

С.В. Махов, А.Л. Олифсон

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ
КИСЛОТЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ
АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА**

**МОСКВА
2019**

Научное издание

Главный редактор: *С.А. Ширяев*

Корректор: *С.Ю. Леднев*

Махов С.В., Олифсон А.Л.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ, ПОЛУЧЕННОЙ
ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА
М., 2019, 284 стр.

*Авторы искренне благодарят Сергея Юрьевича Леднева
за эффективную помощь при подготовке данного издания
к печати.*

ISBN – 978-5-89394-301-6

© Махов С.В., Олифсон А.Л.

Содержание

Введение.....	7
Глава 1. Осадительные методы извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты	13
1.1. Литературный обзор	13
1.1.1. Методы извлечения редкоземельных элементов из фосфорсодержащего сырья	13
1.1.2. Сернокислотное разложение фосфатного сырья с получением экстракционной фосфорной кислоты.....	19
1.1.3. Извлечение фтора из экстракционной фосфорной кислоты....	26
1.1.4. Извлечение редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты	34
1.1.5. Методы переработки фосфатных концентратов редкоземельных элементов.....	38
1.1.6. Выводы из литературного обзора	45
Библиографический список литературы к главе 1.1.....	46
1.2. Лабораторные исследования процесса извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты осадительными методами.....	58
1.2.1. Исследование формы нахождения редкоземельных элементов в фосфоритах.....	58
1.2.2. Распределение редкоземельных элементов при дигидратном процессе разложения апатита	63
1.2.3. Исследование условий извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты	64
1.2.4. Разработка технологии извлечения РЗЭ при введении соли кальция в ЭФК до ее аммонизации	65
1.2.4.1. Исследование процесса получения высокопроцентного осадка кремнефторидов щелочных металлов	69
1.2.4.2. Исследование процесса выделения фосфатного концентрата редкоземельных элементов.....	74
1.2.5. Разработка технологии извлечения РЗЭ из ЭФК при введении соли кальция в ЭФК после ее аммонизации	76
1.2.5.1. Усовершенствование технологии осаждения фосфатного концентрата РЗЭ	81
1.2.5.2. Нахождение оптимальных условий извлечения РЗЭ из фосфатного концентрата при его растворении.....	87

1.2.6. Влияние расхода азотной кислоты на извлечение редкоземельных элементов в нитратно-фосфатный раствор.....	89
1.2.7. Извлечение редкоземельных элементов из нитратно-фосфатных растворов экстракционными методами ..	93
1.2.8. Резэкстракция редкоземельных элементов из насыщенного экстрагента (ФОР)	101
1.3. Укрупненные лабораторные испытания в непрерывном режиме технологии извлечения РЗЭ из нитратно-фосфатных растворов с получением оксикарбонатов редкоземельных элементов	103
1.4. Исследование путей утилизации фосфорнокислых растворов, полученных при выделении фосфатных концентратов РЗЭ, из нитратно-фосфатных рафинатов экстракции РЗЭ	109
1.4.1. Исследование путей утилизации фосфорнокислых растворов.....	109
1.4.1.1. Получение фосфатов аммония и калия	109
1.4.1.2. Получение дикальцийфосфата	112
1.4.1.3. Получение триполифосфата натрия	113
1.5. Исследование путей утилизации нитратно-фосфатных рафинатов	114
1.6. Выводы	116
Приложение 1. Балансовая технологическая схема процесса попутного извлечения редкоземельных элементов и фтора из экстракционной фосфорной кислоты при комплексной переработке апатитов на удобрения и фосфорнокислые соли ...	119
Приложение 2. Описание технологической аппаратурной схемы производства	122
Глава 2. Сорбционные методы извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты	129
2.1. Литературный обзор	129
2.1.1. Сорбция редкоземельных элементов	129
2.1.2. Десорбция редкоземельных элементов	144
2.1.3. Выводы из литературного обзора	145
Библиографический список литературы к главе 2.1.....	147
2.2. Лабораторные исследования процесса сорбционного извлечения редких земель из фосфорсодержащих руд месторождений Кольское, Кингисеппское и Каратау.....	151
2.2.1. Характеристика отечественных фосфоритов	151
2.2.2. Выбор ионита	154
2.2.3. Сорбция редких земель на сульфокатионите КУ-2х8 из чистых сернокислых растворов	155

2.2.4. Сорбция редких земель на сульфокатионите КУ-2х8 из жидкой фазы серно-фосфорнокислой пульпы и непосредственно из серно-фосфорнокислой пульпы, полученной после вскрытия Кольского апатита в дигидратном режиме.....	160
2.2.5. Обсуждение результатов	165
2.3. О форме нахождения редкоземельных элементов в фосфогипсе	166
2.3.1. Обсуждение результатов	174
2.4. Оптимизация сорбционных процессов извлечения редких земель из серно-фосфорнокислых пульп кольского апатитового концентрата	176
2.4.1. Обсуждение результатов	191
2.5. Полупромышленные испытания сорбционного извлечения редких земель из кольского апатитового концентрата.....	192
2.5.1. Сорбция редкоземельных элементов из серно-фосфорнокислых пульп в полунепрерывном режиме в аппарате типа «Пачук»	193
2.5.2. Сорбция редкоземельных элементов из серно-фосфорнокислых пульп с применением пульсационной колонны с насадкой «КРИМЗ»	204
2.5.3. Исследование влияния сорбционного процесса извлечения редких земель на фильтруемость пульпы при сернокислотном методе получения ЭФК из кольского апатитового концентрата	207
2.5.4. Обсуждение результатов	214
2.6. Общие выводы	215
Библиографический список литературы к гл. 2.2-2.5. Продолжение.....	216
Приложение 1. Сводная технологическая схема переработки апатитового концентрата с получением аммофоса и редких земель.....	219
Приложение 2. Основные данные для проектирования производства по сорбционному извлечению редкоземельных элементов при переработке серно-фосфорнокислой пульпы кольского апатитового концентрата	220
Глава 3. Экстракционные методы извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты	226
3.1. Литературный обзор	226
3.1.1. Выводы из литературного обзора	234
Библиографический список литературы к главе 3.1.....	234

3.2. Лабораторные исследования процесса экстракционного извлечения редких земель из экстракционной фосфорной кислоты	239
3.2.1. Методики проведения экспериментов	240
3.2.2. Моделирование экстракционных процессов	241
3.2.3. Влияние ионов высаливателя на процесс извлечения РЗМ	243
3.2.4. Зависимость извлечения РЗМ от концентрации фосфорной кислоты	246
3.2.5. Зависимость извлечения церия от концентрации сульфат-ионов.....	247
3.2.6. Зависимость извлечения ионов иттербия от концентрации фторид-иона.....	248
3.2.7. Зависимость извлечения церия и иттрия от концентрации ионов магния и кальция	250
3.2.8. Зависимость извлечения церия и иттрия от концентрации ионов железа (3+)	252
3.2.9. Обсуждение результатов	254
3.3. Исследование процессов рекстракции редкоземельных элементов	256
3.4. Методика получения товарной продукции – карбонатов РЗМ ..	258
3.5. Выбор экстракционного оборудования	260
3.6. Выводы	264
Библиографический список литературы к гл. 3.2-3.5	264
Приложение 1. А.Л.Олифсон и др. Методическое пособие для инженеров и лаборантов творческого коллектива по исследованию процессов экстракции	266