

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора федерального
государственного бюджетного
учреждения науки института
металлургии и материаловедения им.
А.А. Байкова Российской академии
наук (ИМЕТ РАН)

А. Г. Колмаков

28 мая 2016 год

ОТЗЫВ

ведущей организации 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 является незаменимым элементом для создания алюминиевых сплавов с его добавкой для авиа и ракетостроения, космической техники. При снижении цены на соединения скандия он может быть использован в целом ряде других направлений – в составе электролита при изготовлении твердотопливных элементов, в производстве инновационных материалов электронной техники, для изготовления катализаторов органического синтеза, и других.

Скандий является рассеянным элементом и не образует собственных месторождений. Поэтому значительный интерес представляет извлечение скандия попутно, когда в переработку вовлекаются технологическое сырьё различных производств (урана, титана и циркония) с концентрацией скандия на уровне десятых и сотых долей процента. В Российской Федерации таким источником сырья являются возвратные растворы сернокислотного скважинного подземного выщелачивания урана. В настоящее время продуктивные растворы выщелачивания урана с содержанием скандия от 0,5 до 2 мг/л поступают на сорбцию урана, при этом скандий не извлекается анионитом; возвратные растворы после доукрепления по кислоте направляются вновь на выщелачивание урана без извлечения ценных составляющих. Ежегодное попутное извлечение скандия из этого сырья может составить десятки тонн, поэтому разработка новых технологических схем извлечения скандия из возвратного раствора скважинного подземного выщелачивания урана *является актуальной.*

Диссертационная работа Пироженко К.Ю. посвящена решению задачи извлечения

из возвратного раствора скважинного подземного выщелачивания урана с получением фторида скандия.

Главным направлением исследований является разработка сорбционного метода извлечения скандия из возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания урана. Для решения поставленной задачи выбраны два наиболее эффективных фосфорсодержащих ионита; изучено равновесие, кинетика и динамика сорбции скандия на выбранных ионитах; разработан способ эффективной десорбции скандия, предложены методы концентрирования скандия донасыщением ионита после удаления примесей промывкой серной кислоты, и из раствора десорбата сорбцией на анионите АВ-17.

Экспериментальную часть диссертации предваряет весьма содержательный литературный обзор (с. 9-39), включающий характеристику минерально-сырьевых ресурсов скандия, анализ областей применения скандия и его соединений, а также технологии его извлечения из различных видов первичного и техногенного сырья.

В необходимом объеме представлены сведения по методам анализа и исследования, использованного оборудования.

Научная новизна и теоретическое значение диссертационной работы заключается в следующем:

-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.

-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.

-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 гидрофторида аммония в интервале концентраций NH_4HF_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.

-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.

Рецензируемая работа, безусловно, имеет *практическую значимость*. Прежде всего, в результате исследований, проведенных совместно с сотрудниками ИФОХ НАН Беларуси, разработан новый волокнистый ионит ФИБАН Р-1-3 на основе полиакрилонитрила с аминотетрафосфоновой функциональной группой для извлечения скандия из растворов сложного солевого состава, имеющий высокую селективность к скандию. Далее, практическое значение имеет предложенный новый метод десорбции скандия с фосфорсодержащих ионитов 1М раствором гидродифторида аммония, использование которого 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. По итогам полученных экспериментальных данных разработана принципиальная технологическая схема получения фторида скандия из возвратного раствора скважинного подземного выщелачивания урана, включающая сорбцию скандия с использованием ионита Purolite S957 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.

Технологическая схема, представленная в работе, успешно прошла укрупненные лабораторные испытания 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, подтверждающей эффективность разработанной схемы.

Достоверность представленных результатов в диссертации определяется использованием комплекса физико-химических исследований (эмиссионно-спектральный метод с индуктивно-связанной плазмой, рентгенофлуоресцентный анализ, рентгенофазовый анализ, рентгеноструктурный анализ, ИК и Мёссбауэровская спектроскопия, методы химического анализа и др.), взаимоподтверждающих экспериментальные данные, а также результатами опытно-промышленных испытаний.

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

При рассмотрении диссертации возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. В работе не уделено достаточного внимания оценке величины потерь скандия на стадиях разработанной схемы.

2. Помимо скандия возвратные растворы содержат РЗМ, около 90% которых не сорбируется на используемых в работе ионитах. Возможно ли их извлечение?

3. Следовало бы указать области применимости разработанного сорбционного способа извлечения скандия для других видов скандиевого сырья.

Сделанные замечания не препятствуют высокой положительной оценке представленной диссертации. Диссертационная работа выполнена на высоком научном и методическом уровне. Выводы, сделанные автором, полностью соответствуют цели и поставленным задачам исследования.

Результаты представленной работы могут представлять интерес для ряда вузов, научно-исследовательских организаций и производственных предприятий, таких как Московский технологический университет МИРЭА, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, АО ДАЛУР, АО Хиагда, ПАО «ППГХО».

В целом, диссертационная работа Пироженко К.Ю. является завершенным научным исследованием, по своей актуальности, новизне, теоретической и практической значимости она соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства РФ (от 29.09.13. №842), предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор Пироженко Кирилл Юрьевич заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании коллоквиума лаборатории физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов (ИМЕТ РАН), 119334, Москва, ул. Ленинский пр.49, тел.:+7 499 135-2060; imet@imet.ac.ru, протокол № 1 от 20 мая 2016 г.

Председатель

профессор доктор технических наук



Иванов Ю.М.

Ученый секретарь, к.т.н.



Фомина О.Н.

Иванов Юрий Михайлович

119334, Москва, ул. Ленинский пр.49

Тел.: (499) 135-94-69;



Подписи Иванова Ю.М.
и О.Н. Фоминой
Заслужено
Кат. оф. коп. (Копировка)

Фомина Ольга Николаевна

119334, Москва, ул. Ленинский пр.49

Тел.: 8 (499) 135-87-01; fomina@imet.ac.ru

