

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

Уран и рений относятся к числу стратегически важных редких металлов. В настоящее время одним из основных методов добычи урана является скважинное подземное выщелачивание (ПВ). Для извлечения урана из получаемых продуктивных растворов, как правило, используют метод ионообменной сорбции. При этом растворы подземного выщелачивания зачастую имеют низкую температуру, что приводит к заметному снижению скорости сорбции и реальной емкости анионитов по урану и, тем самым, к ухудшению технико-экономических показателей всего процесса. Решить эту проблему можно путём выявления анионитов, сохраняющих достаточно высокую ёмкость по урану и имеющих удовлетворительные кинетические характеристики при сорбции при пониженных температурах. Что касается рения, то, к сожалению, после распада Советского Союза наиболее богатые рудные сырьевые источники рения оказались за пределами РФ, и практически весь добываемый в настоящее время в РФ рений производится только из вторичного сырья, а это не обеспечивает возрастающих потребностей в этом весьма востребованном металле. Увеличить промышленный выпуск рения можно за счет использования новых нетрадиционных сырьевых источников, одним из которых могут явиться продуктивные растворы ПВ полиметалльных урансодержащих руд.

В связи с этим тема диссертационной работы Вацуры Ф.Я., посвященной сравнительному изучению сорбции рения и урана на ряде анионитов из модельных и реальных растворов ПВ, в том числе при пониженных температурах, выявлению наиболее эффективного анионита, детальное изучение равновесия, кинетики и динамики сорбции урана и рения на этом анионите, опробование выявленного анионита для извлечения урана из реальных продуктивных растворов ПВ, а также синтезу и изучению сорбционных свойств по отношению к рению композиционных сорбентов – импрегнантов, представляющих собой полимерные носители, пропитанные техническим триалкиламином (ТАА), которые предполагалось использовать для концентрирования рения, является весьма **актуальной**.

Диссертационная работа изложена на 146 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения, в котором запротоколированы результаты полупромышленных испытаний, проведенных в АО «Хиагда». Работа содержит 45 таблиц и 62 рисунка. Список литературы включает 154 работы отечественных и зарубежных авторов.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, изложена цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также выносимые на защиту основные положения.

В главе 1 (литературном обзоре) приведен объективный анализ имеющихся литературных источников, касающихся сорбционного извлечения урана и рения, в том числе из растворов ПВ, который показал, что информация по извлечению рения и урана синтетическими сорбентами применительно к комплексной переработке низкотемпературных растворов ПВ ограничена. Сформулированы основные направления исследований, направленных на достижение эффективного извлечения и концентрирования урана и микроколичеств рения из растворов ПВ полиметаллических руд.

В главе 2 приведено описание методик проведения экспериментов по сорбции и десорбции урана и молибдена в статических и динамических условиях, характеристики опробованных анионитов, методики приготовления импрегнантов, методы анализа водных растворов и твердых продуктов на целевые компоненты, подготовки проб для снятия ИК-спектров, а также способы обработки экспериментальных данных.

Далее в диссертации представлены полученные в работе экспериментальные данные, их обсуждение и трактовка, а также результаты укрупненных испытаний.

Глава 3 посвящена сравнительной оценке ряда анионитов и выявлению наиболее эффективного из них для извлечения урана из низкотемпературных ПР, систематическому изучению сорбционных характеристик выбранного анионита не только относительно урана в соответствии с заголовком главы, но и рения при сорбции как из индивидуальных растворов, так и при их совместном присутствии. Установлено, что из всех опробованных анионитов наиболее высокую емкость по урану в широком диапазоне концентраций последнего имеет гелевый анионит VPA G2.4 смешанной основности, содержащий в качестве ионогенных групп, как следует из табл. 8 диссертации, группы пиридиниевого основания и пиридиновые группы в соотношении не менее 3 к 1. Приведены данные по изучению влияния pH модельного раствора на способность выбранного анионита к сорбции урана. Детально изучены равновесие, кинетика и динамика сорбции урана, а также рения этим анионитом при различных температурах. Проведен расчет равновесных, кинетических, и динамических параметров процессов сорбции урана и рения. Приведены ИК-спектры образцов анионита VPA G2.4 в сульфатной форме, а также насыщенных ураном или рением. Не обойдено вниманием и рассмотрение десорбции урана и рения из выбранного анионита.

В главе 4 представлены результаты исследования сорбционного концентрирования рения с использованием материалов, совмещающих свойства сорбентов и экстрагентов – т.н. импрегнантов, представляющих собой тот или иной полимерный носитель, в который введен экстрагент – смесь алифатических третичных аминов (ТАА). Отработана методика получения подобных импрегнантов, из нескольких опробованных носителей предпочтение отдано макропористому

карбоксильному катиониту. Получены данные по равновесию и кинетике сорбции рения, а также проведена оценка и доказана возможность концентрирования рения в ходе сорбции-десорбции выбранным импрегнантом.

В главе 5 вначале рассмотрена возможность извлечения рения на анионите Axionit VPA G2.4 из реальных растворов ПВ урановых руд Далматовского месторождения (АО «Далур», Курганская область). Основная же часть этой главы посвящена описанию полупромышленных испытаний технологии извлечения урана из продуктивных растворов ПВ месторождений Хиагдинского поля (АО «Хиагда») на сорбционной установке, состоящей из 4-х колонн общей вместимостью по сорбенту 120 л, заполненных анионитом Axionit VPA G2.4, и достигнутых при этом результатов. Показано, что после проведения 30 циклов сорбции-десорбции емкостные характеристики анионита по урану остались неизменными. Вообще, приведенные в этом разделе данные являются украшением диссертационной работы. На основании полученных экспериментальных данных рассчитаны основные технологические параметры оборудования, позволяющие сформировать исходные данные для технико-экономического обоснования перехода на анионит Axionit VPA G2.4. По оценке АО «ВНИПИпромтехнологии» чистый приведенный доход от использования предлагаемого анионита до 2064 г. составит 1218,9 млн. руб.

Научная новизна

Предмет научной новизны диссертационной работы составляют, прежде всего:

- результаты сравнительного исследования сорбции урана 9 образцами различных анионитов, позволившие выявить анионит, который по своей способности к сорбции урана существенно превосходит известные аниониты, применяемые на практике для извлечения урана;
- систематические данные по исследованию равновесия, кинетики и динамики сорбции урана на гелевом анионите VPA G2.4. в том числе при низких температурах, определенные автором основные параметры, характеризующие сорбцию урана, а также рения на этом ионите из индивидуальных растворов и из растворов в присутствии урана;
- предложение автора использовать в качестве носителя третичных аминов при получении импрегнантов не инертные пористые полимерные материалы, а макропористый карбоксильный катионит, и результаты систематических исследований сорбции-десорбции рения этим импрегнантом.

Практическая значимость работы определяется тем, что в ней:

- предложено использовать для извлечения урана их продуктивных растворов ПВ новый анионит VPA G2.4, эффективность применения которого доказана результатами как лабораторных исследований, так полупромышленных испытаний на реальных растворах ПВ месторождений Хиагдинского поля (АО «Хиагда»);
- приведены данные о поведении рения в процессе сорбционного извлечения урана на анионите VPA G2.4. что позволило выявить стадию основного

технологического процесса, на которой целесообразно осуществлять попутное извлечение рения;

- предложено использовать для вторичного концентрирования рения импрегнант, содержащий триалкиламин, и подтверждена эффективность его применения.

Практическая значимость проведенных исследований подтверждена актом о проведении опытно-промышленных испытаний в АО «Хуагда», из которого следует, что, на основании результатов испытаний были рассчитаны основные технологические параметры оборудования, позволяющие сформировать исходные данные для технико-экономического обоснования перехода на анионит Axionit VPA G2.4. По оценке АО «ВНИИПромтехнологии» чистый приведенный доход от использования предлагаемого анионита до 2064 г. составит 1218,9 млн. руб.

Сделанные по работе выводы вполне **обоснованы**.

Положения, выносимые на защиту, **соответствуют содержанию** диссертации.

Достоверность результатов подтверждается большим объемом проведенных исследований, использованием надежных классических методов исследования ионообменных процессов, применением современных методов анализа, грамотной обработкой экспериментальных данных, хорошей сходимостью данных, полученных при работе с модельными растворами, с данными, полученными на реальных растворах ПВ.

Автореферат и опубликованные работы, в число которых входит 3 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, тексты и тезисы 15 докладов на международных и Российских конференциях и симпозиумов, в полной мере отражают содержание диссертации.

Результаты работы могут быть рекомендованы для ознакомления и использования в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях Росатома, в частности, в Акционерном обществе «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», Акционерном обществе «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», предприятиях, входящих в состав Акционерного общества «Атомредметзолото», Северском технологическом институте Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт», 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, Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

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

1. Не в полной мере охарактеризован предлагаемый автором к применению анионит Axionit VPA G2.4, а именно, привиты ли его ионогенные группы к матрице на

основе сополимера стирола и дивинилбензола (по аналогии с известным анионитом АМП), или этот анионит представляет собой алкилированный сополимер винилпиридина и дивинилбензола, т. е. типа анионитов ВП-1А или ВП-3А.

2. К сожалению, в табл. 7 не приведены значения полной обменной емкости известных анионитов, с которыми в дальнейшем сравнивается анионит Axionit VPA G2.4 в отношении сорбции урана. Отсутствие таких сведений затрудняет дать ответ на вопрос, какова природа повышенного сродства предлагаемого автором анионита к урану по сравнению с известными анионитами, связано ли оно с его более высокой полной обменной емкостью или все же особенностями строения этого анионита.

3. Не всегда корректно проведена интерпретация ИК-спектров анионита Axionit VPA G2.4, а именно, полоса с максимумом при $905,34 \text{ см}^{-1}$ почему-то приписывается колебаниям « $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ -групп в сильноосновных анионитах с алифатическими аминогруппами» (табл. 29 и 30), хотя в исследованном анионите такие группы не должны присутствовать, небрежно выполнен рис. 45, на котором приведены ИК-спектры образцов импреганта (выбран крайне мелкий шрифт на шкале оси абсцисс и слишком широкий шаг шкалы – 500 см^{-1}), и никак не обсуждено наличие в его спектре полос, соответствующих колебаниям карбоксильных групп.

4. Не вполне уместно называть примесями по отношению к урану хлорид- и сульфат-ионы, концентрация которых в растворах на 1–2 порядка выше концентрации урана.

5. Автор убедительно доказал преимущество анионита Axionit VPA G2.4 над другими известными анионитами, используемыми на практике при извлечении урана из растворов ПВ в экспериментах, проведенных на модельных растворах, но в завершающей части, посвященной опробованию этого анионита при переработке реальных растворов АО «Хиагда», сравнение показателей, достигаемых при сорбционном извлечении урана предлагаемым анионитом и ныне используемым (каким?), отсутствует. Это не позволяет в полной мере оценить целесообразность замены в этой технологии применяемого анионита на новый. К тому же следовало бы учесть ценовой фактор. Несомненно, автор поторопился, и такие данные у него имеются.

6. В тесте диссертации имеются отдельные описки и неточности. Например, на стр. 21 дважды повторяется одно и то же предложение, на схеме, приведенной на рис. 6, стр. 26, указано, что десорбцию рения проводят 10 %-ным раствором аммиака, а в тексте на следующей странице – 2 %-ным раствором, в литературном обзоре зачастую приводятся наименование марок малоизвестных, по-видимому, экспериментальных анионитов без расшифровки их функциональности.

Высказанные замечания не затрагивают существа диссертационной работы, выполненной на высоком уровне, и не влияют на ее **общую положительную оценку**.

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 шелоков, 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 совершенствования сорбционного извлечения урана и рения из растворов подземного выщелачивания полиметалльных руд, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие редкометалльной 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.

Доктор технических наук, заведующий кафедрой
технологии редких элементов и наноматериалов
на их основе Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский
государственный технологический институт
(технический университет)»

Блохин — Блохин Александр Андреевич

Адрес организации: 190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 26

Тел: +7(921) 3445480

E-mail: blokhin@list.ru

