

FTAMP 61.33.29

А.П. Ауешов¹ – негізгі автор, ©
Ч.З. Ескибаева², А.К. Диканбаева³,
А.М. Ибраева⁴, К.Б. Алжанов⁵



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

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-3504-9117> ²<https://orcid.org/0009-0009-8440-1242>
³<https://orcid.org/0000-0003-4982-1566> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-0981-0117>
⁵<https://orcid.org/0000-0002-5221-8285>



^{1,2,3,4,5}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,



Шымкент, Қазақстан



¹centersapa@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/KTTB2147>

ӨНЕРКӘСІПТІК СЕРПЕНТИНИТ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН МАГНИЙ НИТРАТЫ МЕН СУЛЬФАТЫН АЛУ

Аңдатпа. Топырақтың тозуы мен макро- және микроэлементтердің жетіспеушілігі жағдайында магний, азот және күкірт негізіндегі тыңайтқыштардың жергілікті өндірісін дамыту Қазақстанның аграрлық секторы үшін стратегиялық маңызды болып табылады. Мақалада Костанай облысындағы Жітіқара кен орнынан алынатын хризотилді шикізатты өңдеу барысында түзілетін серпентиниттік қалдықтарды магнийлі тыңайтқыштар өндірісіне жарамды минералдық шикізат көзі ретінде пайдалану мүмкіндігі қарастырылады. Бұл тыңайтқыштар азот және күкірт компоненттерімен интеграцияланған магний селитрасы мен эпсомит өнімдерін қамтиды. Магний селитрасы мен эпсомитті алудың жаңа технологиялық схемалары мен тәсілдері $Mg(NO_3)_2$ және $MgSO_4$ өнімді ерітінділерді қышқылдық шаймалау мен алуды бейтараптандыру және тазарту сатыларын қамтиды. Алынған өнімдердің сапалық көрсеткіштері келтірілген. Серпентиниттік қалдықтан магнийді, магний селитрасы және эпсомит түрлерінде алу бойынша ұсынылған технологиялық шешімдер хризотилді шикізат қалдықтарын қайта өңдеудің экологиялық, агрохимиялық және экономикалық аспектілерін қамтитын жаңа ғылыми бағыттардың қалыптасуына ықпал ете алатындығын көрсетті.

Тірек сөздер: серпентинит қалдықтары, магний тыңайтқыштары, магний нитраты, эпсомит, Жітіқара кен орны.



Ауешов, А.П. Өнеркәсіптік серпентинит қалдықтарынан магний нитраты мен сульфатын алу [Мәтін] / А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева, А.М. Ибраева, К.Б. Алжанов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №4(90). – Б.319-327. <https://doi.org/10.55956/KTTB2147>

Кіріспе. Қазақстан экономикасының стратегиялық маңызы бар салаларының бірі – ауыл шаруашылығы. Соңғы жылдары топырақ құнарлылығының төмендеуі, макро- және микроэлементтердің, соның ішінде магнийдің тапшылығы байқалуда. Бұл факторлар ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі мен сапасына теріс әсер етеді.

Дүниежүзінің көптеген елдерінде магний құрамдас тыңайтқыштар кеңінен қолданылады [1-3]. Магний хлорофилл синтезінде негізгі рөл атқарады [4,5], ал азот пен күкірт аминқышқылдары [6,7] мен ақуыздардың түзілуіне қатысады. Mg, N және S элементтерімен байытылған кешенді тыңайтқыштар өсімдіктердің қоректік заттарды сіңіруін жақсартып, фотосинтез процесін белсендіреді және олардың қолайсыз орта жағдайларына төзімділігін арттырады.

Rabobank мәліметтері бойынша [8], 2025 жылы әлемдік тыңайтқыш бағаларының өсуі күтіледі, бұл ауыл шаруашылығы өндірушілері үшін тыңайтқыштардың қолжетімділігін төмендетіп, фермерлердің сатып алу қабілетінің әлсіреуіне әкелуі мүмкін.

Қазақстандағы азотты тыңайтқыштар нарығы тұрақты даму үрдісімен және импортты алмастыру бағытымен сипатталады. Ел ішінде өндіріс көлемінің біртіндеп артуы байқалады. Негізгі өндіріс өңірлері ретінде Оңтүстік Қазақстан, Шығыс Қазақстан және Қарағанды облыстары айқындалады. Азотты тыңайтқыштар импортының көлемі әлі де айтарлықтай жоғары деңгейде қалып отырғанымен, отандық өндірісті дамытуға бағытталған шаралар сыртқы тәуелділікті азайтуда. 2025 жылы азотты тыңайтқыштардың орташа бағасы өнімнің түріне және өндіріс орналасқан өңіріне байланысты өзгеріп отырады және алдыңғы жылдармен салыстырғанда бірқалыпты өсу үрдісін көрсетуі мүмкін.

Күкірт құрамдас тыңайтқыштар туралы нақты деректер шектеулі болғанымен, топырақтағы күкірт тапшылығын өтеу қажеттілігіне байланысты олардың маңызы артып келеді. Ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру мақсатында өндірушілер күкірт құрамдас кешенді тыңайтқыштарды әзірлеуге ерекше назар аударуда [9].

Магнийлі тыңайтқыштар ауыл шаруашылығында маңызды рөл атқарады, әсіресе топырақта магний тапшылығы байқалатын жағдайларда. Қазақстанда мұндай тыңайтқыштарға қызығушылықтың артуы ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігін және сапасын арттыруға деген ұмтылыспен түсіндіріледі. Магнийлі тыңайтқыштардың негізгі түрлері – магний сульфаты мен доломит ұны; олар негізінен топырақтағы магний және күкірт тапшылығын жою, қышқыл топырақтарды әктеу және оларды магниймен байыту үшін қолданылады. Осыған байланысты ауыл шаруашылығын интенсивтендіру және агроэкожүйелердің тұрақтылығын арттыру қажеттілігі әлемдік деңгейде магнийлі тыңайтқыштарға сұраныстың өсуіне әсер етуде. Бұл үрдіс Қазақстан ауыл шаруашылығы үшін де барған сайын өзекті болып отыр.

Қазақстанда магнийлі тыңайтқыштар өндірісі шектеулі. Қажеттіліктің негізгі бөлігі импорт есебінен қамтамасыз етіледі, бұл сыртқы жеткізілімдерге тәуелділікті арттырып, әлемдік нарықтағы баға құбылмалылығына бейім етеді. Отандық магнийлі тыңайтқыштар өндірісін дамыту импортқа тәуелділікті төмендетуге және ауыл шаруашылығы тауар өндірушілерін тұрақты жеткізілімдермен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Заманауи технологияларды енгізу және қолда бар табиғи ресурстарды тиімді пайдалану, магнийге бай минералдар мен тау-кен өнеркәсібінің техногендік қалдықтарын қайта өңдеу технологиялары және агрохимия саласындағы ғылыми зерттеулерді қолдау Қазақстанда магнийлі тыңайтқыштар өндірісін дамытуға ықпал етеді.

Отандық өндірісті кеңейту, инновациялық технологияларды енгізу және мемлекеттік қолдаудың болуы магнийлі тыңайтқыштар өндірісінің тау-

кен-химия өнеркәсібі сегментінің орнықты дамуына жағдай жасайды. Стратегиялық тұрғыдан алғанда, магний мөлшері жоғары (20-25% Mg) серпентинит кендері мен қалдықтарын кешенді қайта өңдеу бағытында ауқымды ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-өндірістік жұмыстар жүргізу талап етіледі. Мұндай тәсіл өсімдіктерге қажетті S, N және Si элементтерімен үйлестірілген магний тыңайтқыштарының жаңа перспективалы түрлерін алуға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты, бұл жұмыстың мақсаты – Жітіқара кен орнындағы хризотил шикізатын өңдеу барысында түзілетін серпентинит қалдықтарын пайдалану арқылы эпсомит (MgSO_4) және магний селитрасын $[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2]$ алу мүмкіндігін зерттеу, сондай-ақ алынған өнімдердің тазалық деңгейінің сапалық көрсеткіштерін анықтау.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеуде серпентиниттік шикізат ретінде Жітіқара кен орнындағы (Қостанай облысы, Жітіқара қаласы) хризотилді шикізатты өңдеу барысында түзілетін техногендік серпентинит қалдықтары пайдаланылды. Олардың химиялық құрамы, масс. %: MgO – 34,0-40,0; Fe/FeO – 4,2-5,8; MnO – 0,14-0,36; Cr_2O_3 – 0,28-0,45; NiO – 0,19-0,43; CaO – 0,8-1,7; Al_2O_3 – 0,7-0,9; SiO_2 – 43,18-44,0. Азот және күкірт қышқылдарымен қышқылдық өңдеу арқылы магний нитратын және магний сульфатын алуға болады. Техногендік қалдықтарды пайдалану ресурстарды үнемдеуге, сондай-ақ экономикалық және экологиялық тиімділікті арттыруға ықпал етеді.

$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ және MgSO_4 алу келесі әдістеме бойынша жүргізілді: екі жағдайда да пирекс колбасынан жасалған реактор пайдаланылды; ол термометрмен, кері тоңазытқышпен, термостатпен, үлгі алғыш құрылғымен және пропеллерлі араластырғышпен жабдықталды. Шаймалау ерітінділері талдамалық дәрежедегі тазалықтағы реагенттер – HNO_3 (х.т.) және H_2SO_4 (х.т.) негізінде дайындалды.

HNO_3 -пен өңдеу. Серпентинит қалдығы суда суспензияланып, 10 минут бойы араластырылды ($\text{C/K}=1:1$). Шаймалау процесі үшін 13,5 М концентрациядағы HNO_3 ерітіндісі суспензияға 10-15 минут ішінде үздіксіз араластыру арқылы енгізілді. Суспензиядағы HNO_3 концентрациясы 31,9% құрады, $\text{C/K}=3,2$. Қышқылды қосқан кезде суспензия температурасы 90-95°C-қа дейін көтерілді және 60 минут бойы осы температурада ұсталды. Шаймалау аяқталғаннан кейін суспензия $\text{pH}=8,2-8,3$ мәніне жеткенше 750°C-та термиялық өңделген серпентинитпен (ТА-750) 1 сағат бойы бейтараптандырылды. Одан кейін суспензия бөлме температурасына дейін (22-25°C) салқындатылып, сүзілді. Алынған фильтрат су моншасында буландырылып, 100-105°C-та кептірілді, нәтижесінде магний нитратының құрғақ кристалды формасы алынды.

H_2SO_4 -пен өңдеу. Серпентинит қалдығын күкірт қышқылымен шаймалау процесі азот қышқылымен өңдеу әдісіне ұқсас орындалды. Алдымен серпентинит суспензиясы дайындалды ($\text{C/K}=2,8$). Оған 17,09 М концентрациядағы H_2SO_4 ерітіндісі 10-15 минут ішінде үздіксіз араластыру арқылы қосылды. Нәтижесінде суспензиядағы қышқыл концентрациясы 24,87% болды ($\text{C/K}=2,12$). Қышқыл енгізілгеннен кейін 2-3 минут ішінде жүйе температурасы 95-100°C-қа дейін көтерілді. Процесс 30 минут бойы тұрақты араластыру жағдайында жүргізілді. Шаймалау аяқталған соң суспензия $\text{pH}=8,2-8,3$ мәніне жеткенше 750°C-та термиялық өңделген серпентинит реагентімен (ТА-750) бейтараптандырылды. Пайда болған

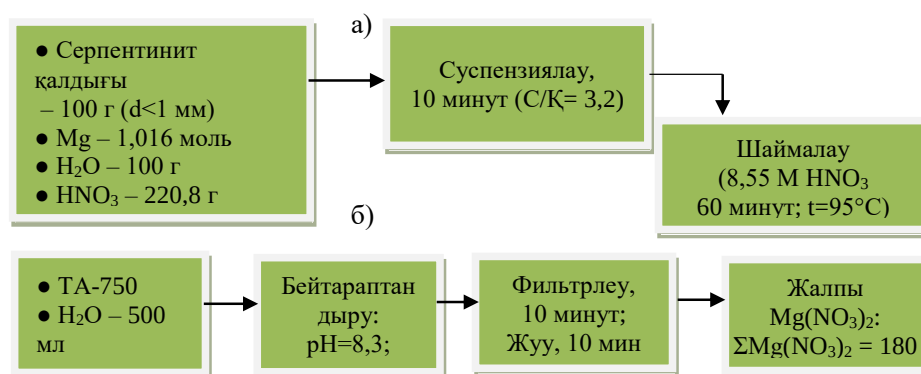
ерітінді сүзілді, кейін фильтрат буландырырылып, 100-105°C температурада кептірілді. Нәтижесінде қатты күйдегі MgSO_4 алынды.

Барлық қажетті химиялық талдаулар JSM-6490LV (JEOL, Жапония) сканерлеуші электрондық микроскопында INCA Energy 350 энергия-дисперсиялық микроанализ жүйесін қолдану арқылы жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Алдын ала бағалау нәтижелері бойынша, серпентинит қалдықтарын қайта өңдеу арқылы эпсомит пен магний селитрасын алу технологиясы ресурс үнемдеу және экономикалық тиімділік тұрғысынан елеулі артықшылықтарға ие екені анықталды [10-12]. Оларға шикізаттың қолжетімділігі, импортты алмастыру әлеуеті және агротехникалық тиімділік жатады. Сонымен қатар, шектеуші факторлар ретінде инвестициялық ресурстарға қажеттілік пен ғылыми-технологиялық шешімдердің жеткіліксіздігі айқындалды. Импорттық магний тыңайтқыштарының бағасы 400-700 \$/т деңгейінде [13,14], ал отандық өндіріс жағдайында өнімнің өзіндік құнын 20-30% төмендету мүмкіндігі бар. Серпентинит қалдықтары негізінде эпсомит пен магний селитрасын өндіру қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтып, жаңа жұмыс орындарын құруға ықпал етеді [15]. Топырақ құрылымы мен құрамын жақсарту арқылы агроэкосистемалардың ұзақ мерзімді өнімділігін арттыруға болады. Жергілікті шикізатты пайдалану және тұрақты технологияларды енгізу мемлекеттік қолдауды [16,17] және ғылыми сүйемелдеуді талап етеді.

Осы деректер негізінде зертханалық зерттеулер жоғарыда сипатталған әдістемелерге сәйкес жүргізілді.

1-суретте магний селитрасын $[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2]$ алу сызбасы көрсетілген, ол шаймалау, бейтараптандыру және өнім ерітіндісін тазалау сатыларын қамтиды. 1-кестеде ТА-750 қолдану арқылы алынған $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ үлгісінің элементтік құрамын талдау нәтижелері келтірілген.



Сурет 1. Магний нитратын алу процесінің шарттары мен сандық көрсеткіштері: а) серпентинит қалдықтарынан Mg^{2+} иондарын азот қышқылымен шаймалау сатысы; б) ТА-750 реагентін қолдана отырып $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ өнім ерітіндісін бейтараптандыру және тазалау сатысы

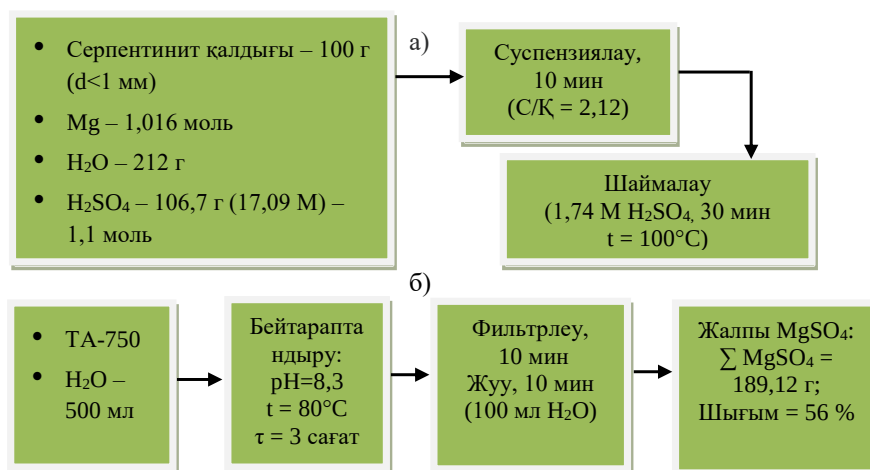
Кесте 1

Магний нитратының ($Mg(NO_3)_2$) өнімін алу барысында өнімдік ерітінділерді бейтараптандыру және қоспа-металдар иондарынан тазарту үшін реагент ретінде ТА-750 қолданғандағы элементтік талдау нәтижелері

Элемент	Бастапқы серпентинит қалдығында, %	$Mg(NO_3)_2$ құрамында, %
C	2,58	-
N		14,59
O	51,34	70,20
Mg	24,38	14,75
Al	0,54	-
Si	17,45	-
Cl	0,27	-
Ca	0,50	0,31
Fe	2,93	-
Барлығы	100,00	100,00

$Mg(NO_3)_2$ (магний селитрасы) түрінде магнийдің шаймалау дәрежесі 47% құрады.

2-суретте ұқсас жағдайларда эпсомитті ($MgSO_4$) алу нәтижелері көрсетілген. Өнімнің элементтік құрамы 2-кестеде берілген.



Сурет 2. Магний сульфатын алу процесінің шарттары мен сандық көрсеткіштері: а) серпентинит қалдығынан Mg^{2+} иондарын күкірт қышқылымен шаймалау сатысы; б) ТА-750 реагентін қолдана отырып $MgSO_4$ өнім ерітіндісін бейтараптандыру және тазалау сатысы

Кесте 2

Магний сульфатының ($MgSO_4$) өнімін алу барысында өнімдік ерітінділерді бейтараптандыру және қоспа-металдар иондарынан тазарту үшін реагент ретінде ТА-750 қолданғандағы элементтік талдау нәтижелері

Элемент	Бастапқы серпентинит қалдығында, %	$MgSO_4$ құрамында, %
1	2	3
C	2,58	-
O	51,34	58,47

2-кестенің жалғасы

1	2	3
Mg	24,38	16,12
Al	0,54	-
Si	17,45	-
S	-	25,24
Cl	0,27	-
Ca	0,50	0,25
Fe	2,93	-
Барлығы	100,00	100,00

MgSO₄ түріндегі магнийдің шаймалу дәрежесі 56% құрады.

1 және 2-кестелерден көріп тұрғанымыздай, алынған магний тұздары жоғары тазалыққа ие.

Атап айтқанда, ұсынылған технологиялық схеманың маңыздылығы серпентиниттік қалдықтан магнийді шаймалауға қолданылатын қышқылдар (HNO₃ және H₂SO₄) пайдалану коэффициенті шамамен 97-98% деңгейін құрайды. Бұл көрсеткіш ұсынылып отырған технологияның жалпы экономикалық тиімді теңгерімін қамтамасыз етуге оң ықпалын тигізуі мүмкін.

Қорытынды. Жүргізілген зертханалық зерттеулердің нәтижелері Жітіқара кен орнындағы хризотилді шикізатты өңдеу барысында түзілетін серпентинит қалдықтарын азот және күкірт элементтерімен интеграцияланған магнийлі тыңайтқыштар өндіруге арналған бағалы шикізат көзі ретінде пайдаланудың мүмкіндігін растады. Ұсынылған технологиялық схема қышқылмен шаймалау (HNO₃ және H₂SO₄ қолдану), бейтараптандыру және термиялық өңделген серпентинит қалдығының көмегімен ерітіндіні тазарту сатыларын қамтиды. Бұл тәсіл магнийді тиімді бөліп алуға және қазіргі заман талаптарына сай құрамы мен тазалығы жоғары Mg(NO₃)₂ және MgSO₄ түріндегі тыңайтқыштар алуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер, ұсынылған технологияның техногендік қалдықтарды қайта өңдеудің ресурстық тиімділігі тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар экологиялық қауіпсіздігі мен ауыл шаруашылығын тұрақты дамытуға қосатын үлесі тұрғысынан да маңыздылығын көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. FAO. Soil fertility status and fertilizer use in selected countries. – Rome: FAO, 2020. – 125 p.
2. Бабушкин, В.И. Основы агрохимии [Текст] / В.И. Бабушкин, Д.С. Орлов. – Москва: Колос, 2021. – 384 с.
3. Всемирный банк. Обзор рынка минеральных удобрений в Центральной Азии [Текст]. – Вашингтон, 2022. – 68 с.
4. Wang Y., Liu H., Zhang X., et al. Magnesium fertilizers and crop yield: a global meta-analysis // Agricultural Sciences. – 2020. – Vol. 11. – No. 2. – P. 110-120.
5. Zhang L., Wu M., Chen Y. Magnesium's role in photosynthesis and stress resistance // Plant Physiology Review. – 2020. – Vol. 8. – No. 4.
6. Qian H., Yu X., Zhao L., et al. Interaction of magnesium and nitrogen in improving crop physiological resistance // Journal of Plant Nutrition. – 2021. – Vol. 44. – No. 3. – P. 305-318.
7. Subedi R., Bhattarai D., et al. Global assessment of secondary nutrients in agriculture // Nutrient Cycling in Agroecosystems. – 2021. – Vol. 120. – P. 223-235.

8. Oleoscope [Electronic resource]. – Access mode: <https://oleoscope.com/analytics/rabobank-prognoziruet-slozhnye-usloviya>. Date of access: 19.07.2025.
9. Tebiz [Electronic resource]. – Access mode: <https://tebiz.ru/mi/analiz-rynka-mineralnykh-udobrenij-v-kazakhstane>. Date of access: 19.07.2025.
10. Министерство сельского хозяйства РК. Годовой отчет по развитию аграрного сектора [Текст]. – Нур-Султан, 2023. – 97 с.
11. Култаев, М.М. Серпентиниты Казахстана как источник химического сырья [Текст] / М.М. Култаев // Вестник геологии. – 2022. – № 4. – С. 15-22.
12. Ермекбаев, Е.Е. Оценка запасов магния в природных и техногенных источниках Казахстана [Текст] / Е.Е. Ермекбаев // Геология и недропользование. – 2021. – № 2. – С. 41-49.
13. Жакыпов, Б.Ж. Тыңайтқыштар және тыңайтқыш технологиясы [Текст] / Б.Ж. Жакыпов, Ж.С. Сүлейменов. – Алматы: Қазақ университеті, 2019. – 212 с.
14. Shadmanov D. Soil nutrient deficiencies in Central Asia and fertilizer solutions. – Springer, 2020.
15. Liu J., Chen F., Han X., et al. Magnesium-nitrogen-sulfur fertilizers: Environmental benefits and application in sustainable farming // Journal of Environmental Management. – 2021. – Vol. 288. – Article ID: 112387.
16. Экологический кодекс Республики Казахстан [Текст]. – Астана, 2021. – 356 с.
17. Исследование макро- и микроэлементного состава почв Казахстана [Текст]. – Алматы: КазНИИ Агрохимии, 2020. – 143 с.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR21882242 «Тау-кен қайтаөңдеу компанияларының серпентинитті ілеспелік және техногендік қалдықтарын қайтаөңдеу мен олардың негізінде магний-, кремнийқұрамдас өнімдерін алудың ғылыми-қолданбалы және технологиялық аспектілері» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 19.07.25 түсті, 22.11.25 қабылданды.

А.П. Ауешов¹, Ч.З. Ескибаева¹, А.К. Диканбаева¹, А.М. Ибраева¹, К.Б. Алжанов¹

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

ПОЛУЧЕНИЕ НИТРАТА И СУЛЬФАТА МАГНИЯ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕРПЕНТИНитОВЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. В условиях истощения почв и дефицита макро- и микроэлементов, развитие локального производства удобрений на основе магния, азота и серы приобретает стратегическую важность для аграрного сектора Казахстана. В статье рассматриваются серпентинитовые отходы переработки хризотилового сырья Житикаринского месторождения (Костанайская область) в качестве сырьевого источника для производства магниевых удобрений, интегрированные с азотом и серой. Новые технологические схемы и подходы к получению магниевой селитры и эпсомита включают стадии выщелачивания, нейтрализации и очистки продуктивных растворов – $Mg(NO_3)_2$ и $MgSO_4$. Приведены качественные показатели полученных продуктов. Показано, что предложенные схемы извлечения магния из серпентинитового отхода в виде магниевой селитры и эпсомита могут способствовать инициированию новых исследований, охватывающих экологические, агрохимические и экономические аспекты переработки отходов хризотилового сырья.

Ключевые слова: серпентинитовые отходы, магниевые удобрения, магниевая селитра, эпсомит, Житикаринское месторождение.

A.P. Auyeshov¹, Ch.Z. Yeskibayeva¹, A.K. Dikanbayeva¹, A.M. Ibrayeva¹, K.B. Alzhanov¹

¹M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

PRODUCTION OF MAGNESIUM NITRATE AND SULFATE FROM INDUSTRIAL SERPENTINITE WASTE

Abstract. In the context of soil depletion and a shortage of macro- and micronutrients, the development of local fertilizer production based on magnesium, nitrogen, and sulfur is gaining strategic importance for Kazakhstan's agricultural sector. This study explores the potential of serpentinite waste generated during the processing of chrysotile ore from the Zhitikara deposit (Kostanay region) as a raw material for producing magnesium-based fertilizers integrated with nitrogen and sulfur. New technological schemes and approaches for obtaining magnesium nitrate and epsomite include stages of leaching, neutralization, and purification of productive solutions – $Mg(NO_3)_2$ and $MgSO_4$. The quality characteristics of the resulting products are presented. The proposed schemes for extracting magnesium from serpentinite waste in the form of magnesium nitrate and epsomite may serve as a foundation for new research encompassing environmental, agrochemical, and economic aspects of chrysotile waste processing.

Keywords: serpentinite waste, magnesium fertilizers, magnesium nitrate, epsomite, Zhitikara deposit.

References

1. FAO. Soil fertility status and fertilizer use in selected countries. – Rome: FAO, 2020. – 125 p.
2. Babushkin V.I., Orlov D.S. Osnovy agrokhimii [Fundamentals of Agrochemistry]. – Moscow: Kolos, 2021. – 384 p. [in Russian].
3. Vsemirnyy bank. Obzor rynka mineral'nykh udobreniy v Tsentral'noy Azii [World Bank. Review of Mineral Fertilizer Market in Central Asia]. – Washington, 2022. – 68 p. [in Russian].
4. Wang Y., Liu H., Zhang X., et al. Magnesium fertilizers and crop yield: a global meta-analysis // *Agricultural Sciences*. – 2020. – Vol. 11. – No. 2. – P. 110-120.
5. Zhang L., Wu M., Chen Y. Magnesium's role in photosynthesis and stress resistance // *Plant Physiology Review*. – 2020. – Vol. 8. – No. 4.
6. Qian H., Yu X., Zhao L., et al. Interaction of magnesium and nitrogen in improving crop physiological resistance // *Journal of Plant Nutrition*. – 2021. – Vol. 44. – No. 3. – P. 305-318.
7. Subedi R., Bhattarai D., et al. Global assessment of secondary nutrients in agriculture // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2021. – Vol. 120. – P. 223-235.
8. Oleoscope [Electronic resource]. – Access mode: <https://oleoscope.com/analytics/rabobank-prognoziruet-slozhnye-usloviya>. Date of access: 19.07.2025.
9. Tebiz [Electronic resource]. – Access mode: <https://tebiz.ru/mi/analiz-rynka-mineralnykh-udobrenij-v-kazakhstane>. Date of access: 19.07.2025.
10. Ministerstvo selskokhozyaystva RK. Godovoy otchet po razvitiyu agrarnogo sektora [Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Annual report on the development of the agricultural sector]. – Nur-Sultan, 2023. – 97 p. [in Russian].
11. Kul'taev M.M. Serpentinity Kazakhstana kak istochnik khimicheskogo syr'ya [Serpentinites of Kazakhstan as a source of chemical raw materials] // *Bulletin of Geology*. – 2022. – No. 4. – P. 15-22. [in Russian].

12. Ermekbaev E.E. Otsenka zapasov magniya v prirodnykh i tekhnogennykh istochnikakh Kazakhstana [Assessment of magnesium reserves in natural and anthropogenic sources of Kazakhstan] // *Geology and Subsoil Use*. – 2021. – No. 2. – P. 41-49. [in Russian].
13. Zhakypov B.Zh., Suleimenov Zh.S. Tyngaytkyshtar zhane tyngaytkysh tekhnologiyasy [Fertilizers and Fertilizer Technology]. – Almaty: Kazakh University, 2019. – 212 p. [in Kazakh].
14. Shadmanov D. Soil nutrient deficiencies in Central Asia and fertilizer solutions. – Springer, 2020.
15. Liu J., Chen F., Han X., et al. Magnesium-nitrogen-sulfur fertilizers: Environmental benefits and application in sustainable farming // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Vol. 288. – Article ID: 112387.
16. Ekologicheskiy kodeks Respubliki Kazakhstan [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan]. – Astana, 2021. – 356 p. [in Russian].
17. Issledovanie makro- i mikroelementnogo sostava pochv Kazakhstana [Study of macro- and microelement composition of soils in Kazakhstan]. – Almaty: Kazakh Research Institute of Agrochemistry, 2020. – 143 p. [in Russian].