

# **ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

УДК 669

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕЭКСТРАГЕНТА НА КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И ОЧИСТКУ ЭКСТРАКТА ТЯЖЕЛОЙ ГРУППЫ РЗМ ИЗ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА**

**Алферова Д.А., Лукьянцева Е.С., Сергеев В.В.**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

*Изучены параметры концентрирования и разделения редкоземельных металлов в процессе экстракции и реэкстракции из растворов ЭФК, очистка растворов от примесных компонентов и получение индивидуальных соединений металлов.*

### **Введение.**

Редкоземельные элементы являются стратегически важным сырьем, без которого невозможно ни одно наукоемкое производство. Главным экспортером редкоземельных металлов во всем мире является Китайская Народная Республика. Для того, чтобы ограничить зависимость от импортного сырья необходимо разработать отечественные методы получения индивидуальных оксидов РЗЭ. Данное направление является одним из наиболее приоритетных и поддерживается правительством РФ [1]. Одним из альтернативных источников металлов является апатитовый концентрат. Он не требует предварительной обработки, что обуславливает его потенциальную экономическую привлекательность, а также практически не радиоактивен, что делает производство из него более безопасным.

Целью работы является получение прототипов насыщенных индивидуальных растворов РЗЭ. Для этого были исследованы параметры концентрирования и разделения металлов на этапах экстракции и реэкстракции и очистка полученных экстрактов от примесей.

### **Актуальность.**

Апатитовый концентрат – фосфор содержащее сырье, используемое для производства фосфорных и сложных удобрений, кормовых фосфатов, а также для производства экстракционной фосфорной кислоты. Помимо основного компонента –  $P_2O_5$ , он содержит около 1 % редкоземельных элементов с повышенным

содержанием металлов тяжелой и средней групп [2]. Россия перерабатывает до 10 млн тонн апатита ежегодно. При условии извлечения металлов из всего объема перерабатываемого сырья, их количество превысило бы половину современной мировой потребности в РЗЭ.

В исследовании рассматривается извлечение РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), получаемой в процессе кислотной переработки апатита на фосфорные удобрения. Сырье характеризуется повышенным содержанием РЗЭ средней и тяжелой групп, нерадиоактивностью и удобством внедрения стадии получения металлов в производство минеральных удобрений. Этот источник является практически готовым сырьем РЗЭ, не требующим измельчения, растворения и обогащения, что повышает его рентабельность.

#### **Методы исследования.**

Использование экстракционных методов извлечения РЗЭ обусловлено малым содержанием РЗЭ и сложностью разделения их смеси на индивидуальные компоненты. В основе этого метода лежит комплексообразование с органическими реагентами, различная устойчивость получаемых соединений в различных условиях позволяет разделять близкие по химическим свойствам элементы.

#### **Объект исследования.**

В качестве объектов исследования механизма экстракции редкоземельных металлов (РЗЭ) средней и тяжелой групп органическим экстрагентом ди-2-этилгексилфосфорной кислотой (Д2ЭГФК) использованы растворы фосфорной кислоты, моделирующие состав ЭФК, содержащих 3,67 - 5,78 моль/кг  $H_3PO_4$ , 0,23 моль/кг  $H_2SO_4$  и 0,09-0,1 % Ln, где Ln – сумма РЗЭ. Для экстракции использованы растворы серной кислоты, полученные путем разбавления концентрированной (94 %) серной кислоты, а также растворы щавелевой кислоты, полученные растворением щавелевой кислоты марки ХЧ в соответствующем объеме воды.

#### **Основные результаты.**

Первым этапом исследований являлось изучение процесса очистки, получаемого в ходе экстракции раствора органической фазы от примесного железа и титана, которые оказывают негативное влияние на процесс экстракции редкоземельных металлов [3 - 5]. Очистка органического растворителя от примесей ионов железа осуществляется щавелевой кислотой concentra-

цией 0,75 М при соотношении фаз  $V_{aq}/V_{org}=2$ . При этом, учитывая, что РЗМ остаются в органической фазе, 99,9 %-ная очистка органического растворителя от примесей железа достигается за 8 стадий без потерь ценного компонента, что составляет менее 1 % примесей железа в органическом растворителе и менее 2 % в совокупности редкоземельных примесей.

Из полученного очищенного экстракта необходимо извлечь индивидуальные соединения металлов. Так как комплексные соединения РЗМ в органической фазе обладают различной устойчивостью, становится возможным их разделение. Эффективность реэкстракции находится в обратной зависимости от экстракции. Таким образом, лучше всего извлекаются ионы диспрозия, а слабее всего ионы иттербия. В качестве реэкстрагента была выбрана серная кислота. Оптимальной концентрацией для разделения тяжелых РЗМ и максимального насыщения являются концентрированные растворы серной кислоты 4 - 6 М. При этом коэффициенты разделения смежных пар достигают значения  $Yb/Er=12$ ,  $Y/Dy=9$ ,  $Er/Y=2$ .

Кроме того, на реэкстракцию оказывает влияние присутствие разбавителя (ТБФ) в органической фазе. Установлено, что при повышении его концентрации до 20 %, степень реэкстракции иттербия нелинейно растет, за счет образования менее прочных связей комплексного иона металла с ТБФ. При этом, для его использования необходимо дополнительно исследовать влияние добавление ТБФ в органическую фазу на экстракцию РЗМ и растворимость органической фазы в ПЭФК.

Суммировав полученные данные, была изучена возможность получения индивидуальных соединений Yb и Y. Установлено, что при соотношении фаз  $V_{aq}/V_{org}$  больше 0,07 степень реэкстракции иттрия достигает значения свыше 90 %. При этом, также, наблюдается уменьшение коэффициентов распределения в органическую фазу РЗМ с увеличением объема органической фазы. Таким образом, можно утверждать, что коэффициент разделения  $Y/Yb$  принимает значение в диапазоне (11 - 18), в зависимости от условий разделения. Наибольшее значение показатели реэкстракции достигают при соотношениях фаз 1/10 и 1/20, скорости перемешивания 450 об/мин, концентрации серной кислоты 6М.

Разработана схема извлечения и разделения рассматриваемых металлов (рис. 1). Получены прототипы соединений иттрия и иттербия с содержанием целевого компонента 83 % и 95 % соответственно.

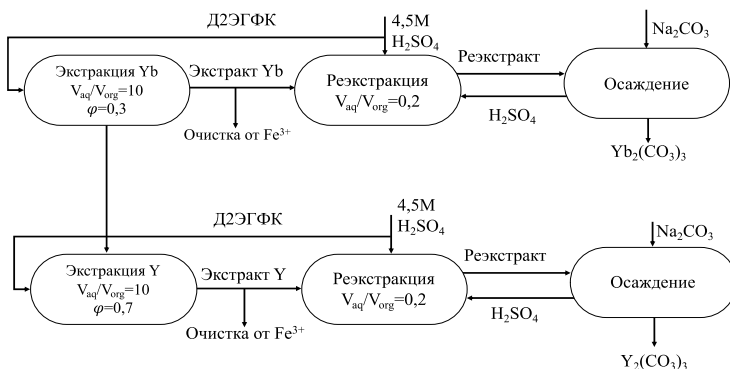


Рис. 1 – Схема экстракционного разделения Y и Yb

### Выводы.

1. Получены оптимальные параметры для очистки органического растворителя от примесей ионов железа и титана для увеличения емкости по РЗМ.

2. Получены зависимости влияния концентрации реэкстрагента ( $H_2SO_4$ ) на распределение, концентрирование и разделение Yb, Er, Y, Dy. Установлено, что с увеличением концентрации серной кислоты повышается коэффициент с различными показателями для каждого металла.

3. Получены зависимости влияния концентрации разбавителя ТБФ на очистку РЗМ. Установлено, что с увеличением концентрации ТБФ в органическом растворителе, степень реэкстракции нелинейно возрастает, что может упростить процесс реэкстракции.

4. Суммировав полученные данные была составлена схема извлечения и разделения Yb и Y. Получены их индивидуальные соединения с содержанием целевого компонента 83 % и 95 % соответственно.

Работа выполнена в рамках проекта № 19-19-00377 «Технологические основы извлечения и селекции стратегически значимых редкоземельных элементов из продуктов апатитового производства» от 22.04.2019, поддержанный РНФ в конкурсе 2019 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами».

### **Библиографический список**

1. *Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 328 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности"*
2. *Литвинова Т.Е. Металлургия иттрия и лантаноидов/ Т.Е. Литвинова. Спб: РИЦ Горного университета, 2012. – 272 с.*
3. *Yang Liu Stripping of Fe(III) from the Loaded Mixture of D2EHPA and TBP with Sulfuric Acid Containing Reducing Agents/ Yang Liu, Sang-Ho Nam, Manseung Lee Bull. Korean Chem. Soc. 2014, Vol. 35, No. 7*
2. *Wayne C. Recovery of metal values from aqueous solution by solvent extraction with an organo-phosphorus extractant/ Wayne C., Hazen A., Henrickson V., Пат. США US3214239A. МПК C01G 31/003. заявитель и патентообладатель KERR MC GEE OIL IND Inc; Priority date 1962-07-02.*
3. *Fred J. Hurst Removing oxygen from a solvent extractant in an uranium recovery process/ Fred J. Hurst, Gilbert M. Brown, Franz A. Posey; Пат. США US4432945A. МПК C22B 60/026. заявитель и патентообладатель US Department of Energy; Priority date 1981-11-04.*

УДК 553.087

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В СУЛЬФИДАХ ЗОЛОТО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМАХ**

**Амонова С.У.**

**Научный руководитель Жиянов А.Б.**

*Навоийский государственный горный институт, Узбекистан*

*Изучено распределение золота в сульфидах золото-колчеданных руд месторождения в Центральных Кызылкумах.*

Исследуемые руды приурочены к зоне размещения типичных для региона «черносланцевых» месторождений пирит-арсенопирит-золоторудной формации. Самородное золото в них концентрируется главным образом в сульфидах, представлено тонкими классами, но резкое преобладание пирита, высокие концентрации его в центральных частях рудных зон, массивные,