

Безопасная утилизация фосфогипса и забалансовых руд Аксайского месторождения

¹*ЖУМАТАЕВА Салтанат Бекдаулетовна, докторант, s_zhumatayeva@inbox.ru,

¹ЖАНТАСОВ Курманбек Тажмаханбетович, д.т.н., профессор, k_zhantasov@mail.ru,

²БЕРЖАНОВ Кете-Толеби Досымжанулы, ДДА, зам. акима, k_berzhanov@korda.gov.kz,

³ЖАНТАСОВА Мадина Курманбековна, учитель, zhantasova85@bk.ru,

¹НАО «Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова», Казахстан, Шымкент, пр. Тауке хана, 5,

²Аппарат акима Аральского района, Казахстан, Аральск, ул. Школьная, 33,

³Школа-гимназия № 20 имени Титова, Казахстан, Шымкент, пр. Республики, 96,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассматривается негативное воздействие фосфогипса на окружающую среду. Утилизация и применение фосфогипса, бережное отношение к ресурсам за счет сокращения количества отходов и вторичных материалов, сокращение площадей хранения промышленных отходов в производственных регионах, внедрение новых промышленных и инновационных технологий, повышение качества сырья, ресурсов за счет их рационального и комплексного применения позволяют создать надежный механизм функционирования различных отраслей строительной экономики и решить экологические проблемы промышленных регионов нашей страны. В результате исследований различных видов техногенных отходов (фосфогипс, забалансовых руд) установлено, что могут быть использованы в качестве компонентов для заполнения глубоких выемок и впадин автомобильных дорог. Предлагается один из вариантов эффективного использования фосфогипса в дорожно-строительной отрасли, приводится обоснование возможности использования забалансовых фосфоритных руд вместо щебня для строительства.

Ключевые слова: безопасность жизнедеятельности, отходы производств, защита окружающей среды, забалансовые руды, фосфогипс, строительство.

Введение

В настоящее время в нескольких зарубежных странах рассматриваются альтернативные варианты использования техногенных отходов фосфорной промышленности в строительной индустрии, поскольку его длительное хранение и техническое обслуживание представляют как экономические, так и потенциальные экологические проблемы на окружающую среду и безопасность жизнедеятельности населения. До 15% мирового производства фосфогипса используется для производства строительных материалов в качестве добавки к почве и в качестве регулятора температуры при производстве портландцемента – использование, которое было запрещено в большинстве стран.

Фосфогипс в основном состоит из гипса, но также содержит высокий уровень примесей, таких как фосфаты, фториды и сульфаты, природные радионуклиды, тяжелые металлы, а также редкоземельные элементы. Все это приводит к неблагоприятным воздействиям на окружающую среду и множеству ограничений на применение фосфогипса. Фосфогипс содержит металл с относительно большим количеством радиоактив-

ности, происходящей в основном из 238U и 232-й серий распада, которые представляют опасность для здоровья людей. 226Ra, который распадается до 222Rn в результате излучения альфа-частиц, является одним из наиболее важных радионуклидов с точки зрения радиационной защиты. Основная опасность для здоровья 222Rn связана с его короткоживущими дочерними продуктами альфа-излучателя, которые могут привести к повреждению легких после хронического воздействия. Поэтому для его безопасного использования требуется оценка радиологического воздействия на жителей, которая включает оценку внутреннего облучения в результате выдыхания радона и внешнего облучения в результате гамма-излучения [1].

Негативное атмосферное воздействие может вызвать выброс сильно загрязняющих веществ из-за присутствия опасных паров, содержащих тяжелые металлы, сульфаты, фторсиликаты, фториды водорода и фосфор, кадмий и 226 Ra. Атмосферные загрязняющие пары могут переносить загрязнение в соседние районы и населенные пункты [2].

В настоящее время существует большой интерес к использованию фосфогипса в качестве альтернативного сырья для многих применений. Авторы [3-4] использовали фосфогипс в цементной промышленности как регулятор схватывания, взамен натурального гипса и в гипсовой промышленности для производства гипсовой штукатурки.

Проблема использования фосфогипса в качестве вторичного сырья для производства ликвидных продуктов актуальна еще с прошлого века. Результаты многочисленных исследований убедительно доказали техническую возможность и целесообразность использования фосфогипса в народном хозяйстве вместо природного сырья. Однако предлагаемые варианты утилизации фосфогипса не позволяют кардинально решить данную проблему [3].

Фосфогипс в качестве минерального порошка применяется в производстве гранулированного асфальто вяжущего материала, который применяется в сфере дорожного строительства, решает экологические проблемы, проблемы защиты окружающей среды и другие [3-5]. Ежегодное образование фосфогипса во всем мире составляет около 160 млн т, из которых 40 млн т (25%) производится в США. Общий объем образования фосфогипса до 2006 года оценивается примерно в 6 млрд т, из которых 2,2 млрд т (37%) в США [4].

Вопрос утилизации фосфогипса становится все более актуальным не только в Казахстане и в Российской Федерации, а также в Республике Беларусь. Ежегодный прирост отхода составляет около 800 тыс. т. В настоящее время утилизируется его не более 10% из-за загрязнения фосфогипса различными примесями, требующими нейтрализации. Известно много вариантов применения фосфогипса в дорожном строительстве. Лишь относительно небольшая часть производимого в мире фосфогипса (14%) перерабатывается и используется в качестве строительного материала.

Авторы статьи [5-6] в качестве минерального порошка выбрали оптимальный состав асфальтобетонной смеси – соотношения гудрона, битума и фосфогипса и получили наилучшие показатели ее физико-механических свойств, отвечающие требованиям СТБ 1033-2016. Физико-механические свойства фосфогипсового материала в зависимости от вида исходного сырья и степени уплотнения в месячном возрасте следующие: предел прочности при изгибе, МПа, – 1,5-5,0; прочность на сжатие, МПа, – 3,5-20,0; средняя плотность, кг/м³, – 1600-2000; водопоглощение, %, – 1-6; морозостойкость, циклов – 25-150 [6].

Фосфогипс можно применять при строительстве в болотистых местностях. Для дорог, построенных с применением этого материала, не требуется дренажного слоя из песка. Использование фосфогипса вместо щебня позволяет экономить 20% стоимости дорог 1-й и 2-й технической категории, и 35% для дорог 4-й и 5-й категории [7].

Достоинства. Способность основания моно-

литной плиты отлично переносить резкие температурные перепады, что особенно актуально при промерзании земли, в результате чего покрытие не разрушается и только немного приподнимается, а с наступлением тепла мягко опускается обратно. Отсутствие колеи, которая нередко образуется при длительной эксплуатации традиционного асфальтового покрытия, независимо от веса техники, которая по нему передвигается. Экономическая выгодность применения фосфогипса в асфальтировании.

Отсутствие тепловых швов и стыков на готовом асфальтовом покрытии, которое получается еще более ровным и гладким, а также безопасным и привлекательным внешне. Высокую прочность, которую можно сравнить только с бетоном марки 300 [7, 8].

Возможность укладки такого покрытия для автомобильных дорог практически на любое основание, даже если дорогу необходимо проложить посреди поля, для этого вовсе необязательно снимать верхний слой грунта или корчевать корни кустарников и деревьев, которые каменеют и также становятся неотъемлемой частью нового дорожного полотна [8]. Дорога, построенная с применением фосфогипса, уже спустя четыре дня может быть введена в эксплуатацию. Возможность строительства дороги с применением фосфогипса в зимнее время, под воздействием низких температур данный материал не теряет своих связующих качеств [9, 10].

Материалы и методы

При исследовании в качестве основных материалов применялись фосфогипс а в качестве добавок – отходы в виде забалансовых руд Аксайского месторождения.

Определение компонентов, входящих в состав фосфатного сырья, – SiO₂, P₂O₅, CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O, MnO, N, проведено по методике авторов [11].

Исследование фосфогипса и забалансовых руд проводили в Комплексной лаборатории «Современные строительные материалы» ЮКУ им. М. Ауезова.

Пробы забалансовых руд, взятые на исследование, взвешивали на точных весах по 1 кг и проводили через сита: от 5 (3) до 10 мм; 10 до 15 мм; 10 до 20 мм; 15 до 20 мм; 20 до 40 мм. Соотношение фракций в смесях устанавливают в соответствии с нормативными документами на применение этих смесей для строительных работ. Полные остатки на контрольных ситах при расसेве щебня и гравия фракций должны соответствовать таблице 1.

Результаты и обсуждение

1. *Определение зернового состава забалансовых руд Аксайского месторождения*

Средства контроля и вспомогательные устройства [13]:

- Весы настольные циферблатные по ГОСТ

Таблица 1 – Зерновой состав забалансовых руд Аксайского месторождения				
Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d1)	0,5(d1+D2))	d2)	1,25 D2)
Полные остатки на ситах, % по массе	от 90 до 100	от 30 до 60	до 10	до 0,5
Забалансовые руды Аксайского месторождения	82,4	48,8	15,2	-

d1) – наименьшие номинальные размеры зерен.
D2) – наибольшие номинальные размеры зерен.
Примечания:
Для щебня и гравия фракций от 5 (3) до 10 мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм применяют дополнительно: нижние сита 2,5 мм (1,25), полный остаток на которых должен быть от 95 до 100%.
По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать щебень и гравий с полным остатком на сите 0,5 (d1+D2)) от 30 до 80% по массе.
Взаимосвязь зернового состава щебня (гравия), определяемая при помощи стандартных комплектов сит с круглыми и квадратными отверстиями, принимается согласно СТ РК 1213, раздел 4.3.

29329 или лабораторные по ГОСТ 24104. Шкаф сушильный по утвержденной нормативной документации.

- Сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции: 1,25D; D; 0,5 (D+d); d, а также 2,5 и 1,25 мм. Сито с отверстием 0,063 мм. Сита с квадратными отверстиями размером 4; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 37,5; 63 мм. Секундомер с погрешностью измерения 1 с. Для отсева фракций от 5(3) до 20 мм применяют сито с размером отверстий 10 мм.

2. *Определение влажности забалансовых руд Аксайского месторождения*

Сущность метода заключается в определении влажности щебня путем сравнения массы пробы во влажном состоянии и после высушивания.

Средства контроля и вспомогательные устройства

- Весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104.

- Шкаф сушильный.

Влажность щебня (гравия) W, в процентах по массе, определяют по формуле [14]:

$$w = \frac{(T - m_1)}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$w = \frac{1568 - 1490}{1490} \cdot 100\% = 5,2\%,$$

m – масса пробы во влажном состоянии, г;

m₁ – масса пробы в сухом состоянии, г;

m = 568 кг/м³;

m₁ = 1490 кг/м³.

3. *Определение насыпной пустотности забалансовых руд Аксайского месторождения*

Пустотность щебня (гравия) V_n, в процентах по объему, определяют по формуле [14, 13]:

$$V_n = 1 \frac{\rho_n}{\rho_m} \cdot 100, \quad (2)$$

$$V_n = 1 \frac{1490}{3300} \cdot 100 = 54,8,$$

ρ_m – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

4. *Прочность забалансовых руд Аксайского месторождения*

Прочность [13-14] щебня и гравия характеризуют маркой, определяемой по дробимости щебня и гравия при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуют маркой по истираемости в полочном барабане. Марки по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

При исследовании прочности забалансовые руды Аксайского месторождения просеяли через сито размером 5, 10, 20, 40. В фракции 20 была равна 24,4%, т.е. в соответствии с таблицей 3 марке Д300 в сухом состоянии. Марки по дробимости забалансовой руды – Д300 соответствует требованиями, указанным в таблице 2.

Дробимость D_p в процентах определяют с точностью до 1% по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (3)$$

где m – масса общая, г.

m₁ – остаток на сите, г;

$$D_p = \frac{58}{354} \cdot 100 = 16,4\%.$$

Во фракции 20 (образец щебень) дробимость была равна 16,4%, в соответствии с таблицей 3 марке Д600 в сухом состоянии.

$$D_{p40} = \frac{60}{316} \cdot 100 = 19\%.$$

Во фракции 40 (забалансовая руда) равно 19% т.е. в соответствии с таблицей 3 марке Д600 в сухом состоянии.

$$D_{p20} = \frac{76}{312} \cdot 100 = 24,4\%.$$

Во фракции 20 (забалансовая руда) равно 24,4%, марка – Д600.



Рисунок 1 – Образец щебня



Рисунок 2 – Забалансовая руда Аксайского месторождения



Рисунок 3 – Пресс ПСУ-50

Таблица 2 – Марки по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород [13-14]

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии
1200	до 11 включ.	до 11 включ.
1000	св. 11 до 13 включ.	св. 11 до 13 включ.
800	13-15	13-15
600	15-19	15-20
400	19-24	20-28
300	24-28	28-38
200	28-35	38-54

$$D_{p_{10}} = \frac{92}{328} \cdot 100 = 28\%.$$

Во фракции 10 (забалансовая руда) равно 28%, марка – Д300.

$$D_{p_5} = \frac{82}{334} \cdot 100 = 24,6\%.$$

Во фракции 5 (забалансовая руда) равно 24%

т.е. в соответствии с таблицей 3 марке Д300 в сухом состоянии.

$$D_{p_{cp}} = 24\%.$$

то есть, в среднем, составляет – 24%, марка – Д300.

Анализируя результаты исследования, делаем вывод, что вместо щебня можно использовать фосфоритные забалансовые руды для дорожных сооружений, а также для заполнения глубоких



Рисунок 4 – Форма для определения дробимости
75

лощин и рвов, встречающихся при прокладке трассы автодорог, а также в строительной индустрии это позволит значительно улучшить экологическую обстановку промышленных регионов и безопасность жизнедеятельности живых организмов и людей и получить значительный эколого-экономический эффект.

Выводы

Сложившиеся экономические тенденции в Казахстане обостряют проблему истощения природного капитала. Ежегодное поступление техногенных отходов в окружающую среду и прогнозирование воздействия новых синтетических соединений и материалов приводит к нарушению санитарно-гигиенических условий труда, обслуживающего персонала предприятия по производству экстракционной фосфорной кислоты и их продукции. Поэтому утилизация и применение забалансовых фосфоритных руд и фосфогипса требуют предусмотрительного отношения к материальным ресурсам за счет минимизации количества отходов и вторичных материалов, площадей хранения промышленных техногенных отходов в производственных регионах и являются остроактуальной проблемой настоящего времени. Промышленность строительных материалов является уникальным утилизатором техногенных отходов. Более 90% промышленных отходов составляют хвосты добычи и обогащения полезных ископаемых. С целью более активного использования крупнотоннажных отходов в промышленности необходима утилизация техногенных отходов, что позволит создать рынок вторичных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barbara P. Mazzilli, Marcelo F. Máduar, Marcelo B. Nisti, Marcia P. de Campos. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares São Paulo, Brazil. Radiological implications of phosphogypsum as building material. NORM VIII – Rio de Janeiro 2016.
2. Применение фосфогипса в дорожном строительстве / Я.Н. Ковалев [и др.] // Наука и техника. 2021. Т. 20. № 6. С. 493-498. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-493-498>.
3. Патент RU 2 701 007. Способ получения гранулированного асфальтовяжущего на основе фосфогипса / Голиков И.В., Готовцев В.М., Игнатьев А.А., Герасимов Д.В. 24.09.2019 Бюл. № 27.
4. Ильин А.П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ / Иван. гос. хим.технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 133 с.
5. Переработка фосфоритов Каратау / Под ред. М.Е. Позина, В.А. Ершова и др. Л.: Химия, 1975. 272 с.
6. Жантасов К.Т. и др. Технологическое оснащение производства фосфора. Алматы, 2014. – 444 с.
7. Wending Xiao, Dapeng Zhang, and Patrick Zhang, «Upgrading Phosphogypsum for Uses as Construction Materials» in «Beneficiation of Phosphates VIII», Dr. Patrick Zhang, Florida Industrial and Phosphate Research Institute, USA Professor Jan Miller, University of Utah, USA Professor Laurindo Leal Filho, Vale Institute of Technology (ITV), Brazil Marius Porteus, Foskor-Mining Division, South Africa Professor Neil Snyders, Stellenbosch University, South Africa Mr. Ewan Wingate, WorleyParsons Services Pty Ltd., Australia Prof. Guven Akdogan, Stellenbosch University, South Africa Eds, ECI Symposium Series, (2018). https://dc.engconfintl.org/phosphates_viii/39
8. <https://regnum.ru/news/innovatio/2666451.html>
9. <https://www.b-construction.ru/poleznaya-informacziya/fosfogips.html>
10. Хорошавин Л.Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: [учеб. пособие] / Л.Б. Хорошавин, В.А. Беляков, Е.А. Свалов; [науч. ред. А.С. Носков]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 220 с.
11. Казов М.Н., Казова Р.А., Жуманова З.С., Жантасов К.Т. Физико-химическое исследование процессов термической обработки фосфоритов // Технология неорганических веществ и минеральных удобрений: тез. докл. всесоюз. конф. – Чимкент, 1981. – Т. 1. – С. 64-65.
12. Долгих М.А., Шеляпин Р.С. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пос. по разделу «Физические и механические характеристики грунтов». – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 2002. – 208 с.
13. ГОСТ 1284-2004 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительной работы.
14. ГОСТ 1213-2003 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительной работы.

Ақсай кен орнының баланстан тыс кендерін және фосфогипсті қауіпсіз залалсыздандыру

¹*ЖУМАТАЕВА Салтанат Бекдаулетовна, докторант, s_zhumatayeva@inbox.ru,

¹ЖАНТАСОВ Құрманбек Тажмаханбетұлы, т.ғ.д., профессор, k_zhantasov@mail.ru,

²БЕРЖАНОВ Кете-Төлеби Досымжанұлы, ІӘД, әкімнің орынбасары, k_berzhanov@korda.gov.kz,

³ЖАНТАСОВА Мадина Курманбековна, мұғалім, zhantasova85@bk.ru,

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

²Арал ауданы әкімінің аппараты, Қазақстан, Арал, Школьная көшесі, 33,

³Титов атындағы № 20 мектеп-гимназиясы, Қазақстан, Шымкент, Республика даңғылы, 9б,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Фосфогипстің қоршаған ортаға кері әсері қарастырылады. Фосфогипсті тиімді пайдалана отырып, қалдықтар мен қайталама материалдардың санын азайту есебінен ресурстарды сақтау, өндірістік өңірлерде өнеркәсіптік қалдықтарды сақтау алаңдарын қысқарту, сондай-ақ жаңа өнеркәсіптік және инновациялық технологияларды енгізу, оларды ұтымды және кешенді қолдану барысында шикізат, ресурстар сапасын арттыру құрылыс экономикасының әртүрлі салаларының дамуы, еліміздің өнеркәсіптік аймақтарындағы және экологиялық мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Техногендік қалдықтардың әртүрлі түрлерін (фосфогипс, баланстан тыс кендер) зерттеу нәтижесінде автомобиль жолдарының терең ойықтары мен ойпаттарын толтыру үшін компоненттер ретінде пайдалануға болатындығы анықталды. Жол-құрылыс саласында фосфогипсті тиімді пайдалану нұсқаларының бірі ұсынылады, құрылыс саласында қиыршық тастың орнына баланстан тыс фосфорит кендерін пайдалану мүмкіндігінің негіздемесі келтіріледі.

Кілт сөздер: тіршілік қауіпсіздігі, өндіріс қалдықтары, қоршаған ортаны қорғау, баланстан тыс кендер, фосфогипс, құрылыс.

Safe Utilization of Phosphogypsum and Aksai Off-balance Sheet Ores

¹*ZHUMATAYEVA Saltanat, Doctoral Student, s_zhumatayeva@inbox.ru,

¹ZHANTASOV Kurmanbek, Dr. of Tech. Sci., Professor, k_zhantasov@mail.ru,

²BERZHANOV Kate-Tolebi, DBA, Deputy Akim, k_berzhanov@korda.gov.kz,

³ZHANTASOVA Madina, Teacher, zhantasova85@bk.ru,

¹NCJSC «Mukhtar Aueзов South Kazakhstan University», Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan Avenue, 5,

²Akim's office of the Aral region, Kazakhstan, Aral, Shkolnaya Street, 33,

³School-gymnasium No. 20 named after Titov, Kazakhstan, Shymkent, Republic Avenue, 9b,

*corresponding author.

Abstract. The article discusses the phosphogypsum negative influence on the environment. Utilization and application of phosphogypsum, as a careful attitude to resources by reducing the amount of waste and secondary materials, reducing the storage area of industrial waste in production regions, the introduction of new industrial and innovative technologies, improving the quality of raw materials, resources through their rational and integrated use, allows you to create a reliable mechanism for the functioning of various sectors of the construction economy and solve environmental problems of industrial regions of our country. As a result of studies of various types of technogenic waste (phosphogypsum, off-balance ores), it was found that they can be used as components for filling deep recesses and depressions of highways. One of the options for the effective use of phosphogypsum in the road construction industry is proposed, the justification for the possibility of using off-balance phosphorous ores instead of crushed stone for construction was given.

Keywords: life safety, industrial waste, environmental protection, off-balance ores, phosphogypsum, construction.

REFERENCES

1. Barbara P. Mazzilli, Marcelo F. Máduar, Marcelo B. Nisti, Marcia P. de Campos. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares São Paulo, Brazil. Radiological implications of phosphogypsum as building material. NORM VIII – Rio de Janeiro 2016.
2. Primeneniye fosfogipsa v dorozhnom stroitel'stve / YA.N. Kovalev [i dr.] // Naukaitekhnika. 2021. T. 20, no. 6. Pp. 493-498. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-493-498>.
3. Patent RU 2 701 007. Sposob polucheniya granulirovannogo asfal'tovyazhushchego na osnove fosfogipsa. Golikov I.V., Gotovtsev V.M., Ignat'yev A.A., Gerasimov D.V. 24.09.2019 Byul. No. 27.
4. Il'in A.P. Sovremennyye problem khimicheskoy tekhnologii i neorganicheskikh veshchestv. Ivan. gos. khim.tekhnol. un-t. – Ivanovo, 2011. – 133 p.
5. Pererabotka fosforitov Karatau / Pod red. M.Ye. Pozina, V.A. Yershova i dr. Leningrad: Khimiya, 1975. 272 p.
6. Zhantasov K.T. i dr. Tekhnologicheskoye osnashcheniye proizvodstva fosfora. Almaty, 2014. – 444 p.
7. Wending Xiao, Dapeng Zhang, and Patrick Zhang, «Upgrading Phosphogypsum for Uses as Construction Materials» in «Beneficiation of Phosphates VIII», Dr. Patrick Zhang, Florida Industrial and Phosphate Research Institute, USA Professor Jan Miller, University of Utah, USA Professor Laurindo Leal Filho, Vale Institute of Technology (ITV), Brazil Marius Porteus, Foskor-Mining Division, South Africa Professor Neil Snyders, Stellenbosch University, South Africa Mr. Ewan Wingate, WorleyParsons Services Pty Ltd., Australia Prof. Guven Akdogan, Stellenbosch University, South Africa Eds, ECI Symposium Series, (2018). https://dc.engconfintl.org/phosphates_viii/39
8. <https://regnum.ru/news/innovatio/2666451.html>
9. <https://www.b-construction.ru/poleznaya-informatsiya/fosfogips.html>
10. Khoroshavin L.B. Osnovnyye tekhnologii pererabotki promyshlennykh i tverdykh kommunal'nykh otkhodov: [ucheb. posobiye] / L.B. Khoroshavin, V.A. Belyakov, Ye.A. Svalov; [nauch. red. A.S. Noskov]; M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Ural. feder. un-t. – Yekaterinburg: Publ. Ural. un-ta, 2016. – 220 p.
11. Kazov M.N., Kazova R.A., Zhumanova Z.S., Zhantasov K.T. Fiziko-khimicheskiye issledovaniye protsessov termicheskoy obrabotki fosforitov // Tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv i mineral'nykh udobreniy: tez. dokl. vsesoyuz. konf. – Chimkent, 1981. – T. 1. – Pp. 64-65.
12. Dolgikh M.A., Shelyapin R.S. Mekhanikagrunтов, osnovaniya i fundamenty: ucheb. pos. po razdelu «Fizicheskiye i mekhanicheskiye kharakteristiki grunтов». – Moscow: MISI im. V.V. Kuybysheva, 2002. – 208 p.
13. GOST 1284-2004 Shcheben' i graviy iz plotnykh gornykh porod dlya stroitel'noy raboty.
14. GOST 1213-2003 Shcheben' i graviy iz plotnykh gornykh porod i otkhodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitel'noy raboty.