

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Лукьянцевой Елены Сергеевны
на тему: «Кинетические закономерности и технологические принципы
экстракционного извлечения тяжелых редкоземельных элементов из
фосфорнокислых растворов при переработке апатитовых руд», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ**

Актуальность исследования обусловлена стратегической важностью редкоземельных элементов (РЗЭ) для высокотехнологичных отраслей. Однако имея большие запасы сырья для получения РЗЭ Россия обеспечивает менее 0,5 % глобального производства. При сернокислотной переработке апатит-нефелиновых руд, которые являются основным источником РЗЭ, в частности тяжелой группы, РЗЭ переходят в экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК) в низких концентрациях (0,07-0,10%) вместе с конкурирующими катионами железа и алюминия, что существенно затрудняет их извлечение. Таким образом, разработка эффективной технологии попутного селективного извлечения РЗЭ из технологических растворов переработки апатитовых руд является актуальной научно-технической задачей, решение которой внесет вклад в обеспечение сырьевой базы Российской Федерации.

Работа посвящена установлению кинетических закономерностей жидкостной и твердофазной экстракции тяжелых РЗЭ и примесных ионов алюминия из фосфорнокислых растворов, моделирующих технологические растворы ЭФК, оценке влияния органического разбавителя на эффективность и селективность процесса и разработке технологической схемы извлечения, разделения и очистки РЗЭ.

Для решения поставленных задач автором использован комплексный подход, сочетающий анализ литературных данных с экспериментальным изучением кинетики экстракционных процессов. Теоретическую базу составили положения химии экстракции, массопереноса, химической кинетики и эффекта лантаноидного сжатия.

В ходе работы проведена замена керосина на изоалкановый растворитель Isane Biolife 58 в качестве разбавителя Д2ЭГФК, что привело к повышению извлечения тяжелых РЗЭ в 1,5-2 раза и увеличению коэффициента разделения до 15,0. Установлены кинетические закономерности жидкостной экстракции и определены оптимальные параметры процесса: мольная доля Д2ЭГФК 0,2 и соотношение водной и органической фазы 2 к 1, скорость перемешивания 350-450 об/мин. Выявлена лимитирующая стадия жидкостной экстракции и реэкстракции – внешняя диффузия. Установлено, что лимитирующая стадия твердофазной экстракции – внутренняя диффузия при 298-318 К, увеличение температуры до 333 К приводит к ускорению химической реакции и насыщению приповерхностного слоя комплексами РЗЭ-Д2ЭГФК, закупорке пор и переходу к диффузии через слой продукта с ростом энергии активации. Определены условия селективной реэкстракции, которые позволяют провести поступенчатое разделение РЗЭ за счет варьирования концентрации серной кислоты. Выявлено, что присутствие катионов алюминия снижает извлечение РЗЭ на 4-14 %. Получен коэффициент разделения Lu/Al 17,6 при времени контакта фаз 2-3 мин и температуре 298 К. Разработан способ очистки экстракта от примесей с использованием шавелевой кислоты. Предложена принципиальная технологическая схема, включающая экстракцию, очистку шавелевой кислотой, ступенчатую реэкстракцию серной кислотой с последовательным выделением РЗЭ,

ОТЗЫВ

ВХ. № 9 - 465 от 08.09.20
АУ УС

осаждением карбонатов и регенерацию экстрагента. Окупаемость составляет около 38 месяцев с чистой прибылью 244 млн руб./год и выходом карбонатов тяжелых РЗЭ около 75 т/год при переработке 800 тыс. т/год ЭФК.

Автореферат изложен ясным языком с логичными переходами между блоками работы и полученными результатами.

По существу изложения материала в автореферате есть следующие замечания:

1. Оценка изоалканового растворителя Isane Biolife 58 проводилась с точки зрения химического строения с применением метода Фурье-ИК спектроскопии, а также проведение экстракционных исследований. Проводились ли сравнительные испытания органических растворителей на технические характеристики, такие как плотность, массовая доля нелетучих веществ и испаряемость для возможности замены керосина на растворитель Isane Biolife 58 на производственных площадках?

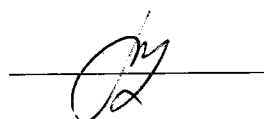
2. На рисунке 7 представлена принципиальная схема экстракционного разделения тяжелой подгруппы редкоземельных элементов с поступенчатой экстракцией и реэкстракцией. Каким образом автор предлагает на производственной площадке соблюдать соотношение водной и органической фазы на каждой ступени процесса экстракции и реэкстракции? Это каждый раз новое дозирование ЭФК с экстрагентов в нужном соотношении или добавление экстрагента в уже имеющуюся систему?

В целом приведенные в настоящем отзыве замечания не умаляют научной новизны работы и ее теоретической и практической значимости.

Диссертация «Кинетические закономерности и технологические принципы экстракционного извлечения тяжелых редкоземельных элементов из фосфорнокислых растворов при переработке апатитовых руд», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Лукьянцева Елене Сергеевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Научный сотрудник,
кандидат химических наук

Пономарева Мария Александровна



Пономарева М.А.

Подпись, должность и ученую степень Пономаревой Марии Александровны удостоверяю:

Директор научно-исследовательского центра
«Газпромнефть – Битумные материалы»



«4» сентября 2026 г

Кудряшов И.С..

Общество с ограниченной ответственностью «Газпромнефть - Промышленные инновации»
Почтовый адрес: 197350, Россия, г. Санкт-Петербург, Парашютная ул. д. 89, к.2, стр. 1
Официальный сайт в сети Интернет: <https://innovations.gazprom-neft.ru/>
эл. почта: Ponomareva.MA1@gazprom-neft.ru
телефон: +7 (812) 493-25-66 доб. (061) 17168; +7 (981) 842-20-33