

**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№1  
2026**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC  
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF CHEMISTRY**

**1 (466)**

**JANUARY – MARCH 2026**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

#### Editor in chief:

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, 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:

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich** (deputy editor-in-chief) 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>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

#### ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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 № **KZ23VPY00121156**, issued 05.06.2025

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

Periodicity: 4 times a year.

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

#### Бас редактор:

**ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынулы**, 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=66021779606>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

#### Редакция алқасы:

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы** (бас редактордың орынбасары), 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>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ23VPY00121156, выданное 05.06.2025 г.

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

Периодичность: 4 раз в год.

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

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

**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>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакционная коллегия:**

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович** (заместитель главного редактора), 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>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № **KZ23VPYU00121156** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

## CONTENTS

## Chemistry

<b>Assembayeva E. K., Beisekhan A., Bozhbanov A. Zh., Nurmukhanbetova D.E., Gabdullina E.Zh.</b> Effect of chia seeds ( <i>Salvia Hispanica</i> l.) on the physicochemical and mineral properties of low-fat cottage cheese.....	11
<b>Balkhashbay Sh.Zh., Azimbayeva G.E., Kudaibergenova G.N., Kamysbayeva A.K., Kurbanbayeva N.M.</b> Determination of biologically active compounds in morphological parts of medicinal plants.....	24
<b>Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R.</b> Preparation and characterization of nanocellulose biocomposites from agro-waste of the Zhambyl region.....	39
<b>Demets O.V., Rakhimberlinova Zh.B., Zgardan V.V., Serykh N.V., Dyussekeyeva A.T.</b> Qualitative and quantitative analysis of amino acids in Kyrgyz birch bark extract.....	55
<b>Jumekeyeva A.I., Talgatov E.T., Auyezkhanova A.S., Kenzheyeva A.M., Naizabayev A.A.</b> Complex formation of palladium (II) ions with organic polymers of various nature.....	70
<b>Dmitriyeva E.A.</b> Electrolytes of lithium-ion batteries.....	83
<b>Yegemberdiyeva S., Abdurazova P., Turtabaev S., Shitybaev S., Kerimbayeva K.</b> Catalytic properties of Ru- and Rh-promoted skeletal nickel catalysts in the hydrogenation of butyraldehyde.....	97
<b>Yertayeva A.B., Adylbekova A.O., Toleubekova A.G.</b> Production of emulsions stabilized by bentonite clay particles.....	112
<b>Fischer D., Jumadilov T., Haponiuk J., Toilanbay G., Baishibekov A.</b> Interpolymer KU-2-8: AV-17-8 systems for selective sorption of rhenium, molybdenum and tungsten.....	129
<b>Zhanikulov N., Zhurgarayeva D.</b> Investigation of the quality of cement clinker obtained from heap leaching waste.....	148
<b>Zhoshybaeva A.A., Kozhanova K.K., Mombekov S.E., Barakova A.Sh.</b> Pharmaceutical development of a medicinal product containing an isocitrate lyase inhibitor.....	162
<b>Ivanov N.S., Abilmagzhanov A.Z., Nurtazina A.E., Adelbayev I.E., Kholkin O.S.</b> Sequential electrochemical processes for the treatment of magnesium leaching solutions.....	176

<b>Imangaliyeva B., Duzelbayeva S., Tolesinova I., Bukeykhan D., Turlanova A.</b> Chemical and agronomic assessment of the use of mineral wool and coconut fiber as a substrate in a greenhouse.....	190
<b>Kurmanaliev M.K., Shaikhova Zh.E., Abilkasova S.O., Kalimoldina L.M., Bugubaeva G.O.</b> Crown esters immobilized on polymeric supports as novel interfacial catalysts.....	207
<b>Mataev M.M., Ongarbek A.T., Sarsenbayeva Z.B., Nurbekova M.A., Abdraimova M.R.</b> Synthesis and morphology of perovskite-structured $\text{CaMnO}_{2.98}$ .....	221
<b>Medeuova G.Zh., Azimbayeva G.E., Kaliyeva A.N.*, Sadykova D.A., Anuarova L.E.</b> Determination of vitamins in <i>Polygonum Aviculare</i> L. using capillary electrophoresis.....	238
<b>Mukusheva G.K., Jalmakhanbetova R.I., Seilkhanov T.M., Bakibaev A.A., Aliyeva M.R.</b> Functional modification reactions at the nitrogen atom of salsolin and biological activity of the obtained derivatives.....	251
<b>Muldakhmetov Z.M., Zhakina A.Kh., Arnt O.V., Vassilets Ye.P., Zhakin A.M.</b> Composite materials modified with carbon filler.....	267
<b>Nazarbek U., Raiymbekov Y., Abdurazova P., Kambarova G.</b> Study on the efficiency of water treatment using nanostructured water.....	280
<b>Nauanova A.P., Kassenov R.Z., Davrenbekov S.Zh., Bolatbay A.N., Altynbekkyzy A.</b> Intensification of the process of extraction of humic substances from brown coal.....	295
<b>Nurlybayeva A.N., Zharlykapova R.B., Taubaeva R.S., Matniyazova G.K., Rustem E.I.</b> Study of physical, chemical and mechanical properties of acrylic terpolymer.....	309
<b>Uali A., Omirzak U., Titanov A., Abilkanova F., Kunarbekova M.</b> Waste biomass-derived Fe-modified biochar: structure and application in potentiometric analysis.....	323
<b>Khamitova A.S., Nurmukhanbetova N.N., Ostretsova I.B., Kassenova N.B., Kuderina B.T.</b> Synthesis of metal corrosion inhibitors based on ammonia.....	338

## МАЗМҰНЫ

### ХИМИЯ

<b>Асембаева Э.К., Бейсехан А., Божбанов А.Ж.,</b> Чиа дәндерінің ( <i>Salvia Hispanica L.</i> ) майсыздандырылған сүзбенің физика-химиялық және минералдық көрсеткіштеріне әсері.....	11
<b>Балқашбай Ш.Ж., Азимбаева Г.Е., Қудайбергенова Г.Н.,</b> <b>Қамысбаева А.К., Қурбанбаева М.</b> Дәрілік өсімдіктердің морфологиялық мүшелеріндегі биологиялық белсенді заттарды анықтау.....	24
<b>Дарменбаева А.С., Rajasekharan R.</b> Жамбыл облысының агрокалдықты негізінде nanoцеллюлозалық биокомпозиттерді алу және олардың қасиеттерін зерттеу.....	39
<b>Демец О.В., Рахимберлинова Ж.Б., Згардан В.В.*, Серых Н.В.,</b> <b>Дюсекеева А.Т., 2026.</b> Қырғыз қайың қабығының сығындысындағы аминқышқылдарының сапалық және сандық құрамын талдау.....	55
<b>Джумекеева А.И., Талғатов Э.Т., Ауезханова А.С., Кенжеева А.М., Найзабаев А.А.</b> Палладий (II) иондарының табиғаты әртүрлі органикалық полимерлермен кешен түзуі.....	70
<b>Дмитриева Е.А.</b> Литий-ионды аккумуляторлардың электролиттері.....	83
<b>Егембердиева С.Ж., Абдуразова П., Туртабаев С.К., Шитыбаев С.А.,</b> <b>Керимбаева К.З.</b> Ru және Rh промоторланған қаңқалы никель катализаторларының май альдегидін гидрлеу реакциясындағы каталитикалық қасиеттері.....	97
<b>Ертаева А.Б., Адильбекова А.О., Төлеубекова А.Ғ.</b> Бентонит сазының бөлшектерімен тұрақтандырылған эмульсияларды алу.....	112
<b>Фишер Д., Джумадилов Т., Хапонюк Ю., Тойланбай Г., Байшибеков А.</b> Рений, молибден және вольфрамды селективті сорбциялауға арналған KU-2-8:AV-17-8 интерполимерлі жүйелері.....	129
<b>Жаникулов Н., Жургараева Д.</b> Үйінді шаймалау қалдықтарынан алынған цемент клинкерінің сапасын зерттеу.....	148
<b>Жошыбаева А.А., Кожанова К.К., Момбеков С.Е., Баракова А.Ш.</b> Изоцитратлиаза ингибиторын қамтитын дәрілік препаратты фармацевтикалық әзірлеу.....	162

- Иванов Н.С., Абильмагжанов А.З., Нұртазина А.Е., Адельбаев И.Е., Холкин О.С.**  
Магнийді шаймалау ерітінділерін қайта өңдеу технологиясындағы дәйекті  
электрохимиялық процестер.....176
- Имангалиева Б., Дүзелбаева С., Төлесінова И., Букейхан Д., Тұрланова А.,**  
Жылыжайда минералды жүн мен кокос талшығын субстарт ретінде қолданудың  
химия-агрономиялық бағасы.....190
- Құрманалиев М.Қ., Шанхова Ж.Е., Әбілқасова С.О., Калимолдина Л.М.,**  
**Бугубаева Г.О.**  
Полимерлік тасымалдаушыларда иммобилизацияланған краун-эфирлер —  
жаңа фазааралық катализаторлар ретінде.....207
- Матаев М.М., Оңғарбек А.Т., Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А., Абдраимова М.Р.**  
**Перовскит құрылымды  $\text{CaMnO}_{2.98}$  синтезі мен морфологиясы.....221**
- Медеуова Г.Дж., Азимбаева Г.Е., Калиева А.Н., Садыкова Д.А., Ануарова Л.Е.**  
*Polygonum Aviculare* L. өсімдігінің құрамындағы дәрумендерді капиллярлы  
электрофорез әдісімен анықтау.....238
- Мукушева Г.К., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Бакибаев А.А., Алиева М.Р.**  
Сольсониннің азот атомы бойынша функционалдық модификация реакциялары  
және алынған туындылардың биологиялық белсенділігі.....251
- Мулдахметов З.М., Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.**  
Көміртекті толтырғышпен модификацияланған композициялық материалдар.....267
- Назарбек У., Райымбеков Е., Абдуразова П., Қамбарова Ғ.**  
Наноқұрылымданған суды қолдану арқылы суды тазарту тиімділігін зерттеу.....280
- Науанова А.П., Касенов Р.З., Давренбеков С.Ж., Болатбай А.Н., Алтынбекқызы Ә.**  
Қоңыр көмірден гуминдік заттарды бөліп алу процесін қарқындету.....295
- Нурлыбаева А.Н., Жарлыкапова Р.Б., Таубаева Р.С., Матниязова Г.К., Рустем Е.І**  
Акрил терполимердің физика-химиялық және механикалық қасиеттерін зерттеу.....309
- Уәли А., Өмірзақ Ұ., Титанов А., Абилканова Ф., Қунарбекова М.**  
Қалдық биомассадан алынған темірмен түрлендірілген биокөмір: құрылымы  
және потенциометриялық талдауда қолданылуы.....323
- Хамитова А.С., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Касенова Н.Б., Кудерина Б.Т.**  
Аммиак негізінде металдар коррозиясының ингибиторларын синтездеу.....338

## СОДЕРЖАНИЕ

## ХИМИЯ

<b>Асембаева Э. К., Бейсехан А., Божбанов А.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Габдуллина Е.Ж.</b> Влияние семян чиа ( <i>Salvia Hispanica L.</i> ) на физико-химические и минеральные показатели обезжиренного творога.....	11
<b>Балкашбай Ш.Ж., Азимбаева Г.Е., Кудайбергенова Г.Н., Камысбаева А.К., Курбанбаева Н.М.</b> Определение биологически активных веществ в морфологических органах лекарственных растений.....	24
<b>Дарменбаева А.С., Rajasekharan R.</b> Получение и свойства наноцеллюлозных биокмполитов на основе агроотходов Жамбылской области.....	39
<b>Демец О.В., Рахимберлинова Ж.Б., Згардан В.В., Серых Н.В., Дюсекеева А.Т.</b> Качественный и количественный анализ аминокислот в экстракте коры берёзы киргизской.....	55
<b>Джумекеева А.И., Талгатов Э.Т., Ауезханова А.С., Кенжеева А.М., Найзабаев А.А.</b> Комплексообразование ионов палладия (II) с органическими полимерами различной природы.....	70
<b>Дмитриева Е.А.</b> Электролиты литий-ионных аккумуляторов.....	83
<b>Егембердиева С.Ж., Абдуразава П., Туртабаев С.К., Шитибаев С.А., Керимбаева К.З.</b> Каталитические свойства скелетных никелевых катализаторов, промотированных Ru и Rh, в реакции гидрирования масляного альдегида.....	97
<b>Ертаева А.Б., Адильбекова А.О., Төлеубекова А.Ғ.</b> Получение эмульсий, стабилизированных частицами бентонитовой глины.....	112
<b>Фишер Д., Джумадилов Т., Хапонюк Ю., Тойланбай Г., Байшибеков А.</b> Интерполимерные системы KU-2-8:AV-17-8 для селективной сорбции рения, молибдена и вольфрама.....	129
<b>Жаникулов Н., Жургараева Д.</b> Исследование качества цементного клинкера, полученного из отходов кучного выщелачивания.....	148
<b>Жошыбаева А.А., Кожанова К.К., Момбеков С.Е., Баракова А.Ш.</b> Фармацевтическая разработка лекарственного препарата, содержащего ингибитор изоцитратлиазы.....	162

<b>Иванов Н.С., Абильмагжанов А.З., Нуртазина А.Е., Адельбаев И.Е., Холкин О.С.</b> Последовательные электрохимические процессы в технологии переработки растворов выщелачивания магния.....	176
<b>Имангалиева Б., Дүзелбаева С., Төлесінова И., Букейхан Д., Турланова А.</b> Химико-агрономическая оценка использования минеральной ваты и кокосового волокна в качестве субстрата в теплице.....	190
<b>Курманалиев М.К., Шаихова Ж.Е., Абилкасова С.О., Калимолдина Л.М., Бугубаева Г.О.</b> Краун-эфиры, иммобилизованные на полимерных носителях, как новые межфазные катализаторы.....	207
<b>Матаев М.М., Онгарбек А.Т., Сарсенбаева З.Б., Нурбекова М.А., Абдраимова М.Р.</b> Синтез и морфология перовскитной структуры $\text{CaMnO}_{2.98}$ .....	221
<b>Медсұова Г.Дж., Азимбаева Г.Е., Калиева А.Н., Садыкова Д.А., Ануарова Л.Е.</b> Определение витаминов, содержащихся в растении <i>Polygonum aviculare L.</i> , методом капиллярного электрофореза.....	238
<b>Мукушева Г.К., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Бакибаев А.А., Алиева М.Р.</b> Реакции функциональной модификации хлорида аммония по атому азота и биологическая активность полученных производных.....	251
<b>Мулдахметов З.М., Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.</b> Композитные материалы, модифицированные углеродным наполнителем.....	267
<b>Назарбек У., Райымбеков Е., Абдуразова П., Камбарова Г.</b> Исследование эффективности очистки воды с применением наноструктурированной воды.....	280
<b>Науанова А.П., Касенов Р.З., Давренбеков С.Ж., Болатбай А.Н., Алтынбекқызы А.</b> Интенсификация процесса выделения гуминовых веществ из бурого угля.....	295
<b>Нурлыбаева А.Н., Жарлыкапова Р.Б., Таубаева Р.С., Матниязова Г.К., Рустем Е.И.</b> Изучение физико-химических и механических свойств акрилового терполимера.....	309
<b>Уали А., Омирзак У., Титанов А., Абилканова Ф., Кунарбекова М.</b> Биоуголь, модифицированный железом, из отходов биомассы: структура и применение в потенциометрическом анализе.....	323
<b>Хамитова А.С., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Касенова Н.Б., Кудерина Б.Т.</b> Синтез ингибиторов коррозии металлов на основе аммиака.....	338

© **Nazarbek U.<sup>1</sup>, Raiymbekov Y.<sup>1\*</sup>, Abdurazova P.<sup>2</sup>, Kambarova G.<sup>1</sup>, 2026.**

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Zhanibekov University, Shymkent, Kazakhstan.

\*E-mail: [eraiymbekov@gmail.com](mailto:eraiymbekov@gmail.com)

## STUDY ON THE EFFICIENCY OF WATER TREATMENT USING NANOSTRUCTURED WATER

**Nazarbek Ulzhalgas** — PhD, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Research Laboratory “EcoGreenLab”, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: [unazarbek@mail.ru](mailto:unazarbek@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8890-8926>;

**Raiymbekov Yerkebulan** — PhD, M. Auezov South Kazakhstan University, Research Laboratory “EcoGreenLab”, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: [eraiymbekov@gmail.com](mailto:eraiymbekov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2119-2406>;

**Abdurazova Perizat** — PhD, Associate Professor, O. Zhanibekov South Kazakhstan Pedagogical University, Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: [abdurazova.perizat@okmpu.kz](mailto:abdurazova.perizat@okmpu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>;

**Kambarova Galiya** — Candidate of Technical Sciences, M. Auezov South Kazakhstan University, Research Laboratory “EcoGreenLab”, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: [kambarova85@mail.ru](mailto:kambarova85@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8417-3384>.

**Abstract.** Contamination of water resources with heavy metal ions, organic dyes, and dissolved salts represents one of the most pressing environmental and sanitary challenges of the modern era. Ions such as  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  are characterized by high toxicity and bioaccumulation potential, while synthetic dyes such as methylene blue are resistant to biological degradation and exert adverse effects on aquatic ecosystems. The objective of this study was to experimentally evaluate the effectiveness of nanostructured water (NSW) as an active medium for the purification of aqueous solutions from heavy metal ions, organic dyes, and components determining water hardness and mineralization. Nanostructured water was obtained through prolonged contact of deionized water with a Nafion ion-exchange membrane. Purification experiments were carried out using model aqueous solutions at a volumetric ratio of contaminated water to NSW of 1:1, followed by settling and filtration. Concentrations of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  ions were determined by atomic absorption spectroscopy. The concentration of methylene blue was measured using UV-Vis spectrophotometry. The results demonstrated that the application of nanostructured water ensures a high removal efficiency of heavy metals (up to 92.8% for  $\text{Pb}^{2+}$  and 88.0% for  $\text{Cu}^{2+}$ ), as well as effective removal of methylene blue (82.5%). A significant reduction in water hardness

due to the removal of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions was also observed. In addition, a decrease in total dissolved solids and electrical conductivity, along with a shift of pH toward neutral values, was recorded.

**Keywords:** nanostructured water, water purification, heavy metals, methylene blue, sorption processes

**Financing.** The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under project AP23487663.

For citations: Nazarbek U., Raiymbekov Y., Abdurazova P., Kambarova G. Study on the efficiency of water treatment using nanostructured water. *Academic Scientific Journal of Chemistry*, 2026. — No.1. – P. 280–294. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.355>

© Назарбек У.<sup>1</sup>, Райымбеков Е.<sup>1,\*</sup>, Абдуразова П.<sup>2</sup>, Қамбарова Ғ.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан.

E-mail: [eraiymbekov@gmail.com](mailto:eraiymbekov@gmail.com)

## НАНОҚҰРЫЛЫМДАНҒАН СУДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ СУДЫ ТАЗАРТУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

**Назарбек Улжалғас** — PhD, қауымдастырылған профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, «EcoGreenLab» ғылыми-зерттеу зертханасы, Шымкент, Қазақстан,  
E-mail: [unazarbek@mail.ru](mailto:unazarbek@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8890-8926>;

**Райымбеков Еркебұлан** — PhD, М. Әуезов атындағы ОҚУ, «EcoGreenLab» ғылыми-зерттеу зертханасы, Шымкент, Қазақстан,  
E-mail: [eraiymbekov@gmail.com](mailto:eraiymbekov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2119-2406>;

**Абдуразова Перизат** — PhD, қауымдастырылған профессор, Химия кафедрасы, Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Шымкент, Қазақстан,  
E-mail: [abdurazova.perizat@okmpu.kz](mailto:abdurazova.perizat@okmpu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>;

**Қамбарова Ғалия** — техника ғылымдарының кандидаты, М. Әуезов атындағы ОҚУ, «EcoGreenLab» ғылыми-зерттеу зертханасы, Шымкент, Қазақстан,  
E-mail: [kambarova85@mail.ru](mailto:kambarova85@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8417-3384>.

**Аннотация.** Су ресурстарының ауыр металл иондары, органикалық бояғыштар және еріген тұздармен ластануы қазіргі заманның ең өзекті экологиялық және санитарлық мәселелерінің бірі болып табылады.  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  және  $\text{Zn}^{2+}$  иондары жоғары уыттылығымен және биожинақталу қабілетімен сипатталса, метилен көгі сияқты синтетикалық бояғыштар биологиялық ыдырауға төзімді болып, су экожүйелеріне елеулі зиян келтіреді. Осыған байланысты суды тазартудың экологиялық қауіпсіз әрі энергия үнемдейтін баламалы тәсілдерін әзірлеу өзекті мәселе болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты нанокұрылымданған суды (НҚС) белсенді орта ретінде пайдалану арқылы су ерітінділерін ауыр металл иондарынан, органикалық бояғыштардан, сондай-ақ судың қаттылығы мен

минералдануын анықтайтын компоненттерден тазарту тиімділігін эксперименттік тұрғыда бағалау болып табылады. Нанокұрылымданған су деионизделген судың NaFоп ионалмастырғыш мембранасымен ұзақ уақыт бойы жанасуы нәтижесінде алынды. Тазарту тәжірибелері модельдік су ерітінділерінде ластанған су мен НҚС көлемдік қатынасы 1:1 болған жағдайда жүргізіліп, одан кейін тұндыру және сүзу сатыларымен жүзеге асырылды.  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  және  $\text{Zn}^{2+}$  иондарының концентрациялары атомдық-абсорбциялық спектроскопия әдісімен анықталды. Метилен көгінің мөлшері ультракүлгін спектрофотометрия арқылы өлшенді.  $\text{Ca}^{2+}$  және  $\text{Mg}^{2+}$  иондары титриметриялық әдіспен, жалпы тұз мөлшері мен меншікті электрөткізгіштік кондуктометриялық әдіспен, ал рН потенциометриялық әдіспен анықталды. Зерттеу нәтижелері нанокұрылымданған суды қолдану ауыр металдарды жоюдың жоғары тиімділігін қамтамасыз ететінін көрсетті ( $\text{Pb}^{2+}$  үшін 92,8 %-ға дейін,  $\text{Cu}^{2+}$  үшін 88,0 %), сондай-ақ метилен көгінің 82,5 % деңгейінде алынуын қамтамасыз етті. Сонымен қатар  $\text{Ca}^{2+}$  және  $\text{Mg}^{2+}$  иондарының концентрацияларының төмендеуі есебінен судың қаттылығының айтарлықтай азаюы байқалды. Жалпы тұз мөлшері мен меншікті электрөткізгіштіктің төмендеуі және рН мәнінің бейтарап аймаққа жақындауы тіркелді. Алынған деректер тазарту процесінің селективті сипатын және сорбциялық-коагуляциялық механизмдердің қатысуын көрсетеді.

**Түйін сөздер:** нанокұрылымданған су, суды тазарту, ауыр металдар, метилен көгі, сорбциялық процесстер

*Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің (AP23487663) гранттық қолдауымен жүзеге асырылды.*

© Назарбек У.<sup>1</sup>, Райымбеков Е.<sup>1,\*</sup>, Абдуразова П.<sup>2</sup>, Камбарова Г.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup> Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup> Южно-Казахстанский педагогический университет имени О. Жанибеков, Шымкент, Казахстан.

E-mail: eraiyimbekov@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ВОДЫ

**Назарбек Улжалгас** — PhD, ассоциированный профессор, ЮКУ имени М. Ауэзова, Научно-исследовательская лаборатория «EcoGreenLab», Шымкент, Казахстан,  
E-mail: unazarbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8890-8926>;

**Райымбеков Еркебулан** — PhD, ЮКУ имени М. Ауэзова, Научно-исследовательская лаборатория «EcoGreenLab», Шымкент, Казахстан,

E-mail: eraiyimbekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2119-2406>;

**Абдуразова Перизат** — PhD, ассоциированный профессор, ЮКПУ имени О. Жанибекова, кафедра Химии, Шымкент, Казахстан,

E-mail: abdurazova.perizat@okmpu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5244-7678>;

**Камбарова Галия** — кандидат технических наук, ЮКУ имени М. Ауэзова, Научно-исследовательская лаборатория «EcoGreenLab», Шымкент, Казахстан,

E-mail: kambarova85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8417-3384>.

**Аннотация.** Загрязнение водных ресурсов ионами тяжёлых металлов, органическими красителями и растворёнными солями представляет собой одну из наиболее актуальных экологических и санитарных проблем. Ионы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  характеризуются высокой токсичностью и способностью к биоаккумуляции, тогда как синтетические красители, в частности метиленовый синий, обладают высокой устойчивостью к биодegradации и оказывают негативное воздействие на водные экосистемы. Целью настоящего исследования является экспериментальная оценка эффективности применения наноструктурированной воды в качестве активной среды для очистки водных растворов от ионов тяжёлых металлов, органических загрязнителей и компонентов, определяющих жёсткость воды. Наноструктурированная вода получалась путём длительного контакта деионизированной воды с ионообменной мембраной Nafion. Очистка осуществлялась в модельных растворах при объёмном соотношении загрязнённой воды и наноструктурированной воды 1:1 с последующим отстаиванием и фильтрацией. Концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии, содержание метиленового синего - методом УФ-спектрофотометрии. Жёсткость воды оценивалась титриметрически ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), общее солесодержание и электропроводность - кондуктометрически, pH - потенциометрически. Результаты показали, что использование наноструктурированной воды обеспечивает высокую степень удаления тяжёлых металлов (до 92,8 % для  $\text{Pb}^{2+}$  и 88,0 % для  $\text{Cu}^{2+}$ ), метиленового синего (82,5 %), а также значительное снижение жёсткости воды. Дополнительно наблюдается уменьшение общего солесодержания и электропроводности, а также стабилизация pH до нейтральных значений. Полученные данные свидетельствуют о селективном характере очистки и возможном участии сорбционно-коагуляционных механизмов. Предложенный подход характеризуется простотой реализации, отсутствием химических реагентов и возможностью повторного использования наноструктурированной воды, что делает его перспективным для экологически безопасных технологий водоочистки.

**Ключевые слова:** наноструктурированная вода, очистка воды, тяжёлые металлы, метиленовый синий, сорбционные процессы

**Кіріспе.** Бүгінгі таңдағы ең өзекті экологиялық мәселелердің бірі - су ресурстарының улы ластаушы заттармен - ауыр металдармен және тұрақты органикалық бояғыштармен ластануы. Металлургиялық, тау-кен, химиялық және басқа да өнеркәсіптік зауыттардың ағынды суларында жиі кездесетін қорғасын ( $\text{Pb}^{2+}$ ), кадмий ( $\text{Cd}^{2+}$ ), мыс ( $\text{Cu}^{2+}$ ) және мырыш ( $\text{Zn}^{2+}$ ) сияқты ауыр металл иондары ерекше алаңдаушылық тудырады (Balali-Mood et al., 2021). Ауыр металдар биологиялық ыдырауға ұшырамайды және қоршаған ортада және биотада жиналып, тіпті төмен концентрацияда да ұзақ мерзімді ластануға әкеледі. Бұл элементтер адам денсаулығы мен экожүйеге ауыр зиян келтіретіндіктен басым токсиканттар болып саналады.

Тірі организмдерге ауыр металдардың улы әсері жақсы құжатталған. Қорғасын - күшті нейротоксин, ол созылмалы әсер ету орталық жүйке жүйесіне әсер етеді,

когнитивті бұзылуларды тудырады және бүйрек жеткіліксіздігі мен қатерлі ісікке әкелуі мүмкін. Кадмий өзінің кумулятивті әсерлерімен танымал, денедегі  $Cd^{2+}$  шөгінділері сүйектің зақымдануына және бүйрек пен бауырдың ауыр зақымдануына әкеледі. Мыс пен мырыш аз мөлшерде тіршілік үшін маңызды микроэлементтер болып табылады, бірақ олардың артық мөлшері улы,  $Cu^{2+}$  жоғары концентрациясы шаштың түсуіне, анемияға және бүйрек пен бауырдың зақымдалуына әкеледі, ал  $Zn^{2+}$  артық мөлшері құсуды, қызбаны, дерматитті және анемияны тудырады (Bayar et al., 2024). Бұл металдардың салыстырмалы түрде төмен дозаларының ұзақ уақыт әсер етуі созылмалы аурулардың қаупін арттырады. Мысалы, кадмийдің ұзақ уақыт әсер етуі бүйректе қайтымсыз өзгерістерге әкелетіні, ал қорғасын сүйектер мен мида жиналып, неврологиялық бұзылулар мен көптеген жүйелік аурулардың дамуына қауіп төндіретіні анықталды. Ауыр металдар әдетте канцероген және мутагендер ретінде танылады, олардың ауыз суда болуы қатаң ережелермен дәлелденгендей, қолайсыз. Мысалы, ауыз судағы  $Pb^{2+}$ -ның ең жоғары рұқсат етілген концентрациясы тек 0,01 мг/л құрайды. Ауыр металдардың су айдындарына түсуі экожүйелер мен қоғамдық денсаулыққа маңызды қауіп төндіреді (National Primary Drinking Water Regulations, 2023).

Ауыр металдардан басқа, метилен көк (МБ) сияқты синтетикалық бояғыштардың кең ауқымы судың ластануына айтарлықтай ықпал етеді (Zhang et al., 2020). Тоқыма және былғары өнеркәсібінде, фармацевтикада және биологияда кеңінен қолданылатын бұл катионды бояғыш өте тұрақты және улы. Метилен көк ағынды суларға түскенде, ол қанық түс береді және мөлдірлікті азайтады, күн сәулесінің су бағанына енуіне жол бермейді. Бұл өз кезегінде су өсімдіктері мен балдырлардағы фотосинтезді тежейді, оттегі тепе-теңдігін және экожүйенің жұмысын бұзады (Hardness in Drinking Water, 2025). МБ және басқа да бояғыштарды қамтитын түрлі-түсті өнеркәсіптік ағынды сулар химиялық және биологиялық оттегіге деген сұраныстың артуымен сипатталады және көбінесе су организмдері мен адамдар үшін мутагендік және канцерогендік улы хош иісті фрагменттерді қамтиды. Метилен көк түсінің әсер етуі терінің және шырышты қабықтың тітіркенуін, ас қорытудың бұзылуын және жоғары дозаларда серотонин синдромын қоса алғанда, денсаулыққа байланысты күрделі мәселелерді тудыруы мүмкін екендігі анықталды (World Health Organization, 2003). Осылайша, суда синтетикалық бояғыштардың болуы оның эстетикалық қасиеттерін нашарлатып қана қоймай, сонымен қатар ұзақ мерзімді экологиялық және санитарлық қауіптерді тудырады.

**Әдеби шолу.** Бүгінгі таңда суды тазарту әдістерінің арсеналы өте кең, бірақ барлық қоспа түрлерін тиімді түрде кетіретін әмбебап технология жоқ. Судан әртүрлі қоспа түрлерін кетірудің ең әмбебап және тиімді тәсілдерінің бірі - кеуекті сорбенттерге адсорбциялау. Кешенді тазартудың белгілі әдісі тазартылып жатқан суға белсендірілген беті бар табиғи кальций карбонатына негізделген наноқұрылымды сорбент қосуды қамтиды. Жоғары меншікті беттік ауданы бар ұсақ дисперсті кальций карбонаты (бөлшектердің өлшемі шамамен 0,1-50 мкм) су көлемінің 1% - 10 ppm жылдамдықпен енгізіледі; сорбент бөлшектері ауыр металдарды, органикалық токсиканттарды (мысалы, фенолдар, гормон тәрізді қосылыстар) және басқаларын қоса алғанда, ластаушы заттардың кең ауқымын адсорбциялайды. Араластырғаннан кейін су сүзіледі, жұмсалған сорбент пен жинақталған ластаушы заттарды кетіреді, осылайша қоспаларды бір

мезгілде тазарту және бейтараптандыру жүзеге асырылады. Бұл әдіс ұсынылған өнертабыстан ерекшеленеді, себебі ол сыртқы реагентті ( $\text{CaCO}_3$  ұнтағын) қосуды және оны судан шығару үшін кейіннен сүзуді қажет етеді, ал талап етілген тазарту әдісі наноқұрылымды суды сорбенттерді қоспай тікелей пайдаланады. Кемшіліктеріне жұмсалған сорбентті жою қажеттілігі (ластаушы шөгіндінің пайда болуы) және тиімділіктің доза мен байланыс уақытына тәуелділігі жатады. Сонымен қатар, көп мөлшерде ұнтақ енгізу судың лайлылығын арттырып, қосымша сүзуді қажет етуі мүмкін (Gantenbajn et al., 2013).

Суды тазартудың белгілі әдісі наноқұрылымды сүзгі ортасын пайдаланады. Бұл ерітіндіде субстрат бөлшектері (мысалы, құм) металл оксиді нанобөлшектерімен (<1000 нм өлшемде) қапталған. Ластанған су осындай ортадан өткен кезде, нанобөлшектер ван-дер-Ваальс күштері мен электростатикалық адгезияға байланысты ең ұсақ суспензияланған қоспаларды байланыстырады және сақтайды. Сүзгі бетіндегі нанобөлшектер коллоидты ластаушы бөлшектердің кеуекті қабатта сақталатын үлкен агрегаттарға агломерациялануына әкеледі, бұл сұйықтықты лайлылық пен ұсақ қоспалардан жоғары деңгейде тазартуды қамтамасыз етеді. Бұл әдіс ұсынылған өнертабыстан ерекшеленеді, себебі тазарту ортасы қатты наноқұрылымды сүзгі болып табылады, ал талап етілген ерітіндіде тазартылған судың өзі наноқұрылымды қасиеттерге ие болады. Сонымен қатар, әдіс негізінен қалқымалы қатты заттарды кетіруге бағытталған және еріген химиялық ластаушы заттарды (мысалы, тұздар немесе органикалық заттарды) бейтараптандыруды қарастырмайды. Белгілі кемшіліктері - сүзгі жұмыс істеген кезде, сорбциялық қабаттың біртіндеп қанығуына және нанобөлшектермен жабылуына байланысты тиімділік төмендеуі мүмкін, бұл сүзгі ортасын мерзімді түрде қалпына келтіруді немесе ауыстыруды қажет етеді. Нанобөлшектерді толтырғышқа біркелкі жағудағы қиындықтар және олардың тазартылған суға шайылу қаупі де қиын болуы мүмкін (Huang and Crews, 2009).

Белгілі әдіс дезинфекциялау мен сорбцияның нанотехнологиялық әдістерін біріктіретін мембраналық сүзгіні сипаттайды. Композиттік наноқұрылымды мембрана екі функционалды қабаттан тұрады. Біріншісі - күміс нанобөлшектері, полидопамин және күміс нанобөлшектерімен қапталған поливинил спирті нанобөлшектері су ағыны кезінде бактериялар мен вирустарды жоюға арналған (микробқа қарсы әсері бар Ag иондарының үздіксіз бөлінуіне байланысты). Екіншісі - химиялық түрлендірілген қабат, аниондық топтармен (сульфонат фрагменттері бар PVA сополимері) функционалдандырылған нанотәжелер судағы ауыр металл иондары мен басқа да еріген қоспаларды байланыстыруға қызмет етеді. Бұл қос қабатты мембрана суды пассивті түрде зарарсыздандырады және улы бейорганикалық ластаушы заттарды кетіреді. Ұсынылған өнертабыстан айырмашылығы, белгілі ерітінді мерзімді ауыстыруды немесе регенерацияны қажет ететін сүзгі материалын пайдаланады, ал талап етілген әдіс наноқұрылымды суды тікелей (сүзгі элементтерінсіз) пайдаланады. Әлеуетті кемшіліктерге күрделі көп қабатты мембрананы өндіру және оның қызмет ету мерзімі аяқталған кезде оны ауыстыру қажеттілігі жатады, антибактериалды қабаттың тиімділігі күмістің шайылуына байланысты уақыт өте келе төмендеуі мүмкін, ал сорбциялық қабаттың селективтілігі белгілі бір ион түрлерімен шектеледі, бұл өңдеудің әмбебаптығын төмендетеді (Guo et al., 2006).

Зерттеудің мақсаты - наноқұрылымды суды өзгертілген физика-химиялық

қасиеттері бар белсенді орта ретінде пайдалану арқылы суды ластаушы заттардың кең ауқымынан (ауыр металл иондарын, органикалық қосылыстарды және қаттылық иондарын қоса алғанда) тазарту тиімділігін арттыру. Қосымша мақсаттарға тазарту процесін жеңілдету, реагент шығындарын азайту, жұмыс ортасын қайта пайдалануды қамтамасыз ету және процесте сүзгілеу немесе ион алмасу материалдарын пайдалану қажеттілігін жою жатады.

**Материалдар мен әдістер.** Мәселе ластанған судың белсенді ортамен әрекеттесуін қамтитын суды тазарту әдісінде белсенді орта ретінде наноқұрылымды суды (НҚС) пайдалану арқылы шешіледі. Белсенді орта деиондалған суды перфторсульфон қышқылы полимеріне (мысалы, Nafion) негізделген ион алмасу мембранасымен 24-48 сағат бойы жанастырып ұстау арқылы алынады. Алынған НҚС жоғары реттелген құрылымы, өзгертілген рН және жоғары диэлектрлік тұрақтысы бар оқшаулау аймағына (EZ) ие. Тазарту ластанған суды НҚС белгіленген арақатынаста араластыру, содан кейін тұндыру, тұндыру және/немесе сүзу арқылы жүзеге асырылады. Бұл қосымша реагенттерді пайдаланбай еріген және дисперсті ластаушы заттардың жойылуын қамтамасыз етеді. НҚС тиімділігін айтарлықтай жоғалтпай үш циклге дейін қайта пайдалануға болады.

Ұсынылған суды наноқұрылымды суды пайдалану арқылы тазарту әдісінің тиімділігін растау үшін бірқатар зертханалық тәжірибелер жүргізілді. Наноқұрылымды суды (НҚС) қалыптастыру үшін 25 x 75 мм шыны негізге жұқа қабат ретінде Nafion ион алмасу мембранасының (DuPont) 5% сулы ерітіндісі жағылды. Негіздер этанолмен алдын ала тазартылып, 120°C температурада күйдірілді. Ерітіндіні қолданғаннан кейін мембрана тығыз полимер қабаты пайда болғанша бөлме температурасында 12 сағат бойы кептірілді.

Кедергілігі  $\geq 18,2$  МОм см<sup>-1</sup> болатын деиондалған су тығыздалған шыны камераға (қақпағы бар Петри ыдысы сияқты) орналастырылды, оған мембраналық сырғымалар орнатылды. Мембрана бетімен судың жанасуы  $22 \pm 1$ °C температурада статикалық жағдайда араластырмай жүзеге асырылды. Әсер ету 48 сағатқа созылды. Әсер ету аяқталғаннан кейін 20 мл су бөлек резервуарға мұқият жиналып, наноқұрылымды су (НҚС) ретінде жіктелді. Ластанған судың әртүрлі түрлерін модельдеу үшін модельдік ерітінділер келесі қосылыстармен деионданған суды пайдаланып дайындалды: ауыр металл иондары Cu<sup>2+</sup> (10 мг/л), Pb<sup>2+</sup> (5 мг/л), Cd<sup>2+</sup> (2 мг/л), Zn<sup>2+</sup> (8 мг/л), органикалық бояғыш метилен көк (20 мг/л), қаттылық иондары Ca<sup>2+</sup> (60 мг/л), Mg<sup>2+</sup> (40 мг/л), жалпы еріген қатты заттар (TDS) 950 мг/л (рН мәні бойынша NaCl), рН және меншікті өткізгіштік те өлшенді. Модельдік ерітінділердегі ластаушы заттардың бастапқы концентрациялары су ортасының әртүрлі типтегі ластануын имитациялау, қолданылған аналитикалық әдістердің жұмыс диапазонында сенімді анықталу және наноқұрылымданған судың тазарту тиімділігін айқын бағалау қағидалары негізінде таңдалды. Концентрациялар тым төмен емес, өзгерісті сенімді тіркеуге жеткілікті, әрі тым жоғары емес, жүйенің модельдік сипатын сақтайтын деңгейлерде алынды. Мұндай тәсіл әртүрлі табиғаттағы ластаушы заттар үшін НҚС әсерін салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Тазарту келесі әдіспен жүргізілді - НҚС әрбір 50 мл модельдік үлгіге

1:1 қатынасында қосылды. Қоспа бөлме температурасында 30 минут бойы араластырмай ұсталды. Тұндырылғаннан кейін ол қағаз сүзгі арқылы сүзілді. Бақылау үлгілері (НҚС-сіз) бірдей өңделді, бірақ деионданған су қосылды.

Аналитикалық әдістер. Барлық ерітінділерді дайындау үшін талдамалық дәрежедегі (analytical grade) реактивтер және деиондалған су қолданылды.  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  иондары үшін стандартты ерітінділер коммерциялық бастапқы стандарттардан кезең-кезеңімен сұйылту арқылы дайындалды (матрицалық тұрақтандыру үшін әлсіз қышқыл орта, 1%  $\text{HNO}_3$  пайдаланылды). Ластануды бақылау мақсатында реагенттік «бос» үлгі дайындалды, ал өлшеулер кемінде 3 қайталауда жүргізілді. Әдістің дұрыстығын бағалау үшін стандарт қосу тәсілі қолданылды. Сулы үлгілер қажет болған жағдайда 0,45  $\mu\text{m}$  мембраналық сүзгі арқылы сүзілді, қатты үлгілер үшін минералдау/қышқылмен ыдырату жалпы қабылданған процедуралар бойынша жүргізілді. Ауыр металдардың ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) концентрациялары AAnalyst 800 (PerkinElmer) атомдық-абсорбциялық спектрометрінде анықталды. Құрылғы жалынды атомизатормен және графитті пешпен (THGA) жұмыс істеуге мүмкіндік береді, фондық жұтылуды түзету үшін Zeeman-түзету режимі қолданылды. Өлшеулер бірэлементті катодты шамдармен (HCL) (қажет сезімталдыққа қарай EDL) жүргізілді. Күтілетін концентрациялар деңгейіне қарай атомизация режимі таңдалды. Жоғарылау концентрациялар үшін жалынды AAS (FAAS), ал іздік (төмен) концентрациялар үшін графитті пешті AAS (GFAAS) қолданылды. Өлшеулер 228,8-324,8 nm толқын ұзындықтарында орындалды. Жалын ретінде «ауа-ацетилен» жүйесі қолданылды. Абсорбция сигналы фондық түзетумен бірге тіркелді. Сигналды тіркеу көбіне пик ауданы (peak area) бойынша жүргізілді. Инертті газ (аргон) ағынында кептіру-күйдіру-атомизация-тазалау кезеңдерінен тұратын температуралық бағдарлама пайдаланылды. Матрицалық әсер байқалған жағдайда матрица модификаторлары қолданылып, режимдер бақылау үлгілері арқылы валидацияланды. Сандық анықтау сыртқы калибрлеу әдісімен орындалды. Әр элемент үшін кемінде 3-5 нүктелі калибрлеу ерітінділері дайындалып, «абсорбция-концентрация» тәуелділігі құрылды. Әр үлгі кемінде үш қайталауда өлшенді. Нәтижелер сулы үлгілер үшін мг/л, ал қатты үлгілер үшін навеска массасы мен соңғы көлемді ескере отырып мг/кг түрінде есептелді. Әдістің сапасын бақылау үшін реагенттік бланк, дубль-өлшеулер және стандарт қосылған үлгілер пайдаланылды; алынған нәтижелер калибрлеу теңдеуі және сұйылту коэффициенті бойынша түзетіліп есептелді.

Метилен көгінің (МВ) концентрациясы BIOBASE УФ-көрінетін спектрофотометрінде анықталды. Өлшеулер метилен көгінің сулы ерітіндідегі жұтылу максимумы сәйкес келетін  $\lambda = 664 \text{ nm}$  толқын ұзындығында жүргізілді. Үлгілер қажет болған жағдайда 0,45  $\mu\text{m}$  сүзгі арқылы сүзілді және аспаптың сызықтық диапазонына түсу үшін сұйылтылды. Оптикалық тығыздық (А) 1 cm оптикалық жолы бар кюветада «бос» ерітіндіге (деиондалған су немесе матрицалық бланк) қатысты өлшенді. МВ үшін бірнеше нүктелі калибрлеу ерітінділері дайындалып, калибрлеу графигі құрылды. Концентрациялар Бугер-

Ламберт-Бер заңына сәйкес сызықтық аймақта калибрлеу тендеуі арқылы және сұйылыту коэффициентін ескере отырып есептелді.

Кальций мен магний иондарының жалпы мөлшері ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) ЭДТА ерітіндісімен комплексонометриялық титрлеу арқылы анықталды. Әдістің негізі -  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  иондарының ЭДТА-мен 1:1 стехиометрия бойынша тұрақты кешен түзуі және индикатордың түсінің эквиваленттік нүктеде өзгеруі. Үлгінің белгілі аликвотасына (аммиакты буфер қосып  $\text{pH} \approx 10$  мәніне келтірілді, содан кейін Эрихром қара Т (индикаторының 2-3 тамшысы енгізілді. Үлгі стандартталған ЭДТА ерітіндісімен титрленді. Эквиваленттік нүкте индикатор түсінің әдеттегі ауысуымен белгіленді.

Тәжірибелердің қайталануы мен нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету мақсатында әрбір модельдік ерітінді үшін тазарту тәжірибесі тәуелсіз түрде кемінде үш рет ( $n = 3$ ) жүргізілді. Аналитикалық өлшеулер әр қайталауда бөлек орындалып, алынған нәтижелер бойынша орташа мән және стандартты ауытқу есептелді. Статистикалық дәлдікті бағалау үшін қосымша түрде салыстырмалы стандартты ауытқу анықталды. НҚС қолданылған және бақылау үлгілерінің айырмашылығын тексеру мақсатында деректер қалыпты таралу шартында Стьюденттің t-тесті қолданылып,  $p < 0,05$  деңгейінде айырмашылықтар статистикалық мәнді деп қабылданды. Бұл тәсіл тәжірибелердің қайталанғыштығын және алынған нәтижелердің статистикалық негізділігін қамтамасыз етеді.

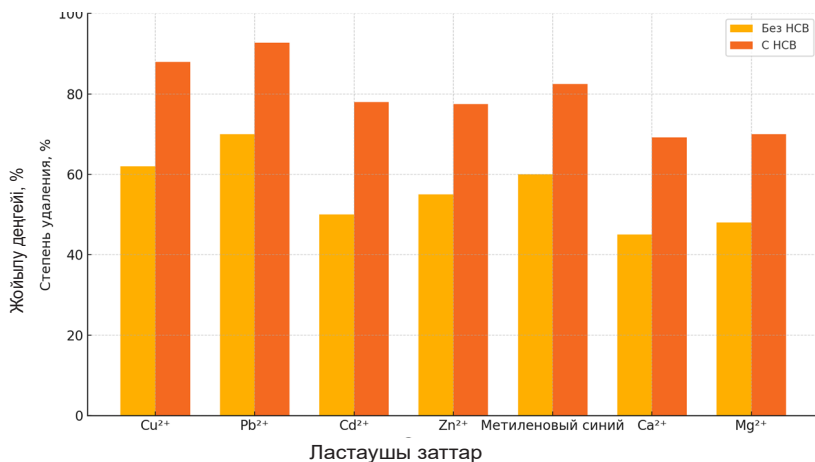
**Нәтижелер.** Нанокұрылымды суды пайдаланып модельдік сулы ерітінділерді тазарту бойынша тәжірибелердің нәтижелері 1-кестеде және 1-суретте көрсетілген. Зерттеу барысында ауыр металл иондарының ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ), органикалық бояғыш метилен көктің және судың қаттылығы мен минералдануын анықтайтын компоненттердің ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , жалпы тұз мөлшері) жойылу тиімділігі бағаланды. Сондай-ақ ортаның қышқыл-негіздік және электрохимиялық сипаттамаларының өзгерістері ( $\text{pH}$  және меншікті өткізгіштік) талданды.

Кесте 1 — Нанокұрылымды суды пайдаланып модельдік сулы ерітінділерді тазарту бойынша тәжірибелердің нәтижелері

№	Ластаушы түрі	Бастапқы концентрация, мг/л	Тазартудан кейін қалғаны, мг/л	Жойылу деңгейі, %	Талдау әдісі
1	$\text{Cu}^{2+}$	10,0	1,2	88,0 %	ААС
2	$\text{Pb}^{2+}$	5,0	0,36	92,8 %	ААС
3	$\text{Cd}^{2+}$	2,0	0,44	78,0 %	ААС
4	$\text{Zn}^{2+}$	8,0	1,8	77,5 %	ААС
5	Метилен көгі	20,0	3,5	82,5 %	УФ-спектрофотометрия
6	Кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ )	60,0	18,5	69,2 %	Титриметрия
7	Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ )	40,0	12,0	70,0 %	Титриметрия
8	Жалпы тұз мөлшері	950,0	740,0	22,1 %	Кондуктометрия
9	$\text{pH}$	6,2	6,8	-	$\text{pH}$ -метрия
10	UEL (мкСм/см)	1200	1040	-	Кондуктометрия

1-кестеде келтірілген деректерден көрініп тұрғандай, НҚС белсенді орта ретінде пайдаланылуы бақыланатын үлгілермен салыстырғанда зерттелген ластаушы заттардың көпшілігінің концентрациясының айтарлықтай төмендеуіне әкелді. Ауыр металл иондары үшін ең жоғары жою көрсеткіштері тіркелді -  $Pb^{2+}$  үшін 92,8%,  $Cu^{2+}$  үшін 88,0%,  $Cd^{2+}$  үшін 78,0% және  $Zn^{2+}$  үшін 77,5%. Метилен көк үшін де жоғары тазарту тиімділігі байқалды, жою жылдамдығы 82,5%-ға жетті. Бұл нәтижелер наноқұрылымды судың ластаушы заттардың су ортасымен өзара әрекеттесуін күшейтетінін көрсетеді. Сорбция және коагуляция механизмдері бұл процесте маңызды рөл атқарады, бұл сутектік байланыстардың құрылымындағы өзгерістерге және наноқұрылымды судағы реттелген су кластерлерінің пайда болуына байланысты. Бұл өз кезегінде металл иондары мен органикалық бояғыш молекулаларының агрегациялануына және кейіннен сүзу кезінде жойылуына бейімділігін арттырады. Мақсатты ластаушы заттарды жоюмен қатар, судың қаттылығына жауап беретін кальций мен магний иондарының концентрациясының төмендеуі тіркелді: олардың жою жылдамдығы сәйкесінше 69,2% және 70,0% құрады. Жалпы тұз мөлшері аз дәрежеде (22,1%-ға) төмендеді, бұл НҚС-тің, ең алдымен, көп зарядталған катиондарға және онымен байланысты иондық кешендеріне селективті әсерін көрсетеді.

1-суретте НҚС қатысуымен және оны пайдаланбай бақылау жағдайында суды тазарту тиімділігінің салыстырмасы көрсетілген. Барлық жағдайларда НҚС қолдану ластаушы заттардың концентрациясының айқын төмендеуіне әкелетіні анық, бұл оның тазарту процесіндегі белсенді рөлін растайды.

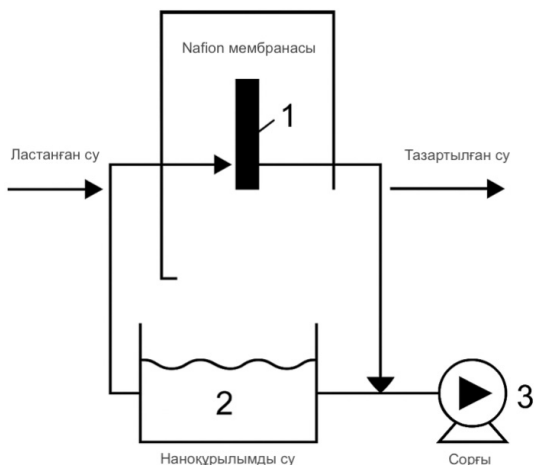


Сурет 1 — Суды тазарту тиімділігін НҚС-пен және онсыз салыстыру

Сонымен қатар, рН 6,2-ден 6,8-ге дейін жоғарылауы және ерітінділердің меншікті электр өткізгіштігінің төмендеуі байқалды, бұл өңдеу нәтижесінде сулы ортаның физика-химиялық қасиеттерінің өзгеруін көрсетеді. Бұл өзгерістер ерітіндідегі иондардың қайта бөлінуіне және еріген тұздардың ішінара жойылуына, сондай-ақ құрылымдалған су матрицасының қасиеттеріне байланысты болуы мүмкін.

Осылайша, алынған эксперименттік деректер ауыр металл иондарын, органикалық бояғыштарды және қаттылық компоненттерін жою үшін суды тазарту жүйелерінде белсенді және қайта пайдалануға болатын орта ретінде нанокұрылымды суды пайдалану мүмкіндігін растайды.

2-суретте НҚС көмегімен суды тазарту диаграммасы көрсетілген.



Сурет 2 — Нанокұрылымды суды (НҚС) пайдаланатын суды тазарту модулінің схемалық диаграммасы: 1 - Нафшонды мембрана (ион алмасу мембранасы): Суды құрылымдау үшін қолданылады. Деионданған сумен ұзақ уақыт байланыста болған кезде, оның айналасында су нанокұрылымды қасиеттерге ие болатын оқшаулау аймағы (EZ) пайда болады. 2 - Нанокұрылымды су (НҚС) резервуары: мембранамен байланыста болған кезде құрылымдалған суды жинайды және сақтайды. НҚС ластанған сумен әрекеттесу үшін белсенді фаза ретінде қолданылады. Бұл жүйеде ол қайта айналымға енгізіліп, тазарту процесіне қайта енгізіледі. 3 - Сорғы: мембрана модулі, НҚС резервуары және ластанған су кіріс жүйесі арасындағы тұйық циклде су айналымын қамтамасыз етеді. Тұрақты қысым мен біркелкі ағынды сақтайды.

Алынған тәжірибелік деректер нанокұрылымды суды (НҚС) пайдалану сулы ерітінділерден әртүрлі ластаушы заттарды кетіру тиімділігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Ауыр металл иондары ( $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ) және органикалық бояғыш метилен көк үшін ең жоғары кетіру дәрежесі тіркелді, бұл НҚС-ның бейорганикалық және органикалық ластаушы заттарға әмбебап әсерін көрсетеді.

**Талқылаулар.** Ауыр металл иондарын кетірудің жоғары тиімділігі НҚС қатысуымен сулы орта құрылымының өзгеруіне байланысты болуы мүмкін (Singh et al., 2023). Реттелген су кластерлерінің пайда болуы және нанокұрылымды суға тән сутектік байланыс жүйесінің қайта бөлінуі көп зарядталған катиондардың гидратациялық қабығының азаюына ықпал етеді (Jeong et al., 2021). Бұл өз кезегінде олардың агрегациясын және байланысты формаларға ауысуын жеңілдетеді, тұндыру және кейінгі сүзу кезінде олардың кету ықтималдығын арттырады.  $Pb^{2+}$  және  $Cu^{2+}$  үшін ерекше айқын әсер байқалды, бұл олардың құрылымдалған сулы ортада кешен түзілуіне және коагуляцияға жоғары бейімділігімен байланысты болуы мүмкін (Bisht et al., 2022).

Метилен көкті кетіру де өте тиімді болды, бұл таза иондық өзара әрекеттесуден тыс қосымша механизмдердің қатысуын көрсетеді. Метилен көк молекулаларының катиондық табиғаты, сондай-ақ  $\pi$ - $\pi$  өзара әрекеттесулері мен ассоциацияларына қабілетті хош иісті фрагменттердің болуы олардың реттелген сулы матрицасында сақталуын жеңілдетуі мүмкін. Құрылымдық су бұл жағдайда органикалық молекулалардың коагуляциясы мен агрегациясын ынталандыратын орта ретінде әрекет етеді, сүзу кезінде олардың механикалық жойылуын жеңілдетеді.

Судың қаттылығын анықтайтын кальций мен магний иондарының концентрациясының төмендеуі сілтілік жер катиондарына да әсер ету қабілетін көрсетеді. Дегенмен, оларды жою дәрежесі ауыр металдармен салыстырғанда төмен болды, бұл  $\text{Ca}^{2+}$  және  $\text{Mg}^{2+}$ -ның төменгі поляризациясымен және ассоциациялар мен координациялық кешендер түзуге бейімділігінің төмендеуімен сәйкес келеді. Бұл тазарту процесінің селективтілігін көрсетеді, ол жоғары заряд тығыздығы мен айқын координациялық қасиеттері бар иондарды артықшылықпен жояды (Oliveira et al., 2003).

Ерітінділердің жалпы тұз мөлшерінің және меншікті электр өткізгіштігінің салыстырмалы түрде аз төмендеуі барлық еріген тұздарды толығымен жоятынын емес, керісінше белгілі бір иондық формаларға және олардың агрегацияланған күйлеріне әсер ететінін көрсетеді (Duijicua et al., 2022). Бұл факт практикалық тұрғыдан пайдалы, себебі ол суды толық тұзсыздандырмай улы иондардың концентрациясын азайтуға мүмкіндік береді, бұл әсіресе ауыз су және тұрмыстық сумен жабдықтау үшін маңызды.

Ерітінділерді НҚС көмегімен өңдегеннен кейін рН-ның байқалған жоғарылауы құрылымдалған су матрицасындағы протондардың қайта бөлінуіне және қышқыл-негіз тепе-теңдігіне қатысатын катиондардың ішінара жойылуына байланысты болуы мүмкін. Бұл рН өзгерісі қолайлы диапазонда және қосымша түзетуді қажет етпейді, бұл ұсынылған тәсілдің технологиялық тартымдылығын арттырады. Практикалық тұрғыдан алғанда, ластаушы заттардың концентрациясының төмендеуі ғана емес, сонымен бірге қол жеткізілген қалдық мәндердің сипаты да маңызды. Ауыр металдар үшін НҚС өндеуден кейін қалдық концентрациялар лоб деңгейінде болады-мг/л бірліктері, бұл жұмсақ жанау жағдайында да айқын әсер көрсетеді (30 мин, араластырусыз). Мұндай нәтиже токсиканттарды нормативтік рұқсат етілген мәндерге жақын деңгейге дейін төмендетуге бағытталған суды тазарту схемалары үшін өте маңызды, өйткені бұл ауыр металдар, әдетте, негізгі тәуекелдерді (санитарлық және экологиялық) қалыптастырады және қатаң бақылауды қажет етеді. Керісінше, тұздың жалпы мөлшері азаяды, бұл НҚС толық тұзсыздандыру құралы ретінде емес, ең алдымен суды түбегейлі деминерализациялауға емес, улы және "проблемалық" компоненттерді жоюға бағытталған алдын-ала тазарту құралы ретінде түсіндіруге мүмкіндік береді. Алынған мәліметтерді Nafion ион алмасу мембранасымен байланыста болған кезде НҚС түзілу ерекшеліктері арқылы түсіндірген жөн. Nafion үшін айқын фазааралық әсерлердің болуы сипатталады. Судың беткі қабаты теріс зарядқа ие болып, иондық құрамның градиентін құра алады (интерфейске жақын протондар

мен катиондардың қайта бөлінуін қоса алғанда). Осы модель аясында жүйеде НҚС катионды ластаушы заттармен өзара әрекеттесу қабілеті жоғарылаған функционалды су фазасы ретінде әрекет ете алады. Содан кейін қорғасы және мыс иондарын жоюдың жоғары дәрежесі сорбциямен ғана емес, сонымен қатар құрылымдық су матрицасында катиондарды электростатикалық индукцияланған ұстау немесе қайта бөлумен, содан кейін ассоциацияларды үлкейтумен және оларды сүзу кезінде бөлумен түсіндірілуі мүмкін. Сол сияқты, метилен көкін (катионды бояғышты) жоюдың жоғары тиімділігі НҚС қатысуымен органикалық молекулалардың катионды байланыстыру және флокуляция процестері күшейеді деген болжаммен қисынды түрде сәйкес келеді, бұл әсіресе кейінгі қағаз сүзу кезінде байқалады.

Тәжірибе схемасы ионсыздандырылған суды бақылауды қамтитынын атап өту маңызды бірдей өңделген. Сондықтан екі үлгідегі ықтимал "механикалық" факторлардың (сүзгі қағазындағы сорбция, тұндыру процедурасының әсері) үлесін салыстыруға болады. Бұл байқалған айырмашылық НҚС белсенді орта ретінде болуына байланысты деген дәлелді күшейтеді. Сонымен қатар, механизмді неғұрлым қатаң түсіндіру үшін жүйелік қателіктің ықтимал көздерін қарастырған жөн. Мысалы, коагуляциялық-ассоциативті механизмде ластаушы заттардың бір бөлігі дисперсті агрегаттар фазасына өтуі мүмкін, содан кейін өлшенген "қалдық концентрация" олардың сүзу арқылы қаншалықты толық бөлінетініне байланысты болады. Бұл жағдайда металдардың немесе бояғыштың бөлінетін фазаға тасымалдануын тікелей көрсетуге мүмкіндік беретін тұнба қалдықтарын зерттеу пайдалы растау болар еді.

Инженерлік тұрғыдан алғанда, нәтижелер модульдік тұжырымдамамен жақсы үйлеседі (2-сурет), мұнда НҚС айналымдағы белсенді орта ретінде қабылданады. Сонымен қатар, жалпы тұз құрамының орташа төмендеуі технологияны алдын - ала тазарту немесе алдын-ала тазарту кезеңдері үшін перспективалы деп санауға мүмкіндік береді, мұнда негізгі мақсат - улы қоспалардың (ауыр металдар, бояғыштар) концентрациясын төмендету және қаттылықты ішінара төмендету, іс жүзінде тұзсыздандырылған су алу емес. Мұндай профиль әсіресе ресурстары шектеулі аймақтарға қатысты, онда белсенді фазаны қайта өңдеу мүмкіндігі бар қарапайым және төмен реагентті технология қажет.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер бізге наноқұрылымды суды тек пассивті еріткіш ретінде ғана емес, сонымен қатар ластаушы заттардың су фазасымен өзара әрекеттесуін өзгерте алатын белсенді функционалды орта ретінде де қарастыруға мүмкіндік береді. Іске асырылған әдістің қарапайымдылығы, химиялық реагенттерге қажеттіліктің болмауы және наноқұрылымды суды қайта пайдалану мүмкіндігі ұсынылған тәсілді энергияны тиімді және экологиялық таза суды тазарту жүйелерін дамыту үшін перспективалы етеді.

**Қорытынды.** Зерттеу наноқұрылымды судың сулы ерітінділерді әртүрлі ластаушы заттардан тазарту үшін белсенді орта ретінде тиімділігін эксперименталды түрде растады. Наноқұрылымды суды пайдалану  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  және  $\text{Zn}^{2+}$  сияқты ауыр металл иондарын, сондай-ақ органикалық бояғыш метилен көкті жоғары деңгейде кетіруді қамтамасыз ететіні анықталды, бұл

ұсынылған тәсілдің бейорганикалық және органикалық ластаушы заттар үшін жан-жақтылығын көрсетеді. Наноқұрылымды судың қатысуымен сулы ортаның құрылымдық ұйымының өзгеруінен туындаған сорбциялық-коагуляциялық механизмдердің қатысуын көрсететін айқын координациялық қасиеттері бар көп зарядталған катиондар үшін ең жоғары тазарту тиімділігіне қол жеткізілетіні көрсетілді. Сонымен қатар, судың қаттылығына жауап беретін кальций мен магний иондарының концентрациясының төмендеуі тіркелді, бұл жалпы тұз мөлшерінің орташа деңгейін сақтап, наноқұрылымды судың селективті әсерін көрсетеді.

Сондай-ақ, наноқұрылымды суды пайдаланып суды тазарту ортаның физика-химиялық сипаттамаларының өзгеруімен, соның ішінде рН жоғарылауымен және меншікті электр өткізгіштігінің төмендеуімен қатар жүретіні анықталды. Бұл өзгерістер қолайлы шектерде және қосымша түзетулерді қажет етпейді, бұл әдісті практикалық түрде енгізу үшін маңызды артықшылық болып табылады.

Бұл нәтижелер бізге наноқұрылымды суды тек өзгертілген еріткіш ретінде ғана емес, сонымен қатар химиялық реагенттерді немесе энергияны көп қажет ететін технологиялық операцияларды пайдаланбай ластаушы заттардың су ортасымен өзара әрекеттесуін күшейтуге қабілетті функционалды белсенді фаза ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Тәжірибелік жобалаудың қарапайымдылығы, наноқұрылымды суды қайта пайдалану мүмкіндігі және айқын тазарту әсері ұсынылған тәсілді экологиялық таза және энергия үнемдейтін суды тазарту жүйелерін әзірлеу үшін перспективалы етеді.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері наноқұрылымды суды пайдаланып суды тазарту технологияларын одан әрі дамыту үшін ғылыми негіз береді және тазарту режимдерін оңтайландыруға және нақты су жүйелеріндегі әсердің ұзақ мерзімді тұрақтылығын зерттеуге бағытталған кең ауқымды зерттеулер жүргізудің орындылығын негіздейді.

### References

- Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M.R., Sadeghi M. (2021) Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 12:643972. DOI:10.3389/fphar.2021.643972 (in Eng.)
- Bayar J., Kızıldağ N., Yıldız S. (2024) Biochar-based adsorption for heavy metal removal in water: A sustainable and cost-effective approach. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(11):428. DOI: 10.1007/s10653-024-02214-w (in Eng.)
- Bisht R., Agarwal M., Singh K. (2022) Simultaneous removal of heavy metals and dye from wastewater: Modelling and experimental study. *Water Science and Technology*, 87(1):193. DOI: 10.2166/wst.2022.410 (in Eng.)
- Duwiejuah A.B., Yang S., Li Y., Wang J. (2022) Simultaneous adsorption of toxic metals in binary systems using peanut and sheanut shells biochars. *Heliyon*, 8(9):e10558. DOI: 10.1016/j.heliyon. 2022. e10558 (in Eng.)
- El-Naggar N.E.A., Hamouda R.A., Mousa I.E., Abdel-Hamid M.S., Rabei N.H. (2020) Bioprocessing optimization for efficient simultaneous removal of methylene blue and nickel by *Gracilaria* seaweed biomass. *Scientific Reports*, 10:17439. DOI: 10.1038/s41598-020-74419-6 (in Eng.)
- Gantenbajn D., Shelkopf J., Gein P.A.S. (2013) Water treatment method (Russian Federation Patent No. RU2482067C2). Russian Patent Office. (in Eng.)
- Guo H., Li X., Tang C. (2006) Nanostructured membrane filtration system for rapid water purification (China Patent No. CN113710619A). China National Intellectual Property Administration. (in Chin.)

Huang T., Crews J.B. (2009) Wastewater purification with nanoparticle-treated bed (U.S. Patent No. US8226830B2). United States Patent and Trademark Office. (in Eng.)

Jeong S., Kim J., Park J. (2021) Efficient removal of azo dye from wastewater using the non-toxic potassium ferrate oxidation-coagulation process. *Applied Sciences*, 11(15):6825. DOI: 10.3390/app11156825 (in Eng.)

Oliveira L.C.A., Fabris J.D., Pereira M.C. (2003) Clay-iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. *Applied Clay Science*, 22(1-2):169. DOI: 10.1016/S0169-1317(02)00156-4 (in Eng.)

Singh V., Singh J., Kumar A. (2023) Heavy metal contamination in the aquatic ecosystem: Toxicity and its remediation using eco-friendly approaches. *Toxics*, 11(2):147. DOI: 10.3390/toxics11020147 (in Eng.)

U.S. Environmental Protection Agency. (2023) National primary drinking water regulations. <https://www.epa.gov> (in Eng.)

Vermont Department of Health. (2025, March 17) Hardness in drinking water. <https://www.healthvermont.gov> (in Eng.)

World Health Organization. (2003) Total dissolved solids in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality (2nd ed.). WHO Press. <https://www.who.int> (in Eng.)

Zhang W., Abuduwaili J., and Groll M. (2020) Distribution characteristics and assessment of heavy metals in the surface water of the Syr Darya River, Kazakhstan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(1):979 (in Eng.).

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP**

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

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

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*  
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
22,0 п.л. Заказ 1.