

УДК 661.842.532+668.8

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л.

### КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ФОСФОГИПСА С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Почему извлечение редкоземельных элементов из отвалов фосфогипса наиболее перспективное и выгодное направление в решении задачи комплексной переработки фосфогипса:

- извлечение редкоземельных элементов из отвалов фосфогипса это, прежде всего, освоение запасов техногенных месторождений;
- существует устойчивая тенденция резкого увеличения спроса и стоимости редкоземельных элементов;
- запасы природного гипса ограничены и исчерпываются из-за истощения старых и невозможности разработки новых месторождений по экологическим и экономическим причинам;
- стоимость добычи и очистки природного гипса приближается к стоимости гипса, полученного из фосфогипса.

Редкоземельные металлы, или лантаноиды, представлены 15 химически подобными элементами (с порядковыми номерами от 57 – лантан до 71 – лютеций), теоретически объединенными в одной основной группе периодической таблицы Менделеева. В коммерческой практике в эту группу включают еще два элемента, находящиеся в таблице над лантаном, – иттрий с порядковым номером 39 и скандий с номером 21 (его природные источники и области применения существенно отличаются от остальных редкоземельных металлов). Редкоземельные элементы подразделяются на три группы: легкие, средние и тяжелые. В первую группу входят: лантан, церий, празеодимий, неодим; во вторую – прометий (в природе не встречается), самарий, европий, гадолиний; в третью – тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций, иттрий и скандий.

В современных условиях XXI столетия приемлемо только комплексное использование высокоценного сырья, как на стадии его обогащения, так и при последующей химико-металлургической переработке получаемых концентратов, на принципах экономической и экологической эффективности использования недр. Например, по данным российских источников, за 80-летний период освоения хибинского месторождения извлечено 1 млрд. 550 млн. т руды (примерно половина промышленных запасов), выработано 620 млн. т апатитового концентрата. При этом не извлечено в промышленном масштабе ни одной тонны редкоземельных металлов (РЗМ). Практически утеряно не менее 6 млн. т ценнейших металлов и около 20 млн. т стронция, что составляет трехкратный мировой баланс этого стратегического металла. Основная масса этих металлов находится в отвалах и, в частности, в отвалах фосфогипса в России, Украине и Белоруссии.

США, как нигде в мире, достигнул успеха в комплексной переработке фосфогипса. Прежде всего, это относится к извлечению редкоземельных элементов (РЗЭ). Следует заметить, что уже в 60-е годы прошлого столетия ряд работ по РЗЭ в США курируются Министерством по атомной энергетике, и по понятным причинам являются закрытыми. Но даже известные предложения, такие, как получение сульфата аммония, серной кислоты из фосфогипса говорят о масштабности работ по его использованию. В

структуре потребления РЗЭ в США на катализаторы для нефтехимии (крекинг нефти и оргсинтез) используется 55 %, в металлургии 22 %, на стекло и керамику 18 % всей потребляемой редкоземельной продукции в США [1].

За период 1990–2005 гг. шел динамичный рост производства и потребления редкоземельной продукции. Причем с 1990 г. лидером в данной сфере стал Китай, который сегодня добывает и производит 85 % мировой первичной редкоземельной продукции. Его развивающаяся промышленность потребляет пока немногим более четверти вырабатываемой первичной продукции. Начиная с 2003 г. Китай снизил долю экспорта первичных концентратов и увеличил мощности по разделению на индивидуальные элементы. В настоящее время Китай стал мировым лидером в производстве дорогих редкоземельных продуктов, товаров и многих изделий почти для всех современных сфер использования редкоземельных металлов. По оценкам специалистов, спрос на редкоземельную продукцию будет расти, и сегодня есть уверенный прогноз на ближайшие годы. Ежегодный рост потребления неразделенных редкоземельных металлов составляет 3–5 % в год, разделенных – до 25 % в год. Стоимость редкоземельных элементов на мировом рынке составляет от 116 до 1640 \$/кг в зависимости от металла. Прогноз мирового потребления РЗМ в 2010 г. представлен на рис. 1 [2].

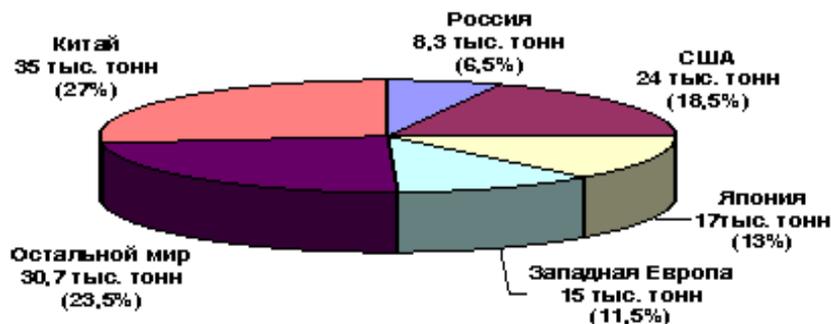


Рисунок 1 – Прогноз мирового потребления РЗМ в 2010 г. [2]

Рынок сбыта редкоземельных металлов состоит из отраслей потребляющих неразделенную продукцию, таких как, производство стекла, нефтехимия и нефтепереработка (катализаторы для крекинга нефти, присадки в топливо и т.п.), металлургия, производство аккумуляторов, полировальных порошков и т.д. Другой сегмент рынка связан с потреблением разделенные редкоземельные элементы:

- церий для производства каталитических фильтров-нейтрализаторов выхлопных газов автомобилей;
- самарий и неодим для магнитов;
- лантан и неодим для люминофоров, керамических конденсаторов;
- иттрий, европий, диспрозий, эрбий, тербий и гадолиний используется в электронике и радиотехнической промышленности.

Основным источником фосфатного сырья в Украине являлся хибинский апатит, который перерабатывался на минеральные удобрения. Причем эта переработка была выгодна и без извлечения редкоземельных элементов (0,7–1 %), стронция – 2,3 %, фтора – 3,1 %. Однако в настоящее время спрос на редкоземельные металлы резко возрос, и вместе с ним выросла цена на эти материалы. При обработке фосфатного сырья в фосфогипс переходит до 90–95 % редкоземельных элементов, а степень их извлечения в виде хлоридов составляет примерно 95 %. При этом из 1 т фосфогипса можно извлечь до 4 кг хлорида церия стоимостью до 850 \$.

Важнейшей отличительной особенностью имеющихся на Украине отвалов фосфогипса, полученного после переработки хибинского апатитового концентрата, является то, что он, в отличие от остальных источников редких земель, не содержит радиоактивных элементов. Полученные из него редкоземельные элементы не радиоактивны и не требуют дезактивации.

Процесс извлечения редких земель из фосфогипса отработан в полупромышленном масштабе еще в СССР, но он достаточно трудоемкий и требует значительных затрат на капитальное строительство и организацию дополнительного производства.

Резюмируя изложенное, можно сделать заключение, что наиболее перспективным направлением утилизации фосфогипсовых отвалов является его комплексная переработка, которая в первую очередь включает в себя извлечение редкоземельных элементов, стронция и т.д. К реализации может быть предложена любая технология комплексной переработки фосфогипса, которая позволяет получить из него следующие продукты:

- окислы и соли редкоземельных элементов;
- сульфат натрия;
- карбонат кальция;
- углекислый стронций.

#### **Разработанные технологии комплексной переработки фосфогипса, защищенные патентами**

Фосфогипс в больших количествах содержит тяжелые металлы, такие как кадмий, хром, кобальт, ртуть, медь, свинец, никель, цинк и стронций, и также дорогостоящие редкоземельные элементы. Большинство фосфатных руд обогащено ураном, соединения которого, растворяясь в кислоте, переходят в экстракционную фосфорную кислоту, а в фосфогипсе остается радий.

Существует достаточно большое количество известных и новых методов по извлечению солей редкоземельных элементов из фосфогипса. Далее будут рассмотрены наиболее перспективные в смысле промышленного освоения отвалов фосфогипса.

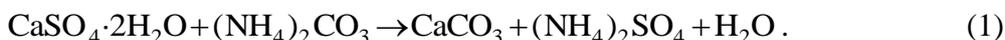
1. Все компоненты могут быть извлечены из фосфогипса с получением экологически чистой гашеной извести или безводного гипса [3].

Если фосфогипс последовательно обрабатывать хлоридом и сульфатом аммония, то в результате можно получить экологически чистый безводный гипс. Если заменить сульфата аммония на щелочь, то получается экологически чистая гашеная известь. В обоих случаях получают концентраты редкоземельных элементов и тяжелых металлов.

Способы универсальные и могут быть использованы для любого вида фосфогипса непосредственно при производстве минеральных удобрений или при разработке его отвалов независимо от исходного фосфатного сырья. Так фосфогипс из фосфоритов Каратау содержит до 20 % нерастворимого остатка, в котором находится около 5,4 % оксида лантана, что составляет примерно 10,8 кг на 1 т фосфогипса. По предложеной схеме лантаноиды извлекаются в виде хлоридов, что дает около 7 кг хлорида лантана. По оценке авторов экономическая эффективность очистки фосфогипса по первому способу составляет 14 273 грн. при получении гашеной извести эффект на каждую тонну обработанного фосфогипса – 8 393 грн.

2. Схема комплексной переработки фосфогипса в сульфат аммония и карбонат кальция с извлечением редкоземельных элементов [4].

Одним из способов использования фосфогипса в народном хозяйстве может быть его конверсия в сульфат аммония и карбонат кальция по реакции



Этот способ известен достаточно давно и его главным недостатком является трудность операции фильтрования карбоната кальция, так как последний образует мелкие кристаллы, и отмывка осадка затруднена. В настоящее время интерес к процессу (1) возобновился из-за возможности получения редкоземельных элементов и сульфата аммония. Последний используется не только как азотосодержащее удобрение, но и как промежуточный продукт при азотно-кислотном разложении фосфатов. Получение чистого мела также актуальная задача, в связи с удорожанием производства чистого природного мела. Редкоземельные элементы выделяются в осадок при перекристаллизации карбоната кальция и подлежат дальнейшей переработке на специальных заводах.

В зависимости от способа введения карбоната аммония процесс конверсии по уравнению (1) может быть жидкостным, газовым или газожидкостным. Способ жидкостной конверсии предполагает предварительную стадию приготовления раствора карбоната аммония в отдельном аппарате по реакции:



В процессе газовой конверсии реакцию (2) проводят в водной суспензии фосфогипса при одновременном введении в нее аммиака и оксида углерода. Газожидкостный способ основан на использовании, как раствора карбоната аммония, так и газообразных компонентов [5,6]. В реактор конверсии фосфогипса помимо готового раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  подают газообразные реагенты ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) в количестве 10–15 % от стехиометрической нормы на  $\text{CaO}$  фосфогипса. При этом тепло, выделяющееся при взаимодействии газообразных реагентов, компенсирует потребность в энергии процесса с учетом обеспечения температуры реакции 50–55 °С; иными словами, обеспечиваются изотермические условия процесса конверсии фосфогипса.

Отмытый фосфогипс превращается на стадии конверсии в раствор сульфата аммония и осадок  $\text{CaCO}_3$ . Осадок после сушки прокаливается и превращается в фосфоизвесть, которая затем растворяется и проходит взаимодействие с хлористым аммонием. В осадок, выделяемый на этой стадии, переходят соединения стронция и РЗЭ. Хлористый кальций превращается, взаимодействуя с карбонатом аммония, в  $\text{CaCO}_3$ , а раствор  $\text{NH}_4\text{Cl}$  возвращается в цикл.

Основным недостатком этого способа является циркуляция в системе газообразных  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$ , выделение которых из газовых потоков требует мощного абсорбционного оборудования, а также систем очистки газов, выбрасываемых в атмосферу. При комбинировании производства углеаммонийных солей (УАС) и переработки фосфогипса значительно упрощается процесс, полностью исключается переработка газовой фазы. Для конверсии фосфогипса используется раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

Для выбора оптимальных условий проведения процесса конверсии стояла задача установить влияние температуры, избытка и концентрации  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , времени проте-

кания процесса, интенсивности перемешивания и различных примесей на степень конверсии.

Температура процесса конверсии по данным многих исследований принимается не выше 50–55 °С, так как при больших температурах наблюдается разложение карбоната аммония,  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$  переходят в газовую фазу, снижая эффективность процесса.

Исследована реакция фосфогипса с карбонатом аммония и карбонатом натрия [7]. Однако здесь представляло интерес определение максимального содержания SrO в карбонате кальция, а не степень конверсии. Кроме того, изучалось влияние загрязнений (Sr, Fe, Si, Al, Ti) в отходе производства фосфорной кислоты - сульфате кальция на степень превращения его в карбонат кальция [8]. Утверждается, что содержание Sr и Si в гипсе повышает степень конверсии, а содержание Ti – снижает. Примеси Fe и Al не влияют на этот процесс.

Конверсия фосфогипса в лабораторных условиях проводилась на экспериментальной установке, основным элементом которой служил реактор с мешалкой. Реактор помещался в термостат, с помощью которого в нем поддерживалась заданная температура. В качестве сырья использовался фосфогипс, выделившийся при производстве ЭФК, отмытый от  $\text{P}_2\text{O}_5$  до pH=4,4. Для облегчения дозирования фосфогипс перед опытом сушили до постоянного веса. Конверсию проводили раствором карбоната аммония концентрацией 30 % масс. В реактор помещался раствор карбоната аммония, и его температура доводилась до заданной (например, 50 °С). В раствор в сухом виде вводился фосфогипс. Скорость вращения мешалки 510 об/мин, время конверсии составляло 120 мин. После реакции вся пульпа сушилась до постоянного веса при температуре 100 °С. После измельчения и усреднения пробы проводили анализ продукта на содержание  $\text{SO}_{30}$  и  $\text{SO}_{3в}$  весовым методом.

Все концентрации  $\text{SO}_3$  брались в пересчете на абсолютно сухое вещество. Содержание  $\text{SO}_3$  в исходном фосфогипсе составило 55,14 %. По полученным результатам исследований степень разложения фосфогипса (в условиях  $t = 50$  °С, избыток карбоната аммония – 30 % от стехиометрии, концентрация раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  – 30 %, интенсивность перемешивания – 510 об/мин, время реакции – 120 мин) практически приближается к 100 %. Некоторое отклонение коэффициента конверсии от 100 % связано с неэффективной работой мешалки, установленной в реакторе. Использование ячеистых мешалок позволяет резко увеличить эффективность перемешивания, сократить время реакции в 1,5–3 раза, снизить потребление электроэнергии на привод.

3. Гидрометаллургическая переработка фосфогипса на сульфат натрия, карбонат кальция, соединения редкоземельных элементов и углекислый стронций [1]

Предложен новый способ переработки фосфогипса, когда максимально извлекаются в товарные продукты соли кальция, сульфатов, редкоземельных элементов и стронция. Количество вторичных отходов минимально, не превышает 1 % от количества перерабатываемого фосфогипса и они представлены в основном двуокисью кремния.

Предложенная технология основана на выщелачивании редкоземельных элементов из твердых остатков в раствор кислотами низких концентраций (56 %) против известных предложений, в которых применяют для выщелачивания концентрированные растворы кислот (30–70 %). Найденное решение позволяет извлекать РЗЭ на 96–98 %, в то время как в известных способах выщелачивание РЗЭ из фосфогипса не превышает 50 %. Разработанный способ упрощает технологический передел стадии извлечения

редкоземельных элементов и значительно снижает расход кислоты. В зависимости от требований потребителя редкоземельная продукция может быть получена в необходимой товарной форме. В стандартной реализации технология комплексной переработки фосфогипса позволяет получить: сульфат натрия, карбонат кальция, окислы или соли редкоземельных элементов, углекислый стронций.

Условно в ней можно выделить две стадии: Первая стадия предусматривает выделение основных компонентов фосфогипса и получения товарной продукции на их основе. Продуктами этой стадии являются сульфат натрия высшего сорта ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 99,7 %,  $\text{CaSO}_4$  – 0,04 %) и карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$  – 99 %, белизна – 98 %).

Вторая стадия включает переработку твердого остатка от первой стадии на соединения редкоземельных элементов и стронциевый концентрат с последующим получением из него углекислого стронция. Ввиду малого количества стронция, на тонну перерабатываемого фосфогипса, с целью снижения потерь и улучшения качества углекислого стронция был разработан способ извлечения карбоната стронция, позволяющий получить продукт с низким содержанием хлоридов (Cl – 0,015 %) и высоким содержанием основного вещества ( $\text{SrCO}_3$  – 97 %). На разработанный способ получен патент "Способ получения карбоната стронция" RU № 2223223.

Новизна разработанного способа комплексной переработки фосфогипса защищена патентом "Способ комплексной переработки фосфогипса", RU № 2258036 от 9.06.04.

Предлагаемый способ комплексной переработки фосфогипса направлен на решение экологических проблем, существующих при его хранении в отвалах заводов фосфорных удобрений, при этом снижается отрицательное воздействие компонентов фосфогипса на окружающую среду. Кроме того, предлагаемый путь утилизации фосфогипса позволит выпускать ценную химическую продукцию, имеющую устойчивый спрос на рынке.

#### 4. Способы извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. ИХТРЭМС им. И.В. Тананаева КНЦ РАН

Разработана новая перспективная технология извлечения лантаноидов из сульфата кальция [9], получающегося в качестве отвального продукта при полугидратном процессе сернокислотной переработки на экстракционную фосфорную кислоту (решение о выдаче патента от 10.11.2003 по заявке России 2002120079). Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса ИХТРЭМС КНЦ РАН. Локшин Э.П., Вершкова Ю.А., Калинин В.Т., Тареева О.А., Ивлев К.Г., Федоров С.Г., Погребняк О.С.

Принципиальной новизной и преимуществом технологии является выщелачивание лантаноидов из фосфополугидрата растворами серной кислоты средних концентраций, что позволило разработать новый способ выделения лантаноидов из раствора выщелачивания в виде сульфатного концентрата, не требующий использования дорогих экстрагентов или поверхностно активных веществ. Сульфатный концентрат позволяет легко получить концентрированный нерадиоактивный азотнокислый раствор лантаноидов, годный для использования в производстве катализаторов, а также получения групповых концентратов и индивидуальных лантаноидов. В технологии не требуется использование несвойственных производству минеральных удобрений реагентов, не образуется дополнительных отходов, не нарушается водный баланс основного производства. При этом снижается экологическая вредность захораниваемого фосфогипса.

В России лантаноиды получают из радиоактивного лопаритового концентрата. В сумме, выделенной из лопаритового концентрата, содержание лантаноидов средней группы и иттрия мало. Соотношение лантаноидов, содержащихся в хибинском апатитовом концентрате, наиболее соответствует их востребованности потребителями. Соединения лантаноидов используются в атомной промышленности, производстве модифицированных чугунов, специальных сталей, лёгких жаростойких сплавов, магнитов, катализаторов для нефтехимии и нейтрализаторов выхлопных газов автомобилей, стекловарении и многих других целях.

Другой способ извлечения лантаноидов из фосфогипса предложен коллективом авторов Локшин Э.П., Вершков А.В., Вершкова Ю.А., Маслобоев В.А. и защищен патентом. Он основан на положениях работы [10].

Изобретение относится к технологии извлечения лантаноидов из фосфогипса, получаемого при сернокислотной переработке апатитового концентрата на минеральные удобрения. Выщелачивание первой порции фосфогипса осуществляют 2–6 %-ным раствором серной кислоты при соотношении жидкости к твердому телу – 2–3. Раствор выщелачивания отделяют и используют для выщелачивания последующих порций фосфогипса. Концентрацию серной кислоты на каждой стадии увеличивают согласно соотношению  $\Delta c_{\text{H}_2\text{SO}_4} : \Delta c_{\text{P}_2\text{O}_5} \geq 4$ , где  $\Delta c_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  приращение концентрации серной кислоты, мас. %, а  $\Delta c_{\text{P}_2\text{O}_5}$  – приращение концентрации пентаоксида фосфора при выщелачивании предыдущей порции фосфогипса, г/л. Раствор выщелачивания используют не менее трех раз. Предельная концентрация серной кислоты составляет 24 мас. %. Остаток фосфогипса промывают водой. Промывной раствор используют при выщелачивании фосфогипса. Перед выщелачиванием фосфогипс измельчают до крупности 100 мкм. Достижимый результат заключается в повышении эффективности процесса за счет повышения концентрации лантаноидов в растворе в 3 раза (до 3,7 г/л) при обеспечении высокого извлечения (среднее извлечение за 4–5 стадий составляет 32,65–38,68 %), что упрощает дальнейшее выделение концентрата лантаноидов из раствора.

5. Способ извлечения редкоземельных элементов из апатитов и фосфогипса МГУ и Московской государственной академии тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова при участии ВНИИ химической технологии

Предложено "вскрывать" апатит не традиционно применяемыми серной или азотной кислотой, а горячей смесью фосфорной и серной кислот. Это позволяет разделить основные продукты разложения апатита: фосфаты кальция, соли стронция и РЗЭ, а также уловить летучие соединения фтора. Еще несколько химических ухищрений, суть которых авторы не излагают в открытой печати - и удается получить на выходе почти весь фтор (более 97 %), 85–90 % РЗЭ, 70–75 % стронция. В дополнение, разумеется, к целевому продукту – фосфору в виде кислого фосфата кальция, степень извлечения которого составляет около 95 %. Так общая степень использования сырья подбирается к 96 %, а в отход попадает не более 4–6 % апатита.

6. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса Гомельского университета

Этот способ хорошо известен и базируется на результатах работы [11] и нескольких советских и российских патентах (SU 1818304 А, 30.05.1993. RU 2104938 С1, 20.04.1998. RU 2109686 С1, 27.04.1998).

После извлечения из гомельского фосфогипса редкоземельных металлов, фосфора, фтора и при условии отсутствия в нем различных кислот он может использоваться для производства различных вяжущих. Предполагается, что они- будут самой массовой продукцией Гомельского химзавода. При работе на полную мощность завод производит 292 000 т фосфорных удобрений, одновременно ежегодно образуется 432 000 т отходов фосфогипса. В случае запуска предлагаемой технологии будет возможно производить 305 000 т вяжущих и стройматериалов на их основе. В том числе перегородочные плиты пазогребневой конструкции, гипсоволокнистые подоконные доски, декоративные звукопоглощающие элементы и мраморовидные плиты.

### **Создание производства по переработке фосфогипса и его экономическое обоснование**

Цель: создание высокотехнологичного экологически чистого производства по переработке отвалов фосфогипса с целью извлечения редкоземельных элементов и получения чистого гипса.

Главное преимущество при реализации проекта и эксплуатации производства:

- переработка техногенных месторождений предполагает налоговые льготы и должна обеспечиваться поддержкой государства (специальный правовой режим);
- замещение импорта редкоземельных элементов и возможность экспорта гипсовых компонентов.

Инвестиционная обеспеченность: имеются фактически неограниченные запасы сырья; существует устойчивый рынок сбыта солей и чистых редкоземельных элементов; имеется стабильно потребляющий рынок сбыта гипса, вяжущих и т.д.; существуют научно обоснованные и отработанные на практике технологии переработки фосфогипса.

Экологическая составляющая: улучшение экологической ситуации в зоне наличия отвалов фосфогипса.

Суммарные инвестиции на реализацию проекта:

- проектирование, строительство и организация производства – 10 млн. \$;
- современное оборудование производства – 20 млн. \$.

Срок реализации и окупаемость проекта: срок реализации – 2 года; срок окупаемости – 4 года. Инвестиционный капитал – долевое участие.

Расчетные цифры даны по аналогии с инвестиционными проектами по переработке фосфогипса на гипсовое вяжущее тонкого помола на примере Гомельского химического завода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта ЕСОРНОS, контракт № INCO-СТ-2005-013359.

### Литература

1. Гидрометаллургическая переработка фосфогипса на сульфат натрия, карбонат кальция, соединения редкоземельных элементов и углекислый стронций / Конкурс русских инноваций. – 2005–2006 г.
2. Кто освоит редкоземельный Клондайк? // Химия и Бизнес, 2004 г.

3. Ольгинский А.Г., Крайнюк Е.В. Экономически эффективная переработка фосфогипса – отхода производства минеральных удобрений / 1 я Межд. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов», Харьков, 5–6 февраля 2006 г.
4. Эрайзер Л.Н., Горнев В.А., Косс Т.В. Разработка способа переработки фосфогипса в полезные продукты / Труды ОГПУ, 1998.– №1.– С. 32–36.
5. Фосфогипс и его использование / Под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Новикова. – М.: Химия, 1990.– 449 с.
6. Исследование процесса конверсии фосфогипса в сульфат аммония /В.Н. Ламп, Т.Ф. Абашкина, Н.М. Бризицкая и др. // Реф. информация НИУИФа "Промышленность минеральных удобрений и серной кислоты". Вып. 247. –М.:НИИТЭХИМ, 1983.–С.8–11.
7. Русин Н.Ф., Дейнека Г.Ф., Зинченко Т.А. Содержание оксида стронция в продукте прокаливания технического карбоната кальция, полученного из фосфогипса // Комплексное использование минерального сырья. – 1978. – №6. – С. 26–29.
8. Влияние примесей стронция, железа, алюминия, титана и кремния на степень конверсии сульфата кальция / Н.Ф. Русин, Ф.Г. Бабих, Г.Ф. Дейнека, В.Е. Поладян // Журнал прикл. химии. – 1979. – 52. – № 10. – С. 83–86.
9. Локшин Э.П., Калинин В.Г. Физико-химическое обоснование и разработка экономически целесообразной технологии извлечения лантаноидов из фосфополугидрата // ИХТРСМС КНЦ РАН.– 9 с.
10. Влияние основных параметров процесса на эффективность выщелачивания РЗЭ из фосфогипса серной кислотой / А.М. Андрианов, Н.Ф. Русин, Л.М. Буртненко, В.Д. Федоренко, М.К. Ольмезов // Журнал прикладной химии, 1976.– т.49.– №3.– С. 636–638.
11. Извлечение редкоземельных элементов из фосфогипса серной кислотой / Воробьев Н.И. и др. // Весці АН Беларусі. Сер. хим. наук, 1998. – № 2. – С. 103–106.

УДК 661.842.532+668.8

Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Хавін Г.Л.

### **КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА ФОСФОГІПСУ ІЗ ЗДОБУВАННЯМ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Розглянуто проблему комплексної переробки відходу виробництва екстракційної фосфорної кислоти – фосфогіпсу. Надано, що промислове освоєння відвалів фосфогіпсу є по суті розробка техногенного родовища, яке поперед усього, потребує здобуття рідкоземельних елементів. Останні знаходять великий попит у різних галузях промисловості і мають велику ринкову вартість. Все це у теперішній час робить дуже привабливим переробку сховищ фосфогіпсу із здобуттям рідкоземельних елементів як з фінансової, так і з екологічної точки зору.