

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

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

### **Актуальность темы диссертации**

Развитие наукоемких инновационных технологий последнего поколения тесно связано с использованием материалов, содержащих стратегически важные редкоземельные элементы (РЗЭ), в том числе скандий – рассеянный элемент с ограниченным количеством месторождений собственных минералов, востребованный при получении алюмоскандиевых лигатур и микролегированных сплавов для авиакосмической и судостроительной отраслей, твердооксидных топливных элементов, мощных металлогалогенных ламп, лазерных сред, сверхтвердых материалов, специальной керамики. Применение скандия в мире ограничено малым производством ввиду высокой стоимости его попутного извлечения при комплексной переработке сложных по составу объектов полиметалльного сырья.

В связи с этим актуальным представляется разработка селективных методов извлечения, концентрирования и очистки скандия для выделения его из выбранного диссертантом объекта исследования – разбавленных радиоактивных сернокислых растворов, образующихся после сорбции урана из продуктивных растворов скважинного подземного выщелачивания руд Далматовского месторождения (Курганская область).

При переработке скандийсодержащих сырьевых источников и их отходов образуются, как правило, разбавленные растворы, извлечение скандия из которых может осуществляться сорбционным методом. Традиционные сорбенты, хотя и отличаются селективностью, как правило, обладают невысокими емкостными и кинетическими характеристиками. Кроме того, такие известные селективные по отношению к скандию недешевые фосфорсодержащие сорбенты как АФИ-21, АФИ-22 в настоящее время не производятся, в связи с чем получение новых

материалов, совмещающих свойства экстрагентов и сорбентов, и изучение их свойств применительно к извлечению скандия из растворов выщелачивания целевых элементов из руд Далматовского месторождения одновременно.

Несомненная **научная новизна** работы диссертанта состоит в том, что на основании зависимости селективности ионитов к ионам скандия от структурных особенностей полимерной матрицы синтезирован ряд новых твердых экстрагентов (ТВЭКСов) на основе полимерного носителя с использованием смесей фосфорсодержащих экстрагентов различного типа для извлечения скандия из сернокислых растворов. Диссертантом выявлены основные закономерности сорбции скандия и примесных элементов из растворов серной и фтористоводородной кислот ТВЭКСом, содержащим Д2ЭГФК с добавками ТБФ и ТОФО. Для селективного разделения железа и скандия им впервые использована конверсия фторидов скандия, железа и натрия в гидроксиде натрия.

**Практическая значимость работы.** По результатам выявленных автором закономерностей сорбции скандия и других элементов из сернокислых растворов ТВЭКСами на основе фосфорсодержащих экстрагентов различного типа и состава, определения оптимальных режимов процесса разработана и внедрена в АО «Далур» технологическая схема сорбционного извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания урана.

#### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация Бунькова Г.М. изложена на 162 страницах и состоит из 4 глав, одного приложения и списка литературы, включающего 170 наименований, содержит 81 рисунок и 47 таблиц.

Первая глава посвящена анализу состояния методов извлечения скандия из различных сырьевых источников. В результате анализа большого объема ретроспективных и современных литературных источников, в том числе и зарубежных, автором сформулирована цель работы.

Во второй главе дано описание используемых методов экспериментальных исследований, описаны лабораторные установки сорбции, приведены свойства ионитов и твердых экстрагентов.

В третьей главе дана детальная характеристика объекта исследования с оценкой запасов скандия на Далматовском месторождении, которые составляют

~230 тонн скандия, при средневзвешенном содержании 6,4 г/т. Представлен состав растворов подземного выщелачивания урана после его сорбции. Показана возможность извлечения скандия традиционными ионитами, а также ТВЭКСами, наработанными в опытных партиях и промышленном масштабе. Изучены закономерности десорбции скандия фтористоводородной кислотой и осаждения фторида скандия из элюата.

В четвертой главе представлена технологическая схема извлечения скандия из растворов, образующихся после сорбции урана, приведены результаты отработки технологии на исследовательской установке производительностью до 1 м<sup>3</sup>/ч и опытно-промышленной установке производительностью до 200 м<sup>3</sup>/ч.

#### **Степень завершенности и качество оформления диссертации**

Диссертация Бунькова Г.М. представляет собой завершенную и доведенную до практического внедрения научно-исследовательскую работу, направленную на решение актуальной задачи – разработку рентабельной технологии извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания урана. Диссертация по своему содержанию последовательно раскрывает сущность решаемой проблемы. Текст диссертации написан грамотно, работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ.

#### **Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научных изданиях**

По материалам диссертации опубликовано 11 работ, из них 3 в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и образования Российской Федерации. Новизна разработок автора подтверждена двумя патентами РФ. Эти публикации полностью отражают основное содержание диссертационной работы Бунькова Г.М.

#### **Соответствие автореферата основным положениям и выводам диссертации**

В представленном соискателем автореферате достаточно полно раскрыто содержание диссертационной работы, при одновременном сохранении ее структурного построения.

### **Замечания и вопросы по содержанию диссертации**

1. Изотерма сорбции скандия получена из раствора с содержанием  $1 \text{ г/дм}^3$  (рис. 39). В области концентрации скандия в реальных растворах ПВ равновесные данные весьма ограничены. Следовало бы более детально изучить этот диапазон концентраций скандия.

2. Диссертантом обсуждаются кинетические данные, полученные при сорбции из модельного раствора с концентрацией скандия  $1 \text{ г/дм}^3$ , однако в реальных растворах скандий присутствует в микроколичествах. Вряд ли данные по установлению лимитирующей стадии сорбции скандия ТВЭКСами – внутренней диффузии могут быть перенесены на реальные системы без дополнительных исследований.

3. Следовало бы указать время прерывания при проведении экспериментов по методу прерывания (с. 94).

4. Диссертантом достаточно полно изучены сорбционные характеристики ионов различного типа по отношению к скандию. Однако полученные результаты по сорбции не представлены в автореферате.

5. В разделе 3.2 по расчету ионно-молекулярного состава технологических растворов ПВ данные представлены при значении рН, равным или более 2. В то же время значение рН технологических растворов ПВ составляет 1,5-1,7 (с. 61).

6. При применении ТВЭКСов наблюдаются потери экстрагентов за счет их растворимости в водных растворах. В диссертационной работе отсутствуют сведения по эксплуатационной устойчивости используемых ТВЭКСов при извлечении скандия из растворов подземного выщелачивания.

7. Автором приведены нормы расхода реагентов и материалов на кг получаемого концентрата фторида скандия, однако оценка его стоимости отсутствует.

8. По методике изучения сорбции в динамических условиях (с. 51): не совсем понятно, с какой целью замачивали ТВЭКС в дистиллированной воде перед помещением в колонку, учитывая тот факт, что ТВЭКСы не набухают.

9. Не указана точность определения емкости и коэффициента распределения. Вряд ли возможны, например, такие значения величин, с. 66: «22,62 мг Sc/г ионита (значение коэффициента распределения  $493,14 \text{ см}^3/\text{г}$ )».

10. В работе имеются неудачные выражения, опiski. С. 15, второе предложение снизу; с. 46, 3 абзац снизу; с. 48, последний абзац; с. 63, «можно включит»; с. 76 «..в отличии от..»; с. 76, 2 абзац сверху; рис. 32–35, ось абсцисс: «колоннки»; с. 114, подпись к рис. 59-63: «..элюата десорбции..»; с. 123, 129, 135: «...в течении ... минут...»; с. 124: «афолитах»; с.132: «полученных».

Отдельные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации. Это серьезное исследование, завершившееся созданием эффективной технологической схемы извлечения скандия при комплексной переработке растворов подземного выщелачивания урана на АО «Далур».

### **Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК РФ**

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности 05.17.02 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части формулы специальности «Создание и совершенствование технологических схем, ресурсо-, энергосбережение, охрана окружающей природной среды в технологии редких и радиоактивных элементов» и в части области исследований «Очистка и концентрирование рудных щелоков, газообразных и твердых продуктов разложения рудных концентратов и других видов сырья».

Представленная диссертация Бунькова Григория Михайловича на тему «Разработка технологии извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания урана» соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для технологии редких и рассеянных элементов, – разработана технология извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания урана, обеспечивающая экономически выгодное получение фторида скандия.

Считаю, что диссертант Буньков Григорий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры технологии редких  
элементов и наноматериалов на их основе,  
доктор технических наук, профессор

Трошкина Ирина Дмитриевна  
Дата: 23.04.2019

05.17.02 – технология редких,  
рассеянных и радиоактивных элементов  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Российский химико-технологический  
университет имени Д.И. Менделеева»,  
125047 Россия, г. Москва, Миусская пл., д. 9  
Тел. 8(495)496-76-09, E-mail: [tid@rctu.ru](mailto:tid@rctu.ru)

Подпись проф. Трошкиной Ирины Дмитриевны заверяю

Ученый секретарь РХТУ им. Д.И. Менделеева, доцент

Калинина Н.К.

