

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ ИМЕНИ АКАДЕМИКА А.А. БОЧВАРА»  
(АО «ВНИИНМ»)**

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
АО «ВНИИНМ»,  
Кандидат химических наук



Л.А. Карпюк  
10 2022 г.



**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

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

После распада СССР производство редких металлов в России резко сократилось. Учитывая потребность в рении ряда важнейших стратегических отраслей промышленности, для обеспечения независимости нашей страны от внешних поставок этого металла необходимо отработать процесс его попутного извлечения из промышленно освоенных объектов – растворов подземного выщелачивания урановых руд. Ресурсный потенциал урансодержащих сырьевых источников составляет ~75 % в структуре минерально-органического рениевого сырья России.

**Актуальность** представленной диссертационной работы определяется и необходимостью повышения извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания урановых руд, расположенных в климатической зоне вечной мерзлоты и отличающихся низкой температурой.

**Научная новизна** диссертации состоит в следующем:

- емкость по урану гелевого анионита с функциональными группами N-метилпиридиниевого азота при сорбции из сернокислых растворов с температурой 4–8 °С выше емкости используемой смеси анионитов на основе смолы АМП;
- впервые определены значения времени полусорбции, константы скорости и эффективные коэффициенты диффузии при сорбции урана гелевым анионитом с группами N-метилпиридиниевого азота при низких температурах (4–15 °С);
- выявлена лучшая модель – псевдо-второго порядка для описания кинетических данных по сорбции урана гелевым анионитом с пиридиниевыми функциональными группами и рения импрегнатом-ТАА из сернокислых растворов;
- установлена лимитирующая стадия сорбции урана гелевым анионитом с группами N-метилпиридиниевого азота из растворов с низкой температурой – внешняя диффузия.

**Практическая значимость работы** определяется тем, что:

- выявлен новый анионит – гелевый анионит VPA G2.4 с пиридиниевыми группами, применение которого позволило извлечь рений из продуктивных растворов подземного выщелачивания (ПВ) Далматовского месторождения (АО «Далур») со степенью 92,4 %;
- предложена блок-схема извлечения рения из сернокислых растворов подземного выщелачивания, включающая стадию концентрирования на втором этапе сорбции из оборотных растворов ПВ импрегнатом на основе третичного амина (К-ТАА);
- в лабораторном и полупромышленном масштабе проведены испытания извлечения урана с использованием гелевого анионита VPA G2.4 из низкотемпературных продуктивных растворов ПВ руд Хиагдинского рудного

поля (АО «Хиагда»), показавшие увеличение емкости гелевого анионита в ~3,0 раза по сравнению с используемой смесью анионитов на основе сильноосновного анионита АМП;

– выданы необходимые данные для расчета габаритов оборудования при проведении промышленных испытаний, а также технико-экономического обоснования перехода предприятия АО «Хиагда» на проведение сорбционного передела на базе этого анионита.

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. Акт о проведении испытаний сорбционного извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания на предприятии АО «Хиагда» приложен в конце диссертации.

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

**Глава 1.** В литературном обзоре диссертант анализирует имеющиеся данные по распределению рения в продуктах ПВ и попутному извлечению рения, а также урана при совместном присутствии этих металлов в продуктивных и оборотных растворах. Описан опыт по извлечению рения и урана из растворов ПВ в Казахстане и Узбекистане. После изучения и анализа литературных источников, автор обращает внимание на то, что растворы после сорбции урана и рения на сильноосновном анионите (остаточные), содержащие до 80 % рения от исходного в продуктивных растворах ПВ, являются дополнительным его источником. В России отсутствует производство ионитов, позволяющих эффективно извлекать рений из растворов. Данные по влиянию температуры на сорбцию урана

ограничены, а сведения по сорбции урана из растворов с низкой температурой практически отсутствуют.

В методической части работы (**глава 2**) приведены методики анализов используемых растворов, опытов по сорбции и десорбции в статике и динамике, характеристики применяемых анионитов, схемы установок для проведения испытаний.

**Глава 3** отражает результаты поиска сорбента для извлечения урана из низкотемпературных продуктивных растворов, в том числе, в присутствии урана в модельных растворах. Диссертантом найден гелевый анионит с группами N-метилпиридиниевого азота (VPA G2.4) со значительно лучшими равновесными характеристиками, чем характеристики других зарубежных аналогов, синтезируемых в Китае, Индии, Англии, и используемой в сорбционном переделе предприятия АО «Хиагда» ионите, представляющем смесь анионитов с преимущественным содержанием смолы АМП.

Диссертантом детально изучены равновесные, кинетические и динамические характеристики выбранного гелевого анионита с обработкой данных с помощью известных моделей. На основании анализа ИК спектров предложен механизм ионного обмена для трисульфатоуранилат-иона  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  и перренат-иона  $\text{ReO}_4^-$  с сульфат (бисульфат)-ионом, связанным с катионом пиридиния в анионите.

Диссертантом установлена лимитирующая стадия сорбции урана – внешняя диффузия.

**Глава 4** посвящена созданию и исследованию свойств полученных диссертантом импрегнатов, содержащих третичный амин, с варьированием типа полимерной матрицы. Выбран импрегнат на основе катионита – К-ТАА.

Изучены его равновесные и кинетические характеристики, проведена обработка данных по различным моделям и выявлено, что изотерма сорбции

адекватно описывается по модели Ленгмюра, интегральные кинетические кривые – по модели псевдо-второго порядка.

**В главе 5** представлены результаты тестирования выбранного в работе гелевого анионита Axionit VPA G2.4 для извлечения рения и урана из реальных технологических растворов, образующихся на полигонах скважинного подземного выщелачивания в России.

Испытаниями в лабораторных условиях установлено, что степень извлечения рения из растворов ПВ урановых руд Далматовского месторождения (АО «Далур», Курганская область) в выбранных условиях составляет за один контакт 92,4 %.

Диссертантом приводится последовательность технологических операций при извлечении рения из продуктивных сернокислых растворов подземного выщелачивания урана, включающая стадию вторичного концентрирования рения импрегнатом-ТАА. Такая схема позволяет эффективно сконцентрировать рений и исключить последующую экстракционную перечистку.

Большой массив данных, имеющих важное практическое значение, получен при проведении трехмесячных полупромышленных испытаний сорбции урана из продуктивных растворов ПВ месторождений Хиагдинского поля (АО «Хиагда»).

Данные, полученные в лабораторных условиях с использованием модельных и реальных растворов, а также в полупромышленных условиях, хорошо согласуются между собой и показывают более высокую равновесную емкость выбранного гелевого анионита, достаточную механическую прочность.

Диссертантом получены параметры для формирования исходных данных для технико-экономического обоснования перехода на этот анионит.

Чистый приведенный доход до 2064 г. составит 1218,9 млн. руб. (оценка, проведенная в АО «ВНИПИпромтехнологии»), что подтверждает практическую значимость работы.

В завершении представлены общие выводы по работе и заключение, а также список использованных источников, включающий 154 ссылки на работы отечественных и зарубежных авторов.

Следует отметить, что основные результаты работы опубликованы в печати, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также докладывались и обсуждались на многочисленных международных и российских симпозиумах и конференциях.

По работе можно сделать следующие замечания.

1. Предложенная автором последовательность операций сорбционного извлечения рения из урансодержащих растворов (глава 4), предполагает получение перрената аммония марки AP-1. Обеспечат ли операции двухстадийной сорбции (на слабоосновном анионите и импрегнате К-ТАА) из растворов подземного выщелачивания сложного состава качество перрената аммония по имеющимся техническим условиям?

2. Был ли проведен анализ рения в продуктивных растворах, образующихся при подземном выщелачивании урана руд Хиагдинского рудного поля? В каком диапазоне концентраций варьируется его содержание?

3. Было ли проведено сравнение составов элюата, образующихся при десорбции с гелевого анионита VPA G2.4 и реальной используемой смеси анионитов? Оценивали ли качество получаемого «желтого кека» при использовании выбранного нового анионита?

4. В тексте диссертации не представлен расчет чистого приведенного дохода до 2064 года. Не совсем понятно, учитывалось ли получение рения при расчете?

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне. Следует подчеркнуть, что полученные автором результаты являются достаточно надежной основой для извлечения урана и

рения из продуктивных и обратных растворов подземного выщелачивания урана и его последующего концентрирования.

**Достоверность** полученных автором результатов базируется на применении комплекса современных методов исследований (фотометрии, масс-спектрометрии, ИК-Фурье спектрометрии и др.), результаты которых подтверждают и взаимно дополняют друг друга, большом объеме экспериментальных результатов, хорошей сходимости данных, полученных с использованием модельных и технологических растворов.

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 Ведущем научно-исследовательском институте химической технологии, Акционерном обществе «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья имени Н.М. Федоровского, Акционерном обществе «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», 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 «Далур», Акционерном обществе «Хиагда», Акционерном обществе «Атомредметзолото», Акционерном обществе «РУСБУРМАШ».

Полученные научные результаты могут быть использованы для разработки новых ресурсосберегающих методов комплексной переработки редкометалльного минерального и техногенного сырья. Перспективы практического использования результатов работы связаны с апробацией сорбционного извлечения урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания руд месторождения Добровольное (Курганская область), проведением промышленных испытаний и внедрением сорбции урана из продуктивных растворов, образующихся при переработке руд месторождений Хиагдинского рудного поля.

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 усовершенствования сорбционного извлечения рения и урана из растворов подземного выщелачивания полиметалльных руд Российской Федерации, имеющей существенное значение для 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 Федор Ярославович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Отзыв на кандидатскую диссертацию Вацуры Федора Ярославовича был рассмотрен и одобрен на заседании НТС научного технологического отделения П-220 Акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» 04.10.2022 г. (протокол № 59).

Кандидат химических наук,  
доцент  
старший научный сотрудник



Сафиулина Алфия  
Минеровна

отдела радиохимических  
технологий Акционерного  
Общества  
«Высокотехнологический научно-  
исследовательский институт  
неорганических материалов им.  
академика А.А. Бочвара»

Кандидат экономических наук,  
ученый секретарь  
Акционерного Общества  
«Высокотехнологический научно-  
исследовательский институт  
неорганических материалов им.  
академика А.А. Бочвара»



Поздеев Михаил  
Васильевич

Сафиулина А.М.  
Москва, ул. Рогова, 5а, 123098 Россия; <http://www.bochvar.ru/>  
E-mail: [amsafiulina@bochvar.ru](mailto:amsafiulina@bochvar.ru)  
+7(499)190-89-99 доб. 74-11