



Министерство науки и
высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Тамбовский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «ТГТУ»)
392000, Тамбов, Советская, 106/5
помещение 2
Телефон (4752) 63-10-19
Факс (4752) 63-06-43
E-mail: tstu@admin.tstu.ru
ОГРН 1026801156557
ИНН 6831006362, ОКПО 02069289
№ 01.01-17/38/6
« 5 » 03 2026 г.
На № _____
« _____ » _____ 2026 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Тамбовский

государственный технический

университет», д.т.н., профессор

Муромцев Д.Ю.

« 5 » 03 2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Гакиева Адама Лечиевича «Сорбция рения и индия наномодифицированными углеродными материалами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Учитывая устойчивый рост в потребности рения и индия ряда важнейших стратегических отраслей промышленности, для обеспечения независимости нашей страны от внешних поставок этих металлов необходимо, при отсутствии минерально-сырьевой базы рения, разработать процесс их извлечения из нетрадиционных источников, крупнейшим по запасам рения из которых являются фумарольные газы вулкана Кудрявый в Сахалинской области. Актуальность темы диссертации Гакиева Адама Лечиевича, при не существующем в настоящее время производстве специфичных сорбентов на рений и индий, связана с получением и изучением характеристик новых углеродных материалов для сорбции этих металлов при комплексной переработке продуктов, образующихся на вулкане.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

1. Выявлено, что сорбционно-десорбционные характеристики по рению и индию углеродных композитов на основе активированных углей Татсорб и ВСК зависят от количества введенных УНТ.

2. При введении углеродных нанотрубок в активированный уголь марки Татсорб положительный заряд поверхности снижается, а нулевая точка заряда определяется при рН 2.

3. Показано, что сорбция рения и индия композициями, модифицированными углеродными нанотрубками, протекает во внешнедиффузионной области с определенными по модели псевдо-второго порядка константами скорости рения и индия.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Определены режимы сорбционного извлечения рения и индия из растворов наномодифицированными углеродными композициями.

2. Доказана возможность десорбции рения при комнатной температуре с композитов, модифицированных углеродными нанотрубками, в отличие от его высокотемпературной десорбции с активированных углей.

3. Выявлены условия совместной сорбции рения и индия из сернокислых растворов углеродными наноконпозициями и отдельной их десорбции.

4. Показана возможность извлечения рения углеродными композициями 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 %.

5. Предложены блок-схемы сорбционного извлечения и разделения рения и индия из конденсата фумарольных газов вулкана Кудрявый и его концентрата.

6. Показана возможность извлечения индия из растворов выщелачивания отходов жидкокристаллических дисплеев со степенью сорбции 57,2 %.

Новизна технического решения по выбору углеродного композита 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.

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, изложены положения, выносимые на защиту, определены научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ данных, которые отражают современное состояние работ по извлечению рения из растворов различного происхождения. Показано, что для этих целей используются иониты и активированные угли при этом информация по выделению рения модифицированными углеродными композитами ограничена, а сорбенты, селективные на рений, в Российской Федерации не производятся. Индий в основном извлекают экстракционными методами.

Во второй главе приведены характеристики используемых материалов и реактивов, представлены методики проведения анализов и исследований, приведены уравнения для математической обработки данных сорбции и десорбции.

В третьей главе отражены результаты по получению наномодифицированных углеродных композитов и изучению их физико-химических характеристик: поровых, заряда поверхности активированного угля, углеродных нанотрубок и углеродного композита. Детально изучено влияние количества введенных нанотрубок на сорбционные и десорбционные характеристики по рению и индию. Проведенный анализ оценки активированных углей и углеродных нанотрубок, которые используются для получения углеродных композитов, показал, что в качестве основы углеродного композита предпочтительны активированные угли БАУ и Татсорб. При этом установлено, что происхождение активированного угля не влияет на десорбционные характеристики углеродных композитов.

В четвертой главе приведены данные по извлечению рения из сернокислых растворов углеродными материалами. Установлено, что сорбция рения углеродными нанотрубками не превышает 1,5 %.

Выявлено, что композиты, как и активированные угли, максимально извлекают рений при значении рН, равном 2.

Важным результатом исследования является установление факта увеличения степени десорбции рения с углеродных композитов при комнатной температуре. В статических условиях с использованием в качестве элюента раствора гидроксида аммония (8 %) при выбранных режимах она составила для композита ВСК-УНТ 98,4 %, композита Татсорб-УНТ – 96,3 %.

В пятой главе при исследовании сорбционных характеристик углеродных материалов по индию установлено, что степень его извлечения углеродными нанотрубками составила 77 %. Установлено, что, как и рений, индий наиболее эффективно сорбируется при значении рН раствора, равном 2. Доказано, что его сорбция обуславливается наличием углеродных нанотрубок в составе углеродного композита.

Одним из основных результатов исследования является подтверждение стабильности сорбционных характеристик углеродных композитов – Татсорб-УНТ и ВСК-УНТ при осуществлении пяти циклов.

В шестой главе представлены результаты по совместному сорбционному извлечению рения и индия углеродными композитами ВСК-УНТ и Татсорб-УНТ. Изотерма совместной сорбции элементов описывается с помощью уравнения Генри. Полученные кинетические данные позволили определить время установления равновесия.

Диссертантом показано, что осуществление последовательной десорбции элементов – сначала раствором соляной кислоты для элюирования индия, а затем раствором аммиака для перевода рения в элюат, позволяет разделить их на этой стадии.

В седьмой главе приведены результаты апробации углеродного композита Татсорб-УНТ для извлечения рения и индия из растворов, сопровождающих вулканическую деятельность на острове Итуруп в Сахалинской области, и растворов выщелачивания концентрата конденсата фумарольных газов, а также для извлечения индия из отходов. Доказана

возможность использования композита для извлечения рения из природных вод Молибденового поля вулкана Кудрявый, а также рения и индия – из вод озера Теплое и конденсата фумарольных газов вулкана Кудрявый. Результаты апробации подтверждаются приложенным актом о проведении испытаний от 15.05.25, выданным ООО «ИВИГ».

На основании проведенной работы предложена последовательность операций по сорбции рения и индия из концентрата конденсата фумарольных газов вулкана Кудрявый.

В заключении представлены выводы и рекомендации по работе.

В качестве **замечаний** по диссертации можно отметить следующее:

1. Вымываются ли нанотрубки с поверхности углеродного композита во время осуществления процесса? Если да, то влияет ли их присутствие на режимы дальнейших операций? Оседают ли они на стенках технологического оборудования?

2. Целесообразно ли для количественной оценки избирательности проведение исследований селективности полученных углеродных композитов в отношении других элементов в многокомпонентных системах? Каковы перспективы их извлечения с использованием изученных материалов?

3. Может ли быть альтернативой экстракционная сорбционная переработка отходов жидкокристаллических дисплеев с использованием углеродных нанокompозитов, полученных в работе и прошедших апробацию?

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне.

Достоверность полученных автором результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных, применением комплекса современных методов исследований (фотометрии, титриметрии, сканирующей электронной микроскопии и др.).

Результаты работы прошли апробацию на международных и отечественных конференциях, а также при рецензировании статей, опубликованных в научных журналах.

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

Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях Росатома, в частности, в Акционерном обществе «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья имени Н.М. Федоровского, Федеральном государственном бюджетном учреждении «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова» Российской академии наук, Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина» Российской академии наук, Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Северском технологическом институте Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт», Федеральном государственном бюджетном

образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА-Российский технологический университет», Акционерном обществе «Институт вулканологии», Акционерном обществе «Атомредметзолото».

Автореферат диссертации отражает содержание работы. Результаты работы представлены в двух статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных, а также в 11 материалах и тезисах конференций и симпозиумов, в том числе международных.

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 научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные решения задачи сорбционного извлечения рения и индия при комплексной переработке нетрадиционных источников сырья. Реализация этих исследований и разработок может внести значительный вклад в национальную безопасность металлургической промышленности Российской Федерации.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация 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 диссертациями 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.

Отзыв на кандидатскую диссертацию Гакиева Адама Лечиевича был рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» от 04.03.2026 г. (протокол № 9).

Кандидат технических наук, доцент,

И.о. заведующего кафедрой

«Техника и технологии

производства нанопродуктов»

Федерального государственного

бюджетного образовательного

учреждения высшего образования

«Тамбовский государственный

технический университет»



Бураков

Александр Евгеньевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Адрес: 392000, Тамбовская область, г.о. город Тамбов, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5.

Тел.: 8 (4752) 63-92-93

E-mail: kma@tstu.ru