

ОТЗЫВ

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

Обеспечение сырьевой базы Российской Федерации стратегическими металлами – рением и индием – является важной государственной задачей. Рений незаменим в производстве жаропрочных суперсплавов для авиакосмической отрасли и высокоэффективных катализаторов нефтепереработки. Индий, в свою очередь, играет ключевую роль не только в производстве жидкокристаллических дисплеев и сенсорных экранов, но также находит всё более широкое применение в высоковакуумной технике (включая уплотнения космических аппаратов), оптических покрытиях зеркал с постоянным коэффициентом отражения, термоэлектрических материалах, атомной энергетике (благодаря способности поглощать нейтроны) и даже в фармацевтике при производстве стоматологических материалов. В условиях отсутствия собственного промышленного производства селективных сорбентов и наличия нетрадиционных источников сырья, таких как фумарольные выбросы вулкана Кудрявый, разработка доступных и эффективных отечественных сорбционных материалов приобретает особую актуальность. Принципиально важным является тот факт, что селективные сорбенты собственного производства становятся ключом к рентабельному извлечению ценных компонентов из нетрадиционного сырья, поскольку позволяют гибко настраивать функциональные поверхности материалов под конкретный, зачастую сложный и непостоянный состав перерабатываемых растворов. В связи с этим диссертационная работа Гакиева А.Л., направленная на создание наномодифицированных углеродных композитов для извлечения рения и индия из растворов различного генезиса, является своевременной и практически значимой.

Автором четко сформулированы цель и задачи исследования. Научная новизна работы не вызывает сомнений и заключается в установлении зависимости сорбционно-десорбционных характеристик композитов от количества введенных углеродных нанотрубок (УНТ), определении заряда поверхности и точки нулевого заряда модифицированных сорбентов, а также в математической обработке кинетических данных, подтвердившей внешнедиффузионный характер сорбции и применимость модели псевдo-второго порядка.

Практическая значимость работы очевидна и подкреплена весомыми результатами:

1. Определены режимы сорбции и десорбции на различных типах активированных углей и углеродных нанотрубок (УНТ), позволяющие эффективно извлекать и разделять рений и индий.
2. Впервые доказана возможность десорбции рения при комнатной температуре с модифицированных композитов, что значительно упрощает технологию.
3. Успешно проведена апробация разработанных материалов на реальных объектах: природных водах и конденсатах вулкана Кудрявый. Степень извлечения рения при испытании достигла 91–97%, что подтверждается актом испытаний, а также индий удалось успешно извлечь из растворов выщелачивания отходов жидкокристаллических дисплеев.
4. Предложены технологические блок-схемы переработки растворов, что свидетельствует о высокой степени готовности разработки к практическому внедрению.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных физико-химических методов анализа (ICP-MS, СЭМ и др.), значительным объемом экспериментальных данных и корректной математической обработкой. Основные положения диссертации прошли широкую апробацию на многочисленных российских и международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе индексируемых в международных базах данных, и защищены патентом РФ.

Вместе с тем, при анализе автореферата возникли следующие вопросы и замечания:

1. Для получения более высокой достоверности при оценке лимитирующей стадии сорбции рения по кинетическим кривым особенно в случае применения модели внутренней диффузии или т.н. закона $\sqrt{t}$ важно получить данные для времени протекания процесса $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3 минуты. Такие данные смогли бы повысить значения коэффициента детерминации данной модели.
2. Из рисунка 9 автореферата видно, что кинетическая зависимость показывает переход процесса сорбции от быстрой поверхностной сорбции к более медленной внутрь материала поглотителя. Анализ подобных закономерностей целесообразно проводить с помощью кусочно-линейчатой функции и применять для каждой части приближение Бойда, как наиболее точно описывающего процесс диффузии на поверхности и в объеме сорбента.
3. При изучении влияния конкурирующих ионов на сорбцию индия все выбранные мешающие ионы оказывают негативное влияние, что свидетельствует о невысокой селективности материала. Было бы полезно в дальнейших исследованиях рассмотреть возможность дополнительной

модификации поверхности композитов для повышения их селективности в присутствии мешающих компонентов, характерных для реальных полиметаллических растворов.

Однако высказанные замечания носят характер пожеланий для дальнейших исследований и не снижают общей высокой оценки представленной работы. Диссертация Гакиева А.Л. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи – создание эффективных отечественных сорбентов для извлечения стратегически важных металлов из нетрадиционного и техногенного сырья.

Диссертация Гакиева Адама Лечиевича на тему: «Сорбция рения и индия наномодифицированными углеродными композитами» соответствует требованиям, установленным Положением 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 её автор, **Гакиев Адам Лечиевич**, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Научный сотрудник лаборатории радионуклидов и радиофармпрепаратов
доктор химических наук по специальности 02.00.14 – Радиохимия

Велешко Александр Николаевич

тел.: +7 (499) 196-92-93,

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 123182, г. Москва, пл. Ак. Курчатова, д. 1

www.nrcki.ru

e-mail: Veleshko_AN@nrcki.ru

16 марта 2026 г.

Подпись Велешко Александра Николаевича заверяю:

Главный ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт»
доктор физико-математических наук

Алексеева Ольга Анатольевна



0
3