

FTAMP 61.31.51

А.П. Ауешов¹ – негізгі автор, ©
К.Т. Арынов², Ч.З. Ескибаева³,
А.М. Ибраева⁴, Э.М. Джолдасова⁵



^{1,2}Техн. ғылым. д-ры, профессор, ³Техн. ғылым. канд., доцент, ^{4,5}Магистрант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-3504-9117> ²<https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>

³<https://orcid.org/0000-0002-8049-8851> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-0981-0117>

⁵<https://orcid.org/0000-0001-5563-8990>



^{1,3,4,5}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
Шымкент қ., Қазақстан

²Инновациялық зерттеулер және технология институты,
Алматы қ., Қазақстан



¹centersapa@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/WSWX7050>

ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ ӨНДІРІСІНІҢ СЕРПЕНТИНИТТІ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН МАГНИЙ ОКСИДІН АЛУ ҮРДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Магнезиялық байланыстырғыш өндіруге арналған шикізат ретінде гидромагнетит қолданылды. Шикізаттың құрамындағы негізгі заттың мөлшері 98,5-99,1%-ды құрайды, сондай-ақ өте аз мөлшерде қоспа металдар кездеседі (мас. %): Si – 0,26-0,31; Ca – 0,2-0,38; Mn – 0,18-0,36; Na – 0,16-0,42. Жалпы қоспалардың мөлшері 1-1,5%-дан аспайды. Гидромагнетиттің (магний дигидрокарбонатының тетрагидраты) термиялық ыдырауының рентгендік фазалық және термографиялық зерттеу нәтижелері келтірілген. 550°C температурада гидромагнетитті қыздырып, 60-120 минут изотермиялық ұстау кезінде, 60 минуттан кейін масса жоғалту айтарлықтай өзгермейтіні анықталды. Орташа масса жоғалту 55,6%-ды құрайды, нәтижесінде алынған магний оксидінің массасы 44,4% болды. Гидромагнетиттің магний оксидіне дейін ыдырау дәрежесіне әсер ететін негізгі физика-химиялық факторлар ретінде күйдіру температурасы мен изотермиялық ұстау уақыты анықталды.

Тірек сөздер: гидромагнетит, магнезиялық байланыстырғыш, рентгендік фазалық талдау, термография, магний оксиді, декарбонизация, магний хлориді.



Ауешов, А.П. Хризотил-асбест өндірісінің серпентинитті қалдықтарынан магний оксидін алу үрдістерін зерттеу [Мәтін] / А.П. Ауешов, К.Т. Арынов, Ч.З. Ескибаева, А.М. Ибраева, Э.М. Джолдасова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №2(88). – Б.111-118. <https://doi.org/10.55956/WSWX7050>

Кіріспе. Хризотил – асбест түрлерінің ішінде ең кең тараған және өндірісте жиі қолданылатын серпентин тобының минералдарының (хризотил, лизардит, антигорит) ішінде ең көп қолданылатын минерал [1]. Химиялық құрамы магнийге бай силикат ($Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$), орташа алғанда 40,0% MgO , 38,0% SiO_2 , 3,1% Al_2O_3 , 1,6% Fe_2O_3 , сондай-ақ аз мөлшерде Ca, Cr, Ni және Mn қосылыстарынан тұрады.

Қазақстанда хризотил-асбест Қостанай облысы аумағындағы Жітіқара кен орнында 65 жылдан бері өндіріледі. Осы аралықта мұндағы тау-кен өндіріс орнында хризотил-асбест шикізатын қайта өңдеу қалдықтары көп мөлшерде жинақталып қалған. Олардың жалпы көлемі миллиондаған тоннаны құрайды, жылына шамамен 6-7 млн тонна жаңа қалдық түзіледі. Хризотил-асбесттің негізгі қолданылу аясы – отқа төзімді және жоғары температураға шыдамды қасиеттеріне байланысты құрылыс және жылу оқшаулағыш материалдар өндіру.

Соңғы кездері серпентиниттер, яғни негізінен осы минералдар тобынан тұратын серпентинитті хризотил-асбест өндірісінің қалдықтары, магний және магний қосылыстарын алу мақсатында зерттелуде. Магнийдің дәстүрлі шикізаты – доломитке балама шикізат ретінде серпентинитті қолдану жиі талқылануда. Бұған бірнеше себеп бар. Біріншіден, серпентинитте магний мөлшері 25-26%-ға дейін жетсе, доломитте бұл көрсеткіш 21-22% аралығында болады. Екіншіден, Қазақстанда доломиттің сапалы кен орындары аз. Серпентиниттерді осы уақытқа дейін магний және оның өндірісте маңызды қосылыстарын алу үшін пайдаланбаудың басты себебі – әзірге серпентиниттен оларды алудың практикалық қолдануға қолайлы, экономикалық тұрғыдан тиімді технологияларының болмауы. Бұл мәселе Қазақстан үшін ғана емес, серпентинит кендері мен хризотил-асбест өндірісі дамыған барлық елдер үшін де өзекті мәселе болып табылады.

Серпентиниттер мен серпентинитті қалдықтарды магний және оның қосылыстарын алу мүмкіндіктеріне бағытталған ғылыми зерттеулер жүргізілуде. Осыған байланысты іргелі зерттеулерге келесі [2-6] жұмыстарды жатқызуға болады. Бұл мәселені шешуге Қазақстан ғалымдары соңғы жылдары өз үлестерін қосып келеді. Алайда, қазіргі таңда бұл мәселе бойынша технологиялық, экономикалық және экологиялық тұрғыдағы проблемалардың барлық аспектілері толық шешімін тапқан жоқ, оңтайлы технологиялық шешім әлі ұсынылмаған, яғни зерттеулер жалғасуда. Осы орайда, Оңтүстік Қазақстан университетінде соңғы 10 жылда Жітіқара кен орнының серпентиниттерін қайта өңдеу жолдарын іздестіру бағытында жүйелі түрде ғылыми-ізденіс жұмыстары жүргізілуде, нәтижелері келесі жұмыстарда [7-11] келтірілген.

Әдетте, табиғи магнезиттерді күйдіру барысында түзілетін каустикалық магнезиттің гидравликалық белсенділігі 650-900°C аралығында максималды деңгейге жетеді. Одан жоғары температураларда белсенділік төмендейді, ал 1400°C температурада және одан жоғары болғанда «өлі магнезит», яғни байланыстырушылық-тұтқырлық белсенділігі төмен магнезит түзіледі.

Магний оксидін алуда негізгі шикізат ретінде магний карбонаты ($MgCO_3$) қолданылады. Декарбонизация нәтижесінде, төменгі әлсіз температураларда периклазdan тығыздығы төмен және элементарлы ұяшық параметрлері үлкейтілген түрімен ерекшеленетін бос магний оксиді түзіледі. Магний оксидінің осы түрі $MgCl_2$ ерітіндісімен араластырылғанда жылдам қататын және ауада беріктілік жинайтын магнезиялық цемент алуда қолданылады [12].

Ұсынылып отырған мақалада Жітіқара кенорнының серпентиниттерінен магний тотығын алу үрдісін зерттеу нәтижелері талқыланды.

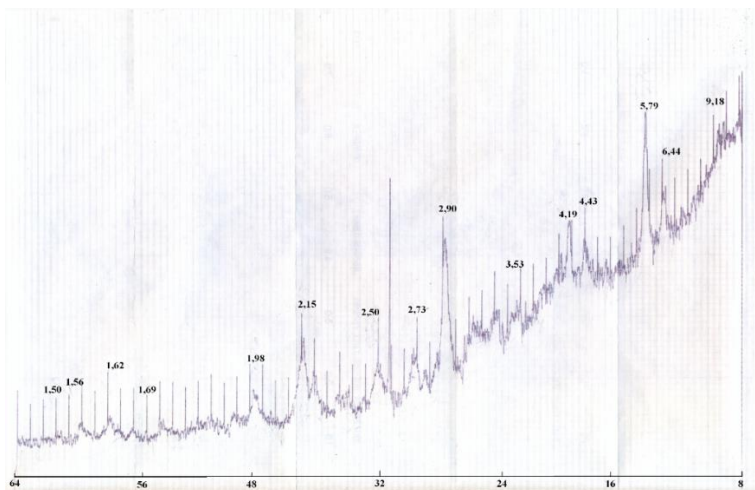
Зерттеу шарттары мен әдістері. Рентгендік фазалық талдау (РФТ) Si , K мыс катоды және никельді фильтрлі ДРОН-3 дифрактометрінде ұнтақ әдісімен, дифракциялық максимумдарды иондық тіркеумен, ганиометр

жылдамдығы 2°/мин жылдамдықта түсірілді. Рентгенограммаларды талдау ASTM картотекасын пайдаланумен орындалды.

Дифференциалды-термиялық талдау (ДТТ) Ф. Паулик, И. Паулик және А. Эрдейдің дериватограф жүйесінде, 1000°C-қа дейінгі температура диапазонында, эталон ретінде Al_2O_3 пайдаланылған кварц шыны тигельдерінде, 10°/мин жылдамдықпен жүргізілді. ДТТ сезімталдығы $\text{ДТТ} = 1/5$, $\text{ДТГ} = 1/20$.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Серпентинит қалдықтарынан магний оксидін алу процесі алдымен қышқылдық (H_2SO_4) шаймалау арқылы магний сульфатының ерітіндісін алудан басталады. Қолданылған ерітінді алдын-ала тазартылып, оның құрамы келесідей болды: MgSO_4 – 98,5-99,0%, сондай-ақ аз мөлшерде, мас. %: Si – 0,26-0,31; Ca – 0,22-0,38; Mn – 0,18-0,36; Na – 0,16-0,42. Барлық қоспалық металдардың жалпы мөлшері 1-1,5%-дан аспайды. Дайындалған ерітіндіні содамен өндеу және тұнбаға түсіру нәтижесінде магний оксидін алу үшін қолданылған гидромагнетит түзіледі. Бұл өнім физика-химиялық зерттеу әдістерімен зерттелді.

Гидромагнетиттің термиялық ыдырауын рентгендік фазалық және термографиялық зерттеу. Сода ерітіндісімен магнийдің күкіртқышқылды тұздарын бейтараптандыру нәтижесінде алынған өнімдердің рентгенограммаларында (1-сурет) гидромагнетитке (магнийдің тетрагидрат дигиротетракарбонатына) сәйкес келетін қарқынды рефлексстер анықталды. Оның қабатаралық қашықтықтары: d/n – 9,18 (4), 6,44 (4), 5,79 (10), 2,90 (9), 2,15 (5) Å [13]. Рентгенографиялық зерттеу нәтижелері көрсеткендей, реакция өнімдерінде бейтараптану процесінің негізгі өнімдік компоненті – гидромагнетит ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) болып табылады.



Сурет 1. Гидромагнетиттің рентгендік фазалық талдауы

Сонымен қатар, рентгенограммаларда d/n – 3,53 (2), 2,72 (3), 2,50 (3), 1,69, 1,50 Å қабатаралық қашықтықтарына сәйкес келетін магний карбонатының әлсіз рефлексстері анықталды. Кальций мен марганец карбонаттарына және гидроксидтеріне сәйкес келетін рефлексстер байқалмады. Сондай-ақ, кремнеземге (SiO_2) тән рефлексстердің болмауы оның аморфты құрылымда түзілгенін көрсетеді.

Гидромагнетитке жүргізілген дериватограммалық зерттеулердің термиялық талдауы (2-сурет), ДТТ қисықтарында 300, 450, 520, 900°C температураларында эндоэффектілердің байқалатынын көрсетті. 230-300°C диапазонындағы эндоэффектілер гидромагнетиттің бруситті қабатының дегидратациясына тән. 420-450°C диапазонындағы эндоэффектілер гидроксидті қабаттың дегидратация процесін сипаттайды. Ал, 500-530°C температура аралығындағы эндоэффект бірнеше құрамдас бөліктермен байланысты: карбонатты қабат пен гидромагнетиттен көмірқышқыл газы (CO₂) бөлінуі нәтижесінде пайда болады.

Дериватограмма нәтижелері бойынша жалпы масса жоғалту 57,8% құрайды, яғни магний оксидінің (MgO) массалық үлесі 42,2%-ға тең.



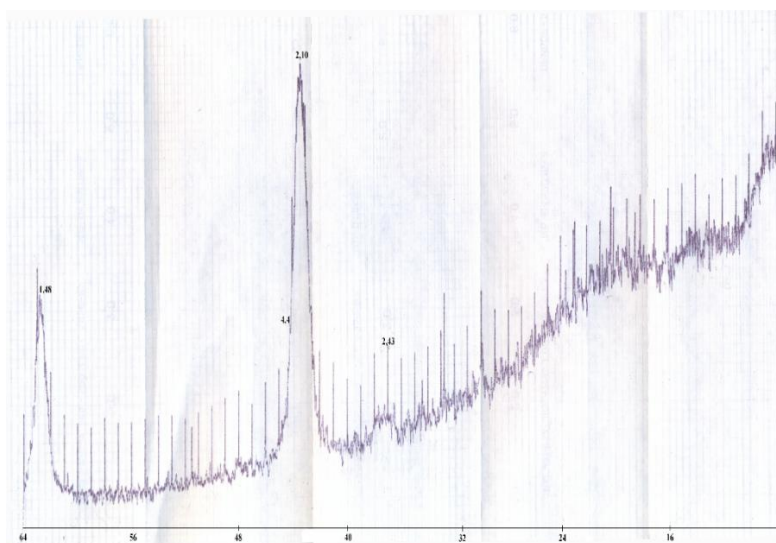
Сурет 2. Тұндырылған сода мен магний гидрокарбонатының тұнбасына арналған дериватограмма

550°C температурасында гидромагнетитті күйдіру кезінде, изотермиялық ұстау уақыты 60-120 минут болған жағдайда, 60 минуттан кейін масса жоғалту айтарлықтай өзгермейтіні және орташа есеппен 55,6%-ды құрайтыны анықталды. Бұл ыдырау өніміндегі магний оксидінің массалық үлесі 44,4%-ға тең екенін көрсетеді. Гидромагнетиттің стехиометриялық ыдырау есептеулері эксперименттік анықталған деректермен сәйкес келеді, яғни MgO-ның теориялық массалық үлесі 42,92%-ды құрауы тиіс (1-кесте).

Кесте 1

Гидромагнетитті 550°C температурада күйдіру нәтижесінде алынған мәліметтер

Шифр	Күйдіру ұзақтығы, т сағат	Үлгі массасы, г	Δm_{MgO}	Δm	$\Delta m_{H_2O+CO_2}$
Гидромагнетит	60	17,4053	7,78310	44,72	55,28
	90	17,5654	7,8345	44,60	55,40
	120	17,2507	7,57110	43,89	56,11



Сурет 3. Магний оксидінің (гидромагнетитті күйдіру өнімі) рентгендік фазалық талдауы

Рентгендік талдау нәтижесінде гидромагнетитті күйдіру арқылы алынған өнімнің дифрактограммасында тек магний оксидіне тән қарқынды рефлекстері анықталды (3-сурет). Анықталған қабатаралық қашықтықтар келесі мәндерге тең: d/n – 2,43 (9), 2,10 (10), 1,48 (10), 1,26 (6) Å. Бұл нәтижелер күйдірудің негізгі фазасы периклаз екенін көрсетеді [13].

Қорытынды. Рентгендік фазалық және термографиялық зерттеулер нәтижесінде, магнийдің күкіртқышқылды тұздарын натрий карбонаты ерітіндісімен бейтараптандыру арқылы алынған өнім гидромагнетитке – $Mg_6(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ сәйкес келетіні анықталды. Оның негізгі термиялық ыдырау өнімі – периклаз, ал термографиялық талдау нәтижелеріне сәйкес, гидромагнетиттің толық ыдырау температурасы $550^\circ C$, изотермиялық ұстау уақыты 60 минут жеткілікті болатыны анықталды.

Гидромагнетиттің стехиометриялық формуласына сәйкес теориялық MgO үлесі – 42,92%, ал эксперименттік жолмен алынған өнімдегі MgO үлесі осы мәнге сәйкес келеді.

Гидромагнетиттің магний оксидіне дейін ыдырау дәрежесіне әсер ететін негізгі физика-химиялық факторларға – күйдіру температурасы мен изотермиялық ұстау уақытын жатқызуға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Джафаров, Н.Н. Вредные примеси в волокне хризотил-асбеста [Текст] / Н.Н. Джафаров, В.А. Отлыгина // Горно-геологический журнал. – 2020. – №.4. – С. 4-8.
2. Sierra C., Chouinard S., Pasquier L., Mercier G., Blais J. Feasibility Study on the Utilization of Serpentine Residues for $Mg(OH)_2$ Production // Waste Biomass Valoriz. – 2018. – No 9. – P. 1921-1933.
3. Huang P., Li Z., Chen M., Hu H., Lei Z., Zhang Q., Yuan W. Mechanochemical activation of serpentine for recovering Cu (II) from wastewater // Appl. Clay Sci. – 2017. – No 49. – P. 1-7.
4. Sun J., Wen J., Chen B., Wu B. Mechanism of Mg^{2+} dissolution from olivine and serpentine: Implication for bioleaching of high-magnesium nickel sulfide ore at elevated pH // Int. J. Miner. Met. Mater. – 2019. – No 26. – P. 1069-1079.

5. Зулумян, Н.О. Способ комплексной обработки серпентинита [Текст] / Н.О. Зулумян, А.Р. Исаакян, Т.А. Овсепян // Патент 2407704 РФ, МПК С 01 В33/12 № 2008113333/05. 2010. Бюл. № 36.
6. Сагарунян, С.А. Способ комплексной переработки серпентинитов [Текст] / С.А. Сагарунян, А.Г. Арустамян, Э.С. Агамян, А.М. Аракелян, А.С. Сагарунян // Патент № 2953 А Республика Армения, С 01 В33/00, С 09 С1/00. 2014.
7. Yeskibayeva Ch., Auyeshov A., Arynov K., Dikanbayeva A., Satimbekova A. Nature of serpentinite interactions with low- concentration sulfuric acid solutions // Green Processing and Synthesis. – 2024. – No 13. – P. 9.
8. Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Dikanbayeva A., Auyeshov D., Raiymbekov Y. Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentine // Molecules, Basel, Switzerland. – 2024. – Vol. 29. – Issue 11. – P. 2502.
9. Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Alzhanov K., Raiymbekov Y. Thermoacid Behavior of Serpentine of the Zhitikarinsky Deposit (Kazakhstan) // Molecules, Basel, Switzerland. – 2024. – Vol. 29. – Issue 16. – P. 3965.
10. Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Satimbekova A., Alzhanov K. The Thermal Activation of Serpentine from the Zhitikarinsky Deposit (Kazakhstan) // Molecules, Basel, Switzerland. – 2024. – Vol. 29. – Issue 18. – P. 4455.
11. Auyeshov A., Yeskibayeva Ch., Arynov K., Kolesnikova O., Alzhanov K. Physico-chemical studies of nemalite-containing chrysotile asbestos from the Zhitikarinsky deposit // Scientific and Technical Journal “Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2024. – No 10. – P. 51-61.
12. Корнеев, В.И. Особобыстротвердеющее магнезиальное вяжущее [Текст] / В.И. Корнеев, А.П. Сизоненко, И.Н. Медведева, Е.П. Новиков // Цемент. – 1997. – № 2. – С. 25-28.
13. Михеев, И.В. Рентгенометрический определитель минералов [Текст] / И.В. Михеев. – М.: Госгеолтехиздат, 1987. – 868 с.

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

Материал редакцияға 10.02.25 түсті, 30.05.25 қабылданды.

А.П. Ауешов¹, К.Т. Арынов², Ч.З. Ескибаева¹, А.М. Ибраева¹, Э.М. Джолдасова¹

¹Южно-Казахстанский университет им.М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

²Институт инновационных исследований и технологии, г. Алматы, Казахстан

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСИДА МАГНИЯ ПОЛУЧЕННОГО ИЗ СЕРПЕНТИНОВЫХ ОТХОДОВ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

Аннотация. В качестве сырья для производства магнезиального вяжущего использовался гидромагнезит. Сырье содержит основное вещество (98,5-99,1%), а также незначительное количество примесных металлов (мас. %): Si – 0,26-0,31; Ca – 0,22-0,38; Mn – 0,18-0,36; Na – 0,16-0,42. Общее содержание примесей не превышает 1-1,5%. Приведены результаты рентгенофазовых и термографических исследований термического разложения гидромагнезита – тетрагидрата дигидрокарбоната магния. Прокаливание гидромагнезита при температуре 550°C с изотермической выдержкой в течение 60-120 минут показывает, что начиная с 60 минут изотермической выдержки потеря массы существенно не изменяется и составляет в среднем 55,6%. То есть масса продукта разложения оксида магния составляет 44,4%. Показано, что физико-химическими факторами, определяющими степень превращения брусита и

гидромагнетита в оксид магния, являются температура обжига и время изотермической выдержки.

Ключевые слова: гидромагнетит, магнезиальные вяжущие, рентгенофазовый анализ, термография, оксид магния, декарбонизация, хлорид магния.

A.P. Auyeshov¹, K.T. Arynov², Sh.Z. Yeskibayeva¹, A.M. Ibraeva¹, E.M. Djoldasova¹

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

²Institute of Innovation Researches and Technologies, Almaty, Kazakhstan

STUDY OF THE THERMAL DECOMPOSITION PROCESS OF MAGNESIUM OXIDE OBTAINED FROM SERPENTINITE WASTE OF CHRYSOTILE-ASBESTOS

Abstract. Hydromagnesite was used as raw material for the production of magnesium binder. The raw material contains the main substance (98.5-99.1%), as well as a small amount of impurity metals (wt. %): Si – 0.26-0.31; Ca – 0.22-0.38; Mn – 0.18-0.36; Na – 0.16-0.42. The total impurity content does not exceed 1-1.5%. The results of X-ray phase and thermographic studies of the thermal decomposition of hydromagnesite – tetrahydrate magnesium dihydrocarbonate – are presented. Calcination of hydromagnesite at a temperature of 550°C with an isothermal holding time of 60-120 minutes shows that, starting from 60 minutes of isothermal holding, the mass loss does not change significantly and averages 55.6%. Thus, the mass of the decomposition product magnesium oxide is 44.4%. It has been shown that the physicochemical factors determining the degree of conversion of brucite and hydromagnesite into magnesium oxide are the firing temperature and isothermal holding time.

Keywords: hydromagnesite, magnesium binders, X-ray phase analysis, thermography, magnesium oxide, decarbonization, magnesium chloride.

References

1. Dzhaferov N.N., Otylgina V.A. Vrednyye primesi v volokne khrizotil-asbesta [Harmful impurities in chrysotile asbestos fiber] // Mining and Geological Journal. – 2020. – No. 4. – P. 4-8. [in Russian].
2. Sierra C., Chouinard S., Pasquier L., Mercier G., Blais J. Feasibility Study on the Utilization of Serpentine Residues for Mg(OH)₂ Production // Waste Biomass Valoriz. – 2018. – No 9. – P. 1921-1933.
3. Huang P., Li Z., Chen M., Hu H., Lei Z., Zhang Q., Yuan W. Mechanochemical activation of serpentine for recovering Cu (II) from wastewater // Appl. Clay Sci. – 2017. – No 49. – P. 1-7.
4. Sun J., Wen J., Chen B., Wu B. Mechanism of Mg²⁺ dissolution from olivine and serpentine: Implication for bioleaching of high-magnesium nickel sulfide ore at elevated pH // Int. J. Miner. Met. Mater. – 2019. – No 26. – P. 1069-1079.
5. Zulumyan N.O., Isaakyan A.R., Ovsepyan T.A. Sposob kompleksnoy obrabotki serpentinita [Method for complex processing of serpentinite] // Patent 2407704 of the Russian Federation, IPC C 01 B33/12 No. 2008113333/05. 2010. Bull. № 36. [in Russian].
6. Sagarunyan S.A., Arustamyan A.G., Agamyan E.S., Arakelyan A.M., Sagarunyan A.S. Sposob kompleksnoy pererabotki serpentinitov [Method for complex processing of serpentinites] // Patent № 2953 A Republic of Armenia, C 01 B33/00, C 09 C1/00. 2014. [in Russian].
7. Yeskibayeva Ch., Auyeshov A., Arynov K., Dikanbayeva A., Satimbekova A. Nature of serpentinite interactions with low- concentration sulfuric acid solutions // Green Processing and Synthesis. – 2024. – No 13. – P. 9.

8. Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Dikanbayeva A., Auyeshov D., Raiymbekov Y. Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentine // *Molecules*, Basel, Switzerland. – 2024. – Vol. 29. – Issue 11. – P. 2502.
9. Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Alzhanov K., Raiymbekov Y. Thermoacid Behavior of Serpentine of the Zhitikarinsky Deposit (Kazakhstan) // *Molecules*, Basel, Switzerland. – 2024. – Vol. 29. – Issue 16. – P. 3965.
10. Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Satimbekova A., Alzhanov K. The Thermal Activation of Serpentine from the Zhitikarinsky Deposit (Kazakhstan) // *Molecules*, Basel, Switzerland. – 2024. – Vol. 29. – Issue 18. – P. 4455.
11. Auyeshov A., Eskibayeva Ch., Arynov K., Kolesnikova O., Alzhanov K. Physico-chemical studies of nemalite-containing chrysotile asbestos from the Zhitikarinsky deposit // *Scientific and Technical Journal "Mining Informational and Analytical Bulletin"*. – 2024. – No 10. – P. 51-61.
12. Korneyev V.I., Sizonenko A.P., Medvedeva I.N., Novikov Ye.P. Osobobystrotverdeyushcheye magnezial'noye vyazhushcheye [Particularly fast-hardening magnesite binder] // *Cement*. – 1997. – No. 2. – P. 25-28. [in Russian].
13. Mikheyev, I.V. Rentgenometricheskoy opredelitel' mineralov [X-ray determinant of minerals]. – Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1987. – 868 p. [in Russian].