

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Қаныкешова Ақерке Алмасқызы

«Табиғи және модификацияланған цеолиттің
көмегімен радионуклидтермен ластанған суларды тазарту»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру
бағдарламасы

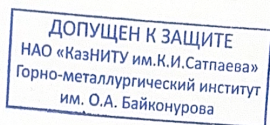
Алматы 2025

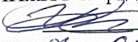
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
МНЖИФ кафедра меңгерушісі
 Какимов У.К.
«04» 06 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Табиғи және модификацияланған цеолиттің көмегімен
радионуклидтермен ластанған суларды тазарту»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

Қаныкешова А.А.

Пікір беруші:

Фотоэлектрлік құрылғылар

мен құбылыстар

зертханасының меңгерушісі,

ф.-м.ғ.к., профессор

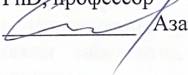
 Дмитриева Е.А.

Ғылыми жетекші:

Инженерлік бейінді

зертхана жетекшісі,

PhD, профессор

 Азат С.



Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

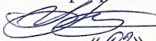
«Материалтану,

нанотехнологиялар

және инженерлік физика»

кафедрасының меңгерушісі

Какимов У.К.

 «02» 06 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Қаныкешова Акерке Алмасқызы

Тақырыбы: «Табиғи және модификацияланған цеолиттің көмегімен радионуклидтермен ластанған суларды тазарту»

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 жылғы №26-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі “09” 06 2025 ж.

Ауыз суды тазалауға арналған сорбенттер;

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

Табиғи және модификацияланған цеолиттердің радионуклидтермен ластанған суларды тазартудағы сорбциялық тиімділігін, кинетикасы мен изотермаларын зерттеу мәселелері қарастырылды.

Ұсынылған негізгі әдебиет 21 атаудан тұрады.

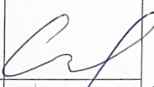
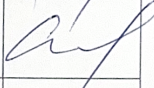
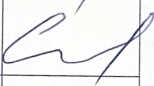
1. Elena Vialkova // Phytosorbents in Wastewater Treatment Technologies: Review // Multidisciplinary Digital Publishing Institute // 2024

2. Drinking Water Treatability Database (TDB) Information on treatment processes for controlling contaminants // United States Environmental Protection Agency // 2024

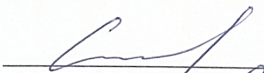
Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	04.01.2025-28.01.2025	—
Тәжірибелік бөлім	29.01.2025-10.03.2025	—
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	01.04.2025-20.04.2025	—
Алдын-ала қорғау	29.04.2025	—

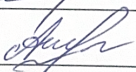
Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма
бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты- жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Азат С., PhD, профессор	30.05.2025	
Тәжірибелік бөлім	Азат С., PhD, профессор	30.05.2025	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	Азат С., PhD, профессор	30.05.2025	
<u>Нормоконтролер</u>	Етиш Т.Е. Техника ғылымдарының магистрі	02.06.2025	

Ғылыми жетекшісі

 Азат С.

Тапсырманы орындауға білім алушы

 Қаныкешова А.А.

Күні

« 06 » маусым - 2025

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

«Дипломдық жұмыс» бойынша

Қаныкешова Ақерке Алмасқызы

6B07109- Инженерлік физика және материалтану

Тақырып: «Табиғи және модификацияланған цеолиттің көмегімен радионуклидтермен ластанған суларды тазарту»

Дипломдық жұмыс кіріспеден, үш құрылымдық тараудан және қорытындыдан тұрады. Бірінші тарауда табиғи және модификацияланған цеолиттерге қатысты ғылыми әдебиеттерге шолу жасалып, сорбциялық процестердің теориялық негіздері қарастырылған. Екінші тарауда зерттеу объектісі, қолданылған әдістер және модификациялау процестері сипатталып, тәжірибелік жұмыстар жүргізілген. Үшінші тарауда алынған нәтижелер XRF, XRD, SEM-EDX әдістері арқылы талданып, сорбция кинетикасы мен изотермалық модельдері бойынша өңделген.

Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – табиғи цеолиттің физика-химиялық қасиеттерін зерттеп, оны мыс және күміс иондарымен модификациялау арқылы радионуклидтермен, нақты айтқанда йод (I^-) ионымен ластанған суларды тиімді тазарту әдісін әзірлеу.

Студент Қаныкешова Ақерке Алмасқызы «Табиғи және модификацияланған цеолиттің көмегімен радионуклидтермен ластанған суларды тазарту» тақырыбындағы дипломдық жұмыста «өте жақсы» деген бағаға лайық деп бағаланып, 98% орындалу деңгейімен белгіленді.

Аталған жұмыс **6B07109** – Инженерлік физика және материалтану білім беру бағдарламасы талаптарына толық сәйкес келеді, ғылыми зерттеу мақсаттары мен міндеттері нақты орындалған

Осыған байланысты студент Қаныкешова Ақерке Алмасқызына **6B07109 – Инженерлік физика және материалтану** білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр дәрежесін беру керек деп есептеймін.

Ғылыми жетекші:

Инженерлік бейінді зертхана жетекшісі,

PhD, профессор

р.н. О.А. Байғалин

С. Азат

Тәуелсіз институт

(қолы)

30

2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Қаныкешова Акерке Алмасқызы

Тақырыбы: Табиғи және модификацияланған цеолиттің көмегімен радионуклидтермен

ластанған суларды тазарту

Жетекшісі: Сейтхан А.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1,8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1

Дәйексөз (35): 0,1

Әріптерді ауыстыру: 4

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 28

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Нәзіздеме:

Күні

26.05.2025

Кафедра меңгерушісі

Какимов У.К.

30.05.2025 г.
 Колл./подпись: *Аманжол Насыбаев*
 Аманжол Насыбаев /ФИО

АҢДАТПА

Қоршаған ортаға және халықтың денсаулығына үлкен қауіп-судың радионуклидтермен, әсіресе радиоактивті йодпен ластануы. Ерігіштігі, қозғалғыштығы және қоршаған ортаға төзімділігі жоғары болғандықтан, ядролық апаттардан немесе өндірістік қызметтен жиі бөлінетін бұл радионуклидтер ұзақ мерзімді қауіп төндіреді. Осы қауіпті материалдарды жоюдың тиімді әдістерін жасау суды таза ұстау және экожүйелерді қорғау үшін өте маңызды. Үлкен бетінің ауданы, химиялық тұрақтылығы және реттелетін қасиеттері бар көміртегі негізіндегі материалдар мұндай пайдалану үшін тартымды нұсқаларға айналды. Бұл материалдардың адсорбциялық қабілетін модификациялау арқылы айтарлықтай арттыруға болады, бұл оларды ластанған судан радиоактивті йодты кетіруде өте тиімді етеді. Модификацияланған көміртекті материалдарды радионуклидтерді кетіруге арналған озық адсорбенттер ретінде синтездеу және оңтайландыру осы зерттеудің негізгі мақсаттары болып табылады.

АННОТАЦИЯ

Серьезной угрозой для окружающей среды и здоровья населения является загрязнение воды радионуклидами, особенно радиоактивными йодом. Из—за своей высокой растворимости, подвижности и стойкости в окружающей среде эти радионуклиды, которые часто выделяются в результате ядерных аварий или промышленной деятельности, представляют долгосрочную опасность. Создание эффективных методов уничтожения этих опасных материалов имеет важное значение для поддержания чистоты воды и охраны экосистем. Благодаря большой площади поверхности, химической стабильности и регулируемым свойствам материалы на основе углерода стали привлекательными вариантами для такого использования. Адсорбционная способность этих материалов может быть значительно увеличена путем модификации, что делает их чрезвычайно эффективными при удалении радиоактивного йода из загрязненной воды. Синтез и оптимизация модифицированных углеродных материалов в качестве передовых адсорбентов для удаления радионуклидов являются основными целями данного исследования.

ANNOTATION

A major environmental and public health risk is the pollution of water by radionuclides, especially radioactive iodine. Because of their great solubility, mobility, and persistence in the environment, these radionuclides—which are frequently emitted following nuclear accidents or industrial activities—pose long-term dangers. Creating efficient techniques to eliminate these dangerous materials is essential to maintaining clean water and safeguarding ecosystems. Because of their great surface area, chemical stability, and adjustable qualities, carbon-based materials have become attractive options for this use. These materials' adsorption capacities can be greatly increased by modification, which makes them extremely efficient at removing radioactive iodine from tainted water. The synthesis and optimization of modified carbon materials as cutting-edge adsorbents for radionuclide removal are the main objectives of this study.

МАМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
1	ӘДЕБИ ШОЛУ	10
1.1	Адам өміріндегі судың маңызы және олардың ластануы	10
1.1.1	Судың ластану түрлері	11
1.1.2	Ауыр металдар	13
1.1.3	Радионуклидтер	15
1.2	Судың тазарту әдістері	18
1.2.1	Сорбенттер	19
1.2.2	Табиғи цеолиттер	21
2	ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ	24
2.1	Радионуклид (йод) ерітіндісін дайындау	24
2.2	Табиғи цеолиттің сипаттамасы	24
2.2.1	Табиғи цеолиттің күміс нанобөлектерімен модификациясы	26
2.2.2	Табиғи цеолиттің мыс нанобөлектерімен модификациясы	28
2.2.3	Кинетикалық зерттеу	29
2.2.4	Изотермиялық зерттеу	32
2.3	Физико-химиялық зерттеу әдістері	34
2.3.1	Рентген-флуоресцентті талдау (XRF)	34
2.3.2	Рентгенофазалық талдау (XRD)	35
2.3.3	Сканерлі электронды микроскопия және энергодисперсионды спектроскопия (СЭМ)	36
3	НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ	38
3.1	Рентгенофлуоресценттік талдау (XRF) талдау нәтижелері	38
3.2	Рентгенодифракциялық талдау (XRD) нәтижелері	38
3.3	Элементтік талдауы бар сканерлеуші электронды микроскопия (SEM-EDS) нәтижелері	39
3.4	Кинетикалық зерттеу нәтижелері	42
3.5	Изотермиялық зерттеу нәтижелері	43
	ҚОРЫТЫНДЫ	45
	ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР	46
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	47
	ҚОСЫМША	49

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда қоршаған ортаны радионуклидтік ластанудан қорғау мәселесі өзекті экологиялық және санитарлық-эпидемиологиялық проблема ретінде әлемдік ғылыми қауымдастықтың назарында тұр. Ядролық энергетика, уран өндіру және радиациялық технологияларды қолдану нәтижесінде түзілетін радионуклидтер су көздеріне түсіп, табиғи экожүйелер мен адам денсаулығына елеулі қауіп төндіреді. Радионуклидтермен ластанған сулардың тиімді тазарту әдістерін іздестіру және қолжетімді технологиялар әзірлеу – тұрақты дамудың маңызды бағыттарының бірі.

Осындай мақсаттарда табиғи сорбенттерді, соның ішінде цеолиттерді қолдану ерекше қызығушылық тудырады. Цеолиттер – кеуекті құрылымы мен жоғары ионалмасу қабілеті бар алюмосиликатты минералдар. Олар табиғи түрде кең таралған әрі арзан болғандықтан, радиоактивті элементтерді тиімді сорбциялауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, модификацияланған цеолиттердің (мысалы, металл иондарымен өңделген) сорбциялық белсенділігі мен селективтілігі жоғары болуы мүмкін, бұл олардың қолдану аясын кеңейтеді.

1. ӘДЕБИ ШОЛУ

1.1 Адам өміріндегі судың маңызы және олардың ластануы

Адамның іс-әрекеті жердің табиғи байлықтарына орасан зор зиян келтіруде. Болашақ ұрпақ үшін экожүйені сақтау мақсатында табиғи ресурстарға деген көзқарасымызды қайта қарау қажет [1]. Су өзінің қасиеттеріне байланысты адам өмірінде ерекше маңызды рөл атқарады және табиғатта ерекше орын алады, сондай-ақ жер бетінің 70%-ын алып жатыр, ал адам массасының 70%-ын құрайды [2]. Сондықтан су барлық тірі ағзалардың қалыпты өмір сүруі үшін маңызды. Ол көп заттарды, соның ішінде тұздарды жақсы ерітетін бірегей еріткіш болып табылады. Су көптеген металдарды тотықтырып, тау жыныстарын бұзады. Әртүрлі су қоймаларында судың табиғи түрде өзін-өзі тазарту процесі жүреді, бірақ бұл өте баяу жүретін процесс. Бүгінгі таңда қалдықтардың күрт артуына байланысты су қоймалары ластануға төтеп бере алмауда. Сондықтан ағынды суларды алдымен залалсыздандыру, кейін тазарту және қайта өңдеу қажеттілігі туындап отыр [3].

Соңғы 40 жыл ішінде өзендер мен көлдерден су алу мөлшері ирригациялық, тұрмыстық және өнеркәсіптік мақсаттар үшін екі есеге артты. Қазіргі таңда адамдар Жер бетімен ағатын тұщы судың 40–50 %-дан астамын пайдаланып отыр. Алайда әлемдегі су қоры біркелкі таралмаған және оны пайдалану уақытпен шектеледі. Климаттың өзгеруі де табиғи жүйелерге қайтымсыз салдарлар әкелуі мүмкін.

Жер қойнауынан рудалар мен химиялық отын құрамында 35-тен астам металл түрлері жер бетіне шығарылады. Рудаларды өңдеу, энергия тасымалдаушыларды жағу, ауыр металдарды тұтыну үдерістерінде олардың көп мөлшері қалдық түрінде атмосфераға және су қоймаларына түседі. Көптеген ауыр металдар «синергетикалық қоспалар» деп аталатын кешендер түзіп, су организмдеріне жекелеген компоненттердің әсерінен анағұрлым күшті уытты әсер етеді.

Ауыр металдардың нақты ортадағы мінез-құлқы күрделі және аз зерттелген. Сонымен қатар олардың тірі табиғатта жинақталуы бүкіл әлем бойынша алаңдаушылық туғызуда. Ауыр металдардың барлық көздерін өндіріс орындарында тазарту жүйелерін ұйымдастыру және ағын суларды қайта пайдалану арқылы жоюға болады [4].

Ластану – бұл адамның өмірлік және өндірістік қызметінің нәтижесінде пайда болатын және табиғи ортаның бастапқы күйімен салыстырғанда оның құрамдас бөліктерінің өзгеруіне әкелетін жағымсыз құбылыс. Ол адамның араласуына дейін қалыптасқан табиғи тепе-теңдікті бұзып, қоршаған ортаға теріс әсер етеді. Биосферада – біздің және барлық тіршілік иелерінің өмір сүретін ортасында – энергияның өзгеруі, әртүрлі радиациялық деңгейлердің көбеюі, сондай-ақ қажетсіз биологиялық, физикалық және химиялық өзгерістер орын алады. Бұл өзгерістер ауа, су, тамақ сапасына және жалпы

экологиялық тепе-теңдікке тікелей немесе жанама түрде ықпал етуі мүмкін. Қоршаған ортаға ластануды тудыратын көздер сан алуан және олардың ауылшаруашылық өнімдерінен бастап, өнеркәсіптік қалдықтарға дейін әртүрлі салдарлары мен әсерлері бар [5].

Судың ластануы су экожүйелеріне зиянды әсер етеді. Ластанған су көздеріндегі өсімдіктер мен жануарлар тіршілік ету қабілетін жоғалтады немесе қалыпты көбейе алмайды. Ауыр металдар мен химиялық заттар су жануарларының денсаулығына зиян келтіреді. Нитраттар мен фосфаттардың артық мөлшері балдырлардың шамадан тыс өсуіне, оттегінің азаюына әкеледі, бұл су тіршілігіне кері әсер етеді. Қалдықтар мен пластик сияқты қоқыстар теңіз жануарларын тұншықтырып, қоршаған ортаға қауіп төндіреді [6].

Судың ластануы жаһандық проблемаға айналды және бұл проблемамен күресу үшін су саясатын күнделікті бағалау қажет. Дамыған елдер де, дамушы елдер де судың ластану проблемаларына тап болып отыр. Судың сапасына жауын-шашын, климат, топырақ түрі, өсімдіктер, геология, ағыс жағдайлары, жер асты сулары және адам әрекеті сияқты көптеген факторлар әсер етеді. Судың сапасына ең үлкен қауіп өнеркәсіптік және коммуналдық көздерден келеді. Тау-кен өнеркәсібі, қала құрылысы және ауыл шаруашылығы сияқты қызмет түрлері де су сапасына әсер етеді. Нүктелік емес ластануға қоректік заттар, шөгінділер және улы ластағыштар да жатады [7].

1.1.1 Судың ластану түрлері

Гидросфераның химиялық ластануының ең кең таралған, тұрақты және ұзақ әсер ететін түрлері мыналарға бөлінеді:

1.*Органикалық заттар*: фенолдар, нафтен қышқылдары, пестицидтер және басқа да көміртек негізіндегі қосылыстар.

2.*Бейорганикалық заттар*: ұздар, қышқылдар, сілтілер, минералды қосылыстар.

3.*Улы қосылыстар*: мышьяк, сынап, қорғасын, кадмий және басқа да ауыр металдардың қауіпті қосылыстары.

4.*Улы емес заттар*: зияндылық деңгейі төмен болғанымен, экожүйеге әсер етіп, ұзақ уақыт бойы жинақталуы мүмкін заттар.

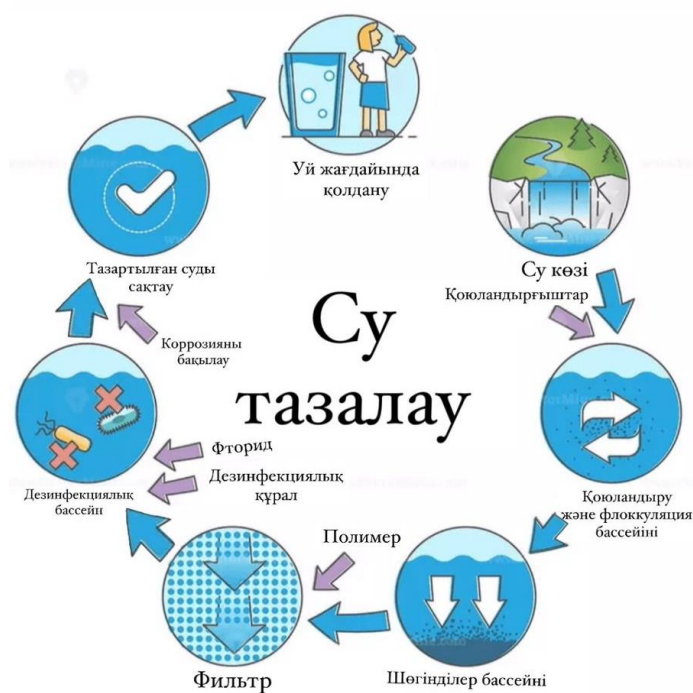
Бұл ластаушылар судың химиялық құрамын өзгертіп, тірі организмдер мен экожүйелерге кері әсерін тигізеді.

Ластаушы заттар – қоршаған ортаға шығарылған кезде қажетсіз әсерлер тудыратын немесе ресурстарды бұзатын заттар. Олардың әсері қысқа немесе ұзақ мерзімді болуы мүмкін. Биологиялық ыдырай алатын ластаушылар қысқа мерзімге ғана зиян келтірсе, кейбір тұрақты ластаушылар, мысалы, ДДТ (дихлордифенилтрихлорметан), ыдырағанда қайтадан ДДД (дихлордифенилдихлорэтилен) және ДДЕ (дихлордифенилдихлорэтан) сияқты зиянды заттарды шығарады.

Ластаушылардың түрлері мен қасиеттері әртүрлі болуы мүмкін. Мысалы, пластмасса, синтетикалық химиялық қосылыстар және ауыр

металдар сияқты биологиялық ыдырауға бейім емес ластаушылардың сіңірілу қасиеті жоқ немесе өте аз, бұл олардың қоршаған ортада жинақталуына және зиянды әсерінің уақыт өте артуына әкеледі. Болашақ ұрпақ үшін бұл ластаушылар экологиялық ауыртпалық болып табылады.

Ал кейбір ластаушылардың белгілі бір сіңірілу қасиеті бар, және олардың зиянды әсері тек қоршаған ортаның сіңіру қабілетінен асып кеткенде байқалады. Мысалы, көмірқышқыл газы оның деңгейі айтарлықтай өскенде ғана экологиялық проблема тудырады. Мұндай ластаушыларды зияндығын азайту мақсатында сұйылту немесе зиянсыз заттарға айналдыру арқылы өңдеуге болады және 1-суретте суды тазалау жолдары көрсетілген.



1 сурет-Суды тазалау

Қазақстанда сапасы жағынан 5 сатылы және одан жоғары класстарға жатқызылған ластанған су нысандарының тізімі 1 кестеде көрсетілген.

1 кесте - Ластанған су нысандары

№	Атауы	Ластаушы заттар
Өзендер		
1	Катта-Бугун	суспензияланған заттар.
2	Тобыл	хлоридтер, магний, минералдану.
3	Обаған	сульфаттар, магний, минералдану, хлоридтер, кальций
4	Желқуар	хлоридтер
5	Ақбұлақ	кальций, хлоридтер

6	Сарыбұлақ	хлоридтер
7	Нұра	жалпы темір, марганец
8	Ақсу (Ақмола облысы)	минералдану, КОҚ (химиялық оттегі тұтыну), хлоридтер
9	Қылшықты	кальций, магний, минералдану, КОҚ, хлоридтер
10	Талас	суспензиялы заттар
11	Асса	суспензиялы заттар
12	Тоқташ	суспензияланған заттар
13	Кіші Қарағожа	жалпы темір, кадмий, марганец, мыс, мырыш
14	Қара Кеңгір	аммоний иондары, кальций, магний, минералдану, марганец, хлоридтер
15	Соқыр	жалпы темір, марганец
16	Шерубайнұра	жалпы темір, марганец
Қоймалар		
1	Жоғарғы Тобыл	суспензиялы заттар
2	Амангелді	суспензиялы заттар
3	Қысқартқыштар	Хлоридтер
4	Тасөткел	суспензиялы заттар
5 сапа сатысына жататын су объектілері (өнеркәсіптің кейбір салаларына ғана жарамды)		
1	Торғай	никель
2	Тоғызақ	никель
3	Әйет	қалқымалы заттар
4	Қарабалта	сульфаттар
5	Аягөз	қалқымалы заттар

Бұл су объектілерінің ластануы олардың экологиялық жағдайына теріс әсер етіп, тек шектеулі пайдалануға мүмкіндік береді [8] .

1.1.2 Ауыр металдар

Судағы ауыр металдар – атомдық массасы жоғары және тығыздығы 5 г/см³-ден асатын химиялық элементтер. Олар тіпті төмен концентрацияда болса да денсаулық пен экожүйеге қауіп төндіреді. Ауыр металдар улылығы, ыдырауға төзімділігі және тірі организмдерде жиналу қабілетіне байланысты судың сапасына ең маңызды қатерлердің бірі болып табылады. Өнеркәсіптік қызмет, тау-кен өнеркәсібі және ауыл шаруашылығы сияқты ластаушы көздер бұл заттардың су жүйелеріндегі концентрациясын айтарлықтай арттырады. Ауыр металдардан суды тиімді тазарту олардың адам денсаулығы мен экожүйеге зиянды әсерін болдырмаудың маңызды міндетіне айналуға тиіс.

Ауыр металдарды жоюға бағытталған суды тазарту әдістері зерттеудің негізгі саласына айналды. Заманауи технологияларға химиялық тұндыру, ион алмасу, адсорбция, мембраналық фильтрация және нанотехнологияға негізделген озық әдістер жатады. Бұл тәсілдер осы жаһандық мәселені тиімді шешу үшін инновациялық және қолжетімді шешімдердің қажеттілігін көрсете

отырып, тиімділігі, құны және тұрақтылығы бойынша ерекшеленеді. Мыс, мырыш, никель, бор, темір, молибден сияқты ауыр металдар өсімдіктердің өсуіне өте қажет, бірақ бұл ауыр металдар олардың концентрациясы рұқсат етілген шектен асып кетсе, тіршілік иелері мен өсімдіктерге зиянды. Қорғасын, сынап, кадмий және мышьяк сияқты бірнеше басқа ауыр металдар өсімдіктер мен жануарлардың өсуі үшін маңызды емес. Өнеркәсіптік ағынды сулардың, ағынды сулардың шөгінділерінің, тыңайтқыштардың сінуі, тазартылған ағынды суларды құрлықта пайдалану және топырақтың минералды заттардың тозуы салдарынан топырақ ауыр металдармен ластанады.

Ауыр металдар топырақты лаптап қана қоймайды, сонымен қатар азық-түлік өндірісіне, сапасы мен әл-ауқатына әсер етеді. Кейбір ауыр металдар тіпті өте төмен концентрацияларда да өсімдіктер үшін улы болып табылады, ал басқа ауыр металдар өсімдік тіндерінде айқын жағымсыз әсерлерсіз немесе өнімділікті төмендетпей орташа қалыпты емес жағдайларға дейін жиналуы мүмкін. Ауыр металдармен ластанған бұл жерлерде өсімдіктерді өсіру олардың метаболизмінде, физиологиялық және биохимиялық жолдарында өзгерістерге әкеледі, нәтижесінде металдардың жиналуы, биомассаның түзілуі азайып, биомассаның өсуі төмендейді. Өсімдіктердегі ауыр металдардың улылығын зерттегенде белгілі бір жайттарды ескеру қажет. Алдымен ластанған топырақтың әсерлері мәңгілік және олардың субатомдық мінез-құлқын ескеру қажет. Зерттеулердің көпшілігі гидропоникалық немесе *in vitro* культурасында жүргізілді және өсу орталарында металдардың өте жоғары концентрациясын қолдануды қамтыды. Ауыр металдың уыттылығы оның тотығу дәрежесіне байланысты, мысалы, Cr(VI) Cr-тің ең улы түрі болып саналады және әдетте оттегімен хромат (CrO_4^{2-}) немесе бихромат ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) оксианиондары түрінде байланысады. Cr(III) аз төзімді, зияндылығы аз, топырақ пен су жүйелеріндегі органикалық заттармен негізінен байланысады [9]. Судың құрамында жиі кездесетін ауыр металдардың тізімі және олардың адам өміріне тигізетін зияны турады ақпараттар 2 кестеде көрсетілген.

2 кесте - Ауыр металдар және олардың адам денсаулығына зияны

№	Элемент	Химиялық белгісі	Негізгі көздері	Денсаулыққа қауіптері
1	Мышьяк	As	Металлургия, пестицидтер, қалдықтар	Уыттылық, тері рагы, бауырдың зақымдануы
2	Кадмий	Cd	Батарея өндірісі, бояулар, қождар	Бүйректің зақымдануы, рак, сүйектердің әлсіреуі
3	Хром	Cr	Болат өндірісі, бояғыштар	Аллергиялар, өкпе рагы, тыныс алу жолдарының зақымдануы

4	Мыс	Cu	Электроника, метал өңдеу	Жоғары концентрацияларда уыттылық, ас қорыту бұзылыстары
5	Қорғасын	Pb	Аккумуляторлар, бояулар, қалдықтар	Нейротоксикалық әсер, балаларда мидың зақымдануы
	Никель	Ni	Болат өндірісі, химия өнеркәсібі	Аллергиялар, өкпенің зақымдануы, рак
	Мырыш	Zn	Металлургия, мырыштау	Жоғары дозаларда уыттылық, иммунитеттің бұзылуы

1.1.3 Радионуклидтер

Радионуклидтер – иондаушы сәулелену (альфа, бета немесе гамма сәулелер) сәулеленуімен өздігінен радиоактивті ыдырауға қабілетті тұрақсыз атомдық ядролар. Олар табиғи шығу тегі (мысалы, уран-238, калий-40, радий-226) немесе жасанды (цезий-137, стронций-90, йод-131) болуы мүмкін, ядролық реакторлардың жұмысы, қаруды сынау және өндірістік процестер нәтижесінде қоршаған ортаға түседі. Радиоактивті ыдырау энергияның бөлінуімен және радионуклидтің жаңа элементке айналуымен бірге жүреді. Альфа-сәулелену теріге сіңеді, бірақ деммен жұту немесе жұту қауіпті. Бета-бөлшектері тіндерге енуге қабілетті, ал гамма-сәулелену жоғары ену қабілетіне ие, қорғасынды қорғауды қажет етеді. Радионуклидтер медицинада, энергетикада (ядролық отын), өнеркәсіпте (дефектоскопия) және экологияда (радиокөміртекті анықтау) қолданылады. Дегенмен, олардың бақыланбайтын таралуы денсаулыққа қауіп төндіреді және қатаң бақылауды қажет етеді, өйткені бұл қатерлі ісікке және генетикалық мутацияға әкелуі мүмкін.

Судағы радионуклидтер – табиғи және жасанды болуы мүмкін су ортасында кездесетін радиоактивті изотоптар. Олар альфа, бета немесе гамма-сәулеленудің шығарылуымен бірге радиоактивті түрде өздігінен ыдырау қабілетіне ие. Бұл құбылыс қоршаған ортаға және адам денсаулығына әлеуетті қауіп төндіреді, өйткені радиацияның ұзақ уақыт әсер етуі жасушалық деңгейде мутацияларды тудырып, қатерлі ісікке және басқа да жағымсыз салдарға әкелуі мүмкін.

Радионуклидтердің ыдырауы — бұл тұрақсыз атом ядроларының уақыт өте келе өздігінен басқа ядроларға айналуы процесі. Бұл құбылыс радиоактивтілік деп аталады және ол энергияның бөлінуімен (сәулелену түрінде) бірге жүреді. Ыдырау кезінде альфа-бөлшектер (гелий ядросы), бета-бөлшектер (электрондар немесе позитрондар) және гамма-сәулелер (жоғары энергиялы электромагниттік сәуле) бөлінуі мүмкін (3 кесте).

3 кесте- Радионуклидтердің ыдыраулар класстерлері

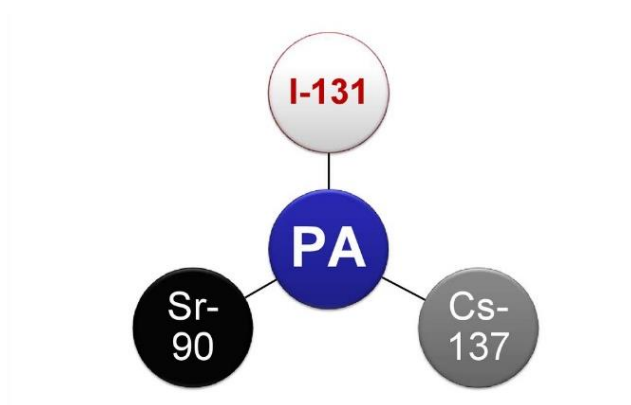
№	Ыдырау түрлері	Анықтама	Мысал
1	Альфа-ыдырау:	ауыр ядролар үшін тән. Ядро құрамынан екі протон мен екі нейтроннан тұратын альфа-бөлшек бөлінеді.	уран-238 альфа-ыдырау арқылы торий-234 элементіне айналады.
2	Бета-ыдырау	нейтронның протонға (немесе керісінше) айналуы арқылы электрон немесе позитрон бөлінеді. Бұл кезде ядроның зарядтық саны өзгереді.	стронций-90 бета-ыдырауға ұшырап, иттрий-90 түзеді.
3	Гамма-сәулелену	ядро ішкі энергиясын жоғалтып, тұрақты күйге өтеді. Бұл кезде ядроның құрамы өзгермейді, тек энергия бөлінеді, альфа немесе бета-ыдыраудан кейін жүреді	Кобальт-60 (^{60}Co) радионуклиді бета-ыдырауға ұшырағанда никель-60 (^{60}Ni) ядросын түзеді. Бұл жаңа түзілген никель ядросы қозған күйде болады және артық энергиясын гамма-сәулелену арқылы шығарады

Судағы радионуклидтердің көздері.

Радионуклидтер су жүйесіне әртүрлі жолдармен түсуі мүмкін:

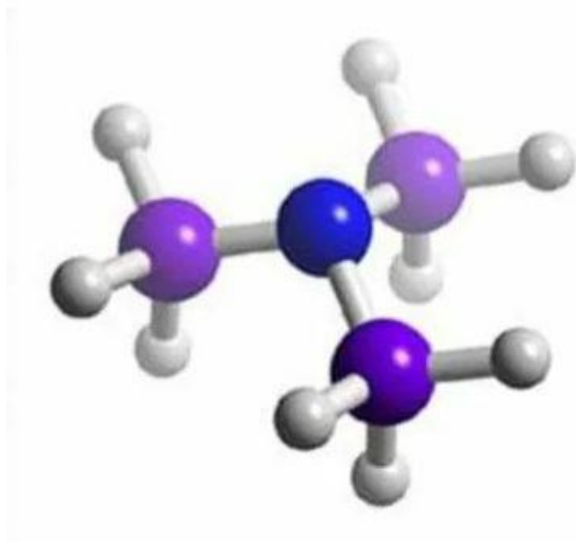
- Табиғи көздер – уран (U-238), радий (Ra-226), торий (Th-232), калий (K-40) (2-сурет) сияқты радиоактивті элементтер жер қыртысында бар және оларды жер асты және жер үсті суларына шайып жіберуге болады.

- Техногендік көздер – атом электр станцияларының шығарындылары, ядролық қаруды сынау, апаттар (мысалы, Чернобыль апаты, Фукусима апаты), сондай-ақ тау-кен және химия өнеркәсібінің қызметі [10, 11] .



2 сурет - Қоршаған ортаны ластайтын негізгі радионуклидтер

Йод — бұл химиялық элемент, оның таңбасы I (3-сурет), атомдық саны 53. Ол галогендер арасында ең ауыр болып табылады және стандартты жағдайда жартылай жылтыр, металл емес қатты зат ретінде кездеседі (2- сурет). Йод 114 °C (237 °F) температурада терең күлгін сұйықтыққа, ал 184 °C (363 °F) температурада күлгін газға буланады.



3 сурет - Йодтың (I_2) табиғаттағы айналымы

Йод – металл емес, бөлме температурасында қара дерлік қатты зат және жарқыраған кристалды көрініске ие. Молекулалық тордың құрамында балқыған және газ тәрізді күйде де болатын дискретті диатомды молекулалар болады. 700 °C (1300 °F) жоғары температурада йод атомдарына диссоциация байқалады.

Атом энергиясы электр энергиясын жеткізуге және CO_2 шығарындыларын азайтуға үлес қосқанымен, радиоактивті қалдықтармен жұмыс істеу және кәдеге жарату тұрғысынан айтарлықтай қиындықтар туғызады. Уранның ыдырауы сияқты ядролық реакциялар нәтижесінде түзілетін радионуклидтердің құрамында негізінен $^{129/131}I$, ^{127}Xe , $^{134/137}Cs$, ^{90}Sr , ^{99}Tc және ^{79}Se бар . Олардың ішінде йод өзінің құбылмалылығына байланысты әсіресе проблемалы болып табылады. Жоғары температураны қамтитын өңдеуден бұрын, мысалы, шыныдан тазарту, қалдық газдардың бөлінуін болдырмау үшін сұйық йодты тиімді ұстау керек. Радиоактивті йод тірі организмдерге, соның ішінде адамдарға айтарлықтай қауіп төндіреді және ең қауіпті радионуклидтердің бірі болып саналады. Галоген элементтерінің бірі ретінде йод химиялық қасиеттері бойынша жақсы ериді және қозғалғыш. Ол адам ағзасына қоректік тізбек арқылы тез еніп, химиялық уыттылығы мен радиоактивтілігіне байланысты зақымдануы мүмкін. Сондықтан радиоактивті йодты жоюдың тиімді әдістерін әзірлеу қажет [12].

Галогенді жоюдың әртүрлі процедураларының ішінде адсорбция жұмысының қарапайымдылығы мен икемділігіне байланысты айтарлықтай

қызығушылықты тартуды жалғастыруда. Белсендірілген көмір физикалық адсорбция арқылы газдалған йодты жояды, ал ион алмастырғыш шайыр йодты сұйық иондар ретінде байытады. Соңғы жылдары мыс, күміс және висмут сияқты металдар йод үшін ерекше селективті адсорбциялық қабілетіне ие болды [12].

1.2 Суды тазарту әдістері

Суды тазалау әдістері - деп ондағы поллютанттарды бұзу және жою, сондай-ақ патогенді ағзаларды жою және залалсыздандыруды айтады.

Жалпы суды тазартудың әртүрлі әдістері бар. Оларды бірнеше типке бөлуге болады [13].

1.Механикалық әдістер – ірі қоспаларды жою торлар, електер, сүзгілер, тұндырғыштар, мұнай ұстағыштар арқылы жүзеге асырылады. Осылайша, тұрмыстық сарқынды сулардан ерімейтін қоспалардың 60%-на дейін, ал өнеркәсіптік сарқынды сулардан 95%-на дейін жоюға болады.

2.Химиялық әдістер – ерітінділерден тұнбалар түзу үшін реагенттер қосу арқылы жүзеге асады

3. Биологиялық әдістер екі түрге бөлінеді:

Жасанды жағдайда – бұл кірпіштен немесе бетоннан жасалған (негізгі талап – материалдың кеуектілігі) биосүзгілер. Олардың бетіне бактериялар мен қарапайым ағзалардың қабаты қолданылады, олар өздерінің тіршілік әрекетінде органикалық заттарды жеп, ыдыратады.

Табиғи жағдайда – бұл суару немесе сүзу алаңдары. Бұл үшін жер біліктерімен қоршалған каналдар мен алаңдар желісі жасалады. Каналдар мен алаңшалар сарқынды сулармен мезгіл-мезгіл толтырылады. Күн сәулесінің, ауаның және микроорганизмдердің әсерінен су тазарады және топыраққа сіңеді. Алаңшалардың бетінде қарашірік пайда болады. Сарқынды суларды төгуді тоқтатқаннан кейін бірнеше жылдан соң, сүзу алаңдарын шөптер, мал азығы және көкөніс өсіру үшін қолданады [14].

1.Физика-химиялық-өнеркәсіптік суды тазарту технологиялары коллоидты қоспаларды, ірі және ұсақ бөлшектерді, еріген қосылыстарды жою шараларын біріктіреді.

2.Мембраналық – көлемі ластаушы заттардың бөлшектерін өткізбейтін тесіктері бар арнайы қалқа арқылы сұйықтықтың өтуі.

Суда адамдарға зиянды көптеген қоспалар болуы мүмкін. Көбінесе бұл хлор, пестицидтер, нитраттар, органикалық қосылыстар, бактериялар, сондай-ақ ауыр металдар. Еліміздің түкпір-түкпіріндегі көптеген нысандарда ауыр металдар өндіріліп, балқытылып немесе басқа өнеркәсіптік процестерде қолданады. Қалдықтар кейде қоқысқа тасталып, жер үсті және жерасты суларын ластайды. Бұл қалдықтарда жиі кездесетін ауыр металдарға мышьяк, кадмий, хром, мыс, қорғасын, никель және мырыш кіреді, олардың әрқайсысы адам денсаулығына және қоршаған ортаға қауіп төндіреді. Әдетте олар

бұрынғы өнеркәсіптік нысандарға шашырап орналасқан және бірнеше гектар жерді қамтуы мүмкін [15] .

Судың құрамындағы ауыр металдардан тазартудың 4 негізгі әдіс бар, атап айтқанда:

1. Сорбция (сорбенттер арқылы судағы қоспаларды сіңіру),
2. Ион алмасу (иондардың қоспалармен алмасуы және зиянсыз қосылыстардың түзілуі),
3. Электролиз (электр тогының әсерінен химиялық қосылыстардың ыдырауы),
4. Кері осмос (ылғал жартылай өткізгіш мембрана арқылы өтеді) [16].

Сорбция - Ағынды сулардан ауыр металдарды жоюдың тағы бір физика-химиялық әдісі металдардың концентрациясын сәтті төмендететін адсорбция болып табылады. Адсорбция сұйық фаза мен адсорбент деп аталатын қатты фаза арасындағы масса алмасуға негізделген. Ластаушыны адсорбентке сорбциялау үшін үш негізгі кезең қажет: ластаушы заттың көлемді ерітіндіден ерітіндінің бетіне енуі. адсорбент; адсорбент бетіндегі ластаушы заттың адсорбциясы; және адсорбент құрылымына ену .

Ион алмасу - ион алмасуды өңдеу қатты және сұйық фазалар арасындағы иондардың қайтымды алмасуына негізделген . Барлық процедура ион алмасу реакцияларынан басталады, содан кейін ауыр металл иондары физикалық түрде жұтылады және қарсы ион мен функционалды топ арасында кешен түзіледі. Соңында гидратация ерітіндінің бетінде немесе адсорбент кеуектерінде болады. Ион алмасу жұмысына рН, аниондар, температура, адсорбент пен сорбаттың бастапқы концентрациясы және байланыс уақыты сияқты әртүрлі факторлар әсер етеді [16].

Кері осмос - жұқа мембраналар пайдаланылады, олардың жасушалары су молекулаларының мөлшерінен үлкен емес. Бұл сүзгілер сұйықтықтан химиялық және органикалық қоспаларды, металдарды, бактерияларды тиімді түрде алып тастайды. Мұндай мембранамен сүзгілеу ұзақтығы 1,5-3 жылға дейін, ал оның қызмет ету мерзімі алдын ала сүзгілердің көмегімен ұзартылады. Бұл алдын ала сүзгілер үлкен бөлшектерді ұстап, бастапқы химиялық тазалауды жүзеге асырады. Сүзілген ластаушы заттар арнайы дренаж жүйесі арқылы су ағысымен шығарылады [17] .

1.2.1 Сорбенттер

Сорбенттер - сұйықтар, газдар немесе қатты бөлшектер болсын, қоршаған ортадан әртүрлі заттарды сіңірудің бірегей қабілеті бар заттар. Бұл материалдар медицина мен экологиядан өнеркәсіп пен күнделікті өмірге дейінгі әртүрлі салаларда негізгі рөл атқарады. Абсорбциялық және адсорбциялық қасиеттеріне байланысты сорбенттер су мен ауаны тазарту, мұнайдың авариялық төгілу салдарын жою үшін, сонымен қатар фармацевтикалық препараттарда организмнен токсиндерді кетіру үшін қолданылады. Бұл мақалада біз сорбенттер дегеніміз не, олардың түрлері,

жұмыс істеу принциптері және адам қызметінің әртүрлі салаларындағы маңызын қарастырамыз.

Әлем бойынша ағынды суларды молекулалық және иондық ластаушылардан тиімді тазарту әдісі ретінде зерттеліп жатқан салалардың бірі - сорбция. Қазіргі уақытта адсорбциялық әдіс арқылы ағынды суларды тазарту жаңа өнеркәсіптік революцияны бастан кешіруде. Сорбенттерді өндіру, активациялау және модификациялау технологиялары барған сайын күрделеніп, жаңа сапа деңгейіне жетуде. Адсорбция процесі ауыр металдар, бояғыштар, бұлттылық және органикалық қосылыстарды ағынды сулардан жою үшін кеңінен қолданылады [10].

Сорбент – адсорбция немесе сіңіру процестері арқылы судан ластаушы заттарды кетіру үшін қолданылатын материалдар. Бұл материалдар ауыр металдар, органикалық ластаушылар және микропластиктер мен фармацевтика сияқты жаңадан пайда болатын ластаушы заттардан туындаған судың ластануымен күресу үшін өте маңызды [18].

Адсорбция - табиғи және ақаба суды органикалық заттардан терең тазалауда ең тиімді әдіс. Қатты дененің көлемінде немесе бетінде бір немесе бірнеше заттардың шоғырлану үрдісін адсорбция деп атайды. Бетінде немесе көлемінде сіңірілетін заттың шоғырлануы жүретін қатты дене адсорбент деп аталады (әдетте сорбент).

Десорбция - бұл процесс кері адсорбция, онда адсорбент бетінде ұсталған молекулалар оны тастап, газ немесе сұйық фазаға оралады.

Абсорбция - бұл бір затты оның бүкіл көлеміне сіңіру процесі. Тек бетінде пайда болатын адсорбциядан айырмашылығы, сіңіру сіңіргіштің бүкіл көлеміне әсер етеді.

Адсорбат - адсорбцияға ұшырайтын зат, яғни адсорбент бетіне қонады. Газ адсорбциясында адсорбаттар су буы, көмірқышқыл газы, оттегі болуы мүмкін. Сұйық адсорбцияда-органикалық және бейорганикалық молекулалар, катиондар мен аниондар.

Классификациясына сәйкес өсімдік адсорбенттер органикалық табиғи сорбенттер болып жіктеледі. Бұл шөп, сабан және қауыз, үгінділер мен қабық, топырақтың әртүрлі түрлері (мысалы, шымтезек), теңіз шөптері, жапырақтар, жеміс қалдықтары (тұқымдар, қабықтар, қабықтар) және т.б. Бұл шикізаттың көпшілігі кәдеге жарамсыз немесе қайта пайдаланылуы тиіс ауыл шаруашылығындағы немесе тағам қалдықтары. Олар қолданыстағы экожүйелердің органикалық бөлігі болып табылады және экологиялық талаптарға жақсы жауап береді. Бұл материалдарды суды тазартуға арналған адсорбенттер өндірісінде қолдану бір мезгілде бірнеше мәселелерді шешеді: табиғи көмір өндіру көлемін азайту, ағынды суларды тазартуда «жасыл» технологияларды қолдану және қалдықтарды тиімді пайдалану [19].

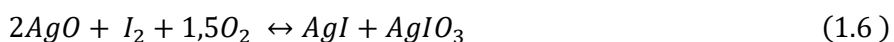
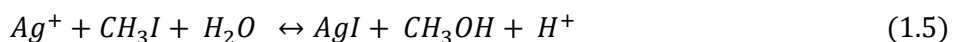
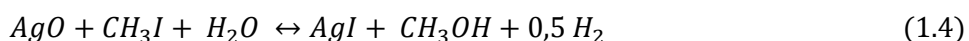
1.2.2 Табиғи цеолит

Табиғи цеолит – селективті адсорбцияға, ион алмасуға және молекулалық електен өтуге мүмкіндік беретін біркелкі кеуектер мен қуыстарды құрайтын кремний, алюминий және оттегі атомдарынан тұратын бірегей үш өлшемді құрылымы бар кристалды микрокеукті алюмосиликаттар. Олардың құрылымы оттегі атомдарымен байланысқан SiO_4 және AlO_4 тетраэдрлерінен тұрады, олар ион алмасу қасиеттерінде шешуші рөл атқаратын Na^+ , K^+ және Ca^{2+} сияқты алмасатын катиондармен теңестірілетін теріс зарядталған тор жасайды. Цеолиттер табиғи және синтетикалық түрлерге бөлінеді, олар вулкандық және шөгінді кен орындарында табылған клиноптилолит және морденит сияқты, ал цеолит А, Х, Y және ZSM-5 сияқты мамандандырылған өнеркәсіптік қолдану үшін шығарылады. Олардың негізгі қасиеттеріне жоғары термиялық және химиялық тұрақтылық, үлкен бет ауданы, реттелетін гидрофильді немесе гидрофобты табиғат, катализаторлар, адсорбенттер және ион алмастырғыштар ретінде әрекет ету мүмкіндігі жатады. Бұл сипаттамалар цеолиттерді әртүрлі салаларда, әсіресе катализде өте құнды етеді, мұнда олар сұйық каталитикалық крекингте (FCC) және шикі мұнайды құнды отынға айналдыру үшін гидрокрекингте қолданылады, ZSM-5 жоғары мұнай өндіруде маңызды рөл атқарады. - октанды бензин. Газды бөлуде цеолиттер оттегі концентраторларында медициналық мақсатта және қоршаған ортаны қорғау үшін көмірқышқыл газын алу үшін қолданылады. Олардың ион алмасу мүмкіндіктері оларды ауыр металдар мен аммоний иондарын кетіретін суды тазарту, жұмсарту және ағынды суларды тазарту үшін тиімді етеді. Цеолиттер сонымен қатар өнеркәсіптік процестерде кептіргіш агенттер ретінде қызмет етеді, газды тазарту қолданбаларында ылғал мен ұшпа органикалық қосылыстарды (VOC) сіңіреді. Жуғыш заттар өнеркәсібінде синтетикалық цеолит А фосфаттарды алмастырады, судың жұмсартылуын жақсартады және қоршаған ортаның ластануын азайтады. Сонымен қатар, цеолиттер коректік заттар мен суды сақтай отырып, ауыл шаруашылығында топырақ сапасын жақсартады, ал мал азығында аммиак шығарындыларын азайтуға және ас қорытуды жақсартуға көмектеседі. Тұрақтылық пен қоршаған ортаны қорғауға баса назар аударатын отырып, цеолиттерге сутегі сақтау, көміртекті ұстау және нанотехнология сияқты озық қолданбаларда назар аударылуда, мұнда зерттеушілер каталитикалық тиімділігі, селективтілігі және тұрақтылығы жақсартылған жаңа цеолиттік материалдарды әзірлеуде. Технология ілгерілеуді жалғастырған сайын, цеолиттер жасыл химияда, энергияны сақтауда және биомедициналық қолдануда маңызды рөл атқарады, бұл олардың заманауи өнеркәсіп пен зерттеулерде ұзақ мерзімді өзектілігін қамтамасыз етеді [20].

Табиғи цеолит кристалды микропористік қатты заттар, алюмосиликаттар тобына және тектосиликаттар подтобына жатады. Олардың құрылымы TO_4 ($T = Si, Al$ және т.б.) тетраэдрлік бірліктерінің үш өлшемді орналасуынан тұрады. Бұл материалдардың құрылымындағы порлар, арналар, молекула өлшеміндегі қуыстар және зарядты компенсациялайтын катиондар олардың қасиеттерін адсорбция, катализ және катиоалмасу сияқты түрлі қолданбалар үшін ерекше қызықты етеді. Йодтың түрлерін ұстау кезінде цеолиттердің адсорбциялық қасиеттері мен катиоалмасу мүмкіндіктері оларды осы мақсатқа қолдануға өте қолайлы кандидаттар етеді. Әдебиеттерде йод түрлерін ұстап тұру үшін морденит (MOR құрылымдық типі), NaX және NaY цеолиттері (FAU типі), ZSM-5 (MFI типі), феррит және бета цеолиттері сияқты әртүрлі құрылымдық типтердегі цеолиттер зерттелді [21].

Йод екі термодинамикалық тұрғыдан тұрақты тұнба түзеді, олар күміс иондарын алмасу арқылы цеолиттерде қалыптасады, яғни күміс йодиді (AgI) және күміс йодаты ($AgIO_3$). Күміс йодидінің (AgI) тұнбасы көптеген зерттеулерде сипатталған, ал Патель және оның әріптестері күміс йодатының ($AgIO_3$) түзілуін көрсеткен. Бұл тұнба жоғары температураларда ($>190^\circ C$) ыдырап, күміс йодидіне (AgI) айналады, өйткені AgI жоғары температурада тұрақты болады.

Scheele және Burger зерттеулерінде йодтың түрлері (I_2 , CH_3I) мен активті адсорбция орындары арасындағы реакциялар анықталған. Бұл реакциялар термодинамикалық тұрғыдан $AgMOR$ типті морденит цеолитінде күміс қосылған кезде I_2 және CH_3I түрлерінің сіңуіне қолайлы болады. Нәтижесінде AgI және $AgIO_3$ тұнбалары түзілетінін көрсеткен [21].



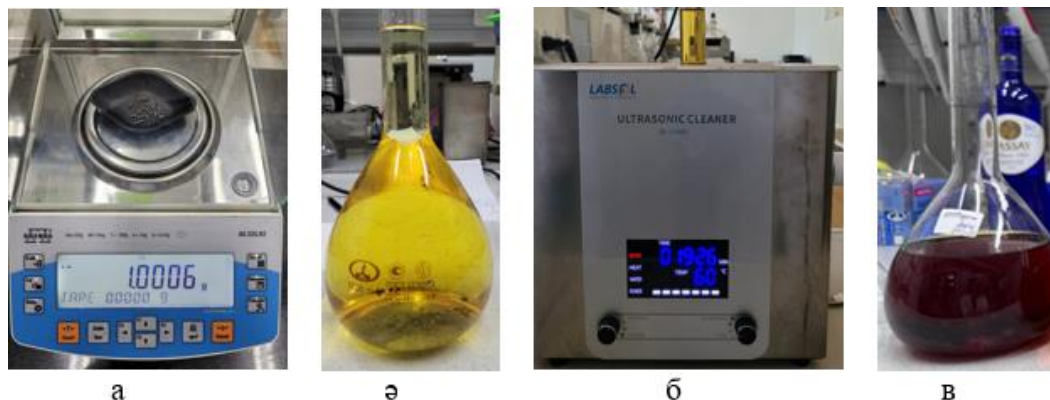
Чепмен және оның әріптестері $AgMOR/I_2$ жүйесінде бірнеше түрлі AgI түрлерінің бар екенін көрсетті. Күміс йодидінің құрылымы мен әртүрлі фазалардың таралуы температураға және күміс оксидінің бастапқы күйіне байланысты болады. Температура $147^\circ C$ төмен болғанда β - AgI (вурцит құрылымы) тұрақты фазада болады, ал $147^\circ C$ жоғары температураларда α - AgI

(кубтық орталық құрылым) тұрақты болады. Алайда жоғары температураларда үшінші фаза, яғни метастабильді γ -AgI фазасы да болуы мүмкін. Зерттеушілер күміс бөлшектері Ag^0 түрінде 3 нм көлемінде цеолит бетінде орналасқан.

2 ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ

2.1 Радионуклид (йод) ерітіндісін дайындау

Радиоактивті йод-¹³¹ изотобының судағы таралуы мен сорбция кинетикасын модельдеу үшін біркелкі және тұрақты йод ерітіндісін даярлау. Осы мақсатта 1,0000 г молекулалық йод бен 1,9600 г калий йодиді 1000 мл дистильденген суда ерітіп, компоненттердің толық ерітілуі мен біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін ерітінді ультрадыбыстық өңдеуден (60 °C, 48 сағат) өткізілді. Алынған ерітінді кейін I-¹³¹ изотобының сорбция қасиеттерін дәл әрі қайталанатын зерттеулерде стандартты үлгі ретінде қолданылады (4-сурет).



4 сурет - Йод ерітіндісін дайындау

а) металл йодының кристалдары 1,0грамм; ә) 1000 мл дистильденген суда еріту; б) 60°C температурада ультрадыбыстық өңдеу; в) алынған концентрлі йод ерітіндісі;

2.2 Табиғи цеолиттің сипаттамасы

Табиғи цеолиттер SiO_4 және AlO_4 тетраэдрлердің үш өлшемді қаңқасымен сипатталатын микрокеукті кристалды алюмосиликатты минералдар. Бұл құрылым цеолиттерге суды адсорбциялауға және иондарды алмасуға мүмкіндік беретін өзара байланысқан арналар мен қуыстар желісін жасайды. Цеолиттердің жалпы химиялық формуласы $M_x/n[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot z\text{H}_2\text{O}$, мұнда M Na^+ , K^+ немесе Ca^{2+} сияқты алмасуға болатын катиондарды білдіреді [20]. Цеолит жоғары термиялық тұрақтылықпен, қышқыл мен сілтіге төзімділігімен, және радионуклидтерді, ауыр металдарды, аммоний иондарын сорбциялау қабілетімен ерекшеленеді. Бұл қасиеттері оны су және ағынды суларды тазарту, ауаны сүзгілеу, ауыл шаруашылығы мен құрылыс индустриясында қолдануға мүмкіндік береді.

Цеолиттердің қолдану аясы өте кең: олар катализаторлар ретінде мұнай-химиясында (мысалы, флюидті каталитикалық крекинг), ауылшаруашылықта тыңайтқыштардың баяу босатылуын қамтамасыз ететін минералды қоспалар, құрылыс материалдарының қасиеттерін жақсартушы қоспалар, агроөнеркәсіпте су мен тыңайтқышты тиімді пайдалану үшін сорбенттер ретінде пайдаланылады.

Жетісу облысында орналасқан Шанханай цеолит кен орны (5-сурет) еліміздегі ірі және негізгі табиғи цеолит қорларының бірі. Зерттеулер көрсеткендей, бұл кен орнының цеолит үлгілері негізінен клиноптилолит-гейландит құрамы болып, негізгі Si, Al және O элементтерімен қатар Na, Mg, K, Ca, Fe иондарын да қамтиды; мольдік қатынасы Si/Al шамамен 2,96-ға тең. Кен орнындағы негізгі минерал — клиноптилолит, ол жоғары катионалмастырғыш және адсорбциялық қасиеттерімен ерекшеленеді.



5 сурет- Табиғи цеолиттік кендерді өнеркәсіптік игеру және бастапқы өңдеу кезеңдері

Өндірілген табиғи цеолитті алдын ала тазарту мақсатында бірнеше кезеңнен тұратын өңдеу жүргізілді. Алдымен цеолит үлгілері деионизацияланған таза сумен мұқият шайылды. Содан кейін материал 70 °C температурада кептіру пешінде 24 сағат бойы кептірілді. Кептірілген цеолит зертханалық ұнтақтағыш (блендер) көмегімен ұнтақталды. Ұнтақталған материал вибрациялық елеуіш (вибросито) арқылы електен өткізіліп, фракциясы 0,105 мм болатын дайын табиғи цеолит алынды (6-сурет).

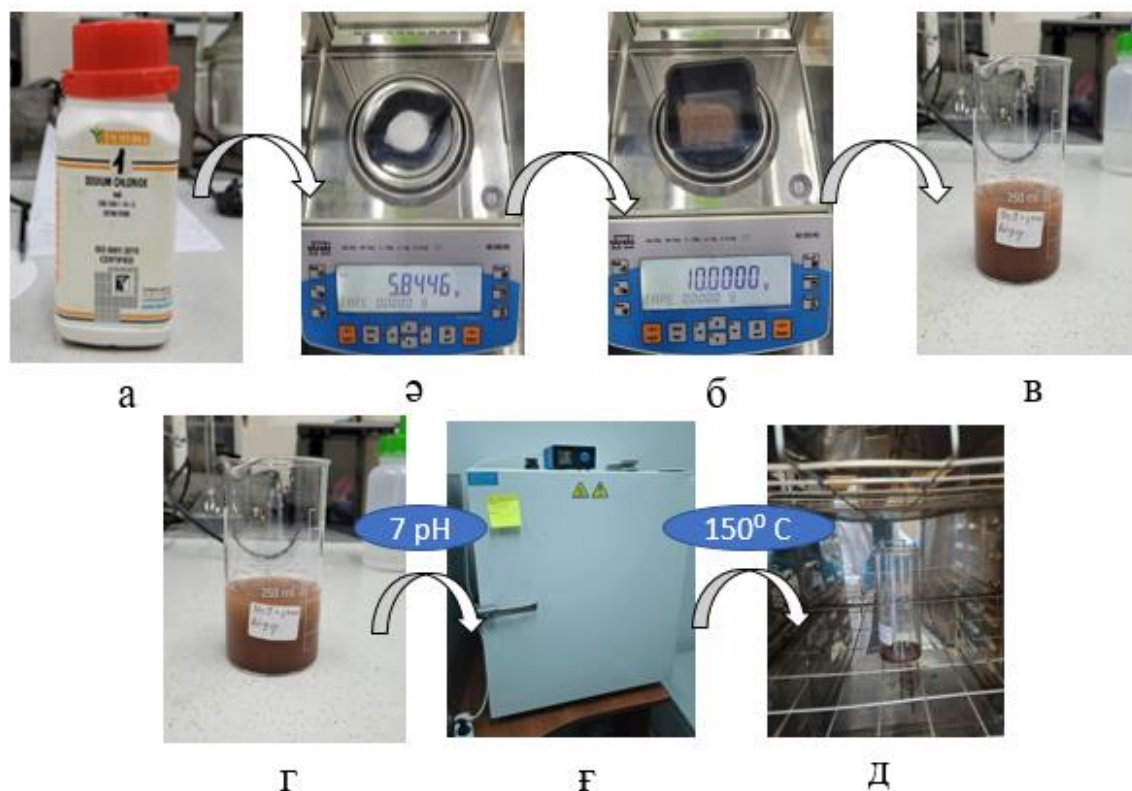


6 сурет - Өндірілген цеолитті тазарту мақсатында шаю процесі
а) табиғи цеолитті сумен шайылды; ә) кептіру пешіне 70 °С температурада 24 сағат бойы кептірілді; б) кептіру пешінен шыққан дайын табиғи цеолит; в) цеолитті ұнтақтайтын зертханалық ұнтақтағыш (блендер); г) вибрациялық елеуіш (вибросито); ғ) дайын болған 0,105мм цеолит;

2.2.1 Табиғи цеолиттің күміс нанобөлшектерімен модификациясы

Бастапқы табиғи цеолиттердің сорбциялық қасиеттерін арттыру үшін оларды түрлі химиялық реагенттермен модификациялау жиі қолданылады. Алынған табиғи цеолит екі кезеңнен тұратын модификация жұмыстарынан өтеді. Бірінші кезеңде цеолит натрий хлоридімен өңделіп, NZ-Na түріндегі қосылыс түзіледі. Бұл модификация күміс нанобөлшектерімен кейінгі кешен түзу процесінде тиімді иондық байланыстардың қалыптасуына және нанобөлшектердің цеолиттің беттік кеуектеріне бекінуіне ықпал етеді.

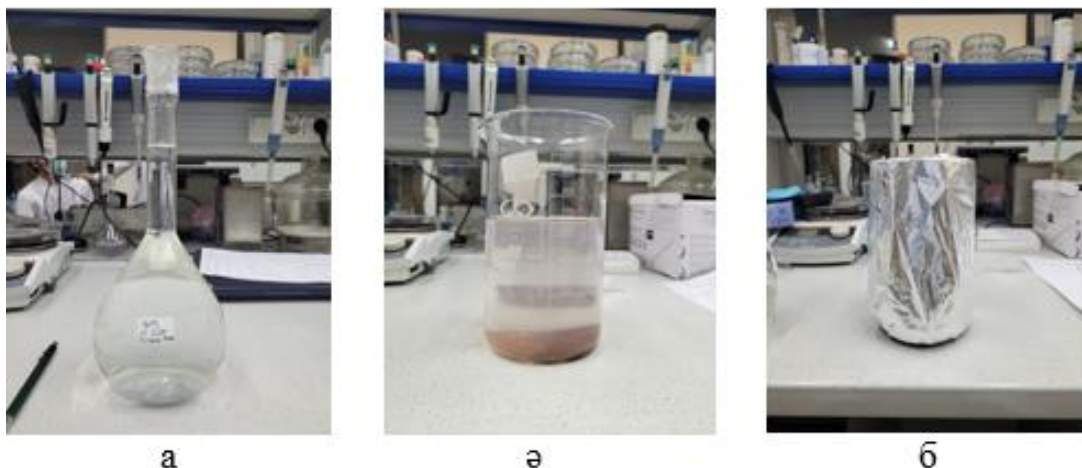
Бірінші кезең- табиғи цеолиттің 10 г өлшемі алынып, алдын ала дайындалған 1 М NaCl ерітіндісінде модификациялау процесі жүргізілді. NaCl ерітіндісін дайындау үшін аналитикалық таразы көмегімен 5,844 г натрий хлориді өлшеніп, 100 мл дистильденген суда толық ерітілді. Бұл ерітіндіге цеолит үлгісі салынып, Na^+ катиондарымен алмасу арқылы NZ-Na модификациясы жүргізілді. Модификация процесі барысында ерітіндінің рН мәні әмбебап индикатор арқылы бақыланып отырды, және рН 7 деңгейіне жеткенде, модификацияланған цеолит үлгісі 150 °С температурада 24 сағат бойы кептірілді (7-сурет).



7 сурет - Табиғи цеолитке натрий хлоридін қосу

а, ә – натрий хлоридінің массасы алынды; б – табиғи цеолит; в – цеолит үлгісі алдын ала дайындалған 1 М NaCl ерітіндісіне енгізілді.; г – цеолит пен NaCl ерітіндісі араластырылып, рН мәні 7 деңгейіне дейін келтірілді; д – қоспаны 150 °C температурадағы кептіру пешінде кептіру; ж – NaCl-мен модификацияланған цеолитті кептіріп алу;

Екінші кезең 0,1 М AgNO_3 ерітіндісі дайындалып, алынған ерітінді NZ-Na кешенімен араластырылды. Қоспа 24 сағат бойы қараңғы жерде сақталып, бұл жағдай күміс иондарының фотодеструкциясын болдырмауға және Ag^0 нанобөлшектерінің түзілу процесін жеделдетуге мүмкіндік берді. Реакция аяқталғаннан кейін түзілген $\text{Ag}^0\text{@NZ}$ кешені кептіріліп, соңғы өнім ретінде пайдалануға дайындалды (8-сурет).



8 сурет - а) 0,1 М AgNO_3 ерітіндісі дайындалды; ә) Табиғи цеолит 1 М NaCl ерітіндісімен ионалмастырғыш өңдеуден өткізілді; б) Алынған NZ-Na кешені 0,1 М AgNO_3 ерітіндісімен әрекеттестірілді.

2.2.2 Табиғи цеолиттің мыс нанобөлектерімен модификациясы

Мыс иондары цеолиттің беткі және ішкі құрылымында жаңа белсенді орталықтар түзіп, оның сорбциялық қасиеттерін арттырады. Солардың ішінде мыс нитратымен модификациялау әдісі ерекше қызығушылық тудырды. Себебі Cu^{2+} иондары цеолиттің құрылымына еніп, материалдың белсенділігі мен спецификалық сорбциялық қабілетін едәуір арттыра алады. Бұл модификацияланған сорбенттер ауыр металл иондарын, әсіресе радионуклидтерді тиімді жоюда жоғары тиімділік көрсетеді. Осы жұмыс шеңберінде табиғи цеолитті мыс нитратымен модификациялау процесі қарастырылып, алынған материалдың құрылымдық-физикалық және сорбциялық қасиеттері зерттеледі.

Мыс (II) нитратының 1 М ерітіндісі дайындалып, оған массасы 10 г табиғи цеолит қосылды. Цеолитті модификациялау мақсатында алынған қоспа 300 айн/мин жылдамдықта және 40 °C температурада магниттік араластырғыш көмегімен 24 сағат бойы араластырылды. Модификация процесі аяқталғаннан кейін алынған материалдың құрылымын тұрақтандыру және қалдық ылғалды жою үшін үлгі 150 °C температурада 12 сағат бойы кептірілді (9-сурет).



а

ә

б

в

г

9 сурет - Мыс тұздары арқылы модификациялау

а) мыс нитраты ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$); ә) ерітіндінің магниттік араластырғышта араластырылды; б) 24 сағаттан кейінгі тұнып тұрған цеолит; в) 12 сағат көлемінде кептіру пешінде кептірілді ; г) мыс нитраты ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) негізінде модификацияланған цеолит ұнтағы;

2.2.3 Кинетикалық зерттеу

Кинетикалық зерттеу – химиялық реакция жылдамдығын және оның уақытқа тәуелділігін анықтауға арналған әдіс. УК-спектрофотометр көмегімен реакция барысында ерітіндідегі заттың абсорбциясы $A(t)$ белгілі бір уақыт аралығында өлшенеді. Аббе–Ламберт заңы бойынша:

$$A(t) = \varepsilon l c(t) \quad (2.1)$$

мұндағы, ε – молярлық сыпайылық коэффициенті ($\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), l – кюветаның оптикалық жол ұзындығы (см), $c(t)$ – уақыты t -дегі реагент концентрациясы ($\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$).

Псевдо-бірінші ретті кинетикаға бағынатын реакциялар үшін концентрацияның уақытпен тәуелділігі мынадай түрде өрнектеледі:

$$c(t) = c_0 e^{-kt} \quad (2.2)$$

мұндағы c_0 – реакция басындағы ($t=0$) концентрация, k – кинетикалық тұрақты (мин^{-1}).

Абсорбция функциясы арқылы бұл өрнек келесідей жазылады:

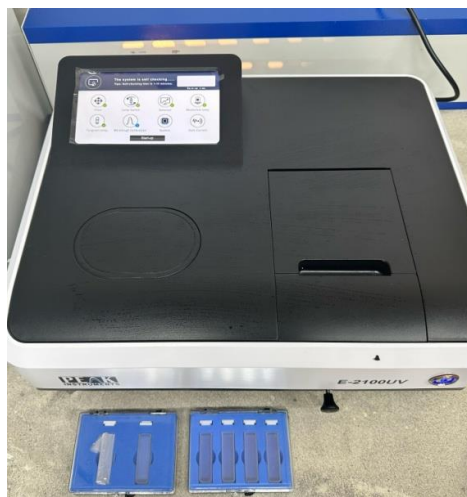
$$A(t) = A_0 e^{-kt}, \quad A_0 = \varepsilon l c_0 \quad (2.3)$$

Түзусызықтық талдау жүргізу үшін логарифмдік түрге ауыстырамыз:

$$\ln A(t) = \ln A_0 - kt \quad (2.4)$$

Ультракүлгін (УК) спектрофотометр – заттардың сәулені жұту қабілетіне негізделген сандық және сапалық талдауға арналған аналитикалық құрал. Бұл аспап 190–1000 нм аралығындағы толқын ұзындығында жұмыс істейді, яғни ультракүлгін (190–400 нм) және көрінетін (400–800 нм) жарық аймақтарын қамтиды. Құрылғының негізгі компоненттеріне жарық көзі (деутерий және вольфрам-галоген шамдары), монохроматор (дифракциялық тор), кювета ұстағышы және фотодетектор жатады. Аспапта монохроматор арқылы таңдалған белгілі бір толқын ұзындығындағы жарық үлгіге бағытталады, ал үлгі арқылы өткен сәуленің интенсивтігі өлшенеді. Бұл өлшеулер Бэр–Ламбер заңы негізінде концентрацияны есептеуге мүмкіндік береді.

UNICO компаниясының УК У-2100UV (10-сурет) үлгісі – зертханалық және өндірістік бақылауға арналған бір сәулелі спектрофотометр. Үлгілер стандартты 10 мм кварцты кюветаларда зерттеледі. Кинетикалық зерттеулер режимі (Kinetics Mode) химиялық немесе биохимиялық реакциялардың уақытқа тәуелділігін зерттеуге арналған. Бұл режимде аспап белгілі уақыт интервалында абсорбцияны тіркейді, нәтижесінде $A(t)$ графигі алынады. Жұмыс барысында алдымен зерттелетін заттың максималды жұту толқын ұзындығы анықталады, содан кейін бағдарламада өлшеу аралығы мен жалпы уақыт енгізіледі. Тәжірибе барысында әрбір 30 мин сайын нәтижелері алынып отырды (яғни Abs). Реакциялық қоспа дайындалып, жылдам түрде кюветаға құйылады да, өлшеу басталады. Уақыт бойынша алынған деректер реакция жылдамдығын, мысалы, константасын есептеуге негіз болады.



10 сурет - Ультракүлгін спектрофотометр У-2100UV

Йодтың 1000 ppm концентрациялы ерітіндісі алдын ала дайындалды. Бұл ерітінді қажетті көлемде дистилденген сумен сұйылту арқылы 100 ppm концентрацияға дейін жеткізілді. Сұйылтылған 100 ppm концентрациялы йод ерітіндісінен 100 мл көлемде өлшеніп, екі бөлек ыдысқа құйылды. Әр ыдысқа массасы 0,1г болатын модификацияланған цеолит сорбенттері енгізілді. Бірінші сорбент күміс иондарымен (Ag^+), ал екінші сорбент мыс иондарымен (Cu^{2+}) модификацияланған. Цеолит сорбенттерімен йод ерітіндісінің әрекеттесу процесі 31 сағат бойы шейкер (11-сурет) құрылғысында үздіксіз араластырылып жүргізілді. Әрбір 30 минут сайын ерітіндіден үлгілер алынып, олардың абсорбция мәндері (Abs) спектрофотометриялық әдіспен анықталды. Алынған деректер негізінде йод иондарының сорбциялану динамикасын сипаттайтын кинетикалық қисықтар тұрғызылды.



11 сурет - THZ-100 инкубатор шейкер

2.2.4 Изотермиялық зерттеу

Изотермиялық зерттеу — белгілі бір температурада өтетін физикалық немесе химиялық процестердің тепе-теңдік жағдайын немесе кинетикасын зерттеуге бағытталған ғылыми әдіс. Бұл зерттеу түрі адсорбция, десорбция, сорбция, фазалық өзгерістер (мысалы, балқу, булану) және химиялық реакциялар сияқты процестерді түсіну үшін қолданылады.

Изотермалық зерттеулердің негізгі мәні — жүйенің температурасын тұрақты деңгейде ұстап тұрып, басқа айнымалылардың (мысалы, қысым, концентрация, көлем) өзгерісіне байланысты оның күйін талдау. Мысалы, адсорбция процесінде изотермалық зерттеу адсорбцияланған заттың мөлшерін тепе-теңдік концентрациясымен байланыстырып сипаттайды. Бұл өз кезегінде материалдың беткі қасиеттерін, адсорбциялық қабілетін және өзара әрекеттесу механизмін анықтауға мүмкіндік береді.

Изотермалық мәліметтер негізінде әртүрлі модельдер (мысалы, Лэнгмюр, Фрейндлих, Темкин модельдері) қолданылады. Бұл модельдер зерттелетін процесс туралы сандық және сапалық ақпарат береді. Мысалы, Лэнгмюр изотермасы бір қабатты адсорбцияны сипаттайды және адсорбент пен адсорбат молекулалары арасындағы байланыс күшін бағалауға мүмкіндік береді. Тәжірибе барысында ерітіндідегі адсорбаттың тепе-теңдік концентрациясы C_e (мг/л) анықталып, сорбент бірлігіне (г) шаққанда сорылған зат мөлшері q_e (мг/г) мынадай теңдеумен есептеледі:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2.5)$$

мұндағы C_0 және C_e — сәйкесінше бастапқы және тепе-теңдік концентрациялар (мг/л), V — ерітінді көлемі (л), m — сорбент массасы (г).

Алынған q_e және C_e мәндерін әртүрлі изотермалық модельдерге сәйкестендіру адсорбция механизмін сипаттауға мүмкіндік береді.

1. Langmuir изотермасы моноқабатты гомогенді адсорбцияны бейнелейді:

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.6)$$

және оның сызықтық түрі

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (2.7)$$

Мұндағы q_{max} — максималды сорбциялық сыйымдылық (мг/г), K_L — Langmuir тұрақтысы (л/мг).

2.Freundlich изотермасы гетерогенді бетте көпқабатты адсорбцияны сипаттайды:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.8)$$

оның сызықтық өрнегі

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} C_e \quad (2.9)$$

мұндағы K_F – Freundlich тұрақтысы $((\text{мг/г})(\text{л/мг})^{1/n})$, n – бет гетерогенділігін көрсететін көрсеткіш.

Изотерма модельдерін сызықтық регрессия арқылы сәйкестендіріп, корреляция коэффициенттері R^2 мәндері негізінде адсорбциялық бет сипатын және молекулалармен өзара әрекет механизмін бағалау жүргізіледі.

Изотермалық тәжірибе йодтың сорбциясын бағалау мақсатында өткізілді. Бастапқы концентрациясы 50, 100, 150, 200, 300, 400 және 500 мг/л болатын ерітінділер дайындалып, әрқайсысының көлемі 40 мл етіп алынды. Табиғи цеолиттің массасы 0,10 г, ал күміспен және мыспен модификацияланған цеолиттерінің массасы 0,03 г мөлшерінде енгізілді. Барлық үлгілер THZ-100 инкубатор-шейкеріне орналастырылып, 25 °C температура мен 200 айн/мин араластыру жылдамдығы шарттарында 24 сағат бойы сорбция процесіне ұшыратылды (12-сурет). 24 сағат өткен соң ерітінділерден сынамалар алынып, қалдық йод концентрациясы аналитикалық әдістер (ультрақұлгін спектрофотометрия) арқылы анықталды.



12 урет - Изотермиялық зерттеу

2.3 Физика-химиялық зерттеу әдістері

Физико-химиялық зерттеу әдістері қазіргі материалтану және экологиялық инженерия салаларында материалдардың құрылымдық, морфологиялық және химиялық қасиеттерін жан-жақты сипаттау үшін негіз болып табылады. Зерттелетін жүйелердің фазалық құрамын, кристалдық құрылымын, бет ерекшеліктерін және химиялық құрамын анықтау арқылы адсорбенттердің, каталиттік материалдардың және наноструктуралы жүйелердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік туады.

2.3.1 Рентген-флуоресцентті талдау (XRF)

Рентген-флуоресцентті талдау (XRF) - үлгіні бастапқы рентген сәулелерімен сәулелендіру кезінде пайда болатын флуоресцентті рентген сәулелерін тіркеуге негізделген материалдардың элементтік құрамын анықтаудың деструктивті емес әдісі. Талдау барысында жоғары энергиялы фотондар атомдардың ішкі қабықтарынан электрондарды шығарып, вакансиялар туғызады; сыртқы электрондар осы вакансияларға көшкен кезде олардың энергетикалық деңгейлерінің айырмашылығына тең энергиялы, элементтің атомдық нөміріне байланысты сипаттамалық сәуле шашылады (13-сурет).



13 сурет - Рентген-флуоресцентті анализатор

XRF спектрометрінің аналитикалық аппаратурасына рентген көзі (рентген түтігі немесе радиоактивті көз) және флуоресцентті желілердің қарқындылығы мен энергия детекторы кіреді. Анықталатын элементтердің ауқымы теорияда $\beta\epsilon$ -ден α -ге дейінгі атомдарды қамтиды, бірақ жеңіл элементтердің флуоресценциясы төмен болғандықтан, іс жүзінде төменгі шегі әдетте натрий аймағында болады. Зондау тереңдігі матрицаның құрамына және түскен сәуленің энергиясына байланысты: қатты үлгілер үшін ол ондаған

микронға, ал сұйықтықтар мен жұқа қабықшалар үшін бірнеше микронға жетеді. Анықтау шектері стандартты режимдегі ppm деңгейінен жалпы шағылысу (TR-XRF) және поляризацияланған сәулелену режимін пайдаланған кезде қосалқы ppb деңгейіне дейін өзгереді. Үлгіні минималды дайындау және материалдың әртүрлі формаларын сапалы және сандық талдау мүмкіндігі арқасында XRF әдісі геохимия, металлургия, материалтану, экологиялық мониторинг және мәдени құндылықтарды қалпына келтіруде қарқынды қолданылады.

2.3.2 Рентгенофазалық талдау (XRD)

Рентгенофазалық анализ – қатты заттардың құрамындағы кристалдық фазаларды сапалық және сандық тұрғыда анықтауға арналған тиімді аналитикалық әдіс. Бұл әдіс рентген сәулесінің кристалдық материалмен өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын дифракциялық құбылыстарға негізделеді. Зерттелетін үлгіге монохроматталған рентген сәулесін бағыттаған кезде, ол кристалл торының жазықтықтарынан шағылады. Нәтижесінде алынатын дифракциялық сурет – дифрактограмма – зерттелетін заттың фаза құрамына тән шеткі бұрыштар (2θ) мен интенсивтіліктер жиынтығы болып табылады.

Үлгілердің рентгендік дифрактограммалары Rigaku SmartLab (14-сурет) маркалы рентгендік дифрактометрде сандық режимде түсірілді. Зерттеу барысында сәулелендіргіш ретінде кобальт және мыс анодтары қолданылды. Түсірілім параметрлері келесідей болды: рентген түтікшесінің кернеуі – 30 кВ, ток күші – 30 мА, сканирлеу қадамы – $2\theta=0,05^\circ$, бір нүктеде тіркеу уақыты – 1,0 секунд. Түсірілім кезінде үлгілер өз осі бойымен 60 айн/мин жылдамдықпен айналды.

Алынған рентгенограммаларда бұрыштық орналасуы мен рефлекстердің интенсивтілігін бастапқы өңдеу Fpeak бағдарламасы арқылы жүргізілді. Фазалық құрамды анықтау үшін PCPDFWIN бағдарламалық пакеті және PDF-2 дифрактометриялық мәліметтер базасы пайдаланылды. Кристаллит өлшемдері мен кристалдық тордағы микробұрмалануларды анықтау WinFit бағдарламасы арқылы жүзеге асырылды. Алынған дифрактограммаларда үлгілердің фазалық құрамы нақты көрсетілген.



14 сурет - Рентгенофазалық анализ

2.3.3 Сканерлі электронды микроскопия және энергодисперсионды спектроскопия (SEM-EDX)

Сканерлейтін электронды микроскопия — қатты заттардың беткі морфологиясы мен микроструктурасын жоғары дәлдікпен зерттеуге арналған заманауи әдіс. СЭМ әдісі жоғары энергиялы электронды сәуленің үлгі бетімен өзара әрекеттесуі кезінде пайда болатын қайтарылған электрондар, екінші реттік электрондар және рентген сәулелерінің көмегімен бейнелеуге негізделеді. Бұл әдіс наномөлшерлі бөлшектердің пішінін, өлшемін, беткі кеуектілігін, түйіршік құрылымын және басқа да морфологиялық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді.

РА-915М аспабы — "Люмэкс" (Ресей) компаниясы шығарған суытусыз атомдық-абсорбциялық анализатор, ол сынап (Hg) және оның қосылыстарының концентрациясын ауада, суда, топырақта, биологиялық және өндірістік үлгілерде тікелей өлшеуге арналған. Бұл аспап суық бу әдісіне (CV-AAS — Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry) негізделген және сынапты алдыңғы дайындаусыз анықтауға мүмкіндік береді. РА-915М сынап буын 253.7 нм толқын ұзындығындағы резонанстық сәулені жұту арқылы тіркейді. Құрылғы жоғары сезімталдықпен (бөлшек млрд деңгейінде) және нақты өлшеу дәлдігімен ерекшеленеді, сонымен қатар портативті және дала жағдайында қолдануға ыңғайлы.

РА-915М (15-сурет) аспабы экологиялық мониторингте, өнеркәсіптік қауіпсіздікте, гигиена мен санитарлық бақылауда, сондай-ақ ғылыми-зерттеу жұмыстарында кеңінен қолданылады.



15 сурет - Сканерлеуші электрондық микроскоп

3 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1 Рентгенофлуоресценттік (XRF) талдау нәтижелері

Зерттелген цеолит үлгілерінің элементтік құрамын анықтау үшін рентгенофлуоресценттік (XRF) спектроскопия әдісі қолданылды. Бұл әдіс материалдың беткі қабатындағы негізгі және қоспа элементтердің сандық және сапалық құрамын дәл анықтауға мүмкіндік береді. Талдау нәтижелері табиғи цеолиттің құрамында (4 кесте) негізінен кремний (Si), алюминий (Al), кальций (Ca), калий (K) және темір (Fe) элементтерінің басым екенін көрсетті, бұл табиғи алюмосиликатты құрылымға сай келеді.

Күміспен модификацияланған табиғи цеолит (Ag-Z) Ag элементінің сигналдары тіркеліп, модификация процесінің тиімді жүргені расталды. Сол сияқты, мыспен модификацияланған цеолитте (Cu-Z) мыс (Cu) иондарының болуы XRF спектрінде анық көрініс тапты. Сонымен қатар, модификацияланған үлгілерде кейбір бастапқы элементтердің салыстырмалы мөлшерінің азаюы немесе жылжуы байқалды, бұл ион алмасу немесе беткі адсорбция процестерінің жүретінін көрсетеді.

Жалпы алғанда, XRF талдауы цеолит құрылымының тұрақтылығын сақтай отырып, модификация кезінде металл иондарының сәтті енгізілгенін дәлелдеді. Бұл сорбенттердің радионуклидтерді ұстап қалу қабілетіне оң әсер ететіні сөзсіз. Элементтік құрамының нәтижесі 4 кестеде көрсетілген.

4 кесте - Рентгенофлуоресценттік нәтижелері

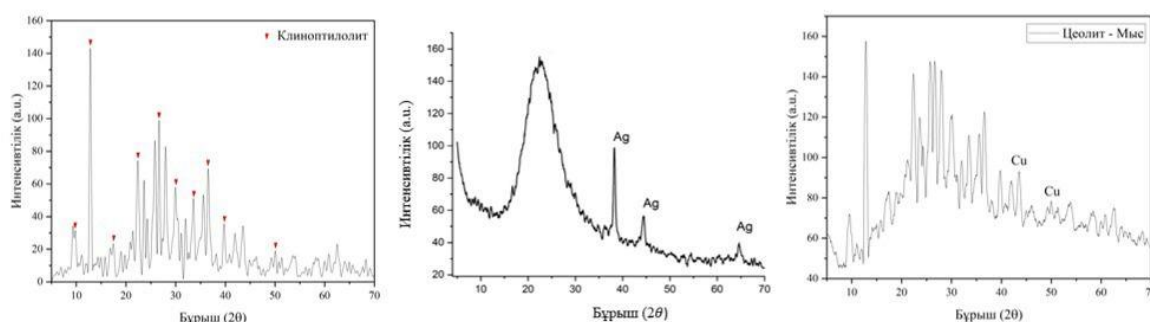
Элементтер	Al/%	Si/%	S/%	Fe/%	Ag/%	Cu/%
Табиғи цеолит	14,94	57,26	2,74	20,36	-	0,057
Күміспен модификацияланған цеолит	13,07	44,94	0,632	14,46	23,90	0,019
Мыспен модификацияланған цеолит	13,99	45,68	0.651	9.41	-	27.81

3.2 Рентгенодифракциялық талдау (XRD) нәтижелері

Табиғи цеолиттің бастапқы үлгісінің рентгендік дифракциясы (а үлгісі) алюмосиликат қаңқасының жоғары кристалдылығы мен тазалығын және 2θ кезінде айқын және нақты анықталған шағылыстарды растайды $= 9,9^\circ, 22,4^\circ, 26,8^\circ, 30,0^\circ$, және $50,6^\circ$. Күміс иондарына сүйене отырып (үлгі ә) модификация, Xrd профиль қарқындылығын көрсетеді шыңдар $2\theta \approx 38,1^\circ, 44,3^\circ$ және $64,4^\circ$, сондай-ақ шағылыстар (111), (200) және (220) текше Ag

фазалары. Негізгі клиноптилолит пен рефлекстермещыспайды және ені бойынша айтарлықтай өзгермейді, бұл ата-аналық тордың сақталуын болжайды. Бұл жаңа рефлекстер цеолит құрылымының ішінде немесе бетінде күміс нанобөлшектерінің пайда болуын анық көрсетеді.

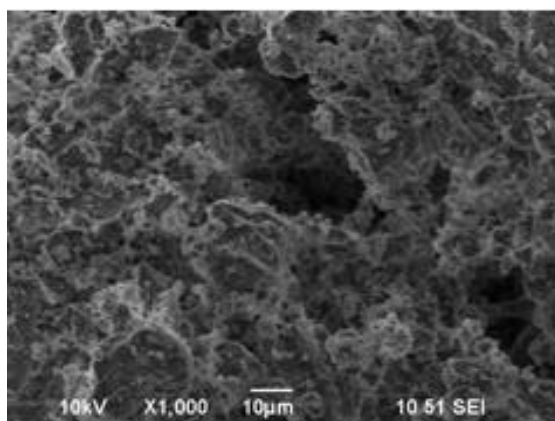
XRD үлгісі ди-мыс модификацияланған үлгінің (б үлгісі) Cu немесе CuO бос фазаларын көрсететін жаңа өткір сызықтар пайда болмай, табиғи цеолиттің барлық тән шындық позицияларын сақтайды. Атап айтқанда, $2\theta = 22^\circ\text{--}30^\circ$ аймағындағы негізгі шыңдардың шамалы кеңеюі және мещысуы ұсыныстың алғашқы қадамы болып табылады Cu_2 диск иондарының дискретті интеркаляциясы цеолит арналарына. Жеке кристалдық фазалар түзілмей, тордың шамалы деформациясындағы мұндай сдысулар Мыстың кеуекті жақтауға иондық түрде сәтті енгізілгенін көрсетеді (16-сурет).



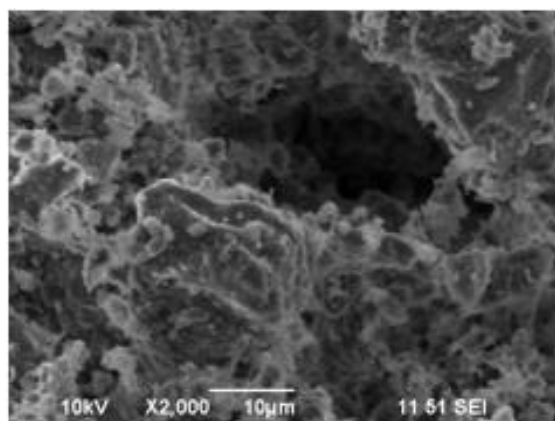
16 сурет - Табиғи цеолит , күміспен модификацияланған және мыспен модификацияланған XRD талдауы

3.3 Элементтік талдауы бар сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ-EDX) нәтижелері

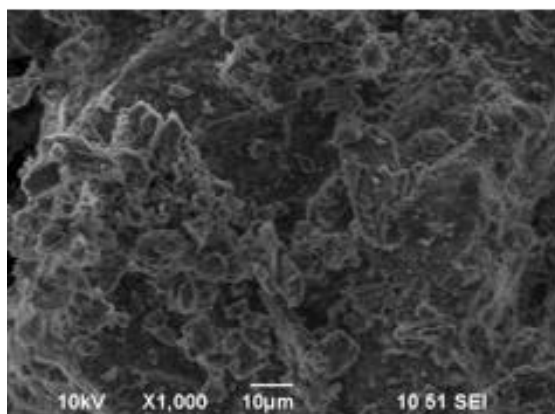
Сканерлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) және элементтік талдау (EDX) әдістері көмегімен таза және модификацияланған табиғи цеолит үлгілерінің бет құрылымы мен элементтік құрамын зерттедік. Табиғи және модификацияланған цеолиттің морфологиясы сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) әдісімен, ал элементтік құрамы энергия дисперсиялық спектроскопия (EDX) әдісімен зерттелді. СЭМ – 17 суреттеріндн табиғи цеолиттің бөлшектердің гетерогенді таралуы бар дамыған кеуекті құрылымы бар екенін көрсетеді. Күміс және мыс нанобөлшектерімен модификацияланғаннан кейін цеолит бетінде тасымалдаушы құрылымында металл нанофазаларының бекітілуін көрсететін морфологиялық өзгерістер байқалады.



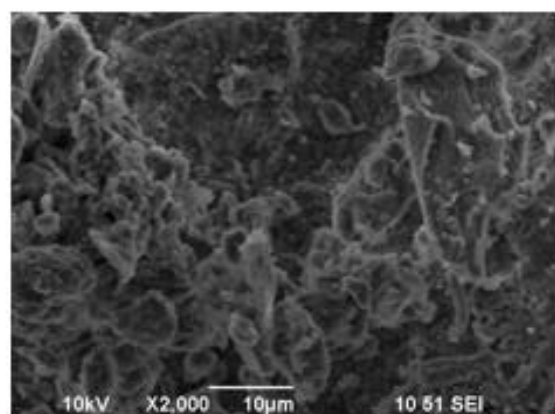
а



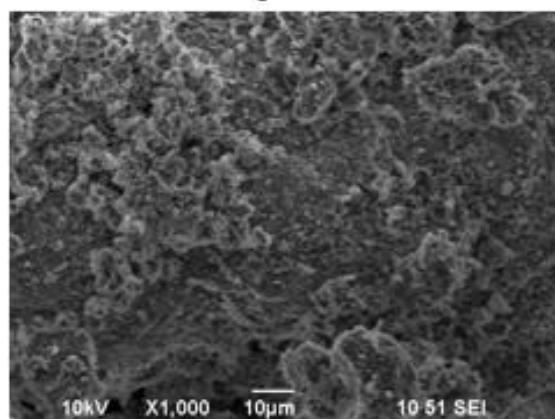
ә



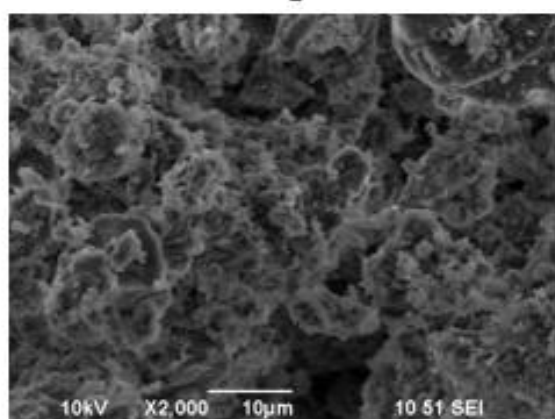
б



в

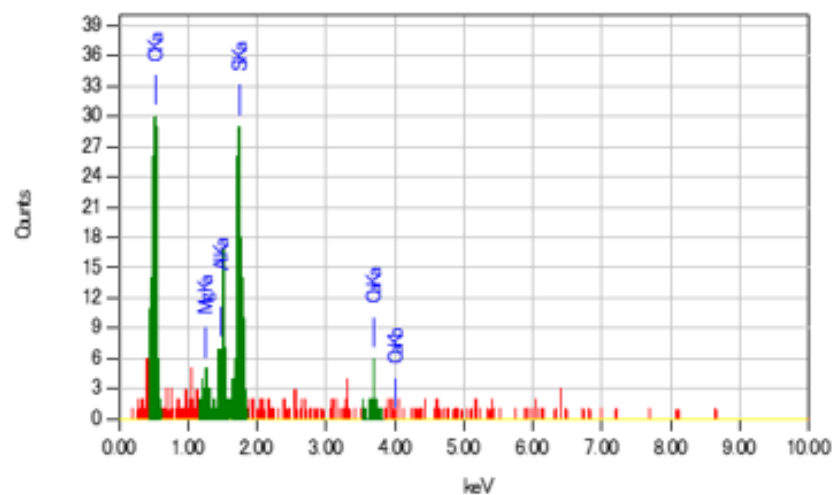


г

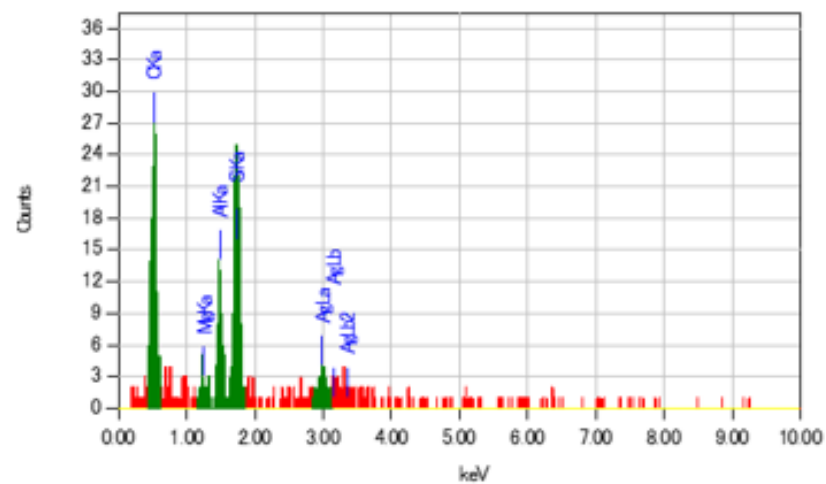


ғ

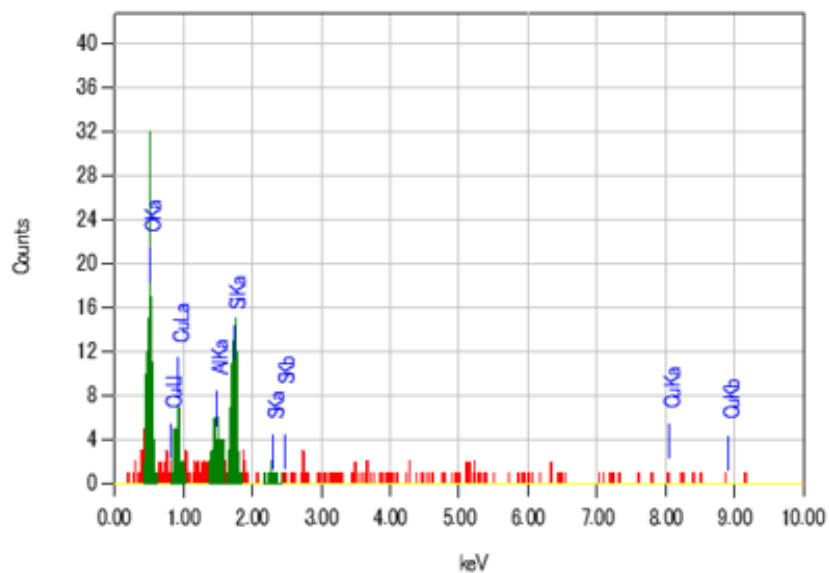
17 сурет - а, ә –табиғи цеолиттің СЭМ нәтижелері; б,в – күміс нанобөлшектерімен модификацияландырылған тибиғи цеолиттің СЭМ нәтижелері; г, ғ - мыс нанобөлшектерімен модификацияландырылған табиғи цеолиттің СЭМ нәтижелері;



a



ә



б

18 сурет - а,ә,б- табиғи цеолит, күміс нанобөлшектерімен модификацияландырылған цеолит және мыс нанобөлшектерімен модификацияландырылған цеолиттің EDX нәтижелері

EDX талдау нәтижелері (18-сурет) табиғи цеолитте материалдың типтік алюмосиликаттық сипатына сәйкес келетін Si, Al және O сияқты негізгі элементтердің болуын растайды. Сонымен қатар, модификацияланған үлгілерде Ag және Cu шыңдары нақты анықталған, бұл тиісті нанобөлшектердің сәтті енгізілгенін көрсетеді.

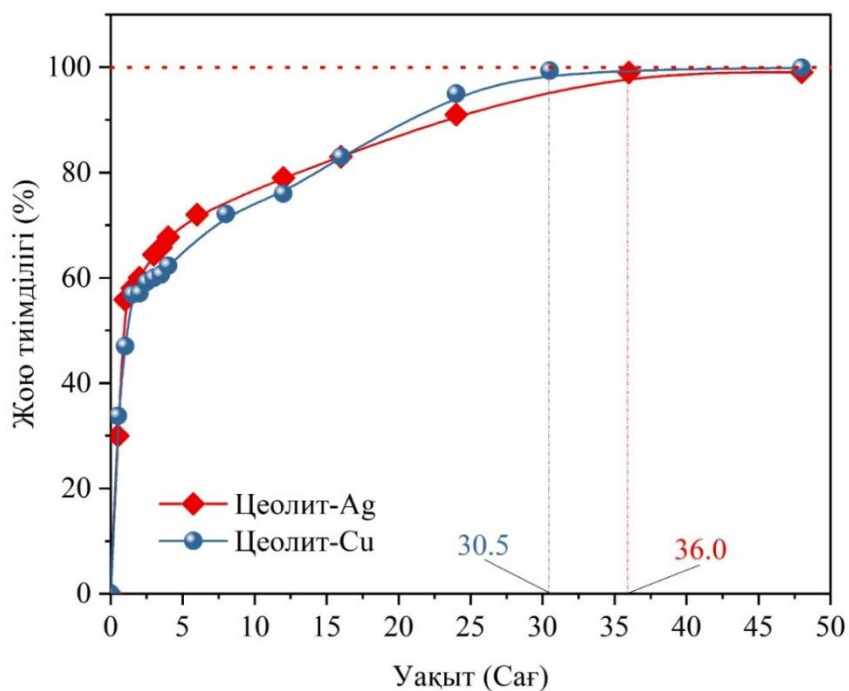
Алынған нәтижелер (сурет. 17 және 18) цеолитті күміс және мыс нанобөлшектерімен модификациялау нәтижесінде материалдың морфологиялық құрылымында да, элементтік құрамында да айтарлықтай өзгерістер болатынын көрсетеді. Нанобөлшектердің бетінде тіркелген болуы және олардың спектрлердегі расталған құрамы цеолит матрицасында металл компоненттерінің берік бекітілгенін көрсетеді. Мұндай құрылымдық сипаттамалар модификацияланған цеолиттерді су ортасынан ластаушы заттарды сорбциялау процестерінде қолдану үшін перспективалы материалдар ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

3.4 Кинетикалық зерттеу нәтижелері

Кинетикалық зерттеу нәтижелері модификацияланған цеолиттердің (цеолит-Ag және цеолит-Cu) сорбциялық белсенділігін салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік берді. Жою тиімділігі уақыттың өсуіне байланысты бастапқыда қарқынды өсіп, белгілі бір уақыт өткеннен кейін тепе-теңдік күйге жеткені байқалды.

Алынған деректерге сәйкес, мыс негізінде модификацияланған цеолит (цеолит-Cu) сорбция процесінде жоғары белсенділік көрсетті: тепе-теңдік жағдайына 30,5 сағатта жетіп, максималды жою тиімділігі 99,4 % болды. Күміспен модификацияланған цеолит (цеолит-Ag) сорбция процесі баяулау жүріп, тепе-теңдікке 36,0 сағатта жеткенімен, оның да жою тиімділігі 99,1 % шамасында тіркелді.

Салыстырмалы түрде қарастырғанда, екі сорбенттің де адсорбциялық қасиеттері жоғары деңгейде екені анықталды. Алайда, мыс иондары арқылы модификацияланған цеолиттің кинетикалық тұрғыдан жылдам реакция беретіні және тепе-теңдікке ертерек жететіні байқалды, бұл оның сорбциялық бетінің жоғары қолжетімділігі мен ион алмасу қабілетінің артуымен байланысты болуы мүмкін (19-сурет).



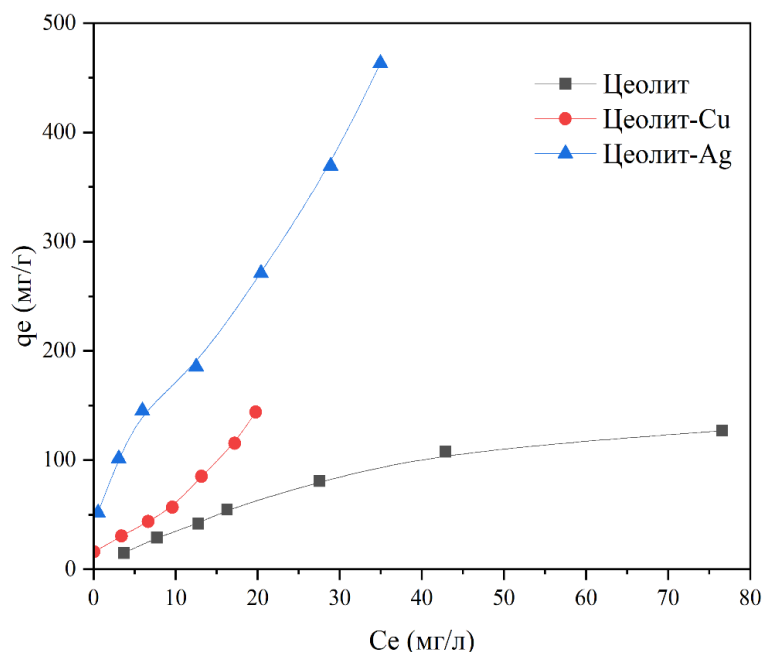
19 сурет - Кинетикалық зерттеу нәтижелері

3.5 Изотермиялық зерттеулерінің нәтижелері

Йодтың сорбциясын изотермиялық зерттеу процестің тепе-теңдік сипаттамаларын анықтау, табиғи және модификацияланған цеолиттің сорбциялық қабілетін зерттеу мақсатында бөлме температурасында (25 °C) жүргізілді. Эксперименттер тепе-теңдік күйіне жеткенге дейін йодтың әр түрлі бастапқы концентрациясында, сорбенттің тұрақты массасында және ерітіндінің көлемінде жүргізілді. Қалдық йодтың концентрациясы спектрофотометриялық түрде анықталды. Алынған мәліметтер негізінде тепе-теңдік концентрациясының (C_e) сорбцияланған зат (q_e) мөлшеріне тәуелділігін көрсететін сорбциялық изотермалар құрылды.

Эксперименттік деректерді талдау үшін Лангмюр мен Фрейндлихтің изотермиялық модельдері қолданылды. Нәтижелерге сәйкес модельдердің сызықтық теңдеулерінің координаттарында графиктер салынды (20-сурет): Лангмюр моделі үшін q_e -ге қарсы C_e және Фрейндлих моделі үшін $\lg q_e$ -ге қарсы $\lg C_e$. Деректердің жуықтауы Лангмюр моделі модификацияланған цеолиттің сорбциялық әрекетін жақсырақ сипаттайтынын көрсетті, бұл жоғары детерминация коэффициентімен ($R^2 > 0,98$) дәлелденді. Бұл сорбцияның мономолекулалық сипатын және Сорбент бетіндегі белсенді орталықтардың біртектілігін көрсетеді. Максималды сорбциялық сыйымдылықты (q_m) есептеу модификацияланған цеолиттің табиғи цеолитпен салыстырғанда айтарлықтай жоғары сорбциялық қабілетке ие

екенін растады, бұл мыс иондарын енгізгеннен кейін қол жетімді сорбциялық орталықтар санының артуына байланысты.



20 сурет -Изотермиялық зерттеу нәтижелері

Фрейндлих моделі сорбцияның табиғатын сипаттау үшін де қолданылды және жақсы нәтиже көрсетті, әсіресе табиғи цеолит үшін. $1/n$ көрсеткішінің мәндері 0,3–0,7 диапазонында болды, бұл қолайлы сорбция жағдайларын және әртүрлі байланыс энергиясы бар учаскелердің болуын көрсетеді.

Осылайша, салынған Графиктер мен есептелген параметрлер модификацияланған цеолиттің 25 °C температурада йодты кетіруге арналған тиімді Сорбент екенін растайды. алынған мәліметтер қолданбалы мәнге ие және I-131 радиоактивті изотопын қоса алғанда, құрамында йод бар ластаушы заттардан су тазарту қондырғыларын инженерлік жобалауда пайдаланылуы мүмкін.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу жұмысы радионуклидтермен, атап айтқанда йод иондарымен ластанған суларды тиімді тазартуға бағытталды. Бұл мақсатта табиғи табиғи цеолиттің сорбциялық қасиеттері зерттеліп, оның негізінде модификацияланған сорбенттер дайындалды. Табиғи цеолитті күміс (Ag^+) және мыс (Cu^{2+}) иондарымен модификациялау арқылы оның құрылымын бұзбай, сорбциялық белсенділігін арттыру көзделді. Модификациялау үрдістері сәтті өтіп, алынған үлгілер зертханалық жағдайда кешенді әдістермен зерттелді.

Жүргізілген сорбция тәжірибелері модификацияланған табиғи цеолиттің радионуклидті иондарды тиімді сіңіре алатындығын көрсетті. Табиғи цеолиттің өзінде де белгілі бір сорбциялық белсенділік байқалғанымен, металл иондарымен өңделген үлгілердің тиімділігі анағұрлым жоғары болды. Бұл материалдардың радионуклидтермен әрекеттесу қабілеті артқанын және оларды су тазалау мақсатында қолдануға болатындығын дәлелдейді. Алынған нәтижелер табиғи цеолитті модификациялау арқылы экологиялық жағынан қауіпсіз, арзан және тиімді сорбенттерді дайындауға болатынын көрсетіп, радиациялық ластанған суларды тазартуда практикалық қолдануға негіз бола алады.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

ДДД- (Dislocation Density Distribution) (дихлордифенилдихлорэтилен)

ДДЕ- (Dislocation Density Estimation) (дихлордифенилдихлорэтан)

ДДТ- Дихлордифенилтрихлорметан (химиялық формуласы: $C_{14}H_9Cl_5$)

РФА – Рентгенофазалық анализ

СЭМ – Сканирующі электронды микроскопия

EDX -Энергодисперсиялық рентгендік спектроскопия.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. IAEA (International Atomic Energy Agency). (2010). Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Humans in Terrestrial and Freshwater Environments. Vienna: IAEA.
2. Евгенийев М.И., Евгеньева И.И. Контроль и оценка экологического риска химических производств. Казань: издательство «Фэн» АН РТ, 2007. 207 с.
3. Ignatov I., Mosin O. V. The structure and composition of natural carbonaceous fullerene containing mineral shungite // International Journal of Advanced Scientific and Technical Research. 2013.V. 6. №11–12.P.9–21.
4. Donald W. // Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use // 1974
5. А.А. Маслова // Отбор проб сточных вод различными способами // Инновационные технологии. -2018. - № . – С. 7-10.
6. Гагарина О.В. // Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод // Науки о Земле. - 2005. - № 11. - С. 45–58.
7. А.Тукушева //Топ-20 самых грязных рек и водоемов в Казахстане. Где они находятся и почему стали непригодными для любой деятельности //Курсив// 26 августа 2024
8. Fadlallah S. // Environmental pollution and its impact on agricultural economic development. // Assiut Journal of Environmental Studies. //2001
9. Elena Vialkova // Phytosorbents in Wastewater Treatment Technologies: Review // Multidisciplinary Digital Publishing Institute // 2024
10. Kilaru Harsha Vardhan // A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives // 2019
11. Breck, D. W. // Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use. Wiley // 1974.
12. A. Azari // Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review // ChemBioEng Reviews // 2017 .
13. А.А. Маслова // Отбор проб сточных вод различными способами // Инновационные технологии. -2018. - № . – С. 7-10.
14. А.Тукушева //Топ-20 самых грязных рек и водоемов в Казахстане. Где они находятся и почему стали непригодными для любой деятельности //Курсив// 26 августа 2024
15. Williams M.E. // A brief review of reverse osmosis membrane technology// EET Corporation and Williams Engineering Services Company // 2003
16. М.А.Александрова // Очистка воды от загрязнителей // Химия // 2005
17. M. Lambert // New Methods of Cleaning Up Heavy Metal in Soils and Water // Hazardous Substance Research Centres
18. A. Ryzhikov // Porous sorbents for the capture of radioactive iodine compounds: a review // Royal society of chemistry // 2018

19.Qina Sun // Efficient Iodine Removal by Porous Biochar-Confined Nano-Cu₂O/Cu₀: Rapid and Selective Adsorption of Iodide and Iodate Ions // Nanomaterials // 2023

20.Drinking Water Treatability Database (TDB) Information on treatment processes for controlling contaminants // United States Environmental Protection Agency // 2024

21.Q. Feng // Adsorption of lead and mercury by rice husk ash // Journal of Colloid and Interface Science. – 2004



PolyTech is the best!

ДИПЛОМ

«Satbayev International Conference 2025.
Инженерлік және өндірістік жүйелердегі жасанды интеллект:
процестерді оңтайландыру мен автоматтандыру шешімдері»
халықаралық конференциясына қатысып,

Ғанымжанова Азатке Ахметқызы

I орын

алғаны үшін марапатталады



М. Бегентаев