HIGH OLOGODA

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИНСТИТУТ ХИМИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА Уральского отделения Российской академии наук (ИХТТ УрО РАН)

Первомайская ул., 91, г. Екатеринбург, 620990 тел. (343) 374-52-19, факс (343) 374-44-95 c-mail: server@ihim.uran.ru

<u>ДД. 03 до 19</u> № <u>16351-01-06-</u> На № ______ от ____ УТВЕРЖДАЮ:

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт химии твердого тела
Урального отделения РАН, д.х.н.

_M.В. Кузнецов 22 марта 2019 г

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Маунг Маунг Аунга

«Извлечение скандия из красных шламов алюминиевого производства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Актуальность работы. В результате развития индустриального производства в процесс переработки вовлекается все большее количество природных сырьевых ресурсов. Однако степень их рационального использования недостаточно высока. Только для производства глинозема направляются сотни миллионов тонн разносортных бокситов, при этом большая часть исходного сырья превращается в отходы - красные шламы (КШ), которые являются загрязнителями окружающей среды. На 1 т получаемого из бокситов металлургического глинозема образуется 1,2-1,5 т КШ, в составе которых имеются недоизвлеченный алюминий, входящий в щелочные гидроалюмосиликаты, трудно растворимые оксиды и гидроксиды железа, соединения редких металлов титана, циркония, скандия, редкоземельных элементов (РЗЭ). соединения кальция, магния, остаточную свободную щелочь и ряд других компонентов. В отсутствие комплексной переработки КШ до настоящего времени сбрасываются на шламовые пруды, занимая большие площади земельных угодий токсичными компонентами шламов сопредельных значительные загрязнения территорий. В то же время по объему накопленных КШ и по содержанию в них некоторых ценных компонентов, например, скандия - 90÷120 г/т, они могут рассматриваться как техногенные месторождения этого редкого и рассеянного элемента,

который является одним из важнейших металлов постиндустриального развития. В этой связи комплексная переработка КШ с извлечением из них всех ценных компонентов и превращение их в ликвидные продукты, потребляемые в различных отраслях промышленности и техники, позволяющая одновременно решать проблемы охраны окружающей среды, является насущной и актуальной задачей, стоящей перед технологическим сообществом.

Таким образом, комплексность переработки КШ с превращением всех его составляющих в ликвидные товарные продукты и удаление КШ из окружающей среды составляют актуальное и практически важное направление исследований настоящей работы.

Объектом исследования диссертационной работы являются отходы глиноземного производства, являющиеся перспективным видом техногенного сырья с высоким содержанием оксида скандия. В настоящее время запасы техногенных отвалов красных шламов в мире составляют более 2,5 млрд.т, а ежегодный их прирост исчисляется в 200-250 млн.т.

Научная новизна работы. Изучено выщелачивание скандия в карбонатные растворы из КШ в трехфазных системах жидкость—твердое—газ СО₂. Предположено, что процесс сопровождается гидролитической полимеризацией анионных карбонатных комплексов скандия и алюминия в присутствии протонов водорода. Высказаны предпосылки низкого извлечения скандия и перевода его во вторичные осадки преимущественно в виде полимерных оксикарбонатов при непрерывной сатурации пульпы.

Установлено, что известные методы физического воздействия на пульпу красного шлама, как ультразвуковая (УЗ) обработка пульпы, так и гидродинамическая кавитация, не только способствуют повышению извлечения скандия в раствор, но и, каждый посвоему, оказывают влияние на процесс вторичного осадкообразования.

Разработаны физико-химические основы извлечения из КШ до 60% скандия и при карбонатном выщелачивании в трехфазных системах жидкость-твердое-газ CO₂.

Разработаны физико—химические основы извлечения из КШ до 30% алюминия, выщелачиванием растворами NaOH из механоактивированных или спеченых с NaOH или Na₂CO₃, при различных температурных условиях, а также из щелочных растворов выщелачивания алюминия гидролитической полимеризацией в трехфазных системах жидкость—твердое—газ CO_2 .

Разработаны условия химического обогащения КШ по железу в 1,1–1.6 раза с получением железосодержащих кеков, пригодных для выплавки железа.

Существенным элементом новизны исследования является использование различного оборудования, отработка параметров и методов интенсификации карбонатного выщелачивания скандия.

Практическая значимость работы. Разработаны и оптимизированы начальные стадии технологической схемы комплексной переработки красных шламов с получением полиоксикарбонатов алюминия, чернового скандиевого концентрата (ЧСК)

для последующего получения оксида скандия высокой чистоты и обогащенных по железу кеков, пригодных для восстановительной выплавки железа.

Разработаны условия карбонатного выщелачивания скандия из КШ в аппарате - кавитаторе при сатурации пульпы CO₂, позволяющие извлекать до 60% скандия за один цикл выщелачивания.

Разработан способ щелочного извлечения алюминия из КШ (до 30%) и последующего его выделения из щелочных растворов в трехфазных системах жидкость—твердое—газ CO_2 , с одновременным обогащением КШ по железу в 1,1-1,6 раза, позволяющий получать полиоксикарбонаты алюминия и железосодержащие кеки.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 152 страницах машинописного текста, включает введение, литературный обзор, экспериментальную часть, пять глав, в которых представлены основные результаты и их обсуждение, выводы и список литературы. Работа содержит 20 рисунков и 42 таблицы. Список литературы включает 146 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1, являющейся литературным обзором, приводятся основные характеристики красных шламов, обзор способов их переработки, включая варианты комплексной переработки, гидрохимический и пирометаллургический направления. а также некоторые магнитные методы сепарации КШ для обогащения различных фракций по железу и скандию. Особое внимание уделено гидрометаллургии скандия, описаны существующие методы извлечения скандия из водных растворов — осадительные, сорбционные, экстракционные.

Глава 2 посвящена методической части, включая характеристики объекта исследования, установки и оборудование для выполнения эксперимента, описание методики выполнения работ и используемые методы физико-химического анализа.

Глава 3 посвящена исследованиям по карбонатному извлечению скандия из пульпы красного шлама, с использованием различных методик активаций и нестандартных подходов для увеличения степени извлечения скандия. Исследованы взаимодействия компонентами химические процессы соединения скандия c карбонатного раствора. Установлено, что низкая степень извлечения скандия из красного шлама связана со вторичным осадкообразования в результате гидролитической полимеризации соединений скандия в присутствии незначительного количества алюминия. Достаточно подробно изложены исследования по использованию различных методов воздействия на обрабатываемую смесь, а также методики многостадийного проточного выщелачивания. Была достигнута достаточно высокая степень извлечения скандия из красного шлама в продуктивный раствор, из которого затем был выделен черновой скандий-содержащий концентрат.

В главе 4 представлены результаты исследований по извлечению алюминия из красного шлама с использованием различные способов активации процесса, как гидрохимических, так и совмещенных со спеканием шихты. Было достигнуто сквозное

извлечение алюминия в 30%, направленное на увеличение комплексности переработки красного шлама.

В главе 5 представлены результаты исследования по обогащению красного шлама по железу, подвергнутого переработке для извлечения скандия и алюминия. с целью последующего использования обогащенного кека для выплавки чугуна. Приводятся результаты исследования по выщелачиванию скандия из кека, полученного после извлечения алюминия.

В результате представлена технологическая схема комплексной переработки красного шлама, включающая вариант начальных этапов, модернизированных на основе собственных результатов.

Достоверность результатов и обоснованность выводов полученных автором не вызывает сомнений. При выполнении исследований соискатель использовал оборудование и методики, соответствующих современному научному уровню. Результаты исследований, основные положения и выводы результатов подтверждается использованием оригинальных методик ведения эксперимента. Основные выводы диссертации обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях – СПбГУ, НИТУ МИСиС, УрФУ имени первого президента России Б.Н. Ельцина, а также на предприятиях ОК «РУСАЛ». АО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», АО «Гиредмет» ГНЦ РФ и др.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы представлены в материалах 3 научных конференций и опубликованы в 7 работах, из них 3 статьи в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

По работе имеются следующие замечания и вопросы:

- 1. способов карбонатного практической значимости указана разработка КШ. алюминия выщелачивания скандия И щелочного извлечения ИЗ Предполагается ли патентование способов?
- 2. На стр. 58 в разделе 3.1 текста диссертации дана ссылка на источник 10, в котором «... Данные РФА [10] указывают на нахождение скандия в КШ в форме оксида...». В автореферате на стр. 5 приведена та же информация «...нахождение скандия в КШ в форме оксида...». Такой информации в указанном источнике нет. Кроме того, содержание фазы на уровне 0,01 мас.% не является предметом исследования рентгенофазового метода анализа. В каком виде скандий может присутствовать в составе КШ?

- 3. Растворимость (на стр. 5 автореферата) натрийсодержащих комплексов Sc в карбонатных растворах достигает 5 г/л, а в гидрокарбонатных 10-12 г/л. На какое соединение скандия указана величина растворимости?
- 4. На стр. 5 автореферата в таблице введено обозначение P_{Sc} , но в тексте не указано наименование сокращения и расчет величины.
- 5. Достаточно спорным можно назвать 2-3-х ступенчатое противоточное выщелачивание, при котором достигается извлечение до 60%, одностадийным циклом?
- 6. В главе 3 при изучении состава карбонатно-гидрокарбонатных растворов контролировалось только содержание скандия. В главе 4 при изучении щелочных растворов также проводилось определение только концентраций алюминия и кремния. Контролировали ли при изучении растворимости соединений элементов из КШ значения рН растворов и содержание карбонатов и гидрокарбонатов при газации и нейтрализации? В методической части указана методика определения CO₃²⁻ в растворах. Для каких объектов исследования она применялась?
- 7. Что происходит с другими редкими металлами после отделения ЧСК при последующей переработке карбонатных растворов при достаточно высоком извлечении из КШ? На стр. 14 автореферата указаны достигнутые значения извлечения, например, 37% иттрия, 37% циркония, 17% церия, 13,4% европия и др.
- 8. Какими физическими методами можно было бы подтвердить гидролитическую полимеризацию скандия и алюминия в растворах?
- 9. В тексте диссертации имеются опечатки на стр. 18, 2 и 3 абзацы; стр. 21, 1 абзац; стр. 58, 3 абзац; стр. 69. таблица и др.
- 10. Список литературы для некоторых источников содержит неполную или ошибочную информацию в части года, номера, страниц: ссылки №№ 18, 20, 52, 55, 57, 64, 69, 75, 126, 144, 146; источник №9 является «Полезной моделью», а не патентом.

Приведенные замечания носят частный уточняющий характер и не влияют на общее положительное впечатление от представленной соискателем диссертационной работы. Достоинством диссертационной работы является ее практический характер, направленный на решение задач «зеленой химии», а также создание природоохранных и ресурсосберегающих процессов химических технологий при развитии промышленности цветных и редких металлов.

По своему содержанию диссертационная работа Маунг Маунг Аунга соответствует паспорту специальности 05.17.02 — Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части формулы специальности «Особенности их химического поведения в технологических процессах. Создание и совершенствование технологических схем, ресурсо-, энергосбережение, охрана окружающей природной среды в технологии редких и радиоактивных элементов».

Рассмотрение диссертационной работы по существу позволяет сделать заключение, что диссертация Маунг Маунг Аунга «Извлечение скандия из красных шламов алюминиевого производства» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи, имеющей существенное значение для промышленности редких, цветных и черных металлов, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая в полной мере соответствует паспорту заявленной специальности 05.17.02 — Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация содержит оригинальные результаты и по актуальности, научной новизне, практической значимости отвечает критериям Положения о присуждении учёных степеней (п.9-п.14), утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. №335), а её автор, Маунг Маунг Аунг, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 — Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертационная работа и автореферат соискателя обсуждены, отзыв рассмотрен и одобрен на открытом заседании секции по физической химии Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела УрО РАН (ИХТТ УрО РАН) 22 марта 2019 (Протокол № 33).

Отзыв подготовлен старшим научным сотрудником лаборатории химии гетерогенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела УрО РАН (ИХТТ УрО РАН), доктором технических наук, Пягаем Игорем Николаевичем и старшим научным сотрудником лаборатории химии гетерогенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела УрО РАН (ИХТТ УрО РАН), кандидатом химических наук, Пасечник Лилией Александровной.

доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела УрО РАН (ИХТТ УрО РАН)

(// Пягай Игорь Николаевич

620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, д. 91

Телефон: +7 (343) 354-53-14 e-mail: <u>igor-pya@yandex.ru</u> кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела УрО РАН (ИХТТ УрО РАН)

VIUIVI

Пасечник Лилия Александровна

620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, д. 91

Телефон: +7 (343) 362-31-08 e-mail: <u>pasechnik@ihim.uran.ru</u>

председатель секции Ученого совета, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, главный научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела УрО РАН (ИХТТ УрО РАН)

Яценко Сергей Павлович

620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, д. 91+

Телефон: +7 (343) 354-53-14 e-mail: <u>yatsenko@ihim.uran.ru</u>

секретарь секции Учёного совета, с.н.с, к.х.н.

v-- y-- ,

Е.А .Богданова

Подписи Пягая И.Н., Пасечник Лученый секретарь ИХТТ УрО РАЗ

П. Богдановой Е.А. заверяю

Т.А. Денисова