

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. ректора

РХТУ им. Д.И. Менделеева

д.т.н., профессор

И. В. Воротынцев

2022 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Вацуры Фёдора Ярославовича на тему: «Сорбционное извлечение рения и урана из сернокислых растворов подземного выщелачивания полиметаллического сырья» по научной специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов выполнена на кафедре технологии редких элементов и наноматериалов на их основе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» и в научно-исследовательском отделе технологий, геомеханики и недропользования Акционерного общества «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии».

В процессе подготовки диссертации Вацура Фёдор Ярославович, «26» января 1994 года рождения, являлся аспирантом кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева с 01 сентября 2018 года по 31 августа 2022 года.

Справка об обучении выдана Российским химико-технологическим университетом им. Д. И. Менделеева в 2022 году.

Научный руководитель:

– доктор технических наук (специальность 05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов), профессор, профессор кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе Российского

химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева Трошкина Ирина Дмитриевна.

Научный консультант:

– кандидат технических наук (специальность 05.17.02 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов), начальник научно-исследовательского отдела технологий, геомеханики и недропользования Акционерного общества «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» Головки Валерий Васильевич.

По результатам рассмотрения диссертации Вацуры Фёдора Ярославовича на тему: «Сорбционное извлечение рения и урана из сернокислых растворов подземного выщелачивания полиметаллического сырья» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью обеспечения отечественной сырьевой базы соединениями критически важных редких металлов, которые могут быть получены сорбционным методом из сернокислых растворов подземного выщелачивания полиметаллических руд.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Установлено, что более высокой емкостью по урану при сорбции из сернокислых растворов с температурой 4–8 °С по сравнению с емкостью используемой смеси анионитов на основе смолы АМП обладает гелевый анионит с функциональными группами N-метилпиридиниевого азота.

2. Впервые определены кинетические характеристики по урану гелевого анионита с группами N-метилпиридиниевого азота при низких температурах (4, 8 и 15 °С): время полусорбции ($1,62 \cdot 10^4$, $1,50 \cdot 10^4$ и $1,32 \cdot 10^4$ с), константы скорости ($9,56 \cdot 10^{-3}$, $6,97 \cdot 10^{-3}$ и $6,56 \cdot 10^{-3}$ г·мг⁻¹·мин⁻¹), эффективные коэффициенты диффузии ($3,6 \cdot 10^{-13}$, $3,9 \cdot 10^{-13}$ и $4,4 \cdot 10^{-13}$ м²/с).

3. Установлено, что кинетические данные по сорбции урана гелевым анионитом с пиридиниевыми функциональными группами и рения импрегнатом на основе триалкиламина из сернокислых растворов описываются по модели псевдо-второго порядка.

4. Значение кажущейся энергии активации сорбции урана гелевым анионитом с пиридиновые группы ($12,7 \pm 0,5$ кДж/моль), свидетельствует о протекании сорбции из растворов с низкой температурой во внешнеламнарной области.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Показана возможность извлечения урана гелевым анионитом VPA G2.4 из продуктивных растворов ПВ полиметаллических руд Далматовского месторождения (АО «Далур») со степенью сорбции 92,4 %.

2. Предложена блок-схема извлечения урана с концентрированием на второй стадии сорбции из оборотных растворов ПВ импрегнированных на основе третичного амина (К-ТАА).

3. На опытной установке проведены полупромышленные испытания сорбционного извлечения урана гелевым анионитом VPA G2.4 из продуктивных растворов ПВ руд (АО «Хиагда»). Емкость гелевого анионита по урану по сравнению с используемым выше в $\sim 3,0$ раза, что позволяет рекомендовать выбранный в работе сорбент для совершенствования сорбционной технологии подземного выщелачивания урана, осуществляемого при низких температурах.

4. Выданы данные по расчету габаритов оборудования для проведения промышленных испытаний сорбции урана из продуктивных растворов подземного выщелачивания и технико-экономического обоснования перехода предприятия АО «Хиагда» на работу с гелевым анионитом VPA G2.4.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 19 печатных изданиях, в том числе в журналах, входящих в международные базы данных научного цитирования – 3 статьи.

Результаты диссертации представлены на 13 международных и всероссийских конференциях, в том числе на XX Всероссийской конференции молодых ученых-химиков (с международным участием) (Нижний Новгород, 2017), Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической

технологии «МКХТ-2019» (Москва, 2019), Четвертом и пятом международном симпозиуме «Уран: геология, ресурсы, производство» (Москва, 2017, 2021), 10 Международном симпозиуме по технецию и рению: наука и применение (Москва, 2018), Международной научно-практической конференции «Интенсификация гидрометаллургических процессов переработки природного и техногенного сырья. Технологии и оборудование» (Санкт-Петербург, 2018), VI Всероссийской конференции с международным участием «Техническая химия. От теории к практике» (Пермь, 2019), IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности» (Алматы, 2019), Международной научно-технической конференции «Химические технологии в потенциале Росатома» (Москва, 2019), Научно-практической конференции «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование» (Москва, 2020),: Всероссийском интернет-симпозиуме с международным участием «Физико-химические проблемы адсорбции и технологии нанопористых материалов» (Москва, 2020), Научно-практической конференции «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение», РедМет-2021, Сажинские чтения (Москва, 2021), Всероссийском симпозиуме с международным участием «Адсорбенты и промышленные адсорбционные процессы в XXI веке» (Москва, 2021).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Трошкина И.Д., Веселова О.А., Вацура Ф.Я., Захарьян С.В., Серикбай А.У. Сорбция рения из сернокислых растворов импрегнатами, содержащими триалкиламин // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2017. № 5. С. 42–49. (Scopus).
2. Руденко А. А., Трошкина И. Д., Данилейко В. В. , Барабанов О. С., Вацура Ф.Я. Перспективы селективно-опережающего извлечения рения из продуктивных растворов подземного выщелачивания урановых руд месторождения Добровольное // Горные науки и технологии. 2021. Т. 6. Вып. 3. С. 158–169. (Scopus).
3. Вацура Ф.Я., Трошкина И.Д., Буланова Д.А. Сорбция урана гелевым сильноосновным анионитом из сернокислых растворов подземного

выщелачивания // Химическая промышленность сегодня. 2021. № 6. С. 36–43. (Chemical Abstracts).

Публичные доклады на международных и российских научных мероприятиях:

1. Вацура Ф.Я., Веселова О.А., Трошкина И.Д. Динамика сорбции рения импрегнатом, содержащим триалкиламин // XX Всеросс. конф. молодых ученых-химиков (с междунар. участием): тезисы докл. (Нижний Новгород, 18–20 апреля 2017 г.). Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2017. С. 478.

2. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Ванин И.А., Вацура Ф.Я. Сорбция рения из сернокислых растворов выщелачивания полиметалльных руд // Материалы Четвертого международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство», 28-30 ноября 2017 г. М.: ФГБУ «ВИМС», 2017. С. 110–111.

3. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Вацура Ф.Я., Пьяе Пьо Аунг, Жукова О.А., Ратчина К.А. Сорбция рения и скандия материалами с подвижной фазой экстрагента // Международная научно-практическая конференция «Интенсификация гидрометаллургических процессов переработки природного и техногенного сырья. Технологии и оборудование». Материалы научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 28 мая – 1 июня 2018 г. Санкт-Петербург: Изд. СПбГТИ (ТУ), 2018. С. 164–165.

4. Troshkina I.D., Balanovskyi N.V., Obruchnikova Ya.A., Vatsura F.Ya., Vanin I.A., Zhukova O.A., Ratchina K.A. Recovery of rhenium by amine-contained sorbents // Proceedings and selected lectures of the 10th International Symposium on Technetium and Rhenium – Science and Utilization, October 3-6 –Moscow – Russia, Eds.: K. German, X. Gaona, M. Ozawa, Ya. Obruchnikova, E. Johnstone, A. Maruk, M. Chotkowski, I. Troshkina, A. Safonov. Moscow: Publishing House Granitsa, 2018. P. 356.

5. Troshkina I.D., Balanovskyi N.V., Obruchnikova Ya.A., Vanin V.A., Vatsura F.Ya. Sorption of rhenium from sulfuric acid solutions of polymetallic ores leaching // Proceedings and selected lectures of the 10th International Symposium on Technetium and Rhenium – Science and Utilization, October 3-6 –Moscow – Russia, Eds.:

K. German, X. Gaona, M. Ozawa, Ya. Obruchnikova, E. Johnstone, A. Maruk, M. Chotkowski, I. Troshkina, A. Safonov. Moscow: Publishing House Granitsa, 2018. P. 357–380.

6. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Вацура Ф.Я., Жукова А.А., Пьяе Пьо Аунг, Тарганов И.Е. Импрегнаты и ТВЭКСы в технологии редких элементов // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. XXXIII, № 1 (211). М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. С. 66–67.

7. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Пьяе Пьо Аунг, Вацура Ф.Я., Жукова О.А. Извлечение рения и скандия экстрагентосодержащими сорбентами // Тезисы VI Всероссийской конференции с международным участием «Техническая химия. От теории к практике», посвященной 85-летию со дня рождения чл.-корр. РАН Ю.С. Клячкина (1934-2000): Сб. тезисов / под ред. Г.В. Черновой; Институт технической химии УРО РАН – филиал ПФИЦ Уро РАН. Пермь, 2019. С. 183.

8. Вацура Ф.Я., Тарганов И.Е., Субботина И.А., Шляпникова А.А., Жукова О.А., Трошкина И.Д. Сорбция рения импрегнатами на основе вторичных и третичных аминов // Тезисы VI Всероссийской конференции с международным участием «Техническая химия. От теории к практике», посвященной 85-летию со дня рождения чл.-корр. РАН Ю.С. Клячкина (1934-2000): Сб. тезисов / под ред. Г.В. Черновой; Институт технической химии УРО РАН – филиал ПФИЦ Уро РАН. Пермь, 2019. С. 99.

9. Вацура Ф.Я., Тарганов И.Е., Кадирбеков А.А., Пьяе Пьо Аунг, Трошкина И.Д. Адсорбционная очистка рафинатов, содержащих амин // Успехи в химии и химической технологии. Успехи в химии и химической технологии. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2019. Т. 33. № 9 (219). С. 37–39.

10. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Ванин И.А., Гакиев А.Л., Вацура Ф.Я., Тарганов И.Е. Селективное извлечение рения из урансодержащих серноокислых растворов // Актуальные проблемы урановой промышленности: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Ч. 2. 7-9 ноября 2019 г. Алматы: Қазақ университеті, 2019. С. 88–90.

11. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Вацура Ф.Я., Гакиев А.Л., Тарганов И.Е. Избирательное извлечение урана из урановых сернокислых растворов // Химические технологии в потенциале Росатома: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. ООО «Винпресс». 2020. С. 34–35.

12. Трошкина И.Д., Балановский Н.В., Ванин И.А., Вацура Ф.Я., Тарганов И.Е. Повышение комплексности сорбционной переработки урансодержащих растворов подземного выщелачивания // Труды научно-практической конференции «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование». М.: ФГБУ «ВИМС». 2020. С. 171–176.

13. Головкин В.В., Вацура Ф.Я., Савельев Д.С., Трошкина И.Д. Кинетика низкотемпературной сорбции урана из растворов подземного выщелачивания урана // Физико-химические проблемы адсорбции и технологии нанопористых материалов: всероссийский интернет-симпозиум с международным участием. 19 октября -15 ноября, 2020, Москва, Россия. Материалы интернет-симпозиума. – М.: ИФХЭ РАН, 2020. С. 168–170.

14. Вацура Ф.Я., Трошкина И.Д. Сорбционное извлечение урана из низкотемпературных сернокислых растворов подземного выщелачивания // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXV, № 13 (248). М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2021. С. 19–21.

15. Трошкина И.Д., Руденко А.А., Ванин И.А., Вацура Ф.Я., Гакиев А.Л., Буланова Д.А. Перспективы извлечения урана при переработке урановых руд методом подземного выщелачивания // Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение. РедМет–2021 («Сажинские чтения»). Сборник тезисов. Москва. 9–10 декабря 2021 г. Москва: WAYprint. 2021. С. 122–123.

16. Вацура Ф.Я., Головкин В.В., Трошкина И.Д., Буланова Д.А., Барбашина С.И. Сорбция урана из сернокислых растворов гелевым анионитом с

пиридиновыми группами // Пятый международный симпозиум «Уран: геология, ресурсы, производство». Москва, ВИМС. 23–24 ноября 2021 г. С. 355–361.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов по направлению исследования: «Очистка и концентрирование рудных щелоков, газообразных и твердых продуктов разложения рудных концентратов и других видов сырья».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Вацуры Фёдора Ярославовича является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Вацуре Фёдору Ярославовичу; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Сорбционное извлечение рения и урана из сернокислых растворов подземного выщелачивания полиметаллического сырья» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, состоявшемся «11» мая 2022 года, протокол № 12.

В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой Степанов С.И., профессор Чижевская С.В., профессор Трошкина И.Д., доцент Бояринцев А.В., доцент Жуков А.В. старший преподаватель Шустиков А.А., ведущий научный сотрудник Герман К.Э.

Принимало участие в голосовании 9 человек. Результаты голосования: «За» – 9 человек, «Против» – нет, воздержались – нет, протокол № 12 от «11» мая 2022 г.

Заведующий кафедрой технологии
редких элементов и наноматериалов
на их основе, д.х.н., профессор

Степанов С.И.

Секретарь кафедры технологии
редких элементов и наноматериалов
на их основе, ведущий инженер, к.х.н.

Чибрикина Е.И.