

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Гакиева Адама Лечиевича «Сорбция рения и индия наномодифицированными углеродными композитами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Актуальность темы.

Стратегические виды минерального сырья, к которым относятся рений и индий, являются особо важными для устойчивого функционирования и стратегического развития национальной экономики, обеспечения национальной обороны и безопасности. Рений незаменим в никелевых суперсплавах, из которых производят лопатки двигателей в авиакосмической и энергетической отраслях, а также в катализаторах риформинга для нефтеперерабатывающей промышленности. Индий – важнейший компонент в производстве жидкокристаллических экранов и электронике.

Основной источник попутного извлечения рения – сульфидные молибденовые и медные руды, однако на территории России его содержание в них не представляет практического интереса. Среди нетрадиционных перспективных источников – фумарольные выбросы вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Сахалинская обл.), запасы рения в котором поставлены на государственный баланс. Газовая фаза постоянно действующего вулкана большой мощности содержит и другие ценные элементы – высоко востребованный индий, германий, галлий и др. При охлаждении фумарольных выбросов эти элементы переходят в природные воды, конденсат. При переработке твердых концентратов конденсации фумарольных газов вулкана Кудрявый также образуются растворы, которые целесообразно направлять на сорбцию. В отсутствии производства ионитов на территории России актуально получение доступных сорбционных материалов с более низкой стоимостью по сравнению с зарубежными смолами – наномодифицированных активированных углей (углеродных композитов) применительно к извлечению и концентрированию рения и индия из растворов различного происхождения, в том числе образующихся при переработке индийсодержащих отходов.

Научная новизна диссертации.

1. Выявлена зависимость сорбционно-десорбционных характеристик по рению и индию углеродных нанокомпозитов от количества введенных УНТ.
2. Установлен факт уменьшения положительного заряда поверхности композита при введении углеродных нанотрубок.

3. Установлено, что сорбция рения и индия композиатами протекает во внешнедиффузионной области.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Доказана возможность элюирования рения растворами аммиака с композиатов при комнатной температуре в сравнении с его высокотемпературной десорбцией с активированных углей.

2. Выявлены условия совместной сорбции и раздельной десорбции рения и индия при использовании углеродных нанокомпозиатов.

3. Показана возможность извлечения рения углеродными композиатами ВСК-УНТ и Татсорб-УНТ из природных вод Молибденового поля, вод озера Теплое, конденсата и растворов концентрата конденсата фумарольных газов вулкана Кудрявый. Степень сорбции рения составила 91–97 %.

4. На основании проведенных испытаний предложены блок-схемы сорбционного извлечения рения и индия из конденсата фумарольных газов вулкана Кудрявый и его концентрата.

5. Установлена возможность извлечения индия из растворов выщелачивания отходов жидкокристаллических дисплеев.

Новизна технического решения по выбору углеродного композиата с определенным содержанием углеродных нанотрубок подтверждена выдачей патента РФ № 2802918 с приоритетом от 29 ноября 2022 г.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 199 наименований и 4 приложений. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц и 42 рисунка.

Содержание диссертации и ее завершенность.

Вводная часть содержит обоснование выбора темы, её актуальности для современной науки и промышленности. Четко обозначены цель и конкретные задачи работы, сформулированы защищаемые положения, а также выделены элементы научной новизны и практической ценности полученных результатов.

В главе 1 (литературный обзор) диссертантом представлен анализ текущего состояния в области гидрометаллургии рения и индия. Диссертант констатирует отсутствие в России промышленного производства селективных к рению и индию сорбентов и подчеркивает недостаточность сведений о применении модифицированных углеродных материалов для этих целей.

В главе 2 подробно описаны характеристики исходных материалов и реагентов, задействованных в экспериментах, методики проведения аналитических работ (спектрофотометрия), а также математический аппарат, использованный для обработки кинетических и равновесных данных сорбции. В диссертационной работе эффективно задействована современная аппаратура

для автоматизации исследований (перистальтический насос Stenner (модель 45MHP10), универсальный коллектор фракций Eldex R (U-200) (США) и др.

Глава 3 содержит экспериментальные данные по получению наномодифицированных углеродных композитов. Исследованы их пористая структура и поверхностный заряд исходных компонентов (активированного угля, углеродных нанотрубок и углеродного композита). Установлено влияние концентрации введенных нанотрубок на сорбцию и десорбцию рения и индия.

В главе 4 рассматриваются закономерности сорбции рения из сернокислых сред. Выявлено, что углеродные нанотрубки обладают крайне низкой сорбционной способностью по отношению к рению (менее 1,5 %). Максимальная степень сорбции рения достигается при значении pH, равном 2. Ключевым достижением этого этапа работы следует считать увеличение степени аммиачной десорбции (до 96 % и более) при комнатной температуре.

В главе 5 представлены результаты извлечения индия. Установлено, что углеродные нанотрубки сорбируют индий на 77 %. Доказано, что сорбционная активность композита по отношению к индию связана с их присутствием, причем наиболее эффективно процесс протекает при значении pH, равном 2. Важным практическим итогом является подтверждение стабильности работы композитов Татсорб-УНТ и ВСК-УНТ в пяти последовательных циклах «сорбция-десорбция» с незначительной потерей их исходной емкости.

Глава 6 посвящена изучению процессов совместного извлечения рения и индия из бинарных растворов. Разработана методика последовательного разделения элементов на этапе десорбции: элюирование индия осуществляется раствором соляной кислоты, рения - аммиачным раствором.

В главе 7 обобщены результаты апробации полученного композита Татсорб-УНТ на реальных объектах. Продемонстрирована принципиальная возможность его применения для извлечения рения из природных вод месторождения Молибденовое поле, а также совместного извлечения рения и индия из вод озера Теплое и конденсата фумарольных газов. Наряду с этим, подтверждена эффективность композита при переработке техногенных отходов электроники, содержащих индий. В заключении главы предложена блок-схема сорбционного извлечения ценных металлов из конденсата фумарольных газов.

В заключении диссертации приведены выводы и рекомендации. По работе имеются **замечания**:

1. Не изучено влияние температуры на сорбцию рения и индия углеродными композитами и подобное рассмотрение могло бы расширить спектр решаемых задач.

2. Автор изучил процесс сорбции индия как углеродными композитами, так и углеродными нанотрубками, однако влияние количества функциональных

групп, которые, как известно, находятся на поверхности углеродных нанотрубок и активированных углей исследовано не было.

3. Растворы, образующиеся в результате вулканической активности, содержат, наряду с рением и индием, другие ценные элементы – германий, галлий, палладий, молибден. Насколько селективны углеродные нанокompозиты в отношении рения и индия?

Сделанные замечания носят рекомендательный характер. Представленная диссертация оставляет положительное впечатление, как завершенная работа.

Обоснованность научных положений и выводов и достоверность полученных данных базируется на применении комплекса современных методов исследований (фотометрии, титриметрии, сканирующей электронной микроскопии, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, порометрии). Научные положения работы достоверны.

Практическая значимость подтверждается прилагаемым к диссертации актом о проведении испытаний сорбционного извлечения рения из растворов и концентратов, образующихся на вулкане Кудрявый (Сахалинская обл.).

Результаты работы рекомендуется использовать в профильных организациях, таких как ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» РАН, ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина» РАН, Северском технологическом институте НИЯУ «МИФИ», ФГБОУ ВО «РТУ- МИРЭА» и других.

Автореферат диссертации отражает содержание работы.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных, 11 работ в материалах конференций, в том числе международных. Получен патент РФ.

Диссертация Гакиева Адама Лечиевича выполнена на высоком научном уровне и содержит новые данные по сорбции и десорбции рения и индия из водных растворов полученными в работе углеродными нанокompозитами.

По своему содержанию диссертационная работа Гакиева Адама Лечиевича соответствует паспорту научной специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части направлений исследований «Очистка и концентрирование рудных щелоков, газообразных и твердых продуктов разложения рудных концентратов и других видов сырья».

Диссертация Гакиева Адама Лечиевича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные решения задачи сорбционного извлечения рения и индия при комплексной переработке нетрадиционных источников сырья, имеющие существенное значение для укрепления минерально-сырьевой базы страны стратегически важными металлами.

Диссертация Гакиева Адама Лечиевича на тему: «Сорбция рения и индия наномодифицированными углеродными композитами» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Гакиев Адам Лечиевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент

Доктор химических наук, заведующий лаборатории, профессор НОЦ ИФХЭ РАН, ветеран атомной энергетики и промышленности ГК Росатом, почетный работник науки и высоких технологий Минобрнауки России

Лаборатория химии технеция, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Минобрнауки России

Герман Константин Эдуардович

«12» марта 2026 г.

Тел. 7-903-151-75-54 E-mail: guerman_k@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 1.4.13 – Радиохимия

Адрес места работы:

119071 г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина

Российской академии наук, Лаборатория химии технеция

Тел. 7-495-3338522 E-mail: dir.phyche.ac.mail.ru

Подпись доктора химических наук К.Э. Германа удостоверяю

Зав. канцелярией

Емельянова Н. А.

«12» марта 2026 г.

М.П.

