

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Тимофеева Константина Леонидовича, доктора технических наук на диссертацию Напольских Юлии Александровны «Селективное извлечение редкоземельных элементов из отходов глиноземного производства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Диссертационная работа Напольских Ю.А. посвящена разработке теоретических основ и технологии селективного извлечения редкоземельных элементов из отходов глиноземного производства, таких как маггемитовые красные шламы (МКШ), полученные методом щелочного низкотемпературного спекания бокситового сырья, и пыли электрофильтров печей спекания бокситов, что способствует переводу складированных в настоящее время в отвалах РЗЭ в товарные продукты. Проводимые исследования и предлагаемые подходы в представленной на соискание работе Напольских Ю.А. позволили получить новые результаты, которые могут стать предпосылками для создания новых экономически и экологически эффективных технологических решений.

### **Актуальность работы**

В настоящий момент современное состояние алюминиевой промышленности России характеризуется снижением качества бокситов, вовлекаемых в переработку, и увеличением объемов накопления высокощелочных отходов производства алюминия – красных шламов (КШ), которые прежде всего образуются по процессу Байера. Высокое содержание Na, Al, Si, Ca и pH отходов (10,5-13,5) традиционно осложняют его обработку, а необработанный красный шлам непригоден к дальнейшей масштабной эксплуатации. Поэтому полноценные схемы по переработке красного шлама в промышленном масштабе с сопутным извлечением ценных компонентов, в частности редкоземельных элементов (РЗЭ), отсутствуют. С другой стороны, о важности извлечения РЗЭ из красных шламов свидетельствует значительное число проведенных в последние годы исследований в этой области и растущий мировой спрос на РЗЭ и их оксиды, связанный с возможностью их применения. В данной диссертационной работе предложен принципиально новый подход к обработке отходов глиноземной промышленности путем последовательного выщелачивания водой-кислотой при pH 3-4 в присутствии солей магния ( $MgSO_4$ ). Такая обработка сырья, которое предварительно было подвергнуто термохимической или механической активации в процессе спекания, позволяет селективно извлекать РЗЭ в раствор с небольшим количеством примесей, что позволяет значительно упростить технологическую схему последующего получения концентрата.

Применение предложенных решений позволяет перерабатывать алюминийсодержащее сырье и техногенные отходы с дальнейшим извлечением



РЗЭ, что способствует сокращению количества образуемых красных шламов, развитию отечественной глиноземной промышленности России и расширению сырьевой базы стратегически важных металлов.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Обоснована природа диффузионных затруднений извлечения скандия, вызванных межфазной диффузией и диффузией через слой продукта, который может быть образован минералами железа (гематитом, шамозитом или маггемитом).

2. Экспериментально установлена зависимость извлечения Al, Fe и Mg от извлечения Sc в раствор выщелачивания шлама. Выявлено, что Mg действует как выщелачивающий агент для извлечения Sc, представленного в красном шламе в легкорастворимой форме на поверхности железных минералов.

3. Впервые показано, что дополнительное введение Mg при выщелачивании красного шлама при  $pH > 3$  позволяет селективно извлечь скандий и другие РЗЭ в раствор при минимальном соизвлечении Fe, Al и Ti.

4. Впервые показана возможность получения гидроксида алюминия с повышенным содержанием скандия путем декомпозиции щелочно-алюминатного раствора с добавлением скандийсодержащего десорбата.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы заключается в:

1. Обосновании механизма процессов извлечения РЗЭ разбавленными растворами кислот из маггемитового красного шлама переработки бокситов по новому способу спекания и пыли электрофильтров, что повышает эффективность извлечения РЗЭ.

2. Разработке нового подхода к селективному выделению РЗЭ из отходов глиноземного производства с использованием разбавленных растворов кислот в присутствии магния. Данный подход может быть использован при разработке технологии по переработке алюминийсодержащих отходов с целью извлечения РЗЭ в отдельные продукты.

3. Выведении полуэмпирических уравнений кинетики исследуемых новых процессов взаимодействия различных компонентов глиноземсодержащего сырья с выщелачивающими реагентами.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основании оптимальных параметров проведения процессов выщелачивания и предложенной последовательности методов обработки (спекания, водного выщелачивания и выщелачивания в разбавленных растворах минеральных кислот в присутствии  $MgSO_4$ , сорбции на селективной смоле, десорбции и декомпозиции) разработана принципиальная технология комплексной переработки пыли электрофильтров печей спекания бокситов с получением скандиевого гидроксида алюминия, пригодного для получения Al-Sc сплава непосредственно в процессе электролиза.



**Степень обоснованности и достоверности научных положений** в работе обусловлена применением современного научно-исследовательского оборудования с обработкой результатов на соответствующем программном обеспечении фирм изготовителей аналитических приборов. Одновременное применение разных методик определения характеристик полученных продуктов позволяет увеличить достоверность результатов исследований. Автор широко использует физико-химические методы анализа для подтверждения своих тезисов и различные модели для объяснения закономерностей, возникающих при проведении лабораторных исследований.

### **Общая оценка содержания диссертационной работы**

Напольских Ю. А. выполнила диссертационную работу на актуальную тему. Сама работа хорошо структурирована, логична, в целом, написана грамотным языком. Сделанные выводы достоверны и сомнений не вызывают. Диссертация состоит из оглавления, введения, 6 глав с выводами по каждой из них, заключения и списка литературы, включающего 120 источников. Диссертация изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 24 таблицы. Материалы диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, а также достаточно полно опубликованы в научных журналах и сборниках. Основные результаты работы представлены в материалах 5 научных конференций и опубликованы в 11 работах, из них 8 статьи в журналах, входящих в международные системы цитирования Web of Science и Scopus.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе Напольских Ю.А.:**

1) Отсутствует четкая связь и структурирование объектов исследования диссертации, не ясно, как связаны результаты работы с маггемитовым красным шламом и пылями электрофильтров, в частности при выщелачивании используются различные минеральные кислоты;

2) Не обоснован механизм выщелачивания скандия катионами магния. Предположение о десорбирующем влиянии магния на скандий с поверхности частиц шлама либо пыли не доказано;

3) При изучении сорбции скандия сделан вывод о формировании мономолекулярного слоя элемента на поверхности исследуемого ионита Purolite MTS9580, что некорректно для описания сорбции на ионообменных смолах, где реализуются иные механизмы;

4) Удельные скорости пропускания растворов через ионообменную смолу в лабораторных экспериментах от 75 до 225 уд. об./час представляются завышенными, что очевидно повлияло на быстрое достижение проскока и получение относительно небогатых элюатов;



5) Вывод о низкой сорбируемости макрокомпонента – магния, сделанный по содержанию элемента в полученном элюате, выглядит спорно, т.к. магний не образует в растворах карбонатов растворимых соединений;

6) Оптимальные параметры выщелачивания кека водной отмывки пылей электрофильтров, в частности значение рН и концентрация сульфата магния, не соответствуют показателям в итоговой технологической схеме, представленной в 6 главе диссертационной работы;

7) Экономический расчет выполнен укрупнено и с неточностями в части определения капитальных и эксплуатационных затрат;

8) Наблюдаются опечатки, описание в выводах (например, глава 4) результатов, не описанных в работе, употребление неудачных терминов, например, «алюминиевый раствор», «водосодержащий раствор».

Высказанные в отзыве замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая является законченной научно-квалификационной работой.

### **Заключение по диссертации**

Исходя из выше изложенного диссертация «Селективное извлечение редкоземельных элементов из отходов глиноземного производства», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия чёрных, цветных и редких металлов отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Напольских Юлия Александровна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,  
Начальник технического отдела  
инженерно-производственного  
управления АО «Уралэлектромедь»,  
доктор технических наук  
«27» сентября 2023

Тимофеев Константин Леонидович

Акционерное общество «Уралэлектромедь»,  
624091, Свердловская область, г. Верхняя Пышма, Успенский пр., д.1;  
e-mail: k.timofeev@uralcopper.com, тел. 47178

Подпись начальника ТО ИГУ АС  
подтверждаю:

«Уралэлектромедь», д.т.н. Тимофеева К.Л.

Начальник отдела кадров АО «Уралэлектромедь»

Кулемина Наталья Льфатовна