

Сведения об авторах

Диас Рустемұлы Мулдаш* – Сатбаев Университет, научный сотрудник лаборатории инженерного профиля; e-mail: muldashevdiash@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2883-261X>.

Айдын Рустемович Кажмуратов – Сатбаев Университет, научный сотрудник лаборатории инженерного профиля; e-mail: kazak4458@gmail.com.

Жансерик Тылеубердыұлы Кули – Сатбаев Университет, научный сотрудник лаборатории инженерного профиля; e-mail: kuliev.zhanserik@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>.

Альжан Жулдасович Байменов – PhD, Ассоциированный профессор, Сатбаев Университет, старший научный сотрудник лаборатории инженерного профиля; e-mail: a.baimenov@sci.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6509-2087>.

Сейтхан Азат – PhD, профессор, Сатбаев Университет, руководитель лаборатории инженерного профиля; e-mail: seytghan.azat@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3858-9477>.

Information about the authors

Dias Rustemuly Muldash* – Satbayev University, Researcher, Engineering Profile Laboratory; e-mail: muldashevdiash@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2883-261X>

Aydyn Rustemovich Kazhmuratov – Satbayev University, Researcher, Engineering Profile Laboratory; e-mail: kazak4458@gmail.com

Zhanserik Tileuberdiuly Kuli – Satbayev University, Researcher, Engineering Profile Laboratory; e-mail: kuliev.zhanserik@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5726-7899>.

Alzhan Zhuldasovich Baimenov – PhD, Associate Professor, Satbayev University, Senior Researcher, Engineering Profile Laboratory; e-mail: a.baimenov@sci.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6509-2087>.

Seytkhan Azat – Satbayev University, Head of the Engineering Laboratory; e-mail: seytghan.azat@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3858-9477>.

Поступила в редакцию 05.01.2026

Поступила после доработки 05.03.2026

Принята к публикации 06.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-82](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-82)

MPHTI: 61.63.31



**А.О. Оразымбетова¹, Г.Ф. Сагитова^{1*}, А.С. Сидиков², С.А. Сакибаева¹,
А.Ж. Суйгенбаева¹**

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тауке хан даңғылы, 5

²И.М. Губкин атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің филиалы,
Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Дурмон йули көшесі, 34

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

ШАҢҚАНАЙ КЕН ОРНЫ ЦЕОЛИТТЕРІН РЕЗИНА ӨНДІРІСІНДЕ ҚОЛДАНУ

Аннотация: Бұл мақалада Шанқанай кен орнының табиғи және белсендірілген цеолиттерін резина қоспаларының толықтырғышы ретінде жүргізілген зерттеу нәтижелері ұсынылған. Минералды қоспалардың эластомерлердің қасиеттеріне әсерін талдауға бағытталған кең ауқымды ғылыми зерттеулердің нәтижелері зерттеудің осы саласының жоғары әлеуеті мен болашақта даму мүмкіндіктерін растайды. Стандартты жағдайда резина матрицасына минералды қоспаларды енгізу іс-жүзінде қолдану сипаттамаларын жақсартуға жағдай жасайды, яғни материалдың құнын төмендетуге, оның серпімділік және беріктік қасиеттерін жақсартуға және технологиялық қасиеттерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бұл жұмыстың мақсаты – резина қоспаларының барлық қажетті қасиеттерін сақтай отырып, қымбат толықтырғыштарды қол жетімді баламалармен алмастыру. Беріктік, серпімділік, ескіруге төзімділік және басқа да маңызды көрсеткіштерін сақтай отырып алмастырғыштарды енгізу басты басымдық болып табылады, бұл өнім сапасын жоғалтпай шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Сондықтан, ұсынылған

©А.О. Оразымбетова, Г.Ф. Сагитова, А.С. Сидиков, С.А. Сакибаева, А.Ж. Суйгенбаева, 2026

ингредиенттер дайын өнімнің стандартқа сәйкестігі мен қолдану талаптарын орындауы үшін ұқсас немесе жақсартылған қасиеттерді қамтамасыз етуі қажет. Бұл зерттеудің нысандары – Шанқанай кен орнынан алынған цеолиттер және диэлектрлік төсеніштерді өндіру үшін қолданылатын резиналар, олар жоғары электр оқшаулағыш қасиетке мен механикалық беріктікке ие болуы қажет.

Ұнтақталған цеолиттік үлгілердің элементтік құрамын анықтау үшін энергия дисперсиялық спектроскопия қолданылды. Бұл ақпарат өте маңызды, себебі ол бізге цеолиттердің резина өндірісінде толықтырғыш ретіндегі тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Эксперименттік зерттеу нәтижесі, ақ күйені (40 масс.б.) Шанқанай кен орнының табиғи және белсендірілген цеолитімен ішінара алмастыру арқылы алынған вулканизаттардың қанағаттанарлықтай физика-механикалық қасиеттерге ие екенін көрсетті. Бұл резина өндірісінде табиғи және белсендірілген цеолиттерді пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашады, яғни шығындарды азайтуға және вулканизат сапасын жақсартуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: толықтырғыш, табиғи цеолит, белсендірілген цеолит, ақ күйе, резина қоспасы, шартты беріктік, салыстырмалы ұзаруы.

1 Кіріспе

Соңғы жылдары әртүрлі металдардың алюмосиликаттарымен үйлескен кремний диоксиді бар минералды толықтырғыштарды (бентониттер, волластониттер, цеолиттер) резина құрамында қолдануға қызығушылық айтарлықтай өсті [1].

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 [2, 3].

Цеолиттер – SiO_4 және AlO_4 иондарынан тұратын тетраэдрлік кристалдық тормен ұсынылған ерекше құрылыммен сипатталатын микрокеуекті, табиғи немесе синтетикалық алюмосиликатты материалдар. Аталған минералдың құрамындағы кремний оксидінің көп мөлшерде болуы химиялық белсенділігін арттырады және олардың бірегей кеуекті қасиеттерінің арқасында әр түрлі салаларда қолданылады [4-6]. Ол сондай-ақ жоғары беттік белсенділікпен және қосымша байланыстарды қалыптастыру қабілетімен ерекшеленеді, бұл цеолиттің полифункционалды әрекеті резина ингредиенттері үшін тиімді әрі перспективалы болып табылады. Авторлар [7,8] Шанқанай кен орны цеолитін резина қоспасына толықтырғыш ретінде қолданып, нәтижелі көрсеткіштерін қарастырған.

Қазіргі уақытта резина қоспаларының кейбір дәстүрлі ингредиенттерін, мысалы, ақ күйені, цеолит сияқты қолжетімді және уыттылығы аз минералды толықтырғыштармен алмастыруды зерттеу маңызды [9]. Себебі қазіргі таңда резина өнеркәсібі күрделі техника – экономикалық қиындықтарға тап болып отыр, оларға өнім сапасын арттыру, шикізатты үнемдеу және еңбек жағдайларын жақсарту қажет [7].

Авторлардың [10-13] еңбектерінде цеолиттердің құрылымы мен құрамы, сондай-ақ олардың қолданылуы кеңінен қарастырылған.

«Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасы цеолитті резина өнеркәсібінде толықтырғыш ретінде пайдалану бойынша көптеген зерттеулер жүргізген [9, 14, 15]. Зерттеудің мақсаты осы табиғи минералды әртүрлі өндірістік процестерде жиі қолданылатын дәстүрлі ұнтақ толықтырғыштар мен модификаторлардың орнына пайдаланудың мүмкіндігін анықтау болатын. Орындалған жұмыстардың қарқынды әрекеті өнімдердің функционалды сипаттамаларын жақсартумен қатар, өндіріс шығындарын азайтуға бағытталады, сонымен қатар осы саладағы ғылыми дамуды қамтамасыз етеді.

Еңбек жағдайларын және өндірістің экологиялық тазалығын жақсартудың, атап айтқанда, өндірістік жағдайда шаңдануды азайтудың балама жолдарының бірі – Қазақстан Республикасының Шанқанай кен орындарынан алынған цеолитті пайдалану [7].

2. Эксперименттік бөлім

Зерттеу нысаны:

- табиғи цеолит (Шанқанай кен орны, Кербұлақ ауданы, Алматы облысы);
- белсендірілген цеолит (тұз қышқылымен өңделген, күйдірілген);
- диэлектрлік төсеніштер дайындауға арналған резина қоспасы «Эко-Шина» ЖШС.

Тәжірибелік ыдыстар мен қондырғылар: конустық колбалар 250 мл, шыны таяқша, сүзгі қағаздары, өлшеуіш колбалар, аналитикалық таразы, муфель пеші, електер (саңылаулары 0,07-0,08;), су моншасы.

Шанканай кен орнының цеолитін тазарту келесі әдістеме бойынша жүргізілді: 3 литрлік стакандарға салынған 1,25 мм (0,5 кг) цеолитке 2 литр дистилденген су бірнеше рет құйылып, шыны таяқшамен араластыру арқылы тазартылған цеолит сүзгі қағаз арқылы өткізілді (жуу ұзақтығы 1-2 күн).

Цеолиттерді термиялық және химиялық өңдеу олардың қасиеттерін мақсатты түрде өзгертуге мүмкіндік береді [4].

Цеолитті термиялық өңдеу дайындалған үлгілерді (жуылған және кептірілген цеолит) 100°C температурада күйдіру арқылы 400/410 муфель пешінде жүргізілді (Naberthem, Carl Stuart Group), бөлшектердің мөлшері 1,0-1,4 мм болатын цеолит үлгілері 100 г мөлшерінде ыстыққа төзімді дөңгелек түпті фарфор ыдыста муфель пешіне орналастырылды, статикалық жағдайда 100°C температурада 1 сағат бойы термиялық өңдеуден өтті, содан кейін термиялық өңделген цеолиттер толық салқындағанша CaCl_2 бар эксикаторларға орналастырылды [4].

Термиялық өңдеуден кейін цеолиттердің кеуектерінің ішін қоспалардан тазартып, арналарын кеңейту мақсатында 1,0 н тұз қышқылының ерітіндісімен өңдедік, процесс 1-1,5 сағат, 80-90°C су моншасында жүзеге асырылды.

Өңделген цеолиттерді тазартып сүзу процесі сүзгі қағазында дистилденген сумен бірнеше рет шаю хлор атомынан тазарғанша жүргізілді (күміс нитратының ерітіндісі арқылы Cl^- атомынан тазаруын анықтадық), алдымен бөлме температурасында, содан соң 95°C термошкафта кептірілді [4, 16-18].

Бұл жұмыстың мақсаты табиғи цеолитті термиялық және химиялық өңдеу арқылы полифункционалды әрекеттегі резина қоспасына арналған толықтырғыштар алу болып табылады.

Толықтырғыштар ретінде табиғи цеолит пен белсендірілген цеолит қолданылады. Термиялық және тұз қышқылымен өңделген цеолитті белсендірілген цеолит ретінде қарастырамыз.

Жұмыста зерттелетін үлгілердің физика-химиялық қасиеттерін анықтау үшін келесі құрылғылар қолданылды: Piketechnologies фирмасы, ShimadzuIRPrestige-21 сканерлейтін электронды микроскопия (Quanta 200i 3D, FEI Company, АҚШ) [4].

Табиғи, белсендірілген цеолиттерді толықтырғыш ретінде сынау үшін диэлектрлік төсеніштер жасауға арналған эталондық резина қоспалары қолданылды.

Диэлектрлік төсеніштер жасауға арналған қондырғылар: CM 320 160/160 типті біліктеу машинасы, RDE 800x800 вулканды пресі.

Зерттелетін резинаның параметрлік көрсеткіштері мен физика-механика-лық қасиеттері МЕСТ 270-84 бойынша анықталды:

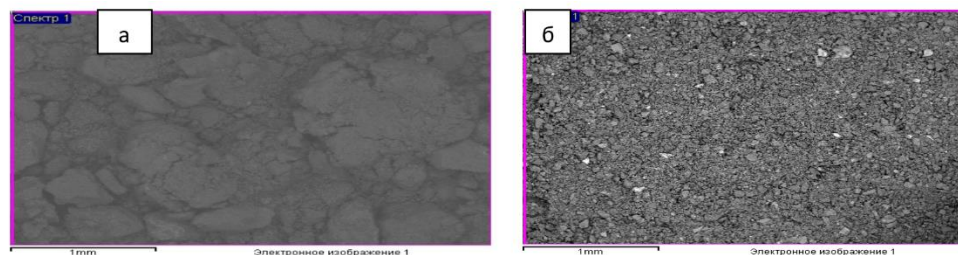
– Үлгілердің серпімді беріктік сипаттамалары МЕСТ 4997 бойынша РМИ – 60 үзу машинасында анықталды.

– Шор А бойынша қаттылығы (МЕСТ 4997).

3. Нәтижелер және талқылау

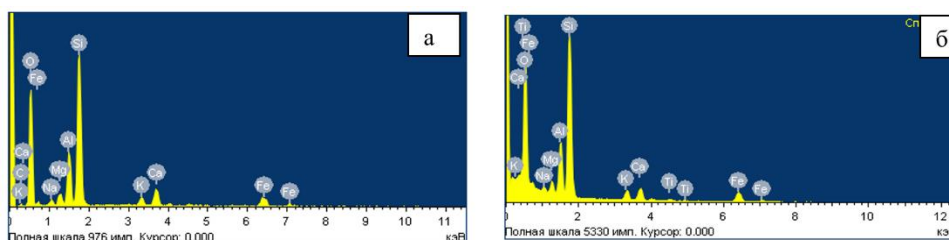
Цеолиттің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

Цеолиттер бетінің көрінісі сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) арқылы алынды. СЭМ – талдау нәтижелеріне сәйкес, цеолиттер бетінде айтарлықтай өзгерістер байқалады (1 сурет), яғни табиғи цеолит пен белсендірілген цеолит (термиялық және химиялық өңделген цеолит) бетінің морфологиясы да өзгеріске ұшырағаны 1 суретте келтірілген.



Сурет 1 – Цеолиттердің микрофотографиясы:
а – табиғи цеолит, б – белсендірілген цеолит

Зерттелетін цеолит үлгілерінің энергия дисперсиялық спектрлері 2 суретте, ал элементтік құрамдары 1 кестеде келтірілген.



Сурет 2 – Цеолиттердің энергия дисперсиялық спектрлері:
а – табиғи цеолит, б – белсендірілген цеолит

2 суреттегі цеолиттердің энергия дисперсиялық спектрлері мен 2 кестедегі олардың элементтік құрамының сәйкестігі оларды элементтік талдау нәтижесін анықтауға мүмкіндік береді. Суреттерде а – үлгісінде табиғи цеолиттің құрамы: көміртегі оттегі, кремний, алюминий және темір элементтерінің үлкен пайыздық көрсеткішін, ал Na, Mg, K, Ca, Ti металдардың аз мөлшері болатыны анықталды.

Ал б – үлгісінде белсендірілген цеолит термиялық өңдеу нәтижесінде көміртегі атомы жойылғаны анықталды және қатардағы элементтердің мөлшері өзгеріске ұшырағаны байқалады.

Кесте 1 – Зерттелетін цеолит үлгілерінің элементтік құрамы

Табиғи цеолит		Белсендірілген цеолит	
Элемент	Салмақтық %	Элемент	Салмақтық %
C	4,89	-	-
O	50,84	O	52,43
Na	1,56	Na	1,16
Mg	1,95	Mg	1,80
Al	7,41	Al	7,34
Si	21,92	Si	25,86
K	1,61	K	1,81
Ca	3,98	Ca	2,80
Fe	5,84	Fe	6,15
-	-	Ti	0,65
Барлығы	100	Барлығы	100

Кесте 2 – Диэлектрлік төсеніштер жасауға арналған, құрамында табиғи цеолиті бар резина қоспаларының рецепті

Ингредиенттердің атауы	Каучуктың 100 масс. б. шаққандағы масс. б.					
	Эталон	1 нұсқа	2 нұсқа	3 нұсқа	4 нұсқа	5 нұсқа
СКМС – 30 АРКМ 15	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Техникалық күкірт	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Сульфенамид Ц	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Тиурам	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Мырышты ақ күйе	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Стеарин	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Микровоск	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ПН-6Ш майы	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Бор	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0
Пигмент	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Ақ күйе БС-120	40,0	30,0	20,0	10,0	-	5,0
Табиғи цеолит	-	10,0	20,0	30,0	40,0	45,0
Барлығы	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	300,0

ИҚ-спектроскопия зерттелетін сынаманың құрылымы мен басқа қасиеттері туралы сипаттайды және олардың өзгерісі туралы мәлімет береді. Шанқанай кен орны табиғи цеолитінің ИҚ-спектрі [3] мақалада келтірілген.

Жоғары беттік белсенділігі және қосымша байланыстар түзу қабілетіне байланысты цеолит тек толықтырғыш ретінде ғана емес, сонымен қатар белсенді компонент ретінде де

әрекет етеді, яғни резинаның физика-механикалық қасиеттерін жақсартады, атап айтсақ резинаның шартты беріктігін, тозуға төзімділігін және салыстырмалы ұзаруын, қаттылығын, сонымен қатар басқа да негізгі қасиеттерін жақсартуға, шығындарды азайтуға және соңғы өнімнің сапасын жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Өртүрлі салаларда қолданылатын диэлектрлік төсеніштер жоғары беріктік пен механикалық зақымға төзімділікті талап етеді, сондықтан бұл зерттеу жұмысының маңызы өте зор. Цеолиттің толықтырғыш ретінде резинаға әсерін терең зерттеу жоғары сапалы және қауіпсіз өнімдер шығаруға бағытталады, бұл олардың тұтынушылық қасиеттерін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар қоршаған орта қауіпсіздігіне де ықпал ететіні анық. Осылайша, осы саладағы ғылыми-зерттеу нәтижелері резина бұйымдарының сапасы мен қолжетімді құндылығын арттыру үшін жаңа жол ашуға мүмкіндік береді [9].

Диэлектрлік төсеніштерге арналған эталондық және сыналатын резина қоспаларының рецептілері 2, 3 кестелерде келтірілген.

Кесте 3 – Диэлектрлік төсеніштер жасауға арналған, құрамында белсендірілген цеолиті бар резина қоспаларының рецепті

Ингредиенттердің атауы	Каучуктың 100 масс. б. шаққандағы масс. б.					
	Эталон	1 нұсқа	2 нұсқа	3 нұсқа	4 нұсқа	5 нұсқа
СКМС –30 АРКМ 15	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Техникалық күкірт	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Сульфенамид Ц	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Тиурам	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Мырышты ақ күйе	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Стеарин	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Микровоск	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ПН-6Ш майы	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Бор	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0
Пигмент	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Ақ күйе БС-120	40,0	30,0	20,0	10,0	-	5,0
Белсендірілген цеолит	-	10,0	20,0	30,0	40,0	45,0
Барлығы	290,0	290,0	290,0	290,0	290,0	300,0

Диэлектрлік төсеніштерге арналған резина қоспаларын дайындау «Эко-Шина» ЖШС жүргізілді, Өндіріс стандартқа сай жұмыс жасайды, техника-қауіпсіздік ережелерін қатаң сақталады.

Резина қоспаларын араластыру екі кезеңде жүргізілді: онда басқа компоненттермен оңтайлы өзара әрекеттесуді қамтамасыз ету үшін бірінші араластыру кезеңінде цеолит қосылады, олар 20 минут бойы 65°C температурада білікте араластырылады. Екінші кезеңде аталған температурада вулкандану агенттері қосылып араластыру ұзақтығы 5 минутты құрады.

Дайын болған резина қоспаларын вулкандану пресінде 155°C температурада 15-20 минут жүргізілді. Сыналатын үлгілердің (вулканизаттардың) физика-механикалық қасиеттерін «Эко-Шина» ЖШС анықталды.

Құрамында табиғи цеолиті бар вулканизаттардың физика-механикалық қасиеттері 4 кестеде келтірілген. Ал құрамында белсендірілген цеолиті бар вулканизаттардың физика-механикалық қасиеттері 5 кестеде келтірілген.

Кесте 4 – Құрамында табиғи цеолиті бар вулканизаттардың физика-механикалық қасиеттері (МЕСТ 4997)

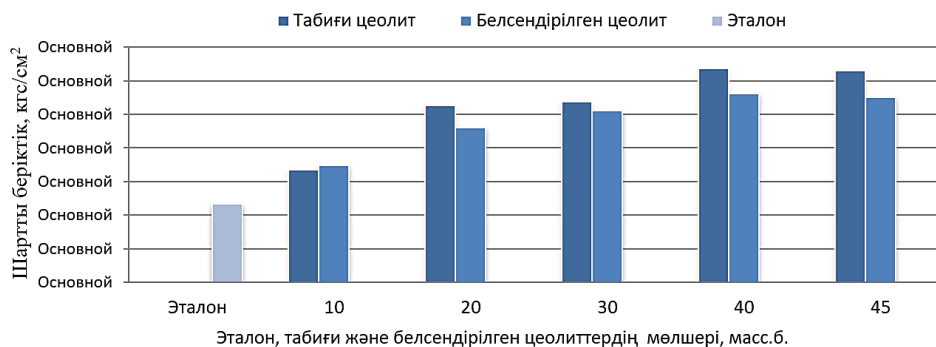
Көрсеткіштердің атауы	Үлгілердің түрлері						
	МЕСТ 4997 бо/ша нормасы	Эталон	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8
Шартты беріктік, (кгс/см ²)	min. 55	66,34	67,35	69,27	69,37	70,37	70,31
Салыстырмалы ұзаруы, %	min. 250	290	283	280	280	277	273
Шор А бойынша қаттылығы, ш.б.	45-60	54	54	55	55	56	57
100°C температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі шартты беріктік, (кгс/см ²)	-	51,04	53,02	55,13	54,22	54,16	54,29

1	2	3	4	5	6	7	8
100°С температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі шартты беріктіктің өзгеруі, %	± 25%	-23%	-21%	-20%	-22%	-23%	-23%
100°С температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі салыстырмалы ұзаруы, %	-	240	237	233	230	227	227
Резинаның электрлік беріктігі, кВ/мм	min. 10	16,6	16,3	16,0	15,8	15,5	15,2

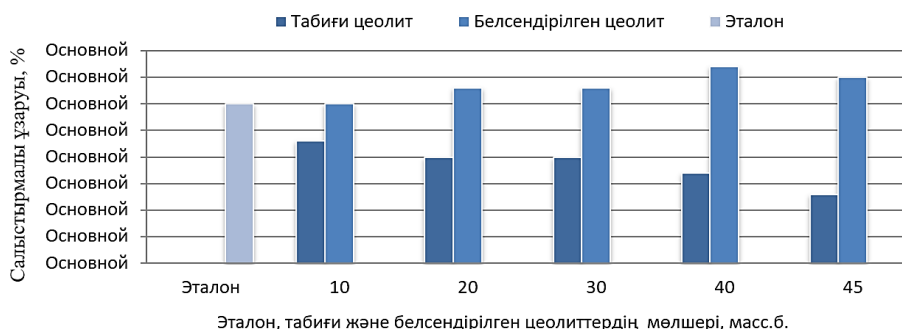
Кесте 5 – Құрамында белсендірілген цеолиті бар вулканизаттардың физика-механикалық қасиеттері (МЕСТ 4997)

Көрсеткіштердің атауы	Үлгілердің түрлері						
	МЕСТ 4997 бо/ша нормасы	Эталон	1	2	3	4	5
Шартты беріктік, (кгс/см ²)	min.55	66,34	67,49	68,61	69,11	69,62	69,51
Салыстырмалы ұзаруы, %	min. 250	290	290	293	293	297	295
Шор А бойынша қаттылығы, ш.б.	45-60	54	54	53	53	52	52
100°С температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі шартты беріктік, (кгс/см ²)	-	51,04	55,56	55,70	58,61	59,44	59,10
100°С температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі шартты беріктіктің өзгеруі, %	± 25%	-23%	-17%	-20%	-19%	-18%	-18%
100°С температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі салыстырмалы ұзаруы, %	-	240	243	243	247	247	241
Резинаның электрлік беріктігі, кВ/мм	min.10	16,6	16,2	15,9	15,7	15,3	15,3

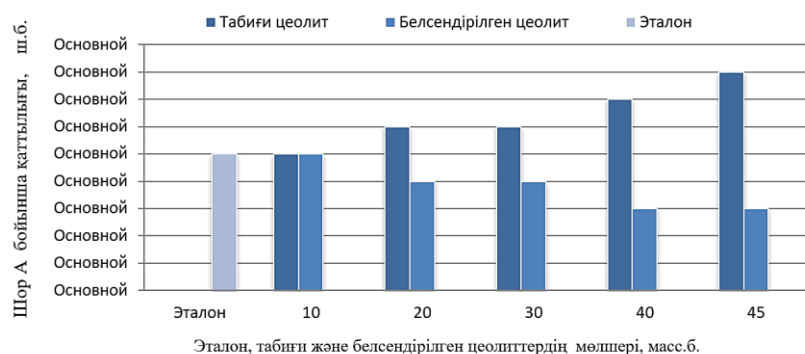
Құрамында табиғи және белсендірілген цеолиттері бар вулканизаттардың физика-механикалық қасиеттері диаграмма түрінде 3-6 және 8 суреттерде келтірілді. Диаграммадағы мәндер 4, 5 кестелердің мәндерімен сәйкес келеді.



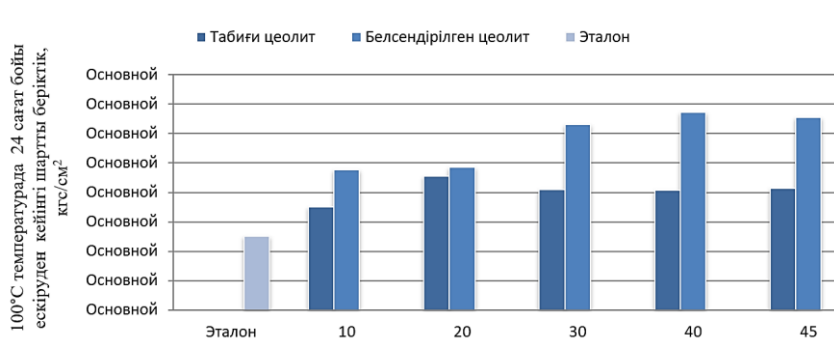
Сурет 3 – Шартты беріктіктің цеолит құрамына тәуелділігінің диаграммасы



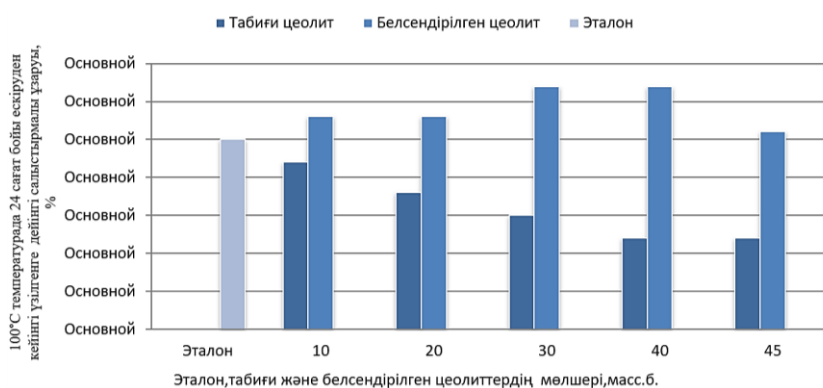
Сурет 4 – Салыстырмалы ұзарудың цеолит құрамына тәуелділігінің диаграммасы



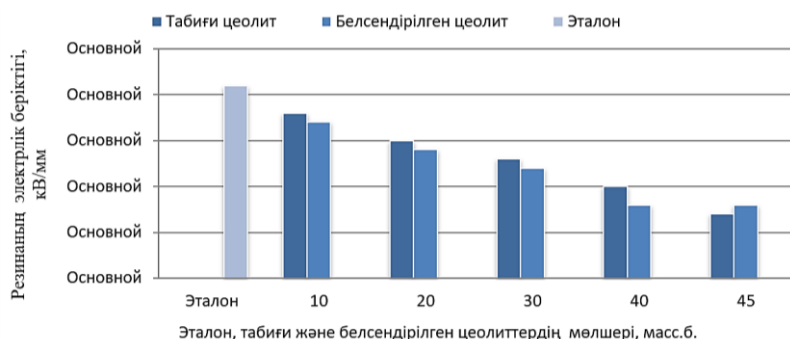
Сурет 5 – Шор А бойынша қаттылықтың цеолит құрамына тәуелділігінің диаграммасы



Сурет 6 – 100°C температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі шартты беріктіктің цеолит құрамына тәуелділігінің диаграммасы



Сурет 7 – 100°C температурада 24 сағат бойы ескіруден кейінгі үзілгенге дейінгі ұзаруының цеолит құрамына тәуелділігінің диаграммасы



Сурет 8 – Резинаның электрлік беріктігінің цеолит құрамына тәуелділігінің диаграммасы

Диэлектрлік төсеніштер жасауға арналған, құрамында табиғи цеолиті бар вулканизатордың физика-механикалық қасиеттері нәтижелі көрсеткіштерге ие болды. Яғни ақ күйенің орнын алмастырған табиғи және белсендірілген цеолиттерді резина қоспасының толықтырғышы ретінде қолданған кезінде шартты беріктіктің 67,35-70,37 кгс/см² және 67,49-

69,62 кгс/см² дейін өсуі 3 суретте айқын көрсетілген, бұл эталонмен салыстырғанда толықтырғыш – цеолиттердің оңтайлы мөлшері 40 масс.б., яғни ақ күйені толық алмастыру мүмкіндігіне ие екенін растайды.

4 суретте салыстырмалы ұзарудың цеолит құрамына тәуелділігі көрсетілген. Мұнда табиғи цеолиттің мөлшерін көбейткен сайын резинаның салыстырмалы ұзаруы эталонмен салыстырғанда төмен көрсеткішті 283-273% көрсетіп тұр, бірақ 4,5 кестелерде көрсетілген стандартта (МЕСТ 4997) алынған резинаның нормаға сәйкестігін байқауға болады. Бұл оның алдағы уақытта өндірісте қолдануға болатынын растайды. Ал белсендірілген цеолитті толықтырғыш ретінде қолданғанда жоғары көрсеткішті байқаймыз, яғни салыстырмалы ұзару 290-297% дейін өсті мұнда белсендірілген цеолиттің оңтайлы мөлшері 40 масс.б., яғни ақ күйені толық алмастыру мүмкіндігіне ие.

5 суретте Шор А бойынша қаттылықтың цеолит құрамына тәуелділігі суреттелген. Мұнда табиғи цеолит қосылған резинаның Шор А бойынша қаттылығы 54-57 ш.б. дейін жоғарылайды, ал белсендірілген цеолитте 54-52 ш.б. төмендейді, бұл жоғарыдағы қарастырылған салыстырмалы ұзарудың жоғарылауы кезінде Шор А бойынша қаттылықтың төмендеуімен түсіндіріледі, яғни сынақтың нәтижесінде алынған көрсеткіштер ережелік талаптар мен нормаға сәйкестікті қамтамасыз етеді (4,5 кестелерде көрсетілген).

6 суретте 100°C температурада 24 сағат ішінде ескіргеннен кейінгі шартты беріктіктің цеолиттердің құрамына тәуелділігі қарастырылған, эталонмен салыстырғанда табиғи цеолит қосылған резинаның шартты беріктігі 53,02-55,13 кгс/см² аралығында жоғарылады. Ал белсендірілген цеолит енгізілген резинаның шартты беріктігі өте жоғары көрсеткіштерге ие болды (55,56-59,44 кгс/см² дейін) мұнда толықтырғыш-белсенді цеолиттің оңтайлы мөлшері 40 масс.б. көрсетеді, бұл аталған нұсқада ақ күйені толық алмастыра алады.

7 суретте 100°C температурада 24 сағат ішінде ескіргеннен кейінгі салыстырмалы ұзарудың цеолиттердің құрамына тәуелділігі айқындалған. Мұнда табиғи цеолит қосылған резинаның салыстырмалы ұзаруы эталонға қарағанда төмен, бірақ МЕСТ бойынша нормаға сәйкес. Ал белсендірілген цеолит қосылған резинаның салыстырмалы ұзаруының көрсеткіші 243-247% эталоннан асып түсті. Бұл өндірістік жағдайда ақ күйенің орнын белсендірілген цеолитпен толық алмастыру кезіндегі жоғары қасиет көрсеткенін сипаттайды.

8 суретте резинаның электрлік беріктігінің цеолиттердің құрамына тәуелділігінің диаграммасы көрсетілген. Диаграммада көрсетілгендей табиғи және белсендірілген цеолиттердің мөлшерін жоғарылатқан сайы резинаның электрлік беріктігі 16,3-15,2 кВ/мм және 16,2-15,3 кВ/мм эталонмен салыстырсақ төмен көрсеткішті көрсетіп тұр, бірақ МЕСТ 4997 бойынша нормаға сәйкестігі зерттелген резинаның электрлік беріктігінің қасиеті жақсы көрсеткіш көрсеткенін айқындайды.

Демек, диэлектрлік төсеніштер жасауға арналған резина қоспасына толықтырғыш ретінде табиғи және белсендірілген цеолиттерді қолдануға болады, сонымен қатар оларды аз мөлшерде емес ақ күйені толық алмастыру мүмкін. Резинаның физика-механикалық қасиеттерін анықтай келе олардың жақсы оңтайлы мөлшері 40 масс.б. болатыны жете зерттелді. Материалдағы цеолит мөлшерін арттыру оның беріктігін арттырғанымен, жоғарыда айтылғандай қаттылығын да төмендетуі мүмкін (4,5 кестелер), бұл материалға қойылатын талаптарға байланысты ескерілуі қажет.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижесі, Шанқанай кен орнының табиғи және белсендірілген цеолиттерін диэлектрлік төсеніштер алуға арналған резина қоспаларына толықтырғыш ретінде қолдану мүмкіндігін растады.

Аталған резинаның физика-механикалық қасиеттерін көп реттік сынау нәтижесі жаңа толықтырғыштардың оңтайлы мөлшері 40 масс.б. жоғары көрсеткіштерімен сипатталады: шартты беріктік 67,35-70,37 кгс/см² (табиғи цеолит) және 67,49-69,62 кгс/см² (белсендірілген цеолит); салыстырмалы ұзару 290-297% (белсендірілген цеолит); Шор А бойынша қаттылығы 54-57 ш.б. (табиғи цеолит) өсті.

Жалпы айтқанда цеолитпен толықтырылған резинаның термиялық төзімділігі мен электрлік беріктігі нормаға сәйкес, ол сондай-ақ жоғары шартты беріктік пен қаттылық және соққыға төзімділікті, үйкеліске қарсы қасиеттерді қамтамасыз етеді; цеолиттерді араластыру кезінде резина қоспасына оңай сіңіріледі, полимер ішінде таралу үшін аз энергия қажет; және цеолитті қолдану өндірістерде санитарлық-гигиеналық жағдайларды жақсартады, себебі

цеолит аз шаң шығарады. Осылайша, ақ күйені толықтырғыш ретінде цеолитпен толық алмастыру қоршаған ортаға оң әсер етеді, яғни экологиялық таза, қол жетімді отандық шикізат және еңбек жағдайларын жақсартады, сонымен қатар резинаның физика-механикалық қасиеттерін арттырады. Нәтижесінде өнім сапасы жақсарады, алдағы уақытта қолданылу мүмкіндігіне ие.

Әдебиеттер тізімі

1. Дик Д.С. Технология резины: Rezepturoestroyeniye i ispytaniya. Nauchnye osnovy i tekhnologii / Д.С. Дик. – СПб, 2010. – 620 с. <https://lib.sk/book/16384671/c41d5d>.
2. Цеолиттердің әр түрлі салаларда қолдану мүмкіндіктері (шолу) / А.О. Оразымбетова және т.б. // Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences. – 2025. – 1(17). Б. 376-397. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1\(17\)-48](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-48).
3. Шанқанай кен орнындағы цеолиттердің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу / А.О. Оразымбетова және т.б. // ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы. – 2024. – Т.2, № 459. – Б. 138-150. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.228>.
4. Шанқанай кен орны табиғи минералын физикалық және химиялық модификациялау / А.О. Оразымбетова және т.б. // Вестник Университета Шакарима. Технические науки. – 2025. – № 2(18). – Б. 459-469.
5. Myrzaliev S.K. Wastewater treatment using natural zeolite materials / S.K. Myrzaliev, G.N.I.P. Pratama, A.G. Khamidulla // Complex Use of Mineral Resources. – 2021. – № 2(317). – P. 64-68.
6. Al-Waste-Based Zeolite Adsorbent Used for the Removal of Ammonium from Aqueous Solutions / R. Sanchez-Hernandez et al // International Journal of Chemical Engineering. – 2018. – P. 1-11.
7. Туребекова Г.З. Цеолит в резиновой промышленности / Г.З.Туребекова, Н.О. Джакипбекова, С.А. Сакибаева. – ЮГУ им. М. Ауэзова, г. Шымкент, <http://www.dpzzz.com/en/publications/10.html>.
8. Ескараева Г.З., Сакибаева С.А., Хлебова С.В., Таутанов Х.Б. Брекерная резиновая смесь. Описание изобретения к предварительному патенту. РК, 2001. – бюлл. № 5. <https://kz.patents.su/patents/hlebova-svetlana-vasilevna>.
9. Применение природных цеолитов в производстве диэлектрических ковриков / Б.Ш. Хасанходжаева и др. // Вестник университета Шакарима. Технические науки. – 2024. – № 4(16). – С.379-388.
10. 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.
11. 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).
12. 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>.
13. 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>.
14. Перспективы применения природного цеолита месторождения Даубаба (Казахстан) для наполнения полимеров / Г.Ф. Сагитова и др. // Технология текстильной промышленности. Известия высших учебных заведений. – 2021. – № 6(396). – С. 327-332.
15. Сагитова Г.Ф. Цеолитті қолдана отырып резина қоспаларына арналған құрама оқшаулаушы композицияларын әзірлеу: монография / Г.Ф. Сагитова. – Шымкент: Издательский центр «Асем», 2021. – 160 с.
16. Acid and heat modification of kazakhstani zeolite / V.G. Tsitsishvili et al // South Kazakhstan Science Herald. – 2025. – № 1(29). – P.63-76 .
17. Acid Resistance and Ion-Exchange Capacity of Natural Mixtures of Heulandite and Chabazite. / V. Tsitsishvili et al // Minerals. – 2023. – № 13. – P. 364. <https://doi.org/10.3390/min13030364>.
18. Acid treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites II / V. Tsitsishvili et al // Adsorption and porous structure. (Scientific Collection «InterConf+», 31(147): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «International Scientific Discussion: Problems, Tasks and Prospects» (March 19-20, 2023; Brighton, United Kingdom), InterConf, 2023. – № 147. – P. 483-502. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2023.052>.

References

1. Dik D.S. Tekhnologiya reziny: Retsepturostroenie i ispytaniya. Nauchnye osnovy i tekhnologii / D.S. Dik. – SPb, 2010. – 620 s. <https://lib.sk/book/16384671/c41d5d>. (In Russian).
2. Tseolitterdin ar tyrlı salalarda koldanu mumkindikteri (sholu) / A.O. Orazymbetova zhane t.b. // Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences. – 2025. – 1(17). B. 376-397. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1\(17\)-48](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-48). (In Kazakh).
3. Shankanai ken ornyndagy tseolitterdin fizika-khimiyalyk kasietterin zertteu / A.O. Orazymbetova zhane t.b. // KR UGA Khabarlary. Khimiya zhane tekhnologiya seriyasy. – 2024. – T.2, № 459. – B. 138-150. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.228>. (In Kazakh).
4. Shankanai ken orny tabigi mineralyn fizikalyk zhane khimiyalyk modifikatsiyalau / A.O. Orazymbetova zhane t.b. // Vestnik Universiteta Shakarima. Tekhnicheskije nauki. – 2025. – № 2(18). – B. 459-469. (In Kazakh).
5. Myrzaliev S.K. Wastewater treatment using natural zeolite materials / S.K. Myrzaliev, G.N.I.P. Pratama, A.G. Khamidulla // Complex Use of Mineral Resources. – 2021. – № 2(317). – P. 64-68. (In English).
6. Al-Waste-Based Zeolite Adsorbent Used for the Removal of Ammonium from Aqueous Solutions / R. Sanchez-Hernandez et al // International Journal of Chemical Engineering. – 2018. – P. 1-11. (In English).
7. Turebekova G.Z. Tseolit v rezinovoi promyshlennosti / G.Z. Turebekova, N.O. Dzhakipbekova, S.A. Sakibaeva. – YUKGU im. M. Auehzova, g Shymkent, <http://www.dpzzz.com/en/publications/10.html>. (In Russian).
8. Eskaraeva G.Z., Sakibaeva S.A., Khlebova S.V., Tautanov Kh.B. Brekernaya rezinovaya smes'. Opisanie izobreteniya k predvaritel'nomu patentu. RK, 2001. – byull. № 5. <https://kz.patents.su/patents/hlebova-svetlana-vasilevna>. (In Russian).
9. Primenenie prirodnykh tseolitov v proizvodstve dielektricheskikh kovrikov / B.Sh. Khasankhodzhaeva i dr. // Vestnik universiteta Shakarima. Tekhnicheskije nauki. – 2024. – № 4(16). – S.379-388. (In Russian).
10. 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. (In English).
11. 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).
12. 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).
13. 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).
14. Perspektivy primeneniya prirodnogo tseolita mestorozhdeniya Daubaba (Kazakhstan) dlya napolneniya polimerov / G.F. Sagitova i dr. // Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. – 2021. – № 6(396). – S. 327-332. (In Russian).
15. Sagitova G.F. Tseolitti qoldana otyryp rezina qospalaryna arnalğan qyrama oqshaulaushy kompozitsiyalaryn əzirleu: monografiya / G.F. Sagitova. – Shymkent: Izdatel'skii tsentr «Asem», 2021. – 160 s. (In Russian).
16. Acid and heat modification of kazakhstani zeolite / V.G. Tsitsishvili et al // South Kazakhstan Science Herald. – 2025. – № 1(29). – R.63-76. (In English).
17. Acid Resistance and Ion-Exchange Capacity of Natural Mixtures of Heulandite and Chabazite. / V. Tsitsishvili et al // Minerals. – 2023. – № 13. – R. 364. <https://doi.org/10.3390/min13030364>. (In English).
18. Acid treatment of Georgian, Kazakhstani and Armenian natural heulandite-clinoptilolites II / V. Tsitsishvili et al // Adsorption and porous structure. (Scientific Collection «InterConf+», 31(147): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «International Scientific Discussion: Problems, Tasks and Prospects» (March 19-20, 2023; Brighton, United Kingdom), InterConf, 2023. – № 147. – R. 483-502. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2023.052>. (In English).

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕОЛИТОВ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧАНКАНАЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ РЕЗИН

В статье изложены результаты исследования природного и активированного цеолита месторождения Чанканай в качестве наполнителя для резиновых смесей. Результаты обширных научных исследований, направленных на анализ влияния минеральных добавок на свойства эластомеров, подтверждают высокий потенциал и дальнейшие перспективы развития данного направления. Введение минеральных добавок в резиновую матрицу в стандартных условиях приводит к улучшению ее эксплуатационных характеристик – снижению стоимости материала, улучшению его упруго-прочностных характеристик, оптимизация технологических свойств. Цель данной работы является замена дорогостоящих наполнителей на более доступные альтернативы, с целью сохранения всех требуемых характеристик резиновых смесей. Поддержание прочности, эластичности, стойкости к износу и других ключевых показателей становится главным приоритетом при поиске и внедрении заменителей, что позволяет сократить затраты без потери качества продукции. Следовательно, предлагаемые ингредиенты должны обеспечивать такие же или улучшенные свойства, чтобы готовый продукт соответствовал стандартам и требованиям эксплуатации. В рамках исследования объектами изучения являются цеолиты Чанканайского месторождения и резины, используемые для производства диэлектрических ковров, которые должны обладать высокими электроизоляционными свойствами и механической прочностью.

С помощью энергодисперсионной спектроскопии были получены данные об элементном составе исследованных образцов цеолитовых порошков. Эти сведения критически важны, поскольку позволяют судить о том, насколько эффективно цеолиты могут использоваться в качестве наполнителей при производстве резины.

В результате экспериментальных исследований установлено, что вулканизаты, полученные при частичной заменой белой сажи (40 масс.ч.) на активированный цеолит Чанканайского месторождения, демонстрирует удовлетворительные физико-механические показатели. Это открывает новые перспективы для применения природных и активированных цеолитов в резиновой промышленности, способствуя как снижению затрат, так и улучшению качества полученного вулканизата.

Ключевые слова: наполнитель, природный цеолит, активированный цеолит, белая сажа, резиновая смесь, условная прочность, относительные удлинение.

APPLICATION OF ZEOLITES FROM THE CHANKANAI DEPOSIT IN RUBBER PRODUCTION

This article presents the results of a study of natural and activated zeolite from the Chankanai deposit as a filler for rubber compounds. The results of extensive scientific research aimed at analyzing the effect of mineral additives on the properties of elastomers confirm the high potential and future prospects for this area of research. The introduction of mineral additives into the rubber matrix under standard conditions improves its performance characteristics, reducing the cost of the material, improving its elastic and strength properties, and optimizing its processing properties. The goal of this work is to replace expensive fillers with more affordable alternatives while maintaining all the required properties of rubber compounds. Maintaining strength, elasticity, wear resistance, and other key performance indicators is a top priority when searching for and implementing replacements, allowing for cost reductions without compromising product quality. Therefore, the proposed ingredients must provide the same or improved properties to ensure the finished product meets standards and operating requirements. The study focuses on zeolites from the Chankanai deposit and rubbers used to produce dielectric mats, which must possess high electrical insulating properties and mechanical strength. Energy-dispersive spectroscopy was used to obtain data on the elemental composition of the zeolite powder samples studied. This information is critical, as it allows us to assess the effectiveness of zeolites as fillers in rubber production. Experimental studies have shown that vulcanizates obtained by partially replacing

40 parts by weight of white carbon with activated zeolite from the Chankanai deposit exhibit satisfactory physical and mechanical properties. This opens up new prospects for the use of natural and activated zeolites in the rubber industry, contributing to both cost reduction and improved vulcanizate quality.

Key words: filler, natural zeolite, activated zeolite, white carbon black, rubber compound, conditional strength, relative elongation.

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

Алия Жолдасбековна Суйгенбаева – техника ғылымдарының кандидаты, «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасының доценті, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: syaljo@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-5001>.

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

Алия Жолдасбековна Суйгенбаева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и фармацевтическая инженерия», Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: syaljo@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-5001>.

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 «Ecology Ecology» 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: sakibayeva.saule@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8697-9309>.

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-83](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-83)

MPHTI: 61.51.37



A. Ualikhanov*, B. Nurzhan, A. Sabitova, Z. Sharipkhan, N. Mukhamediyarov
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street
*e-mail: a.a.ualikhanov@gmail.com

HYBRID MODIFICATION OF BITUMEN FOR DURABLE AND SUSTAINABLE ASPHALT PAVEMENTS

Abstract: Asphalt aging is a critical factor affecting the long-term performance and durability of pavement structures, as it induces complex chemical, rheological, and microstructural transformations in asphalt binders and mixtures. Environmental and mechanical stressors, including temperature, oxygen exposure, ultraviolet radiation, moisture ingress, and traffic loading, accelerate oxidation processes, leading to binder stiffening, embrittlement, and reduced resistance to cracking and moisture damage. In response to increasing environmental concerns and resource limitations, sustainable materials such as reclaimed asphalt pavement, bio-based binders, recycled polymers, and industrial by-products have been increasingly incorporated into asphalt mixtures; however, their influence on aging mechanisms and long-term durability remains insufficiently understood. This study presents a comprehensive literature-based review of asphalt aging mechanisms, sustainable material modification strategies, and durability prediction approaches. A structured multi-stage review methodology was applied to classify and evaluate modification technologies based on performance effectiveness, environmental sustainability, economic feasibility, and applicability under diverse climatic and operational conditions. The review synthesizes experimental and modelling findings on chemical aging processes, microstructural evolution, aggregate – binder interactions, and multiphysics ageing simulations. An integrated conceptual framework linking environmental exposure conditions, material aging mechanisms, microstructural parameters, and rheological performance indicators is proposed to support durability-based and sustainable pavement design. Key research gaps and future research directions are identified, including the need for advanced aging simulation protocols, multiscale characterization approaches, and long-term field validation of sustainable modifiers. The findings of this review provide a scientific basis for developing resilient and environmentally sustainable pavement infrastructure.

Key words: modified bitumen, hybrid modification systems, engineered bitumen, recycling, ecology

Introduction

Asphalt pavements are a fundamental element of modern transportation infrastructure, and their long-term performance is strongly controlled by the aging behavior of asphalt binders and mixtures. Asphalt aging is a complex time-dependent process governed by coupled environmental and mechanical factors, including temperature, oxygen exposure, ultraviolet radiation, moisture ingress, and traffic loading. These factors induce chemical and rheological transformations in asphalt binders, leading to increased stiffness, embrittlement, and reduced resistance to cracking and moisture-related damage, which are among the primary causes of premature pavement deterioration and increased maintenance costs worldwide [1, 2]. Standard laboratory aging protocols, such as the Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) and Pressure Aging Vessel (PAV), are widely used to simulate short-term and long-term aging processes; however, numerous studies have reported significant discrepancies between laboratory-aged and field-aged binders, indicating that current accelerated aging methods do not fully reproduce real service conditions, particularly multiphysics phenomena such as thermal gradients, oxygen diffusion, ultraviolet exposure, and moisture transport through