

# Фосфогипсті кәдеге жарату негізінде қоршаған орта мәселелерін оңтайландыру

<sup>1\*</sup>**ЖУМАТАЕВА Салтанат Бекдаулетовна**, докторант, s\_zhumatayeva@inbox.ru,

<sup>1</sup>**ЖАНТАСОВ Құрманбек Тажмаханбетович**, т.ғ.д., профессор, k\_zhantasov@mail.ru,

<sup>1</sup>**ЖАТКАНБАЕВ Ергазы Тлеубаевич**, т.ғ.к., доцент, ergazy-1980@mail.ru,

<sup>2</sup>**ЧЕРНЫШОВ Михаил Викторович**, т.ғ.д., профессор, mvcher@mail.ru,

<sup>1</sup>«Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Тәуке хан даңғылы, 5, Шымкент, Қазақстан,

<sup>2</sup>Д.Ф. Устинов атындағы «ВОЕНМЕХ» Балтық мемлекеттік техникалық университеті, 1-ші Красноармейская көшесі, 1, Санкт-Петербург, Ресей,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Қоршаған ортаға, адамзаттың өмір сүру ортасына, тіршілік қауіпсіздігіне зиян келтіретін, әсіресе фосфор өнеркәсібінің техногенді қалдықтарының бірі – фосфогипсті залалсыздандырудың және тиімді пайдаға жаратудың мүмкіндігін бағалау нәтижелері келтірілген. Фосфогипсті қолдану бағыттарына талданғаны келтірілген, оның ішінде, осы мәселені зерттейтін Қытай, Түрік, Жапон, Германия, Франция, АҚШ елдеріне әдебиеттік шолу жасалды. Зерттеулерге шолу жасай отырып, фосфогипсті, фосфоритті кеңдерді тыңайтқыш ретінде ауылшаруашылық саласына пайдалану ғана назарға алынуы анықталды, құрылыс саласына, оның ішінде, жолтөсемдерінің қойнау қабаттары ретінде кәдеге жарату бойынша зерттеу жұмыстары аз қамтылған. Дүниежүзінде пайда болған фосфогипстің 15%-ы қайта пайдаланылатыны анықталды, сондықтан фосфогипсті қайта өңдеудің жаңа жолын зерделеу өте маңызды.

**Кілт сөздер:** тіршілік қауіпсіздігі, техногенді қалдықтар, қоршаған ортаны қорғау, баланстан тыс фосфорит кендер, фосфогипс.

## Кіріспе

Заманауи озық технологияларды өндіріске енгізумен ерекшеленген бірқатар дамушы мемлекеттер құрылыс саласында фосфор өнеркәсібінің техногендік қалдықтарын пайдаланудың балама нұсқаларын қарастыруда. Табиғи ресурстар қорын сақтай отырып, экологиялық көрсетілген айтулы мәселелермен қоршаған ортаға және халықтың тіршілік қауіпсіздігіне кері ықтималдығы жоғары техногенді қалдықтарды қайта өңдеп, әртүрлі салаларға пайдаланудың оңтайлы шешімін табу қазіргі таңда басты назарда болып табылады. Әлемде фосфогипстің жылдық пайда болуы 200 миллион тоннаға дейін жетеді. Дамушы елдердің бірқатар ғалымдарының еңбектерінде фосфогипсті залалсыздандыру мен кәдеге жаратудың бірнеше бағыттарын ұсынады [1-5]. Қытайда фосфогипс, күл және болат қалдықтарын автотрасса жол жамылғысы құрылысына пайдалануды ұсынады. Бұл қалдықтарды пайдалану, бір жағынан, қалдықтардың мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді, ал екінші жағынан Қытай нарығындағы сипаттамалары бойынша ұқ-

сас жаңа материал ретінде қолдануға ұсынылады [6]. Қытайда фосфогипсті кешенді пайдалану деңгейі 2022 жылы 50,4%-ға дейін өсті, ал 2026 жылға қарай 65%-ға жетеді, бірақ Бельгия мен Жапония сияқты дамыған елдерден әлі де артта қалды [7]. Жамбыл суперфосфат зауыты 420,21 га аумақты алып жатыр, оның ішінде, санитарлық қорғау аймағы – 151,0 га, өнеркәсіптік алаңы – 229,61 га құрайды. Кәсіпорынның өндірістік қуатына сәйкес 478000 тонна аммофос, 5000 тонна суперфосфат өндіріледі [8]. Фосфогипс (СТ ЖШС 390838120142-01-2008) – «Аммофос» цехының суперфосфат және нитроаммофос өндірісінде түзіледі [10, 8], қатты фазадан сұйық фазаға бөлу процесінде экстракциялық фосфор қышқылын алу технологиялары сатысында пайда болады, аммофоспен фосфатты өңдегенде фосфогипстің пайда болу мөлшері 1-кестеде көрсетілген.

Авторлардың [10] еңбегінде цементтің жоғары құны мен қолжетімділігіне байланысты фосфогипстен цемент қоспаларын жасауды ұсынады. Осыны негізге ала оты-

рып, фосфорит кендерінен пайда болған баланстан тыс кендермен фосфогипсті қосу арқылы, құрылыс саласына пайдалануға бағытталған бірқатар зерттеулер жүргізілді [9].

#### Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттеуге «Казфосфат» ЖШС «Минералды тыңайтқыштар» зауытынан алынған фосфогипстің сынамалары белгіленіп, зерттеу жүргізілді. Үлгі беріктігінің термиялық өңдеу температурасына сынаманы кептіру уақытының тәуелділігі зерттелді. 100°C аралығында 700-1000°C температура аралығында күйдірілген фосфогипстен жоғары беріктіктегі гипсті байланыстырғыштарын алу қарастырылды. Салыстырмалы қатаю кинетикасы бар үлгілер алынатын екі шартты температура аралығын бөліп аламыз: 25-400°C және 700-1000°C. Егер термиялық өңдеудің бірінші температуралық аралығында үлгілердің соңғы қатаюу араластыру сәтінен бастап 2 сағаттан кейін орын алса, екінші аралығындағы температурада күйдірілген үлгілер 2 сағатта қатпайды, оларға әлдеқайда көп уақыт қажет. Сондықтан 700-1000°C температура аралығында күйдірілген үлгілердің сынақтары қалыпты сақтаудың 28 күн бойында жүргізілді. Жиырма сегіз күн мерзімі кездейсоқ таңдалған жоқ – бұл цементке арналған нормативтік құжаттарда белгіленген, байланыстырғыштың беріктігіне қол жеткізу үшін қажетті шартты уақыт (МЕМСТ 310.4-81). Осылайша, 700-1000°C температурада күйдірілген үлгілерді, біз енді гипсті байланыстырғыштармен емес, цемент негізіндегі

байланыстырғыштармен сәйкестендіреміз. Әдебиеттерде мұндай байланыстырғыштарды ангидридті цемент деп атайды [11, 14].

Таңдалған аралықты біз келесі температуралық нүктелерге бөлдік: 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 °C. Кальций тотығы бейтараптандырғыш ретінде қолданылды. Көрсетілген температураларда күйдірілген және қалыпты сақтау жағдайында 28 күн сақтаудан кейін қосымша сығуды қолданбай алынған үлгілердің сипаттамалары 2-кестеде көрсетілген.

Алынған үлгілердің жымдасуының басталуы мен аяқталуы 1000°C термиялық өңдеу температурасынан 700°C-қа өту кезінде сәйкесінше 16-дан 31 сағатқа дейін және бір күннен екі күнге дейін сипатталды. Осылайша, үлгілердің физика-механикалық қасиеттері жоғарылайды, ал қату уақыты 700-1000°C температура аралығында температураның жоғарылауымен азаяды. Фосфогипсті өңдеу температурасы 1000°C күйдірілген ФГ үлгілері үшін 0,28-ге дейін жоғарылағанда суға деген қажеттілік те төмендейді. Үлгілердің қатаю және беріктігінің жоғарылау уақыты ұзақ болғандықтан, оларды ашық ауада (зертхана бөлмесінде) сақтаған кезде сынамалар кеуіп қалды, соның нәтижесінде үлгілер 28 күннен кейін беріктікке ие болмай, прессте ұсақталды. Сондықтан үлгілердің кеуіп кетуін болдырмау үшін оларды сынау сәтіне дейін сақтау қалыпты сақтау камерасында (температура 20±2°C, ылғалдылық 95%) жүргізілді. Үлгілерді сақтаудың және сынаудың оңтайлы

1-кесте – Тыңайтқыштар өңдегенде фосфогипстің пайда болу мөлшері

№	Заттың атауы	Мөлшері	Қалдық атауы	Мөлшері	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> пайыздық мөлшері
1	Аммофос	1 тонна	Фосфогипс	2,79 тонна	46%
2	Суперфосфат	1 тонна	Фосфогипс	0,34 тонна	19%

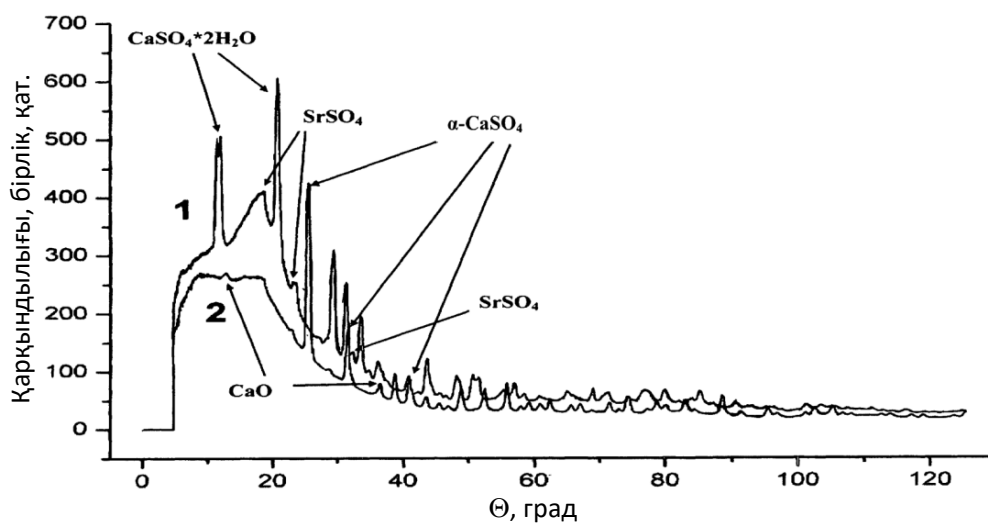
2-кесте – 700-1000°C күйдірілген фосфогипс үлгілерінің сипаттамалары

№	Температура, °C	Ылғал қажеттілігі, % үлес	Сығу кезіндегі беріктігі, МПа
1	700	0,50	0,6
2	750	0,48	0,6
3	800	0,53	0,6
4	850	0,52	0,65
5	900	0,32	0,9
6	950	0,29	0,85
7	1000	0,28	0,8

шарттары қалыпты жағдайда 28 күн бойы сақтау болып табылады. Зерттелетін температура аралығы 700-1000°C болғандықтан, 1000°C нүктесі ең маңызды, өйткені ол ең жоғары физикалық және механикалық сипаттамаларға ие (2-кесте) және шабдалы түсі ең қарқындысы, біз осы үлгіге толығырақ зерттеу жүргіздік. Рентгендік фазалық талдау негізінде бастапқы CaO бейтараптандырылған фосфогипс сынамасы негізінен гипстен ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 80-90% мөлшерінде, целестиннен ( $\text{SrSO}_4$ ) 10% мөлшерінде тұратыны анықталды. 5-10% және аз мөлшерде ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) – шамамен 3% (1-сурет). CaO бейтараптандырылған фосфогипс үлгісінің құрамы және 1000°C күйдірілген еритін ангидриттен тұрады. 75-80% мөлшерінде, кальций тотығы 10-15% мөлшерінде. Сонымен қатар, 1000°C күйдірілген фосфогипс үлгісінде целестиндік фазаға сәйкес келетін шыңдар жоқ (1-сурет). Целестиннің ыдырау температурасы (1580°C) [12-14] үлгіні өңдеу температурасынан әлдеқайда жоғары болғандықтан, бұл құбылыс қатты ерітіндінің түзілуімен байланысты деп есептейміз. Болжам бойынша, қатты ерітіндіде негізінен CaO,  $\text{SrSO}_4$  және  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  болуы керек. Бұл қосылыстардың барлығы үлгіде бар (1-сурет). Осылайша, 1000°C күйдірілген фосфогипс үлгісінің рентгендік фазалық талдауы құрамында кристалдану суы бар фазалардың, сонымен қатар, целеститке жататын фазалардың толық жоқтығын көрсетеді. 1000°C күйдірілген үлгіде кристалданған судың болмауы да ИҚ талдауын растайды (1-3 суреттер). Термиялық өңдеуден өтпеген фосфогипс үлгісі үшін 3733-3000  $\text{cm}^{-1}$  аймағындағы сіңіру гидроксил тобының созылу

тербелістеріне байланысты (2-сурет). Әлсіз байқалатын 3733  $\text{cm}^{-1}$  шыңы бос OH тобына сәйкес келеді. 3404, 3396 және 3443  $\text{cm}^{-1}$  жиіліктегі шыңдар сутегі байланыстарына қатысатын OH топтарының тербелістеріне жатады. Сутегімен байланысқан гидроксил топтарының бірнеше сигналдарының болуы әртүрлі типтегі ассоциациялардың пайда болуына себеп болуы мүмкін (кальций ионының ішкі координациялық сферасындағы су молекулаларының қатысуымен, гигроскопиялық судың полиассоциаттары және т.б.). 2212  $\text{cm}^{-1}$  максимуммен бөлінетін жолақ үлгіде C=C, C=N немесе Si-H байланыстары (алкиндер, нитрилдер, бейорганикалық цианидтер, бейорганикалық және органикалық цианаттар және/немесе тиоцианаттар) бар қосылыстардың немесе молекулалық фрагменттердің болуымен туындауы мүмкін. 4446  $\text{cm}^{-1}$  кезінде өте әлсіз сигнал – 2212  $\text{cm}^{-1}$  жолағының овертоны.

1681  $\text{cm}^{-1}$  жолағы конъюгация тізбегіне кіретін C=O карбонил тобының созылу тербелісіне немесе оқшауланған C=C байланысына жатады. 1610  $\text{cm}^{-1}$  жұтылу конъюгацияланған C=C байланысының созылу тербелісіне немесе карбоксилат ионындағы O=O байланысының антисимметриялық созылу тербелісіне байланысты болуы мүмкін. Бұл жағдайда симметриялық созылу тербелісі сигналының болмауы C=O байланысы қоршаған ортаның жоғары симметриясына байланысты. 1096 және 666  $\text{cm}^{-1}$  шыңдары үлгідегі  $\text{SO}_4$  сульфат ионының болуымен байланысты. Сонымен қатар, 1096  $\text{cm}^{-1}$  жолақ  $\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$  иондарына сәйкес келуі мүмкін. 1000°C температурада термиялық өңдеуден өткен фосфогипс үлгісі қарапайым



1 – термиялық өңделмеген; 2 – 1000°C термиялық өңделген

1-сурет – CaO бейтараптандырылған фосфогипс үлгісінің дифрактограммасы

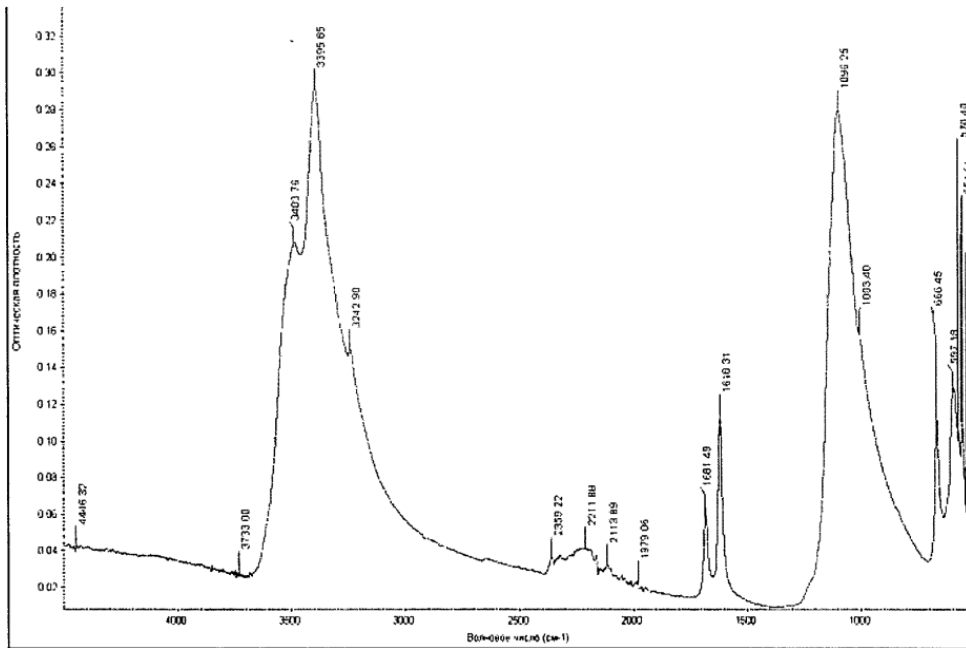
спектрге ие (3-сурет), онда судың кетуіне байланысты гидроксил топтарының сiңірілуі жоғалады және термиялық өңдеусіз фосфогипсте 1681, 1610  $\text{см}^{-1}$  қыздырылған кезде жойылады. Төмен жиілікті аймақта (681-537  $\text{см}^{-1}$ ) жолақтардың сериясы пайда болады.

3, 4-ші суреттерде СаО-мен бейтараптандырылған және 1000°C күйдірілген фосфогипстің өлшемдері 1-ден 100 мкм-ге дейінгі аралықтағы ангидрит бөлшектерінің поли-

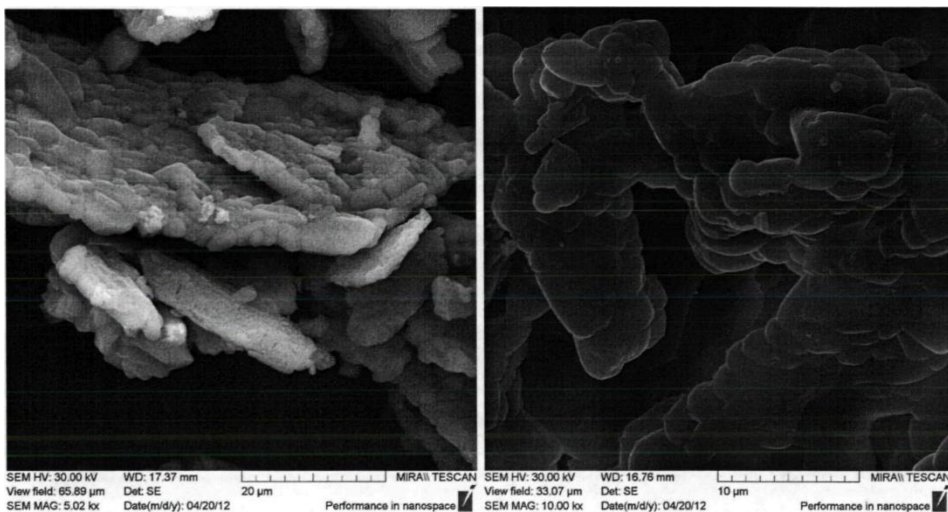
дисперстік құрылымына ие екенін көрсетеді. Полидисперсті құрылымның дәлелі бөлшектердің өлшемдерін талдау деректері болып табылады.

**Қорытынды**

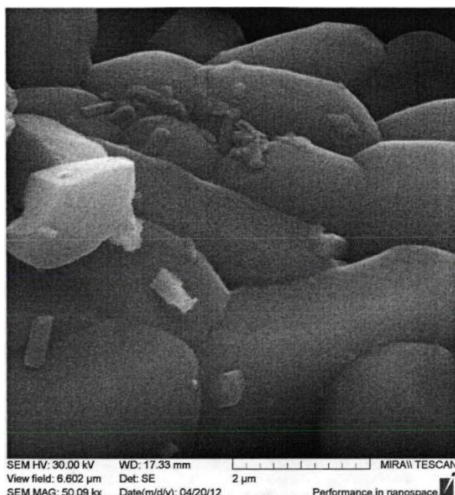
Үлгілерді бейтараптандыру және қалыптау кезеңдерінде химиялық қоспаларды қолдана отырып, 25-1000°C дейінгі кең температура аралығында 40-100 МПа күшпен жаншу қысымында термиялық өңдеуден өткен фосфогипс негізінде композициялық ма-



2-сурет – Термиялық өңдеуден өтпеген СаО-мен бейтараптандырылған фосфогипс үлгісінің ИҚ талдауы



3-сурет – 1000°C термиялық өңдеуден кейін СаО-мен бейтараптандырылған фосфогипс үлгісінің ИҚ талдауы



**4-сурет – 1000°C күйдірілген фосфогипстің көріністері (масштабы 1см:2мкм)**

териалдарды жасау үшін физика-химиялық заңдылықтар белгіленді. Оңтайлы физикалық-химиялық көрсеткіштерін таңдау жасалды, олардың комбинациясы фосфогипс негізіндегі беріктігі жоғары композиттерді алуға мүмкіндік берді: а) термиялық өңдеу температурасы – 1000°C; б) сығу қысымы – 52,4 МПа; в) химиялық қоспалар: сөндірілмеген әк – 3-тен 5%-ға дейін; жоғары беріктік гипс – 15-тен 20%-ға дейін; ақ портландцемент – 15-тен 25%-ға дейін + натрий сульфаты – 1%; ультра жұқа қоспалар: кремний, карборунд, аэросил – 0,05-тен 0,5% дейін; г) бейтараптандыру шарттары: сулы суспензия; агенттер – байланыстырғыш заттарды өндіру үшін CaO және уақытша сақтау орындарында сақтау үшін CaCO<sub>3</sub>; д) қатаю шарттары: ылғалды сақтау (температура –20±2°C, ылғалдылық 95±5%), ұзақтығы – 28 күн.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Değirmenci N. Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products // *Construction and Building Materials*. – 2008. – № 22. – Pp. 1857-1862.
2. Kumar S. Fly ash-lime-phosphogypsum hollow blocks for walls and partitions // *Building and Environment*. – 2003. – № 38. – Pp. 291-295.
3. Singh M. Cementitious binder from fly ash and other industrial wastes / Singh M., Garg M. // *Cement and Concrete Research*. – 1999. – № 29. – Pp. 309-314.
4. Yang J. Preparation of load-bearing building materials from autoclaved phosphogypsum / Yang J., Liu W., Zhang L., Xiao B. // *Construction and Building Materials*. – 2009. – № 23. – Pp. 687-693.
5. Chen Q. Recycling phosphogypsum and construction demolition waste for cemented paste backfill and its environmental impact / Chen Q., Zhang Q., Qi C., Fourie A., Xiao C. // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – № 186. – Pp. 418-429.
6. Shen W. Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material / Shen W., Zhou M., Ma W., Hu J., Cai Z. // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – № 164. – Pp. 99-104.
7. Программа производственного экологического контроля по ТФ ТОО «КазФосфат» «Минеральные удобрения» на 2021-2026 года. Тараз, 2020.
8. Фосфогипс и его использование / В.В. Иваницкий, П.В. Классен, А.А. Новиков и др. М.: Химия, 1990. 224 с.
9. Безопасная утилизация фосфогипса и забалансовых руд Аксайского месторождения / Жуматаева С.Б., Жантасов К.Т., Бержанов К.Д., Жантасова М.К. // *Труды университета*. – № 1 (90). – 2023. – С. 156-161.
10. Degirmenci N. Application of phosphogypsum in soil stabilization / Degirmenci N., Okucu A., Turabi A. // *Building and Environment*. – 2007. – № 42. – С. 3393-3398.
11. Касимов А.М., Решта Е.Е. Комплексная переработка фосфогипса из отвалов и отходов текущего производства минеральных удобрений ОАО «Ровноазот» // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 4. – С. 123-127.
12. Фосфогипс и его использование / В.В. Иваницкий, П.В. Классен, А.А. Новиков и др. М.: Химия, 1990. 224 с.
13. Краткий справочник физико-химических величин / Под редакцией К.П. Мищенко и А.А. Равделя. Л.: Химия, 1974. 200 с.

14. Проблемы промышленной переработки фосфогипса и зарубежный опыт его утилизации / Жума-таева С.Б., Жантасов К.Т., Зият А.Ж., Мамитова А.Д. // Международный форум науки и инновации современные концепции. Москва, 2019.

### **Оптимизация экологических проблем на основе утилизации фосфогипса**

<sup>1</sup>\*ЖУМАТАЕВА Салтанат Бекдаулетовна, докторант, s\_zhumatayeva@inbox.ru,  
<sup>1</sup>ЖАНТАСОВ Курманбек Тажмаханбетович, д.т.н., профессор, k\_zhantasov@mail.ru,  
<sup>1</sup>ЖАТКАНБАЕВ Ергазы Тлеубаевич, т.ф.к., доцент, ergazy-1980@mail.ru,  
<sup>2</sup>ЧЕРНЫШОВ Михаил Викторович, д.т.н., профессор, mvcher@mail.ru,  
<sup>1</sup>НАО «Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова», пр. Тауке хана, 5, Шымкент, Казахстан,  
<sup>2</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, ул. 1-я Красноармейская, 1, Санкт-Петербург, Россия,  
 \*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Рассмотрена возможность использования фосфогипса и забалансовых руд в строительной отрасли. Представлены результаты обезвреживания и повторного использования техногенного отхода фосфорной промышленности фосфогипса, оказывающего негативное влияние на окружающую среду. Приведен анализ исследований применения фосфогипса в ведущих странах зарубежья. Было обнаружено, что 15% фосфогипса, образующегося во всем мире, используется повторно, поэтому актуально изучить новые способы переработки фосфогипса. Широкое использование получило применение фосфогипса в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Использование фосфогипса в дорожном покрытии не получило столь широкого применения.

**Ключевые слова:** безопасность жизнедеятельности, техногенные отходы, охрана окружающей среды, забалансовые фосфоритовые руды, фосфогипс.

### **Optimization of Environmental Problems Based on the Utilization of Phosphogypsum**

<sup>1</sup>\*ZHUMATAYEVA Saltanat, Doctoral Student, s\_zhumatayeva@inbox.ru,  
<sup>1</sup>ZHANTASOV Kurmanbek, Dr. of Tech. Sc., Professor, k\_zhantasov@mail.ru,  
<sup>1</sup>ZHATKANBAYEV Yergazy, Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, ergazy-1980@mail.ru,  
<sup>2</sup>CHERNYSHOV Mikhail, Dr. of Tech. Sc., Professor, mvcher@mail.ru,  
<sup>1</sup>NCJSC «Mukhtar Auezov South Kazakhstan University», 5 Tauke Khan Avenue, Shymkent, Kazakhstan,  
<sup>2</sup>D.F. Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEKH», 1st Krasnoarmeyskaya Street, 1, Saint Petersburg, Russia,  
 \*corresponding author.

**Abstract.** The possibility of using phosphogypsum and off-balance sheet ores in the construction industry was considered. The results of the neutralization and reuse of technogenic waste from the phosphorous industry of phosphogypsum, which has a negative impact on the environment, are presented. The analysis of studies on the use of phosphogypsum in leading foreign countries is presented. It was found that 15% of phosphogypsum produced worldwide is reused, so it is important to explore new ways of processing phosphogypsum. Phosphogypsum widely used in agriculture as a fertilizer. The use of phosphogypsum in the road surface has not been widely used.

**Keywords:** life safety, man-made waste, environmental protection, off-balance phosphorite ores, phosphogypsum.

## REFERENCES

1. Değirmenci N. Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products // *Construction and Building Materials*. – 2008. – № 22. – Pp. 1857-1862.
2. Kumar S. Fly ash-lime-phosphogypsum hollow blocks for walls and partitions // *Building and Environment*. – 2003. – № 38. – Pp. 291-295.
3. Singh M. Cementitious binder from fly ash and other industrial wastes / Singh M., Garg M. // *Cement and Concrete Research*. – 1999. – № 29. – Pp. 309-314.
4. Yang J. Preparation of load-bearing building materials from autoclaved phosphogypsum / Yang J., Liu W., Zhang L., Xiao B. // *Construction and Building Materials*. – 2009. – № 23. – Pp. 687-693.
5. Chen Q. Recycling phosphogypsum and construction demolition waste for cemented paste backfill and its environmental impact / Chen Q., Zhang Q., Qi C., Fourie A., Xiao C. // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – № 186. – Pp. 418-429.
6. Shen W. Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material / Shen W., Zhou M., Ma W., Hu J., Cai Z. // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – № 164. – Pp. 99-104.
7. Programma proizvodstvennogo jekologicheskogo kontrolja po TF TOO «KazFosfat» «Mineral'nye udobrenija» na 2021-2026 goda. Taraz, 2020.
8. Fosfogips i ego ispol'zovanie / V.V. Ivanickij, P.V. Klassen, A.A. Novikov i dr. Moscow: Himija, 1990. 224 p.
9. Bezopasnaja utilizacija fosfogipsa i zabalansovyh rud Aksajskogo mestorozhdenija / Zhumataeva S.B., Zhantasov K.T., Berzhanov K.D., Zhantasova M.K. // *Trudy universiteta*. – № 1 (90). – 2023. – Pp. 156-161.
10. Degirmenci N. Application of phosphogypsum in soil stabilization / Degirmenci N., Okucu A., Turabi A. // *Building and Environment*. – 2007. – № 42. – Pp. 3393-3398.
11. Kasimov A.M., Reshta E.E. Kompleksnaja pererabotka fosfogipsa iz otvalov i othodov tekushhego proizvodstva mineral'nyh udobrenij OAO «Rovnoazot» // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2013. – № 4. – Pp. 123-127.
12. Fosfogips i ego ispol'zovanie / V.V. Ivanickij, P.V. Klassen, A.A. Novikov i dr. Moscow: Himija, 1990. 224 p.
13. Kratkij spravochnik fiziko-himicheskikh velichin / Pod redakciej K.P. Mishhenko i A.A. Ravdelja. Leningrad: Himija, 1974. 200 p.
14. Problemy promyshlennoj pererabotki fosfogipsa i zarubezhnyj opyt ego utilizacii / Zhumataeva S.B., Zhantasov K.T., Zijat A.Zh., Mamitova A.D. // *Mezhdunarodnyj forum nauki i innovacii soveremennye koncepcii*. Moscow, 2019.