатыны белгілі. Ауыр металдардың атомдық массалары 63,5-тен 200,6-ға дейін ауытқиды, ал олардың меншікті тығыздығы 5,0-ден асады және элементтер табиғи түрде жер қыртысында болады. Ауыр металдардың ластануы табиғат құбылыстары мен адамның шаруашылық әрекетінен туындайды. Табиғи көздерден басқа, адам әрекеті ауыр металдармен ластанудың негізгі себебі болып табылады. 5-кестеде ауыр металдардың негізгі көздеріне толық шолу берілген.

Кесте 5. Ауыр металл иондарымен ластану көздерінің графикалық көрінісі.

Ауыр металдар		
Табиғи	Антропогенді	
Ауа райының бұзылуы	Өнеркәсіптік	Муниципалды
Шөгінді ағыны	Металл балқыту	Муниципалды
Топырақ эрозиясы	Электрлік қаптау	Тұрғылықты
Жанартау атқылаулары	Былғары және тоқыма илеу	
Бөлшекті заттар	Пайдалы қазбаларды өндіру	
	Ядролық энергетика	

Кадмий, мышьяк, селен, қорғасын және сынап сияқты ауыр металдарды кеңінен пайдалану гидросфераға, биосфераға, литосфераға және атмосфераға айтарлықтай әсер етеді. Өнеркәсіптік ағынды суларда кездесетін негізгі ауыр металдар және олардың жалпы өндірістік шығу тегі 4-кестеде көрсетілген. Кейбір ауыр металдар адам үшін маңызды микроэлементтер, ұсақ микроэлементтер, микроэлементтер үшін маңызды қызмет етеді. флора, фауна. Ауыр металл иондары көп мөлшерде болған кезде қысқа және ұзақ мерзімді уыттылықты тудыруы мүмкін.

3-суретте көрсетілгендей ауыр металдарды жоюдың әртүрлі тәсілдері жүзеге асырылды. Жалпы дәстүрлі технологияларды физикалық, химиялық және биологиялық әдістерге бөлуге болады..



Сурет 3. Ағынды суларды ауыр металл иондарынан тазартудың типтік әдістері.

Ағынды суларды ауыр металл иондарынан тазарту үшін соңғы бірнеше онжылдықта түрлендірілген адсорбенттерді қолдану айтарлықтай өсті, өйткені түрлендіруші агенттер тиімді адсорбция үшін биоматериалдардың беттік қасиеттерін жақсартуға қабілетті. Олардың адсорбциясының тиімділігін бағалау үшін әртүрлі технологиялық параметрлері, изотермалар, кинетика және есептеу әдістері қолданылды. Қазіргі уақытта оларды пайдалану зертханалық масштабпен шектеледі, оларды коммерциялық немесе ауқымды өндіріске кеңейтуді қажет етеді. Адсорбенттердің тиімділігін өндіріс шығындарымен теңестіру үшін жаңа әдістер мен технологияларды мұқият зерттеу қажет. Бірақ, экологиялық таза тауарларға айналмай, үлкен көлемдегі ауылшаруашылық қалдықтарының жаһандық өндірісі ауылдық жерлердің ластануына және белгілі бір дәрежеде ауылдық жерлерде егіншілікті жүзеге асыруды қиындатады. Нәтижесінде ауыл шаруашылығы қалдықтарынан экологиялық таза тауарларды өндіру ауыл шаруашылығы қалдықтарын жағудан туындаған ауаның ластану деңгейін тиімді төмендетеді (Hussein et al., 2025). Климаттың өзгеруіне, суды тазартуға және жалпы қоршаған ортаны қорғауға қатысты биомасса адсорбенттерінің дамуы маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, бүкіл әлемдегі аналитикалық есептерге сәйкес, биомасса негізіндегі адсорбенттердің адсорбциялық қасиеттерін жақсартуға басымдылық беріліп, ғылыми зерттеулердің басты мақсаттары болып отыр. Арзан адсорбенттердің адсорбциялық қабілетін одан әрі арттыру үшін биомасса негізіндегі адсорбенттерге қосуға болатын агенттерді табуға негіз болды.

Екінші жағынан, түрлендіру процесінің күрделілігі, оның қаржылық қиындықтары және әртүрлі химиялық түрлендіргіштермен байланысты экологиялық мәселелер айтарлықтай назар аудартып отыр. Ауыл шаруашылығы қалдықтарын

пайдаланып биокөміртек өндірісі ең бәсекеге қабілетті, экологиялық таза және тұрақты технологиялық стратегия болып саналады. Қазіргі уақытта шығарындыларды азайту, климаттың өзгеруін азайту, ресурстар циклін басқару, энергияны үнемдеу және қоршаған ортаны қорғау үшін қалдықтарды басқару өзекті мәселе екені белгілі. Сондықтан биомасса негізіндегі адсорбенттердің болашағын бағалау үшін келесі перспективаны пайдалану керек:

1) Биомасса негізіндегі адсорбенттердің коммерциялануын ынталандыру үшін ауылшаруашылық қалдықтарын карбонизациялау технологиясын әзірлеу және жетілдіру маңызды.

2) Биологиялық сорбция процесінде қолдану үшін өте тиімді экологиялық таза түрлендіргіш заттар мен процестерді әзірлеу қажет.

3) Болашақта ластану ауқымында инженерлік мәселелерді шешу үшін биомасса негізіндегі адсорбенттерді пайдалануды қамтитын зерттеулерді кеңейту керек.

Қорытындылай келе, ауылшаруашылық қалдықтары биомасса негізіндегі адсорбенттерге қарағанда артықшылықтары бар және қоршаған ортаны қорғау қолданбаларында қымбат коммерциялық белсендендірілген көмірді ауыстыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Қорытынды. Ағынды сулардан ауыр металдарды жою қазіргі экологиялық химияның маңызды міндеті болып табылады. Қолданыстағы әдістердің ішінде адсорбция жоғары тиімділігімен, іске асырудың қарапайымдылығымен және арзан табиғи шикізаттарды пайдалану мүмкіндігімен ерекшеленеді. Өнеркәсіптің қарқынды дамуы су объектілеріне өте уытты, биожинақталатын, биологиялық ыдырамайтын келесі химиялық элементтерді қорғасын (Pb), кадмий (Cd), хром (Cr), мыс (Cu) және мырыш (Zn) сияқты ауыр металдардың шығарындыларының артуына әкеледі. Ағынды су құрамындағы ауыр метал иондарын жоюда ауылшаруашылық қалдықтарын адсорбент ретінде пайдалану ғалымдардың зерттеулерінде көрсетілген. Мысалы, Солтүстік Қазақстан облысының қарақұмық қабықтары көміртегіге бай, қолжетімді ауыл шаруашылығы қалдықтары болып табылады. Қарақұмық қабығында целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза бар. Осы компоненттер оларды көміртегі сорбенттерін өндіруге қолайлы шикізат етеді. Қарақұмық қабығын ағынды су құрамындағы ауыр метал иондарын жою үшін пайдаланудың артықшылықтары:

- Төмен шикізат құны;
- Ауыл шаруашылығы қалдықтарын қайта өңдеу;
- Экологиялық қауіпсіз;
- Жоғары тазалау тиімділігі.

Қарақұмық қабығынан алынған белсендендірілген көмірді пайдалану ағынды суларды ауыр металдарды тазартудың перспективалы тәсілі, сонымен қатар, экологиялық қауіпсіздікті, үнемділікті және жоғары сорбциялық қабілеттілікті біріктіреді.

Бүгінгі таңда ағынды суларды тазарту үшін өнеркәсіпте жергілікті қолжетімділігіне, техникалық мүмкіндігіне, инженерлік қолданылуына және шығындардың тиімділігіне байланысты арзан адсорбенттерді кеңінен қолдану-

дың маңызы зор. Егер, қолжетімді және өзіндік құны төмен адсорбенттер ағынды судағы ауыр металдарды жоюда жақсы нәтиже көрсетсе, оларды тек шығындардың тиімсіздігін азайту үшін ғана емес, сонымен қатар пайдалылықты арттыру үшін өнеркәсіпте кеңінен қолдануға болады. Бүгінгі таңда ағынды суларды тазартуда оны практикалық қолданудың экономикалық тиімділігін бағалау үшін ауыр металдарды жою үшін арзан адсорбенттерді пайдаланудың шығындары мен мүмкіндіктеріне талдау жүргізу қажет. Арзан адсорбенттерді пайдалану қоршаған ортаның тұрақтылығына ықпал етуі мүмкін. Арзан адсорбенттерді ағынды су құрамындағы ауыр метал иондарынан тазартуға байланысты ғылыми зерттеулерде келесі технологиялық шарттарға назар аударылу керек: белсендіру шарттарын оңтайландыру, сорбент бетін өзгерту, өнеркәсіптік қолдану үшін технологияны масштабтау. Әрине, арзан адсорбенттер болашақта коммерциялық мақсатта көптеген перспективалы артықшылықтарға қол жеткізеді.

Қазіргі уақытта ағынды сулар құрамындағы ауыр металдарды жою маңызды рөл атқарады, өйткені ауыр металдар қоршаған ортаға қауіпті әсер етеді. Сондықтан ауыр металдарды жоюдың көптеген әдістері бар. Дәстүрлі әдістер мен фотокатализбен салыстырғанда адсорбциялық процестерді қолданудың көптеген мүмкіндіктері мен перспективалары бар. Атап айтқанда, арзан адсорбенттер адсорбенттер тиімді және үнемді материалдар ретінде қолданылады, ағынды сулардан ауыр металл иондарын тазарту бойынша зерттеулердің бағыттылығын айқындайды. Ең бастысы, ең қолайлы әдісті таңдау үшін ағынды сулардың физикалық қасиеттері мен әдістердің сипаттамалары маңызды рөл атқарады. Ұсынылған шолу құрамында ауыр металл иондары бар ағынды суларды тазартуға байланысты жүргізілетін ғылыми зерттеулер үшін үлгі болады.

Қорытындылай келе, дүниежүзінде тұщы су тапшылығына байланысты ағынды суларды тазарту және қайта өңдеу кең таралған. Ағынды сулардан таза су алу технологиялары да жақсы дамыған және қолжетімді. Сонымен қатар, ағынды суларды қайта өңдеудің болашағы туралы халықтың әртүрлі ақпарат құралдарынан қажетті мәліметті алуы мен біліміне байланысты. Дамыған елдерде суды қайта өңдеу жақсы жолға қойылғанымен, дамушы елдерде инфрақұрылымның талапқа сәйкес келмеуі және халықты хабардар етудің жеткіліксіздігінен болуы мүмкін.

References

- Abiodun O.A., Oluwaseun O., Oladayo O.K., George A.A., Opatola E., Orah R.F., Isukuru E.J., Edel Ch., Oluwayomi O.T., Okolie J.A., Omotayo I.A. (2023). Remediation of Heavy Metals Using Biomass-Based Adsorbents: Adsorption Kinetics and Isotherm Models. *Clean Technol.* – No. 5. – P. 934-960. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol5030047>. (in Eng.).
- Adamović M., Stjepanović M., Velić N. (2024). Exploring the potential of buckwheat hull-based biosorbents for efficient water pollutant removal. *Croatian Journal of Food Science and Technology.* – No. 16 (2). – P. 273-289. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2024.16.2.08>. (in Eng.).
- Ai T., Jiang, X., Liu Q., Lv L., Dai S. (2020). Single-component and competitive adsorption of tetracycline and Zn(II) on an NH₄Cl-induced magnetic ultra-fine buckwheat peel powder biochar from water: studies on the kinetics, isotherms, and mechanism. *RSC Advances*. – No. 10(35). – P. 20427-20437. <https://doi.org/10.1039/d0ra02346a> (in Eng.).
- Biltayib B. M., Bonyani M., Khan A., Su C.-H. and Yu Y.-Y. (2021). Predictive modeling and

simulation of wastewater treatment process using nano-based materials: effect of pH and adsorbent dosage, *J. Mol. Liq.* – No. 343. – P. 117611. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.117611 (in Eng.).

Cheng K., Wallaert S., Ardebili H. and Karim A. (2022). Advanced triboelectric nanogenerators based on low-dimension carbon materials: a review. *Carbon.* – No. 194. – P. 81-103. DOI:10.1016/j.carbon.2022.03.037. (in Eng.).

Diaz De Tuesta J.L., Roman F.F., Marques V.C., Silva A.S., Silva A.P.F., Bosco T.C., Shinibekova A.A., Sadenova A., Kalmakhanova M.S., Massalimova B.K., Arrobas M., Silva A.M. T., Gomes H.T. (2022). Performance and modeling of Ni(II) adsorption from low concentrated wastewater on carbon microspheres prepared from tangerine peels by FeCl₃-assisted hydrothermal carbonization. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* – No. 10. – P. 108143. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108143>. (in Eng.).

Duan C., Ma T., Wang J. and Zhou Y. (2020). Removal of heavy metals from aqueous solution using carbon-based adsorbents: a review, *J. Water Process. Eng.* – No. 37. – P. 101339. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101339>. (in Eng.).

Hussein E.B., Rasheed F.D, Mohammed A.S., Kayani K.F. (2025). Emerging nanotechnology approaches for sustainable water treatment and heavy metals removal: a comprehensive review. *Royal society of chemistry Adv.* – No. 15. – P. 41061-41107. (in Eng.).

Khalil K. M. S., Elhamdy W. A. and Elsamahy A. A. (2022). Biomass derived P-doped activated carbon as nanostructured mesoporous adsorbent for chromium(VI) pollutants with pronounced functional efficiency and recyclability, *Colloids Surf., A.* – No. 641. – P. 128553. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2022.128553. (in Eng.).

Metuyouy K., Benkirane L., Sánchez M.E., Cara-Jiménez J., Plakas K.V., Chafik T. (2024). Valorization of agricultural olive waste as an activated carbon adsorbent for the remediation of water sources contaminated with pharmaceuticals. *Sustainable Chemistry for the Environment.* – No. 6. – P. 100110. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100110>. (in Eng.).

Pandey P., Khan F., Agarwal S., and Singh M. (2023). Nano Adsorbents in Wastewater Treatment: A New Paradigm in Wastewater Management. *AMG Transcend Association.* – No. 12 (4). – P. 125. DOI: 10.33263/LIANBS124.125. (in Eng.).

Seimukhanova L., Zhantikejev U., Sapargali I., Kunarbekova M., Kudaibergenov K., Skwarek E., Azat S. (2025). Surface and Structural Characterization of Buckwheat Husk-Derived Activated Carbons: Correlation of SEM, Elemental, FTIR, Raman, and Porous Properties with Electrokinetic Behavior. *International Journal of Molecular Sciences.* – No. 27. – P. 1803. <https://doi.org/10.3390/ijms27041803>. (in Eng.).

Shaikhiev I.G., Sverguzova S.V., Galimova R.Z., Grechina A.S. (2020). Using wastes of buckwheat processing as sorption materials for the removal of pollutants from aqueous media: a review. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* – No. 945. – P. 012044. DOI:10.1088/1757-899X/945/1/012044. (in Eng.).

UN Water. (2025). The United Nations World Water Development Report 2025: Mountains and glaciers Mountains and glaciers Water towers. UNESCO. <https://doi.org/10.54679/LHPJ5153>. (in Eng.).

Vahedi S., Yazdi M. S., Arani A. R. and Azadfalsh M. (2021). A comparative study on the effect of pH values and carbonic additives on the supercapacitive performance of LDH-derived Ni-Co-Al oxide. *J. Energy Storage.* – No. 43. – P. 103211. (in Eng.).

Wang B., Lan J., Bo Ch., Ou J. (2023). Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review. *RSC Advances.* – P. 4275-4302. DOI: 10.1039/d2ra07911a. (in Eng.).

Wang Y, Liu Z, Chen X, Sun D, Sun Y, Liu L, Li J, Li S. (2025). Preparation of biomass activated carbon and its adsorption performance for anionic/cationic dyes(10mg/L): A case study of coffee grounds, hemp stalks and macadamia nut shells. *Next Materials,* – No. 9. – P. 101258. <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.101258>. (in Eng.).

Yin D., Wang Z., Wen X., Ding Y., Hou X., Geng Y. and Li Y. (2019). Effects of carbon concentration, pH, and bubbling depth on carbon dioxide absorption ratio in microalgae medium. *Environ. Sci. Pollut. Res.* – No. 26. – P. 32902-32910. (in Eng.).

Yuan Y., An Z., Zhang R., Wei X. and Lai B. (2021). Efficiencies and mechanisms of heavy metals adsorption on waste leather-derived high-nitrogen activated carbon. *J. Cleaner Prod.* – No. 293. – P. 126215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126215>. (in Eng.).

Zhao Jiayu, Luo Qian, Zhao Wenlong, Li Cong, Xiao Junyang, Li Junfeng, Zhu Xuemei. (2026). A chitosan-modified buckwheat hull biochar dynamic adsorption column as a sustainable and efficient technology for lead-acid battery wastewater treatment. *Environmental Science Water Research & Technology*. – No. 12. – P. 1209-1221. DOI: 10.1039/d5ew01081k. (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)

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

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

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

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

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

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

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

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Managing Editor: T. Apendiev
Editors: D.S. Alenov, A. Shormakova
Computer layout: G.D. Zhadyranova

Signed for print: June 22, 2026
Format: 70×90 1/16. 24.5 printed sheets. Order No. 2.

*«Central Asian Academic Research Center» LLP
Almaty, Shevchenko Street, 28*