

Дарын Рашитұлы Байжан – «Техникалық физика» мамандығының докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: daryn.baizhan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-91053129>.

Нұрлат Ерболұлы Қадырболат – «Жылу энергетикасы» мамандығының студенті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com

Сведения об авторах

Бауыржан Корабаевич Рахадиллов – PhD, Проректор по научной работе Восточно-Казахстанского университета им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.

Ринат Кенжеевич Кусаинов* – руководитель Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

Жанел Әділжанқызы Бақыт – младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

Дарын Рашитұлы Байжан – докторант специальности «Техническая физика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: daryn.baizhan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-91053129>.

Нұрлат Ерболұлы Қадырболат – студент специальности «Теплоэнергетика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

Received 04.09.2024

Revised 16.09.2024

Accepted 17.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-49](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-49)



MPNТИ: 31.17.15

А.П. Ауешов¹, Ч.З. Ескибаева¹, А.К. Диканбаева^{1*}, К.Т. Арынов², А.М. Тасболтаева¹

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент, Тауке-хан даң. 5

²Инновациялық зерттеулер және технология институты,
3505000, Қазақстан Республикасы, Алматы, Г.Сланов даң.,

*e-mail: dikanbaeva86@mail.ru

ХРИЗОТИЛ МЕН КҮКІРТ ҚЫШҚЫЛЫ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨРЕКЕТТЕСУІНЕ ХРИЗОТИЛ КРИСТАЛДЫҚ ТОРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨРЕКШЕЛІГІНІҢ ӨСЕРІ

Аңдатпа: Хризотил – $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ құрамындағы магнийдің мөлшеріне (мөлдік) қатысты есептелген күкірт қышқылының мөлдік стехиометриялық қажетті мөлшерлері (СҚМ) мен хризотил арасындағы өзара әрекеттесулерінің сипаты зерттелді. Құрамында күкірт қышқылының (0-0,3) СҚМ аралығындағы ерітінділерді қолданғанда, ерітіндіге хризотил құрамындағы магнийдің өту мөлшері алынған қышқыл мөлшеріне пропорционалды болатыны көрсетілді. Ерітіндіге магнийдің өту мөлшері, СҚМ (0,3-0,5) аралығында тежелетіні, ал СҚМ (0,5-0,7) аралығында пропорционалдық заңдылық қайта орнағанмен, магнийдің ерітіндіге өту шығымы оның хризотилдегі мөлшерінің 76%-нан аспайтыны анықталды. Қышқылдық ортада, хризотил-асбестен магнийдің еруімен қабаттаса түзілетін поликремний қышқылдары ($SiO_2 \cdot nH_2O$) магнийдің ерітіндіге өтуін тежейтін фактор болатындығы көрсетілді.

Хризотил-асбест және күкірт қышқылы жүйесіндегі жүретін өзара әрекеттесулер барысында, хризотилден ерітіндіге өтетін магний мөлшері, оның қабатты құрылымының ерекшеліктеріне байланысты болатыны, өнімдерін химиялық және рентгенофазалық зерттеулер нәтижелерімен түсіндірілді.

Зерттеу нәтижелерінде, құрамы негізінен серпентинит тобының минералдарынан (хризотил, лизардит, антигорит) тұратын, құрылымы жалпы $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ формуласымен өрнектелетін көп қабатты магнисиликаттардың қышқылдарда еру үрдісі тек осы кезде жүретін қышқылдық-негіздік әрекеттесулер заңдылықтарына ғана емес, сонымен қатар серпентиниттердің кристалдық торын түзетін құрылымдық ерекшеліктеріне де байланысты болатындығы көрсетілді.

Түйін сөздер: магнийдің қабатты гидросиликаттары, хризотил-асбест, күкірт қышқылы, стехиометриялық қажетті мөлшер, серпентинит, кристалдық тор.

Кіріспе

Қазақстанда хризотил-асбест өндірісі саласындағы «Қостанай минералдары» АҚ-ы, қазіргі кезде ресурстарды үнемдеу, шикізатты кешенді қайта өңдеу және негізгі өндірісті диверсификациялау бағыттарында ізденістер жүргізілуде. Мұндағы басты мақсаттарға ғылыми және техникалық-экономикалық негізделген техногендік қалдықтардан пайдалы компоненттерді бөліп алудың технологиялық жолдарын іздестіру жатады. Кәсіпорын пайдаланатын «Жітіқара» хризотил-асбест кенорнының серпентиниттік рудаларында орташа 43 мас. % MgO және 45 мас. % SiO₂, бұлардан басқа да пайдалы элементтер: Fe, Ni, Co, Cr және т.б. бар.

Хризотил-асбест өндірісінің технологиялық ерекшеліктеріне байланысты, оның қалдықтарындағы MgO мөлшері көп өзгере қоймайды. Осыған байланысты, хризотил-асбест өндірісінің қалдықтарын, магний және оның қосылыстарын алу мақсатындағы зерттеулер соңғы кезде, хризотил-асбест кен орындарына ие елдерде көптеп жүргізілуде [1, 2].

Қазақстан, хризотил-асбест өндіретін ірі өндірістік елдер қатарына жатады. Алайда, құрамында 41-43 мас. % MgO бар серпентинитті минералдар мен оларды өңдеу барысында түзілетін қалдықтарды жоғарыда айтылған мақсаттар тұрғысынан зерттелмеген деуге болады [3]. Ал, Қазақстанда магний және магнийдің өндірістік маңызды қосылыстарын (MgO, MgCl₂, MgSO₄, Mg(OH)₂ және т.б.) алуда негізгі шикізат – доломиттің сапалы кен орны өте аз болуы, осы бағыттағы зерттеулердің маңыздылығын айқындайды.

Белгілі әдебиет көздерінде, серпентиниттер мен серпентинитті өндіріс қалдықтарын магний және оның қосылыстарын алуда қолдану мақсатында көптеген зерттеулер кездеседі [4-16]. Алайда, келтірілген әдістердің өзіндік артықшылықтарымен қатар кемшіліктері де жоқ емес, көпшілігі қышқылдық қайта өңдеу әдісіне арналған деуге болады.

Жұмыстың мақсаты – «Жітіқара» кен орнының серпентиниті мен күкірт қышқылының өзаралық мөлшерлік әрекеттесу тұрғысынан зерттеу және оларды магний қосылыстарын алу мақсатында қолданудың технологиялық мүмкіндіктерін бағалау болып табылады.

Материалдар мен негізгі әдістер

Зерттеулер, «Қостанай минералдары» АҚ-ның (Қазақстан) А-4-20 маркалы хризотил-асбест (ХА) үлгісімен жүргізілді. Үлгінің 20 г мөлшері ұсақталып, електен өткізілді, оның ішінен эксперимент үшін құрамында бөлшектердің фракциясы <0,14 мм, салмағы 10,0 г мөлшері алынды. Элементтік құрамы салмағы бойынша: 26,6% Mg; 18,8% Si; 2,7% Fe. Магний мен темірдің мөлшері 10,0 г (ХА), сәйкесінше 0,11 моль және 0,005 моль болды. Магнийқұрамдас хризотил құрамындағы магниймен (Mg(ХА)), Mg(ХА)–H₂SO₄ жүйесіндегі өзара әрекеттесу үшін күкірт қышқылының стехиометриялық қажетті мөлшері (СҚМ) (1) реакция теңдеуі арқылы есептелді:



Күкірт қышқылының 200 см³ ерітіндісін дайындау үшін қажетті күкірт қышқылының СҚМ (92% H₂SO₄ «ХТ» маркасынан) мына формулалар бойынша есептелді:

$$M = C \cdot Mr \cdot V \cdot 100 / 92 = C \cdot 21,30 \quad (2)$$

$$V = m / d = C \cdot 21,30 / d \quad (3)$$

мұндағы: m – H₂SO₄ (92%) қажетті массасы; C – молярлық концентрация; Mr – молярлық масса, V – көлем, d – H₂SO₄ (92%) тығыздығы.

ХА пен күкірт қышқылының өзара әрекеттесуін зерттеу үшін 10г ХА үлгілері дайындалды, әрбір үлгі 0-1,0 СҚМ H₂SO₄ аралығында ерітінділермен күкірт қышқылы бар V=118 мл бөлек-бөлек араластырылып өңделді.

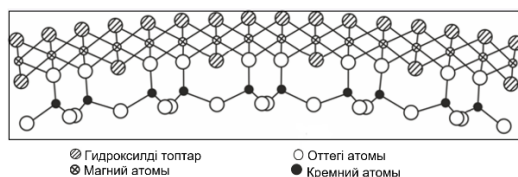
Әрбір жеке алынған ХА (10г) үлгісінің құрамында күкірт қышқылының СҚМ бар сулы ерітіндісімен әрекеттесу процесі Эрленмейердің герметикалық колбасында, суспензия температурасы 95°С үздіксіз араластыра отырып (350 айналым/мин.), 10 минут бойы жүргізілді. Уақыт өткеннен кейін ХА суспензиясы сүзу арқылы (көк сүзгі, қағаз) бөліп алынды. Филтрат және ерімеген қалдыққа, алдын ала (100°С кептіріледі) дайындалғаннан кейінгі химиялық талдау «Электронды растрлі микроскоп JSM-6490» (JOEL, Жапония) комплектіндегі

JNCA Energy 350 энергедисперсиондық микроанализ жүйесінің көмегімен жүргізілді. Реакция ортасының қышқылдығы (pH) иономер И-16 МИ көмегімен өлшенді.

Қышқылда ерімейтін қалдықтың рентгенофазалық зерттеулері DRON-3 дифрактометрінде Cu K мыс катодынан және никель фильтінен сәулелену арқылы жүргізілді. Дифракциялық үлгілер минутына екі градус гониометрлік жылдамдықта бөлме температурасында дифракция максимумдарын ионизациялау арқылы ұнтақ әдісімен алынды. Рентгенограммалардың рефлексдерін интерпретациялау кезінде ASTM картотекасы пайдаланылды.

Нәтижелер мен талқылау

Хризотил-асбест және күкірт қышқылы өзара әрекеттесулерінің бастапқы кезінде $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ құрылымының тетраэдрлік-октаэдрлік (1:1) қабаттарында орналасқан магний иондарының бірінші кезекте октаэдрлік бруситтік $Mg(OH)_2$ қабатша ериді. Ал, бруситтік қабатшадағы магнийдің мөлшері, кристаллдық $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ құрамындағы жалпы магнийдің шамамен 1/3 құрайды (1-сурет).

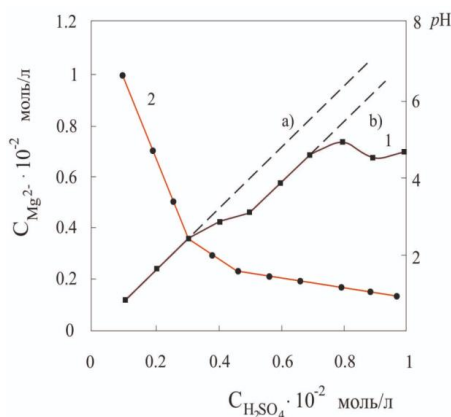


1 сурет – Хризотил-асбест кристалдық торының идеалдандырылған құрылымы [7]

Хризотил-асбест пен күкірт қышқылының арасындағы әрекеттесу, осыған байланысты, күкірт қышқылының 0,3 СҚМ дейінгі концентрациясында мөлшерлік қатынаста жүреді деуге болады, яғни ерітіндіге өткен магний (Mg^{2+}) мөлшері, алынған H_2SO_4 -тің мөлшеріне пропорционал болады (2-сурет, 1-қисық). Бұл концентрациялық аралықтағы (0-0,3 СҚМ H_2SO_4 дейінгі) хризотил-асбестің H_2SO_4 ерітінділеріндегі еру процесінің реакциясын төмендегі сипатта көрсетуге болады:



XA-тің H_2SO_4 (0,3 СҚМ) ерітіндідегі еру үрдісінде жүретін реакцияның осы сипатта болатынына ерітіндінің pH-ын (2-сурет, 2- қисық)), оның 0,3 СҚМ-де күрт өзгеруінен де байқауға болады.



2 сурет – Магнийдің XA-тен күкірт қышқылының ерітіндісіндегі мөлшеріне қатысты ерітіндіге өту тәуелділігі (1) мен ортаның pH-ң өзгеруі (2), $m(XA)=10г$, $\tau = 10$ минут, $t = 96^{\circ}C$

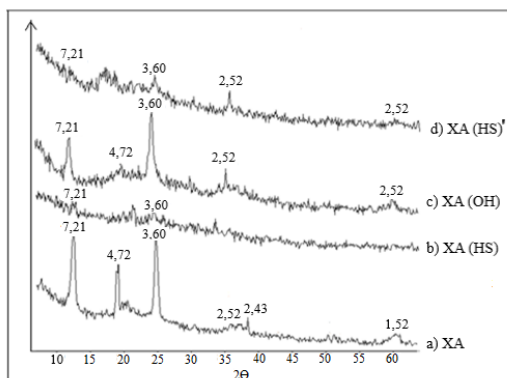
Бұдан әрі, әрекеттесуге алынған күкірт қышқылының мөлшерін 0,5 СҚМ-ге жоғарылатқанда, ерітіндіге өтетін магний мөлшерінің H_2SO_4 мөлшеріне қатысты эквиваленттілігі немесе пропорционалдылығы бұзылады, ал 0,5-0,7 СҚМ H_2SO_4 аралығында ерітіндіге бөлінген магний мөлшері қайта көтеріліп, ары қарай 0,7-1,0 СҚМ H_2SO_4 аралығында магнийдің шығымы 76%-дан аспайды, яғни оның шығымына алынған H_2SO_4 -тің мөлшері әсер етпейді. Мұнда, назар аударатын жәйт, ол ерітіндіге өтетін магний иондарының мөлшерінің $C_{Mg^{2+}} = f(C_{H_2SO_4})$ тәуелділік сызығының (0,1-0,3) СҚМ H_2SO_4 және (0,5-0,7) СҚМ H_2SO_4 аралықтарындағы пропорционалдық бұрыштарының мәндері бір-біріне жақын болады. Бұл

жәйт, күкірт қышқылының осы мөлшерлер аралығында жүретін үрдістер сәйкестігін немесе үрдіс бір қабаттан келесі қабатқа қарай ауысатынын көрсетеді.

ХА және H_2SO_4 (0,1-1,0 СҚМ) жүйелеріндегі өзара әрекеттесу барысындағы магний иондарының ерітіндіге өту мөлшері мен ерітіндідегі рН мәндерінің өзгеру қисықтарын талдау нәтижелері серпентиниттік құрылымдағы магнийсиликаттардың қышқылдарда еру сипаты, олардың құрылымдық құрылысының ерекшеліктеріне байланысты болатындығын көрсетеді.

Хризотил $[\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ – H_2SO_4 жүйесіндегі өзара әрекеттесудің бастапқы кезінде, хризотилдің октаэдрлік-тетраэдрлік қабатының бруситтік $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ қабатшасы H_3O^+ иондарымен әрекеттесіп ериді. Бұл қабатшадағы магний құрылымдағы жалпы магнийдің шамамен 30% құрайтын болғандықтан, ерітіндіге тек осы шамалас магнийдің өтуі байқалады. Алайда, хризотилдің октаэдрлік-тетраэдрлік құрылымдық қаңқасының бұзылуына және сандық құрамының өзгеруіне байланысты, жүйеде белгілі бір мөлшерде силикаттық сипаттағы иондар пайда болады және олардың мөлшері ерітіндіге өтетін магний иондарының мөлшеріне қатысты өзгеріп отырады. Алынған күкірт қышқылының (0,3-0,7) СҚМ аралығында магнийдің ерітіндіге өтетін мөлшері жоғарыламайды. Бұған себеп, силикаттық сипаттағы иондардан түзілетін кремний қышқылдарының өзара бірігіп, кремнеземді гелге айналатын үрдістерге байланысты болуы мүмкін. Кремнеземді гель, хризотил құрылымындағы беттік қабаттарды бүркемелеп, H_3O^+ иондарының құрылым қабаттарына диффузиялануына кедергі жасайды. Нәтижеде, хризотилдің қышқылда еру жылдамдығы тежеліп, магнийдің ерітіндіге өту жылдамдығы бәсеңдейді. Бұл хризотилдің еру үрдісі, оның беттік қабатында алынған қышқыл мөлшеріне байланысты, белгілі бір мөлшерде кремнеземдік құрылымдардан тұратын қабаттың түзілуімен қатар жүретіндігін көрсетеді. Түзілетін SiO_2 кремнезем формалары мен түрлері ортаның рН-на өте сезімтал және оның дәл күйін іс-жүзінде бағамдау қиын, бірақ оның мөлшері реакцияға түсетін қышқыл мөлшеріне байланысты екендігі анық.

Құрамында (0,5-0,7) СҚМ H_2SO_4 бар ерітінділермен әрекеттесу барысында ерітіндіге өтетін магний мөлшерінің қайта өсуі, еру үрдісі қабат-қабат болып келетін хризотил құрылымында әрекеттесу кезек-кезек, яғни алғашқы қабаттарда әрекеттесулер бітіп, келесі қабаттардың кезегі келгенде байқалуы мүмкін. Күкірт қышқылының (0,7-1,0 СҚМ) бар ерітінділерді қолданған кезде, $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ құрылымындағы магнийдің 70%-дан астам мөлшері ерітіндіге өтеді және қышқыл концентрациясын одан әрі жоғарылатқанмен, ерітіндіге өтетін магний мөлшеріне айтарлықтай әсер етпейді. Бұл, реакцияға түсетін хризотил талшықтарының беткі қабаттарында полисиликатты қышқылдардан ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) тұратын H_3O^+ иондарының келесі октаэдрлік-тетраэдрлік қабаттарына терең диффузиялануына жеткілікті кедергі жасай алатын қабат түзілетінін анықтайды, яғни көп қабаттан тұратын құрылымның ішкі қабаттарындағы $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ сақталып қалады деген болжамға негіз болды. Болжамды тексеру мақсатында, келесі бағыттағы зерттеу жүргізілді. Күкірт қышқылының 0,9 СҚМ бар ерітіндісімен өңделген қалдықты NaOH (0,1М) ерітіндісімен үш рет жуғаннан соң, қалған қалдықтың рентгенофазалық талдауы жүргізілді және олар қышқылдық және сілтілік өңдеуден кезек-кезек өңделіп, талдаулар өткізілді. Нәтижелері 3-суретте келтірілген.



3 сурет – Хризотил-асбестті H_2SO_4 (0,9СҚМ) және NaOH (0,1М) ерітінділерімен кезек-кезек өңдеу барысындағы алынған қалдықтардың дифрактограммаларының өзгерістері:
а) ХА –бастапқы хризотил-асбест; б) ХА (HS) – ХА 0,7 СҚМ H_2SO_4 өңделген; в) ХА (OH) – ХА(HS)қайта 0,1М NaOH өңделген; д) ХА (HS)¹ – ХА(OH) қайта0,7 СҚМ H_2SO_4 қайта өңделген

Суретте бастапқы хризотил-асбестің (ХА), хризотил-асбест күкірт қышқылымен (0,7 СҚМ) өндегеннен кейінгі қалдықтың (НС), сол қалдықты 0,1М NaOH ерітіндісімен қайта өндегеннен кейінгі (ОН⁻) және сілтімен өндегеннен кейінгі қабатты қайта H₂SO₄ ерітіндісімен өндегеннен кейінгі беткі қабаттардың дифрактограммалары берілген. Дифрактограммалардан, бастапқы хризотил-асбесті қышқылмен өндегенде, бастапқыдағы хризотилге тән сипаттамалық рефлексдер: d/n (I/I₀) – 7,21 (100); 4,72; 3,60 (80); 2,43 (32) [8] беткі қабатты аморфты кремнеземдер түзілуіне байланысты едәуір әлсірейтіні (3сурет, b) байқалады. Осы үлгінің беткі қабатын 0,1М NaOH ерітіндісімен өндегенде, дифрактограммаларда хризотилге тән рефлексдер (3сурет, c) қайта пайда болады. Ары қарай, кезек-кезек қышқылдық және негіздік өндеулерді қайталағанда, дифрактограммалардағы өзгерістер қайта көрініс табады.

Сонымен, хризотил-асбесті күкірт қышқылының (0,1-1,0) СҚМ өндегенде, ерітіндіге өтетін магний мөлшері, тек алынатын H₂SO₄ мөлшеріне ғана емес, оның құрылымдық ерекшеліктеріне де байланысты болады, Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈ кристалдық құрылымы толық дәрежеде сақталып қалады.

Қорытынды

Хризотил-асбест – H₂SO₄ жүйесіндегі өзара әрекеттесуді зерттеу барысында тәжірибелік түрде анықталған фактілер мен мәліметтер жиынтығы, хризотил Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈ құрылымының ерекшеліктері, серпентиниттік құрылымдарға ие магнийлі силикаттарын қышқылдық өндеуде жүретін үрдістерді сипаттауда маңызды қорытындылар жасауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері, хризотил – күкірт қышқылы жүйесіндегі әрекеттесулер хризотил құрылымының көп қабатты болуына байланысты, еру жылдамдығы алғашқы қабаттарда жүретін үрдістерден түзілетін поликремний қышқылдардан (SiO₂·nH₂O) түзілетін қабаттармен тежелетіні анықталды. Хризотил-асбесті қышқылмен (0,1-1,0 СҚМ аралығында) өндегенде, оның бастапқы кристалдық құрылымы сақталатынын көрсетті. Серпентиниттер мен серпентинитті өндіріс қалдықтарынан магний қосылыстарын алуда, күкірт қышқылы ерітінділерінің төменгі концентрацияларын қолданудың тиімділігі көбірек екендігі анықталды.

Бұл зерттеу ҚР ҒБМ ҒК БНҚ (BR21882242) қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Пат. 2292300 Российская Федерация, МПК С 01 F5/02. Способ переработки серпентинита / Каличенко И.И., Габдуллин А.Н.; заявитель и патентообладатель Калининченко И.И.; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.01.2007.
2. Патент 2953А Республика Армения, МПК С 01 В33/00, С 09 С1/00. Способ комплексной переработки серпентинитов // Сагарунян С.А., Арустамян А.Г., Агамян Э.С., Аракелян А.М., Сагарунян А.С.; опубл. 2014.
3. Aspects of recycling problems in chrysotile asbestos industry / A. Auyeshov et al // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2024. – № 9. – P. 88-98.
4. Патент 29779 Республика Казахстан. Способ комплексной переработки отходов хризотил-асбестового производства // Козлов В.А., Байгенженов О.С., Жусупов К.К., Шевелев В.В.; заявитель и патентообладатель РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»; заявл. 14.03.2014; опубл. 15.04.2015. Бюл. № 4.
5. Influence of Structural and Molecular Features of Chrysotile on Interaction with in Acid-Chrysotile System / A.K. Dikanbayeva et al // Rasayan J. Chem. – 2022. – Vol. 15. – P. 979-983.
6. Пат. 2285666 Российская Федерация, МПК С 01 F 5/06, С 01 В 33/142. Способ комплексной переработки магний-силикатосодержащего сырья // Григорович М.М., Мельник Л.И., Кузьмина Р.М.; заявл. 20.07.2005; опубл. 20.10.2006.
7. Environmental and Technological Aspects of Acid Treatment of Serpentine Waste from Chrysotile Asbestos Mining and Processing / A.P. Aueshov et al // Int. J. Eng. Res. Technol. – India, 2020. – Vol. 13. – P. 1215-1219.
8. Fouda M.F.R. Extraction of magnesia from Egyptian serpentine ore via reaction with different acids / M.F.R. Fouda, R.E.-S. Amin, M.M. Abd-Elzaher // I. Reaction with sulfuric acid. Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1996. – Vol. 69(7). – P. 1907-1912.
9. Patent for Utility Model RK No.3570. Method for Processing Serpentine // Aueshov, A.P.; Arynov, K.T.; Yeskibaeva, Ch.Z.; Aueshov, A.A.; Ibraeva, A.M.; Alzhanov, K.B.; Satimbekova, A.B., 2 July 2018.

10. Gladikova L. Production of magnesium oxide from solutions formed by acid processing of serpentinite / L. Gladikova, V. Teterin, R. Freidlina // Russ. J. Appl. Chem. – 2008. – Vol. 81(5). – P. 889-891.
11. Apostolidis C.I. The kinetics of the sulphuric acid leaching of nickel and magnesium from reduction roasted serpentine / C.I. Apostolidis, P.A. Distin // Hydrometallurgy. – 1978. – Vol. 3. – P. 181-196.
12. Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentinite / A. Auyeshov et al // Molecules. – 2024. – Vol. 29. – P. 2502. <https://doi.org/10.3390/molecules29112502>.
13. Nature of serpentinite interactions with lowconcentrationsulfuric acid solutions / C. Yeskibayeva et al // Green Process. Synth. – 2024. – Vol. 13, № 1. – P. 20240034. <https://doi.org/10.1515/gps-2024-0034>.
14. Nagamori M. Technico-economic simulation for the HCl-leaching of hybrid serpentine and magnesite feeds / M. Nagamori, J.A. Boivin // Can. Metall. Q. – 2001. – Vol. 40(1). – P. 47-60.
15. Production of magnesium hydroxide from magnesium silicate for the purpose of CO₂ mineralization – Part 2: Mg extraction modeling and application to different Mg silicate rocks / E. Nduagu E. Et al // Miner. Eng. – 2012. – Vol. 30. – P. 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.002>.
16. Taubert L. (2000) Hydrochloric attack of serpentinites: Mg²⁺ leaching from serpentinites / L. Taubert // Magnes. Res. – 2000. – Vol. 13(3). – P. 167-173.

References

1. Pat. 2292300 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C 01 F5/02. Sposob pererabotki serpentinita / Kalichenko I.I., Gabdullin A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' Kalinichenko I.I.; zayavl. 13.07.2005; opubl. 27.01.2007. (In Russian).
2. Patent 2953A Respublika Armeniya, MPK S 01 V33/00, S 09 S1/00. Sposob kompleksnoi pererabotki serpentinitov // Sagarunyan S.A., Arustamyan A.G., Agamyan E.H.S., Arakelyan A.M., Sagarunyan A.S.; opubl. 2014. (In Russian).
3. Aspects of recycling problems in chrysotile asbestos industry / A. Auyeshov et al // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2024. – № 9. – P. 88-98. (In English).
4. Patent 29779 Respublika Kazakhstan. Sposob kompleksnoi pererabotki otkhodov khrizotil-asbestovogo proizvodstva // Kozlov V.A., Baigenzhenov O.S., Zhusupov K.K., Shevelev V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' RGP na PKHV «Natsional'nyi tsentr po kompleksnoi pererabotke mineral'nogo syr'ya Respubliki KazakhstaN»; zayavl. 14.03.2014; opubl. 15.04.2015. Byul. № 4. (In Russian).
5. Influence of Structural and Molecular Features of Chrysotile on Interaction with in Acid-Chrysotile System / A.K. Dikanbayeva et al // Rasayan J. Chem. – 2022. – Vol. 15. – P. 979-983. (In English).
6. Pat. 2285666 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C 01 F 5/06, C 01 B 33/142. Sposob kompleksnoi pererabotki magnii-silikatosoderzhashchego syr'ya // Grigorovich M.M., Mel'nik L.I., Kuz'mina R.M.; zayavl. 20.07.2005; opubl. 20.10.2006. (In Russian).
7. Environmental and Technological Aspects of Acid Treatment of Serpentinite Waste from Chrysotile Asbestos Mining and Processing / A.P. Aueshov et al // Int. J. Eng. Res. Technol. – India, 2020. – Vol. 13. – P. 1215-1219. (In English).
8. Fouda M.F.R. Extraction of magnesia from Egyptian serpentine ore via reaction with different acids / M.F.R. Fouda, R.E.-S. Amin, M.M. Abd-Elzاهر // I. Reaction with sulfuric acid. Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1996. – Vol. 69(7). – P. 1907-1912. (In English).
9. Patent for Utility Model RK No.3570. Method for Processing Serpentinite // Aueshov, A.P.; Arynov, K.T.; Yeskibaeva, Ch.Z.; Aueshov, A.A.; Ibraeva, A.M.; Alzhanov, K.B.; Satimbekova, A.B., 2 July 2018. (In English).
10. Gladikova L. Production of magnesium oxide from solutions formed by acid processing of serpentinite / L. Gladikova, V. Teterin, R. Freidlina // Russ. J. Appl. Chem. – 2008. – Vol. 81(5). – P. 889-891. (In English).
11. Apostolidis C.I. The kinetics of the sulphuric acid leaching of nickel and magnesium from reduction roasted serpentine / C.I. Apostolidis, P.A. Distin // Hydrometallurgy. – 1978. – Vol. 3. – P. 181-196. (In English).

12. Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentine / A. Auyeshov et al // Molecules. – 2024. – Vol. 29. – R. 2502. <https://doi.org/10.3390/molecules29112502>. (In English).
13. Nature of serpentinite interactions with lowconcentrationsulfuric acid solutions / S. Yeskibayeva et al // Green Process. Synth. – 2024. – Vol. 13, № 1. – P. 20240034. <https://doi.org/10.1515/gps-2024-0034>. (In English).
14. Nagamori M. Technico-economic simulation for the HCl-leaching of hybrid serpentine and magnesite feeds / M. Nagamori, J.A. Boivin // Can. Metall. Q. – 2001. – Vol. 40(1). – R. 47-60. (In English).
15. Production of magnesium hydroxide from magnesium silicate for the purpose of CO₂ mineralization – Part 2: Mg extraction modeling and application to different Mg silicate rocks / E. Nduagu E. Et al // Miner. Eng. – 2012. – Vol. 30. – R. 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.002>. (In English).
16. Taubert L. (2000) Hydrochloric attack of serpentinites: Mg²⁺ leaching from serpentinites / L. Taubert // Magnes. Res. – 2000. – Vol. 13(3). – R. 167-173. (In English).

А.П. Ауешов¹, Ч.З. Ескибаева¹, А.К. Диканбаева^{1*}, К.Т. Арынов², А.М. Тасболтаева¹

¹Южно-Казахстанский университет им. Ауэзова,
160012, Республика Казахстан, Шымкент, пр. Тауке-хана, 5

²Институт инновационных исследований и технологии,
3505000, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Г. Сланова

*e-mail: dikanbaeva86@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КРИСТАЛЛОВ ХРИЗОТИЛА НА ДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ХРИЗОТИЛ И СЕРНАЯ КИСЛОТА

Изучен характер взаимодействий между хризотилем и стехиометрически необходимыми количествами (СНК) серной кислоты, рассчитанными по отношению к количеству (мольный) магния, содержащегося в хризотиле – $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$. Показано, что при использовании растворов, содержащих СНК серной кислоты (0-0,3), количество магния обнаруженного в растворе соответствует пропорциональному количеству использованной кислоты. Установлено, что выход магния в раствор затормаживается в интервале СНК (0,3-0,5). Пропорционально растворение магния восстанавливается в интервале СНК (0,5-0,7) однако, выход магния в раствор не превышает 76% от его содержания в хризотиле из за образования в кислой среде поликремниевой кислоты ($SiO_2 \cdot nH_2O$). Образующиеся на поверхности слой состоящий из поликремниевых кислот является основным фактором, ингибирующим переход магния в раствор.

Выявлено, что количество магния переходящего в раствор зависит не только от концентрации кислоты, но и от особенностей слоистой структуры хризотила. Выводы сделаны на основе результатов химических и рентгенофазных исследований продуктов реакций, протекающих при растворении хризотил-асбеста в растворах серной кислоты H_2SO_4 .

На основе результатов исследования показано, что растворение магнезисиликатов, состав которых состоят из минералов (хризотил, лизардит, антигорит) группы серпентинита общей формулой – $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ в кислотах зависит не только от закономерностей протекающих в эти условиях кислотно-основных взаимодействии, но и от особенностей структурного строения кристаллической решетки серпентинита.

Ключевые слова: слоистые гидросиликаты магния, хризотил-асбест, серная кислота, стехиометрический необходимое количество, серпентинит, кристаллические решетки.

A.P. Auyeshov¹, Ch.Z. Eskibayeva¹, A.K. Dikanbayeva^{1*}, K.T. Arynov², A.M. Tasbultayeva¹

¹South Kazakhstan University named after Auezova,
160012, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan ave., 5

²Innovation Research and Technological Institute,
3505000, Republic of Kazakhstan, Almaty, G. Slanova ave.

*e-mail: dikanbaeva86@mail.ru

INFLUENCE OF STRUCTURAL FEATURES OF CHRYSOTILE CRYSTALS ON THE ACTION OF THE SYSTEM OF CHRYSOTILE AND SULFURIC ACID

The nature of the interactions between chrysotile and stoichiometrically necessary amounts (SNA) of sulfuric acid calculated in relation to the amount (molar) of magnesium contained in chrysotile – $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ has been studied. It has been shown that when using solutions containing sulfuric acid HCl (0-0.3), the amount of magnesium found in the solution corresponds to a proportional amount of the acid used.

It was found that the output of magnesium into the solution slows down in the range of SNA (0.3-0.5). Proportionally, the dissolution of magnesium is restored in the range of SNA (0.5-0.7). However, the yield of magnesium in solution does not exceed 76% of its content in chrysotile due to the formation of polysilicon acid ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) in an acidic medium. The layer formed on the surface consisting of polysilicon acids is the main factor inhibiting the transition of magnesium into solution.

It was revealed that the amount of magnesium passing into solution depends not only on the concentration of acid, but also on the density of the layered structure of chrysotile. The conclusions are based on the results of chemical and X-ray phase studies of reaction products occurring during the dissolution of chrysotile asbestos in solutions of sulfuric acid H_2SO_4 .

Based on results of the study, it was shown that the dissolution of magnesium silicates, the composition of which of minerals (chrysotile, lizardite, antigorite) of the serpentinite group with the general formula $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ in acids depends not only on the patterns of acid-base interactions occurring under these conditions, but also on the structural features of the serpentinite crystal lattice.

Key words: layered magnesium hydrosilicates, chrysotile asbestos, sulfuric acid, stoichiometric required amount, serpentinite, crystal lattices.

Авторлар туралы мәліметтер

Абдразах Пернебаевич Ауешов – Техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: centersapa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>.

Кажымукан Токтиярович Арынов – Техника ғылымдарының докторы, профессор, Инновациялық зерттеулер және технология институты, Алматы, Қазақстан; e-mail: i_technology@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>.

Чайзада Зулпухаровна Ескибаева – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: yeskibayeva@internet.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8049-8851>.

Айжан Косыбаевна Диканбаева* – PhD, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: dikanbaeva86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9859-5545>.

Акмаржан Мухановна Тасболтаева – магистр, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: Akmarzhan_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9011-1313>.

Сведения об авторах

Абдразах Пернебаевич Ауешов – доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: centersapa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>.

Кажымукан Токтиярович Арынов – доктор технических наук, профессор, Институт инновационных исследований и технологии, Алматы, Казахстан; e-mail: i_technology@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>.

Чайзада Зулпухаровна Ескибаева – кандидат технических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: yeskibayeva@internet.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8049-8851>.

Айжан Косыбаевна Диканбаева* – PhD, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: dikanbaeva86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9859-5545>.

Акмаржан Мухановна Тасболтаева – магистр, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: Akmarzhan_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9011-1313>.

Information about of authors

Abdrazak Pernebaevich Auyeshov – Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: centersapa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>.

Kazhymuhan Toktiyarovich Arynov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Innovative Research and Technology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: i_technology@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>.

Chaizada Zulpuharovna Yeskibayeva – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: yeskibayeva@internet.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8049-8851>.

Aizhan Kosybaevna Dikanbayeva* – PhD, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: dikanbaeva86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9859-5545>.

Akmarzhan Muhanovna Tasboltayeva – Master, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: Akmarzhan_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9011-1313>.

Редакцияға енуі 08.07.2024

Өңдеуден кейін түсуі 20.09.2024

Жариялауға қабылданды 24.09.2024