

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата химических наук Украинцева Ильи Валерьевича на диссертацию Федорова Александра Томасовича на тему:

«Разделение редкоземельных металлов методом экстракции на индивидуальные компоненты в процессе переработки апатитового концентрата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Диссертация Федорова Александра Томасовича посвящена разработке технологии экстракционного извлечения редкоземельных металлов тяжелой группы из раствора фосфорной кислоты и их разделения на индивидуальные компоненты.

Актуальность исследования. В качестве объекта исследования автором выбраны технологические растворы фосфорной кислоты (ФК). Наличие значительных объемов производства ФК, даже при невысоком содержании в ней лантаноидов, обуславливает потенциальную привлекательность данного объекта в качестве перспективного источника редких земель.

Актуальность работы Федорова А.Т. заключается в снижении дефицита индивидуальных соединений редкоземельных металлов (РЗМ) для отечественной промышленности за счет увеличения глубины переработки редкоземельного сырья с низким содержанием лантаноидов – продуктов переработки апатитового концентрата. При переработке апатитового концентрата около 15-20% РЗМ переходят в растворы фосфорной кислоты, остальная часть распределяется в твердый отход – фосфогипс. Селективная добыча какого-либо РЗМ на отечественных предприятиях, реализующих дигидратную технологию переработки апатита, не производится. Производители вынуждены извлекать из сырья коллективный концентрат РЗМ. Ввиду сходства химических свойств лантаноидов промышленное

разделение производится только на подгруппы. Автором отмечается, что наиболее выгодно производить извлечение редкоземельных металлов из растворов фосфорной кислоты, так как в этом случае не требуется проведения дополнительных операций по подготовке (выщелачивание, фильтрация, промывка и др.) сырья к экстракции. Таким образом, разработка высокоэффективной и экономически рентабельной технологии получения индивидуальных РЗМ из продуктов переработки апатитового концентрата является актуальной исследовательской задачей.

Научная новизна диссертационной работы. Автором выявлено, что при экстракции РЗМ растворами ди-2-этилгексилфосфорной кислоты (Д2ЭГФК) коэффициенты распределения и степени извлечения в ряду лантаноидов увеличиваются в порядке возрастания порядкового номера элемента, что объясняется повышением эффективного заряда иона-комплексообразователя, приводящего к дополнительной сольватации молекул органической кислоты.

Установлено, что более 90% иттербия извлекается в органическую фазу раствором Д2ЭГФК относительно невысокой концентрации (молярная доля 0,3 – 0,4) и соотношением водной фазы к органической 10 к 1. Эффективное извлечение эрбия, иттербия и иттрия из растворов фосфорной кислоты достигается использованием растворов с более высокой концентрацией Д2ЭГФК. Средние коэффициенты разделения для РЗМ принимают следующие значения $Yb/Y = 8$, $Y/Er = 4$ и $Er/Dy = 4$. Установлено, что с увеличением количества ступеней экстракции наблюдается повышение относительного содержания иттербия в органическом растворителе, что приводит к увеличению коэффициента разделения Yb/Y до 36. Определено, что максимальное концентрирование органической фазы по иттербию ограничивается экстракционной емкостью и принимает значение 0,045 моль/л, что на несколько порядков превышает его исходное содержание в растворах ЭФК. Выявлены оптимальные параметры процесса реэкстракции элементов, такие как, концентрация реэкстрагента, соотношение фаз,

скорость перемешивания, температура, обеспечивающие максимальную степень извлечения из органической фазы.

Автором обоснован выбор экстрагента - щавелевой кислоты, использование которого обеспечивает очистку органической фазы от примесей ионов железа (III) и титана (IV), значительно снижающих емкость экстрагента по редкоземельным металлам. Автором установлено, что применение щавелевой кислоты не влияет на содержание редкоземельных металлов в экстракте. Таким образом, реализация промежуточных стадий контакта органической фазы со щавелевой кислотой существенно повышает как емкость экстрагента (в 2-2,5 раза), так и чистоту получаемых продуктов РЗМ из апатитового сырья.

Соискателем установлены факторы рекстракции РЗМ из органической фазы, определяющим из которых является концентрация серной кислоты. Использование 2-6 моль/л H_2SO_4 обеспечивает наибольшие коэффициенты разделения редкоземельных металлов. Выявлен антагонистический эффект процесса рекстракции РЗМ при использовании нейтрального экстрагента – трибутилфосфата в составе органической фазы на основе Д2ЭГФК. Добавление ТБФ в количестве 20 об. % приводит к увеличению степени извлечения иттербия в водную фазу от 60 до 97%. Также установлено, что увеличение объема водной фазы и температуры приводит к увеличению степени извлечения РЗМ из Д2ЭГФК.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработанных технологических решениях по повышению глубины переработки апатитового сырья с целью получения индивидуальных соединений редкоземельных металлов. Разработанные предложения могут быть использованы на предприятиях, перерабатывающих апатитовое сырье, а также на предприятиях, производящих фосфорные удобрения, таких как ФосАгро и ЕвроХим.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе Федорова А.Т. обеспечивается совокупностью экспериментальных и теоретических методов исследований, статистической представительностью выборок данных, корректным применением методов математической обработки информации, непротиворечивостью полученных результатов, подтверждением прогнозных выводов результатами экспериментальных исследовательских испытаний, апробацией основных положений диссертационного исследования в публикациях автора и выступлениях на научных конференциях.

Основные научные результаты, полученные автором диссертации, достаточно полно отражены в 15 публикациях, в том числе в 2 публикациях в рецензируемых изданиях, рекомендованных Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, в 6 публикациях в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и WoS, и в двух патентах.

Апробация работы.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, изложенные в диссертационной работе Федорова А.Т., докладывались и обсуждались на XXI Международной научно-практической конференции «Исследование различных направлений современной науки» (Москва, 24 апреля 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Наука. Технологии. Инновации» (Казань, 11 мая 2018); Международном форуме-конкурсе молодых учёных «Проблемы недропользования», (СПб. 18-20 апреля 2018); 69-ой Международной научной конференции «Resource Issues 2018» (г. Фрайберг, Германия, 6-8 июня 2018 г.); XVI Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (17-19 июня 2020, Санкт-Петербург).

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из оглавления, введения, 5 глав и заключения, изложенных на 159 страницах. Содержит 37 рисунков, 38 таблиц и списка литературы из 167 наименований.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Стиль изложения в целом четкий и ясный. Диссертация Федорова А.Т. написана грамотным техническим языком, текстовая часть поясняется таблицами и графиками, стиль изложения соответствует современному уровню научных работ. Основные положения диссертационной работы полностью отражены в автореферате.

Вопросы и замечания по существу работы:

1) Соискатель приводит различные параметры процесса экстракции (такие как соотношение фаз, время контакта фаз), однако не упоминает значение рН исследованных растворов.

2) В диссертации не упоминается о радиоактивности апатитовых руд, растворов фосфорной кислоты или получаемых из нее экстрактов. Превышение ПДК радиоактивных веществ не позволит применять разработанную технологию без предварительной деактивации используемых веществ.

3) В работе описана процедура регенерации Д2ЭГФК, однако не приведены результаты эффективности вторичного использования регенерированного экстрагента.

Заключение

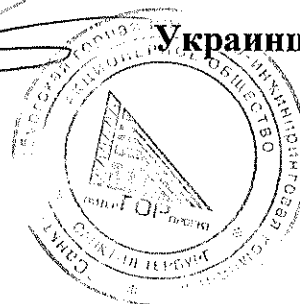
Диссертация «Разделение редкоземельных металлов методом экстракции на индивидуальные компоненты в процессе переработки апатитового концентрата», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов, соответствует требованиям пунктов 2.1-2.6 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм, а ее автор – Федоров Александр Томасович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,
Главный обогатитель - Начальник
отдела обогащения руд
и гидротехнических сооружений,

АО «ПитерГОРпроект»,
кандидат химических наук

Украинцев Илья Валерьевич



Телефон: +7 (812) 448-8006

E-mail: info@pitergor.ru

Акционерное общество «ПитерГОРпроект»

Адрес: 196066, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 212,
литер «А», пом. 1125

«10» сентября 2020 года

*Подпись подпись Украинцева И.В. подтверждаю
Иванов Иван Иванович АО «ПитерГОРпроект»*

10.09.2020г.