

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Григорьев проректор Горного  
университета, профессор

Н.В. Пашкевич

2019 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» на диссертацию Бунькова Григория Михайловича «Разработка технологии извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания урана», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – «Технология редких рассеянных и радиоактивных элементов»

### **1. Актуальность темы диссертации**

Тенденция развития химико-металлургической отрасли реального сектора экономики России направлена на импортозамещение стратегически важных материалов, к которым относятся редкоземельные металлы и их соединения. Интерес к скандию связан с тем, что его использование позволяет создать ряд конструкционных материалов с уникальным сочетанием свойств. Небольшой вес, высокая прочность и термостойкость металлического скандия, делают его ценным конструкционным материалом, который, несмотря на высокую стоимость, используется в ответственных узлах аэрокосмической техники.

По прогнозам ведущих мировых исследовательских центров в ближайшем будущем потребность в скандии будет только расти. Однако потребности развития современной техники приходят в противоречие с малыми масштабами производства скандия и его высокой стоимостью. Эта проблема связана как с тем, что скандий, являясь типичным рассеянным элементом, не образует собственных месторождений так и с отсутствием эффективных промышленных технологий его производства. Диссертационная работа Бунькова Г.М., включающая разработку технических решений по переработке растворов подземного выщелачивания урана, направлена на расширение отечественной сырьевой базы редкоземельных металлов, к которым относят скандий. Тема, выбранная диссертантом, соответствует актуальному направлению

исследований в области импортозамещения и развития отечественной промышленности редких и редкоземельных металлов.

## **2. Структура и содержание работы**

Диссертация изложена на 162 страницах, содержит 81 рисунок и 47 таблиц. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Список литературы включает 170 наименований зарубежных и российских публикаций по объекту исследования.

Раздел «Введение» содержит краткое обоснование работы, характеристику научной новизны и практической значимости выполненного исследования, информацию о методах исследования, положениях, выносимых на защиту, об апробации результатов работы и личном вкладе автора.

В первой главе выполнен анализ основных областей применения скандия и его соединений, его перспективы использования в различных материалах. Приведён обзор известных технических решений и разработок получения скандия и его соединений при переработке сырья различного происхождения, что позволило обосновать перспективность глубокой переработки растворов подземного выщелачивания урана с целью извлечения скандия. В целом по разделу дано 114 библиографических ссылок. В результате проведённого анализа определён объект и предмет исследования, сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлен состав растворов подземного выщелачивания урана, дана характеристика методики отбора проб и их подготовки к последующим исследованиям, изложены методы и методики теоретических и экспериментальных исследований.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Дано подробное описание сырьевой базы (Далматовского месторождения) с оценкой запасов скандия и состава возвратных растворов подземного выщелачивания урана. Приведены результаты экспериментального исследования закономерностей сорбции скандия и других компонентов раствора подземного выщелачивания урана, при использовании синтетических ионообменных смол с катионообменной функцией, амфолитов и, так называемых, твердых экстрагентов или ТВЭКС, что позволило установить состав и разработать методику получения новых твердых экстрагентов. Экспериментально исследованы механизм и показатели извлечения скандия и сопутствующих элементов с

применением синтезированных совместно с АО «Аксион-Редкие и Драгоценные Металлы» ТВЭКС. Разработаны технические решения для получения нерадиоактивного концентрата скандия. Содержащего не менее 98 % фторида скандия.

В четвёртой главе приведены материалы разработки аппаратурно-технологической схемы получения скандия из растворов подземного выщелачивания урана и результаты апробации технологии на исследовательской и опытно-промышленной установке. Представлены результаты испытаний технологии на базе цеха добычи урана АО «Далур».

Заключение содержит основные научные и практические результаты работы, а также результаты их реализации.

В Приложении представлен акт испытаний извлечения скандия из раствора ПВ урана по разработанной технологии на предприятии АО «Далур».

### **3. Научная новизна диссертации**

К результатам выполненного исследования, которые обладают признаками научной новизны, относятся следующие положения:

- научно обоснован принципиальный состав новых твердых экстрагентов на основе полимерного носителя с использованием смесей фосфорсодержащих экстрагентов;

- установлены основные закономерности и механизм сорбции скандия и примесных элементов на твердых экстрагентах нового типа, содержащих смесь фосфорорганических соединений;

- разработаны новые технические решения для извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания урана и отделения скандия от примесных элементов с получением нерадиоактивных соединений скандия.

### **4. Научные результаты**

К наиболее важным научным результатам, полученным соискателем, можно отнести следующее:

- проведен анализ и обобщение сведений о закономерностях экстракционного извлечения скандия из растворов сложного солевого состава;

- выявлены основные формы существования целевых и примесных компонентов растворов подземного выщелачивания урана, что позволило

автору разработать способ извлечения отделения скандия от примесей, в первую очередь от радиоактивного тория;

- определены условия щелочной переработки фторсодержащих малорастворимых соединений скандия, тория и железа, что позволило обосновать оптимальные условия получения фторида скандия с массовой долей основного вещества 98 %;

- в ходе опытно-промышленных испытаний подтверждены результаты лабораторной переработки растворов подземного выщелачивания урана с получением нерадиоактивных соединений скандия.

### **5. Практическая значимость работы**

- полученные автором результаты экспериментальных и теоретических исследований составляют опережающий научный задел для модернизации существующих технологий получения редкоземельных металлов;

- полученные результаты представляют практический интерес для разработки технологических регламентов, проектов и проведения предварительной технико-экономической оценки их эффективности;

- разработанная технология внедрена в опытно-промышленном масштабе в АО «Далур», что подтверждает возможность её масштабирования с сохранением заявленных технологических показателей.

### **6. Достоверность и апробация результатов**

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлены применением современных методов исследования, анализа состава вещества и контроля протекания физико-химических процессов, использованием специальных программных продуктов.

Теоретические выводы научно обоснованы, не противоречат известным данным о закономерностях протекания процессов экстракции и подтверждены большим объемом экспериментальных исследований.

Большинство предложенных автором расчётных и экспериментальных методик, а также выполненных технологических исследований не вызывают сомнения с точки зрения их подлинности.

Материалы диссертации неоднократно докладывались на научно-практических конференциях, были опубликованы в сборниках научных

трудов, а справедливость технических решений подтверждена экспертизой ФИПС и полученными патентами на изобретения.

Материалы диссертации содержат сведения, которые можно квалифицировать как новое научно обоснованное техническое решение, имеющее существенное значение для развития редкоземельной промышленности РФ.

## **7. Общая оценка диссертации, вопросы и замечания**

Диссертация сбалансирована по представлению результатов теоретических, расчетных и практических исследований, материалов технологической проработки предлагаемых решений. Диссертация написана технически грамотным языком. Иллюстративный материал дает наглядное представление об использованных методах, оборудовании и установленных закономерностях. Содержание работы, её основные результаты и научные положения, вынесенные на защиту, в достаточной степени отражены в публикациях соискателя и прошли апробацию на различных научных форумах. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и даёт достаточно полное представление о структуре, научной новизне и практической значимости работы.

По содержанию диссертации и автореферата имеются следующие замечания:

1. При анализе способов переработки красного шлама недостаточно затронута тема других известных и прошедших апробацию способов извлечения скандия из красных шламов, например, разработанных в ИТЦ РУСАЛ.

2. В материалах разделов 2.3 и 2.4 отсутствуют конкретные результаты термодинамических параметров веществ и процессов, остается неясным, что было выбрано в качестве критериев применимости уравнений для описания экспериментальных данных по кинетике сорбции.

3. Чем, по мнению автора, объясняется тенденция изменения состава растворов по результатам таблицы 8?

4. Результат расчетов, показанный в разделе 3.2, не дает представление о формах существования других элементов (кроме скандия и тория), находящихся, к тому же, в значительном количестве: алюминия, железа, иттрия, других РЗМ.

5. Чем объясняется характер представленных экспериментальных данных на рисунках 19, 20, 22 и аналогичных. Каков доверительный

интервал единичного измерения? Какие критерии выбраны для определения преимущества того или иного сорбента или ТВЭКС? Как было оценено влияние примесных элементов на извлечение скандия (рис. 19, 20, 22 и аналогичные), и не приведёт ли это к ухудшению извлечения скандия?

6. Чем объясняется выбор состава раствора для десорбции страница 70, рис. 12, таблицы 12 и 13, страница 76 и таблица 15? С какой целью была проведена апробация соединений лития в качестве осадителя?

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают ценности диссертационной работы.

### **Заключение**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований Бунькова Г.М. содержатся в 3 печатных работах, опубликованных в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ и входящих в международные наукометрические базы. По результатам работы получено 2 патента на изобретения. В других изданиях и в материалах конференций опубликовано 6 печатных работ, что обеспечило апробацию результатов на научно-технических мероприятиях. Диссертация Бунькова Г.М. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на современном научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью.

С учётом актуальности выбранного направления, научной обоснованности, оригинальности и новизны технических разработок, а также их значения для повышения эффективности переработки РЗМ сырья, имеющего стратегическое значение для экономики страны, можно сделать вывод о том, что диссертационная работа **Бунькова Григория Михайловича** содержит необходимые квалификационные признаки, соответствующие Пункту 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК РФ, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких рассеянных и радиоактивных элементов.

Отзыв подготовлен профессором кафедры физической химии д.т.н. Литвиновой Татьяной Евгеньевной, обсужден и одобрен на заседании кафедры металлургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». Присутствовало на заседании

10 чел., результаты голосования: «за» – 10, «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол заседания № 19 от «17» апреля 2019 г.

Председатель заседания –

заведующий кафедрой металлургии,

доктор технических наук

С

Бричкин Вячеслав Николаевич

Секретарь заседания –

инженер кафедры металлургии

Б

Брылевская Елена Анатольевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Почтовый адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия дом 2.

Тел. (812) 328-84- 59, e-mail: kafmet@spmi.ru.