

## ОТЗЫВ

официального оппонента Леонтьева Леопольда Игоревича на диссертационную работу Пягай Игоря Николаевича «Извлечение скандия и других металлов из красного шлама глиноземного производства с поглощением токсичных газов печей спекания», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16. 02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

### Актуальность темы диссертации

Глиноземное производство, являющееся масштабным процессом цветной металлургии, образует не менее масштабные количества нерастворимых отходов – отвальных красных шламов (КШ), которые становятся огромной проблемой, как для производителя, так и для населения сопредельных территорий. КШ, образуемые в процессе переработки разноразных бокситов, в настоящее время только складываются из-за отсутствия освоенной эффективной технологии переработки и утилизации. В мире накопилось более 1,5 млрд.т. КШ, при этом ежегодно их количество увеличивается на 120-150 млн. т, представляет реальную экологическую угрозу территориям. Масштабы угрозы можно понять, если вспомнить, что производство одной тонны глинозёма сопровождается образованием от 1,5 до 2,5 т красного шлама, поэтому его в виде пульпы перекачивают с территории заводов в специальные шламохранилища, расположенные на определенном удалении от населенных пунктов, чтобы исключить любые непрофессиональные контакты с ним.

Изначально внимание исследователей направлялось на решение задач по минимизации их вредного воздействия на окружающую среду, поэтому основные усилия предпринимались лишь для уменьшения экологической угрозы, исходящей от уже складированных шламов, совершенствованием способов хранения или проведением рекультивации поверхностей отработанных шламохранилищ. Однако все известные предложения в целом не позволяют организовать безопасное хранение огромных масс шлама. В некоторых странах, где нет возможности обустройства шламохранилищ из-за отсутствия земельных ресурсов, проблему решают сбросом этого техногенного материала в море.

Известны и другие исследования, где развивается иной подход к решению проблемы, основанный на переработке и утилизации красного шлама, в химическом составе которого содержатся большое количество ценных компонентов, в первую очередь скандия и других металлов. В этой методологии красный шлам рассматривается как сырье для получения соединений алюминия, железа, титана, скандия, циркония, галлия. Предлагаются различные схемы комплексной переработки красных шламов. Однако реализация даже наиболее привлекательных из предлагаемых способов в промышленных условиях осложнена серьезными капитальными затратами. Положительным результатом упомянутых выше исследований следует считать понимание того, что экономически оправданное использование КШ можно лишь при условии извлечения из него наиболее ценных компонентов. В центре внимания находятся вопросы эффективной переработки с извлечением наиболее ценных компонентов, в первую очередь скандия и других ценных металлов, имеющих не только высокую стоимость, но и чрезвычайно важное техническое применение. Интерес к скандию связан с тем, что его использование позволяет создать ряд конструкционных материалов с уникальным сочетанием свойств. По прогнозам ведущих мировых исследовательских центров в ближайшем будущем потребность в скандии будет только расти. Однако потребности развития современной техники приходят в противоречие с малыми масштабами производства скандия и его высокой стоимостью. Эта проблема связана с тем, что скандий является типичным рассеянным элементом, не образует собственных месторождений. Между тем, в ежегодно перерабатываемых бокситах (более 80 млн. тонн в год) содержится несколько сотен тонн скандия, который практически полностью переходит в состав складированного красного шлама. Только один Богословский алюминиевый завод ежегодно направляет в шламохранилище около 150 тонн скандия. Решение проблемы ликвидации дефицита скандия, производство инновационных скандийсодержащих материалов и сплавов могут быть достигнуты лишь при существенном изменении подходов к использованию сырьевых ресурсов и разработки эффективных технологий переработки природного и техногенного сырья. В этом отношении красный шлам может быть отнесен к потенциально важнейшему комплексному сырьевому ресурсу. Совершенно очевидно, что в настоящее время назрела необходимость разработки такой технологии, применение которой позволит извлечь максимальное

количество полезных компонентов из красного шлама, а саму основу направить для использования в смежные отрасли промышленности.

Для решения, указанных проблем диссертантом была сформулирована **цель работы: «Установление фундаментальных физико-химических свойств и особенностей поведения компонентов красных шламов при воздействии высоких концентрации карбонизирующих и щелочных агентов и создание основ новой технологии извлечения скандия и других металлов из отходов глиноземного производства»**, для достижения которой были сформулированы конкретные задачи.

### **Структура и основное содержание работы**

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложения. Работа изложена на 318 страницах машинописного текста, содержит 63 таблиц, 73 рисунка и списка цитируемой литературы из 281 наименований, также приложение на 10 страницах.

*Во введении* обосновываются актуальность работы, цель и основные положения по решению поставленной цели, выбор объекта и передовые методы его исследования, научная новизна и практическая значимость, а также личный вклад автора.

*Первая глава*, являющаяся по существу литературным обзором, содержит основополагающие сведения, относящиеся к отвальному красному шламу, который до настоящего времени никем не перерабатывается. Хотя было разработано большое количество способов, в том числе много разновидностей пирометаллургического и гидрохимического переделов в различных вариантах. Однако, использование разработанных способов не нашло практического применения.

*Вторая глава* включает в себя сведения, касающиеся выбора объекта, высокочувствительных методик элементного анализа и передовых методов физико-химических исследований.

*В третьей главе* приводятся данные экспериментальных исследований по фильтруемости и особенностям фракционного разделения основных фаз отвального красного шлама, что важно для определения направления дальнейших исследований. Приводятся данные

по исследованию проблемы, связанной с ощутимыми потерями таких компонентов, как глинозем и каустическая щелочь в составе отвального красного шлама и возможности их доизвлечения.

Проведенные экспериментальные исследования глинозем и щелочь содержащих фаз показали практическую возможность решения проблемы путем интенсификации автоклавного выщелачивания красного шлама более концентрированными растворами гидроксида натрия с дозированным введением в него гидроксида или оксида кальция.

Результаты экспериментальных исследований, приведенные в разделе 3.3 диссертации, соответствуют: п.1 «Рудное и нерудное и энергетическое сырье» и п.13 – «Гидрометаллургические процессы и аппараты» структуры специальности 05.16.02.

*В четвертой и пятой главах* приводятся результаты экспериментальных исследований, служащих основой для разработки уникальной технологии извлечения скандия и других редких металлов из отвального красного шлама и созданию опытно-промышленного производства первичного скандиевого концентрата, не имеющего аналога в мире. Показано, что разработанная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с другими. Содержания разделов: 4.3, 4.4, 4.5, 5.3, 5.4, 5.5 и 5.6 полностью соответствуют п.13 – «Гидрометаллургические процессы и аппараты» структуры специальности 05.16.02.

*Шестая глава* полностью посвящена разработке опытной технологии переработки первичного (бедного) скандиевого концентрата с получением товарного оксида (фторида) скандия чистотой 99,0%, которая может работать, как в лабораторном, так и в промышленном масштабе. Разработанная технология имеет кислотную основу переработки, но не использует никаких сорбционных и экстракционных методик извлечения скандия, что позволяет с высокой производительностью выделять скандий из продукционного раствора, а также попутно извлекать цирконий, сопутствующий скандию на протяжении всех предшествующих технологических этапов. В главе имеются также результаты исследований по извлечению других металлов.

Данные исследований по разработке технологий, приведенные в разделах 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 и 6.6 соответствуют: п.2 – «Твердое и жидкое

состояние металлических, оксидных, сульфидных, хлористых систем» и п.13 – «Гидрометаллургические процессы и аппараты» структуры специальности 05.16.02.

*Седьмая глава* в основном посвящена расчетам технико-экономической эффективности работы опытно-промышленного производства, разработке способа получения алюминий - скандиевой лигатуры методом инъекции технологических порошков непосредственно в расплав с использованием скандия собственного производства. Предлагаются варианты по использованию карбонизированного красного шлама в других отраслях промышленности.

Изложенные материалы в разделе 7.6 подпадают под классификацию по п.2 – «Твердое и жидкое состояние металлических, оксидных, сульфидных, хлористых систем » структуры специальности 05.16.02.

### **Научная новизна результатов диссертационной работы**

- сформулирована научная основа взаимодействия компонентов красного шлама (скандия и других сопутствующих элементов) с продуктивным раствором при определенных условиях;
- обоснована возможность извлечения скандия и других полезных компонентов карбонизационным выщелачиванием красного шлама и сформулирована последовательность переработки продуктов фракционного гидролиза;
- установлены условия взаимодействия фазовых составляющих красного шлама, ответственных за безвозвратные потери глинозема и каустической щелочи ;
- установлена особенность поведения циркония при карбонизационном выщелачивании красного шлама с передислокацией в скандиевый концентрат и продуктивный раствор в процессе получения товарного оксида скандия с практически полным концентрированием в отработанном продуктивном растворе;
- выявлены условия воздействия компонентов, способствующих активации красного шлама, на сорбционные характеристики токсичных

элементов в сточных и подотвальных (шахтных) водах предприятий цветной металлургии.

### **Достоверность результатов и обоснованность выводов**

Достоверность результатов экспериментальных исследований, полученных впервые, их детальный анализ и обсуждение, подтверждают обоснованность сделанных выводов как по отдельным главам, так и в заключении к настоящей диссертационной работы. Все поставленные задачи успешно решены диссертантом в полном объеме, а произведенные партии целевых продуктов, подтверждают факт достижения поставленной цели.

### **Практическая значимость работы**

Результаты экспериментальных исследований позволили разработать ряд уникальных технологий, в первую очередь технологию карбонизационного извлечения скандия и других ценных элементов, а также ряд эффективных способов извлечения сопутствующих компонентов из красного шлама глиноземного производства, в том числе:

- впервые организовать опытно-промышленное производство скандиевого концентрата с получением из него товарного оксида скандия и других металлов, не имеющее аналогов в мире;

- разработать усовершенствованную технологию автоклавного выщелачивания красного шлама, способную дополнительно извлекать глинозем и каустическую щелочь;

- использовать обработанный диоксидом углерода топочных газов активированный красный шлам в качестве эффективного сорбента для токсичных тяжелых металлов в сточных и подотвальных (шахтных) водах цветной металлургии.

### **Замечания по работе**

1. В диссертации необоснованно категорично указывается на неэффективность металлургических методов переработки красных шламов.

В действительности головной организацией глиноземной промышленности ВАМИ в 70-х годах прошлого столетия по результатам опытно-промышленных испытаний

металлургической схемы выполнен ТЭД с положительным эффектом и Главалюминием МИНЦВЕТМЕТА был рекомендован этот метод к реализации.

Имеются еще целый ряд наработок по использованию красного шлама в качестве связующего при окомковании, агломерации.

В последующие годы в ИМЕТ им. А.А.Байкова РА и ИМЕТ УрО РАН совместно со специалистами цементной промышленности предложен ряд способов по выделению железа из красного шлама и использованию остатка в строительной индустрии.

В последних вариантах действительно скандий и другие ценные компоненты теряются. Но в способе ИМЕТ УрО РАН, рассмотренном в ТЭДе ВАМИ было предусмотрено извлечение железа, глинозема и скандия (из белитового шлама).

Это замечание не умаляет ценность работы диссертанта, поскольку она оригинальна, глубоко научно обоснована и теоретические выводы подтверждены на опытно-промышленной установке.

Вероятно, метод диссертанта может быть использован и при извлечении скандия и других компонентов из белитового шлама, где их концентрация значительно выше, чем в красном шламе.

2. Желательно сравнение разработанной технологии с другими технологиями извлечения скандия, в том числе из обсуждаемого сырья.

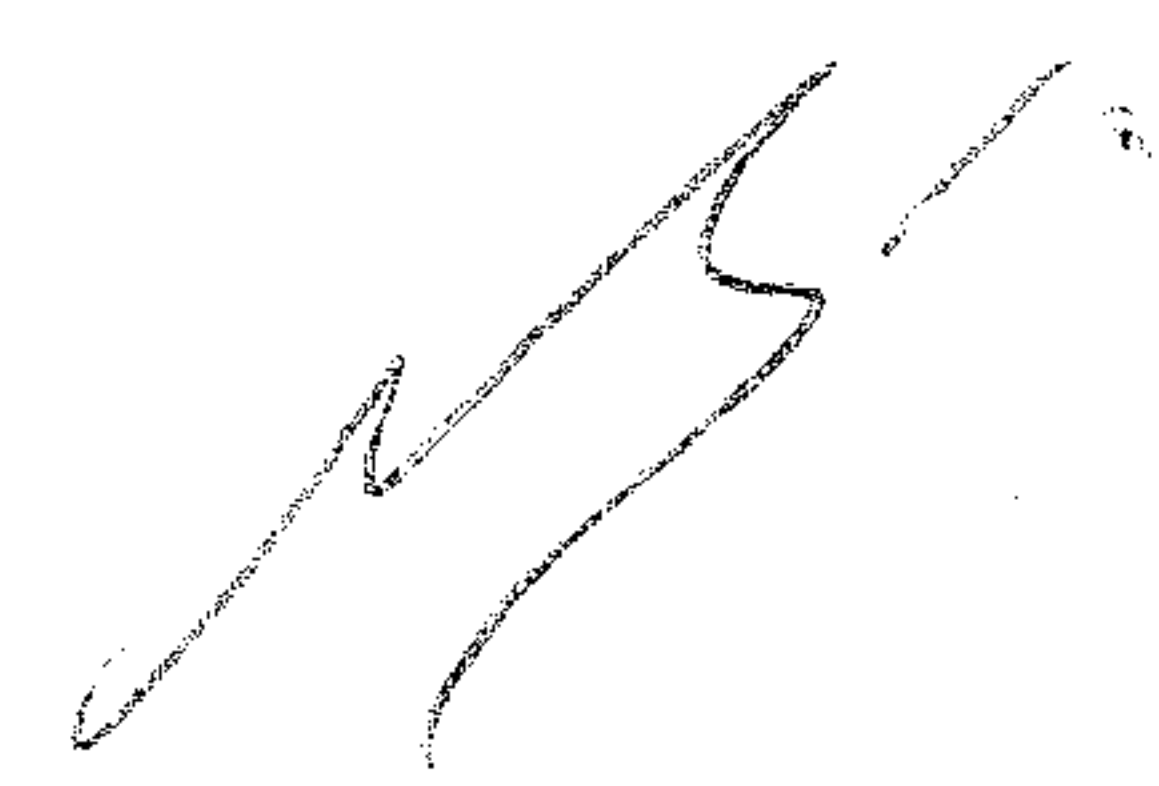
3. Ряд замечаний по оформлению работы высказаны диссертанту в рабочем порядке.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**В результате** выполненных диссертантом исследований разработаны новые научно обоснованные технологические решения, подтвержденные в опытно-промышленном масштабе, широкое внедрение которых при условии утилизации основной массы шлама повысит экономическую и экологическую эффективность работы. Считаю, что обсуждаемая диссертация представляет собой законченное научное исследование и удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от

присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением  
Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842 с изменениями от 21  
апреля 2016г. № 335, а ее автор Пягай Игорь Николаевич  
заслуживает присуждения ученой степени доктора технических  
наук по специальности 05.16.02-«Металлургия черных, цветных и  
редких металлов».

Леонтьев Леопольд Игоревич, академик  
Российской академии наук, доктор  
технических наук, профессор  
по специальности 05.16.02 – Metallургия черных,  
цветных и редких металлов




Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Российская академия наук, Президиум, Советник  
119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д.20, корп.5  
т..499-237-39-31  
e-mail: [leo@presidium.ras.ru](mailto:leo@presidium.ras.ru)

Подпись Леонтьева Л.И.

Заверяю:

Подпись *Леонтьев Л.И.* академия РАН ЗАВЕРЯЮ:  
*Нар. огуева* Управление кадров РАН  
должность  
*Евсеева* (Е.В. Евсеева)  
05 марта 2017 г.



И.О.Фамилия