

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Пироженко Кирилла Юрьевича на тему «Сорбционное извлечение скандия из возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания урана», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Скандий в основном применяют как добавку в алюминиевые сплавы для авиа- и ракетостроения. Перспективными областями его использования являются изготовление твердооксидных топливных элементов, целого ряда материалов электронной техники, катализаторов, лазерных материалов, и др.

С 1991 г. в Российской Федерации скандий и его соединения в промышленном масштабе не производят. Для получения алюминиево-скандиевой лигатуры используются запасы оксида скандия, наработанного ранее. Поэтому разработка эффективных методов извлечения, концентрирования, очистки соединений скандия от примесей и разработка на их основе технологических схем извлечения скандия из новых видов сырья является актуальной задачей.

При изготовлении алюминиево-скандиевой лигатуры используют фторид скандия или его оксид в присутствии фторирующего флюса, поэтому разработка технологических схем с получением фторида скандия позволит упростить процесс получения лигатуры.

Объектом исследования автором обоснованно выбраны возвратные растворы скважинного подземного выщелачивания урана с содержанием скандия от долей до единиц миллиграммов на литр, поскольку извлечение скандия из растворов исключает необходимость в проведении выщелачивания и значительно уменьшает себестоимость продукции. Таким образом, **тема диссертации, безусловно, актуальна.**

Диссертационная работа Пироженко К.Ю. состоит из введения, 2 глав основной части, заключения, списка литературы из 191 наименования и приложения. Работа изложена на 131 странице, содержит 30 таблиц, 50 рисунков.

Литературный обзор включает характеристику минерально-сырьевой базы скандия, анализ областей применения скандия (в том числе перспективы его использования в новых областях техники), и анализ технологических решений по его извлечению из различных типов сырья.

Содержание методического раздела, включающего оригинальные методики исследования растворимости, определения физико-химических свойств ионитов, аналитического определения скандия в растворах сложного состава, свидетельствует о том, что диссертант уделил значительное внимание выбору методик исследования для решения поставленных задач.

Разработанная схема извлечения скандия из растворов скважинного подземного выщелачивания урана позволяет направить возвратный раствор после сорбции скандия на стадию подземного выщелачивания урана, организовать оборот десорбирующих и промывных растворов, а также направить большинство образующихся по схеме сбросных растворов и твердых отходов после необходимой обработки на подземное выщелачивание урана.

Успешное решение технологических задач оказалось возможным на основе систематического исследования в области химии и технологии комплексных фторидов скандия.

В работе К.Ю. Пироженко:

1. На основе экспериментально полученных данных по равновесию и кинетике сорбции скандия из раствора сернокислотного скважинного подземного выщелачивания урана с использованием фосфорсодержащих сорбентов последнего поколения установлено, что лучшие сорбционные характеристики имеют иониты Purolite S957 и волокнистый ионит ФИБАН Р-1-3.
2. По данным кинетического исследования сорбции скандия на макропористых ионитах Purolite S957, Lewatit TP260 и волокнистом ионите ФИБАН Р-1-3 из сернокислых растворов сульфата скандия установлен внутридиффузионный характер кинетики сорбции скандия для ионитов Lewatit TP260 и Purolite S957 и внешнедиффузионный для волокнистого ионита ФИБАН Р-1-3.
3. Изучено равновесие в системе  $(\text{NH}_4)_3\text{ScF}_6\text{-NH}_4\text{HF}_2\text{-H}_2\text{O}$  и построены изотермы растворимости гексафторскандата аммония в растворе гидродифторида аммония в интервале концентраций  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  0,05–3,5 моль/л при температурах 18 и 90°C; установлен инконгруэнтный характер растворимости  $(\text{NH}_4)_3\text{ScF}_6$  в исследованных условиях.
4. Впервые выделена из раствора новая фаза соединения  $(\text{NH}_4)_5\text{Sc}_3\text{F}_{14}$ , и определены условия ее существования. С применением рентгеноструктурного анализа установлено, что новая фаза имеет тетрагональную решетку (пространственная группа  $I41/a$ ) с периодами  $a=0,80843$  нм и  $c=2,5177$  нм; определены координаты атомов, длины связей и установлена структура соединения.

Перечисленные результаты характеризуют **научную новизну работы**. Следует отметить, что все исследования и их результаты направлены на решение технологических задач получения фторида скандия при сорбционном извлечении его из возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания урана.

**Практическая значимость работы** определяется следующими результатами:

1. В результате исследований, проведенных совместно с сотрудниками ИФОХ НАН Беларуси, разработан новый волокнистый ионит ФИБАН Р-1-3 на основе полиакрилонитрила с аминометилфосфоновой функциональной группой для извлечения скандия из растворов сложного солевого состава, имеющий высокую селективность к скандию.
2. Предложен новый метод десорбции скандия с фосфорсодержащих ионитов 1М раствором гидродифторида аммония. Его использование, по сравнению с известными методами десорбции скандия карбонатами щелочных металлов и фторида аммония, позволяет эффективно проводить процесс без повышения температуры, а также организовать оборот десорбента.
3. Разработана принципиальная технологическая схема получения фторида скандия из возвратного раствора скважинного подземного выщелачивания урана, включающая сорбцию скандия с использованием ионита PuroliteS957 или ФИБАН Р-1-3, десорбцию примесей раствором серной кислоты с последующим донасыщением ионита по скандию, десорбцию скандия 1М раствором гидродифторида аммония, сорбцию скандия из десорбата на анионите АВ-17 с десорбцией 1М раствором гидродифторида аммония, осаждение смеси фторидов скандия фторидом натрия, и

получение фторида скандия известным способом.

Разработанная схема испытана в укрупнено-лабораторном масштабе на предприятии ООО Интермикс Мет с использованием растворов скважинного подземного выщелачивания урана одного из предприятий АО Атомредметзолото. В результате получен фторидный концентрат с содержанием скандия 9,1% и высокой степенью отделения примесей урана и тория.

**Достоверность** представленных в диссертации результатов определяется большим объемом проведенных исследований, а также использованием ряда физико-химических методов исследования (рентгенофазовый анализ, рентгеноструктурный анализ, рентгенофлуоресцентная спектрометрия, ИК- и Мёссбауэровская спектроскопия), а также результатами испытаний, которые подтвердили эффективность разработки.

Результаты исследований, приведенные в диссертации, прошли апробацию на 6 международных и российских конференциях, а также при рецензировании 3 статей, опубликованных в научных журналах.

Результаты работы могут представить интерес для ряда ВУЗов, научно-исследовательских и производственных организаций: Московского технологического университета МИРЭА, Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, АО «ВНИПИпромтехнологии», АО ДАЛУР, АО Хиагда.

Диссертация хорошо оформлена. Автореферат соответствует содержанию диссертации, а публикации автора с достаточной полнотой передают ее содержание.

#### **Замечания по диссертации:**

1. Следовало бы подробнее рассмотреть обесфторивание ионита при регенерации.
2. Для волокнистого сорбента ФИБАН Р-1-3 установлено удовлетворительное восстановление емкости по скандию при проведении двух циклов сорбции-десорбции, однако этого недостаточно для заключения о сохранении емкости по скандию при его длительном использовании.
3. Не ясно как ведет себя скандий при десорбции при донасыщении.

Сделанные замечания не препятствуют положительной оценке представленной диссертации. Автор показал, что умеет рационально использовать современные методы исследования, корректно обсуждает полученные результаты и делает обоснованные выводы.

По новизне и актуальности полученных результатов, научно-методическому уровню и практической значимости диссертация Пироженко К.Ю. полностью соответствует всем требованиям, установленным п. 8 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства РФ (24.09.13 №842), а ее автор, несомненно, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

#### **Данные о рецензенте:**

**Ученая степень, ученое звание:** доктор химических наук, специальность 05.17.02

«Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

**Должность:** профессор кафедры химии и технологии редких и рассеянных элементов, наноразмерных и композиционных им. К.А.Большакова

**Место работы:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский технологический университет" (МИТХТ им. М.В. Ломоносова)

**Фамилия, имя, отчество:** Резник Александр Маркович

**Адрес места работы:** 119571, Москва В-571. пр. Вернадского 86

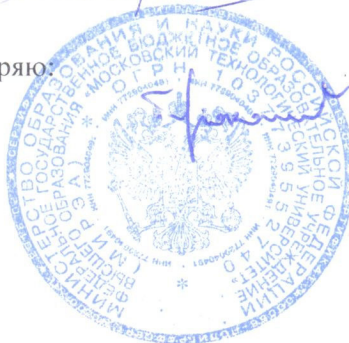
**тел.** +7 499 215-65-65

д.х.н. профессор

Резник А.М.

Подпись Резника А.М. заверяю:

Первый проректор



Прокопов Н.И.