

С И Б И Р С К И Й  
Ф Е Д Е Р А Л Ь Н Ы Й  
У Н И В Е Р С И Т Е Т

S I B E R I A N  
F E D E R A L  
U N I V E R S I T Y

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,  
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79  
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25  
<http://www.sfu-kras.ru>, e-mail: [office@sfu-kras.ru](mailto:office@sfu-kras.ru)

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;  
ИНН/КПП 2463011853/246301001

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
№ \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе  
ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет»

Денис Сергеевич Гуц



2021 г.

**ОТЗЫВ**

## ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ДИССЕРТАЦИЮ

Элдиб Амр Басьюни Саад на тему «Комплексная переработка низкосортного алюминийсодержащего сырья Египта с получением металлургического глинозёма и попутной продукции», представленную на соискание ученой кандидата технических наук по специальности

05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

### 1. Актуальность темы диссертации

Комплекс нерешённых и трудно решаемых вопросов, связанных с производством алюминия достаточно хорошо известен, хотя и приобретает новые тональности на современном этапе развития технологии получения глинозёма и его электролиза в криолит-глинозёмном расплаве. Понятно, что не только снижение удельного расхода электроэнергии при получении алюминия и эксплуатационных расходов, но и стоимость самого глинозёма, а также его качество имеют существенное значение для получения стратегически значимого металла и материалов на его основе. При этом хорошо известна проблема, связанная с нарушением баланса между производством и потреблением глинозёма на отечественных металлургических комбинатах и заводах, как объективный результат развития производства алюминия в СССР и Российской Федерации при не-

*N 128-9  
от 11.06.2021*

достаточной сырьевой базе высококачественного алюминиевого сырья. Аналогичная ситуация складывается и в других регионах мира, при желании интенсивно развивающихся государств войти в клуб производителей алюминия и тем самым способствовать укреплению национальных экономик. Встающие при этом ограничения могут быть связаны или с дефицитом энергоресурсов для осуществления (реализации) технологии электролитического получения алюминия или отсутствием собственной сырьевой базы высококачественного бокситового сырья. В этом отношении Российская Федерация и Арабская Республика Египет имеют достаточно много общего, как производители алюминия в условиях недостаточной обеспеченности собственными сырьевыми ресурсами высококачественных бокситов. В этой связи повышение эффективности известных технологических процессов для переработки небокситового сырья и их адаптация применительно к переработке местных видов алюмосиликатного сырья представляется исключительно важной и актуальной, а также востребованной в условиях постепенного исчерпания высококачественного алюминийсодержащего сырья или в регионах с его отсутствием. Такая постановка вопроса полностью справедлива не только для условий Египта и других стран, не обладающих запасами высококачественных бокситов, но и для такой протяжённой страны как Россия, включающей регионы с различной обеспеченностью традиционным сырьём для производства алюминия.

Необходимо отметить, что в условиях России интерес к каолиновым рудам и их аналогам хорошо известен и значительно оживился в последнее время в условиях исчерпания разведанных запасов алюминиевых руд. Подобный же интерес проявляет и Китайская Народная Республика, являющаяся лидером мирового производства алюминия и занимающая более 60% мирового рынка первичного алюминия. Таким образом, соискатель справедливо обращает внимание на возможность использования такого национального ресурса Египта, как каолиновые руды и концентраты на их основе, в том числе с возможностью комплексной переработки этого сырья в интересах производства глинозёма металлургических сортов и высококачественных портландцементов в качестве

попутной продукции. В полной мере этот подход представляет интерес и для других производителей алюминия.

## **2. Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, 5 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 209 наименований. Диссертация изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 116 рисунков и 30 таблиц.

Структура изложения материалов диссертации полностью соответствует структуре научного исследования, отвечающей ГОСТам на порядок выполнения НИР и представление отчётных результатов, а также особым требованиям к представлению результатов научно-квалификационной работы в форме диссертации на соискание учёной степени кандидата наук.

**Во введении** приведена общая информация о представленной работе, ключевыми моментами которой является обоснование актуальности данного исследования, формулировка цели, основных задач и научных положений, выносимых на защиту, а также научной новизны и практической значимости выполненной научно-квалификационной работы.

**В первой главе** дан обстоятельный анализ альтернативных сырьевых источников алюминия и способов их переработки, а также имеющихся ресурсов алюминийсодержащего сырья Египта, что позволило автору диссертации поставить цель исследования и изложить результаты данного этапа работ в рамках обзорной статьи о ресурсном потенциале алюминийсодержащего сырья Египта и статьи обосновывающей выбор способа спекания на основе двухкомпонентной шихты в качестве одного из приоритетов для переработки каолинового сырья:

- ElDeeb, A.B.S., Brichkin, V.N., 2018. Egyptian aluminum containing ores and prospects for their use in the production of Aluminum. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 9(5), 721-731.

- Состояние и пути развития сырьевой базы алюминия небокситовых регионов / В.Н. Бричкин, Р.В. Куртенков, А.Б. Элдиб, И.С. Бормотов // Обогащение руд. 2019. № 4. С. 31-37. (Scopus, Q2)

**Во второй главе** приведено термодинамическое обоснование процессов и направленного формирования фазового состава продуктов спекания известняково-каолиновой шихты, дополненное физико-химическими представлениями о методах активации каолиновых руд. Представленный обзор говорит о недостаточной изученности механизма твёрдофазного спекания известняково-каолиновых руд, что стало основанием для постановки задач, связанных с изучением механизма спекания, установлением зависимости показателей вскрытия сырья от условий осуществления технологических операций, и в конечном итоге активации процесса спекания и эффекта саморассыпания спёка.

**В третьей главе** изложены вопросы, связанные с отработкой методики экспериментального исследования, а также приведены результаты изучения механизма формирования фазового состава спёка и влияния ключевых технологических факторов на показатели вскрытия каолинового сырья, что позволило представить оригинальный взгляд на процесс твёрдофазного спекания известняково-каолиновой шихты и последующего выщелачивания каолинового спёка. Результаты данного этапа исследований в достаточной степени отражены в следующих публикациях:

- ElDeeb, A.B., Brichkin, V.N., Kurtenkov, R.V., Bormotov, I.S., 2019a. Extraction of alumina from kaolin by a combination of Pyro- and hydrometallurgical Processes. Appl. Clay Sci. 172, 146-154. (Scopus, Q1)

- ElDeeb, A.B. Solid state and phase transformation mechanism of kaolin sintered with limestone for alumina extraction / A.B. ElDeeb, V.N Brichkin, M. Bertau, Y.A. Savinova, R.V. Kurtenkov // Applied Clay Science, 2020. Vol. 196. No.105771. (Scopus, Q1)/

**В четвёртой главе** приведены результаты экспериментального исследования процесса вскрытия каолинового сырья при использовании активирующего воздействия углеродсодержащей добавки в составе известняково-каолиновой

шихты, а также обработки предпочтительного режима выщелачивания с использованием методики многофакторного эксперимента и покоординатной оптимизации. При этом получены оригинальные данные о влиянии углеродистых добавок на эффект саморассыпания спёка и его связи с величиной химического извлечения алюминия при выщелачивании спёка. Показано что одной из ключевых характеристик качества каолинового сырья является силикатный модуль по аналогии с качеством щелочных алюмосиликатов. Результаты данного этапа работ в достаточной степени отражены в следующих публикациях:

- Eldeeb, A.B. The activating effect of carbon during sintering the limestone-kaolin mixture / A.B. Eldeeb, V.N. Brichkin, V.G. Povarov, R.V. Kurtenkov // Tsvetnye Metally, 2020. No. 7. Pp. 18-25. МБДиСЦ СА(pt), (Scopus, Q2).

- Исследование особенностей процесса выщелачивания саморассыпающихся известняково-каолиновых спеков / А.Б. Элдиб, В.Н. Бричкин, Р.В. Куртенков, И.С. Бормотов // Обогащение руд. 2021. № 2. С. 15-20. (Scopus, Q2).

- Заявка на изобретение: 2021104305, 19.02.2021. Состав шихты для производства глинозёма способом спекания / Бричкин В.Н., Сизяков В. М., Новиков Н. А., Куртенков Р. В., Элдиб А.Б.

**В пятой главе** приведены результаты разработки принципиальных технологических схем для переработки каолиновых руд Египта и оценки их эффективности, которая как показано автором является прямым следствием роста химического извлечения алюминия из исходного сырья.

**В заключении** приведены обобщающие выводы и рекомендации для реализации предложенных технологических решений, а также их развития в последующих исследованиях.

**Список литературы** представляет собой обширную библиографию по теории и практике переработки каолинового сырья и его близких аналогов, как по материалам российских первоисточников (54 ссылки), так и по материалам зарубежных публикаций (155 ссылок), почти половина которых опубликована в последнее десятилетие.

### 3. Основные научные результаты и их новизна

Особого внимания с позиций нового научного содержания заслуживает весь комплекс экспериментальных исследований, выполненный с использованием высокотехнологичного аналитического и лабораторного оборудования, позволившего с максимально доступной точностью установить закономерности, сопровождающие процесс спекания двухкомпонентной известняково-нефелиновой шихты и последующего выщелачивания спёка, что позволило получить следующие оригинальные результаты:

1. Установлены граничные условия саморассыпания спёка и извлечения алюминия в зависимости от молярного соотношения компонентов в шихте, продолжительности и температуры спекания, а также природы и химического состава каолиновой руды.

2. Высказана гипотеза об участии свободного оксида алюминия, образующегося при термической диссоциации каолина, в процессе образования сложных алюминатов кальция.

3. Установлен экстремальный характер зависимости химического извлечения оксида алюминия от содержания и природы углеродсодержащей добавки, как результат двух противоположных тенденций. Одна из которых связана со снижением метастабильной устойчивости  $\beta$ -двухкальциевого силиката относительно перехода в  $\gamma$ -модификацию, что сопровождается повышенным самоизмельчением спёка в результате 10%-ного роста молекулярного объёма этой фазы. Вторая тенденция характеризуется повышенным образованием термодинамически устойчивого и трудно вскрываемого муллита, что приводит к понижению химического извлечения алюминия в раствор.

4. Установлена связь повышенного саморассыпания спёка с пониженной окристаллизованностью алюмината кальция, приводящая к росту химического извлечения алюминия при содовом выщелачивании спёка.

5. Разработан и заявлен для регистрации в качестве изобретения, предпочтительный состав двухкомпонентной известняково-каолиновой шихты, со-

держашей активирующую добавку углеродистого материала различной природы.

6. Экспериментально обоснованы предпочтительные условия выщелачивания каолинового слёка по материалам многофакторного исследования с применением метода покоординатной оптимизации, установившие необходимость применения низкотемпературных и низкоконтрационных режимов, вследствие многостадийности данного процесса, одним из начальных этапов которого является процесс каустификации соды.

#### **4. Практическая значимость**

1. Экспериментально отработанная методика лабораторного изучения процесса спекания каолинового сырья и эффективности саморассыпания слёков представляет интерес для последующих экспериментальных работ с использованием каолинового сырья и его близких аналогов.

2. Полученные экспериментальные данные можно использовать для разработки опытного технологического регламента переработки каолинового сырья с получением металлургического глинозёма и выполнения предварительной технико-экономической оценки этого процесса.

3. Предложенные технологические решения обеспечивают существенный рост химического извлечения алюминия из каолинового сырья, что делает технологию его переработки на основе спекания двухкомпонентной шихты привлекательной для освоения в условиях недостаточных источников воды и при наличии доступных источников известкового компонента, что в полной мере соответствует условиям Арабской Республики Египет.

4. Научно-технологические результаты выполненного исследования представляют заметный интерес для использования в учебном процессе с их включением в лекционные курсы и лабораторные практикумы при подготовке специалистов по направлению «Металлургия» по дисциплинам «Металлургия легких металлов», «Специальный курс. Производство глинозёма», а также при повышении квалификации специалистов отрасли.

**5. Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и рекомендаций работы,** прежде всего, обусловлена использованием известных норм и стандартов для выполнения научно-исследовательской работы с опорой на ранее выполненные исследования и фундаментальные основы изучаемых технологических процессов и систем. Это позволяет говорить о глубокой теоретической проработке и обоснованности, как программы представленного научного исследования, так и его результатов. Достоверность экспериментальных результатов представленного исследования определяется системным подходом к его выполнению, который включает научно-технологическую и методическую проработку, планирование экспериментальных исследований и статистическую обработку результатов, а также применение высокоточного современного лабораторного оборудования и высокотехнологичных методов анализа (XRD, XRF, DTA-DTG, PSD, BSE, EDX и др.). Заметное место при обработке экспериментальных результатов занимает использование стандартных и специальных программных продуктов, в том числе Design Expert версии 7.1.5 (Stat-Ease Inc., Миннеаполис, США). В целом использование таких подходов и норм позволяет говорить о высокой достоверности полученных результатов, которые находят объяснение с позиций современной теории глинозёмного производства, а предлагаемые технические решения соответствуют современным трендам в развитии технологических процессов производства алюминия.

#### **6. Оформление, публикации и апробация работы**

Диссертация имеет чёткую и понятную структуру, хорошо сбалансирована по представлению результатов во всех её частях, включая теоретические и экспериментальные исследования, а также разработку технических решений на этой основе. Текст диссертации написан технически грамотным и доступным языком. Автореферат диссертации достаточно полно отображает выполненные исследования и полученные результаты, в том числе с использованием цветной вкладки, представляющей сложные графические зависимости и результаты высокотехнологичных анализов. Диссертация и автореферат оформлены на высо-



ком уровне и полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Научные результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в том числе 2 статьи, опубликованные в изданиях, входящих в МБДиСЦ СА(pt), Scopus и включенные в перечень ВАК, 3 публикации - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Зарегистрирована 1 заявка на получение патента.

#### **7. Замечания по диссертационной работе**

При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом возникли следующие вопросы и замечания:

1. Требуется пояснить, какие технико-экономические соображения повлияли на выбор технологии спекания двухкомпонентной известняково-каолиновой шихты в качестве объекта исследования применительно к условиям Арабской Республики Египет, так как ранее известные проекты были связаны с использованием национальных ресурсов нефелинового сырья Египта, а современным трендом в переработке каолиновых руд является использование кислотных технологий?

2. Чем объясняется то, что большинство экспериментальных исследований выполнено с использованием каолинового сырья российских месторождений и в какой степени полученные результаты применимы к каолиновым рудам месторождений Египта?

3. Какие технические решения могут быть использованы для интенсификации процесса спекания двухкомпонентных шихт, исходя из предложенного автором механизма образования сложных алюминатов кальция и образования термодинамически прочного муллита на завершающей стадии процесса.

4. К сожалению, в диссертации отсутствует однозначный ответ по такому интересному вопросу, как природа пониженной метастабильной устойчивости  $\beta$ - $C_2S$  относительно его перехода в  $\gamma$ - $C_2S$  при спекании каолиновой шихты с углеродистой добавкой.

5. Чем объясняется выбор углеродистых материалов, использованных в качестве активирующей добавки при выполнении экспериментального исследования, и имеется ли возможность использования добавок иной природы, включая отходы существующих промышленных предприятий.

6. Вопрос о получении попутной продукции не достаточно глубоко проработан, несмотря на то, что заявлен в качестве одного из приоритетов в теме диссертации.

7. По тексту диссертации имеется ограниченное количество опечаток и стилистических неточностей.

## **8. Заключение**

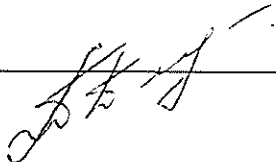
Диссертация «Комплексная переработка низкосортного алюминийсодержащего сырья Египта с получением металлургического глинозёма и попутной продукции», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - Металлургия чёрных, цветных и редких металлов, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019 № 1755 адм.

Элдиб Амр Басыони Саад заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Элдиб Амр Басьюни Саад обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры общей металлургии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», протокол № 6 от 21 мая 2021 года.

Председатель заседания:

Поляков Петр Васильевич,  
д-р хим. наук, проф., кафедра  
металлургии цветных металлов,  
профессор



---

*Согласны на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.*