ӘОЖ 556.166.32/504.054
ҒТАХР 38.35.29
DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.103(3).33

[1]Ашитова Н.Ж.*, [1]Шингисбаева Ж.А.[*], [2]Мирдзвели Н., [1]Джакипбекова Н.О., [1]Сеитманбетова А.

[1] М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
[2]И. Жавахишвили атындағы Тбилиси мемлекеттік университеті, Тбилиси, Грузия
[*]Корреспондент-авторлар: Zh.Shingisbayeva@auezov.edu.kz; ashitova.n@mail.ru

E-mail: ashitova.n@mail.ru; Zh.Shingisbayeva@auezov.edu.kz; nato.mirdzveli@tsu.ge; dzhakipbekova@mail.ru; seitmanbetova.aiman@mail.ru

СУДЫ ТАЗАРТУҒА АРНАЛҒАН ЖАҢА СҮЗГІ МАТЕРИАЛДАРДЫ АЛУ МАҚСАТЫНДА ШАНҚАНАЙ КЕН ОРНЫ ЦЕОЛИТТЕРІНІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада суды тазарту үшін жоғары тиімді сүзгі материалдарын жасау мақсатында Шанқанай кен орнының цеолиттерін термиялық өңдеудің олардың құрылымы мен қасиеттеріне әсері қарастырылады. Термиялық тұрақтылықты бағалау жоғары тиімді адсорбенттерді құрудың негізгі кезеңі болып табылады, өйткені жоғары температура цеолиттердің физика-химиялық қасиеттеріне, олардың кеуекті құрылымына және су ортасынан ластаушы заттарды адсорбциялау қабілетіне әсер етеді. Табиғи цеолиттер өзінің ерекше кеуекті құрылымы мен жоғары кеңейтілген бетінің арқасында әртүрлі салаларда, соның ішінде суды тазарту процестерінде кеңінен қолданылады. Олар су ортасынан органикалық және бейорганикалық қоспаларды, сондай-ақ микроорганизмдерді тиімді түрде жояды. Мақалада Шанқанай кен орнының цеолиттері құрылымының ерекшеліктері қарастырылған. Олардың элементтік құрамы анықталып, физика-химиялық қасиеттері зерттелді. Модификациялау үшін оңтайлы көрсеткіштерді алу үшін термиялық өңдеу кезінде олардың қасиеттері мен параметрлерінің өзгеруін зерттеу бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Шанқанай кен орнының табиғи цеолиттері термиялық өңдеуден өтті, құрылымының, кеуектіліктің және химиялық құрамның өзгеруі растрлық электронды микроскопия (РЭМ) және инфрақызыл спектроскопия (ИҚ спектроскопиясы) әдістерімен зерттелді. Кешенді талдау көрсеткендей, Шанқанай кен орнының цеолиттері 200 °С дейін жоғары термиялық тұрақтылыққа ие, ал олардың құрылымдық реттілігі мен морфологиялық ерекшеліктері сақталады. 600 °С дейін қыздырғанда, олардың адсорбциялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін қаңқа элементтерінің ішінара бұзылуының дегидратациясына байланысты айтарлықтай құрылымдық өзгерістер болады. Бұл өзгерістерді сорбциялық процестерде қолданған кезде ескеру қажет.

Кілт сөздер: цеолиттер; Шанқанай кен орны; модификация; суды тазарту.

Кіріспе

Халықты сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету және ағынды суларды тиімді тазарту экологиялық қауіпсіздіктің негізгі міндеттері болып табылады. Бүкіл әлемде

ауыз су тапшылығы өсуде, бұл таяу болашақта елеулі экономикалық, әлеуметтік қауіпке айналатынын айта кету керек. Қазақстанда жер үсті және жер асты су көздерінің сапасы жеткілікті жоғары деңгейде емес, негізгі ластаушы заттар мұнай өнімдері, ауыр металдар, органикалық қосылыстар, тыңайтқыштар (нитрат және аммоний) және микроорганизмдер болып табылады. Антропогендік әсердің өсуі және су ресурстарының ластануы суды тазартудың жаңа, тиімдірек және экономикалық негізделген әдістерін қолдануды талап етеді.

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДСҰ) сарапшыларының бағалауы бойынша әлемдік ауқымдағы барлық аурулардың 80%-ы тұтынылатын ауыз су сапасының төмендігімен және суды тұтынудың санитарлық-гигиеналық нормаларының бұзылуымен байланысты. Бүкіл әлемде қабылданған шараларға қарамастан, су арқылы таралатын жұқпалы аурулардың таралуы өте жоғары [1]. Микробиологиялық көрсеткіштерден су ортасын тазартудың көптеген әдістері мен әртүрлі материалдары әзірленуде. Адсорбция суды тазартудың тиімді және қарапайым әдісі болып табылады және су ортасынан ластаушы заттар мен микроорганизмдерді жою үшін кеңінен қолданылады [2]. Сорбенттермен адсорбциялау процестерінің тиімділігі көптеген физика-химиялық көрсеткіштерге тәуелді болып келеді (сорбенттің мөлшері, пішіні, беткі қасиеттері, сорбентпен байланыс ұзақтығы, тазартылатын судың температурасы, pH ортасы) [3].

Дегенмен, табиғи компоненттермен толтырылған сүзгілерді пайдалану суды тазартудың қажетті тиімділігіне қол жеткізуге әрқашан мүмкіндік бермейді. Қалыптасқан жағдайды тиімді шешу үшін суларды тазалау технологияларында тиімді жолдардың бірі болып Қазақстанның табиғи шикізаты негізінде жаңа сорбенттерді әзірлеу және қолдану болып табылады [4] және металл нанобөлшектерін пайдалану арқылы сорбенттерге антибактериялық қасиеттер беру [1;5]. Биоактивті металдармен байытылған және бактерицидтік қасиеттері бар цеолитті адсорбенттер сулы ортадағы ластаушы заттардың концентрациясын төмендету мақсатында экология мен медицинада қолдану үшін перспективалы материалдар болып табылады [6].

Перспективалы бағыттардың бірі дамыған кеуекті құрылымы және жоғары сорбциялық белсенділігі бар табиғи цеолиттер-алюминий силикаттарын пайдалану. Бұл минералдардағы кремний оксидінің жоғары мөлшері олардың химиялық белсенділігін арттырады бірегей кеуекті қасиеттерінің арқасында олар әртүрлі салаларда қолданылады [7-9]. Молекулалық електер және ион алмастырғыштар ретінде белгілі цеолиттерді активтендірілген көмірмен салыстырғанда арзан сорбенттер ретінде пайдалануға болады [10]. Тиімді бағыттардың бірі табиғи жыныстардың құрылымы мен қасиеттерінің өзгеруіне әкелетін терең модификация өнімдерін пайдалануды зерттеу болып табылады [11]. Модификация әдістерінің арқасында цеолиттердің суды түрлі ластанулардан тазарту қабілетін айтарлықтай арттыруға болады [12-14].

Көптеген зерттеулер цеолиттердің судағы ластаушы заттардың (ауыр металдар, аниондар, органикалық қосылыстар) концентрациясын төмендетудегі тиімділігін көрсетті. Қазіргі уақытта модификацияланған табиғи цеолиттер суды биологиялық тазарту үшін, әсіресе биологиялық агенттерді байланыстыру үшін кеңінен қолданылады [6;15] Құрамында цеолит бар жыныстар күрделі құрамның табиғи минералогиялық түзілімдері, олардың негізгілері цеолиттер болып табылады. Табиғи цеолиттердің химиялық құрамындағы айырмашылықтар олардың термиялық, ион алмасу және адсорбциялық қасиеттерін анықтайды [16]. Генезисі мен кен орнына

байланысты олардың минералды құрамына клиноптилолит, морденит, филлипсит, шабазит және басқа цеолит материалдары кіруі мүмкін. Құрамында цеолит бар жыныстардың минералды құрамы олардың физикалық-химиялық қасиеттерін, оның ішінде кеуектілігін, үлестік бетін, ион алмасу және адсорбция қабілетін анықтайды, бұл оларды суды тазарту процестерінде тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Қазақстанда орналасқан Шанқанай кен орны құрылымының тұрақтылығымен және қолайлы физика-химиялық сипаттамаларымен ерекшеленетін табиғи цеолиттердің едәуір қорына ие. Олардың модификациясы антимикробты, сорбциялық және каталитикалық қасиеттерін күшейту арқылы қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді [17;18]. Шанқанай кен орнының цеолиттері клиноптилолиттің едәуір мөлшерімен сипатталады, бұл оларды суды тазартуда перспективалы сорбенттерге айналдырады.

Карманы кен орнынан табиғи клиноптилолиттің гидротермиялық және қышқылдық-термиялық модификациясы негізінде алынған цеолиттің физика-химиялық қасиеттерін және құрылымдық-химиялық түрленуін зерттеу [19] жұмысында қарастырылған.

Цеолит пен вермикулитке негізделген жаңа модификацияланған сорбенттер алынды және зерттелді [20], олар ағынды суларды ауыр металдардан, бояғыштардан және ақуыздардан тазарту үшін қолданылады. Табиғи цеолиттердің ластанған ортадан экотоксиканттарды жою қабілетін арттыру үшін оларды өзгерту әдістері [21] диссертацияда қарастырылған, жаңа гуминдік препараттар мен модификацияланған цеолиттер экотоксиканттарды сіңіру және залалсыздандыру қабілетін арттыру үшін зерттелді. Холин кен орнының цеолиттерімен өндірістік ағынды сулардан органикалық ластаушы заттарды сорбциялық алу заңдылықтары [22] зерттелді, онда табиғи цеолиттерді арнайы термиялық және химиялық өңдеудің сорбция процесіне әсері зерттелді.

Табиғи цеолиттерді термиялық өңдеу нәтижесінде құрылым мен қасиеттердің өзгеруіне әкелетін процестер [16; 23] жұмысында қарастырылды. Үлгілердің термиялық тұрақтылығы анықталды, дегидратация, аморфизация параметрлері және термиялық өңдеудің микро және мезопоралық цеолит жүйелеріне әсері анықталды.

Жетісу облысының Шанқанай кен орнының жоғары температуралы және инертті ортадағы табиғи цеолитінің үлестік беті мен кеуектілігін арттыру процесі [17; 25] жұмыстарында зерттелді. СЭМ-талдау әдісімен термиялық активтендіру цеолит кеуектілігінің жоғарылауына әкелетіні анықталды, ал ауыр металл иондарының адсорбциясынан кейін цеолит бетінде айтарлықтай морфологиялық өзгерістер байқалады.

Ғылыми жарияланымдарды талдау нәтижесінде көптеген авторлар цеолиттердің сорбциялық қабілетінің жоғарылауы термиялық, қышқылдық немесе иондық модификациядан кейін жақсаратынын атап өтті. Әдістеменің негізгі принципі авторларда біртұтас болып қалса да, температураны, өңдеу уақытын, сондай-ақ қолданылатын қышқылдардың түрі мен концентрациясын қоса алғанда, эксперименттік жағдайлар өзгереді. Көптеген авторлар сипаттаған әдістердің ерекшеліктерін ескере отырып, Шанқанай кен орнының табиғи цеолиттерін термиялық өңдеу бойынша эксперимент жасалды. Термиялық өңделген цеолиттерді әрі қарай модификациялау және судағы микроорганизмдерден тазартуға қолдану бойынша жұмыстар жүргізілуде.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттеу жүргізу үшін келесі материалдар пайдаланылды: Шанқанай кен орнының табиғи цеолиттері (Алматы облысы), тұз қышқылы, дистилденген су, күміс нитраты, ыдыстар: 250 мл колбалар, сүзгі қағаздары, шыны таяқшалар, тиггельдер, электронды таразылар, муфельді пеш, су моншасы.

Шанқанай кен орнының цеолиттері стандартты ұсатқыштың көмегімен 0,5; 1,0; 1,5 мм фракциясына дейін ұсақталды, арнайы електерден өткізіп 1,0 -1,5 мм фракцияларға бөлінді; цеолиттерді қоспалардан тазарту үшін келесі әдіс бойынша дистилденген сумен жуылды: 500 г цеолиттер шыны колбаға салынып, дистилденген су құйылды, 3 сағатқа қалдырылып шыны таяқшамен араластырып бір неше рет жуылды, тазартылған цеолит қағаз сүзгісі арқылы өткізілді. Жуу ұзақтығы 2 күн.

Жуылған цеолит бөлме температурасында, кейін термостатта 85-90 ^{0}C температурада кептірілді. Термиялық өңдеу 100-700 ^{0}C температурада, муфель пешінде жүргізілді (Naberthem, carl Stuart Group). 0,5-1,5 мм диапазонындағы фракциялардың үлгілері 10 г в ыстыққа төзімді тигельдер салынып, 1 сағатқа муфель пешінде күйдірілді. Күйдірілгеннен кейін, сынамалы тигельдер $CaCl_2$ бар эксикаторларға толық салқындағанша орналастырылды (Tsitsishvili et al., 2023; Tunakova, 2024)

Температураның цеолиттердің құрылымы мен құрамына әсерін анықтау үшін 5 г сынамалар ұнтақталып, ИҚ спектроскопия мен РЭМ-ге жіберілді. Талдауға арналған үлгілер табиғи цеолиттерді жууға дейін, жуудан кейін, сондай-ақ 100^{0}C-700^{0}C температурада термиялық өңделген цеолиттерді құрады, максималды күйдіру температурасы 700^{0}C.

Топтың мәліметтері бойынша орташа арифметикалық мән (М) және стандартты ауытқу есептелді.

Зерттеу мен талдау

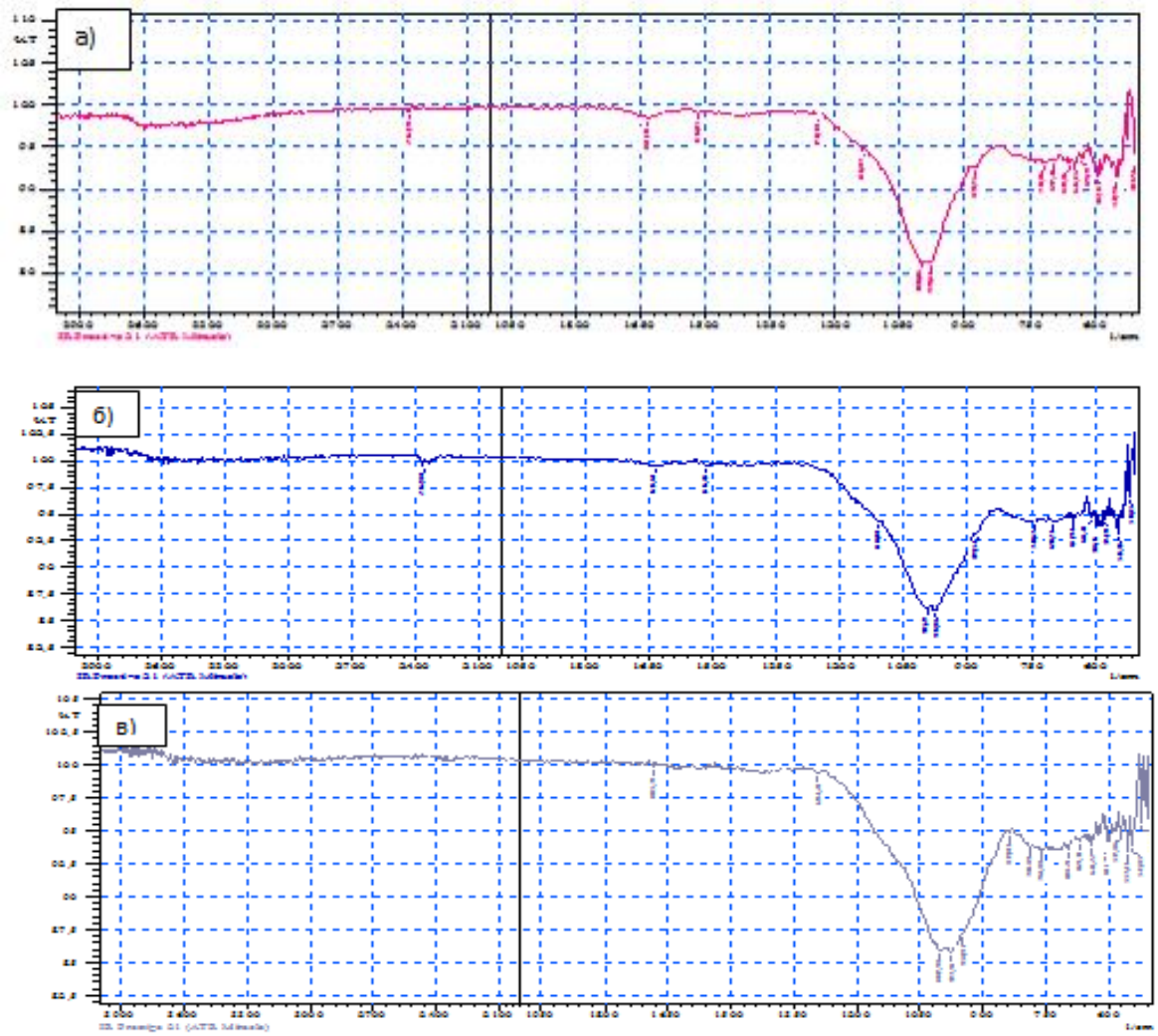
Табиғи цеолиттер дамыған үлестік беті, жоғары ион алмасу сыйымдылығын, кеуектілігі мен селективті қабілетін, химиялық және термиялық әсерге төзімділігін қамтамасыз ететін бірегей каркасты құрылымы бар кристалды алюминий силикаттары. Шанқанай кен орнының цеолиттері ауыспалы құрамды күрделі поликомпонентті жүйе болып табылады. Өңделмеген табиғи, 200^{0}C және 600^{0}C өңделген цеолиттердің элеметті құрамы кестеде көрсетілген, РЭМ нәтижелері.

Кесте- Шанқанай кен орнының цеолиттерінің элементтік құрамы

№	Элементтер	Өңделмеген табиғи цеолит, салмақтық %	Цеолит 200^{0}C температурасында, салмақтық %	Цеолит 600^{0}C температурасында, салмақтық %
1	O	52,71±0,07	51,94±0,06	49,95±0,05
2	Na	1,47±0,03	1,74±0,03	1,66±0,04
3	Mg	2,04±0,11	1,90±0,09	1,90±0,10
4	Al	7,54±0,15	7,68±0,11	8,08±0,09
5	Si	23,63±0,21	24,22±0,18	25,13±0,15
6	K	1,84±0,11	1,96±0,13	1,74±0,12
7	Ca	3,75±0,3	3,76±0,29	4,34±0,47
8	Fe	6,31±0,12	6,41±0,21	6,43±0,11
9	Ti	0,61±0,13	0,39±0,05	0,46±0,04

Талданатын сынамада оксид күйіндегі элементтер анықталды. К (1,94-1,74%), Na (1,47—166)% болуы калий-натрий шпаттарының шамалы болуын көрсетеді. Сорбцияланған және құрылымдық ылғалдың жойылуы 120-350 °С диапазонында байқалады, бұл қол жетімді кеуек көлемінің ұлғаюына әкеледі. Арналардың кеуектілігі мен қолжетімділігін арттырады — әдетте термиялық белсендіру адсорбциялық өнімділікті жақсартады (әсіресе иондар мен шағын молекулалар үшін). 450-600 °С кезінде жоғары температурада ішінара деалюминация немесе кристалдық құрылымның өзгеруі мүмкін — бұл ион алмасу қабілетін төмендетіп, қышқыл орталықтарын өзгерте алады.

ИК–спектроскопия ИК-Фурье спектрометрінде (ShimadzuIRPrestige-21 PikeTechnologies) жүргізілді. Шанқанай кен орнының өңделмеген және 200 ^{0}С, 600 ^{0}С температураларда өңделген цеолит үлгілерінің нәтижелері (1 суретте) көрсетілген.

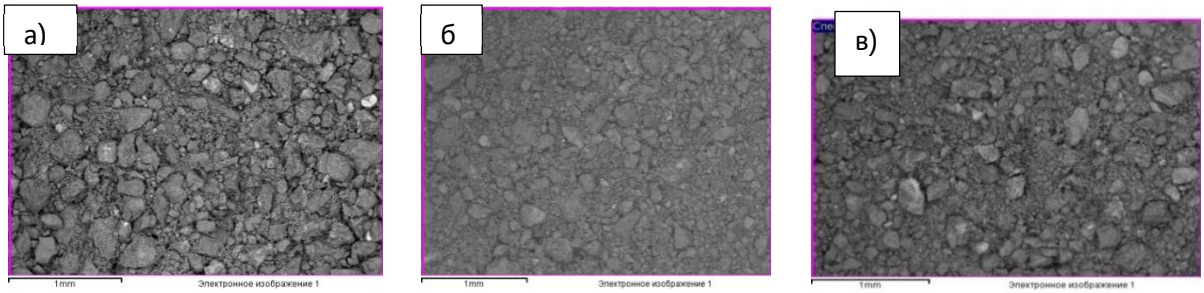


1 - Сурет - Шанқанай кен орнының цеолит үлгілерінің ИК спектрлері:
а) өңделмеген ; б) 200 ^{0}С температурасында өңделген; в) 600 ^{0}С температурасында өңделген

Шанқанай кен орнының цеолит сынамасының спектрограммасы, термиялық өңделген 600 ^{0}C кезінде алдыңғысынан айтарлықтай айырмашылықтар жоқ. 761,88; 788,89; 839,03; 1294,24 см$^{-1}$ сіңіру спектрлерінің қарқындылығының шамалы өзгерістері минералдардың кристалдық торын бұзбай кристалдық құрылымдық ылғалдың жойылуын сипаттайды.

Шанқанай кен орнындағы цеолиттердің өңделмеген үлгісінің ИК спектрінде 979,84-1001,06 см$^{-1}$ диапазонындағы қарқынды сіңіру спектрлерімен сипатталады, SI-O-Al, SI-O-Al –Ca байланыстарына сәйкес келеді. 507,28-592,15 см$^{-1}$ диапазонындағы орташа қарқынды тербелістер Si-O-Al-ға тән, Si-O үшін 628,79-692,44 см-^{1} диапазонындағы төмен қарқынды сіңіру спектрлері. Әлсіз шыңдар 2364,73 және 1631,78 см$^{-1}$ деформациялық тербелістер H-O-H, жақтауаралық судың болуын растайды, цеолит гидратталған. Барлық SI-O-Al байланыстары сақталады, беті сорбцияланған сумен жабылған.

2-суретте сканерлеуші электронды микроскоптың (СЭМ) көмегімен алынған цеолиттердің беткі түрі.

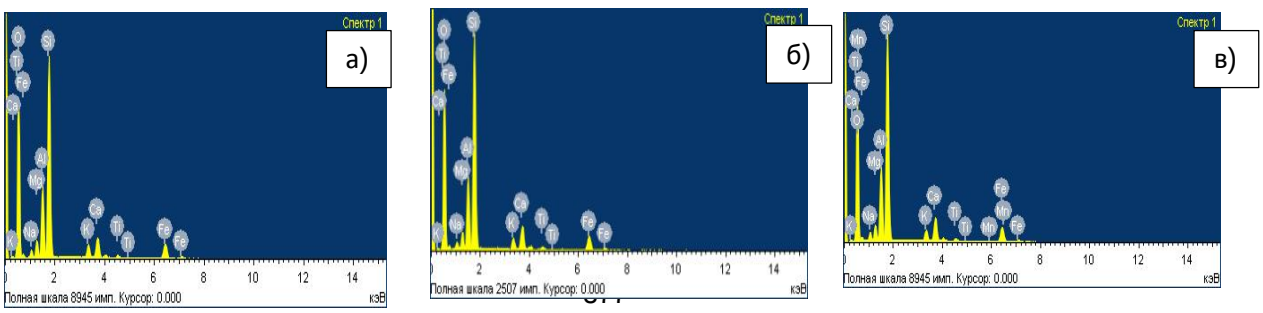


2 – Сурет - Шанқанай кен орнының цеолит үлгілерінің микроструктура нәтижелері: а) өңделмеген; б) 200 ^{0}C температурасында өңделген; в) 600 ^{0}C температурасында өңделген

СЭМ талдауының нәтижелері бойынша цеолиттердің бетінде 200 және 600 ^{0}C температурада термиялық өңдеуден кейін табиғи цеолиттің айтарлықтай өзгерістері байқалды.

Зерттелетін цеолит үлгілерінің энергия дисперсиялық спектрлері 3-суретте, ал элементтік құрамы 1-кестеде көрсетілген.

200^{0}C цеолит сынамасында термиялық өңделген ИК спектрограммасы 2364,73 см$^{-1}$ аймағында толқындардың тербелістерінің болмауымен ерекшеленеді. Бұл алюминий силикаттарының құрылымындағы беткі ылғалдың жойылуын көрсетеді. 977,91-995,27 см$^{-1}$ интенсивті сіңіру спектрлерінің сақталуы SI-O-Al құрылымдық байланыстарының сақталуын көрсетеді. 551,04-754,17 см$^{-1}$ аймағындағы сіңіру спектрлерінің сипаты біріншісінен айтарлықтай айырмашылықтарға ие емес және Si-O-Al, Si-O-Ca, Si-O-Fe валенттік байланыстарына сәйкес келеді.



3 – Сурет - Шанқанай кен орнының цеолиттерінің энергия дисперсиялық спектрлері: а) өңделмеген; б) 200 ^{0}С температурасында өңделген; в) 600 ^{0}С температурасында өңделген

600 ^{0}С температурада термиялық өңделген Шанқанай кен орнының цеолит сынамасының спектрограммасында алдыңғысынан айтарлықтай айырмашылықтар жоқ. 761,88; 788,89; 839,03; 1294,24 см-1 сіңіру спектрлерінің қарқындылығының шамалы өзгерістері минералдардың кристалдық торын бұзбай кристалдық құрылымдық ылғалдың жойылуын сипаттайды [24].

СЭМ-талдау әдісімен алынған нәтижелерді талдау термиялық активтендіру цеолит кеуектілігінің жоғарылауына әкелетінін анықтады. Қыздыруға дейінгі алғашқы үлгінің бастапқы морфологиясы кристалдардың пластиналық құрылымдарын, агрегаттардың мөлшерін 2-20 мкм-ден сипаттайды, беті салыстырмалы түрде тегіс, тері тесігі ішінара сорбцияланған ылғалмен, қайталама минералдармен немесе ұсақ дисперсті қоспалармен жабылған. 200 °С жұмсақ термиялық өңдеудегі микроқұрылымның өзгеруі адсорбцияланған ылғалды кетірудің нәтижесі болып табылатын бетінің кедір-бұдырымен сипатталады. Микроқұрылым дегидратациямен байланысты айқын микро депрессиялармен сипатталады. Кристалдардың құрылымы бұзылмайды; пластиналардың контурлары сақталады. Сорбцияланған ылғалдың жойылуы және арналардың қол жетімділігі артады. Клиноптилолит минералдарының құрылымы қысқа тұрақты емес призмалар мен түссіз кестелік кристалдар түрінде тұрақты болып қалады. 600^{0}С температурада термиялық өңдеу пластиналық құрылымдардың айқын жарылуымен сипатталады. Кристалдардың шеттері тісті болады. Кристалдық пластиналардың бір бөлігі 0,5–2 мкм ұсақ фрагменттерге ыдырайды. Беті түйіршікті болады-бұл аморфизацияның белгісі. Доломит, кальцит минералдарының қоспалары декарбонизацияланып, кеуекті бос орындар қалдырады.

Чанканай кен орнындағы цеолиттердің термиялық активтенуінің олардың морфологиясы мен құрылымына әсері туралы алынған нәтижелер цеолиттердің басқа түрлері үшін жүргізілген ұқсас зерттеулермен салыстырылуы мүмкін. Басқа кен орындарының (Грузия, Ресей, Түркия) цеолиттері үшін жүргізілген зерттеулер температураның жоғарылауы олардың кеуектілігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Жұмсақ термиялық өңдеу кезінде, Чанканай кен орнының цеолиттері сияқты, адсорбцияланған ылғал жойылады, бұл кеуектер мен арналардың қол жетімділігінің жақсаруына әкеледі. 600 ^{0}С және одан жоғары температурада материалдың аморфизациясы жүреді, бұл оның сорбциялық қасиеттерін төмендетеді. Алынған эксперименттік деректер суды микроорганизмдерден тазартуға арналған цеолиттерді модификациялау саласындағы қосымша зерттеулер үшін пайдаланылатын болады.

Қорытынды

Чанканай кен орнының табиғи цеолиттері термиялық өңдеуден өтті және олардың құрамы мен құрылымының өзгеруі бойынша зерттеулер жүргізілді. РЭМ талдауы көрсеткендей, 200°С температурада цеолиттің құрылымы тұрақты болып қалатынын көрсетеді, өзгерістер тек ылалдың жойылуымен және ұсақ кеуіктердің ашылуымен шектеледі. Ал 600°С температурасында айқын жарықтар, гранулалардың бұзылуы және кеуіктердің кеңеюі байқалады. ИҚ спектрлері бұл өзгерістерді растайды 200°С кезінде ылал жолақтары азайып, негізгі тербелістердің жиіктерде ауысулар болмайды, 600 °С кезінде дегидроксилдену жүреді, бұл Si-O-Al жолақтарының

қарқындылығы мен орналасуының өзгеруінен көрінеді. Екі әдіс те бір-біріне сәйкес келеді және температураның 600 °C дейін көтерілуі цеолиттің айтарлықтай морфологиялық және құрылымдық өзгерістеріне себеп болатынын көрсетеді.

Кешенді талдау көрсеткендей, Шанқанай кен орнындағы цеолиттердің 200 °C дейін жоғары термиялық тұрақтылыққа ие екенін көрсетеді, олар құрылымдық реттілігі мен морфологиялық ерекшеліктерін сақтайды. 600 °C дейін қыздыру құрылымдық өзгерістерді, дегидратация, деалюминация және каркас элементтерінің жартылай бұзылуын қоздырады, бұл сорбциялық және каталитикалық процестерде қолданған кезінде ескеру қажет.

Бүгінгі таңда цеолиттерді химиялық өңдеу және ион алмасу модификациясы (Ag^{+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}).) бойынша жұмыстар жүргізілуде, олардың антимикробтық қасиеттерін алу және судағы микроорганизмдерді тазарту бойынша жұмыстар жүргізілуде.

ӘДЕБИЕТ

[1] Плотников Е. Сравнительное исследование свойств модифицированных минералов глауконита и цеолита при очистке воды от микробиологических загрязнителей. / Плотников Е., Мартемьянов Д., Мартемянова И., Солодкова Т., Воронова О., Кутугин В., Дорожко Е., Короткова Е., Артамонов А.// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.- 2017.-№1(1)- С. 106-108. https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11105

[2] Капуто Д., Пепе Ф. Обзор экспериментов и обработки данных по ионообменному равновесию с использованием природных цеолитов Италии. Микропористые и мезопористые материалы-2007. 105, 222-231. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.04.024

[3] Мешалкин В. Анализ эффективности технологических процессов очистки промышленных сточных вод с использованием минеральных и волокнистых сорбентов / Мешалкин В., Меньшова И. // Промышленные процессы и технологии. 2023.-№ 4-С.173-179. (3(13)):4-33 https://doi.org/10.37816/2713-0789-2024-4-3(13)-4-33

[4] ОразымбетоваА.О. Шанқанай кен орнындағы цеолиттердің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу / Оразымбетова А.О., Сагитова Г.Ф., Сидиков А.С., Сакибаева С.А., Суйгенбаева А.Ж. // ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы. 2024. – Т. 2, № 459. – Б. 138-150.

[5] Цицишвили В.Г., Долаберидзе Н.М., Мирдзвели Н.А., Амиридзе З.С. Бактерицидные адсорбенты, полученные путем ионообменной модификации природного филлипсита. Химия, физика и технология поверхности. 2019.-№10.4.,С. 327-339. https://doi.org/10.15407/hftp10.04.327

[6] Мырзалиева С.К., Пратама Г.Н., Хамидулла А.Г. Очистка сточных вод с использованием природных цеолитных материалов. Комплексное использование минерального сырья. 2021. - № 2(317), 64-68.

[7] Тунакова Ю.А. Использование природного цеолита для очистки воды./ Тунакова Ю.А., Валиев В.С., Габдрахманова Г.Н. //Ползуновский вестник. 2024.-№17.С. 179-185. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.021

[8] Каратаев О.Р. Очистка сточных вод цеолитсодержащими породами. / Каратаев О.Р., Новиков В.Ф., Шамсутдинова З.Р// Водоснабжение и водоотведение. 1998.-№11.-19-25

[9] Санчес-Эрнандес Р., Падилья И., Лопес-Андрес С., Лопес-Дельгадо А. Al-цеолитный адсорбент на основе отходов, используемый для удаления аммония из водных растворов. Международный журнал химической инженерии. 2018. *Article* ID 1256197, 1-11.

[10] Ривера-Утрилья, Дж., Санчес-Поло, М., Гомес-Серрано, В., Альварес, П. М. Модификации активированного угля для улучшения его применения при очистке воды. Журнал об опасных материалах. 2011.- №187(1-3), 1-23. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.033

[11] Кульдеев, Э, Сейтжанова, М, Танирбергенова, С, Тажу, К, Досжанов, Э, Мансуров, З, Азат, С, Нурлыбаев, Р, Берндтссон, Р Модификация природных цеолитов для улучшения адсорбции тяжелых металлов. Вода. 2023.-№15(12):2215. https://doi.org/10.3390/w15122215

[12] Веларде Л., Набави М.С., Эскалера Э., Марта-Лена Антти М.-Л., Ахтар Ф. Адсорбция тяжелых металлов на природных цеолитах; обзор. Химосфера. 2023.- С.328, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508

[13] Ван С., Пэн Ю. Природные цеолиты как эффективные адсорбенты при очистке воды и сточных вод. Международный журнал химической инженерии. 2010.- № *156*, С.11–24.

[14] Камбарова Е.А. Адсорбция тяжелых металлов на модифицированной эпоксидной смолой поверхности шунгита и цеолита: дис...(PhD) Таразский областной университет имени М.Х.Дулати, Тараз, 2024

[15] Стеффин Дж.Э., Дилсон Б.С., Маникандан П.М. Обзор применения активированного угля и цеолитов в водоподготовке. Имперский журнал междисциплинарных исследований.2016.-№ **2**(11). С. 6 https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.033

[16] Сейтжанова М.А. Влияние термической обработки на сорбционные характеристики цеолита, используемого в водоочистке./ Сейтжанова М.А., Досжанов Е.О. // Горение и плазмохимия. 2023.-№21. С.173-179. https://doi.org/10.18321/cpc21(3)173-179

[17] Кульдеев Е., Орынбеков Е.С., Мансуров З.А., Нурлыбаев Р.Е., Жумадилова Ж.О., Мурзагулова А.А. Применимость цеолита Доубабинского и Чанканайского месторождений в качестве сорбента для природных вод. Вода.2023.-№*15*(12), С.231; https://doi.org/10.3390/w15122231

[18] Саримсакова Н.С. Изучение физико-химических характеристик клиноптилотита в процессе его модификации. / Саримсакова Н.С., Файзуллаев Н.И., Бакьева Г.А.// Универсум: технические науки . 2022.-№94.С.21-26 https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12940

[19] Машкова С.А. Очистка сточных вод природными сорбентами и их химически модифицированными аналогами: дис...канд.техн.наук: 03.00.16/ Машкова Светлана Алексеевна. - Владивосток , 2007 – 116с

[20] Коновалов А.С. Использование активированных цеолитов для обеззараживания экотоксикантов: дис...канд.биол.наук: 03.02.08/ Коновалов Александр Сергеевич. - Иркутск , 2016 – 118с

[21] Обуздина М.В. Сорбционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов модифицированными природными цеолитами./ Обуздина М.В., Раш Е.А. //Научно-методический и информационный журнал «Безопасность в техносфере» .2017.-№6

https://doi.org/10.12737/issn.1998-071X

[22] Цицишвили В., Панайотова М., Мирдзвели Н., Джакипбекова Н.О., Панайотов В., Долабериде Н., Нижарадзе М. (2023). Кислотостойкость и ионообменная способность природных смесей гейландита и хабазита. Минералы,13.364. https://doi.org/10.3390/min13030364

[23] Танибергенова С., Тугельбайва Д., Жылыбая Н., Айтуган А., Тажу К., Млдаджанова Г., Мансуров З. Влияние кислотной обработки на структуру природного цеолита месторождения Шанханай. Процессы. 2025. №13(9) С. 28-36 DOI:10.3390/pr13092896

[24] Дампилова Б.В. ИК-спектроскопическое исследование природных цеолитов и их лантансодержащих форм/Дампилова Б.В. // Сорбционные и хроматографические процессы . 2019.-№19.С.52-58 https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/648

REFERENCES

[1] Plotnikov, Ye., Martem'yanov, D., Martem'yanova, I., Solodkova, T., Voronova, O., Kutugin, V., Dorozhko, Ye., Korotkova, Ye., & Artamonov, A. (2017). Sravnitel'noye izucheniye svoystv modifitsirovannykh mineralov glaukonita i tseolita pri ochistke vody ot mikrobiologicheskikh zagryazneniy [Comparative study of the properties of modified glauconite and zeolite minerals in water purification from microbiological contaminants]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovani - International Journal of Applied and Basic Research,* 1(1), 106-108. [in Russia]. https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11105

[2] Caputo, D. & Pepe, F.(2007). Experiments and data processing of ion exchange equilibria involving Italian natural zeolites a review. *Microporous and Mesoporus materials,* 105, 222-231. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.04.024

[3] Meshalkin, V. & Men'shova, I. (2023). Analiz effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov ochistki promyshlennykh stochnykh vod s primeneniyem mineral'nykh i voloknistykh sorbentov [Analysis of the efficiency of technological processes for industrial wastewater treatment using mineral and fibrous sorbents] *Industrial processes and technologie* , 173-179. 4(3(13)):4-33 [in Russia]. https://doi.org/10.37816/2713-0789-2024-4-3(13)-4-33

[4] Orazymbetova, A.O., Sagitova, G.F., Sidikov, A.S., Sakibayeva, S.A., & Suigenbayeva, A.Zh. (2024). Shanқanai ken ornyndaғy tseolitterdің fizika-khimiyalyқ қasietterin zertteu [Physical and chemical modification of the natural mineral of the chankanai deposit]. *Bulletin of Shakarim University. Technical Science - Vestnik universiteta Shakarima. Tekhnicheskiye nauki).* 2(18), 138-150.[in Kazakh]. https://doi.org/10.32014/2024. 2518-1491.228

[5] Tsitsishvili, V.G., Dolaberidze, N.M. (2019) Bactericidal adsorbents obtained by ion exchange modification of natural phillipsite. *Chemistry, Physics and Technology of Surface* 10.4., 327-339. https://doi.org/10.15407/hftp10.04.327

[6] Myrzalieva, S.K., Pratama, G.N. & Khamidulla, A.G. (2021). Wastewater treatment using natural zeolite materials. *Complex Use of Mineral Resources. №* 2(317), 64-68. https://doi.org/10.31643/2021/6445.19

[7] Tunakova, U.A., Valiev,V.S & Gabdrahmanova, G.N. (2024). Ispolzovanie prirodnogo ceolita dla ochistky vod [Using natural zeolite for water purification].

Polzunovskiy vestnik- Polzunovsky bulletin, 17, 179-185. [in Russian].https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.021

[8] Karataev, O.R, Novikov, V.F. & Shamsytdinova, Z.R (1998). Ochistka stochnih vod ceolitosoderzhashimi porodamy [Wastewater treatment with zeolite-containing rocks] *Vodosnabzhenie I sanitarnaia tehnica -Water use and sanitation* , 11, 19-25. [in Russian].

[9] Sanchez-Hernandez, R., Padilla, I., Lopez-Andres, S. & Lopez-Delgado, A. (2018) Al-Waste-Based Zeolite Adsorbent Used for the Removal of Ammonium from Aqueous Solutions. *International Journal of Chemical Engineering. Articl*e ID 1256197, 1-11. https://doi.org/10.1155/2018/1256197

[10] Rivera-Utrilla,J., Sanches-Polo, M., Gomes-Serrano, V. &Alvares,P.M., (2011) Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications. *Journal of Hazardous Materials* 187(1-3), 1-23. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.033

[11] Kuldeyev, E, Seitzhanova, M, Tanirbergenova, S, Tazhu, K, Doszhanov, E, Mansurov, Z, Azat, S, Nurlybaev, R. & Berndtsson, R (2023). Modifying Natural Zeolites to Improve Heavy Metal Adsorption *Water* 15(12):2215. https://doi.org/10.3390/w15122215

[12] Velarde L., Nabavi M.S., Escalera E., Marta-Lena Antti M.-L. &Akhtar F. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites; A review. *Chemosphere* , 328, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508

[13] Wang, S. & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *International Journal of Chemical Engineering, 156*, 11–24.

[14] Kambarova, E.A. (2024). Adsorbtsiya tyazhelykh metallov na modifitsirovannoy epoksidnoy smoloy poverkhnosti shungita i tseolita [Adsorption of heavy metals on the surface of shungite and zeolite modified with epoxy resin] *Doctoral dissertation (PhD*), Taraz [in Russia].

[15] Steffin, J.E., Dilson, B.S. & Manikandan, P.M. (2016). An overview on activated carbon and zeolites in water treatment. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research.* **2**(11): 6 https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.033

[16] Seytzhanova, M.A., Doszhanov, Ye.O. dr (2023). Vliyaniye termicheskoy obrabotki na sorbtsionnyye kharakteristiki tseolita primenyayemogo v protsesse ochistki vody [The influence of heat treatment on the sorption characteristics of zeolite used in water purification] *Goreniye i Plazmokhimiya -Combustion and plasma chemistry*, 173-179. [in Russia]. https://doi.org/10.18321/cpc21(3)173-179

[17] Kuldeyev, E., Orynbekov, Ye.S., Mansurov Z.A., Nurlybayev, R.E., Zhumadilova Zh.O. & Murzagulova A.A. (2023). Applicability of Zeolite from the Daubabinsk and Chankanai Deposits as a Sorbent for Natural Waters. *Water 15*(12), 2231; https://doi.org/10.3390/w15122231

[18] Sarimsakova, N.S., Fayzullayev, N.I. & Bak'yeva, G.A. (2022). Izucheniye fiziko-khimicheskikh kharakteristik klinoptilotita v protsesse yego modifikatsii [Study of the physicochemical characteristics of clinoptilotite during its modification] *Universum: tekhnicheskaya nauka - Universum:technical science*, 1–3 (94), 21–26. [in Russia].https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12940

[19] Mashkova, S.A. (2007). Ochistka stochnykh vod s pomoshch'yu prirodnykh sorbentov i ikh khimicheski modifitsirovannykh analogov [Wastewater treatment using natural sorbents and their chemically modified analogues] *Candidates thesis*. Vladivostok [in Russia].

[20] Konovalov, A.S. (2016). Ispol'zovaniye aktivirovannykh tseolitov dlya obezzarazhivaniya ekotoksikantov [Use of activated zeolites for the disinfection of

ecotoxicants] *Candidates thesis.* Irkutsk [in Russia].

[21] Obuzdina, M.V., & Rush Ye.A. (2017). Sorbtsionnaya ochistka stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov modifitsirovannymi prirodnymi tseolitami [Sorption treatment of wastewater from heavy metal ions with modified natural zeolites]. *Nauchno-metodicheskiy i informatsionnyy zhurnal Bezopasnost' v tekhnosfere - Scientific, methodological and informational journal "Safety in the Technosphere" (*6(2) [in Russia]. https://doi.org/10.12737/issn.1998-071X

[22] Tsitsishvili, V., Panayotova, M, Mirdzveli, N., Dzhakipbekova, N.O., Panayotov, V., Dolaberide, N. & Nijaradze, M. (2023). Acid Resistance and Ion-Exchange Capacity of Natural Mixtures of Heulandite and Chabazite. *Minerals,* 13.364. https://doi.org/10.3390/min13030364

[23] Tanibergenova,S., Tugelbayva, D., Zhylybayea, N., Aitugan, A. , Tazhu, K., Mjldajanova, G. & Mansurov, Z. (2025) Effect of Acid Treatment on the Structure of Natural Zeolite from the Shankhanai Deposit. *Processes*. 13(9) 2896 DOI:10.3390/pr13092896

[24] Dampilova, B.V. (2019). IK-spektroskopicheskoe issledovanie prirodnykh tseolitov i ikh lantansoderzhashchikh form [IR spectroscopic study of natural zeolites and their lanthanum-containing forms] *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy -Sorption and chromatographic processes,* 19(1), 52-58. [in Russia]. https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/648

Ашитова Н.Ж., Шингисбаева Ж.А., Мирдзвели Н., Джакипбекова Н.О., Сеитманбетова А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЦЕОЛИТОВ ЧАНКАНАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Аннотация. В статье рассматривается влияние термической обработки цеолитов Чанканайского месторождения на их структуру и свойства с целью создания высокоэффективных фильтрующих материалов для очистки воды. Оценка термической стабильности является ключевым этапом при создании высокоэффективных адсорбентов, поскольку высокая температура влияет на физико-химические свойства цеолитов, их пористую структуру и способность адсорбировать загрязнения из водных сред. Природные цеолиты, благодаря своей уникальной пористой структуре и высокоразвернутой поверхности широко используются в различных отраслях, в том числе и в процессах очистки воды. Они эффективно удаляют из водных сред органические и неорганические примеси, а также микроорганизмы. В статье рассмотрены особенности строения цеолитов Чанканайского месторождения. Определен их элементный состав и исследованы физико-химические свойства. Проведены экспериментальные исследования по изучению изменения их свойств и параметров при их термической обработке для получения оптимальных показателей для модифицирования. Природные цеолиты Чанканайского месторождения были термообработаны, изменения стркутуры, пористости и химического состава были изучены методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопия). Комплексный анализ показывает, что цеолиты Чанканайского месторождения обладают высокой термической стабильностью до 200 °С, при этом сохраняется их структурная упорядоченность и морфологические особенности. При нагреве до 600 °С происходят значительные структурные изменения, связанные с дегидратацией частичным разрушением элементов каркаса, что может

существенно повлиять на их адсорбционные свойства. Эти изменения необходимо учитывать при их использовании в сорбционных процессах.

Ключевые слова: цеолиты; месторождение Чанканай; модификация; очистка воды.

Nurgul Ashitova, Zhadra Shingisbayeva, Nato Mirdzveli, Nagima Jakipbekova, Aiman Seitmanbetova

INVESTIGATION OF THE THERMAL STABILITY OF ZEOLITES FROM THE CHANGKANAI DEPOSIT IN ORDER TO OBTAIN NEW FILTRATION MATERIALS FOR WATER PURIFICATION

Annotation. The article examines the effect of heat treatment of zeolites from the Changkanai deposit on their structure and properties in order to create highly efficient filtration materials for water purification. The assessment of thermal stability is the key step in the creation of highly effective adsorbents, since high temperature affects the physico-chemical properties of zeolites, their porous structure and the ability to adsorb pollutants from aqueous media. Natural zeolites, due to their unique porous structure and highly expanded surface, are widely used in various industries, including in water purification processes. They effectively remove organic and inorganic impurities, as well as microorganisms, from aquatic environments. The article discusses the structural features of the zeolites of the Changkanai deposit. Their elemental composition has been determined and their physico-chemical properties have been investigated. Experimental studies have been conducted to study changes in their properties and parameters during their heat treatment to obtain optimal parameters for modification. The natural zeolites of the Changkanai deposit were heat-treated, and changes in texture, porosity, and chemical composition were studied using scanning electron microscopy (SEM) and infrared spectroscopy (IR spectroscopy). A comprehensive analysis shows that the zeolites of the Changkanai deposit have high thermal stability up to 200 °C, while maintaining their structural order and morphological features. When heated to 600 °C, significant structural changes occur due to dehydration and partial destruction of the frame elements, which can significantly affect their adsorption properties. These changes must be taken into account when using them in sorption processes.

Keywords: Zeolites , Changkanai deposit, modification , water purification.