

## Список литературы

1. E. White, R. Singh, *Patent Landscape Report on E-Waste Recycling Technologies*, Thomson Reuters IP Analytics, 2013.
2. Теляков А.Н., Горленков Д.В., Рубис С.А., Богуславский А.Ю. *Обоснование процесса перехода благородных металлов в раствор при растворении медно-никелевых анодов на основании диаграмм Пурбэ // Записки горного института*, 2013.
3. Стрижко Л.С., Лолейт С. И. *Извлечение цветных и благородных металлов из электронного лома.* – М. : Руда и Металлы, 2009.
4. Tam V.W.Y., Tam C.M. *A review on the viable technology for construction waste recycling // Resource Conservation Recycling*, 2006. – Vol.47. – №3.

## ФЛОТАЦИОННОЕ ДООБОГАЩЕНИЕ БЕРИЛЛИЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

Л.Н. Малютин

Научный руководитель – д.т.н. А.Н. Дьяченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, prof1990@tpu.ru

На сегодняшний момент наблюдается стабильный рост потребления промышленностью бериллия. Потребление бериллия и продукции из него в 2015 году составило около 400 т, в пересчете на металл [1]. Наиболее востребован бериллий и его оксид в таких отраслях, как аэрокосмическая и атомная промышленность, производство лазерных материалов и рентгено-техники. Также его используют как добавку к ракетному топливу, высокотеплопроводный изолятор и огнеупорный материал для лабораторных тиглей и т.п. [2]. На территории Российской Федерации на сегодняшний день отсутствуют предприятия полного цикла, производящие бериллиевую продукцию, также остановлена добыча бериллиевой руды и ее обогащение. В то же время на складах Росрезерва разбронировано 18 тыс. тонн бериллиевого концентрата, содержащего 0,45–0,50% оксида бериллия. Утилизировать концентрат с таким содержанием BeO по существующим технологиям нерентабельно: выручка от реализации произведенного количества бериллиевой продукции не покрывает расходы на энергию (тепловую, электрическую) и реагенты.

Рассматриваемый концентрат был произведен Ярославским ГОКом из руд Ермаковского месторождения флотационным методом. Бериллий в концентрате в основном представлен флюорит-фенакит-бертрандитовыми метосо-

матитами [3]. Усредненный фазовый состав флюорит-фенакит-бертрандитового концентрата (ФФБК) приведен в таблице 1.

Добогащение флюорит-бериллиевого сырья проводили методом флотации. За основу была взята схема флотации фенакит-бертрандитовых руд, использованная для обогащения сырья месторождения Маунт-Уиллер (США) [4]. Навеску ФФБК смешивали с умягченной водой (Т : Ж = 1 : 4) и перемешивали до образования однородной пульпы. На каждые 100 г ФФБК добавляли 0,16 г NaF и 0,035 г гексаметафосфата и перемешивали в течение 5 мин. Непосредственно перед флотацией к пульпе добавляли 0,15 мл олеиновой кислоты и 0,10 мл керосина на каждые 100 г ФФБК. Перемешивали пульпу с органическими флотореагентами 30 с. Флотацию проводили при 1, 3, 5 мин. и 25, 40, 60 °С. Наилучший результат, достигнут при 60 °С и 3 мин., коэффициент распределения бериллия составил 1,50. Были проведены исследования на прокаленном концентрате. Прокалка необходима для удаления с поверхности ФФБК органической фазы, нанесенной при обогащении Ярославским ГОКом. Наилучший результат был достигнут при 20 °С и 3 мин., коэффициент распределения бериллия составил 1,70.

Были проведены исследования влияния предварительных промывок ФФБК на активацию поверхности концентрата и увеличение

**Таблица 1.** Усредненный фазовый состав ФФБК, % масс.

BeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>
0,47	1,86	6,67	60,24	3,15	23,17	4,44

коэффициента распределения бериллия. ФФБК промывали в 3%-ных растворах  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ . Промывки растворами  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  не улучшили смачиваемость ФФБК и коэффициент распределения бериллия. При использовании раствора  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  смачиваемость ФФБК улучшилась, наилучший результат по обогащению был получен при 40 °С и 3 мин., коэффициент распределения составил 3,80. Кон-

центрация  $\text{BeO}$  в пенном продукте (концентрате) составила 0,94%, содержание  $\text{BeO}$  в камерном продукте (хвостах) составило 0,25%.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение возможности получения ФФБК с содержанием  $\text{BeO}$  5,0%, эффективности применения перечистных и контрольных флотации, а также на изучение механизма активации концентрата фторсодержащими солями аммония.

### Список литературы

1. *Beryllium Science & Technology Association (BeST). Production Statistics.* URL: <http://beryllium.eu/about-beryllium-and-beryllium-alloys/facts-and-figures/production-statistics/> (дата обращения: 18.01.2016).
2. *Beryllium Science & Technology Association (BeST). Uses of Beryllium.* URL: <http://beryllium.eu/about-beryllium-and-beryllium-alloys/uses-and-applications-of-beryllium/> (дата обращения 18.01.2016).
3. *Методические рекомендации по применению*
4. *Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Бериллиевые руды. Утверждены распоряжением Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 05.06.2007 г.– М.: 2007.– №37-р.– С.5–10.*
4. *Полькии С.И. Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов: Учебник для вузов.– 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Недра, 1987.– С.171–176.*

## ОСОБЕННОСТИ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПИРОХЛОРОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Н.А. Пермякова<sup>1</sup>, А.С. Фатов<sup>2</sup>

Научный руководитель – к.т.н., ведущий научный сотрудник Е.Г. Лихникевич

<sup>1</sup>Московский технологический университет  
119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского 86

<sup>2</sup>ФГБУ «ВИМС»  
119017, Россия, г. Москва, пер. Старомонетный 31, с.1, [vims@df.ru](mailto:vims@df.ru)

Сложность и значительная изменчивость вещественного состава руд Белозиминского месторождения, вариации элементного состава основных рудных минералов по содержанию элементов-примесей приводят к получению на стадии обогащения конечных продуктов нетрадиционного состава, характеризующихся повышенными концентрациями фосфора, урана и тория.

Учитывая, что основным потребителем соединений ниобия и, прежде всего пирохлоровых концентратов, является предприятие черной металлургии, предъявляющее к качеству поставляемой для выплавки феррониобия товарной продукции жесткие требования, исследователями и промышленностью значительное внимание уделяется вопросам кондиционирования концентратов по содержанию таких вредных примесных компонентов как P, S, Ti, U, Si, Ba и др.

Исследования по кондиционированию концентратов Белозиминского месторождения были выполнены на пирохлоровых концентратах, полученных в цикле редкометалльной флотации, состава, %:  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  – 40,9;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 27,1;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 4,51; S – 0,015; Th – 0,25; U – 0,064;  $\text{TiO}_2$  – 4,2;  $\text{SiO}_2$  – 2,26.

Ниобий представлен пирохлором и колумбитизированным пирохлором. Пирохлоровый концентрат не отвечает требованиям по содержанию фосфора. Кроме того, концентрат радиоактивен, его активность в ториевом эквиваленте составляет 40,8 кБк/кг (без ДПР) и 314,8 кБк/кг (с ДПР). Источником радиационного воздействия являются пирохлор, колумбитизированный пирохлор и монацит. В соответствии с п. 4 НРБ-99/2009 продукты при неизвестном радионуклидном составе с удельной активностью, превышающей 100 кБк/кг для  $\beta$ -излучателей, 10