

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Сабирзянова Наиля Аделевича на диссертационную работу Смышляева Дениса Валерьевича «Разработка технологии извлечения скандия из сернокислых растворов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Общая характеристика работы

Диссертационная работа выполнена на кафедре редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Диссертация изложена на 143 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения, одного приложения и списка литературы, включающего 150 наименований, содержит 56 рисунков и 39 таблиц. Имеются ссылки как на работы отечественных, так и зарубежных ученых.

Во **введении** приведены основные области применения скандия и его соединений, перспективы его использования в различных материалах, раскрыта актуальность и степень разработанности темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, сформулирована научная новизна и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

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.

Во **второй главе** 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

В **четвертой главе** представлены результаты исследований по экстракционному извлечению и концентрированию скандия из растворов гидролизной кислоты.

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.

По структуре и объему работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация написана научным языком и стилем, характеризуется внутренним единством, содержит весь необходимый материал для понимания сущности исследования.

Полученные результаты отвечают поставленным целям и задачам. В представленном соискателем автореферате достаточно полно раскрыто содержание диссертационной работы, при одновременном сохранении ее структурного построения, опубликованные работы также в достаточной мере отражают ее содержание.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов, в частности, направлениям исследований по пп. 1. Химические способы обогащения рудных концентратов редких и радиоактивных элементов, 2. Физико-химические основы процессов обогащения, 3. Способы утилизации техногенного и вторичного сырья, 8. Конверсия достижений технологии редких металлов и ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности.

Актуальность темы диссертации

Скандий, его сплавы и соединения представляют большой интерес для наиболее инновационных отраслей промышленности, включающих как черную и цветную металлургию, так и электронику, оптику, керамическое производство. Легирование скандием сплавов значительно повышает их эксплуатационные свойства, в частности прочность, коррозионную и радиационную устойчивость, свариваемость. Из оксидов скандия и кальция, а также скандия и циркония получают высокотемпературную керамику. Скандий применяется для получения лазерных кристаллов, высококачественного оптического стекла, низкотемпературных сверхпроводников. В связи с этим актуальна тема развития сырьевой базы скандия, его перспективных источников добычи, экономически выгодных технологий извлечения, поскольку в природе в виде компактных месторождений он не встречается. Получение соединений скандия, как правило, связано с такими химическими процессами как экстракция, ионный обмен и дробное осаждение. Большое количество технологических операций и низкие концентрации в исходном сырье усложняют процесс получения соединений скандия, что существенно повышает их стоимость. Поэтому целесообразно извлекать скандий как побочный продукт при комплексной переработке минерального и техногенного сырья.

К числу наиболее перспективных техногенных источников скандия можно отнести растворы гидролизной серной кислоты (ГК) и возвратные растворы скважинного подземного выщелачивания (ВР СПВ) урана, в которых скандий уже находится в растворенном состоянии и исключена

необходимость дополнительной операции по его выщелачиванию из рудных пород. Кроме того, переработка такого сырья позволяет дополнительно решать важную народно-хозяйственную проблему утилизации высокотоксичных отходов.

Таким образом, диссертационная работа Смышляева Д.В., имеющая целью разработку эффективной технологии извлечения скандия из техногенных сернокислых растворов, основанной на использовании процессов экстракции и сорбции, представляется весьма актуальной.

Научная новизна:

В ходе выполнения диссертационной работы были получены результаты, обладающие научной новизной. В частности:

1. Установлены основные закономерности экстракционного поведения скандия и ряда сопутствующих ему элементов при извлечении из сернокислых растворов органическими фосфорсодержащими кислотами. Показано, что экстракции скандия из растворов гидролизной кислоты реализуется за счет обмена катионов и образования донорно-акцепторной связи. Предложена и обоснована структура образующихся органических комплексных соединений скандия ScSO_4HR_2 .

2. Впервые установлены закономерности совместной сорбции скандия, титана и циркония на слабоосновном анионообменном ионите Purolite RUA21207. Обоснована возможность селективного разделения скандия и циркония с использованием этого ионита.

3. Объяснен механизм селективной отмывки насыщенного экстрагента Ди2ЭГФК от примесных ионов титана и циркония низкоконцентрированными растворами фтористоводородной кислоты.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Основным теоретическим содержанием данной работы является выявление закономерностей, определяющих протекание процессов экстракционного и сорбционного извлечения скандия из сернокислых растворов, а также селективного разделения компонентов и очистки от примесей. Результаты исследований, представленные в работе, дополняют теоретические представления о физико-химических процессах, протекающих при извлечении редких металлов из многокомпонентных водносолевых систем сложного минерального состава.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные в эксперименте результаты послужили основой создания ряда новых технологических схем, а именно технологии селективного экстракционного извлечения скандия из растворов гидролизной кислоты с получением черного концентрата скандия в виде его гидрокарбоната и фторида; сорбционной технологии комплексной переработки черного гидрокарбоната скандия; фторидной технологии извлечения скандия из ГК с получением оксида скандия чистотой не менее 99%. Особо следует

отметить внедрение технологии переработки черного фторидного скандиевого концентрата, полученного из растворов подземного скважинного выщелачивания урана, с получением высокочистого оксида скандия, отвечающего по элементному составу требованиям ТУ 95.148-77.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы сомнений не вызывает, так как они базируются на фундаментальных представлениях химии растворов, экстракции и ионного обмена, и не противоречат известным научным фактам в этой области знаний и литературным данным. Достоверность экспериментальных данных представляется убедительной, поскольку обусловлена комплексным характером исследований с использованием независимых экспериментальных методов, стандартных методик исследования, включающих масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой, рентгенофлуоресцентную спектрометрию, сканирующую электронную микроскопию, рентгеноспектральный микроанализ, ИК спектроскопию. Использование современного оборудования и специализированного программного обеспечения позволило получить надежные результаты экспериментов, что подтверждается их сходимостью. Методологически работа проведена в определенной последовательности: изучение селективного экстракционного извлечения и концентрирования скандия из сернокислых растворов; исследование экстракционного извлечения скандия из растворов ГК; исследования по переработки черного скандиевого концентрата; разработка, апробация и внедрение технологии. В целом теоретические и практические результаты диссертации не вызывают возражений, безусловно обладают научной новизной и являются существенными, ранее не известными из литературных источников, научными фактами. Новизна предлагаемых автором технических решений подтверждается полученными патентами.

Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научных изданиях

По материалам диссертации опубликовано 10 работ, из них 3 в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 2 статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования WoS и Scopus. Техническая новизна разработок автора подтверждена тремя патентами РФ. Результаты работы докладывались на российских и международных конференциях, что подтверждается 4 тезисами докладов. По совокупности представленные публикации полностью отражают основное содержание диссертационной работы Смышляева Д.В.

Замечания и вопросы по содержанию диссертации

1. В тексте диссертации на странице 59 указано, что ГК имеет рН в интервале от -0,4 до 0. Это не опечатка?
2. Чем определяется, по какому механизму пойдет экстракция скандия фосфорсодержащими кислотами – катионообменному или хелатообразующему (п.3.2)?
3. В п.3.3 диссертации автором выявлено влияние концентрации H_2SO_4 на степень экстракции Fe, Sc, Zr, Ti. Учитывалось ли при этом изменение концентрации растворенного металла в зависимости от кислотности?
4. В таблице 5.3 (страница 101) представлены значения n (интенсивности сорбции). При использовании уравнения модели Фрейндлиха должно выполняться условие $n > 1$, а для Ti значение n оказалось равным 0,87. Автору следовало бы указать в тексте диссертации на это отклонение от условий применимости модели Фрейндлиха и сделать соответствующие выводы.
5. Для исследований экстракционного извлечения скандия из сернокислых растворов автор использует фосфорорганические кислоты с концентрацией 0,2 моль/дм³. На основании чего была выбрана именно такая концентрация исследуемых экстрагентов?
6. В 4 главе (п.4.1) автором установлено, что HF – эффективный реэкстрагент скандия. Однако при промывке насыщенного экстрагента растворами HF потери скандия оказались невелики. Почему?
7. Исследования сорбционного извлечения скандия, циркония и титана из сернокислых растворов были выполнены с использованием слабоосновных анионитов марки Purolite. Чем обусловлен выбор ионообменного материала данного типа?
8. Каково мнение автора о применимости модели Дубинина-Радushкевича к описанию изученных им процессов сорбции?
9. Как оценивалось накопление тория в экстрагенте, промывных растворах и промпродуктах предлагаемых технологических схем?

Предложения по расширенному использованию

Результаты работы могут представлять интерес для специалистов, работающих в области ионного обмена и экстракции, гидрометаллургии скандия и его сплавов, в частности, в Российском химико-технологическом университете им. Д. И. Менделеева, Институте металлургии и материаловедения РАН им. А.А. Байкова, НИТУ «МИСиС», СПбГТИ(ТУ). В практическом применении результатов работы могут быть заинтересованы предприятия цветной металлургии, такие как БАЗ и УАЗ ОК РУСАЛ, занимающиеся получением скандия и его соединений из вторичного сырья.

Заключение

С учетом актуальности выбранного направления, научной обоснованности, оригинальности и новизны технических разработок, а также их значения для создания технологии получения скандия и его соединений, можно сделать вывод, что диссертационная работа Смышляева Д.В. является законченной научно-квалификационной работой 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 учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент:

доктор технических наук,
заведующий лабораторией химии
гетерогенных процессов ФГБУН
«Институт химии твердого тела»
Уральского отделения Российской
академии наук

«26» марта 2025 г. _____ Сабирзянов Наиль Аделевич
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт химии твердого тела» Уральского отделения Российской
академии наук

620990, г.Екатеринбург, ул. Первомайская, 91;
e-mail: sabirzyanov@ihim.uran.ru

Телефон: тел. 8(343) 227-4444

Подпись Сабирзянова Н.А. заверяю.
Уч. секретарь ИХТТ УрО РАН, к.х.н.

_____ Липина О.А.

Я, Сабирзянов Наиль Аделевич, согласен на автоматизированную
обработку персональных данных, приведенных в этом документе,