Федоров Александр Томасович Разделение редкоземельных металлов методом экстракции на индивидуальные компоненты в процессе переработки апатитового концентрата

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

кандидат наук Федоров Александр Томасович

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ. АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА

1.1 Анализ современного состояния редкоземельной промышленности в России и мире

1.2 Характеристика апатитового сырья

1.3 Методы выщелачивания редкоземельных металлов из фосфогипса и извлечения из фосфорнокислых растворов

1.3.1 Сернокислотные процессы переработки апатита (фосфатного сырья)

1.3.2 Методы извлечения РЗМ из фосфогипса

1.4 Потенциальные источники РЗМ

1.4.1 Извлечение РЗМ из бытовых отходов: флуоресцентных ламп, неодимовых магнитов, использованных батарей

1.4.2 Извлечение РЗМ из монацитового концентрата

1.4.3 Извлечение РЗМ из альтернативных минеральных источников

1.5 Методы извлечения редкоземельных металлов из сложносолевых растворов

1.5.1 Кристаллизационные методы

1.5.2 Осадительные методы

1.5.3 Сорбционные методы

1.6 Экстракция редкоземельных металлов из растворов

1.6.1 Экстракция ди-2этилгексилфосфорной кислотой

1.6.2 Экстракция с использованием трибутилфосфата

1.6.3 Экстракция с использованием твердотельных экстрагентов

1.6.4 Экстракция РЗМ другими экстрагентами

1.7 Методы предварительной очистки органической фазы от примесей

1.8 Экстракционное разделение РЗМ в комплексных системах

1.9 Анализ современных физических методов интенсификации процессов экстракции и разделения РЗМ

1.10 Выводы по главе

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Физико-химические свойства фосфорнокислых технологических растворов, образующихся при переработке апатита

2.2 Характеристика используемых реактивов

2.3 Экспериментальные установки и методики аналитического контроля

2.4 Методика проведения эксперимента

2.5 Методика обработки экспериментальных данных

2.6 Выводы по главе

ГЛАВА 3 ЭКСТРАКЦИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ ФОСФОРНЫХ КИСЛОТ

3.1 Эффективность использования Д2ЭГФК в процессах экстракции редкоземельных

металлов из растворов фосфорной кислоты

3.1.1 Влияние концентрации экстрагента на концентрирование и разделение иттрия, иттербия, эрбия и диспрозия

3.1.3 Концентрирование и разделение тяжелой группы РЗМ в совместном присутствии на стадии экстракции из водной фазы в органическую

3.1.4 Экстракция примесных компонентов из фосфорнокислых растворов

3.2 Выводы по главе

ГЛАВА 4 ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ Д2ЭГФК

4.1 Реэкстракция РЗМ различными минеральными кислотами и определение условий разделения тяжелых РЗМ

4.1.1 Влияние концентрации реэкстрагента на коэффициенты разделения РЗМ тяжелой группы

4.1.2 Влияние скорости перемешивания фаз на показатели реэкстракции тяжелой группы РЗМ

4.1.3 Влияние температуры на степень реэкстракции РЗМ

4.1.4 Влияние соотношения фаз на показатели реэкстракции тяжелой группы РЗМ

4.1.5 Влияния нейтрального экстрагента на реэкстракцию РЗМ из органической фазы на основе Д2ЭГФК

4.2 Очистка экстракта РЗМ от примесей ионов железа (3+) и титана (IV)

4.2.1 Очистка экстракта от примесей железа (3+)

4.2.2 Очистка экстракта от примесей титана (IV)

4.3 Очистка, концентрирование и разделение РЗМ на индивидуальные компоненты на стадии реэкстракции

4.4 Выводы по главе

ГЛАВА 5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЭКСТРАКЦИОННОГО

ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИТТРИЯ, ИТТЕРБИЯ И ДИСПРОЗИЯ ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСТВОРОВ ЭФК И ИХ РАЗДЕЛЕНИЯ НА ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

5.1 Аппаратурное оформление процесса разделения РЗМ

112

5.1.1 Экстракция РЗМ из экстракционной фосфорной кислоты

5.1.2 Подготовка экстрагентов

5.1.3 Извлечение иттербия и очистка получаемого экстракта

5.1.4 Извлечение иттрия и диспрозия

5.1.5 Осаждение карбонатов редкоземельных металлов

5.1.6 Регенерация щавелевой кислоты

5.2 Расчет экстракционной установки

5.2.1 Последовательность технологических операций и материальный баланс

5.3 Техника- экономическая оценка эффективности применения технологии получения карбонатов РЗМ

5.4 Выводы по главе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Сокращенная принципиальная технологическая схема процесса экстракции и разделения РЗМ