



ӨОЖ 551.312.2

ҒТАХР 38.61.15

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.101(1).41

Ниязбекова А.Б., Байтлесова Л.И., Кенесарина К.Х\*, Амиргалиева А.М.

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті Орал, Қазақстан

\*Корреспондент-авторы: kunsayakenesarina@mail.ru

E-mail: abnyazbekova@mail.ru, beu64@mail.ru, ainara-aida@yandex.ru, kunsayakenesarina@mail.ru

### СУДЫ ТАЗАРТУ КЕЗІНДЕГІ АКТИВТЕНУ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ МИНЕРАЛДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫНА ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТІНЕ ӘСЕРІ

**Аңдатпа.** Қазақстандағы су тапшылығы жағдайында жер асты суларын тиімді тазарту үшін жергілікті минералды ресурстар негізінде сорбциялық материал әзірлеу нәтижелері баяндалады.

Зерттеу барысында диатомит пен монтмориллонит қышқылдық және сілтілік активация арқылы модификацияланып, олардың құрылымы мен сорбциялық қасиеттеріндегі өзгерістер зерттелді.

Алынған материал Аккурай кен орнының жер асты суларында кездесетін магний, кальций, марганец, хлоридтер мен сульфаттарды жою қабілеті бойынша сыналды. Физика-химиялық талдау әдістері сорбенттердің беттік морфологиясы, кеуектілігі және функционалды топтарының өзгерісін анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижесінде жергілікті минералды шикізатты пайдалана отырып, су сапасын жақсартуға мүмкіндік беретін тиімді композициялық сорбенттің оңтайлы құрамы ұсынылды.

Ұсынылған тәсіл су ресурстары тапшы аймақтарда экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі экономикалық тиімді су тазарту технологияларын дамытуға ықпал етеді.

**Кілт сөздер:** жер асты сулары; ластануы; диатомит; монтмориллонит; қышқылдық активация; сілтілік активация; жергілікті минералды шикізат; модификациялау; композициялық сорбент; беттік морфология; кеуектілік; функционалды топтар.

#### *Kipicne*

Су ресурстарының жетіспеушілігі бүгінгі таңда әлемдік деңгейдегі аса өзекті мәселелердің бірі болып табылады [1–3] және бұл жағдай табиғи су қорлары шектеулі мемлекеттер үшін, соның ішінде Қазақстан Республикасы үшін ерекше күрделі сипатқа ие [4,6]. Климаттың жылдам өзгеруі, халық санының артуы, ауыл шаруашылығы мен өндіріс салаларындағы суға деген тәуелділіктің күшеюі — су тапшылығын одан әрі тереңдетіп отыр. Қазақстан жағдайында бұл мәселе су ресурстарының географиялық және маусымдық тұрғыда біркелкі бөлінбеуінен, трансшекаралық өзендерге тәуелділіктен және елдегі су инфрақұрылымының едәуір бөлігі тозған күйде болуынан күрделене түседі [4, 6]. Жан басына шаққандағы су пайдалану көлемі әлемдік көрсеткіштен жоғары болуы қолда бар су қорларына түсетін жүктемені арттырып, еліміздің су қауіпсіздігіне айтарлықтай қатер төндіреді [2,4,6].

Республикадағы жер үсті су көздерінің жылдық көлемі салыстырмалы түрде жоғары болғанымен, оның елеулі бөлігі көршілес мемлекеттер аумағында қалыптасады және бұл Қазақстанның су ресурстарына қатысты стратегиялық тәуелділігін күшейтеді [2, 6].

Сонымен қатар елдегі тұщы жерасты суларының әлеуеті толық пайдаланылмайды: жылына 15–16 км<sup>3</sup> қор бекітілгенімен, игеру деңгейі шамамен 11 % көлемінде ғана қалып отыр [4, 5].

Мұндай жағдай жерасты су көздерін тиімді пайдалану мен олардың сапасын жақсартуды аса маңызды міндетке айналдырады [5, 11].

Жерасты суларының табиғи химиялық құрамы кейбір өңірлерде магний, кальций, марганец, хлоридтер мен сульфаттардың шамадан тыс мөлшерінің болуымен ерекшеленеді және бұл олардың тұрмыстық, шаруашылық немесе өндірістік мақсаттарда қолданылуына айтарлықтай шектеу қояды.

Қазақстан Президентінің стратегиялық Жолдауларында су тапшылығы тек экономикалық өсімді тежейтін фактор емес, сонымен бірге елдің ұзақ мерзімді дамуы мен ұлттық қауіпсіздігіне қауіп төндіретіні бірнеше рет атап өтілді [6]. Суару жүйелеріндегі шығындардың 40%-ға дейін жетуі, сүзгілеу мен булану нәтижесіндегі су жоғалтудың көп болуы, инфрақұрылымдық жүйелердің ескіруі, коммуналдық сектордағы апаттық жағдайлардың жиілеуі — бұл мәселелердің барлығы су ресурстарын басқару жүйесіндегі күрделі түйткілдерді көрсетеді [6, 7]. Осыған байланысты табиғи су көздерінің сапасын арттыруға бағытталған жаңа технологиялық шешімдер қажет.

Суды тазартудың қазіргі қолданыстағы әдістерінің ішінде сорбциялық технологиялар кең қолданылуда, себебі олардың әмбебаптығы, экологиялық қауіпсіздігі және экономикалық тиімділігі жоғары [7, 8, 22].



Табиғи минералдар негізіндегі сорбенттер — диатомит пен монтмориллонит — осы бағыттағы ең перспективалы материалдардың бірі саналады [8–10].

Бұл минералдардың табиғи құрылымы, беттік қасиеттері және химиялық тұрақтылығы оларды иондық ластаушыларды жоюда тиімді құрал ретінде қолдануға мүмкіндік береді [8,9,12,15].

Алайда табиғи сорбенттердің бастапқы белсенділігі кей жағдайларда жеткіліксіз болуы мүмкін, сондықтан минералдардың құрылымын мақсатты түрде өзгерту — яғни қышқылдық немесе сілтілік активация арқылы модификациялау — олардың сорбциялық қасиеттерін айтарлықтай арттырады [12–17,21,24].

Мұндай өңдеу нәтижесінде минералдардың меншікті беттік ауданы ұлғаяды, кеуектілік көлемі өзгереді, беттік функционалды топтардың реакциялық қабілеті жоғарылайды және ластаушыларды байланыстыру тиімділігі артады.

Осы ғылыми бағыттың шеңберінде негізгі зерттеу мәселесі жер асты суларының құрамында жиі кездесетін магний, кальций, марганец, хлоридтер мен сульфаттарды тиімді жоюға мүмкіндік беретін диатомит пен монтмориллониттің модификация түрлері мен оңтайлы шарттарын айқындау болып табылады [8–10, 19, 28].

Аталған мәселеге жауап табу мақсатында жұмыс диатомит пен монтмориллонитке қышқылдық және сілтілік өңдеудің әсерін терең зерттеуге, олардың құрылымдық және сорбциялық қасиеттерінің өзгерісін анықтауға, алынған материалдарды жер асты суларының нақты үлгісінде сынауға бағытталған. Мұнда Аққурай кен орнының жер асты сулары таңдалуы кездейсоқ емес: бұл аймақта су сапасы жоғары минералданумен және иондық құрамның теңгерімсіздігімен сипатталады, сондықтан тиімді сорбциялық материалдарды әзірлеу нақты практикалық маңызға ие.

Зерттеу барысында қышқылдық және сілтілік активацияның диатомит пен монтмориллониттің құрылымын оңтайландырып, олардың сорбциялық белсенділігін едәуір арттырады деген ғылыми болжам негізге алынды; сондай-ақ екі минералды белгілі пропорцияда біріктіру жеке минералдарға қарағанда жоғары тиімді композициялық материал алуға мүмкіндік береді деген ұстаным басшылыққа алынды.

Бұл болжам минералдардың табиғи құрылымдық ерекшеліктеріне, химиялық қасиеттеріне және модификация нәтижесінде пайда болатын өзгерістерге негізделеді. Айтылған болжамдарды тәжірибелік әдістермен тексеру зерттеудің ғылыми жаңалығын анықтауға жол ашты.

Зерттеуді жүзеге асырудың қажеттілігі мен маңыздылығы бірнеше деңгейде көрінді. Біріншіден, бұл жұмыс су ресурстарының сапасын жақсартуға бағытталған технологияларды дамытуға үлес қосты, бұл өз кезегінде халықтың денсаулығына, өндірістік сектордың тиімділігіне және экологиялық жағдайға тікелей әсер етті. Екіншіден, диатомит пен монтмориллонит Қазақстан аумағында кең таралған минералдар болғандықтан, олардың негізінде жасалған сорбенттер импорттық материалдарға тәуелділікті азайты, су тазарту жүйелерінің экономикалық қолжетімділігін қамтамасыз етті. Үшіншіден, минералдарды модификациялау процестерінің механизмдерін анықтау жаңа сорбциялық материалдар әзірлеу үшін теориялық база құруға мүмкіндік берді.

Ғылыми тұрғыдан алғанда, зерттеу табиғи минералдардың құрылымдық өзгерістері мен сорбциялық қасиеттері арасындағы байланысты анықтауға бағытталған. Бұл байланыстарды түсіну сорбциялық процестерді модельдеу, ластаушы заттармен байланысу механизмдерін сипаттау және тиімді материалдар синтездеудің негізін жасау үшін маңызды. Диатомит пен монтмориллониттің модификацияланған үлгілерін жан-жақты физика-химиялық талдау олардың беттік морфологиясы, функционалды топтарының құрамы, меншікті беттік ауданы мен кеуектілік құрылымының өзгеруін анықтауға мүмкіндік берді. Алынған деректер сорбция механизмдерін терең түсіндіруге негіз болды.

Практикалық тұрғыда зерттеудің нәтижелері жер асты суларын тазарту технологияларын жетілдіру мақсатында тікелей қолданылуы мүмкін. Алынған материалдың төмен құны, қолжетімділігі және экологиялық қауіпсіздігі оны ауылдық жерлерде, шағын елді мекендерде немесе орталықтандырылмаған сумен жабдықтау жүйелері бар аймақтарда пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар модификацияланған сорбенттердің регенерация мүмкіндігі олардың ұзақ мерзімді пайдалану тиімділігін арттырады.

Су сапасының төмендігі және су тапшылығына байланысты артып отырған талаптар аясында жергілікті минералдар негізінде тиімді сорбциялық материал әзірлеуге бағытталған бұл зерттеу іргелі ғылыми міндеттерді де, практикалық мәселелерді де шешудің үйлесімді жолын ұсынады. Жұмыстың нәтижелері су ресурстарын басқарудың ұлттық стратегияларына сай келеді және су қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталып ғылыми-техникалық шешімдердің дамуына үлес қосты.

#### *Материалдар мен әдістер*

*Зерттеу объектісі:* Аққурай кен орнының жер асты суларының ластаушы заттарға қатысты модификацияланған диатомит пен монтмориллониттің сорбциялық қасиеттер; нысаны — жергілікті минералды шикізат және зерттелетін жер асты сулары болды [11, 26].



*Материалдар:* Диатомит және монтмориллонит жергілікті минералды шикізат ретінде алынды, фракциясы  $\leq 0,25$  мм, табиғи құрамы бойынша стандартқа сәйкес [8–10]. Жер асты суларының үлгілер әртүрлі тереңдіктен және бірнеше координаталық нүктеден алынды, негізгі лаस्ताушы заттары:  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  [11, 19, 20, 28].

*Қышқылдық активтендіру:* минерал 1–3 н күкірт қышқылы ерітіндісімен өңделді, 100 °С температурада 6 сағат қыздырылды, бейтарап ортаға дейін жуылды және 105 °С-де кептірілді [12 - 16].

*Сілтілік активтендіру:* минерал NaOH немесе КОН ерітіндісінде 1:4–1:10 қатынасында 80–100 °С температурада 2–4 сағат араластырылады, сүзгіден өткізіліп, бейтарап рН-ға дейін жуылады, кейін 100–110 °С-де кептірілді [14, 17].

Сорбциялық процестердің жылдамдығы есептелді [18]. Бұл көрсеткіш сорбенттің белсенді беті мен функционалды топтарының тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар адсорбция дәрежесі және тазалау тиімділігі есептелді.

Судың химиялық құрамындағы кальций мен магний — МЕМСТ 26449.1-85 бойынша титриметриялық әдіс, хлоридтер — МЕМСТ 4245-72, аргентометриялық әдіс, сульфаттар — МЕМСТ 4389-72, салмақтық әдіс арқылы анықталды [11, 19, 20].

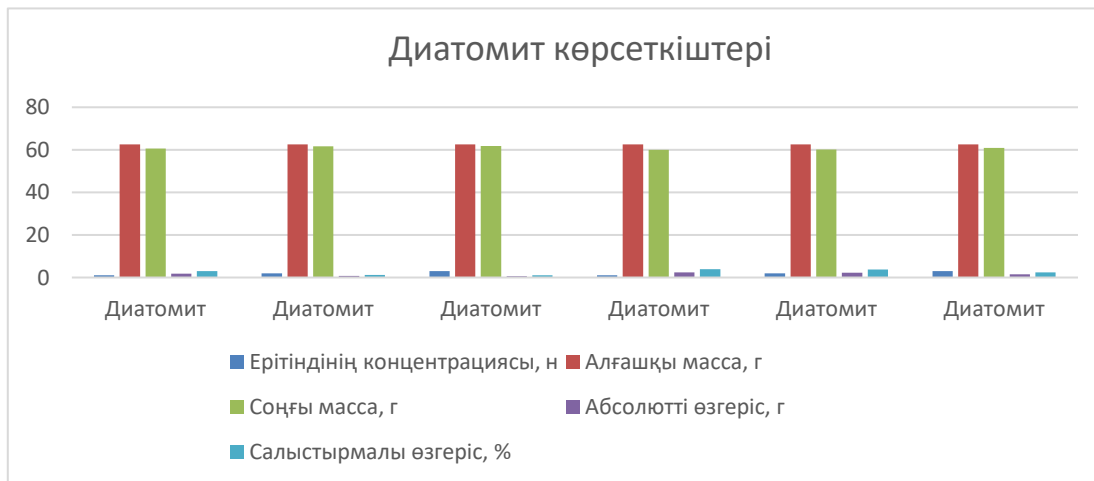
*Зерттеу әдістері:* ИК-спектроскопия — функционалды топтарды анықтау үшін, 400–4000  $cm^{-1}$  диапазонында Varian 3100 спектрометрмен жүргізілді [15], БЭТ-әдісі — сорбенттердің меншікті беті мен кеуектілігін «Сорбометр М» аспабымен анықтау [15, 21].

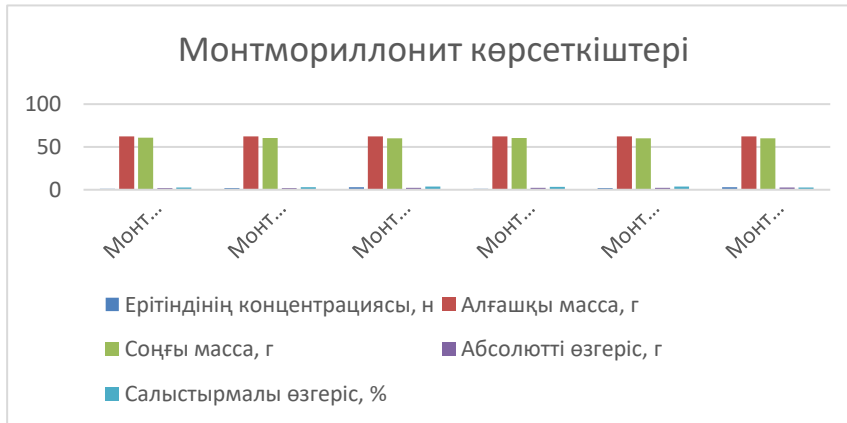
Зерттеу әдістерінің кешенді қолданылуы (активация, сорбция кинетикасы, физика-химиялық талдау) және репрезентативті выборка жинау нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз етеді. Барлық өлшеулер стандарттарға сәйкес бірнеше қайталау арқылы жүргізілді, бұл алынған мәліметтердің дәлдігі мен қайта тексерілу мүмкіндігін арттырды.

*Зерттеу нәтижелері*

Зерттеу нысандары ретінде диатомит және монтмориллонит қарастырылды. Белсендірілген жүйелерде минералдар HCl (1–3 Н) және NaOH (1–3 Н) ерітінділерімен өңделді. Әр эксперименттік үлгінің массасы белсендірілмей тұрып және кейін өлшеніп, абсолютті және салыстырмалы өзгеріс есептелді. Массаның төмендеуі минерал құрамындағы аморфты және әлсіз байланысқан компоненттердің жойылуын салыстырмалы мәліметтер кестесінде -1 көрсетілді.

Диаграмма 1 - Қышқылдық және сілтілік активтенуден кейінгі диатомит пен монтмориллониттің массасының өзгеруі (n=3) салыстырмалы мәліметтері





Жарияланған белсендіру нәтижелері негізгі бақылауларды көрсетеді. Қышқылдық белсендіру кезінде диатомит массасының салыстырмалы өзгерісі 1 Н HCl-де 2,96%, 3 Н-де 1,02%, монтмориллонит массасының салыстырмалы өзгерісі 1 Н HCl-де 2,69%, 3 Н-де 3,62% құрайды. Қышқыл концентрациясының артуы бастапқыда масса жоғалуын арттырады, бірақ кейбір минералдар үшін құрылымдық тұрақтылыққа байланысты 3 Н-де өзгеріс шектеулі болады.

Сілтілік белсендіру кезінде диатомит массасының салыстырмалы өзгерісі 1 Н NaOH-де 3,93%, 3 Н-де 2,44%, монтмориллонит массасының салыстырмалы өзгерісі 1 Н NaOH-де 3,44%, 3 Н-де 4,01% құрайды. Сілтілік өңдеу беткі гидроксил топтарының пайда болуына және мезо- және макрокеуектердің қалыптасуына ықпал етеді.

Белсендіру процесі минералдың физика-химиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді, оның ішінде меншікті беттің ауданы мен кеуектілік, бұл сорбциялық қабілетке тікелей әсер етеді [12–17, 21]. Қышқыл белсендіру ауыр металдарды адсорбциялауға, сілтілік – органикалық заттарды жоюға тиімді.

Оңтайлы белсендіру шарттарын анықтау және жер асты суларын тазарту үшін белсендірілген сорбенттердің тиімділігін бағалау үшін қосымша зерттеулер орындалды, оның ішінде бетінің меншікті ауданы, кеуектілігі, адсорбциялық қабілеті және әртүрлі ластаушы заттарға селективтілігі өлшенді.

Жер асты суларының үлгілік ерітінділерінен ластаушы заттардың сорбция кинетикасы белсендірілген диатомит пен монтмориллонит көмегімен зерттелді. Сорбция уақыты және сорбция жылдамдығы (л/г•мин) сорбциялық тепе-теңдікке жету мерзімі арқылы бағаланды. Сорбция тиімділігі минералдың меншікті бетінің ауданы, кеуектілігі және белсенді орталықтардың санына байланысты өзгерді. Эксперименттік зерттеулер нәтижелері бойынша салыстырмалы мәліметтер 2- кестеде көрсетілді.

Диаграмма – 2. Қышқылдық және сілтілік активтенуден кейінгі диатомит пен монтмориллониттің массасының өзгеруі (n=3) салыстырмалы мәліметтері





### Қышқылдық және сілтілік активтенуден кейінгі диатомит массасының өзгеруі



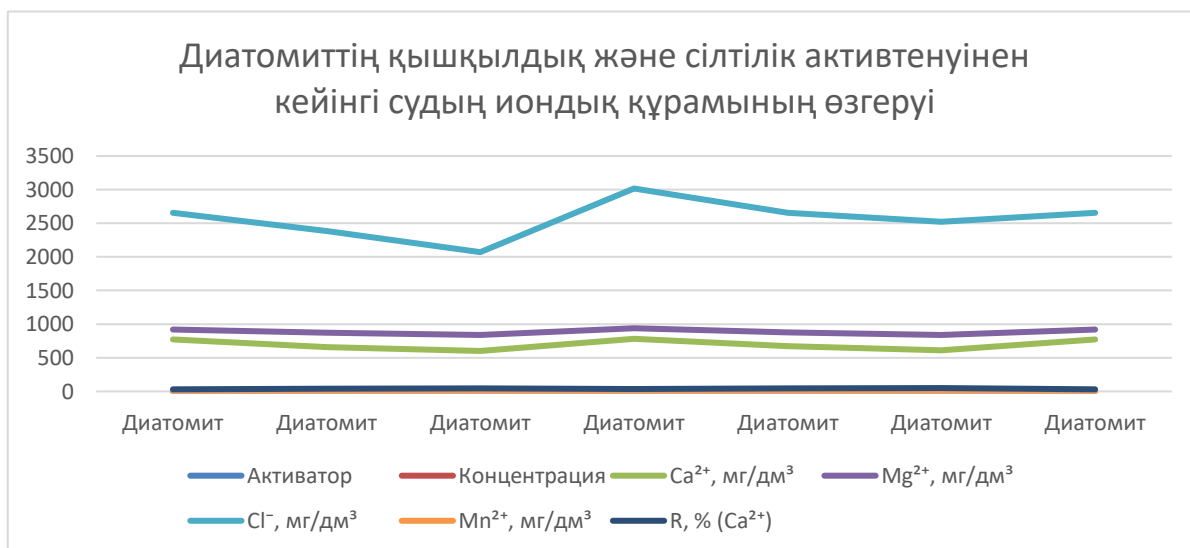
Монтмориллонит қышқылдық белсендіру (HCl): концентрацияның 1 Н-ден 3 Н-ге өсуі сорбция жылдамдығын арттырды ( $0,851 \cdot 10^{-4} \rightarrow 0,976 \cdot 10^{-4}$  л/г•мин) және тепе-теңдікке жету уақытын қысқартты (47 → 41 мин). Сілтілік белсендіру (NaOH): сорбция жылдамдығы төменірек ( $0,784 \cdot 10^{-4} \rightarrow 0,889 \cdot 10^{-4}$  л/г•мин), тепе-теңдікке жету уақыты ұзақырақ (51 → 46 мин). Диатомит қышқылдық белсендіру (HCl): жоғары сорбция жылдамдығы ( $1,143 \cdot 10^{-4} \rightarrow 1,333 \cdot 10^{-4}$  л/г•мин), тепе-теңдікке тез жету (35 → 30 мин). Сілтілік белсендіру (NaOH): сорбция жылдамдығы да артты, бірақ HCl белсендіруге қарағанда аз дәрежеде ( $1,053 \cdot 10^{-4} \rightarrow 1,176 \cdot 10^{-4}$  л/г•мин), тепе-теңдікке жету уақыты 38 → 34 мин.

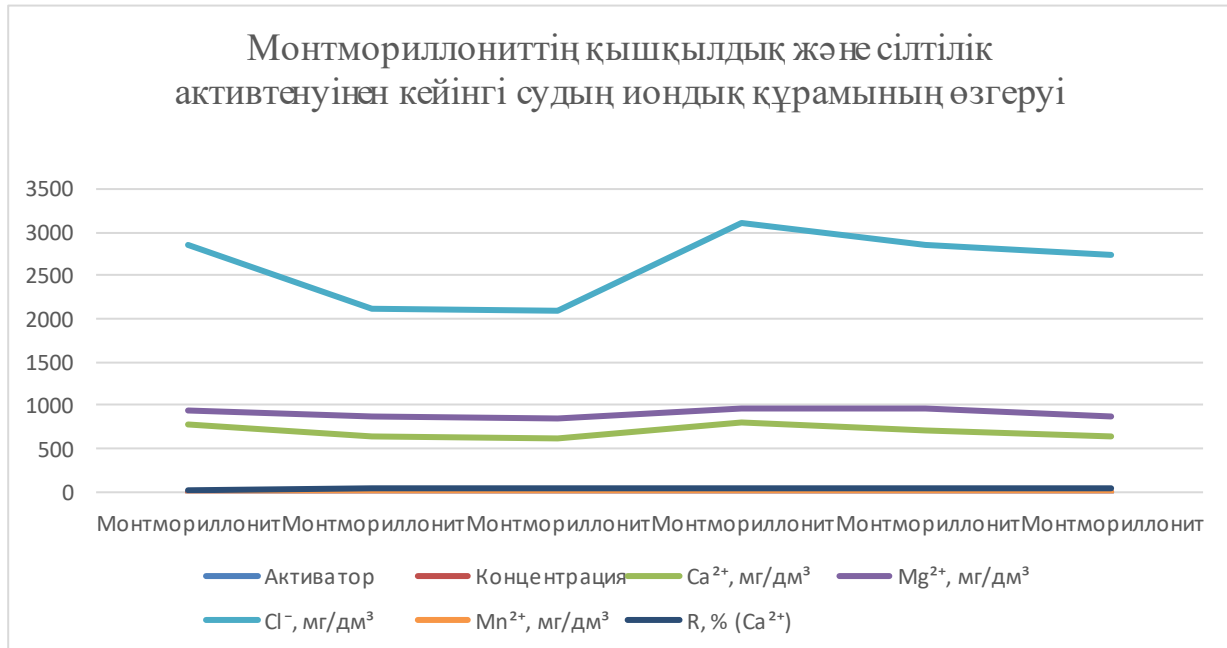
Диатомит барлық белсендіру жағдайында монтмориллонитке қарағанда жоғары сорбция жылдамдығын көрсетеді, әсіресе қышқылдық белсендіру кезінде [18,20].

Монтмориллонит ион алмасу қасиеттері арқылы тиімді, ал диатомит кеуектілігі мен меншікті бетінің ауданы арқылы сорбцияны жылдам жүзеге асырады. Белсендірудің оңтайлы түрі және концентрациясы сорбенттің табиғи құрылымы мен ластаушы заттардың түріне байланысты таңдалы.

Диатомит жоғары кеуектілігі мен дамыған бет ауданы арқасында барлық белсендіру жағдайында монтмориллонитке қарағанда иондарды тиімді сорбциялады. Қышқыл белсендіру әсіресе тиімді, кальций, магний және хлор иондарының концентрациясы айтарлықтай төмендейді. 3 Н HCl диатомит үшін кальций иондары  $1110 \rightarrow 600$  мг/дм<sup>3</sup>, хлорид  $3690 \rightarrow 2070$  мг/дм<sup>3</sup> дейін төмендеді ( кесте -3).

Диаграмма – 3. Сорбенттердің қышқылдық және сілтілік активтенуінен кейінгі судың иондық құрамының өзгеруі салыстырмалы мәліметтері





Монтмориллонит қабаттық құрылымы арқасында әсіресе марганец иондарына жоғары сорбциялық белсенділікті көрсетеді (1 Н НСІ кезінде 73,41%). Қышқыл белсендіру сілтілікке қарағанда катиондарды жақсы сорбциялайды. Сілтілік белсендіру (NaOH): екі минерал үшін де тиімділікті арттырады, бірақ қышқыл белсендіруге қарағанда аз. 3 Н NaOH диатомит үшін кальций 1200 → 610 мг/дм<sup>3</sup>, хлорид 3847,5 → 2520 мг/дм<sup>3</sup> дейін төмендеді.

Қышқыл белсендіру иондарды жоюда тиімдірек, әсіресе катиондар үшін [12, 20]. Диатомит кальций, магний, хлорид иондарының сорбциясында жоғары, ал монтмориллонит марганец иондары үшін тиімді. Активатор концентрациясының артуы (НСІ немесе NaOH) адсорбция тиімділігін тұрақты түрде арттырады.

Диатомит жоғары кеуектілігі және дамыған бет ауданы арқасында органикалық және катиондық иондарды тиімді сорбциялайды. Монтмориллонит қабаттық құрылымы арқылы ион алмасу негізінде марганец және басқа өтпелі металдарды жақсы ұстайды [19]. Белсендіру концентрациясын арттыру адсорбция жылдамдығы мен тазалау тиімділігін тұрақты түрде жоғарылатады [21, 25, 28]. Қышқыл белсендіру катиондарды (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>) тиімді сіңіруді қамтамасыз етсе, сілтілік белсендіру кейде органикалық ластанушыларды және гидрофильді заттарды адсорбциялау үшін тиімді болды [12–17, 24].

#### *Қорытынды*

Осы зерттеуде диатомит пен монтмориллониттің қышқылдық және сілтілік белсендірілгеннен кейінгі құрылымдық және сорбциялық қасиеттері жан-жақты талданды. ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер көрсеткендей, қышқылдық белсендіру негізінен кремний диоксидінің құрамын арттыруға, қоспаларды жоюға және беткі гидрофобтылықты күшейтуге әсер етеді, ал сілтілік белсендіру беттік силанол топтарының санын көбейтіп, материалдардың гидрофильділігін жоғарылатады.

БЭТ әдісі бойынша алынған деректер қышқылмен белсендірілген үлгілердің меншікті бетінің ауданының айтарлықтай ұлғайғанын көрсетті, бұл адсорбциялық орталықтардың қолжетімділігін арттырып, жер асты суларының әртүрлі ластанушы заттарын тиімді сіңіру қабілетін жоғарылатады. Сілтілік өңдеу кейде бетінің азаюына әкелсе де, белгілі бір жағдайларда кеуектіліктің ішінара қалпына келуіне мүмкіндік береді.

Жалпы қорытындылай келе, зерттеу көрсеткендей, қышқылдық белсендіру диатомит пен монтмориллониттің адсорбциялық тиімділігін арттырудың тиімді әдісі болып табылады. ИҚ-спектроскопиялық және БЭТ талдаулары арқылы алынған құрылымдық және морфологиялық өзгерістер адсорбциялық қасиеттердің механизмін түсінуге мүмкіндік береді және материалдарды жер асты суларының ластанушы заттарын тазарту үшін қолданудың оңтайлы жағдайларын анықтауға негіз береді.

Жалпы қорытындылай келе, қышқылдық белсендіру диатомит пен монтмориллониттің адсорбциялық тиімділігін арттырудың тиімді әдісі болып табылады. Алынған нәтижелер жергілікті минералдар негізінде су тазарту технологияларын дамытуға мүмкіндік береді.



*Ризашылық*

Авторлар Аль-Фараби атындағы ҚазНУ-нің физика-химиялық зерттеулер зертханасының әріптестеріне ИҚ-спектроскопиялық және БЭТ-анализдерін жүргізуге көрсеткен баға жетпес көмегі үшін шын жүректен алғыстарын білдіреді. Олардың кәсіби қолдауы мен құнды ұсыныстары тәжірибелерді сапалы орындауға, деректерді өңдеуге және нәтижелерді интерпретациялауға елеулі ықпал етті. Зерттеудің барлық кезеңдерінде берілген жабдықтар, техникалық кеңестер және мұқият бақылау үшін ерекше *ризашылық* білдіреміз.

**ӘДЕБИЕТ**

- [1] UN Water. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater. – Paris: UNESCO, 2022. – 244 p. *БҰҰ Су ресурстары жөніндегі есебі, 2022.*
- [2] OECD. Water Security in Central Asia. – Paris: OECD Publishing, 2021. – 96 p. *Орталық Азиядағы су қауіпсіздігі, 2021.*
- [3] IPCC. Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability. – Cambridge: Cambridge University Press, 2021. – 3056 p. *IPCC климат есебі, 2021.*
- [4] Hydrogeology Review of Kazakhstan. Groundwater resources status and exploitation potential. – Almaty, 2020. – 112 p. *Қазақстан гидрогеология шолуы, 2020.*
- [5] Sokolov D. V., Rakhmatullin R. R. Hydrochemical variability of underground waters in arid zones // Journal of Hydrology and Hydromechanics. – 2021. – Vol. 69, № 4. – P. 405–417. *Құрғақ аймақтардағы жерасты суларының гидрохимиялық өзгерістері.*
- [6] Kazakhstan Strategy Report 2022. Water Security and Infrastructure Development. – Astana, 2022. – 68 p. *Қазақстан су стратегиясы туралы есеп, 2022.*
- [7] Peterson R., Walker L., Allen M. Adsorption technologies for removal of ions from natural waters // Water Research. – 2021. – Vol. 189. – 116–134 pp. *Табиғи сулардан иондарды сорбциялау технологиялары.*
- [8] Han X., Qiao L., Deng S. Modified clay minerals for water purification: recent advances // Applied Clay Science. – 2024. – Vol. 245. – Article 106839. *Тазарту үшін модификацияланған балшық минералдары.*
- [9] Zhang Y., Liu B., Zhao M. Acid-activated diatomite and bentonite for enhanced ion adsorption // Colloids and Surfaces A. – 2023. – Vol. 667. – Article 131331. *Қышқылмен активтендірілген диатомит пен бентонит.*
- [10] Nurpeisova A., Zhunisbekova S., Amangeldi A. Sorption properties of natural clays from Central Kazakhstan // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. – 2023. – Vol. 20. – Article 100760. *Орталық Қазақстан балшықтарының сорбциялық қасиеттері.*
- [11] Akkuray Hydrochemical Survey. Field hydrogeological study of the Akkuray deposit. – Karagandy, 2022. – 54 p. *Аққурай кен орны гидрохимиялық зерттеу, 2022.*
- [12] Li H., Zhang J., Sun D. Structural evolution of clay minerals during acid activation // Microporous and Mesoporous Materials. – 2024. – Vol. 376. – Article 112620. *Қышқылдық активтендіру кезіндегі балшық құрылымының өзгеруі.*
- [13] Chen X., Wang H., Luo Q. Effect of sulfuric acid activation on surface morphology of diatomite // Materials Chemistry and Physics. – 2020. – Vol. 254. – 123507 p. *Күкірт қышқылымен активтендірудің диатомит бетіне әсері.*
- [14] Rahman M., Latif M., Chowdhury S. Alkali activation of natural clays for improved adsorption // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9(5). – Article 105613. *Балшықтарды сілтілік активтендіру.*
- [15] Singh R., Upadhyay S., Gupta S. FTIR and BET analysis of activated clay sorbents // Spectrochimica Acta A. – 2020. – Vol. 240. – Article 118579. *ИК және БЭТ әдістерімен талданған активтендірілген сорбенттер.*
- [16] Alvarez R., Díaz I., García L. Mass loss and structural changes of diatomite during acid activation // Applied Surface Science. – 2021. – Vol. 567. – Article 150787. *Диатомиттің қышқылдық активтенуі кезіндегі масса жоғалуы.*
- [17] Mohamed A., Idris M., Elhassan A. Hydroxylation of mineral surfaces under alkaline treatment // Surface and Interface Analysis. – 2022. – Vol. 54(8). – P. 562–575. *Сілтілік өңдеу кезіндегі минерал бетінің гидроксилденуі.*
- [18] Pereira P., Santos L., Silva M. Kinetic modeling of ion adsorption onto activated silicates // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Vol. 451. – Article 138799. *Белсендірілген силикаттардағы сорбция кинетикасы.*



- [19] Gao T., Lin Y., Chen D. Manganese removal using modified montmorillonite // Journal of Environmental Management. – 2024. – Vol. 352. – Article 119928. *Модификацияланған монтмориллонитпен марганецті жою.*
- [20] HydroScience Journal. Removal of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions using acid-activated diatomite. – 2023. – Vol. 18(2). – P. 77–89. *Қышқылмен активтендірілген диатомит арқылы Ca, Mg жою.*
- [21] Zhou J., He Y., Wang F. Pore structure modification of clay minerals by acid and alkali treatments // Clay Minerals. – 2024. – Vol. 59(1). – P. 15–28. *Қышқыл/сілтілік өңдеуден кейінгі кеуектілік өзгерісі.*
- [22] Kumar A., Malik P., Yadav R. Composite clay sorbents for purification of natural waters // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29. – P. 45100–45115. *Композитті балшық сорбенттері.*
- [23] Li J., Wang S., Zhao Y. Evaluation of diatomite-based composites for heavy metal removal // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Vol. 383. – Article 135335. *Диатомит негізіндегі композиттер арқылы ауыр металдарды тазалау.*
- [24] Khan M., Rahman F., Alam M. Comparative study of acid and alkali activated clays for water treatment // Journal of Water Process Engineering. – 2021. – Vol. 40. – Article 101862. *Су тазалау үшін қышқылдық және сілтілік белсендірілген балшықтардың салыстырмалы зерттеуі.*
- [25] Zhang L., Li F., Chen Q. Surface modification of montmorillonite for enhanced cation adsorption // Applied Surface Science. – 2022. – Vol. 587. – Article 152964. *Монтмориллониттің беткі модификациясы арқылы катиондарды тиімді сорбциялау.*
- [26] Alimzhanov B., Nurpeisova A., Zhunisbekova S. Local clays for ecological water purification in Kazakhstan // Environmental Technology & Innovation. – 2023. – Vol. 30. – Article 102016. *Қазақстандағы экологиялық су тазарту үшін жергілікті балшықтарды қолдану.*
- [27] Wu H., Sun Y., Tang X. Optimization of diatomite-montmorillonite composites for groundwater treatment // Chemosphere. – 2024. – Vol. 328. – Article 138953. *Жерасты суларын тазалау үшін диатомит-монтмориллонит композиттерін оңтайландыру.*
- [28] Ivanova E., Petrova A., Sokolov D. Sorption kinetics of modified clay minerals for removal of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2023. – Vol. 11. – Article 110573. *Модификацияланған балшық минералдарының  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  иондарын сорбциялау кинетикасы.*

**Ниязбекова А.Б., Байтлесова Л.И., Кенесарина К.Х., Амиргалиева А.М.**

### **ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ АКТИВАЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ НА СТРУКТУРУ МИНЕРАЛОВ И ИХ СОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ**

**Аннотация.** Излагаются результаты разработки сорбционного материала на основе местных минеральных ресурсов для эффективной очистки подземных вод в условиях дефицита воды в Казахстане. В ходе исследования диатомит и монтмориллонит были модифицированы кислотной и щелочной активацией, чтобы изучить изменения в их структуре и сорбционных свойствах. Полученный материал был протестирован на его способность удалять магний, кальций, марганец, хлориды и сульфаты, содержащиеся в грунтовых водах Аккурайского месторождения. Методы физико-химического анализа позволили выявить изменения морфологии поверхности, пористости и функциональных групп сорбентов. В результате исследования был предложен оптимальный состав эффективного композитного сорбента, который позволяет улучшить качество воды с использованием местного минерального сырья. Предлагаемый подход с у способствует развитию экологически безопасных и экономически эффективных технологий очистки воды в регионах с дефицитом ресурсов.

**Ключевые слова:** грунтовые воды; загрязнение; диатомит; монтмориллонит; кислотная активация; щелочная активация; местное минеральное сырье; модификация; композитный сорбент; морфология поверхности; пористость; функциональные группы.

**Niyazbekova A.B., Baytlesova L.I., Kenesarina K.K., Amiralieva A.M.**

### **THE EFFECT OF ACTIVATION PROCESSES DURING WATER PURIFICATION ON THE STRUCTURE OF MINERALS AND THEIR SORPTION CAPACITY**

**Annotation.** The article presents the results of the development of a sorption material based on local mineral resources for the effective purification of groundwater in Kazakhstan, where water scarcity is a significant issue. In this study, diatomite and montmorillonite were modified through acid and alkaline activation to



investigate changes in their structure and sorption properties. The resulting material was tested for its ability to remove magnesium, calcium, manganese, chlorides, and sulfates from the groundwater of the Akkuray deposit.

The methods of physical and chemical analysis allowed to reveal changes in the morphology of the surface, porosity and functional groups of sorbents. As a result of the study, the optimal composition of an effective composite sorbent was proposed, which allows to improve the quality of water using local mineral raw materials. The proposed approach with u contributes to the development of environmentally friendly and cost-effective technologies for water purification in regions with a shortage of resources.

**Keywords:** groundwater; contamination; diatomite; montmorillonite; acid activation; alkaline activation; local mineral raw materials; modification; composite sorbent; surface morphology; porosity; functional groups.