

**А.О. Оразымбетова<sup>1</sup>, Г.Ф. Сагитова<sup>1\*</sup>, А.С. Сидиков<sup>2</sup>, С.А. Сакибаева<sup>1</sup>, А.Б. Иса<sup>1</sup>**

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

160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тауке хан даңғылы, 5

<sup>2</sup>И.М. Губкин. атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің филиалы,  
Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ.

\*e-mail: guzalita.f1978@mail.ru

## **ЦЕОЛИТТЕРДІҢ ӘР ТҮРЛІ САЛАЛАРДА ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ (ШОЛУ)**

**Аңдатпа:** Цеолиттердің ерекше қасиеттеріне байланысты олардың қолдану аясы өте кең. Толықтырғыштар резиналардың химиялық, технологиялық, физика-механикалық және экономикалық көрсеткіштерінің кешеніне тиімді әсер етуге мүмкіндік беретін резина қоспалары рецептінің маңызды компоненттерінің бірі болып табылады. Толықтырғыштардың бұл қатарында цеолит ерекше орын алады. Осы шолудың мақсаты цеолиттердің қасиеттерін, қолданылуын зерттеу және оларды промоторлық жүйе ретіндегі зерттеулерді жалғастыру үшін қарастырылған жұмыстарға талдау жасау болып табылады. Соңғы жылдары минералды шикізат негізіндегі промоторлық жүйелердің жаңа түрлерін жасау бойынша белсенді зерттеулер жүргізілуде. Бейорганикалық адгезия промоторларына тән қасиет олардың металл иондарын баяу шығару қабілеті болып табылады, яғни бұл эксплуатациялау кезінде резинаны жезбен қапталған металлға бекіту тиімділігіне оң әсер етеді. Бұл металл тұздарын жағымсыз әсерлерсіз, әсіресе, шикізаттың салыстырмалы арзандығынан туындайтын минералды тұздарды азғана мөлшерде енгізуге мүмкіндік береді. Цеолиттер ерекше қасиеттерге және құрылымдық ерекшеліктерге ие минералдар ретінде ұзақ уақыт бойы зерттеушілердің назарында. Табиғаттан белгілі болған барлық 52-ден астам минералдың түрлері және цеолит сорттарының тек кейбір түрлері практикалық мақсатта қолдану талаптарын қанағаттандырады. Яғни ірі мономинералды концентрацияларды құрайды және сәйкесінше пайдалы қасиеттерге ие: жоғары адсорбциялық қабілет, катиондық сыйымдылық, және термо- және қышқылға төзімділік. Материалдық және химиялық құрамының, текстуралық және құрылымдық сипаттамаларының, физикалық, механикалық және адсорбциялық қасиеттерінің әртүрлілігіне байланысты цеолиттер көп мақсатта қолданылатын шикізат ретінде қарастырылуы мүмкін. Ал кез келген минералды шикізатты өнеркәсіптің әртүрлі салаларында табысты пайдалану үшін олардың текстуралық және құрылымдық сипаттамаларын тереңінен зерттеу, сонымен қатар заманауи технологиялық әдістер мен тәсілдерді қолдана отырып, пайдалы қасиеттерін арттырудың жаңа жолдарын іздеу қажет.

**Түйін сөздер:** цеолит, табиғи минерал, резина қоспасы, адгезия промоторлары, клиноптилолит, каркас, кеукті.

### **Кіріспе**

Резина өнеркәсібінің алдында шикізатты үнемдеу және еңбек жағдайларын жақсартумен қатар өнім сапасын одан әрі арттыру мақсатындағы күрделі техника-экономикалық міндеттер тұр. Оларды жүзеге асыру үшін цеолиттердің (табиғи және синтетикалық) ерекше қасиеттерін, қолдану аясын, маңыздылығын тереңінен зерттеу қажет. Тақырыпты шолудың мақсаты аталған цеолиттердің резина саласында адгезия промоторлары ретінде қолданылуын қарастыру болып табылады.

Адгезия промоторлары – резина мен металлкорд арасындағы байланыстың жоғары және тұрақты беріктігін қамтамасыз ету үшін брекер резина қоспасының қажетті құрамдас бөлігі.

«Эластомер-металл» жүйесіндегі адгезиялық байланыстың жоғарылауы резинаны металлға желімдеу арқылы адгезия промоторларымен қамтамасыз етіледі. Адгезиялық промоторларды қолдану металдық арматурадан резина қоспасының ажырауын болдырмау үшін ілінісу қасиетін арттыру арқылы осы байланысты жақсартуға мүмкіндік береді. Адгезия промоторларының резина қоспасының металлға бекітілуіне әсері олардың металл бетімен өзара әрекеттесу және күшті химиялық байланыс түзу қабілетіне байланысты.

Резинаны металлға бекіту қиын міндеттердің бірі болып табылады, өйткені бұл жағдайда мүлдем гетерогенді және бір-біріне жақындығы жоқ материалдар жанасады [1]. Осы бағыт бойынша ғылыми әдебиеттерді талдау адгезияның жаңа промоторларын мақсатты бағытта іздеудің жеткілікті күрделі теориялық жағын көрсетеді [1-5].

Өнеркәсіптік тәжірибеде резина қоспаларында адгезия промоторларының екі түрі қолданылады: ауыспалы валентті металдардың органикалық тұздары, әдетте кобальт пен никель және модификацияланған органикалық шайырлардың барлық түрлері [1].

Қазіргі уақытта қолданылатын көптеген промоторлық жүйелер импорттық өнімдер болып табылады және олардың өзіндік құны жоғары. Сондықтан, тиімділігі жағынан қол жетімді шикізатпен өндірілетін және салыстырмалы түрде төмен құны бар белгілі импорттық өнімдерден кем түспейтін жаңа адгезия промоторларын әзірлеу ғылыми зерттеулердің өзекті міндеті болып табылады.

Соңғы жылдары минералды шикізат негізіндегі промоторлық жүйелердің жаңа түрлерін жасау бойынша белсенді зерттеулер жүргізілуде. Бейорганикалық адгезия промоторларының өзіне тән ерекшелігі – олардың металл иондарын баяу шығару қабілеті, бұл эксплуатациялау кезінде резинаны жезден жасалған металға бекіту тиімділігіне оң әсер етеді. Бұл металл тұздарын әсіресе минералдарға азғана мөлшерде жағымсыз әсерсіз енгізуге мүмкіндік береді, осы негізінен бастапқы шикізаттың салыстырмалы арзандығынан туындайды [4, 5].

Мақалада резинаның металлкордқа адгезиясын арттыратын цеолит негізіндегі аралас промоторлық жүйені алу үшін және табиғи цеолиттің құрылымы мен ерекше қасиеттерін зерттеу мақсатында келесі маңызды мәселелер қарастырылады: цеолиттердің шығу тарихы; цеолиттердің әлемдік қоры және ірі кен орындары; цеолиттердің табиғи және жасанды аналогтары; цеолиттердің химиялық құрамы және ішкі құрылымы; цеолиттердің адсорбциялық қасиеттері; цеолиттерді модификациялау; цеолиттердің қолданылу салалары.

### **Цеолиттің шығу тарихы**

Табиғи цеолиттер қазіргі уақыттан шамамен 268 жыл бұрын белгілі болған екен. Тарихқа жүгінсек «цеолит» терминін Швед минералогы Аксель Ф. Кронштедт 1756 жылы қыздырылған кезде минералды үлгінің бетінде көбік түзілуін байқағаннан кейін енгізді. Минерал «қайнаған» болғандықтан, оны «цеолит» деп атады, яғни грек тілінен аударғанда *zein* «қайнату» және *lithos* «тас» деген мағына береді. Кейінірек бұл құбылыс минералды кеуектердің ішінде гидратациялық суды қыздырғанда бөліну құбылысы болғанын түсіндірді. Кронштедт минералы стеллерит пен стилбиттің қоспасы ретінде анықталды. 1840 жылы Дамур бұл материалдардың қайтымды ылғалдануы мен сусыздануын көрсетті. 1858 жылы табиғи цеолиттердің (шабазит және натролит) катион алмасу қасиеттері алғаш рет анықталды. 1862 жылы левайн синтезделді. Бұл материалдардың алғашқы өнеркәсіптік жетістігі, яғни оларды кір жуу үшін суды жұмсартқыштар ретіндегі ион алмасу қасиеттеріне байланысты қолданды. Бұл олардың негізгі қолданыс көзі ретінде пайдаланылды [6, 7].

Цеолиттер туралы ғылымның заманауи тарихы XX ғасырдың 30-40 жылдарында жаңа цеолиттер синтезделіп, олардың қолдану тәсілдері сипатталып, цеолиттердің алғашқы жіктелуі берілген кезден басталады.

1932 жылы Макбейннің жұмысында алғаш рет цеолиттерге және олардың адсорбция процестеріне, яғни "молекулалық елек" термині қолданылды. Бұл цеолит ғылымындағы ерекше бетбұрыс еді, өйткені ол жас ғалым Р.М. Баррерді цеолиттердегі әртүрлі молекулалардың қоспаларын бөлуді зерттеуге шабыттандырды. Ол бөліну процестеріне байланысты адсорбент ретінде цеолиттердің үлкен кереметін көрді. Келесі 20 жыл бойы ол цеолит синтезі бойынша зерттеулерді сәтті жүргізді. Осылайша ол табиғи цеолиттердің кристалдану шарттарын зерттеуге шабыттанып (гидротермиялық, яғни сілтілі орта және 200°C-тан жоғары температурада), нәтижесінде табиғи цеолиттердің Р және Q деп аталатын табиғи аналогтары жоқ шабазит, морденит және басқалары сияқты кейбір синтетикалық аналогтарын алды [7, 8].

1949 жылы ол цеолиттердегі сілтілі-аммоний катиондарының алмасуын, содан кейін қыздыруды (күйдіруді) оларды протон алмасу түрінде алу стратегиясы ретінде сипаттады. Императорлық колледжде (1954-1976) жұмыс істеген профессор Р.М. Баррер тетраалкиламмоний катиондарын қолдана отырып, цеолиттің алғашқы синтезін жасады, ол кейіннен кеңінен танылды, яғни ол бүгінгі күнге дейін өзекті болып қала беретін жаңа цеолит материалдарын алудың тиімді әдісі болып табылды.

Баррердің ашқан жаңалықтары өнеркәсіптің цеолиттерге деген қызығушылығын тудырды және цеолиттердің өнеркәсіптік өндірісінің дамуына және оларды қолдануға түрткі болды. 50-ші жылдары синтетикалық цеолиттерді өнеркәсіптік шығару және оларды қолдану басталды. Сонымен қатар 1960 жылдардың басында АҚШ-та, Жапонияда және кейбір басқа

елдерде табиғи цеолиттердің ірі кен орындары ашылды. Жаңа кен орындарының ашылуы олардың практикалық қолданылуын айқындайды [6].

Өткен ғасырдың 70 жылдары адамзаттың "цеолит дәуіріне" кіруін атап өтті, бұл жаһандық сауықтыру және қоршаған ортаны қорғау мәселесінің үлкен өзектілігімен байланысты, осы мақсаттарды жүзеге асыру үшін цеолиттерді тиімді пайдалану қолға алынды [6].

Ұзақ уақыт бойы олар сирек кездесетін минералдар болып саналды және олар коллекциялық экспонат ретінде қызықты болды. Бірақ бүгінде өзінің ерекше қасиеттерінің арқасында табиғи цеолиттер тіршілік әрекетінің көптеген салаларында кеңінен қолданыла бастады [7, 9].

#### **Цеолиттердің әлемдік қоры және ірі кен орындары**

Құрамында цеолиті бар жыныстардың әлемдік қоры бірнеше миллиард тоннаны құрайды, олардың негізгі бөлігі Ресейде, Қытайда, Қазақстанда, Жапонияда, АҚШ-та, Оңтүстік Кореяда және Грузияда шоғырланған. Мәселен, қазіргі уақытта әлемде цеолиттерді өндіру көлемі шамамен 30 млн. тоннаны құрайды және жыл сайын 20-25%-ға өседі [7]. Табиғи цеолитті әлемдік нарыққа қолдану және жеткізу көшбасшылары: Қытай (66,7%), Оңтүстік Корея (7,0%), Жапония (5,0%) және тағы басқа елдер.

Заманауи өнеркәсіптегі цеолиттердің маңызды рөлін АҚШ, Жапония, Италия, Югославия, Болгария растайды және кейбір басқа да елдерде жыл сайын 300 мың тоннаға жуық табиғи цеолит жыныстары өндіріледі.

ТМД ерекше назар аударатын цеолит тасымалдаушы аудандар, олар: Закарпат (Сокирниц кен орнының клиноптилолиті, Водицк, Липчинск кен орнының морденитпен клиноптилолиті), Закавказье (жалғыз Ахалцих кен орнының филлипситі, Тедзам, Дзегви, Айдаг, Ноемберян кен орындары), Бадхыз (Түрікменстан, Бадхыз кен орнының клиноптилолиті), Панфилов (Койбын кен орнының клиноптилолиті) және Призайсан (Қазақстан, Тайжуген, Шанқанай кен орындарының клиноптилолиті) [10-12].

Шанқанай және Тайжуген кен орындарын қоры бойынша орташа санатқа жатқызуға болады (Тайжуген кен орнындағы цеолиттердің қоры - 7 млн.т., Шанқанай кен орнында -4,3 млн. т.). Оңтүстік Қазақстанда Алтын-Эмель, Қаржантау және Даубабин сияқты цеолит кен орындары алдын ала бағаланады.

Шанқанай кен орны цеолитін Қазақстанның Алматы облысындағы Кербұлақ ауданынан көруге болады. Цеолитті өндіру 1997 жылдан бастап Таза Су компаниясының қайта өңдеу зауытында қолға алынған. Шанқанай кен орны цеолиті негізінен көптеген мақсатта қолдануға жарамды таза алюмосиликатты шикізат болып табылады.

«Таза-Су» ЖШС (2003ж.) – табиғи цеолиттен шаруашылық-ауыз суы мен сарқынды суларды тазартуға арналған сүзгі материал шығаратын кәсіпорын. Сондай-ақ, цеолитті металлургия, химия, мұнай-газ саласындағы кәсіпорындарда және жануарлар мен құстардың жемдеріне тиімді қоспа ретінде қолданылады [13].

#### **Цеолиттердің табиғи және жасанды аналогтары**

Шығу тегі бойынша цеолиттер 2 үлкен топқа бөлінеді:

- табиғи цеолиттер (табиғи шығу тегі бар, олар екі түрге бөлінеді): шөгінді, жанартау;
- синтетикалық (жасанды жолмен алынған).

Цеолит түрлерінің әрқайсысының таңқаларлық өзіндік ерекшеліктері бар-біреуі жоғары пластикалық, екіншісі қанық күлгін түсті және қатты құрылым, үшіншісі өңдеуге өте ыңғайлы, ол әртүрлі заттармен жеңіл байланысады, яғни бұл минералды қолдану арқылы әртүрлі қасиетке ие нұсқаларды алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта цеолиттердің шамамен 53 табиғи және 100 жасанды аналогтары белгілі. Табиғи цеолиттердің ең көп таралғаны: клиноптилолит  $(K_2Na_2Ca)_3[Al_6Si_{30}O_{72}] \cdot 20H_2O$ ; гейландит  $(Na,K)Ca_4[Al_6Si_{27}O_{72}] \cdot 24H_2O$ ; филлипсит  $K_2(CaO_5Na)_4 [Al_6Si_{10}O_{32}] \cdot 12H_2O$ ; ломонит  $Ca_4[Al_8Si_{16}O_{48}] \cdot 16H_2O$ ; морденит  $(Na_2K_2Ca)_4 [Al_8Si_{40}O_{96}] \cdot 28H_2O$ ; эрионит  $NaK_2Mg, Ca_{15}[Al_8Si_{28}O_{72}] \cdot 28H_2O$ ; шабазит  $(Ca,Na)_2[Al_4Si_8O_{24}] \cdot 12H_2O$ ; феррьерит  $(Na,K) Mg_2Ca_{0,5}[Al_8Si_{30}O_{72}] \cdot 20H_2O$ ; анальцим  $Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$ . Қалған цеолиттер жиі кездеспейді, бірақ табиғи цеолиттердің ең үлкен практикалық құндылығы тек бірнеше сорттарға ие, олар: клиноптилолит, морденит және шабазит [14,15].

Цеолит жыныстары кен орындарының ерекше сипаттамасы – кең ауқымда өзгеретін цеолитизация дәрежесі (цеолиттердің құрамы). Айта кету керек, цеолит жынысының құрамында 40%-дан астам таза цеолит бар табиғи минералға практикалық қызығушылық туады, ал цеолит жыныстарында басқа, егер олардың құрамында опал, монтмориллонит, кальцит, кристобалит болса, цеолит мөлшері аз жыныстар (10%-дан 40%-ға дейін) қатарында болады. Жоғары сапалыларға құрамында 70%-дан астам цеолит минералы бар жыныстар, орташа сапалыларға – 50-70% және кедей кендерге – 15-50% жатады [9].

Табиғи цеолиттер жанартау жыныстары мен күл қабаттары сілтілі жер асты суларымен әрекеттесетін жерде пайда болады. Цеолиттер сонымен қатар таяз теңіз бассейндерінде мыңдаған миллиондаған жылдар аралығында шөгінділерден кейінгі ортада кристалданады. Табиғи түрде кездесетін цеолиттер таза түрінде сирек кездеседі және олар белгілі бір дәрежеде басқа минералдармен, металдармен, кварцпен немесе басқа цеолиттермен ластанған [15].

Цеолиттердің таралуында зоналылық байқалады: клиноптилолит пен морденит тереңдігі ломонтит, ломонтит вайрацитке ауысады. Цеолиттер кварц, кальцит, монтмориллонит, аралас қабатты саз минералдары, хлорит, слюда, адуляр, альбит, прениг, эпидог, сфен, апатит, сульфидтермен байланысты [12].

Жоғарыда айтылғандай, ТМД минералды құрамы бойынша цеолит жыныстары келесі типтерге бөлінеді: клиноптилолитті, морденит – клиноптилолитті, морденитті, шабазитті және филлипситті. Клиноптилолит (гейландит тобынан) барлық дерлік кен орындарындағы цеолит кендерінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Оның жыныстардағы құрамы 30-дан 95%-ға дейін. ТМД елдерінің цеолит жыныстары негізінен вулканогендік жыныстармен ұсынылған, оларда цеолиттердің жалпы мөлшері 15-100% құрайды [9].

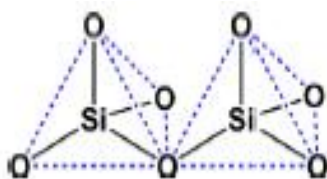
#### Цеолиттердің химиялық құрамы және ішкі құрылымы

Цеолиттердің фазалық құрамы мынадай пайыздық мөлшермен сипатталады: клиноптилолиттер (60-65%), монтмориллониттер (12%) және калийлі далалық шпаттар (3-3,5%). Цеолиттердің орташа статистикалық химиялық құрамы 1 кестеде келтірілді [16].

Кесте 1 – Цеолиттердің орташастатистикалық химиялық құрамы

| Компоненттер, масс. % |                  |                                |                                |           |         |         |                  |                   |                  |
|-----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|---------|---------|------------------|-------------------|------------------|
| SiO <sub>2</sub>      | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO       | CaO     | MgO     | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O |
| 69,0- 74,0            | 0,08-0,16        | 11,4-14,0                      | 0,60-1,8                       | 0,02-0,05 | 1,7-3,3 | 0,4-1,7 | 4,0-5,5          | 0,4-0,9           | 10-ға дейін      |

Цеолиттерді кристалды микрокеуекті алюмосиликаттан тұратын кеңістіктік бейорганикалық полимер ретінде қарастыруға болады, олардың қаңқасы (каркасы) TO<sub>4</sub> бөлетін бұрыштарынан тұратын тетраэдрлер (1 сурет), мұндағы Т әдетте Si немесе Al атомдарын білдіреді.



Сурет 1 – Бұрыштарды бөлетін SiO<sub>4</sub> екі тетраэдр

Алюмосиликатты цеолиттің эмпирикалық формуласын  $M_y^{z+} + [Si_{1-x}Al_xO_2]^{x-}$ , мұндағы  $x = yz$  түрінде көрсетуге болады, мұндағы  $x = yz$  көбінесе  $0 \leq x \leq 0,5$  мәнімен шектеледі, бұл құбылыс Левенштейн ережесі [6, 8].

Цеолит каркасы бал ұясына ұқсас және кремний мен алюминий анионит тізбегінен түзілген. Құрылысына байланысты каркас теріс зарядқа ие (2 сурет). Каркастағы теріс зарядтар жоғарыдағы формулада  $M^z$  ретінде ұсынылған каркастан тыс катиондық қосылыстармен өтеледі. Бұл катиондар цеолит каркасының тесіктері мен қуыстарының ішінде орналасқан және синтез жағдайына және материалдың постсинтетикалық өңдеуден өткеніне (қыздыру, ион алмасу) байланысты органикалық (әдетте алкиламмоний) немесе бейорганикалық (сілтілі, сілтілі жер және басқа металдар) болуы мүмкін. Табиғи цеолиттер мен көптеген синтетикалық цеолиттерде әдетте гидратталған металл катиондары бар және ол Кронштед ашқан жаңалыққа сүйенеді [6, 8].



Сурет 2 – Цеолиттердің каркасты құрылымдары

Цеолиттердің тиімді кеуек диаметрі 0,26-0,8 нм диапазонын құрайды. Кеуек тесігі цеолиттің су молекулаларымен толтырылған. Кремний мен алюминийдің үлкен қатынасы бар жоғары кремнийлі цеолиттер максималды сіңіру әсеріне ие. Бұл арақатынас ұлғайған сайын кеуектілік артады және қуыстардың (кеуек) диаметрі артады. Цеолиттің ерекшеліктеріне катион алмасуының жоғары сыйымдылығы (200-300мг·экв/100гр), жоғары су сіңіргіштігі (өз салмағының 50-100%), наноканалдардың болуы (2,6-6,7 Å), кремнеземнің жоғары мөлшері, температура мен қышқылдарға төзімділік жатады [16].

Цеолиттер шоғырынан шығатын құрылымдық минералды бірліктері қосылу формасы бойынша кіші кластарға бөлінеді, яғни шикізатты филлосиликаттардың кіші класына (қабатты немесе жапырақты силикаттар), оған палыгорскит, смектит, каолинит топтары жатады және тектосиликаттардың кіші класына (каркастық силикаттар) жатады [15, 17].

Жоғарыда айтылғандай, табиғатта белгілі 52-ден астам минералдың түрлері және цеолит сорттарының тек кейбір түрлері практикалық мақсатта қолдану талаптарын қанағаттандырады, яғни ірі мономинералды концентрацияларды құрайды және сәйкесінше пайдалы қасиеттерге ие: жоғары адсорбциялық қабілет, катиондық сыйымдылық, және қышқыл мен термотұрақтылық.

Төменде көрсетілген Si/Al қатынасы кіріс қуыстарының өлшеміне және бос кристалл ішіндегі кеңістіктің көлеміне байланысты табиғи цеолиттердің жіктелуі, цеолиттерді иониттер мен адсорбенттер ретінде пайдалануға мүмкін болатын аймақтарын бағалауға көмектеседі.

Алюмосиликатты цеолиттер үшін ион алмасу қасиеттерін, термиялық және химиялық тұрақтылықты анықтайтын маңызды сипаттама каркастағы кремний мен алюминийдің салыстырмалы құрамы болып табылады. Si/Al-ге қатынасы бойынша барлық цеолиттерді жоғары кремнийлі, аралық және жоғары алюминийлі деп бөлуге болады. 2 кестеде цеолиттердің Si/Al қатынасы бойынша жіктелуі келтірілген [15].

Кесте 2 – Цеолиттердің Si/Al қатынасы бойынша жіктелуі

| Қаңқаның (каркас) құрамы |     | Түрлері                                          |
|--------------------------|-----|--------------------------------------------------|
| Жоғары кремнийлі         | > 3 | Ферьерит, морденит, клиноптилолит, гейландит     |
| Аралық                   | 3-2 | Филлипсит, оффретит, фожазит, шабазит            |
| Жоғары алюминийлі        | <2  | Томсонит, натролит, скалецит, мезолит, гоннарцит |

Практикалық тұрғыдан алғанда кремнийі жоғары және аралық цеолиттер үлкен қызығушылық тудырады. Цеолит қаңқасындағы (каркас) алюминий мөлшері артқан сайын алмасу сыйымдылығы арта түсетіні анықталды. Алайда, ереже бойынша химиялық және термиялық тұрақтылық пен көбінесе кіріс қуыстарының тиімді диаметрі бір уақытта төмендейді [15].

Құрамында алюминий бар цеолиттер де бар, олар цеосилдер немесе кремнезем құрамды таза цеолиттер деп аталады. Олардың құрамында қосымша каркаста катиондар жоқ екендігі белгілі. Таза кремнезем және жоғары кремнеземқұрамды цеолиттер қарқынды зерттеу сатысында, өйткені олар гидрофобты бетке ие және әдетте үлкен термиялық және химиялық қасиеттерге ие. Олар дәстүрлі цеолиттерге қарағанда тұрақтылыққа ие, олар адсорбцияда қолдану үшін пайдаланылады.

Барлық цеолит тәрізді материалдарда (цеотиптерде) міндетті түрде бола бермейтін Si және Al-дан басқа, яғни каркастағы тетраэдрлік үйлестіруде B, Be, Co, Fe, Ga, Ge, Mg, P, Ti және Zn тәрізді атомдар болуы мүмкін. Алюмосиликатты цеолиттерге ұқсас немесе олардан ерекшеленетін құрылымдар болып табылатын цеолиттердің құрамының көптеген нұсқалары бар. Сонымен, цеолит құрамының әртүрлілігі туралы цеолит құрылымдары туралы мәліметтер базасындағы кеңейтілген «химиялық іздеуден» білуге болады. Айта кету керек,

кейбір «гетероатомдардың» болуы белгілі бір құрылымдардың кристалдануына, әртүрлі химиялық қасиеттерге ықпал етуі мүмкін [6, 8].

Цеолиттерді құрылымдық сипаттаудың тағы бір тәсілі олардың кеуекті жүйелерінің өлшемдеріне, байланыстылығына, топологиясына және геометриясына негізделген. Кеуектер-бұл каркас атомдары иеленбейтін каркас ішіндегі бос кеңістіктер. Бұл тесіктер қалай қосылғанына және кеуектің өлшеміне байланысты әртүрлі мөлшердегі молекулаларға қол жетімді немесе қол жетімді болмауы мүмкін (n пішінді сақиналар кеуектер деп аталады).

Бір бағытта шексіз кеңейетін және өлшемі енетін молекулаларының бүкіл ұзындығы бойынша диффузиясын қамтамасыз ететін кеуектер арналар деп аталады. Арналар тек бір бағытта орналасқан кеуек жүйелері бар цеолиттер немесе әртүрлі бағыттардағы қиылыспайтын арналар деп аталады. Әр түрлі бағыттағы арналар қиылысқан кезде олар екі бағытты немесе үш бағытты арналар жүйесін құра алады. Бұл топтардың ішінде әр түрлі кеуек өлшемдері мен пішіндері бар көптеген құрылымдар бар. Егер цеолитте кеуектердің бір түрі көбірек болса, ол ең үлкен кеуектердің болуына қарай жіктеледі [6,18,19].

#### **Цеолиттердің адсорбциялық қасиеттері**

Әдетте, цеолиттердің адсорбциялық қасиеттері кіріс қуыстарының тиімді диаметрімен және су молекулалары алып жатқан кристалішілік көлеммен анықталады. Осылайша, кіріс қуыстарының тиімді диаметрлерінің айырмашылығы негізінде кең кеуекті, ортаңғы кеуекті және тар кеуекті цеолиттерді ажыратуға болады. 3 кестеде кіріс қуыстарының өлшемдері бойынша цеолиттердің жіктелуі келтірілген [15, 20].

**Кесте 3 – Кеуектердің (қуыс) өлшемдері бойынша цеолиттердің жіктелуі**

| Атауы          | Қуыстардың тиімді диаметрі, А | Түрлері                                                     |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Кең кеуекті    | >5                            | Фожазит, оффретит                                           |
| Орташа кеуекті | 4,3-3,5                       | Шабазит, эрионит, морденит, клиноптилолит                   |
| Тар кеуекті    | 2,6                           | Анальцим, филлипсит, ломонтит, натролит, томсонит, стильбит |

Кіріс қуыстарының тиімді диаметріндегі айырмашылықтар газдар мен сұйықтықтарды адсорбциялау және қоспаларды молекулалық-електен бөлу үшін маңызды практикалық мәнге ие.

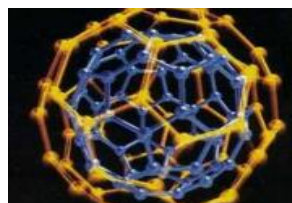
Дегидратацияланған цеолитпен адсорбцияланатын басқа молекулалар сияқты цеолит суының мөлшері бос кристалішілік кеңістіктің көлемімен анықталады. Осылайша, олардың бос көлемі бойынша цеолиттер борпылдақ және тығыз болып бөлінеді. 4 кестеде кристалл ішіндегі кеңістіктің бос көлеміне қарай цеолиттердің жіктелуі келтірілген [15].

**Кесте 4 – Кристалішілік кеңістіктің бос көлемі бойынша цеолиттердің жіктелуі**

| Атауы  | Кристалл ішіндегі кеңістіктің көлем, % | Түрлері                                     |
|--------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Бос    | >40                                    | Полингит, фожазит, шабазит, гмелинит        |
| Орташа | 40-30                                  | Гейландит, клиноптилолит, эрионит, ломонтит |
| Тығыз  | <30                                    | Анальцим, натролит                          |

Әсіресе борпылдақ цеолиттер кең кеуекті болып келеді, ал тығыз цеолиттерде әдетте алюминийдің көп мөлшері болады, бұл кристалл ішіндегі кеңістіктің катиондармен жоғары шоғырлануын анықтайды. Кіріс қуыстарының өлшемімен бірге бос кристалл ішіндегі кеңістіктің шамасы цеолиттердің адсорбциялық қасиеттерінің маңызды сипаттамасы болып табылады [12].

Табиғи цеолиттердің кристалдары кеуек немесе қуысты болып келеді, ішкі беткейлері жақсы дамыған (Сурет 3). Цеолиттерде қуыстардың жиынтық көлемі кристалл көлемінің 60 пайызын құрауы мүмкін.



**Сурет 3 – Цеолиттердің ішкі құрылымы**

Цеолиттердің адсорбациялық қабілеті қуыстардың жиынтық көлеміне байланысты болады. Цеолиттердің қуысты құрылысы оларға молекулаларды іріктеп жинауға мүмкіндік береді, яғни жоғарыда айтылғандай «молекулалық елек» қызметін атқарады. Арналардың өлшемдері оларға органикалық молекулалар мен катиондардың енуі үшін қолайлы болып табылады [21-24].

Цеолиттердің әртүрлі химиялық құрамы материалдардың физика-химиялық қасиеттерін белгілі бір бағытта өзгертуге мүмкіндік береді. Осылайша, цеолиттің ерекше орналасқан құрылымдық қаңқасы (каркас) мен белсенді химиялық орталықтары бағытталған химиялық реакцияларды жүргізу үшін матрица қызметін атқара алады [25].

#### **Цеолиттерді модификациялау**

Мәселен бағытталған модификация цеолитқұрамды минералдың қасиеттерін интенсификациялау технологиясының перспективалық саласы болып табылады.

Цеолиттерді белсендіру және модификациялау әртүрлі физикалық немесе химиялық әдістермен жүргізіледі. Физикалық әдістерге термиялық өңдеу, вакуумдық және температуралық жағдайда (вакуум кептіргіштер), жоғары қысым мен температурада (гидротермиялық өңдеу) үлгілерді өңдеу және ультрадыбыстық тербелістер мен жоғары жиілікті тоқтың, микротолқынды сәулеленудің және мерзімді күшті соққы толқындардың үлгілерге әсер етуі жатады [26-30].

Химиялық әдістер минералдарды химиялық реагенттермен модификациялаудан (өзгертуден) тұрады. Бұл жағдайда минералды қышқылдар мен органикалық заттардың ерітінділерімен жүргізілетін «қатты» және «жұмсақ» химиялық модификация туралы шартты түрде айтуға болады [31, 32].

«Қатты» модификация алюмосиликатты күшті бейорганикалық қышқылдардың ерітінділерімен өңдеу арқылы жүргізіледі. Цеолит қышқылмен байланысқан кезде цеолиттің алмастырылатын катиондары жойылады және бос орындарды сутегі иондары алады, нәтижесінде каналдан шығатын терезелердің өлшемдері мен арналардың пішіні өзгереді. Бұл микрокеуектердің тиімді мөлшерінің ұлғаюына және цеолиттің алмасу қабілетінің артуына әкеледі, ал «жұмсақ» модификация процестеріне минералды бейорганикалық және органикалық катиондар, кремнийорганикалық қосылыстар, азот, фосфор бар қосылыстар және басқа заттармен модификациялау кіреді [33-35]. Автордың [36] ғылыми жұмысында Шанқанай кен орны цеолитін тұз қышқылы және хитозанмен модификациялау арқылы сорбенттер алынған, сонымен қатар сорбенттердің сорбциялық қасиеттеріне қыздыру температурасының әсері зерттелген. Модификацияланған цеолиттердің физика-химиялық талдауы нәтижесінде цеолит бетіндегі бос орындар мен каналдар көлемінің ұлғаюы байқалған, ал хитозанмен модификациялағанда табиғи цеолит бетімен тігілетінін көрсетілді. Атап айтсақ Шанқанай кен орны цеолитін тұз қышқылымен модификациялау процесінде сорбциялық процестерде бос және белсенді орталықтардың түзілуіне ықпал ететін қуыстар мен каналдар мөлшері ұлғаятыны анықталды, зерттеу нәтижесінде қышқылмен өңделген цеолиттің сіңіру қабілеті жоғарылады.

Хитозанды модификациялау процесінде табиғи цеолиттің беті хитозанмен байланысу әрекетіне (тігіледі) ие болғаны көрсетілді. Яғни хитозанмен модификацияланған цеолиттің кеуектілігі өзгереді және оның сорбциялық сипаттамасы табиғи цеолитпен салыстырғанда жақсарады.

Қышқыл ерітінділерімен өңдеу цеолиттерді өзгертуге және олардың қасиеттерін мақсатты түрде бағыттауға мүмкіндік береді [37]. Қышқылмен өңдеудің себебі, оның салдары және оның жүргізілу тәртібі келесі мәліметтерде келтірілген: Барлық цеолиттік құрылымдағы арналар мен қуыстарда орналасқан ауыстырылатын катиондар кейде канал жүйесін блоктайды. Цеолиттердің микрокеуектерінде айтарлықтай орын алатын катиондарды қышқылмен өңдеу арқылы жоюға болады. Катиондардан басқа, қаңқалық алюминийді қышқылмен жоюға болады және мұндай деалюминация цеолит минералының құрылымының бұзылуына әкеп соғуы мүмкін. Цеолит торынан алюминийді алу гидроксил ұяшығының пайда болуына жағдай жасайды. Сондықтан қышқылмен өңдеудің артықшылығы қоспаларды кетіру және осылайша жаңа кеуектер мен белсенді орындардың пайда болуы, ал жоғары қышқыл концентрациясынан туындайтын кемшілігі цеолиттік қаңқаның ішінара немесе толық бұзылуын тудыруы мүмкін [38].

Табиғи цеолиттерді минералды қышқылдармен өңдеу – олардың бетін белсендірудің маңызды әдістерінің бірі болып табылады [37]. Бұл саладағы зерттеулер қышқылды

белсендіру процесінің химиясы мен механизмін ғана емес, сонымен қатар минералдардың физика-химиялық және сорбциялық қасиеттерінің өзгеру себептерін де анықтауға ғылыми қызығушылық тудырады [39].

Табиғи ғана емес, сонымен қатар синтетикалық цеолиттердің қасиеттерін өзгертудің жиі қолданылатын әдістеріне мыналар жатады: ион алмасу, беттің функционалдануы, күйдіру (қыздыру) және бумен өңдеу және т.б. [40-42].

Мәселен, алюмосиликат минералдарының иондық алмасуы олардың қышқылдық-негіздік, тотығу-тотықсыздану және текстуралық қасиеттерін өзгертуге мүмкіндік береді (кеуектердің мөлшері және адсорбаттармен өзара әрекеттесуі). Бұл әдетте алмастырылатын катиондық қосылыстардың жоғары концентрациясы бар сулы ерітіндіде жүзеге асырылады. Тепе-теңдік күйіне жеткеннен кейін цеолит сүзіледі, жуылады және кептіріледі және одан әрі алмасуға немесе модификацияға ұшырауы мүмкін. Жалпы жағдай металдар немесе аммоний сияқты шағын катиондардың алмасуы болып табылады [43].

Цеолит беттерінің қызметі цеолит материалдарына жаңа химиялық және / немесе физикалық қасиеттер беруге мүмкіндік береді. Цеолит материалдарына өтпелі және асыл металдарды қолдану арқылы функционалданудың әрекетімен катализаторларды дайындау кеңінен қолданылады, өйткені ол беткі ауданы үлкен және жоғары химиялық белсенділігі бар катализаторларды алуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда металл бөлшектерінің реактивтілігі (ішінара) соңғы материалға беріледі [6]. Адсорбенттерге келетін болсақ, Ag және Cu субстраттарда, әсіресе олефиндерді, сутекті және көміртектің моно оксидін адсорбциялау үшін жиі қолданылады [43].

Субстраттардағы металл цеолит материалдары көбінесе сіңдіру немесе ион алмасу арқылы, ал соңғы уақытта газ фазасынан химиялық тұндыру арқылы алынады.

Функционалданудың тағы бір түрі металл емес функционалды топтарды цеолит бетіне егуді қамтиды, мысалы оларға бейорганикалық қышқылдар, аминдер және силандар жатады.

Цеолиттердің қолданылу салалары

Цеолиттер спецификалық қасиеттері мен құрылымдық ерекшеліктеріне ие минералдар ретінде ұзақ уақыт бойы зерттеушілердің назарын аударды. Қазіргі таңда табиғи цеолиттерге сұраныс металл емес пайдалы қазбалар арасында жетекші орын алады.

Цеолиттер суды тазарту үшін ион алмастырғыш ретінде, катализаторлар, жуғыш заттар, ядролық қалдықтарды ұстау, құрылыс материалдары, газды бөлу және тазарту және басқа да салаларда кеңінен қолданылады [44].

Цеолиттердің кристалдылығы оларға механикалық және химиялық тұрақтылықты, кеуектердің, арналардың, қуыстардың бірдей және бақыланатын мөлшерін қамтамасыз етеді, сондықтан олар молекулалық сүзгілер, адсорбенттер, жуғыш заттар ретінде қолданылады [43-48].

Алайда қазіргі уақытта цеолиттер катализатор ретінде кеңінен қолданылады [36-38], әсіресе олардың гетерогенді катализде қолданылуы келесі қасиеттерге байланысты перспективті болып саналады: цеолиттердің кеуек мөлшері әдетте 2 нм-ден төмен, нәтижесінде олар белгілі бір молекулаларға қатысты жақсы стерикалық селективтілік көрсетеді; цеолиттердің ион алмастырғыш қасиеттері бар, бұл цеолит құрамына каталитикалық қасиет көрсететін металл катиондарын енгізуге мүмкіндік береді; H<sup>+</sup> үшін катиондық орталықтардың ион алмасуы арқылы әлсіз/күшті қышқылдық орталықтардың санын реттеуге болады; цеолиттердің құрамында тек өлшемдері ғана емес, сонымен бірге өзара бағдары да әртүрлі кеуектер болады.

Қуыстардың наноөлшемдері, белсенді орталықтардың реттелген орналасу мүмкіндігі, молекулалардың химиялық топтарына әсер етудің селективтілігі мен бағыттылығы цеолиттерді нанотехнологияның құралы ғана емес, олардың объектісі де етеді [49-54].

Цеолиттер сонымен қатар порцеланитті цементін алу үшін қолданылады, газдар мен сұйықтықтарды кептіруге қызмет етеді және жоғары сапалы адсорбенттерді қолдануды қажет ететін бірқатар басқа салаларда қолданылады [55-58]. Көптеген өнеркәсіптік кәсіпорындардың шығарындыларында клиноптилолитпен керемет ұсталатын күкіртті және басқа қышқыл газдар бар. Цеолиттер ауыз суы мен өнеркәсіптік ағынды суларды бірқатар улы заттардан: сынап, кадмий, қорғасын, радиоактивті элементтерден тазартуда өте маңызды рөл атқарады [59-62].

Минералды цеолиттер медициналық мақсатта да қолданылуы мүмкін. Тұздарды, металдарды, күкіртті цеолит өзіне нәзік сіңіру және тарту қабілетімен медициналық мақсатта кеңінен қолданылады [63]. Қысқа мерзімді әсері бар шағын дозаларда цеолит жалпы денеге жағымды әсер етеді, бірақ көп мөлшермен ұзақ байланыста ол жасуша құрылымын өзгерте бастайды да мутациялар мен қоздырғыштарды тудырады.

Заманауи технология жанданған дәуірде өндіріс орындарының даму кезеңінде жоғарыда аталған табиғи минерал цеолиттің атқарар қызметі ерекше көзге түседі, қоршаған ортаны қорғау мақсатында яғни суды және топырақты мұнай өнімдерінен тазартудың цеолиттік технологиясы Қазақстанда келесі нысандағы зауыттарда қолданылады: Қызылорда облысында орналасқан «Petro Kazakhstan Kumkol Resours» акционерлік қоғамы, «Жылыоймұнайгаз» мұнайгаз өндіру басқармасының «Терең-Өзек» кен орны, «Доссормұнайгаз» мұнайгаз өндіру басқармасының Қарсақ кен орны, «ҚазМұнайГаз» БӨ» акционерлік қоғамының Атырау облысындағы «Ембімұнайгаз» өндірістік зауыты; Маңғыстау облысындағы «Өзенмұнайгаз» акционерлік қоғамы, «ҚазМұнайГаз БӨ» акционерлік қоғамы [64].

Жоғарыда атап өтілген ерекше қасиеттерінің арқасында табиғи цеолиттердің қолдану аясы кең [65-82]. Мысалы: автор [65] 3А, 4А және ZSM-5 цеолитінің полиуретан (PU) және цеолит (MMMS) аралас матрицалық мембраналардың газ бөлу тиімділігіне әсерін және 6,12,18 және 24 мас.% цеолиті бар PU–цеолит MMM арқылы таза CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> және O<sub>2</sub> газдарының енуін зерттеген. Ал авторлар [66,67] цеолиттердің өзектілігін және олардың қолданылуын, сонымен қатар адсорбциялық технологияның дамуын және цеолит химиясы мен катализіндегі соңғы жетістіктерді қарастырған. Автор [68] синтетикалық олефиндер сияқты көлемді мұнайхимия құрылыс блоктарын қолдана отырып, болашақта шикі мұнай ресурстары пайдаланылмайтын кезде интеграцияланған мұнайхимия кешендері жұмысын жалғастыра алатынын ашып келтірген. Сонымен қатар мақалада [69] цеолиттердің өсімдіктерді қорғау агенттері ретінде пайдалану мүмкіндігі қарастырылған, яғни каолин типті цеолиттерді зиянкестер мен аурулардан қорғау үшін қабыршақ (пленка) ретінде пайдалануға болатындығы айтылған.

Сілтемелердегі авторлардың мақалаларын қарастыра келе байқағанымыз, цеолиттің ерекше қасиеттерін зерттеу қазіргі таңда жаңа жаңалықтардың жарыққа шығуына түрткі болып отыр. Ұсынылатын мақаланың мақсатын ашуға бағыт беретін авторлардың [102] өнертабысында Шанқанай кен орны цеолитін бреккерлі резина қоспасында қолданылғаны көрсетілген. Аталған минералдың шина өнеркәсібі саласында қолданылу мүмкіндігі зерттелген.

Өнертабыстың техникалық нәтижесі – шинаның ұзақ мерзімге шыдамдылығын сипаттайды, яғни зерттеу барысында резинаның беріктігі, әсіресе резинаның металлқордқа адгезиясы, ұзу кезіндегі беріктігі жоғарылайтыны анықталған. Бұл ерекше қасиетке ие цеолиттің химиялық құрамында көп мөлшерде SiO<sub>2</sub> – 72% және минералдың клиноптилолит түрінің болуы [102], бреккерлі резина қоспасымен өзара химиялық байланыс түзіп жоғары нәтижелі көрсеткіштерді көрсетіп отыр. Осы өнертабыстағы оң көрсеткіштерді негізге ала отырып алдыңғы уақытта жаңа цеолитқұрамды адгезия промоторларын алу мақсатындағы ғылыми жұмысымызды жалғастыратын боламыз.

### **Қорытынды**

Материалдық және химиялық құрамының, текстуралық және құрылымдық сипаттамаларының физика-механикалық және адсорбциялық қасиеттерінің әртүрлілігіне байланысты цеолиттер көп мақсатта қолданылатын шикізат ретінде қарастырылуы мүмкін. Ал кез-келген минералды шикізатты өнеркәсіптің әртүрлі салаларында табысты пайдалану үшін олардың текстуралық және құрылымдық сипаттамаларын тереңінен зерттеу, сонымен қатар заманауи технологиялық әдістер мен тәсілдерді қолдана отырып, пайдалы қасиеттерін арттырудың жаңа жолдарын іздеу қажет.

Жоғарыдағы әдебиеттік, ғылыми ізденістерді негізге ала отырып, біздің әрі қарай жалғастыратын зерттеу жұмысымыздың мақсаты резинаның металлқордқа адгезиясын арттыратын аралас промоторлық жүйені алу үшін Шанқанай кен орнының табиғи цеолитінің құрылымы мен беткі қасиеттерін тереңінен жете зерттеу болып табылады.

### Әдебиеттер тізімі

1. Дик Д.С. Технология резины: Рецептуростроение и испытания. Научные основы и технологии / Д.С. Дик. – СПб, 2010. – 620 с. <https://lib.sk/book/16384671/c41d5d>.
2. Исследование свойств резино-металлокордных композитов в присутствии новых промоторов адгезии / О.В. Карманова и др. // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т.82, №3. – С. 221-226. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-221-226>.
3. Модифицированный кремнекислотный наполнитель как промотор адгезии резины к металлокорду / О.А. Кротова и др. // Клеи. Герметики. Наука и технологии. – 2017. – № 6. – С. 31-36. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/21734>.
4. Wypych G. Handbook Adhesion of Promoters / G. Wypych // ChemTec Publishing. – 2023. – 321 с. <https://www.sciencedirect.com/book/9781774670187/handbook-of-adhesion-promoters>.
5. Bhatia S.C. Rubber Technology: Two Volume Set / S.C. Bhatia // Woodhead Publishing India, 2019. – 688 p. [https://books.google.kz/books/about/Rubber\\_Technology.html?id=D2moDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.kz/books/about/Rubber_Technology.html?id=D2moDwAAQBAJ&redir_esc=y)
6. Pérez-Botella E. Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future / E. Pérez-Botella, S. Valencia, F. Rey // Chem. Rev. – 2022. – № 122. – P. 17647–17695. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.2c00140>.
7. Flanigen E.M. Chapter 2 Zeolites and Molecular Sieves an Historical Perspective / M.F. Edith // Studies in Surface Science and Catalysis. – 2001. – V. 137. – P. 11-35. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167299101802433>.
8. Loewenstein W. The Distribution of Aluminum in the Tetrahedra of Silicates and Aluminates / W. Loewenstein // Am. Mineral. – 1954. – V. 39, № 1-2. – P. 92-96. <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-abstract/39/1-2/92/539331>.
9. Васильянова Л.С. Bentonиты в экологии / Л.С. Васильянова // Новости науки РК. – 2016. – № 3. – С. 70-101. <https://nv.nauka.kz/en/ximiya/bentonity-v-ekologii.php>.
10. Зонхоева Э.Л. Природные цеолиты Забайкалья: свойства и применение / отв. ред. А. М. Плюснин. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. – 192 с. <https://www.geokniga.org/books/28346>.
11. Обзор рынка природных цеолитов в СНГ. ООО «ИНФОМАЙН». – М.: Изд-е 2-е. – 2010. – 156 с. [https://www.marketing-services.ru/imgs/goods/838/rynok\\_ceolita.pdf](https://www.marketing-services.ru/imgs/goods/838/rynok_ceolita.pdf).
12. Колупаев В.А. Легенда о цеолите / В.А. Колупаев // Столыпинский вестник. Науки о Земле и смежные экологические науки. – 2022. – № 4. – С. 2241-2245. <https://cyberleninka.ru/article/n/legenda-o-tseolite/viewer>.
13. Компания «Таза Су» – Электронный ресурс: <http://www.taza-su.kz/> Дата обращения к сайту: 20.04.2021.
14. Magdalena Król. Natural vs. Synthetic Zeolites / Magdalena Król // Crystals. – 2020. – № 10 (7). – P. 622. <https://doi.org/10.3390/cryst10070622>.
15. Рабо Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах / Дж. Рабо. – 1 т. – М.: Мир, 1980. – 506 с. <https://vdoc.pub/documents/1-4u5g5i4ne2g0>.
16. Baerlocher Ch. Atlas of zeolite framework types / Ch. Baerlocher, W.M. Meier, D.H. Olson // Amsterdam – London – New York – Oxford – Paris – Shannon – Tokyo. – 2001. [https://www.iza-structure.org/books/Atlas\\_5ed.pdf](https://www.iza-structure.org/books/Atlas_5ed.pdf).
17. Yi Li. Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry / Yi Li, Lin Li, Jihong Yu. // Chem. – 2017. – V. 3, Issue 6, P. 928-949. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2017.10.009>.
18. Колесникова Л.Г. Ионный перенос в клиноптилолите: монография / Л.Г. Колесникова, С.В. Ланкин, В.В. Юрков – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2007. – 113 с. [https://www.geokniga.org/book\\_files/geokniga-ionnyy-perenos-v-klinoptilolite.pdf](https://www.geokniga.org/book_files/geokniga-ionnyy-perenos-v-klinoptilolite.pdf).
19. Kordala N. Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications / N. Kordala, M. Wyszowski. // Molecules. – 2024. – № 29(5). – P. 1069. <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>.
20. Algieri C. Zeolite membranes: Synthesis and applications / C. Algieri, E. Drioli // Separation and Purification Technology. – 2021. – V. 278. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119295>.
21. Комиссаренков А.А. Сорбционные технологии определение свойств сорбентов: учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы / А.А. Комиссаренков, О.В. Федорова. – СПбГТУРП. – СПб., 2015. – 44 с.

22. Interchain-expanded extra-large-pore zeolites / Zihao Rei Gao et al // Nature. – 2024. – V. 628/ – P. 99-103. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07194-6>.
23. Компания «Xinyang Shangtianti Xinzheng Cheng Mining Co., Ltd.» – Электронный ресурс: <http://kk.zeoliteperlite.com/>.
24. Камбарова Э.А. Адсорбция тяжелых металлов на модифицированной эпоксидной смолой поверхности шунгита и цеолита: Дис.: PhD: 6D060600 / Камбарова Эльмира Абдувалиевна. – Алматы, 2024. – 150 с. <https://i.twirpx.link/file/4179754/>.
25. Cataldo E. Application of Zeolites in Agriculture and Other potential Ures: A review / E. Cataldo, L. Salvi, G. Mattii // Agronomy-Basel. – 2021. – V. 11(8). – P. 1547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081547>.
26. Серых А.И. Формирование, природа и физико-химические свойства катионных центров в каталитических системах на основе высококремнеземных цеолитов: Дис. докт. хим. наук: 02.00.04: защищена 24.06.2014: утв. 06.08.2014 / Серых Александр Иванович. – М., 2014. – 347 с.
27. Ахалбедашвили Л.Г. Каталитические и ионообменные свойства модифицированных цеолитов и сверхпроводящих купратов: дис. докт. хим. наук: 02.00.04: защищена 2006 / Ахалбедашвили Лали Георгиевна. – Тбилиси, ТГУ, 2006. – 194 с.
28. Гордина Н.Е. Низкомодульные цеолиты: Структура, свойства, синтез / Н.Е. Гордина, В.Ю. Прокофьев. – М., Издательство: Красанд, 2018. – 234 с.
29. Горшунова К.К. Катионообменные формы оффретита. Синтез и свойства: дис. канд. хим. наук: 02.00.15: защищена 10.06.2015 / Горшунова Ксения Константиновна. – Уфа, ИНК РАН, 2015. – 109 с.
30. Ланкин С.В. Физические методы исследования адсорбции ПАУ пористыми материалами: Монография / С.В. Ланкин, В.А. Евдокимова, Л.П. Карацуба. – Благовещенск: БГПУ, 2013. – 148 с.
31. Механоактивационное воздействие на морфологию, кислотно-основные и сорбционные свойства клиноптилолитсодержащих пород / О.Н. Дабижа и др. // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2017. – № 41 (67). – С. 54-58.
32. Механохимическая модификация реакционной способности природных цеолитов / О.Н. Дабижа и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24, № 2. – С. 193-201. <https://doi.org/10.15372/KhUR20160211>.
33. Размахнин К.К. Современные технологии переработки и модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья: монография / К.К. Размахнин, А.Н. Хатькова; Забайкал. гос. ун-т. – Чита: ЗабГУ, 2014. – 310 с.
34. Ергожин Е.Е. Успехи в области модифицирования Казахстанских цеолитов / Е.Е. Ергожин, А.М. Акимбаева // Вестник КНУ. – 2004. – Сер. 3, Вып. 1. – С. 51-57.
35. Александрова В.С., Зыкова О.П., Марков Э.Я. и др. Журн. прикл. химии. – 2004. – № 1. – С. 32.
36. Шанқанай цеолітінің сорбциялық қасиеттеріне модификаторлар табиғатының әсері / Р.Ә. Қайыңбаева және т.б. // Химический журнал Казахстана. – 2021. – V.3, № 75. – С.36-46. <https://doi.org/10.51580/2021-1/2710-1185.37>.
37. Васильева С.Ю. Равновесная сорбция  $\alpha$ -токоферола на модифицированном клиноптилолите: Дис.канд.хим. наук: 02.00.04: защищена 27.03.2015 / Васильева Светлана Юрьевна. – Воронеж, 2014. – 137 с.
38. Шанқанай кен орнының модификацияланған цеолітінің сорбциялық сипаттамаларын зерттеу / Н.О. Джакипбекова и др. // «Әуезов оқулары-22: академик Қаныш Сәтбаев - Қазақстан ғылымының негізін қалаушы» академик Қаныш Сәтбаевтың 125 жылдығына арналған халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының еңбектері. – Шымкент: М. Әуезов атындағы ОҚУ, 2024. – 6 Т. – Б. 99-103.
39. Acid treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites / V. Tsitsishvili et al // Scientific Collection «InterConf», (138): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Science: Development and Factors its Influence» (December 26- 28, 2022; Amsterdam, Netherlands), InterConf. – 2022. – № 138. – P. 363-370. <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2096/2125>.
40. Dehydration and structural transformations during thermal treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites / V. Tsitsishvili et al // Scientific Collection «InterConf», (136): with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference

- «Scientific Paradigm in the Context of Technologies and Society Development» (December 16-18, 2022; Geneva, Switzerland), InterConf. – 2022. – № 136. – P. 356-364, <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1952/1981>.
41. Thermal treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites / V. Tsitsishvili et al // Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (January 19-20, 2023), Seattle, USA, InterConf. – 2023. – № 139. – P. 242-260. <https://archive.interconf.center/index.php/2709-4685/article/view/2139/2168>.
  42. Термическая стабильность природных смесей гейландит-шабазит / В. Цицишвили и др. // XV Международная конференция по переработке и переработке полезных ископаемых 17-19 мая 2023 г., Белград, Сербия. – С. 321-326.
  43. Delkash M. Using zeolitic adsorbents to cleanup special wastewater streams: A review / M. Delkash, B. Ebrazi Bakhshayesh, H. Kazemian // Microporous and Mesoporous Materials. – 2015. – V. 214. – P. 224-241. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.04.039>Get rights and content.
  44. Juliana de Carvalho Izidoro. Zeolites synthesized from agro-industrial residues applied in agriculture: A review and future prospects / Juliana de Carvalho Izidoro, Denise Alves Fungaro, Eleonora Cataldo // Soil Use and Management. – 2024. – V. 40, Issue 1. <https://doi.org/10.1111/sum.13003>, <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sum.13003>.
  45. Махаматжанов М.И. Утилизация цеолитовых отходов для использования на адсорбционной очистке природных газов / М.И. Махаматжанов, З.Х. Алимова, К.Э. Магадиев // Научный Импульс. – 2022. – V.1, № 4. – С. 839-226.
  46. Koohsaryan E. Application of zeolites as non-phosphate detergent builders: A review / E. Koohsaryan, M. Anbia, M. Maghsoodlu. // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2020. – V.8, Issue 5. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104287>.
  47. Facile Hydrothermal Synthesis of Hierarchical Sodium P Zeolite as a Nonphosphate Detergent Builder / E. Koohsaryan et al // Journal of Surfactants and Detergents. – 2021. – V. 24, Issue 1. <https://doi.org/10.1002/jsde.12452>.
  48. Integrated synthesis of zeolites 4A and Na-P1 using coal fly ash for application in the formulation of detergents and swine wastewater treatment / A.M. Cardoso et al // Journal of Hazardous Materials. – 2015. – V. 287. – P. 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.01.042>.
  49. Weitkamp J. Zeolites and catalysis / J. Weitkamp // Solid State Ionics. – 2000. – V. 131, Issues 1-2. – P.175-188. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(00\)00632-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(00)00632-9).
  50. Primo A. Zeolites as catalysts in oil refining / A. Primo, H. Garcia // Chemical Society Reviews. – 2014. – Issue 22. <https://doi.org/10.1039/C3CS60394F>.
  51. Rafiani A. Zeolite-encapsulated catalyst for the biomass conversion: Recent and upcoming advancements / A. Rafiani, D. Aulia, G.T.M. Kadja // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2024. – V.9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100717>.
  52. Zeolite-based catalysts for exergy efficiency enhancement: The insights gained from nanotechnology / M. Servatan et al // Materials Today: Proceedings. – 2018. – V. 5, Issue 7/ <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.05.086>.
  53. Nanosized ZSM-5 zeolites: Seed-induced synthesis and the relation between the physicochemical properties and the catalytic performance in the alkylation of naphthalene / Guang Wu et al // Microporous and Mesoporous Materials. – 2013. – V. 180. – P. 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.11.011>.
  54. Sustained release of doxorubicin from zeolite–magnetite nanocomposites prepared by mechanical activation / M. Arruebo et al // Nanotechnology. – 2006. – V. 17, Number 16. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/16/011>, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/17/16/011/meta>.
  55. Nanotechnology Based Solutions for Wastewater Treatment / A. Baruah et al // Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment. – 2019. – P. 337-368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00017-4>.
  56. de Magalhães L.F. Zeolite Application in Wastewater Treatment / L.F.de Magalhães, G.R. da Silva, A.E. Clark Peres // Sage Journals. – 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4544104>.
  57. Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use / K. Margeta et al // Water Treatment. – 2013. <https://doi.org/10.5772/50738>, <https://www.intechopen.com/chapters/41947>.

58. Разработка новых методов очистки воды от растворимых примесей тяжелых металлов / А.П. Ильин и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 3. – С. 40-44.
59. Хатькова А.Н. Модификация свойств цеолитов с целью расширения областей их применения / А.Н. Хатькова, К.К. Размахнин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 4. – С. 246-251.
60. Модифицирующие природные цеолиты для улучшения адсорбции тяжелых металлов / Э. Кулдеев и др. // Вода. – 2023. – № 15(12). – С. 2215.
61. Тунакова Ю.А. Использование природного цеолита для очистки вод / Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев, Г.Н. Габдрахманова // Ползуновский Вестник. – 2024. – № 1 – С.179-185. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.021>.
62. Влияние термической обработки на сорбционные характеристики цеолита применяемого в процессе очистки воды / М.А. Сейтжанова и др. // Горение и плазмохимия. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 173-179. [https://doi.org/10.18321/cpc21\(3\)173-179](https://doi.org/10.18321/cpc21(3)173-179).
63. PMA-Zeolite: Chemistry and Diverse Medical Applications / A. Bulog et al // Functional Biomaterials. – 2024. – № 15(10). – P. 296. <https://doi.org/10.3390/fib15100296>.
64. ООО «Цеолит-Трейд». Добыча и поставки – Электронный ресурс: <http://www.zeolite.spb.ru/> Дата обращения к сайту: 20.04.2021.
65. Afarani H.T. The Gas Separation Performance of Polyurethane – Zeolite Mixed Matrix Membranes / H.T. Afarani, M. Sadeghi, Ah. Moheb // Advances in Polymer Technology. – 2016. – V. 37, Issue 2. <https://doi.org/10.1002/adv.21672>.
66. Weckhuysen B.M. Recent advances in zeolite chemistry and catalysis / B.M. Weckhuysen, J. Yu // Royal Society of Chemistry. – 2015. <https://doi.org/10.1039/C5CS90100F>, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/cs/c5cs90100f>.
67. Pérez-Botella E. Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects / E. Pérez-Botella, S. Valencia, F. Rey // Chemical Reviews. – 2022. – V.122, Issue 24. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00140>.
68. Jingxiu Xie. Zeolite facilitates selective olefins production / Jingxiu Xie // Nature Nanotechnology. – 2022. – V.17. – P. 678–679. <https://www.nature.com/articles/s41565-022-01164-7>.
69. De Smedt C. Potential and actual uses of zeolites in crop protection / C. De Smedt, E. Someus, P. Spanoghe // Pest Management Science. – 2015. – V. 71, Issue10. – P. 1355-1367. <https://doi.org/10.1002/ps.3999>.
70. Использование модифицированного цеолита, обогащённого аминокислотами фирмы INAGROSA в качестве кормовой добавки для молочных коров / С.В. Дежаткина и др. Практические рекомендации. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2019. – 47 с.
71. de Jesús Ruíz-Baltazar Á. Advancements in nanoparticle-modified zeolites for sustainable water treatment: An interdisciplinary review / Á. de Jesús Ruíz-Baltazar // Science of The Total Environment. – 2024. – V. 946. – P. 174373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174373>.
72. Study on the Reaction Parameters on Transesterification of Rubber Seed Oil Using MgO/zeolite-A Catalyst / K.D. Pandiangan et al // Trends in Sciences. – 2023. – V. 20, № 8. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6480>.
73. Ramesh K. Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture / K. Ramesh, D.D. Reddy, Ch. Four // Advances in Agronomy. – 2011. – V. 113. – P. 219-241. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386473-4.00004-X>.
74. Potential and challenges of zeolite chemistry in the catalytic conversion of biomass / Th. Ennaert et al // Chem. Soc. Rev. – 2016. <https://doi.org/10.1039/c5cs00859j>. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/cs/c5cs00859j>.
75. Tailoring and Visualizing Macropores of the Zeolite Monolith to Reveal the Coke Resistance Performance for Bio-oil Hydrodeoxygenation / F. Gan et al // ACS Catalysis. – 2024. – № 14(17). – P. 13324-13333. <https://doi.org/10.1021/acscatal.4c02914>.
76. One-Pot Construction of Fe/ZSM-5 Zeolites for the Selective Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides by Ammonia / E. Yuan et al // Catalysis Science & Technology. – 2017. – № 7(14). – P. 3036-3044. <https://doi.org/10.1039/C7CY00724H>.
77. Encapsulating Palladium Nanoparticles Inside Mesoporous MFI Zeolite Nanocrystals for Shape-Selective Catalysis / T.-L. Cui et al // Angew. Chem., Int. Ed. – 2016. – № 55(32). – P. 9178-9182. <https://doi.org/10.1002/anie.201602429>.

78. Acetylene Hydrogenation Using Palladium Zeolite Catalysts / W.L. Kranich et al // *Appl. Catal.* – 1985. – № 13(2). – P. 257-267. [https://doi.org/10.1016/S0166-9834\(00\)81144-6](https://doi.org/10.1016/S0166-9834(00)81144-6).
79. Regulation of the Si/Al Ratios and Al Distributions of Zeolites and Their Impact on Properties / J. Li et al // *Chemical Science.* – 2023. – № 14(8). – P. 1935-1959. <https://doi.org/10.1039/D2SC06010H>.
80. Bregante D.T. Periodic Trends in Olefin Epoxidation over Group IV and V Framework-Substituted Zeolite Catalysts: A Kinetic and Spectroscopic Study / D.T. Bregante, D.W. Flaherty // *J. Am. Chem. Soc.* – 2017. – № 139(20). – P. 6888-6898. <https://doi.org/10.1021/jacs.7b01422>.
81. XRD, XAS, and IR Characterization of Copper-Exchanged Y Zeolite / G.T. Palomino et al // *J. Phys. Chem.* – 2000. – № 104(36). – P. 8641-8651 <https://doi.org/10.1021/jp000584r>.
82. Natural zeolite utilisation in pollution control: A review of applications to metals' effluents / S. Kesraoui-Ouki et al // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.* – 1994. – V.59, Issue 2. <https://doi.org/10.1002/jctb.280590202>.
83. Englert A.H. Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite / A.H. Englert, J. Rubio // *International Journal of Mineral Processing.* – 2004. – V.75, Issues 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2004.01.003>.
84. Effect of zeolite particle size on the performance of polymer-zeolite mixed matrix membranes / Birgül Ş. Et al // *Journal of Membrane Science.* – 2000. – V. 175, Issue 2. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)00423-3](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)00423-3).
85. Rad L.R. Zeolite-based composites for the adsorption of toxic matters from water: A review / L.R. Rad, M. Anbia // *Journal of Environmental Chemical Engineering.* – 2021. – V.9, Issue 5. – P. 106088. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106088>.
86. Catalytic effect of zeolite LTA on thermal degradation of polysulfone and kinetic analysis / Zh. Huang et al // *Advances in Polymer Technology.* – 2018. – V. 37, Issue 8. <https://doi.org/10.1002/adv.22156>, <https://onlinelibrary.Wiley.Com/doi/10.1002/adv.22156>.
87. Сагитова Г.Ф. Цеолитті қолдана отырып резина қоспаларына арналған құрама оқшаулаушы композицияларын әзірлеу: монография / Г.Ф. Сагитова // Шымкент:Издательский центр «Асем», 2021. – 160 с.
88. Zeolites for the environment / Q. Lang et al // *Green Carbon.* – 2024. – V. 2, Issue1. – P.12-32. <https://doi.org/10.1016/j.greenca.2024.02.007>.
89. Removal of ammonia nitrogen from rubber industry wastewater using zeolite as adsorbent / N. Nasir et al // *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences.* – 2019. – V. 15, № 6. – P. 862-866. [https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as\\_sdt=0%2C5&q=ZEOLITE+FOR+RUBBER+INDUSTRIY&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=ZEOLITE+FOR+RUBBER+INDUSTRIY&btnG=)
90. Ammoniacal nitrogen, chemical oxygen demand, and color reduction in rubber processing industry effluent using zeolite / A. Detho et al // *Desalination and Water Treatment.* – 2022. – V. 270. – P. 185-193. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624110818>.
91. Hamzani. Determining the proper-ties of semi-flexible pavement using waste tire rubber powder and natural zeolite / Hamzani // *Construction and Building Materials.* – 2021. – V. 266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121199>.
92. Pyrolysis of waste rubber tires with palladium doped zeolite / A. Hijazi et al // *Journal of Environmental Chemical Engineering.* – 2019. – V. 7, Issue 6. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103451>.
93. Effects of magnetically modified natural zeolite addition on the crosslink density, mechanical, morphological, and damping properties of SIR 20 natural rubber reinforced with nanosilica compounds / R. Murniati et al // *Jornal of Polymers Research.* – 2020. – V. 27, № 37. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10965-020-2013-0>.
94. Experimental Study on the Effect of Waste Rubber Powder and Zeolite Replacement on Cemented Sandy Soil / A. Karimi et al // *AUT Journal of Civil Engineering.* – 2024. [https://ajce.aut.ac.ir/article\\_5541.html](https://ajce.aut.ac.ir/article_5541.html).
95. Molecular sieving effect of the zeolite-filled silicone rubber membranes in gas permeation / M. Jia et al // *Journal of Membrane Science.* – 1991. – V. 57, Issues 2-3. – P. 289-292. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)80684-5](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)80684-5).
96. Application Characteristics of Zeolite-Based Stuffing for Nanofluidic Packer Rubber / Y. Zhang et al // *Energies.* – 2022. – № 15(21). – P. 7962. <https://doi.org/10.3390/en15217962>.

97. Application of Organic Amine Modified Natural Zeolite in Filling Natural Rubber / X. Chen et al // *Nanomaterials*. – 2022– № 12(16). – P. 2784. <https://doi.org/10.3390/nano12162784>.
98. Novel application of Zn-containing Zeolitic Imidazolate Frameworks in promoting the vulcanization and mechanical properties of natural rubber composites / X. Tian et al // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2023. – V. 140, Issue 33/ <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/10974628/2023/140/33>.
99. Solvent-free synthesized zeolites as compatibility agents in FKM rubber / D.I. Petkowicz et al // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2023. – V. 140, Issue 39. <https://doi.org/10.1002/app.54461>.
100. Substitution of carbon black by zeolite nanofillers in the rubber compounds substitution of carbon black by zeolite nanofillers in the rubber compounds / D. Ondrušová et al // *University Review*. – 2012. – V. 6, № 2. [https://ur.tnuni.sk/fileadmin/dokumenty/UR\\_V6\\_ISS2\\_63to66.pdf](https://ur.tnuni.sk/fileadmin/dokumenty/UR_V6_ISS2_63to66.pdf).
101. Controlled migration of oleic acid amide through adsorption on TS-1 zeolite for long-lasting anti-adhesive rubber composites / K. Li et al // *Materials Today Communications*. – 2024. – V. 41. – P. 110939. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110939>.
102. Предв. патент 10205 KZ, МПК C08L 9/02. Брекерная резиновая смесь / Ескараева Г.З., Сакибаева С.А., Хлебова С.В., Таутанов Х.Б. опубл. 15.04.2005, Бюлл. № 5. <https://kz.patents.su/patents/hlebova-svetlana-vasilevna>.

### References

1. Dik D.S. *Tekhnologiya reziny: Retsepturostroenie i ispytaniya. Nauchnye osnovy i tekhnologii* / D.S. Dik. – SPb, 2010. – 620 s. <https://1lib.sk/book/16384671/c41d5d>. (In Russian).
2. Issledovanie svoystv rezino-metallokorodnykh kompozitov v prisutstvii novykh promotorov adgezii / O.V. Karmanova i dr. // *Vestnik VGUIT*. – 2020. – T.82, №3. – S. 221-226. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-221-226>. (In Russian).
3. Modifitsirovannyi kremnekislotnyi napolnitel' kak promotor adgezii reziny k metallokordu / O.A. Krotova i dr. // *Klei. Germetiki. Nauka i tekhnologii*. – 2017. – № 6. – S. 31-36. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/21734>. (In Russian).
4. Wypych G. *Handbook Adhesion of Promoters* / G. Wypych // ChemTec Publishing. – 2023. – 321 s. <https://www.sciencedirect.com/book/9781774670187/handbook-of-adhesion-promoters>. (In English).
5. Bhatia S.C. *Rubber Technology: Two Volume Set* / S.C. Bhatia // Woodhead Publishing India, 2019. – 688 p. [https://books.google.kz/books/about/Rubber\\_Technology.html?id=D2moDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.kz/books/about/Rubber_Technology.html?id=D2moDwAAQBAJ&redir_esc=y). (In English).
6. Pérez-Botella E. Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future / E. Pérez-Botella, S. Valencia, F. Rey // *Chem. Rev.* – 2022. – № 122. – R. 17647–17695. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.2c00140>. (In English).
7. Flanigen E.M. Chapter 2 Zeolites and Molecular Sieves an Historical Perspective / M.F. Edith // *Studies in Surface Science and Catalysis*. – 2001. – V. 137. – R. 11-35. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167299101802433>. (In English).
8. Loewenstein W. The Distribution of Aluminum in the Tetrahedra of Silicates and Aluminates / W. Loewenstein // *Am. Mineral.* – 1954. – V. 39, № 1-2. – R. 92-96. <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-abstract/39/1-2/92/539331>. (In English).
9. Vasil'yanova L.S. Bentonity v ehkologii / L.S. Vasil'yanova // *Novosti nauki RK*. – 2016. – № 3. – S. 70-101. <https://nv.nauka.kz/en/ximiya/bentonity-v-ekologii.php>. (In Russian).
10. Zonkhoeva EH.L. Prirodnye tseolity Zabaikal'ya: svoystva i primeneniye / otv. red. A. M. Plyusnin. -Ulan-Udeh: Izd-vo BNTSSO RAN, 2018. – 192 s. <https://www.geokniga.org/books/28346>. (In Russian).
11. Obzor rynka prirodnnykh tseolitov v SNG. ООО «INFOMAIN». – M.: Izd-e 2-e. – 2010. – 156 s. [https://www.marketing-services.ru/imgs/goods/838/rynok\\_ceolita.pdf](https://www.marketing-services.ru/imgs/goods/838/rynok_ceolita.pdf). (In Russian).
12. Kolupaev V.A. Legenda o tseolite / V.A. Kolupaev // *Stolypinskii vestnik. Nauki o Zemle i smezhnye ehkologicheskie nauki*. – 2022. – № 4. – S. 2241-2245. <https://cyberleninka.ru/article/n/legenda-o-tseolite/viewer>. (In Russian).
13. Kompaniya «Taza SU» – Ehlektronnyi resurs: <http://www.taza-su.kz/> Data obrashcheniya k сайту: 20.04.2021. (In Russian).
14. Magdalena Król. Natural vs. Synthetic Zeolites / Magdalena Król // *Crystals*. – 2020. – № 10 (7). – R. 622. <https://doi.org/10.3390/cryst10070622>. (In English).

15. Rabo Dzh. Khimiya tseolitov i kataliz na tseolitakh / Dzh. Rabo. – 1 t. – M.: Mir, 1980. – 506 s. <https://vdoc.pub/documents/1-4u5g5i4ne2g0>. (In Russian).
16. Baerlocher Ch. Atlas of zeolite framework types / Ch. Baerlocher, W.M. Meier, D.H. Olson // Amsterdam – London – New York – Oxford – Paris – Shannon – Tokyo. – 2001. [https://www.iza-structure.org/books/Atlas\\_5ed.pdf](https://www.iza-structure.org/books/Atlas_5ed.pdf). (In English).
17. Yi Li. Applications of Zeolites in Sustainable Chemistry / Yi Li, Lin Li, Jihong Yu. // Chem. – 2017. – V. 3, Issue 6, R. 928-949. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2017.10.009>. (In English).
18. Kolesnikova L.G. Ionnyi perenos v klinoptilolite: monografiya / L.G. Kolesnikova, S.V. Lankin, V.V. Yurkov – Blagoveshchensk: Izd-vo BGPU, 2007. – 113 s. <https://www.geokniga.org/book/files/geokniga-ionnyy-perenos-v-klinoptilolite.pdf>. (In Russian).
19. Kordala N. Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications / N. Kordala, M. Wyszowski. // Molecules. – 2024. – № 29(5). – R. 1069. <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>. (In English).
20. Algieri C. Zeolite membranes: Synthesis and applications / C. Algieri, E. Drioli // Separation and Purification Technology. – 2021. – V. 278. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119295>. (In English).
21. Komissarenkov A.A. Sorbtsionnye tekhnologii opredelenie svoistv sorbentov: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vypolneniya kursovoi raboty / A.A. Komissarenkov, O.V. Fedorova. – SPBGTRP. – SPb., 2015. – 44 s. (In Russian).
22. Interchain-expanded extra-large-pore zeolites / Zihao Rei Gao et al // Nature. – 2024. – V. 628/ – P. 99-103. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07194-6>. (In English).
23. Kompaniya «Xinyang Shangtianti Xinzheng Cheng Mining Co., Ltd.» – Ehlektronnyi resurs: <http://kk.zeoliteperlite.com/>. (In Russian).
24. Kambarova E.H.A. Adsorbtsiya tyazhelykh metallov na modifitsirovannoi ehpoksidnoi smoloi poverkhnosti shungita i tseolita: Dis.: PhD: 6D060600 / Kambarova Ehl'mira Abduvalievna. – Almaty, 2024. – 150 s. <https://i.twirpx.link/file/4179754/>. (In Russian).
25. Cataldo E. Application of Zeolites in Agriculture and Other potential Ures: A review / E. Cataldo, L. Salvi, G. Mattii // Agronomy-Basel. – 2021. – V. 11(8). – R. 1547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081547>. (In Russian).
26. Serykh A.I. Formirovanie, priroda i fiziko-khimicheskie svoistva kationnykh tsentrov v kataliticheskikh sistemakh na osnove vysokokremnezemnykh tseolitov: Dis. dokt. khim. nauk: 02.00.04: zashchishchena 24.06.2014: utv. 06.08.2014 / Serykh Aleksandr Ivanovich. – M., 2014. – 347 s. (In English).
27. Akhalbedashvili L.G. Kataliticheskie i ionoobmennye svoistva modifitsirovan-nykh tseolitov i sverkhprovodyashchikh kupratov: dis. dokt. khim. nauk: 02.00.04: zashchishchena 2006 / Akhalbedashvili Lali Georgievna. – Tbilisi, TGU, 2006. – 194 s. (In Russian).
28. Gordina N.E. Nizkomodul'nye tseolity: Struktura, svoistva, sintez / N.E. Gordina, V.YU. Prokof'ev. – M., Izdatel'stvo: Krasand, 2018. – 234 s. (In Russian).
29. Gorshunova K.K. Kationoobmennye formy offretita. Sintez i svoistva: dis. kand. khim. nauk: 02.00.15: zashchishchena 10.06.2015 / Gorshunova Kseniya Konstantinovna. – Ufa, INK RAN, 2015. – 109 s. (In Russian).
30. Lankin S.V. Fizicheskie metody issledovaniya adsorbtsii PAU poristymi materialami: Monografiya / S.V. Lankin, V.A. Evdokimova, L.P. Karatsuba. – Blagoveshchensk: BGPU, 2013. – 148 s. (In Russian).
31. Mekhanoaktivatsionnoe vozdeistvie na morfologiyu, kislotno-osnovnye i sorbtsionnye svoistva klinoptilolitsoderzhashchikh porod / O.N. Dabizha i dr. // Izvestiya SPBGTI(TU). – 2017. – № 41 (67). – S. 54-58. (In Russian).
32. Mekhanokhimicheskaya modifikatsiya reaktsionnoi sposobnosti prirodnnykh tseolitov / O.N. Dabizha i dr. // Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya. – 2016. – T. 24, № 2. – S. 193-201. <https://doi.org/10.15372/KhUR20160211>. (In Russian).
33. Razmakhnin K.K. Sovremennye tekhnologii pererabotki i modifikatsii tse-olitsoderzhashchikh porod Vostochnogo Zabaikal'ya: monografiya / K.K. Razmakhnin, A.N. Khat'kova; Zabaikal. gos. un-t. – Chita: ZaBGU, 2014. – 310 s. (In Russian).
34. Ergozhin E.E. Uspekhi v oblasti modifitsirovaniya Kazakhstanskikh tseolitov / E.E. Ergozhin, A.M. Akimbaeva // Vestnik KNU. – 2004. – Ser. 3, Vyp. 1. – S. 51-57. (In Russian).
35. Aleksandrova V.S., Zyкова O.P., Markov E.H.YA. i dr. Zhurn. prikl. khimii. – 2004. – № 1. – S. 32. (In Russian).

36. Shankanai tseolitinin sorbtsiyalyk kasietterine modifi-katorlar tabigatynyn aseri / R.A. Kaiynbaeva zhane t.b. // *Khimicheskii zhurnal Kazakhstana*. – 2021. – V.3, № 75. – S.36-46. <https://doi.org/10.51580/2021-1/2710-1185.37>. (In Kazakh).
37. Vasil'eva S.YU. Ravnovesnaya sorbtsiya  $\alpha$ -tokoferola na modifitsirovannom klinoptilolite: Dis.kand.khim. nauk: 02.00.04: zashchishchena 27.03.2015 / Vasil'eva Svetlana Yur'evna. – Voronezh, 2014. – 137 s. (In Russian).
38. Shanplanai ken ornynyn modifikatsiyalangan tseolitinin sorbtsiyalyk sipattamalaryn zertteu / N.O. Dzhakipbekova i dr. // «Өuezov okulary-22: akademik Kanysh Satbaev – Kazakstan gylymynyn negizin kalaushy» akademik Kanysh Sətbaevtyн 125 zhyldygyna arналган khalykaralyk gylyml – tazhiribelik konferentsiyasynyn enbekteri. – Shymkent: M. Өuezov atyndagy OKU, 2024. – 6 T. – B. 99-103. (In Kazakh).
39. Acid treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites / V. Tsitsishvili et al // Scientific Collection «InterConf», (138): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Science: Development and Factors its Influence» (December 26-28, 2022; Amsterdam, Netherlands), InterConf. – 2022. – № 138. – R. 363-370. <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2096/2125>. (In English).
40. Dehydration and structural transformations during thermal treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites / V. Tsitsishvili et al // Scientific Collection «InterConf», (136): with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Scientific Paradigm in the Context of Technologies and Society Development» (December 16-18, 2022; Geneva, Switzerland), InterConf. – 2022. – № 136. – R. 356-364, <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1952/1981>. (In English).
41. Thermal treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites / V. Tsitsishvili et al // Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (January 19-20, 2023), Seattle, USA, InterConf. – 2023. – № 139. – R. 242-260. <https://archive.interconf.center/index.php/2709-4685/article/view/2139/2168>. (In English).
42. Termicheskaya stabil'nost' prirodnikh smesei geilandit-shabazit / V. Tsitsishvili i dr. // XV Mezhdunarodnaya konferentsiya po pererabotke i pererabotke poleznykh iskopaemykh 17-19 maya 2023 g., Belgrad, Serbiya. – S. 321-326. (In Russian).
43. Delkash M. Using zeolitic adsorbents to cleanup special wastewater streams: A review / M. Delkash, B. Ebrazi Bakhshayesh, H. Kazemian // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2015. – V. 214. – R. 224-241. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.04.039>Get rights and content. (In English).
44. Juliana de Carvalho Izidoro. Zeolites synthesized from agro-industrial residues applied in agriculture: A review and future prospects / Juliana de Carvalho Izidoro, Denise Alves Fungaro, Eleonora Cataldo // *Soil Use and Management*. – 2024. – V. 40, Issue 1. <https://doi.org/10.1111/sum.13003>, <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sum.13003>. (In English).
45. Makhamatzhanov M.I. Utilizatsiya tseolitovykh otkhodov dlya ispol'zovaniya na adsorbtsionnoi ochistke prirodnikh gazov / M.I. Makhamatzhanov, Z.KH. Alimova, K.EH. Magadiev // *Nauchnyi Impul's*. – 2022. – V.1, № 4. – S. 839-226. (In Russian).
46. Koohsaryan E. Application of zeolites as non-phosphate detergent builders: A review / E. Koohsaryan, M. Anbia, M. Maghsoodlu. // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. – V.8, Issue 5. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104287>. (In English).
47. Facile Hydrothermal Synthesis of Hierarchical Sodium P Zeolite as a Nonphosphate Detergent Builder / E. Koohsaryan et al // *Journal of Surfactants and Detergents*. – 2021. – V. 24, Issue 1. <https://doi.org/10.1002/jsde.12452>. (In English).
48. Integrated synthesis of zeolites 4A and Na-P1 using coal fly ash for application in the formulation of detergents and swine wastewater treatment / A.M. Cardoso et al // *Journal of Hazardous Materials*. – 2015. – V. 287. – P. 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.01.042>. (In English).
49. Weitkamp J. Zeolites and catalysis / J. Weitkamp // *Solid State Ionics*. – 2000. – V. 131, Issues 1-2. – R.175-188. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(00\)00632-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(00)00632-9). (In English).

50. Primo A. Zeolites as catalysts in oil refining / A. Primo, H. Garcia // *Chemical Society Reviews*. – 2014. – Issue 22. <https://doi.org/10.1039/C3CS60394F>. (In English).
51. Rafiani A. Zeolite-encapsulated catalyst for the biomass conversion: Recent and upcoming advancements / A. Rafiani, D. Aulia, G.T.M. Kadja // *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. – 2024. – V.9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100717>.
52. Zeolite-based catalysts for exergy efficiency enhancement: The insights gained from nanotechnology / M. Servatan et al // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – V. 5, Issue 7/ <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.05.086>. (In English).
53. Nanosized ZSM-5 zeolites: Seed-induced synthesis and the relation between the physicochemical properties and the catalytic performance in the alkylation of naphthalene / Guang Wu et al // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2013. – V. 180. – R. 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.11.011>. (In English).
54. Sustained release of doxorubicin from zeolite-magnetite nanocomposites prepared by mechanical activation / M. Arruebo et al // *Nanotechnology*. – 2006. – V. 17, Number 16. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/16/011>, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/17/16/011/meta>. (In English).
55. Nanotechnology Based Solutions for Wastewater Treatment / A. Baruah et al // *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment*. – 2019. – R. 337-368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00017-4>. (In English).
56. de Magalhães L.F. Zeolite Application in Wastewater Treatment / L.F. de Magalhães, G.R. da Silva, A.E. Clark Peres // *Sage Journals*. – 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4544104>. (In English).
57. Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use / K. Margeta et al // *Water Treatment*. – 2013. <https://doi.org/10.5772/50738>, <https://www.intechopen.com/chapters/41947>. (In English).
58. Razrabotka novykh metodov ochistki vody ot rastvorimyykh primesei tyazhelykh metallov / A.P. Il'in i dr. // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. – 2010. – T. 317, № 3. – S. 40-44. (In Russian).
59. Khat'kova A.N. Modifikatsiya svoystv tseolitov s tsel'yu rasshireniya oblastei ikh primeneniya / A.N. Khat'kova, K.K. Razmakhnin // *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. – 2011. – № 4. – S. 246-251. (In Russian).
60. Modifitsiruyushchie prirodnye tseolity dlya uluchsheniya adsorbtsii tyazhelykh metallov / E.H. Kuldeev i dr. // *Voda*. – 2023. – № 15(12). – S. 2215. (In Russian).
61. Tunakova YU.A. Ispol'zovanie prirodnogo tseolita dlya ochistki vod / YU.A. Tunakova, V.S. Valiev, G.N. Gabdrakhmanova // *Polzunovskii Vestnik*. – 2024. – № 1 – S.179-185. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.021>. (In Russian).
62. Vliyanie termicheskoi obrabotki na sorbtsionnye kharakteristiki tseolita primenyaemogo v protsesse ochistki vody / M.A. Seitzhanova i dr. // *Gorenie i plazmokhimiya*. – 2023. – T. 21, № 3. – S. 173-179. [https://doi.org/10.18321/cpc21\(3\)173-179](https://doi.org/10.18321/cpc21(3)173-179). (In Russian).
63. PMA-Zeolite: Chemistry and Diverse Medical Applications / A. Bulog et al // *Functional Biomaterials*. – 2024. – № 15(10). – R. 296. <https://doi.org/10.3390/jfb15100296>. (In English).
64. ООО «Тсеолит-Трейд». Добыча и поставки – Электронный ресурс: <http://www.zeolite.spb.ru/> Data obrashcheniya k сайту: 20.04.2021. (In Russian).
65. Afarani H.T. The Gas Separation Performance of Polyurethane – Zeolite Mixed Matrix Membranes / H.T. Afarani, M. Sadeghi, Ah. Moheb // *Advances in Polymer Technology*. – 2016. – V. 37, Issue 2. <https://doi.org/10.1002/adv.21672>. (In English).
66. Weckhuysen B.M. Recent advances in zeolite chemistry and catalysis / B.M. Weckhuysen, J. Yu // *Royal Society of Chemistry*. – 2015. <https://doi.org/10.1039/C5CS90100F>, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/cs/c5cs90100f>. (In English).
67. Pérez-Botella E. Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects / E. Pérez-Botella, S. Valencia, F. Rey // *Chemical Reviews*. – 2022. – V.122, Issue 24. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00140>. (In English).
68. Jingxiu Xie. Zeolite facilitates selective olefins production / Jingxiu Xie // *Nature Nanotechnology*. – 2022. – V.17. – R. 678–679. <https://www.nature.com/articles/s41565-022-01164-7>. (In English).
69. De Smedt C. Potential and actual uses of zeolites in crop protection / C. De Smedt, E. Someus, P. Spanoghe // *Pest Management Science*. – 2015. – V. 71, Issue10. – P. 1355-1367. <https://doi.org/10.1002/ps.3999>. (In English).

70. Ispol'zovanie modifitsi-rovannogo tseolita, obogashchennogo aminokislotami firmy INAGROSA v kachestve kormovoi dobavki dlya molochnykh korov / S.V. Dezhatkina i dr. Prakticheskie rekomendatsii. – Ul'yanovsk: Ul'yanovskii GAU, 2019. – 47 s. (In Russian).
71. de Jesús Ruíz-Baltazar Á. Advancements in nanoparticle-modified zeolites for sustainable water treatment: An interdisciplinary review / Á. de Jesús Ruíz-Baltazar // *Science of The Total Environment*. – 2024. – V. 946. – R. 174373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174373>. (In English).
72. Study on the Reaction Parameters on Transesterification of Rubber Seed Oil Using MgO/zeolite-A Catalyst / K.D. Pandiangan et al // *Trends in Sciences*. – 2023. – V. 20, № 8. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6480>. (In English).
73. Ramesh K. Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture / K. Ramesh, D.D. Reddy, Ch. Four // *Advances in Agronomy*. – 2011. – V. 113. – P. 219-241. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386473-4.00004-X>. (In English).
74. Potential and challenges of zeolite chemistry in the catalytic conversion of biomass / Th. Ennaert et al // *Chem. Soc. Rev.* – 2016. <https://doi.org/10.1039/c5cs00859j>. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/cs/c5cs00859j>. (In English).
75. Tailoring and Visualizing Macropores of the Zeolite Monolith to Reveal the Coke Resistance Performance for Bio-oil Hydrodeoxygenation / F. Gan et al // *ACS Catalysis*. – 2024. – № 14(17). – R. 13324-13333. <https://doi.org/10.1021/acscatal.4c02914>. (In English).
76. One-Pot Construction of Fe/ZSM-5 Zeolites for the Selective Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides by Ammonia / E. Yuan et al // *Catalysis Science & Technology*. – 2017. – № 7(14). – R. 3036-3044. <https://doi.org/10.1039/C7CY00724H>. (In English).
77. Encapsulating Palladium Nanoparticles Inside Mesoporous MFI Zeolite Nanocrystals for Shape-Selective Catalysis / T.-L. Cui et al // *Angew. Chem., Int. Ed.* – 2016. – № 55(32). – R. 9178-9182. <https://doi.org/10.1002/anie.201602429>. (In English).
78. Acetylene Hydrogenation Using Palladium Zeolite Catalysts / W.L. Kranich et al // *Appl. Catal.* – 1985. – № 13(2). – R. 257-267. [https://doi.org/10.1016/S0166-9834\(00\)81144-6](https://doi.org/10.1016/S0166-9834(00)81144-6). (In English).
79. Regulation of the Si/Al Ratios and Al Distributions of Zeolites and Their Impact on Properties / J. Li et al // *Chemical Science*. – 2023. – № 14(8). – R. 1935-1959. <https://doi.org/10.1039/D2SC06010H>. (In English).
80. Bregante D.T. Periodic Trends in Olefin Epoxidation over Group IV and V Framework-Substituted Zeolite Catalysts: A Kinetic and Spectroscopic Study / D.T. Bregante, D.W. Flaherty // *J. Am. Chem. Soc.* – 2017. – № 139(20). – R. 6888-6898. <https://doi.org/10.1021/jacs.7b01422>. (In English).
81. XRD, XAS, and IR Characterization of Copper-Exchanged Y Zeolite / G.T. Palomino et al // *J. Phys. Chem.* – 2000. – № 104(36). – R. 8641-8651 <https://doi.org/10.1021/jp000584r>. (In English).
82. Natural zeolite utilisation in pollution control: A review of applications to metals' effluents / S. Kesraoui-Ouki et al // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. – 1994. – V.59, Issue 2. <https://doi.org/10.1002/jctb.280590202>. (In English).
83. Englert A.H. Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite / A.H. Englert, J. Rubio // *International Journal of Mineral Processing*. – 2004. – V.75, Issues 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2004.01.003>. (In English).
84. Effect of zeolite particle size on the performance of polymer–zeolite mixed matrix membranes / Birgül Ş. Et al // *Journal of Membrane Science*. – 2000. – V. 175, Issue 2. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)00423-3](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)00423-3). (In English).
85. Rad L.R. Zeolite-based composites for the adsorption of toxic matters from water: A review / L.R. Rad, M. Anbia // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – V.9, Issue 5. – R. 106088. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106088>. (In English).
86. Catalytic effect of zeolite LTA on thermal degradation of polysulfone and kinetic analysis / Zh. Huang et al // *Advances in Polymer Technology*. – 2018. – V. 37, Issue 8. <https://doi.org/10.1002/adv.22156>, <https://onlinelibrary.Wiley.Com/doi/10.1002/adv.22156>. (In English).
87. Sagitova G.F. Tseolitti qoldana otyryp rezina qospalaryna arnalan qyrama oqshaulaushy kompozitsiyalaryn azirleu: monografiya / G.F. Sagitova // Shymkent:Izdatel'skii tsentr «AseM», 2021. – 160 s. (In Russian).
88. Zeolites for the environment / Q. Lang et al // *Green Carbon*. – 2024. – V. 2, Issue1. – R.12-32. <https://doi.org/10.1016/j.greenca.2024.02.007>. (In English).

89. Removal of ammonia nitrogen from rubber industry wastewater using zeolite as adsorbent / N. Nasir et al // Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2019. – V. 15, № 6. – R. 862-866. [https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as\\_sdt=0%2C5&q=ZEOLITE+FOR+RUBBER+INDUSTRY&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=ZEOLITE+FOR+RUBBER+INDUSTRY&btnG=) (In English).
90. Ammoniacal nitrogen, chemical oxygen demand, and color reduction in rubber processing industry effluent using zeolite / A. Detho et al // Desalination and Water Treatment. – 2022. – V. 270. – P. 185-193. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624110818>. (In English).
91. Hamzani. Determining the proper ties of semi-flexible pavement using waste tire rubber powder and natural zeolite / Hamzani // Construction and Building Materials. – 2021. – V. 266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121199>. (In English).
92. Pyrolysis of waste rubber tires with palladium doped zeolite / A. Hijazi et al // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2019. – V. 7, Issue 6. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103451>. (In English).
93. Effects of magnetically modified natural zeolite addition on the crosslink density, mechanical, morphological, and damping properties of SIR 20 natural rubber reinforced with nanosilica compounds / R. Murniati et al // Journal of Polymers Research. – 2020. – V. 27, № 37. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10965-020-2013-0>. (In English).
94. Experimental Study on the Effect of Waste Rubber Powder and Zeolite Replacement on Cemented Sandy Soil / A. Karimi et al // AUT Journal of Civil Engineering. – 2024. [https://ajce.aut.ac.ir/article\\_5541.html](https://ajce.aut.ac.ir/article_5541.html). (In English).
95. Molecular sieving effect of the zeolite-filled silicone rubber membranes in gas permeation / M. Jia et al // Journal of Membrane Science. – 1991. – V. 57, Issues 2-3. – P. 289-292. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)80684-5](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)80684-5). (In English).
96. Application Characteristics of Zeolite-Based Stuffing for Nanofluidic Packer Rubber / Y. Zhang et al // Energies. – 2022. – № 15(21). – R. 7962. <https://doi.org/10.3390/en15217962>. (In English).
97. Application of Organic Amine Modified Natural Zeolite in Filling Natural Rubber / X. Chen et al // Nanomaterials. – 2022– № 12(16). – R. 2784. <https://doi.org/10.3390/nano12162784>. (In English).
98. Novel application of Zn-containing Zeolitic Imidazolate Frameworks in promoting the vulcanization and mechanical properties of natural rubber composites / X. Tian et al // Journal of Applied Polymer Science. – 2023. – V. 140, Issue 33/ <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/10974628/2023/140/33>. (In English).
99. Solvent-free synthesized zeolites as compatibility agents in FKM rubber / D.I. Petkowicz et al // Journal of Applied Polymer Science. – 2023. – V. 140, Issue 39. <https://doi.org/10.1002/app.54461>. (In English).
100. Substitution of carbon black by zeolite nanofillers in the rubber compounds substitution of carbon black by zeolite nanofillers in the rubber compounds / D. Ondrušová et al // University Review. – 2012. – V. 6, № 2. [https://ur.tnuni.sk/fileadmin/dokumenty/UR\\_V6\\_ISS2\\_63to66.pdf](https://ur.tnuni.sk/fileadmin/dokumenty/UR_V6_ISS2_63to66.pdf). (In English).
101. Controlled migration of oleic acid amide through adsorption on TS-1 zeolite for long-lasting anti-adhesive rubber composites / K. Li et al // Materials Today Communications. – 2024. – V. 41. – R. 110939. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110939>. (In English).
102. Predv. patent 10205 KZ, MPK C08L 9/02. Brekernaya rezinovaya smes' / Eskaraeva G.Z., Sakibaeva S.A., Khlebova S.V., Tautanov KH.B. opubl. 15.04.2005, Byull. № 5. <https://kz.patents.su/patents/hlebova-svetlana-vasilevna>. (In Russian).

**А.О. Оразымбетова<sup>1</sup>, Г.Ф. Сагитова<sup>1\*</sup>, А.С. Сидиков<sup>2</sup>, С.А. Сакибаева<sup>1</sup>, А.Б.Иса<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова,  
160012, Республика Казахстан г.Шымкент, пр.Тауке хана, 5

<sup>2</sup>Филиал Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина, Республика  
Узбекистан, г. Ташкент

\*e-mail: guzalita.f1978@mail.ru

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ (ОБЗОР)**

*Цеолиты, благодаря уникальным свойствам, имеют обширную сферу применения. Наполнители являются одним из важнейших компонентов рецептур резиновых смесей, позволяющих эффективно воздействовать на комплекс химических, технологических, физико-*

механических и экономических показателей резин. Особое место в этом классе наполнителей занимает цеолит. Целью настоящего обзора является анализ имеющихся работ по изучению свойств и применению цеолитов для дальнейшего исследования их в качестве промотирующей системы. В последние годы проводятся активные исследования по созданию новых типов промотирующих систем на основе минерального сырья. Характерной особенностью неорганических промоторов адгезии является их способность медленно выделять ионы металла, что положительно сказывается на эффективности крепления резин к латунированному металлу при эксплуатации. Это позволяет вводить соли металлов в значительных дозировках без нежелательных эффектов, особенно минеральным, что вызвано, главным образом, относительной дешевизной исходного сырья. В этом аспекте цеолиты давно привлекают внимание исследователей как минералы, обладающие специфическими свойствами и структурными особенностями. Из всех известных в природе более 52 минеральных видов и разновидностей цеолитов только некоторые удовлетворяют требованиям для использования в практических целях, а именно образуют крупные, почти мономинеральные концентрации и одновременно обладают соответствующими полезными свойствами: высокой адсорбционной способностью, катионной емкостью, и кислото- и термостойкостью. Цеолиты можно считать сырьем многоцелевого назначения из-за разнообразия вещественного и химического составов, текстурных и структурных показателей, физико-механических и адсорбционных свойств. А для успешного применения любого минерального сырья в различных отраслях промышленности необходимо детальное изучение их текстурно-структурных характеристик, а также поиск новых путей повышения полезных свойств современными технологическими методами и приемами.

**Ключевые слова:** цеолит, природный минерал, резиновая смесь, промотор адгезии, клиноптилолит, каркас, пористый.

**A.O. Orazymbetova<sup>1</sup>, G.F. Sagitova<sup>1\*</sup>, A.S. Sidikov<sup>2</sup>, S.A. Sakibayeva<sup>1</sup>, A.B. Issa<sup>1</sup>**

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

160012, Shymkent, Republic of Kazakhstan, Tauke Khan ave., 5

<sup>2</sup>Branch of the Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

\*e-mail: guzalita.f1978@mail.ru

## THE POSSIBILITIES OF USING ZEOLITES IN VARIOUS FIELDS (REVIEW)

*Zeolites, due to their unique properties, have a wide range of applications. Fillers are one of the most important components of rubber compound formulations, allowing effective impact on the complex of chemical, technological, physical-mechanical and economic indicators of rubbers. Zeolite occupies a special place in this class of fillers. The purpose of this review is to analyze existing works on the study of the properties and application of zeolites for their further study as a promoting system. In recent years, active research has been carried out to create new types of promotional systems based on mineral raw materials. A characteristic feature of inorganic adhesion promoters is their ability to slowly release metal ions, which has a positive effect on the efficiency of fastening rubber to brass-plated metal during operation. This makes it possible to introduce metal salts in significant dosages without undesirable effects, especially mineral ones, which is caused mainly by the relative cheapness of the feedstock. In this aspect, zeolites have long attracted the attention of researchers as minerals with specific properties and structural features. Of all the more than 52 mineral species and varieties of zeolites known in nature, only a few meet the requirements for use for practical purposes, namely, they form large, almost monomineral concentrations and at the same time have the corresponding useful properties: high adsorption capacity, cation capacity, acid and heat resistance. Zeolites can be considered a multi-purpose raw material due to the diversity of material and chemical compositions, textural and structural characteristics, physical, mechanical and adsorption properties. And for the successful use of any mineral raw materials in various industries, a detailed study of their textural and structural characteristics is necessary, as well as a search for new ways to increase beneficial properties using modern technological methods and techniques.*

**Key words:** zeolite, natural mineral, rubber compound, adhesion promoter, clinoptilolite, frame, porous.

## Авторлар туралы мәліметтер

**Альмира Омаркызы Оразымбетова** – «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының PhD докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: almira.oao1976@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5325-7673>.

**Гузалия Фаритовна Сагитова\*** – техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: guzalita.f1978@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>.

**Абдужалол Сидикович Сидиков** – Химия ғылымының докторы, «Жалпы химия, мұнай және газ химиясы» кафедрасының профессоры, И.М. Губкин атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің филиалы, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы; e-mail: sidikov\_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

**Сауле Абдразақовна Сакибаева** – техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: saule.sakibayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8697-9309>.

**Азиза Бакытжановна Иса** – PhD доктор, «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: isa.aziza@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0897-3846>.

#### Сведения об авторах

**Альмира Омаркызы Оразымбетова** – PhD докторант кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: almira.oao1976@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5325-7673>.

**Гузалия Фаритовна Сагитова\*** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: guzalita.f1978@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>.

**Абдужалол Сидикович Сидиков** – доктор химических наук, профессор кафедры «Общая химия, химия нефти и газа» филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, г. Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: sidikov\_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

**Сауле Абдразақовна Сакибаева** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: saule.sakibayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8697-9309>.

**Азиза Бакытжановна Иса** – PhD доктор, старший преподаватель кафедры «Химия и фармацевтическая инженерия» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г.Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: isa.aziza@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0897-3846>.

#### Information about the authors

**Almira Orazymbetova** – PhD doctoral student of the chair «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: almira.oao1976@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5325-7673>.

**Guzaliya Sagitova\*** – Candidate of technical sciences, Professor of the chair «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: guzalita.f1978@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>.

**Abdujalol Sidikov** – Doctor of Chemical Sciences, Professor, of the Department «General Chemistry, Chemistry of Oil and Gas» branch of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) branch in Tashkent, Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: sidikov\_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

**Saule Sakibayeva** – Candidate of technical sciences, Professor of the chair «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: saule.sakibayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8697-9309>.

**Aziza Issa** – PhD doctor, Senior Lecturer «Chemistry and Pharmaceutical Engineering» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: isa.aziza@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0897-3846>.

*Редакцияға енуі 06.01.2025*

*Өңдеуден кейін түсуі 06.03.2025*

*Жариялауға қабылданды 11.03.2025*