

1. **С.Ф.Маталасов, Я.М. Куржуков, А.С. Хоружий, и др.** Борьба со смерзаемостью металлургического сырья при перевозке по железным дорогам. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.
2. **Кожевников Н.Н., Попов В.И.** Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. - Новосибирск: Наука, 1978. – 104 с.
3. **Маталасов С.Ф., Носков Ю.А.** Совершенствование перевозок смерзающихся навалочных грузов // Железнодорожный транспорт. – 1965. – №1. – С. 27–29.
4. **Иванов Н.С., Гаврильев Р.М.** Теплофизические свойства мерзлых горных пород. – М.: Наука, 1965. – 74 с.
5. Пархоменко Э.И. Электрофизические свойства горных пород. – М.: Наука, 1965. – 164 с.
6. Рекинглаз Л.Э., Шонин О.Б., Хоминский В.А. Экспериментальное исследование прочности мерзлых пород в СВЧ электромагнитном поле // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1980. – №3. – С. 47–51.
7. Шонин О.Б., Соколова Н.В. Электрические свойства мерзлых пород в СВЧ – диапазоне // Физические процессы горного производства. – 1981. – №9. – С. 48–52.
8. Линник Ю.М. Основы разупрочнения мерзлых пород СВЧ – полями. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – 212 с.
9. Применение микроволновых электромагнитных полей в энергосберегающих и новых промышленных технологиях / Буртовой Д.П., Грачев К.Г., Хохуля Д.Ю., и др. // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2002. – №4. – С. 104–108.
10. Пат. №66022 Украина. Способ восстановления сыпучести смерзающихся материалов / Д.П. Буртовой, А.А. Березняк, Д.Ю. Хохуля и др. // Открытия изобретения. – 2004. – №4. – С. 24–28.

© Березняк А.А., Буртовой Д.П., Хохуля Д.Ю., 2005

*Надійшла до редколегії 20.04.2005 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*

УДК

**В.М. АЖАЖА, А.Ф. БОЛКОВ, Г.П. БРЕХАРЯ, Ю.Ф. КОРОВИН,
А.П. МУХАЧЕВ, Е.А. ХАРИТОНОВА**

Национальный научный центр "ХФТИ" НАН Украины, Национальный горный университет,
Запорожский государственный университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАГНИТОВ В УКРАИНЕ

Высокоэнергетические магниты неодим-железо-бор импортируются в Украину из Китая, где организовано их производство на базе собственных полиметаллических руд. В то же время Украина до 1991 г. имела свое промышленное производство концентратов редкоземельных элементов (РЗЭ)

99

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 23(64)

на

ПО "Приднепровский химический завод" (ПО "ПХЗ"), г. Днепродзержинск. В качестве сырья были использованы полиметаллические руды, которые перерабатывали по азотнокислой сорбционно-экстракционной технологии с получением концентратов редкоземельных элементов легкой и среднетяжелой групп, служивших исходным сырьем для производства магнитов.

В связи с увеличением темпов роста промышленности в Украине складываются благоприятные экономические условия для развития редкометальной промышленности, в том числе, высокоэнергетических постоянных магнитов.

В данной работе проведена оценка возможности получения концентратов РЗЭ легкой группы из полиметаллических руд различного состава и техногенного сырья (фосфогипса).

Технология переработки лопаритового концентрата

Основной источник доступного редкоземельного сырья – лопаритовый концентрат с содержанием редкоземельных металлов (РЗМ) более 30%, переработка которого освоена в России на базе Соликамского магниевого завода, а разделение РЗМ – на Пышминском опытном заводе. Особенностью сырья является наличие в нем радиоактивного элемента тория, требующего обязательного полного его выделения и захоронения. Состав лопаритового концентрата приведен в табл. 1. Вскрытие сырья проводится с использованием хлора, что создает серьезные экологические проблемы в части утилизации его соединений.

Таблица 1

Компты	TiO ₂	ΣРЗМ	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	CaO	Na ₂ O	Th	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅
%	39,4	32...34	8–10	0,6–0,72	4,5–5	7–9	0,5...0,6	1,9	2,5	0,09

Азотнокислая технология в экологическом плане предпочтительнее хлорной, что и доказано многолетней практикой переработки урановых, фосфорсодержащих и цирконовых концентратов на ПО "ПХЗ", так как нитрат-ион утилизировали в производстве минеральных удобрений или солей, выпуск которых существенно снижал себестоимость основной продукции. Опытно-промышленные испытания переработки лопаритового концентрата проводили гидрометаллургическим способом по технологии, приведенной на рис. 1.

Спеціальні та комбіновані методи

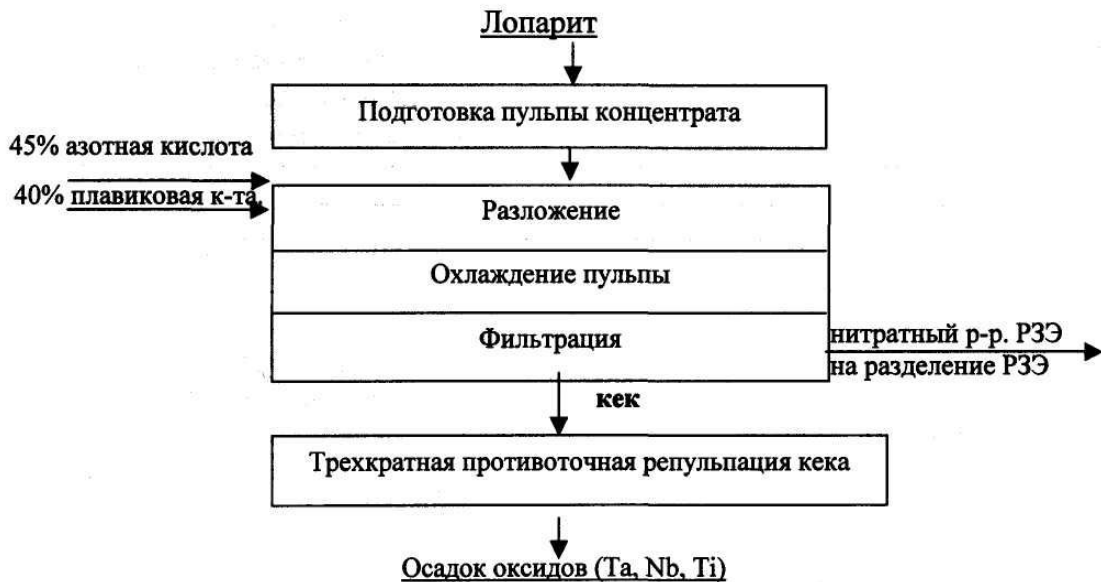


Рис. 1. Технологическая схема переработки лопарита

Основной метод очистки РЗМ от Th – его соосаждение с железосодержащим осадком. После экстракционной очистки редкоземельных элементов от остальных примесей был получен концентрат, состав которого – в табл. 2.

Таблица 2

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
La ₂ O ₃	27,0	Nd ₂ O ₃	14,7	Tb ₄ O ₇	0,05
CeO ₂	52,0	Pr ₆ O ₁₁	5,8	Dy ₂ O ₃	0,003
Sm ₂ O ₃	1,05	Y ₂ O ₃	1,0	HO ₂ O ₃	0,046
Eu ₂ O ₃	0,147	Gd ₂ O ₃	0,27	Er ₂ O ₃	0,076
Tu ₂ O ₃	0,008	Yb ₂ O ₃	0,0015		

Данная технологическая схема малоотходная и не требует применения хлора, жидкие стоки которого нуждаются в специальных мерах утилизации.

Технология переработки фосфоритов

Известно, что редкоземельные элементы могут находиться и в составе урансодержащих фосфоритов, переработка которых описана в работах [2,3,4], по принципиальной технологической схеме (рис. 2). В основе их переработки лежит азотнокислородно-сернокислородное вскрытие с переводом целевых компонентов в раствор, осаждение части кальция в виде гипса, поэтапное их разделение и извлечение, утилизация азотно-фосфорсодержащих растворов в виде минеральных удобрений.

Спеціальні та комбіновані методи

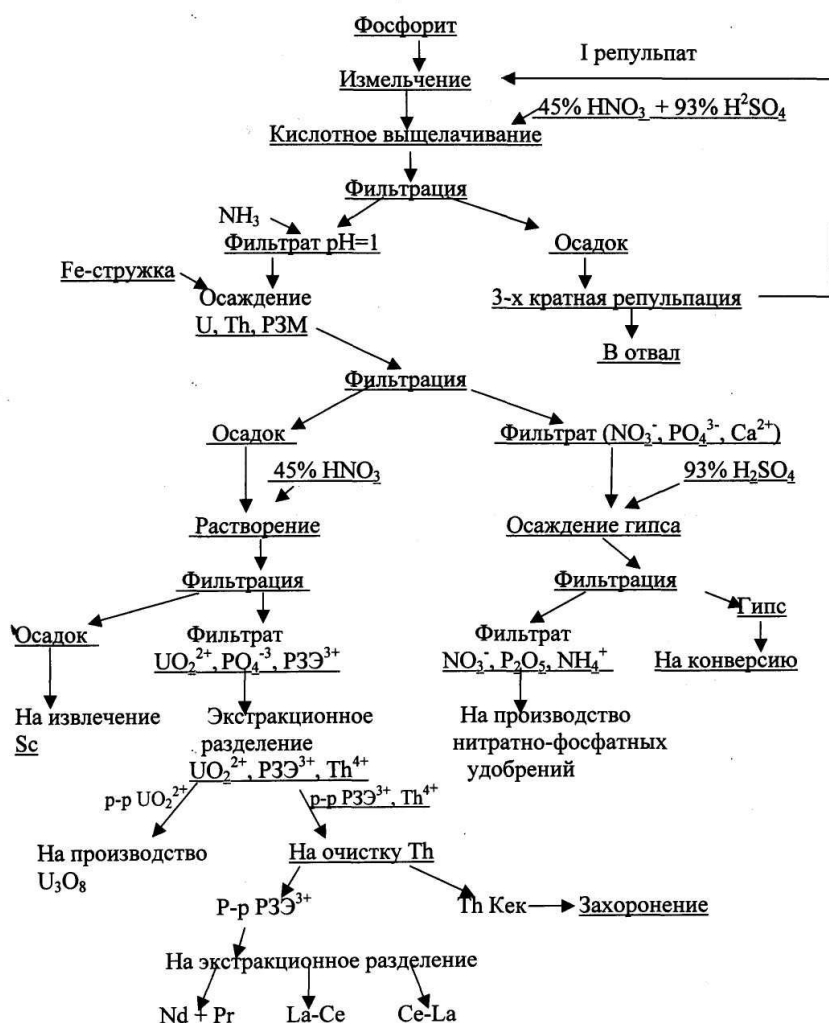


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема переработки фосфоритов
 Состав редкоземельного концентрата легкой группы (PЗК), выделенного из фосфоритов, методами ионного обмена и жидкостной экстракции дан в табл. 3.

Таблица 3

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
La ₂ O ₃	20–25	Nd ₂ O ₃	17,0	Pr ₆ O ₁₁	1,9
Ce ₂ O ₃	50–55	Sm ₂ O ₃	1,1	Eu ₂ O ₃	1,0
Y ₂ O ₃	3,5	Gd ₂ O ₃	0,7	Dy ₂ O ₃	0,5

Содержание железа и алюминия в концентрате PЗМ не регламентируется, так как эти элементы вводятся в состав тройного сплава для производства магнитов.

Технология переработки фосфогипса

Перспективным материалом в Украине для извлечения PЗМ является

фосфогипс, техногенные месторождения которого составляют до 60,0 млн тонн. При сернокислом вскрытии апатитовых концентратов более 80% РЗМ переходят в фосфогипс и безвозвратно теряются в складированных отвалах, занимая большие территории. Комплексная переработка апатита и фосфогипса детально изучена в работах [5, 6].

В отвалах производства минеральных удобрений бывшего ПО "ПХЗ" накоплено 7,0 млн тонн фосфогипса с содержанием РЗЭ до 0,3%. Принципиальная схема переработки фосфогипса для извлечения РЗЭ с применением сорбционных технологий представлена на рис. 3. Данная технология позволяет утилизировать азотную кислоту и аммиак в производстве удобрений, а также использовать фосфогипс в качестве строительного материала. Извлечение РЗЭ составляет 40–50%.

Промышленные испытания технологии переработки фосфогипса полностью подтвердили возможность его комплексной переработки с применением современных методов гидрометаллургии: конверсии, ионного обмена и экстракции.

Таким образом, в представленных технологиях переработки комплексных полиметаллических руд, содержащих редкие и редкоземельные металлы, был использован ряд оригинальных приемов. Так, в качестве вскрывающего реагента брали азотную кислоту, что в дальнейшем позволило практически полностью утилизировать растворы для производства натриевой селитры и минеральных удобрений. Практический интерес представляет и опыт переработки лопаритового концентрата, содержащего в отличии от фосфоритов до 34% РЗМ. Традиционная технология его переработки, принятая в ряде стран, основана на экологически вредном хлорном методе вскрытия.

С позиции развития современных отраслей промышленности Украины прогноз уровня потребления редкоземельной продукции еще предстоит сделать, но несомненно он будет оптимистичным. Особенно это касается неодима, лантана и церия. Прогнозируется и реально наблюдается устойчивый спрос на индивидуальные редкоземельные металлы – неодим, самарий, европий, эрбий, тербий, иттрий, гадолиний.

Спеціальні та комбіновані методи

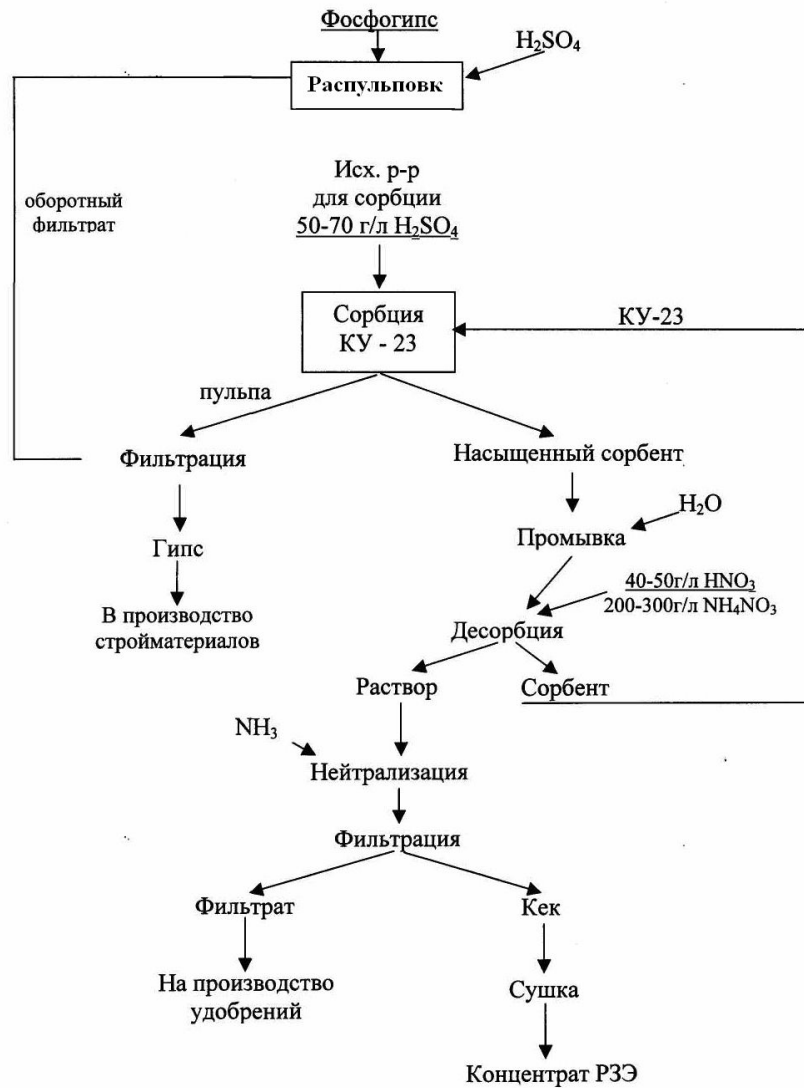


Рис. 3. Технологическая схема извлечения P₂O₅ из фосфогипса

Список литературы

1. Current state of world NdFeB magnet industry / Y. Luo // Proc. Int. Conf. "High Performance Magnets and Their Application", France, 2004. – P. 28 – 40.
2. W.L. Lenneman Eng / Min Yourn 157. №6а 122 (1956).
3. D.F. Lillie, R. Tremblay, Can.Min Met Bull 49 №528, 262 (1956).
4. Вольфович С.И. Общая химическая технология. – М.: Госхимиздат, 1959. – Т.2. –228 с.
5. Лебедев В.Н. Физико-химические и технологические проблемы переработки сырья Кольского полуострова. – М.: Наука, 1993. – 256 с.
6. Лебедев В.Н. Проблемы эффективного использования минерального сырья Кольского полуострова. М.: Апатиты, 1993. – 188 с.

© Ажажа В.М., Болков А.Ф., Брехаря Г.П., Коровин Ю.Ф.,