

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Вей Мое Аунга «Сорбция рения и скандия из серноокислых растворов активированными углями и углеродными нанокompозитами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Востребованность редких элементов в различных отраслях промышленности нарастает с увеличением производства наукоемкой продукции. Редкий и рассеянный элемент – рений, используемый в авиакосмической технике, нефтепереработке и электронной промышленности, незаменим для изготовления жаропрочных суперсплавов, катализаторов рениформинга, нитей накаливания и самоочищающихся контактов. Скандий, как и рений, редкий и рассеянный элемент, отличается малым удельным весом и применяется в лигатурах при создании алюминиевых сплавов. Перспективными направлениями использования скандия являются создание твердых электролитов для топливных элементов, новых материалов электронной техники, лазерных материалов, катализаторов в органическом синтезе. Эти элементы получают попутно при переработке различных типов минерального сырья. Расширение их сырьевой базы возможно с вовлечением в переработку ряда технологических отходов – оборотных и сбросных растворов уранового производства, в том числе растворов подземного выщелачивания. Используемые для извлечения рения в этой области аниониты отличаются значительной стоимостью, применение же ТВЭКСов сложного функционального состава для выделения скандия осложнено потерями экстрагентов, обусловленных спецификой материала. В связи с этим **актуальность** и целесообразность темы диссертационной работы Вей Мое Аунга, направленной на разработку сорбционных методов извлечения и разделения стратегически важных металлов новыми активированными углями, отличающимися низкой стоимостью в сравнении с используемыми ионитами, и углеродными нанокompозитами применительно к этому объекту, не вызывает сомнений.

Наличие на рынке активированных углей нового поколения, ранее не использовавшихся для извлечения редких элементов применительно к изучаемому объекту, а также наработка новых углеродных нанокompозитов позволили диссертанту сформулировать **цель работы**, связанную с получением сорбционных характеристик этих материалов при сорбции из растворов для выбранного объекта.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:  
– определены равновесные и кинетические характеристики сорбции рения и скандия активированными углями нового поколения (ДАС, ПФТ и ВСК) и

углеродными нанокompозитами (NWC-Z и ПАНИ-УНТ) из разбавленных сернокислых растворов.

– установлена лимитирующая стадия сорбции рения и скандия этими материалами – диффузия.

– на основании рассчитанного значения энергии сорбции показано определяющее влияние физической адсорбции на поглощение ионов скандия нанокompозитом, содержащим полианилин.

#### **Практическая значимость работы:**

– Определены режимы сорбции и десорбции при извлечении рения и скандия из сернокисло-хлоридных растворов активированными углями и углеродными нанокompозитами.

– Осуществлен выбор сорбентов и показана возможность попутного извлечения рения и скандия активированным углем ДАС и наномодифицированным углем NWC-Z из продуктивных растворов подземного выщелачивания полиметалльных руд Далматовского месторождения с такими показателями: степень сорбции рения и скандия углем ДАС за один контакт при выбранном соотношении фаз сорбент : раствор, равным 1 : 4 составила 96,0 и 21,1 %, нанокompозитом NWC-Z – 96,2 и 56,0 %, соответственно.

– Предложены блок-схемы сорбционного извлечения и разделения рения и скандия этими сорбентами.

**Диссертационная работа** состоит из введения, 5 глав, выводов и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 34 таблицы, 77 рисунков. Список литературы включает 191 работу отечественных и зарубежных авторов.

**Во введении** изложена актуальность темы исследований, сформулированы цель и основные положения, выносимые на защиту, отмечены научная новизна и практическая ценность, указан личный вклад автора.

**Первая глава** работы содержит аналитический обзор научно-технической литературы, посвященной методам извлечения рения и скандия углеродными сорбентами. В конце главы сформулированы основные задачи исследования.

**В методической части (глава 2)** диссертантом приведены характеристики используемых материалов и реактивов, описаны основные методы проведения анализов и исследований, а также характеристики использованных приборов и оборудования.

**В третьей главе** приводятся результаты изучения сорбции рения и скандия активированными углями различного происхождения, выпускаемыми в опытном и промышленном масштабах. Выбор состава растворов, из которых проводится сорбция, определен наличием макропримесей (в основном, хлорид- и сульфат-ионов) в растворах подземного выщелачивания урановых руд, а также оптимальной для извлечения урана кислотностью.

Получены изотермы сорбции рения, имеющие линейный характер для всех изученных углей, кроме угля ДАС, выпуклая изотерма сорбции на котором описывается уравнением Ленгмюра. Данные по кинетике сорбции обработаны с использованием кинетических моделей, позволивших наряду с расчетом констант скорости определить, что лимитирующей стадией сорбции рения и скандия следует считать диффузию.

Исследование элюирования рения и скандия с углей показало, что оба эти элемента можно десорбировать содовыми растворами, но для достижения полноты процесса десорбцию рения целесообразно проводить при высокой температуре (более 70 °С).

Определенные в работе сорбционно-десорбционные характеристики, как равновесные, так и кинетические, позволили диссертанту осуществить отбор угля ДАС, имеющего наибольшую насыпную плотность. Эта характеристика угля предпочтительна для уменьшения объема необходимого сорбционного оборудования.

В главе 4 описана сорбция рения и скандия новыми углеродными нанокompозитами и проведено сравнение этих материалов с активированными углями. Полученные с использованием современных физико-химических методов данные по морфологии модифицированного углеродными нанотрубками активированного угля NWZ-Z свидетельствуют о разупорядочивании углеродной структуры и увеличению ее дефектности. Константы равновесия сорбции рения и скандия на этом угле сравнимы с таковыми на немодифицированных углях, но время установления равновесия сорбции – около 120 мин почти вдвое больше.

Среди изученных диссертантом нанокompозитов на основе углеродных нанотрубок и оксида графена более высокие емкостные характеристики показал композит полианилин-углеродные нанотрубки (ПАНИ-УНТ). Методом сканирующей спектроскопии установлено, что композит приобрел более плотную структуру за счет полимерного покрытия поверхности углеродными нанотрубками. Для этого материала диссертантом рассчитана константа Дубинина–Радускевича ( $1,68 \cdot 10^{-2}$  моль<sup>2</sup>/кДж<sup>2</sup>) и энергия сорбции (5,46 кДж/моль), значение которой свидетельствует о большом влиянии физической адсорбции при извлечении ионов скандия. Обработка кинетических данных позволяет выделить внешнедиффузионную стадию как лимитирующую.

При изучении десорбции рения и скандия содовыми растворами установлено, что элюирование этих элементов с нанокompозита ПАНИ/УНТ незначительно в отличие от десорбции из наномодифицированного угля.

В главе 5 приведены результаты апробации активированного угля ДАС и выбранного на основании результатов, описанных в главе 4, нанокompозита NWC-Z для извлечения рения и скандия из продуктивных сернокислых растворов подземного выщелачивания урановых руд Далматовского месторождения (Курганская область). При концентрации рения и скандия в растворах подземного выщелачивания урановых руд Далматовского

месторождения  $4,95 \cdot 10^{-3}$  и 0,671 мг/л, соответственно, и выбранном соотношении фаз сорбент : раствор 1 : 4 (г : мл), степень сорбции рения углем ДАС за один контакт достигла 96,0 %, скандия – не превысила 21,1 %, наноккомпозитом NWC-Z – 96,2 и 56,0 %. На основании полученных в работе данных в главе схематично приводится последовательность технологических операций по извлечению рения и скандия из сернокислых растворов подземного выщелачивания урановых руд Далматовского месторождения, направленная на получение товарных продуктов – перрената аммония марки AP-1 и черного концентрата скандия (2 %).

После детального ознакомления с материалом диссертации на тему «Сорбция рения и скандия из сернокислых растворов активированными углями и углеродными наноккомпозитами», авторефератом и приведенными публикациями автора можно заключить, что полученные результаты соответствуют поставленной цели, а содержание автореферата и публикаций соответствуют основному содержанию диссертации и дают полное представление о личном вкладе автора в работу.

Выбранные диссертантом методы экспериментальных исследований и использованные физико-химические методы анализа, включающие масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой для анализа элементов в сложных по составу растворах, таких как продуктивные и оборотные растворы подземного выщелачивания урановых руд, электронную микроскопию, рамановскую спектроскопию, термогравиметрию и т.д. отвечают поставленным задачам и позволяют сделать заключение о достоверности полученных результатов и обоснованности выводов, к которым пришел диссертант на основании проделанной работы. Об этом же свидетельствует большой объем экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях.

При рассмотрении диссертационной работы возникли следующие **вопросы и замечания:**

1. Диссертантом изучены сорбционные характеристики рения и скандия из модельных растворов моноэлементного состава. Следовало бы изучить их также из растворов, где они присутствуют совместно, поскольку в реальных растворах эти элементы сопутствуют друг другу.
2. При изучении влияния примесей на сорбцию рения, присутствующего в растворах в виде аниона, необходимо было проверить и влияние урана, который находится в растворах выбранной кислотности также в виде отрицательно заряженных комплексных ионов.
3. При решении задачи комплексной переработки урановых руд неизбежно возникает вопрос очистки получаемой сопутствующей урану продукции от радиоактивности. Необходимо учитывать, что в технологических растворах присутствуют не только уран и торий, но и продукты их радиационного распада, концентрация которых изменяется в соответствии с их периодами полураспада. Важнейший вопрос дезактивации получаемых продуктов рения и скандия никак не затронут автором работы.

4. Также необходимо было бы проследить поведение редкоземельных элементов, присутствующих в значительных количествах в продуктивных и маточных растворах ПВ урана и их распределение при получении черного концентрата скандия.

5. Непонятно, как происходит дальнейшее выделение скандия из содовых элюатов (стр.120). Предложенные автором импрегнаты и ТВЭКСы, содержащие фосфорорганические кислоты и НФОС применяются только в слабокислых средах, но никак не в щелочных.

6. В работе отсутствует сравнение характеристик изучаемых для выделения рения и скандия сорбентов и их стоимости с используемыми в промышленном масштабе ионитами.

В целом указанные замечания и поставленные вопросы носят в основном дискуссионный и рекомендательный характер и не снижают общего благоприятного впечатления от диссертационной работы. Диссертация по своему содержанию последовательно раскрывает сущность решаемой проблемы и оформлена в соответствии с требованиями РХТУ им. Д.И. Менделеева. Текст диссертации написан лаконично, стилистически грамотно.

Основные результаты работы изложены в 16 печатных работах, в том числе 4 статьях в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Они также докладывались и неоднократно обсуждались на престижных российских и международных конференциях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

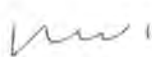
Оценивая диссертационную работу Вей Мое Аунга, можно констатировать, что она представляет практический интерес для научно-исследовательских и проектных организаций, а также предприятий, занимающихся вопросами выделения и очистки урана и редких, в том числе редкоземельных элементов.

По тематике, методам исследования, научным положениям диссертация Вей Мое Аунга соответствует паспорту специальности научных работников 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 области исследований «Очистка и концентрирование рудных щелоков, газообразных и твердых продуктов разложения рудных концентратов и других видов сырья».

Диссертация Вей Мое Аунга представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи сорбционного извлечения рения и скандия с использованием активированных углей и углеродных наноконкомпозитов, имеющей существенное значение для продвижения редкометалльной отрасли страны.

Таким образом, представленная диссертация по актуальности, новизне и практической значимости соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями) и Положения о порядке присуждения ученых степеней в Российском химико-технологическом университете имени Д.И. Менделеева, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Вей Мое Аунг** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Кандидат химических наук, советник  
заместителя генерального директора  
по науке АО «Научно- исследовательский  
проектный и конструкторский институт  
горного дела и металлургии  
цветных металлов»



Гиганов Владимир Георгиевич

15.09.2020

Акционерное общество «Научно- исследовательский  
проектный и конструкторский институт горного дела  
и металлургии цветных металлов» (АО «Гипроцветмет»)  
129551, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 13, стр. 1;  
Тел.: +7 (495) 600-32-00; E-mail: [office@giprocm.ru](mailto:office@giprocm.ru)

Подпись Гиганова В.Г. удостоверяю:

Заместитель генерального директора  
по науке АО «Гипроцветмет», д.т.н.



А.В. Тарасов

