

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Смышляева Дениса Валерьевича
«Разработка технологии извлечения скандия из серноокислых растворов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных
элементов

Актуальность темы исследования

При производстве цветных и редких металлов обычно образуется большое количество высокотоксичных отходов производства, в которых накапливаются сопутствующие металлы, что делает их важным техногенным источником сырья. Разработка и внедрение малоотходных и безотходных процессов, обеспечивающих комплексное использование сырья, в технологии цветных, редких и рассеянных металлов, является одной из важнейших задач, которая имеет приоритетное значение. Внедрение таких процессов позволяет значительно снизить себестоимость переработки исходного минерального сырья и частично окупить затраты на обезвреживание экологически опасных отходов производства. Это касается и технологии скандия, потенциальными источниками которого являются отходы различных производств: красные шламы, хвосты мокрой магнитной сепарации и другие полупродукты техногенного происхождения – частично обогащенное сырье, позволяющее извлекать скандий как вторичный продукт при комплексной переработке растворов гидролизной серной кислоты (ГК) и возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания (ВР СПВ) урана. Таким образом, разработка эффективных технологий селективного извлечения скандия из вышеназванных растворов, его концентрирования и очистки от примесей, с выделением их в отдельные товарные продукты, становится весьма актуальной.

Структура и анализ работы

Диссертация Смышляева Д.В. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 150 наименований и приложения. Работа изложена на 143 страницах, содержит 56 рисунков и 39 таблиц.

Во введении обоснована актуальность и определена степень разработанности темы исследования, приведена цель и установлены задачи работы, указана научная новизна, оценены практическая и теоретическая значимость результатов исследований, сформулированы выносимые на защиту положения.

В первой главе представлен литературный обзор экстракционных и сорбционных методов извлечения и концентрирования скандия из кислых

растворов, а также рассмотрены технологические схемы извлечения скандия из наиболее перспективных техногенных месторождений.

Сделан вывод, что для эффективного извлечения скандия из кислых технологических растворов целесообразно применять экстракционные и сорбционные гидрометаллургические методы. Для извлечения скандия из ВР СПВ урана более предпочтительно использование сорбционных схем концентрирования как на классических ионообменных смолах, так и на ТВЭКСах. Из растворов ГК извлечение и концентрирование скандия целесообразней проводить с использованием экстракционного способа.

Во второй главе работы представлены сведения о реактивах, материалах, методологической и инструментальной базе диссертационного исследования.

В третьей главе представлены результаты исследований по селективному извлечению скандия из сернокислых растворов фосфорсодержащими кислотными экстрагентами: ди-(2-этилгексил) фосфорная кислота (Ди2ЭГФК), моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновая кислота (P507), бис(2,4,4-триметилпентил)фосфиновая кислота (Суанех 272) и ди(толил)фосфиновая кислота (ДТФК). С использованием выбранных экстрагентов изучено влияние pH сернокислой среды на коэффициенты распределения скандия. Для экстрагентов Ди2ЭГФК, P507 и Суанех 272 в качестве разбавителя использовали растворитель Shellsol D60, а для ДТФК – кумол. На рисунке 1 представлены зависимости логарифмов коэффициентов распределения Sc от pH среды для 0,2 М экстрагентов, при экстракции из модельных сернокислых растворов.

В четвертой главе представлены результаты исследований по экстракционному извлечению и концентрированию скандия из растворов гидролизной кислоты. Исследования проводили с использованием экстрагентов Ди2ЭГФК и P507. Дополнительно в органическую смесь в качестве модификатора вводили фосфорорганический нейтральный экстрагент трибутилфосфат (ТБФ), снижающий время разделения фаз после экстракции. Влияние содержания ТБФ на времени расслаивания водной и органической фаз приведено на рисунке 5. Из результатов, представленных в таблице 3 и на рисунке 4 можно сделать вывод о том, что для экстракции скандия из гидролизной серной кислоты предпочтительнее использовать смесь, состоящую из 15 масс. % ТБФ и 5 масс. % Ди2ЭГФК. Степень экстракции скандия в данных условиях составляет более 90 %. Экстрагент на основе P507 не отличается высокими степенями извлечения скандия (не более 60 %), поэтому в сравнении с Ди2ЭГФК является менее эффективным

при извлечении скандия из растворов ГК, в связи с чем дальнейшие исследования проводили с использованием экстрагента состоящего из смеси Ди2ЭГФК, ТБФ и Shellsol D60.

Чтобы увеличить концентрацию скандия в экстрагенте и снизить расход экстрагента, изучено влияние соотношения органической фазы к водной (О:В) на эффективность экстракции ионов металлов. Экстрагент с содержанием 15 масс. % ТБФ, 5 масс. % Ди2ЭГФК и 80 масс. % Shellsol D60 приводился в контакт с различными объемами модельного раствора гидролизной кислоты. Результаты экспериментов приведены в таблице 5. Установлено, что с увеличением соотношения водной фазы к органической доля экстрагируемых ионов скандия уменьшается. Оптимальным условием селективного извлечения скандия является соотношение О:В равное 1:20.

В пятой главе представлены исследования по переработке щелочного и фторидного черновых скандиевых концентратов, полученных при извлечении скандия из ГК и из возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания урана. Поскольку щелочная экстракционная схема переработки ГК не позволяет отделить скандий от циркония, то были выполнены исследования по сорбционному разделению Sc, Zr, Ti. При этом использовали слабоосновные аниониты фирмы Purolite S106, A830 и RUA21207 и модельные растворы, содержащие 1 г/дм³ исследуемых металлов. Изотермы сорбции циркония и титана из сернокислых растворов анионитом RUA21207 лучше описываются с помощью изотермы Фрейндлиха, что по всей видимости связано с возможной сорбцией этих металлов ионитом на энергетически неоднородных сорбционных центрах. Об адекватности модели Фрейндлиха свидетельствуют высокие значения коэффициентов корреляции.

Научная новизна диссертационной работы

Установлены основные закономерности экстракционного поведения скандия при извлечении из сернокислых растворов органическими фосфорсодержащими кислотами. Показано, что экстракции скандия реализуется за счет обмена катионов и образования донорно-акцепторной связи. Предложена и обоснована структура образующихся органических комплексных соединений скандия ScSO_4HR_2 . Выявлены закономерности совместной сорбции скандия, титана и циркония на слабоосновном анионообменном ионите Purolite RUA21207. Обоснована возможность селективного разделения скандия и циркония с использованием этого ионита. Объяснен механизм селективной отмывки насыщенного экстрагента Ди2ЭГФК от примесных ионов титана и циркония низкоконцентрированными растворами фтористоводородной кислоты.

Практическая значимость работы:

- результаты исследований дополняют теоретические представления о физико-химических процессах протекающих при извлечении редких металлов из различных техногенных образований;
- разработана и апробирована технология селективного экстракционного извлечения скандия из растворов гидролизной кислоты с получением черного концентрата скандия;
- разработана, испытана и внедрена технология переработки черного скандиевого концентрата, полученного из растворов подземного скважинного выщелачивания урана, с выделением оксида скандия;
- разработана и предложена к испытанию сорбционная технология комплексной переработки черного гидроксокарбоната скандия.

Достоверность результатов

Достоверность информации обеспечивается использованием современных средств, методов измерений и исследований. Аналитические исследования проводились с использованием аттестованных физико-химических методов анализа.

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 2 статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования WoS и Scopus; 3 патентах РФ на изобретение; 4 тезисах докладов на всероссийских и международных конференциях.

Вопросы и замечания по диссертационной работе Третьяка М.А.:

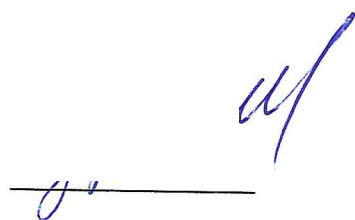
1. В качестве модификатора фаз в работе используется ТБФ. Чем обусловлен выбор данного реагента (стр. 78)?
2. Какое количество циклов может быть эффективно использована органическая смесь, состоящая из Ди2ЭГФК, ТБФ и Shellsol D60 (стр.80)?
3. Плавиковая кислота, в качестве промывного раствора, приводит к образованию дополнительных жидких фторсодержащих стоков. Как предполагается утилизировать эти растворы (стр. 92, 120)?
4. В соответствии со схемой, изображенной на рис. 5.15 после фильтрации оксалатов скандия, образуется фильтрат азотнокислого раствора. Как данный раствор перерабатывается (стр. 115)?
5. Каковы значения сквозных степеней извлечения скандия для схем, изображенных на рисунках 5.15 и 5.16 (стр. 115, 120)?

Вопросы и замечания носят дискуссионный характер и не снижают научной ценности диссертационной работы, её актуальности и практической значимости.

Заключение

Несмотря на ряд замечаний, считаю, что рецензируемая работа **Смышляева Дениса Валерьевича** «Разработка технологии извлечения скандия из серноокислых растворов» является законченным научным трудом и соответствует специальности 2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов по направлению технические науки и требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, **Смышляев Денис Валерьевич**, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Главный специалист Исследовательского центра АО «Уралэлектромедь», доктор технических наук, профессор



Мальцев
Геннадий
Иванович

«14» марта 2025 г.

624091, Россия, Свердловская область,
г. Верхняя Пышма, Успенский проспект,
дом 1, АО «Уралэлектромедь»
Телефон: +7 (34368) 4-68-74,
E-mail: mgj@uralcopper.com

Подпись Мальцева Г.И. заверяю:
Начальник отдела кадров
АО «Уралэлектромедь»



/ Н.Л. Кулемина /
м.п.