ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.05.03 РХТУ им. Д.И. Менделеева по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Вей Мое Аунгу, представившему диссертационную работу на тему «Сорбция рения и скандия из сернокислых растворов активированными углями и углеродными нанокомпозитами» по научной специальности 05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Принята к защите 15 июня 2020 года, протокол № 1 диссертационным советом РХТУ.05.03 РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 14 человек приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 94 ОД от «23» декабря 2019 г.

Соискатель Вей Мое Аунг 27 июня 1991 года рождения, в 2016 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», диплом серия 107718 номер 0608866, регистрационный номер 09, выдан 06 июля 2016 г.

В 2020 году окончил аспирантуру Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева. Справка об обучении выдана Российским химико-технологическим университетом имени Д. И. Менделеева в 2020 году.

В настоящее время временно не работает.

Диссертация выполнена на кафедре технологии редких элементов и наноматериалов на их основе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе РХТУ им. Д.И. Менделеева Трошкина Ирина Дмитриевна.

Официальные оппоненты:

доктор химических наук, профессор Алехина Марина Борисовна, профессор кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева;

кандидат химических наук Гиганов Владимир Георгиевич, советник заместителя генерального директора по науке Акционерного общества «Научно-исследовательский, проектный и конструкторский институт горного дела и металлургии цветных металлов» (АО «Гипроцветмет»).

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук «ИФХЭ РАН».

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 16 научных работах (объем 69 с.), опубликованных соискателем, в том числе в 4 публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных. Результаты работы апробированы на 2 всероссийских и 8 международных научных конференциях. В публикациях по теме диссертационной работы представлены результаты исследования равновесных и кинетических характеристик процесса сорбции скандия из сернокисло-хлоридных растворов активированными углями и углеродными нанокомпозитами.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Burakova I.V., Burakov A.E., Tkachev A.G., Troshkina I.D., Veselova O.A., Babkin A.V., Wei Moe Aung, Imran Ali. Kinetics of the Adsorption of Scandium and Cerium Ions from

Sulfuric Acid Solutions on a Nanomodified Activated Carbon // Journal of Molecular Liquids. 2018. V. 253. P. 277–283. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.01.063 (Scopus).

- 2. Вей Мое Аунг, Марченко М.В., Трошкина И.Д. Сорбция скандия активированными углями из сернокисло-хлоридных растворов // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2019. № 5. С. 49-55. [Wai Moe Aung, M.V.Marchenko, I.D. Troshkina. Sorption of Scandium from Sulfuric—Chloride Solutions by Activated Carbons // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2019. Vol. 60. No. 6. P. 646–651. DOI: 10.3103/S1067821219060038] (Scopus).
- 3. Буракова И.В., Трошкина И.Д., Бураков А.Е., Жукова О.А., Вей Мое Аунг, Нескоромная Е.А., Ткачев А.Г. Наномодифицированный активированный уголь для удаления ионов скандия и церия из сернокислых растворов // Перспективные материалы. 2019. № 9. С. 44-53. DOI: 10.30791/1028-978X-2019-9-44-53 (Chemical Abstract).
- 4. Wei Moe Aung, Marchenko M.V., Troshkina I.D., Burakova I.V., Gutnik I.V., Burakov A.E., Tkachev A.G. Scandium Adsorption from Sulfuric-Chloride Solutions by Nanocomposite PANI/CNTs // Advanced Materials & Technologies. 2019. No. 4(16). P. 58-65. DOI: 10.17277/amt.2019.04.pp.058-065. (Chemical Abstract).

Работы, кроме одной, опубликованы в соавторстве. Личный вклад автора составляет 60-70 %, заключается в непосредственном участии в проведении экспериментов, анализе данных, обсуждении полученных результатов и написании текста работ.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- 1. Отзыв официального оппонента, доктора химических наук (05.17.01 Технология неорганических веществ), профессора, профессора кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Алехиной Марины Борисовны. Отзыв положительный. Имеются замечания:
- В методической части (глава 2) при описании методик экспериментов и анализов не приведены формулы для расчета равновесной величины адсорбции (статической емкости), динамической емкости и степени извлечения рения (скандия), а также не указана величина ошибки определения.
- 2) Результаты, полученные в диссертации, не сопоставлены с характеристиками материалов, применяемых в настоящее время на практике для решения подобных задач.
- 3) С. 49. В тексте комментируются результаты, приведенные в табл. 6 «Уголь ПФТ отличают высокая прочность, низкая зольность и развитый объем тонких (0,44-0,46 нм) микропор, ответственных, как правило, за емкостные характеристики». На С. 41 в табл. 3 методической части даны характеристики углей (по данным производителя, ссылка [161]), указаны размеры углей: для ВСК это 1,51 нм, для ПФТ 1,7 нм. Что подразумевается под размером? Эффективный радиус, полуширина?
- 4) Много опечаток. Например, С. 49. Текст: «Такую высокую емкость по рению для активированного угля ПФТ можно объяснить тем, что он обладает наибольшим суммарным объемом пор 1,28 см³/г (таблица 1) среди исследованных адсорбентов». На самом деле это табл. 3. На рис. 43 на ординате С в %? Нет расшифровки обозначений.
- 5) Замечание по рис. 16, С. 50. В комментарии к рисунку сказано, что «изотермы адсорбции рения активированными углями марок ПФТ и ВСК из сернокислых растворов (рН 2) имеют форму изотермы Генри (рис. 16, 17)». Если изотерму на рис. 17 можно назвать линейной, то на рис. 16 экспериментальные точки изотермы легли так, что она скорее выпуклая, чем линейная и обрабатывать ее надо было по Ленгмюру. На С. 51 опечатки в обозначениях параметров уравнения Ленгмюра: СЕ адсорбционная емкость, а СЕ_∞ равновесная адсорбционная емкость. Это не так. СЕ равновесная (статическая) емкость или равновесная величина адсорбции, СЕ∞ по Ленгмюру это предельная величина адсорбции, отвечающая плато на изотерме или емкость монослоя. Есть также претензии к оформлению рис. 31, 35. Нет там линейности. Рис. 20 изотермы адсорбции и рис. 21-23, 43, 52 кинетические кривые адсорбции. На изотермах на оси ординат СЕ и на кинетических кривых СЕ. Почему? На кинетических кривых функция текущая

величина адсорбции, обозначение должно быть другое. Эта путаница очень осложняет чтение работы.

- 6) Еще одна проблема: нет единых обозначений величин. Обозначения равновесной величины адсорбции в тексте и на рисунках СЕ, потом при обработке данных по разным моделям те же величины обозначаются Qe и Qt для равновесной и текущей величины адсорбции, соответственно. Например, С. 54 и далее по тексту. На С. 54 приводится уравнение модели внутренней диффузии Вебера-Морриса: Qt = kp τ^{1/2} + В. Константа В в уравнении пропорциональна толщине пограничного слоя (пленке) и по ее величине сделан ряд выводов. Потом в табл. 21 на С. 89 приводится это же уравнение, но с константой С. На С. 106, уравнение Дубинина-Радушкевича, нет четкого описания величин, входящих в уравнение. Но на рис. 76 координаты правильные.
- 7) С. 66. Данные табл. 10 и данные в тексте не совпадают.
- 8) С. 74. Объяснение высокой емкости угля ДАС по скандию: «Что касается активированного угля ДАС, то повышенное сродство органофильного скандия к нему, видимо, связано с наличием на поверхности и в объеме этого угля соединений, способных к физической адсорбции и ионному обмену с сорбируемым катионом скандия (Sc³ или [Sc(H2O)6]³) или скандийсодержащей соли (сульфата, хлорида). Нет доказательств для такого объяснения. Какие функциональные группы на поверхности активных углей? Экспериментов по определению химии поверхности углей и содержания кислотных центров на поверхности в работе не проводили. Поэтому это только предположение. С чем все-таки связаны повышенные равновесные и кинетические характеристики угля ДАС по скандию? Именно эта марка угля рекомендована для использования в реальных процессах. Он обладает самым маленьким значением объема пор из исследованных образцов, так что пористая структура здесь, видимо, не влияет.
- 9) Что означает пунктирная линия на рис. 49 (б)? Нет комментария к рисунку.
- 10)В автореферате в Выводах два пункта 2.

В заключении указано, что диссертация Вей Мое Аунга соответствует паспорту специальности 05.17.02 — Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов и представляет собой научно-квалификационную работу в которой изложены научно обоснованные технологические решения сорбционного извлечения рения и скандия, имеющей существенное значение для редкометалльной отрасли страны. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

- 2. Отзыв официального оппонента, кандидата химических наук (05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов), советника заместителя генерального директора по науке Акционерного общества «Научно-исследовательский, проектный и конструкторский институт горного дела и металлургии цветных металлов» Гиганова Владимира Георгиевича. Отзыв положительный. Имеются замечания:
- 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.

 Также необходимо было бы проследить поведение редкоземельных элементов, присутствующих в значительных количествах в продуктивных и маточных растворах ПВ урана и их распределение при получении чернового 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 заключении указано, что диссертация Вей Мое Аунга соответствует паспорту специальности 05.17.02 — Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов и представляет собой научно-квалификационную работу в которой изложены научно обоснованные технологические решения сорбционного извлечения рения и скандия, имеющей существенное значение для редкометалльной отрасли страны. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

- **3.** Отзыв **ведущей организации**, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук. Отзыв <u>положительный</u>. Имеются замечания:
- 1) В технологических растворах подземного выщелачивания урана присутствуют радиоактивные элементы, например, торий. Как его присутствие будет отражаться на емкостных характеристиках изучаемых углеродных сорбентов и качестве получаемых товарных продуктов?
- 2) Наряду с дорогостоящими редкими элементами рением и скандием в растворах подземного выщелачивания урана находятся редкоземельные элементы, в основном, цериевой группы, в отличие от изучаемых в значительно больших количествах. Сохранится ли селективность выбранных в работе сорбентов по отношению к скандию?
- 3) В работе показано, что элюирование рения и скандия с нанокомпозита ПАНИ-УНТ растворами карбоната натрия неэффективно, следовало бы исследовать для этой цели и растворы другого состава.
- Известно, что растворы подземного выщелачивания отличают низкие температуры.
 Однако кинетические исследования были ограничены комнатной температурой.
- 5) В работе не приведена стоимость выбранных сорбентов, а также отсутствует техникоэкономическая оценка предлагаемых вариантов извлечения рения и скандия выбранными материалами при комплексной переработке растворов подземного выщелачивания.

В заключении отмечено, что диссертация соответствует паспорту специальности 05.17.02 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов и представляет собой научно-квалификационную работу, которой изложены научно-обоснованные В технологические решения задачи сорбционного извлечения рений и скандия, имеющей существенное значение для продвижения ядерной и редкометалльной отраслей народного хозяйства Российской Федерации. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук. Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Секции Ученого Совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина Российской академии наук по химии и технологии радиоактивных элементов, радиоэкологии и радиационной химии, протокол № 278-3 от 8 сентября 2020 г.

4. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Северского технологического института - филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МИФИ» Софронова Владимира Леонидовича и кандидата химических наук, доцента той же кафедры

Муслимовой Александры Валерьевны. Отзыв положительный. Имеются замечания:

- 1) Для десорбции рения с угля ДАС рекомендованы температуры 90-95 °C, но это достаточно высокие температуры. Как это может повлиять на механические свойства адсорбентов?
- 2) В принципиальной блок-схеме выбранные образцы углей рекомендуется использовать как для извлечения рения и скандия из оборотных растворов ПВ, так и из продуктивных. Но представленные в автореферате экспериментальные данные получены на модельных растворах, не содержащих уран, в качестве примесей рассмотрены только железо и церий. Как повлияет присутствие в растворах урана на адсорбцию рения и скандия?
- 5. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, ведущего инженера Испытательного аналитического центра Центра коллективного пользования Акционерного общества «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» Мещерякова Николая Марсельевича. Отзыв положительный. Имеются замечания:
- Отсутствие данных по сорбции тория из скандийсодержащих растворов. Соизвлечение тория со скандием является «камнем преткновения» для многих разрабатываемых технологий концентрирования и очистки скандия из растворов добычных урановых производств.
- При апробации угля ДАС и нанокомпозита NWC-Z для извлечения рения и скандия выбраны очень бедные по рению растворы АО «Далур», что не позволило оценить сорбционные возможности этих сорбентов в полной мере.
- 6. Отзыв на автореферат кандидата химических наук, начальника лаборатории отдела радиационной безопасности Федерального бюджетного учреждения «Научнотехнический центр по ядерной и радиационной безопасности» Плевака Алексея Васильевича. Отзыв положительный. Имеется замечание: В качестве замечания можно отметить, что в тексте автореферата автором приводятся данные по извлечению скандия и рения из продуктивных сернокислых растворов подземного выщелачивания при комплексной переработке урановых руд Далматовского месторождения на активированном угле ДАС и углеродном нанокомпозите NWC-Z только за один цикл сорбции-десорбции. Вместе с тем, представляется целесообразным также изучить сорбцию-десорбцию рения и скандия данными сорбентами за несколько сорбционно-десорбционных циклов. В частности, принимая во внимание тот факт, что десорбция рения карбонатом натрия (10 %) с активированного угля ДАС протекает при повышенной температуре (90-95 °C).
- 7. Отзыв на автореферат доктора химических наук, профессора, заведующего кафедрой редких металлов и наноматериалов Физико-технологического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» Рычкова Владимира Николаевича и кандидата химических наук, доцента той же кафедры Кириллова Евгения Владимировича. Отзыв положительный. Имеются замечания:
- 1) Оценивал ли автор экономическую эффективность разработанных технологических решений?
- Первый пункт положений, выносимых на защиту, говорит об изучении сорбционных характеристик активированных углей последнего поколения. Какие недостатки в эксплуатационных характеристиках автор мог бы отметить у активированных углей предыдущего поколения.
- 8. Отзыв на автореферат доктора химических наук, профессора, заведующего кафедрой технологии редких элементов и наноматериалов на их основе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» Блохина Александра Андреевича.

Отзыв положительный. Имеются замечания:

- Автор в тексте автореферата несколько высказывает мнения, что сорбция рения на углеродных сорбентах протекает по механизму физической адсорбции. Между тем, рениевая кислота относится к числу сильных кислот, и потому трудно представить, что она или ее соли могут сорбироваться по механизму физической адсорбции. Известно, что углеродные сорбенты обладают ионообменными свойствами, являются амфолитами и проявляют способность к ионообменной сорбции как катионов, так и анионов.
- Автор предлагает извлекать рений и скандий или из продуктивных растворов после подземного выщелачивания до извлечения из них урана или из оборотных растворов после извлечения урана, однако в тексте не приведены данные о возможном влиянии урана на сорбцию рения и скандия выбранными сорбентами.
- 9. Отзыв на автореферат кандидата химических наук, доцента, старшего научного сотрудника Акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» Сафиулиной Алфии Минеровны. Отзыв положительный. Имеются замечания:
- 1) На стр. 6 автореферата диссертантом допущена некоторая неточность «Исследование сорбции рения углями при совместном присутствии рения, скандия или железа...». Возможно, автор предполагал, что при сорбции рения углями примесями выступают скандий и железо?
- 2) На стр. 7 автореферата автором приведены параметры сорбции рения, рения и скандия, а также рения и железа, а тем временем при десорбции приведены данные только для рения и скандия. Данные о поведении Fe(III) при сорбции и десорбции умалчиваются.
- 10. Отзыв на автореферат доктора химических наук, начальника научнотехнического отдела по специальности 02.00.14 радиохимия Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» Велешко Александра Николаевича. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой компетентностью, которая подтверждена значительным количеством публикаций в области химии и технологии редких элементов и позволяет оценить научную и практическую значимость диссертации..

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработаны физико-химические основы сорбции рения и скандия активированными углями и углеродными композитами из сернокислых растворов применительно к комплексной переработке полиметалльных урановых руд;
- получены сорбционные характеристики активированных углей последнего поколения и новых углеродных нанокомпозитов при извлечении рения и скандия из сернокислых растворов и установлено влияние условий проведения процесса на эти характеристики;
- предложены блок-схемы сорбционного извлечения и разделения рения и скандия с использованием активированного угля ДАС и нанокомпозита NWC-Z при комплексной переработке полиметалльных урановых руд;
- показана возможность сорбционного извлечения рения и скандия с использованием активированного угля ДАС и нанокомпозита NWC-Z из продуктивных растворов подземного выщелачивания полиметалльных урановых руд Далматовского месторождения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказано, что сорбция рения и скандия активированными углями ДАС, ПФТ и ВСК и углеродными нанокомпозитами NWC-Z и ПАНИ-УНТ протекает в диффузионной области;
- установлены основные корреляции между условиями проведения сорбции рения и скандия и емкостью активированных углей и углеродных нанокомпозитов;
- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с

получением обладающих новизной результатов) использован комплекс базовых методов изучения сорбционных характеристик сорбентов, обработки равновесных и кинетических данных, использованы стандартные сертифицированные методики анализа рения и скандия;

- изложены доказательства возможности разделения рения и скандия на стадии их десорбции с активированных углей раствором карбоната натрия;
- изучены основные закономерности сорбции рения и скандия углеродными нанокомпозитами в зависимости от состава раствора, времени контакта, соотношения фаз.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны и апробированы сорбционные технологии извлечения рения и скандия из растворов подземного выщелачивания полиметалльных руд с использованием активированного угля ДАС и модифицированного нанотрубками угля NWC-Z;
- определены режимы сорбционного извлечения рения и скандия из сернокисло-хлоридных растворов активированными углями и углеродными нанокомпозитами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- экспериментальные данные получены на современном сертифицированном оборудовании; показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях и их согласованность с опубликованными данными, представленными в независимых источниках по близкой тематике;
- идея применения активированных углей для сорбции рения и скандия базируется на успешном опыте применения этого процесса для извлечения золота в России и за рубежом;
- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, сопоставление с опубликованными в независимых источниках данными авторских результатов для стандартных образцов сравнения;
- установлено, что полученные в работе данные по сорбции рения активированными углями не противоречат ранее опубликованным в открытых источниках, и дополняют существующие сведения и закономерности.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в получении и обработке экспериментальных данных, апробации результатов на конференциях. Интерпретация полученных данных и подготовка основных публикаций по работе проведена при участии автора.

На заседание диссертационного совета РХТУ.05.03 08 октября 2020 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Вей Мое Аунгу.

Присутствовало на заседании 10 членов диссертационного совета, в том числе в режиме видеоконференции 0. Докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации 5.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«3a» - 10,

«против» -нет,

недействительные бюллетени -нет

Председатель диссертационного сост

Ученый секретарь диссертационного совета

Дата «08» октября 2020 г.

Д.т.н., доцент Растунова И.Л.

к.х.н. Боева О.А.