

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Вацуры Фёдора Ярославовича «Сорбционное извлечение рения и урана из сернокислых растворов подземного выщелачивания полиметалльных руд», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Потребление редких элементов определяет научно-технический потенциал страны. В настоящий момент в России объем производства одного из редких элементов – рения не удовлетворяет растущий на него спрос. Увеличения промышленного выпуска рения можно добиться посредством выявления его новых источников, в том числе с низким содержанием, примером которого могут быть продуктивные растворы подземного выщелачивания полиметалльных руд. Обнаруженные на территории Курганской области ренийсодержащие урановые руды подтверждают актуальность технологических исследований диссертанта.

Актуальным представляется совершенствование технологии сорбционного извлечения и основного элемента – урана из продуктивных растворов, отличающихся низкой температурой.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

- при сорбции из сернокислых растворов с температурой 4–8 °С наибольшей емкостью по урану в сравнении с емкостью промышленного сорбента обладает гелевый анионит с функциональными группами N-метилпиридиниевого азота;
- определены кинетические характеристики по урану и рению гелевого анионита с группами N-метилпиридиниевого азота при низких температурах;
- выявлена лимитирующая стадия сорбции урана из растворов с низкой температурой – внешняя диффузия.

Практическая значимость работы определяется тем, что:

- использование выбранного в работе гелевого анионита VPA G2.4 позволило извлечь рения из продуктивных растворов подземного выщелачивания (ПВ) Далматовского месторождения (АО «Далур») со степенью сорбции более 90 %;

– предложена схема извлечения рения, включающая стадию селективного концентрирования импрегнатом на основе третичного амина (К-ТАА), совмещающего свойства сорбента и экстрагента;

– проведены полупромышленные испытания сорбции урана с использованием гелевого анионита VPA G2.4 из низкотемпературных продуктивных растворов ПВ (АО «Хиагда») и выданы необходимые данные для расчета оборудования, предназначенного для проведения промышленных испытаний, а также ТЭО перехода на этот анионит.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 45 таблиц, 62 рисунка, одно приложение. Список литературы включает 154 работы отечественных и зарубежных авторов. В приложении к диссертации имеется акт о проведении испытаний сорбционного извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания на предприятии АО «Хиагда».

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы.

Глава 1. В **литературном обзоре** приведены сведения по сорбционному извлечению рения и урана из разных по составу растворов, а также характеристикам сорбента, используемым в технологии урана и рения. Анализ данных позволил установить ограниченность информации по извлечению этих элементов из низкотемпературных растворов. В заключении приведены задачи, которые необходимо решать при выделении микроколичеств рения и урана из растворов подземного выщелачивания.

Глава 2 содержит описания характеристик, используемых диссертантом в работе ионитов, методик проведения экспериментов по сорбции и десорбции в статических и динамических условиях, а также методик количественного анализа металлов в водных растворах.

Глава 3. Автором представлены развернутые данные по сорбционным характеристикам выявленного в работе гелевого анионита VPA G2.4 для извлечения урана из низкотемпературных растворов, а также урана и рения при совместном присутствии. Выбор анионита осуществляли с использованием продуктивных растворов, образующихся при скважинном подземном выщелачивании руд Хиагдинского рудного поля. Изучены равновесные характеристики сорбции урана гелевым анионитом, полученная методом переменных объемов изотерма, как показано автором, адекватно обрабатывается по уравнению Фрейндлиха. Кинетические данные сорбции урана, определенные в условиях ограниченного объема раствора, позволили получить такие характеристики процесса, как константы скорости, кажущуюся энергию активации сорбции, соответствующие константы в уравнениях кинетических моделей Еловича и Вебера-Морриса. Анализом кинетических данных, полученных в динамических условиях, показано преимущество анионита VPA G2.4 в отношении времени защитного действия и емкости «до проскока». Массив данных по динамике сорбции математически обработан по трем моделям. Применимость моделей оценивали по значению коэффициента детерминации. Лучшее его значение наблюдается при использовании модели Томаса, чем моделей Юна-Нельсона и BDST, хотя и оно не столь велико.

Проведенные диссертантом расчет и оценка значения кажущейся энергии активации сорбции урана гелевым анионитом показали, что скорость сорбции лимитирует внешняя диффузия.

Глава 4. Отражен опыт автора в получении композитного материала, совмещающего свойства сорбентов и экстрагентов – импрегнатов. При создании импрегнатов методом пропитки им использованы различные полимерные носители и синтетические смолы. Введение технического продукта – триалкиламина, селективного экстрагента по отношению к рению, позволит увеличить степень очистки финишного соединения рения от макро- и микропримесей раствора. Равновесные и кинетические данные по сорбции рения выбранным импрегнатом К-ТАА достаточно полно описывают свойства этого

сорбента. С использованием данных ИК спектроскопии образцов импрегната автором предложен механизм сорбции рения этим материалом. Автором вполне обоснованно предложено использовать полученные импрегнаты для концентрирования рения из элюатов первой (и второй – при необходимости) стадии извлечения рения и аффинажа при попутном его извлечении из многокомпонентного уранового сырья.

Глава 5 посвящена апробации выбранного диссертантом гелевого анионита для извлечения рения из растворов ПВ Далматовского месторождения (АО «Далур») и урана из продуктивных растворов ПВ месторождений Хиагдинского поля (АО «Хиагда»).

Диссертантом приведена принципиальная технологическая схема извлечения рения из сернокислых растворов подземного выщелачивания, предварительно прошедших сорбцию урана, содержащая стадию вторичного концентрирования рения на импрегнате-ТАА.

Полупромышленные испытания сорбционного извлечения урана из растворов ПВ (АО «Хиагда») доказали преимущество выбранного в работе ионита перед используемыми сильноосновными ионитами. Проведена оценка механической прочности ионита в циклах сорбции-регенерации, и получены исходные данные, позволяющие произвести расчеты технологических параметров сорбции и ТЭО обоснования перехода на этот анионит.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что чистый приведенный доход составит 1218,9 млн. руб. по оценке АО «ВНИПИпромтехнологии».

По диссертационной работе Вацуры Ф.Я. можно сделать следующие **замечания**.

1. Автором установлен факт значительного увеличения емкости по урану при сорбции из продуктивных растворов с низкой температурой. Чем он обусловлен?

2. Из текста диссертации не вполне ясно, какие примеси оказывают наибольшее влияние на сорбцию рения из урансодержащих растворов подземного выщелачивания?

3. Для концентрирования рения автор рекомендует использовать импрегнат с третичным амином. Не приведет ли такой процесс к загрязнению экстрагентом оборотных растворов подземного выщелачивания?

4. Автор рекомендует в качестве носителя импрегната макропористый катионит. Не приведет ли такой выбор носителя к накоплению в импрегнате примесей, присутствующих в растворе подземного выщелачивания в катионной форме?

5. В работе имеются опечатки и технические погрешности: автореферат, с. 9, таблица 4: указана концентрация рения 10 мг/л, а в предыдущем абзаце – 14,7 мг/л; автореферат, рисунок 5: обозначения осей показан мелким шрифтом; рисунок 9: названия операций в блок-схеме плохо видны.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне. **Достоверность** полученных результатов, основанных на использовании комплекса современных методов исследований – масс-спектрометрии, ИК-Фурье спектрометрии, спектрофотометрии и других, не вызывает сомнений, поскольку они подтверждают и взаимодополняют друг друга, а также согласуются с результатами других авторов.

Основные выводы диссертации обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

Практическая значимость подтверждается прилагаемым к диссертации актом о проведении полупромышленных испытаний сорбционного извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания АО «Хиагда».

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 научно-исследовательский институт химической технологии», Акционерном обществе «Ведущий проектно-

изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», Акционерном обществе «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Акционерном обществе «Атомредметзолото», Акционерном обществе «Далур», Акционерном обществе «Хиагда».

Для практического использования результатов работы рекомендуется апробация в опытном и полупромышленном масштабах гелевого анионита, выбранного в работе, для сорбционного извлечения рения из продуктивных растворов, образующихся при подземном выщелачивании полиметалльных руд месторождения Добровольное, а также проведение промышленных испытаний и внедрение сорбции урана из продуктивных растворов ПВ на предприятии АО «Хиагда».

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы представлены в материалах 16 научных конференций и опубликованы в 3 статьях в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе 3 в журналах, входящих в международные базы данных научного цитирования.

По своему содержанию диссертационная работа Вацуры Ф.Я. 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 Вацуры Ф.Я. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи комплексной сорбционной переработки рений-урансодержащих

растворов подземного выщелачивания полиметалльных руд, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие ядерной отрасли страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении учёных 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, Вацура Фёдор Ярославович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химии технеция Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)



Герман Константин Эдуардович

Адрес организации: 119071, г. Москва, Ленинский пр., 31, корп. 4

Тел: +7 495 333 85 22,

E-mail: guerman_k@mail.ru

Подпись Германа Константина Эдуардовича удостоверяю:

Ученый секретарь ФГБУН Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук,

кандидат химических наук

тел.: +7 (495) 952-20-71

e-mail: usecretar@phyche.ac.ru

Дата 07.10. 2022



Гладких Наталья Андреевна