

К.Т. Жантасов¹, С.Б. Жуматаева*, Б.А. Лавров²

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
²Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты (ТУ), Санкт-Петербург, Ресей
(e-mail: ¹K_Zhantsov@mail.ru, ²office@spbstu.ru)
*Байланыс үшін автор: s_zhumataeva@inbox.ru

Фосфор өндірісінің қалдығы фосфогипсті тиімді пайдалану

Аңдатпа. Фосфор өндірісінің қалдығы болып табылатын фосфогипсті халық шаруашылығының түрлі салаларында, атап айтқанда, агроөнеркәсіп кешенінде қолдану үшін ұзақ мерзім бойы минералды тыңайтқыштың құрамына әсер ететін қолдану әдістері мен тәсілдеріне қысқаша шолу жасалды. Фосфогипстің физико-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері оның құрамындағы CaSO_4 , макро- және микроэлементтердің болуына байланысты қышқылданған топырақтарды кальцинациялауда мелиорант ретінде пайдалану мүмкіндігін негіздеу үшін ұсынылған. Фосфогипстің рентгендік фазалық талдауы бойынша ескі және жаңа үйінділердің құрамында: гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 87,93% және 85,04%; кварц SiO_2 - 9,10% және 10,58%; бассанит $\text{CaSO}_4 \cdot 0,67\text{H}_2\text{O}$ - сәйкесінше 2,97% және 4,38%. «Қазфосфат» ЖШС Тараз филиалының ескі және жаңа үйінділерінен алынған фосфогипс үлгілерінің химиялық құрамы зерттелді. Көрсетілген үйінділердің фосфогипс үлгілеріне дифференциалды-термиялық және ИҚ талдаулары жүргізілді. Негізгі құрамдас бөліктердің құрамында ерекше айырмашылықтар жоқ екені анықталды. Жүргізілген зерттеулердің негізінде құрамында ұзақ әсер ететін өндірістік нысандардың қатты қалдықтарынан кешенді аралас тыңайтқыш қоспаларының жаңа түрлерін алудың мүмкіндігі зерттелді. Жоспардағы кешенді аралас тыңайтқыш қоспа құрамын фосфатты зат, ылғал сақтайтын компонент ретінде вермикулит, егіс алқаптарының қышқылдануын және тұздандыруын азайту үшін топырақ жамылғысын бейтараптандырығыш ретінде микроэлементтерді мазмұндайтын ішкі жыныстар және фосфогипс.

Түйін сөздер: фосфогипс, минералды тыңайтқыштар, туко қоспа, қалдық үйінділері, құрам, араластыру.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2022-139-2-33-41>

Кіріспе

Әлемдік және ішкі нарықтағы минералды тыңайтқыштар бойынша орын алған шарттар, оларға деген және туко қоспаларға деген жаңа талаптарды орнатуда. Сондықтан қышқылданған және сортаң топырақтарды кальцинациялау, егіс алқаптарын рекультивациялау, олардың құнарлылығын арттыру және ауылшаруашылық өнімдерін жинаудың инновациялық технологияларын жасау қазіргі заманның өзекті мәселесі болып қала береді.

Минералды тыңайтқыштар фосфор қышқылының негізінде күшті қышқылдармен, атап айтқанда күкірт қышқылымен майда ұнтақталған фосфоры бар шикізаттан P_2O_5 алу арқылы алынатыны белгілі [1-8]. Содан кейін әртүрлі минералды тыңайтқыштарды араластыру негізінде олардың үйлесімділігі мен үйлеспеушілік қасиеттерін ескере отырып, тыңайтқыш қоспалары алынады. Қатты табиғи және техногендік шикізат – әртүрлі өндірістердің қалдықтары негізінде тыңайтқыш қоспаларын алудың бірқатар технологиялары белгілі.

Тұнбалы топырақты нығайту үшін фосфогипсті қолдану мақсатында оның механикалық қасиеттері мен микроқұрылымы зерттелген [9]. Авторлар [10-12] жұмысында фосфогипсті жоғары температурада залалсыздандыру және кәдеге жарату бағытында портландцемент клинкерін өндіру үшін, сондай-ақ бағалы өнімдер алуда фосфогипс қалдықтарын қолданған. Өндірістік ақаба сулардан қорғасын қосылыстарын фосфогипспен тазалау әдісі де белгілі [14]. Фосфогипс қалдықтарын қолданудың жалпы жағдайы мен күрделі мәселелеріне де шолу жасалынған [15].

Фосфогипстің физико-химиялық қасиеттерін талдау оның табиғи құлау бұрышы 33° шегінде, массалық тығыздығы дәндік құрамына байланысты шамамен 1300 кг/м³. Фосфогипстің орташа химиялық құрамы төмендегідей болып орнатылған (%): P₂O₅_{жал} - 0,74; P₂O₅_{с.е.} - 0,21; MgO - іздер; N₂O - 0,38; Al₂O₃ - 0,087; F- 0,081; ерімейтін қалдық - 19,67; Fe₂O₃ - 0,093. Құрғақ зат бойынша фосфогипсте орта есеппен (%): CaO – 39,8; P₂O₅ - шамамен 1; K - 0,03; Na - 0,1; SO₃ - 36,2; Fe₂O₃ - 0,1; Al₂O₃ - 0,03, бұл жерде фтордан өзгелерін микротыңайтқыш ретінде қолдануға болады [16].

Бірқатар авторлардың еңбектерінде, соның ішінде [17], бейтараптандырылған фосфогипсті қолдану сипатталған, оның кейінгі әсері 2 жыл бойы сақталады.

Әртүрлі өндіріс қалдықтарынан тыңайтқыш қоспаларын алудың белгілі әдістері мен технологиялары, сондай-ақ құрамында қоңыр көмір, шымтезек, пештен тыс шаң түріндегі кальций құрамдас бөлігі - цемент өндірісінің қалдықтары, сонымен қатар фосфатты жыныс, поташ және мочеви́на бар ауыл шаруашылығына арналған күрделі тыңайтқыштар алынған [18,19].

Фосфогипсті тыңайтқыш қоспасының құрамдас бөлігі ретінде пайдаланған кезде топырақтың сіңіргіш кешеніндегі натрий құрамын ескеру қажет. Сондықтан натрийді топырақ жамылғысынан ығыстыру үшін қышқыл және сілтілі топырақтардың оның су-физикалық және химиялық қасиеттерін жақсартатын, құнарлылығын арттыратын топырақты гипстендіру сатысын пайдалану қажет.

Тәжірибелік бөлім

Жоғарыда айтылғандарды және «Қазфосфат» ЖШС-де фосфогипсті кәдеге жарату мәселесінің өзектілігін ескере отырып, рентгендік фазалық, термографиялық және спектрлік талдауларға қосымша зерттеу үшін ескі және жаңа үйінділерден үлгілер алынды, олардың физикалық және химиялық қасиеттері мен құрамы анықталды.

Зерттеу D8 Advance (Bruker), α -Cu аппаратында, түтікшедегі кернеу 40 кВ және 40 мА тоқта жүргізілді. Алынған дифракция үлгісінің деректерін өңдеу және жазықаралық қашықтықтарды есептеу EVA бағдарламалық құралын қолдану арқылы жүзеге асырылды, ал үлгілерді және фазалар анықтау - Search/match бағдарламасы бойынша PDF-2 ұнтақтардың дифракциялық деректер базасының көмегімен анықталды.

Минералды тыңайтқыштарды сынау кезінде қолданылатын нормативтік құжаттар тізіміне ISO 5316 - 77, ISO 6598 - 85, ISO 7497 - 84 «Минералды тыңайтқыштар. Жалпы техникалық шарттар», Минералды тыңайтқыштарға қойылатын талаптар туралы (ЕАЭО ТР 039/2016), ГОСТ 4212-76 «Реактивтер. Колориметриялық және нефелометриялық талдау үшін ерітінділерді дайындау әдістері», ISO 5316-77, ISO 6598-85, ISO 7497-8) «Минералды тыңайтқыштар. Фосфатты анықтау әдістері», ISO/IEC 17025-2019 Сынақ және калибрлеу зертханаларының құзыретіне қойылатын жалпы талаптар» т.б. енді.

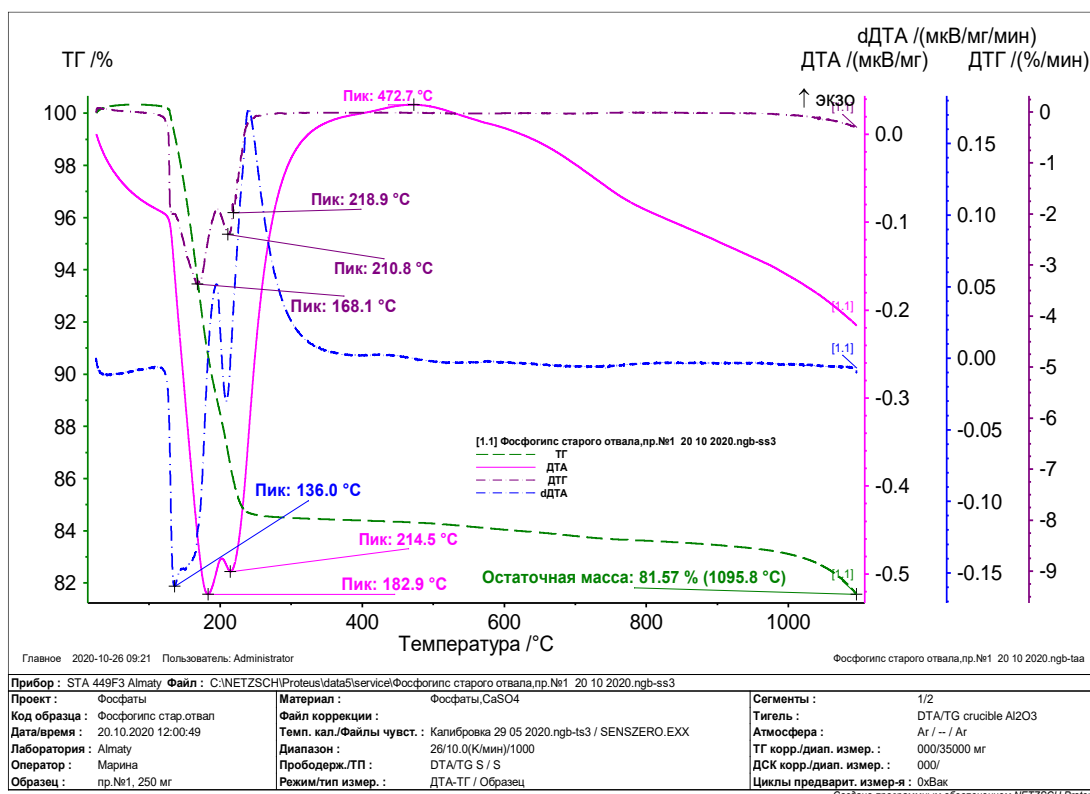
Фосфогипстің зерттелген үлгілеріне термиялық талдау STA 449 F3 Jupiter синхронды термиялық талдау құрылғысында жүргізілді. Қыздыру 10°C/мин жылдамдықпен жоғары тазартылған аргон атмосферасында, ал салқындату 12°C/мин жылдамдықпен жүргізілді.

STA 449 F3 Jupiter құралымен алынған нәтижелер NETZSCH Proteus бағдарламалық құралы арқылы өңделді.

Нәтижелер мен оларды қорытындылау

STA 449 F3 Jupiter синхронды термиялық талдау құрылғысында фосфогипс үлгілерінің дифференциалды термиялық талдауының нәтижелері 1 және 2 суреттерде көрсетілген.

№1 үлгі–ескі үйіндіден алынған фосфогипс.



Сурет 1. Ескі үйіндіден фосфогипс үлгілерін термиялық талдау нәтижелері

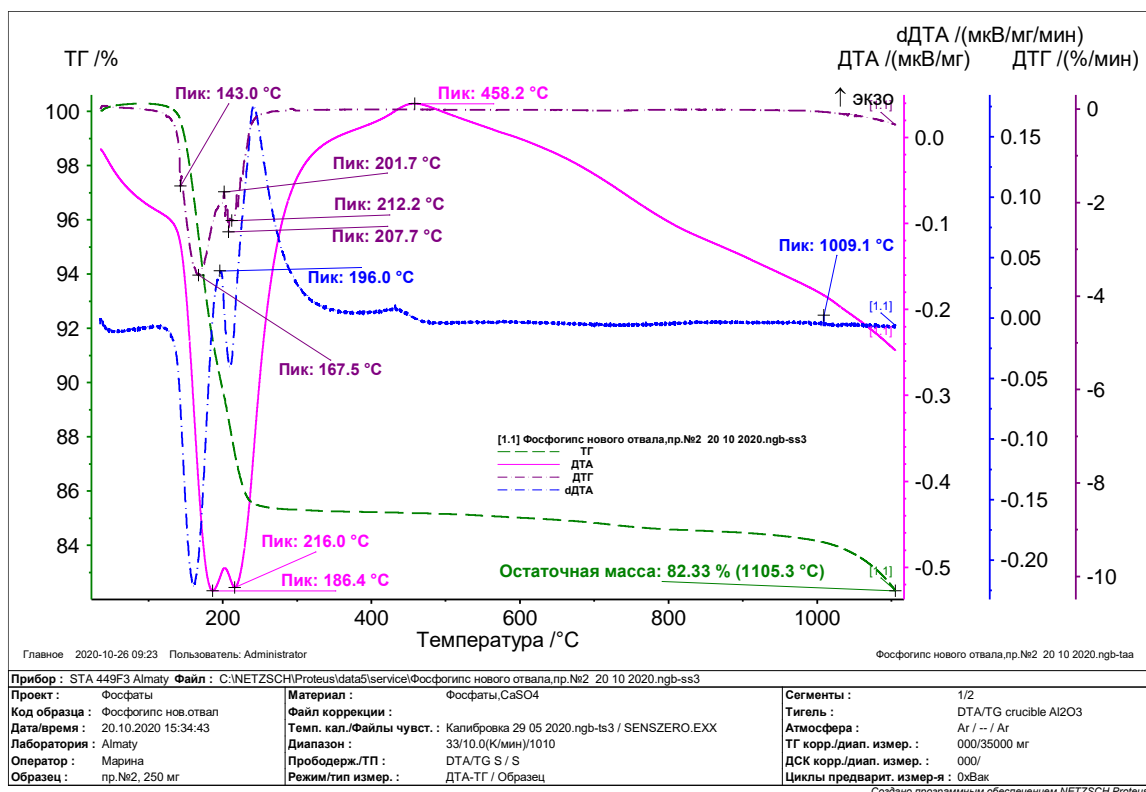
1 суретті талдау ДТА қисығының максималды дамуы 182,9°C және 214,5°C болатын қарқынды эндотермиялық әсерлерді анық көрсетеді. Сонымен қатар 427,7°C шыңы бар біршама кеңейтілген экзотермиялық әсер бар, бұл химиялық реакциялармен байланысты зерттелетін заттың бір минералды күйден екіншісіне атап айтқанда, дигидраттың гемигидратқа ауысуы болуы мүмкін. dDTA қисығында 136°C әлсіз эндотермиялық әсерді экстремуммен көруте болады.

DTA қисығында көрсетілген жоғарыда келтірілген эндотермиялық әсерлер ығалдың және басқа ұшқыш заттардың жойылуына байланысты үлгі салмағының төмендеуімен қатар жүреді. Оның даму аймағындағы TG қисығы күрт төмендеуді көрсетеді, бұл әсерлер үшін DTG қисығының минимумы 168,1°C және 210,8°C. DTG қисығы да 218,2°C әлсіз минимумды көрсетеді. Гипстің түзілуіне ДТА қисығына эндотермиялық және экзотермиялық әсерлер тән - CaSO4 · 2H2O. Бірінші эндотермиялық әсер 182,9°C оның гемигидратқа дейін сусыздануын көрсетеді, ал екіншісі 214,5°C фосфогипс үлгісінің толық сусыздануын сипаттайды. 427,7°C температурадағы экзотермиялық әсер тордың қайта құрылуының және ди- және гемигидратты гипстің ерімейтін ангидритке айналуының көрінісі болып табылады. DTG қисығы бойынша 218,2°C әлсіз минимум гидратталған SiO2· nH2O гелінің сусыздануының көрінісі болуы мүмкін. Сонымен қатар, экзотермиялық әсер де осы гелдің кристалдануын көрсетуі мүмкін.

2 суретте 150-ден 250°C дейінгі 1-суретте көрсетілген температуралық диапазондағы нақты анықталған үрдістерді көрсететін «Қазфосфат» ЖШС жаңа үйіндісінен таңдалған фосфогипс туралы ақпарат берілген.

2 суретті талдау ДТА қисығы 186,4°C және 216°C максималды дамуы бар қарқынды эндотермиялық әсерлерді көрсетеді. Экзотермиялық әсер 458,2°C шыңында да байқалады.

№2 үлгі – жаңа үйіндіден алынған фосфогипс.



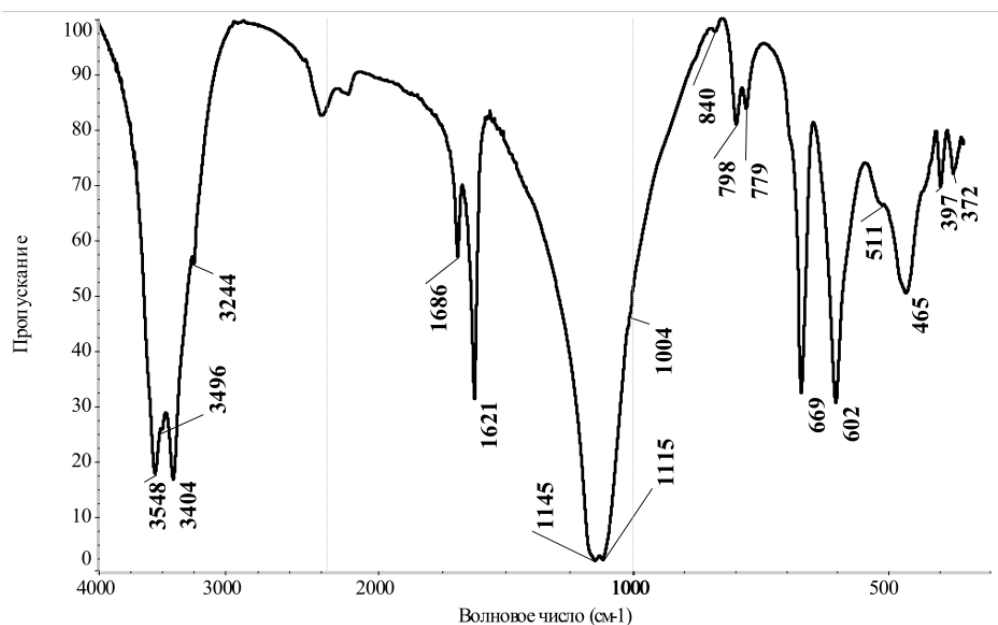
Сурет 2. Жаңа үйіндіден фосфогипс үлгілерін термиялық талдау нәтижелері

dDTA қисығы 196°C және 1009,1°C шыңдарымен әлсіз экзотермиялық әсерлерді көрсетеді. DTA қисығында, сондай-ақ 1суретте көрсетілген эндотермиялық әсерлер үлгі салмағының қарқынды төмендеуімен бірге жүреді, ол TG қисығының бойынан көрінеді. DTG қисығын талдау оның минимумдары 167,5°C және 212,2°C, сонымен қатар 143°C, 207,7°C кезінде қосымша минимумдар, сондай-ақ 201,7°C әлсіз максимум бар екенін көрсетеді.

DTA қисығына эндотермиялық және экзотермиялық әсерлердің комбинациясы, жоғарыда көрсетілгендей, гипстің болуымен тән - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. DTA қисығын талдай отырып, 186,4°C температурада дигидраттың гемигидратқа дейін сусыздануымен сипатталатын бірінші эндотермиялық әсердің, ал екіншісі – 216°C – толық сусыздану процесі болатынын атап өтуге болады. Айта кету керек, 458,2°C температурадағы экзотермиялық әсер тордың қайта құрылуының және гипс дигидрогенатының ерімейтін ангидритке айналуының көрінісі болып табылады.

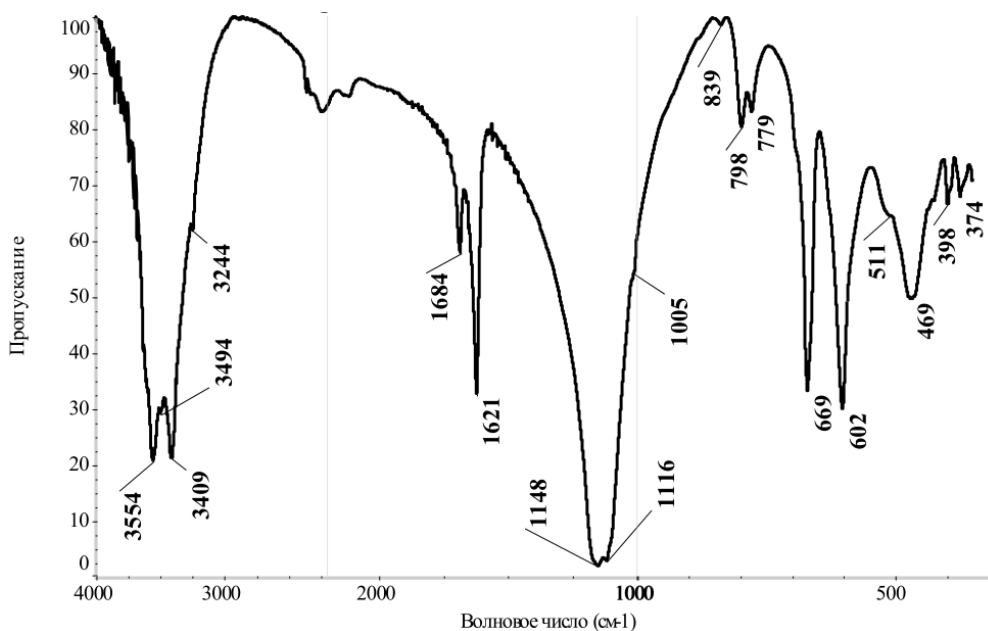
DTG қисығы бойынша 143°C минимум мен әлсіз экзотермиялық әсердің, dDTA қисығында 196°C шыңымен үйлесуі $nSiO_2 \cdot mH_2O$, кремний қышқылының қоспасының түзілуімен байланысты болуы мүмкін. Соныменқатар, 143°C температурадасусыздандырупроцесі 196°C кристалданатын силикагельдің түзілуімен жүреді. DTG қисығы бойынша 201,7°C әлсіз максимум теміржәне темірқоспасының тотығу процесін көрсетуі мүмкін. DTG қисығында 207,7°C минимум мен әлсіз экзотермиялық әсердің, dDTA қисығында шыңы 1009,1°C болатын комбинациясы алюминий фосфатының аздаған мөлшерінің $Al_3[PO_4](OH)_6 \cdot 6H_2O$ болуын көрсетеді. 207,7°C температурада сусыздану процесі аморфты заттың түзілуімен байланысты болады, ол 1009,1°C аморфты фазаның кристалдануына әкеледі.

Фосфогипс үлгілерін ИҚ-Фурьедезерттеу, спектрометр «Avatar 370 CsI» спектрлері 4000-300 cm^{-1} спектрлік диапазонында алынды. Ескі үйіндіден алынған фосфогипсті зерттегенде, 3-суретте көрсетілгендей, оның құрамында айқын шыңдары бар гипс бар екені анықталды: гипс $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$ - 3548, 3496, 3404, 3244, 1686, 1621, 1145, 1115, 1004, 669, 602 cm^{-1} және кварц SiO_2 - 798, 779, 511, 465, 397, 372 cm^{-1} .



Сурет 3. Ескі үйіндіден алынған фосфогипстің ИҚ талдауы

4суретте көрсетілген жаңа фосфогипс үйіндісінен алынған фосфогипсті зерттеудің рентгендік талдауы 3 суреттегідейшыңдардыңазапсандықауытқуларынжәнеоныңқұрамында гипс $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 3554, 3494, 3409, 3244, 1684, 1621, 1148, 1116, 1005, 669, 602 cm^{-1} және кварц SiO_2 25,9,17, 374 cm^{-1} бар екенінкөрсетеді.



Сурет 4. Жаңа үйіндіден алынған фосфогипстің ИҚ талдауы

Ескі және жаңа үйінділерден алынған фосфогипс үлгілерін зерттеу LEICA DM 2500 P маркалы микроскоппен зерттелді. Зерттеу алдында минералды фазаларды диагностикалау үшін үлгінің негізгі материалы сыну көрсеткіштері белгілі иммерсиялық ортаға батырылды. Сонымен қатар үлгілердегі кен минералдарын анықтау үшін үлгі материалынан жасанды жылтыратылған брикеттер дайындалды.

Ескі және жаңа үйінділерден алынған фосфогипс үлгілерін зерттеу LEICA DM 2500 P маркалы микроскоппен зерттелді. Зерттеу алдында минералды фазаларды диагностикалау үшін үлгінің негізгі материалы сыну көрсеткіштері белгілі иммерсиялық ортаға батырылды. Сонымен қатар үлгілердегі кен минералдарын анықтау үшін үлгі материалынан жасанды жылтыратылған брикеттер дайындалды.

Қорытынды

Қорытындылай келе ескі және жаңа үйінді қалдықтарынан алынған фосфогипс үлгілері кешенді туко қоспалы минералды тыңайтқыш алуда қолданбалы деп табылды. Қоршаған табиғи ортаны және өндірістік аймақтарды ластаушы болып табылатын аталған қалдықтарды қажетке жарату технологияларын жасауда бастама бола алады. Алынған зерттеу нәтижелері түрлі өндіріс қалдықтарынан кешенді микроэлементтер мазмұндайтын туко қоспалы тыңайтқыштарын алу бойынша зерттеулер жүргізуге бастама бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты. – Ленинград: Химия, 1981. – 234 с.
2. Позин М.Е. Технология минеральных солей, часть 2. – Ленинград: Химия, 1974. – 1586 с.
3. Ахметов Т.Г. Химическая технология неорганических веществ. В 2кн., кн.1. – Москва: Высш. шк., 2002. – 688 с.
4. Соколовский А.А., Яшке Е.В. Технология минеральных удобрений и кислот. – Москва: Химия, 1971. – 456 с.
5. Позин М.Е., Копылев Б.А., Беглов В.Н., Ершов В.А. Переработка фосфоритов Каратау. – Ленинград: Химия, 1975. – 272 с.
6. Справочник агрохимика. – Москва: Россельхозиздат, 1980. – 286 с.
7. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. – Москва: Колос, 1981. – 319 с.
8. Жантасов К.Т., Искандиров М.З., Айбалаева К.Д. Современные технологии переработки минерального сырья. – Шымкент: изд. Элем, 2015. – 342 с.
9. Haoming Ren, Wenbai Liu, Dingwen Zhang. Application of phosphogypsum to solidification of silty soil: Mechanical properties and microstructure. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. – 2021. – Vol. 29. – P. 1419-1425. DOI: <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1971804>.
10. Algimantas Kazragis. High-temperature decontamination and utilization of phosphogypsum. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. – 2004. – Vol. 12(4). – P. 201-207.
11. Ilić M., Miletić S. Munitlak R. Utilization of the waste phosphogypsum for the Portland cement clinker production. – 2008. – Vol. 3. – P. 201-207. DOI: <https://doi.org/10.1080/02772249909358701>.
12. Yassine Ennaciri, Mohammed Bettach. Procedure to convert phosphogypsum waste into valuable products. *Materials and Manufacturing Processes*. – 2018. – Vol. 33(16). – P. 1727-1733.
13. Balkaya N., Cesur H. Influence of operating parameters on lead removal from wastewater by phosphogypsum. *Environmental Technology*. – 2003. – Vol. 24(6). – P. 727-733. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330309385609>.
14. Ezzeddine Saadaoui, Naziha Ghazel, Chokri Ben Romdhane, Nouman Massoudi. Phosphogypsum: potential uses and problems – a review. *International Journal of Environmental Studies*. – 2017. – Vol. 74(4). – P. 558-567. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1330582>.
15. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения. Сообщение II // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 09(113). – С. 2-27.

16. Белюченко И.С. Патент РФ № 2423812, Идр. Способ улучшения агрофизических свойств почвы А01В7 9/02. – 2011.
17. Ахмедов М.А., Атакузаев Т.А. Фосфогипс. Исследование и применение. – Ташкент: Изд-во "Фан" УзССР, 1980. – 171 с.
18. Yang R., Su Y., Wang T., Yang Q. Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland // *Jour. of Integrative Agriculture*. – 2016. – №15(3). – P.658-666.
19. Tanirbergenov S., Saparov A., Suleymenov B. Methods of increasing productivity and environmental sustainability of cotton on irrigated light gray soils of the South Kazakhstan region // *International Congresson "Soil Science in International Year of Soils"*. – Sochi, Russia: 2015. – 405-408 p.

К.Т. Жантасов¹, С.Б. Жуматаева¹, Б.А. Лавров²

¹НАО ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (ТУ), Санкт-Петербург, Россия

Эффективное использование фосфогипса отходов производства фосфора

Аннотация. Проведен краткий обзор способов применения фосфогипса, являющегося отходом фосфорного производства в составе минерального удобрения длительного действия для применения в различных отраслях народного хозяйства и, в частности, в агропромышленном комплексе. Результаты исследования физико-химических свойств фосфогипса представлены для обоснования возможности использования в качестве мелиоранта при прокаливании подкисленных почв благодаря наличию в его составе CaSO₄, макро- и микроэлементов. Рентгенофазовый анализ фосфогипса показал, что в составе старых и новых отвалов содержатся: гипс CaSO₄·2H₂O - 87,93% и 85,04%; кварц SiO₂ - 9,10% и 10,58%; бассанит CaSO₄·0,67H₂O - 2,97% и 4,38% соответственно. Исследован химический состав образцов фосфогипса из старых и новых отвалов Таразского филиала ТОО «Казфосфат». Проведены дифференциально-термический и ИК-анализ образцов фосфогипса указанных отвалов. Установлено, что особых различий в содержании основных компонентов нет. На основании проведенных исследований исследована возможность получения нового ассортимента комплексных комбинированных удобрительных смесей из твердых отходов производственных объектов длительного действия. Комплексное комбинированное удобрение в плане содержит фосфатное вещество, вермикулит в качестве влагосберегающего компонента, внутренние породы и фосфогипс, содержащие микроэлементы в качестве нейтрализатора почвенного покрова для уменьшения закисления и засоления посевных площадей.

Ключевые слова: фосфогипс, минеральные удобрения, туко смесь, хвостовые отвалы, состав, смешивание.

К.Т. Zhantasov¹, S.B. Zhumatayeva¹, B.A. Lavrov²

¹South Kazakhstan state University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

²Saint Petersburg State Technological Institute, Saint Petersburg, Russia

Effective use of phosphogypsum waste from phosphorus production

Abstract. The article presents a brief overview of the methods and methods of application of phosphogypse, which is a waste of phosphorus production, as part of a long-term mineral fertilizer for

use in various sectors of the national economy and, in particular, in the agro-industrial complex. The results of the study of the physico-chemical properties of phosphogyps are presented to justify the possibility of using it as a meliorant in the calcination of acidified soils due to the presence of CaSO_4 , macro - and microelements in its composition. X - ray phase analysis of phosphogypsa shows the content of old and new piles: gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 87.93% and 85.04%; Quartz SiO_2 - 9.10% and 10.58%; bassanite $\text{CaSO}_4 \cdot 0,67\text{H}_2\text{O}$ -2.97% and 4.38%, respectively. The authors have studied chemical composition of phosphogyps samples taken from old and new landfills of the Taraz branch of Kazphosphate LLP. Differential-thermal and IR analysis of phosphogyps samples of these dumps was carried out. It turned out that there are no special differences in the content of the main components. Based on the conducted studies, the authors studied the possibility of obtaining a new range of complex mixed fertilizer mixtures from solid waste of industrial facilities with a long-acting content. Complex mixed fertilizer in the plan includes a phosphorous substance, vermiculite as a moisture-retaining component, internal rocks containing trace elements as a soil cover neutralizer to reduce acidification and salinization of acreage, and phosphogyps.

Keywords: phosphogyps, mineral fertilizers, tuko mixture, waste dumps, composition, mixing.

References

1. Kopylev B.A. Tekhnologiya ekstrakcionnoyfosfornoj kisloty [Technology of extraction phosphoric acid] (Leningrad: Himiya, 1981, 234 s.) [Leningrad: Chemistry, 1981, 234 p.]. [in Russian]
2. Pozin M.E. Tekhnologiya mineral'nyhsolej, chast' 2 [Technology of mineral salts, part 2] (Leningrad: Himiya, 1974. 1586 s.) [Leningrad: Chemistry, 1974, 1586 p.]. [in Russian]
3. Ahmetov T.G. Himicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv. V 2kn., kN.1. [Chemical technology of inorganic substances. In 2 books, book 1] (Moskva: Vyssh. shk., 2002, 688 s.) [Moscow: Higher school, 2002, 688 p.]. [in Russian]
4. Sokolovskij A.A., YAshke E.V. Tekhnologiyamineral'nyh udobrenij i kislot [Technology of mineral fertilizers and acids] (Moskva: Himiya, 1971, 456 s.) [Moscow: Chemistry, 1971, 456 p.]. [in Russian]
5. Pozin M.E., Kopylev B.A., Beglov V.N., Ershov V.A. Pererabotka fosforitov Karatau [Phosphorite processing Karatau] (Leningrad: Himiya, 1975, 272 s.) [Leningrad: Chemistry, 1975, 272 p.]. [in Russian]
6. Spravochnik agrohimiya [Handbook of agrochemist] (Moskva: Rossel'hozizdat, 1980, 286 s.) [Moscow: Rosselkhozizdat, 1980, 286 p.]. [in Russian]
7. Smirnov P.M., Muravin E.A. Agrohimiya [Agrochemistry] (Moskva: Kolos, 1981, 319 s.) [Moscow: Kolos, 1981, 319 p.]. [in Russian]
8. ZHantasov K.T., Iskandirov M.Z., Ajbalaeva K.D. Sovremennye tekhnologii pererabotki mineral'nogo syr'ya [Modern technologies of processing mineral raw materials], (SHymkent: izd. Alem, 2015, 342 s.). [in Russian]
9. Haoming Ren, Wenbai Liu, Dingwen Zhang. Application of phosphogypsum to solidification of silty soil: Mechanical properties and microstructure. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 29, 1419-1425 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1971804>.
10. Algimantas Kazragis. High-temperature decontamination and utilization of phosphogypsum. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(4), 201-207 (2004).
11. Ilić M., Miletić S. Munitlak R. Utilization of the waste phosphogypsum for the Portland cement clinker production, 3, 201-207 (2008). DOI: <https://doi.org/10.1080/02772249909358701>.
12. Yassine Ennaciri, Mohammed Bettach. Procedure to convert phosphogypsum waste into valuable products. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(16), 1727-1733 (2018).

13. Balkaya N., Cesur H. Influence of operating parameters on lead removal from wastewater by phosphogypsum. *Environmental Technology*, 24(6), 727-733 (2003). DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330309385609>.
14. Ezzeddine Saadaoui, Naziha Ghazel, Chokri Ben Romdhane, Nouman Massoudi. Phosphogypsum: potential uses and problems – a review. *International Journal of Environmental Studies*, 74(4), 558-567 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1330582>.
15. SHeudzhen A.H., Bondareva T.N. Ispol'zovanie fosfogipsa nejtralizovannogo na posevahrisa v kachestve polikomponentnogo udobreniya. *Soobshchenie II, Nauchnyj zhurnal KubGAU* [The use of phosphogypsum neutralized on rice crops as a multicomponent fertilizer. Message II, Scientific journal of KubGAU], 09(113) ,2-27 (2015). [in Russian]
16. Belyuchenko I.S. Patent RF № 2423812,. Idr. Sposob uluchsheniya agrofizicheskikh svoystv pochvy A01V7 9/02 [RF patent No. 2423812. And etc. A method for improving the agrophysical properties of soil A01B7 9/02], 2011. [in Russian]
17. Ahmedov M.A., Atakuzaev T.A Fosfogips.Issledovanie i primeneniye [Phosphogypsum. Research and application] (Tashkent: Izd-vo "Fan" UzSSR, 1980, 171 s.) [Tashkent: Publishing house "Fan" UzSSR, 1980, 171 p.]. [in Russian]
18. Yang R., Su Y., Wang T., Yang Q. Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland, *Jour. of Integrative Agriculture*, 15(3), 658-666 (2016).
19. Tanirbergenov S., Saparov A., Suleymenov B. Methods of increasing productivity and environmental sustainability of cotton on irrigated light gray soils of the South Kazakhstan region, *International Congress on "Soil Science in International Year of Soils"*, (Sochi, Russia: 2015, 405-408 p.).

Сведения об авторах:

Жұматаева С.Б. – «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан.

Жантасов К.Т. – РАЕ академигі, т.ғ.д., «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Тауке хана, 5, Шымкент, Қазақстан.

Лавров Б.А. – т.ғ.д., профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты (ТУ), Московский пр., 26, Санкт-Петербург, Ресей

Zhumataeva S.B. - doctoral student of the department "Life safety and environmental protection", M. Aueзов South Kazakhstan state University, Taukekhan str.,5,, Shymkent, Kazakhstan.

Zhantasov K.T. - Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Life Safety and Environmental Protection, M. Aueзов South Kazakhstan state University, Taukekhan str.,5, Shymkent, Kazakhstan.

Lavrov B.A. - Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg Institute of Technology, Moscow ave., 26, Saint Petersburg, Russia.