

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора Немчиновой Нины Владимировны на диссертацию Максимовой Регины Игоревны на тему: «Синтез гидрокарбоалюминатов кальция и рециклинг известкового компонента при комплексной переработке нефелинового сырья», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

1. Актуальность темы диссертации

Особенность отечественной сырьевой базы алюминия, связанная с недостаточным объемом запасов высококачественных бокситов, привела к необходимости вовлечения в производство глинозема нефелиновых руд и концентратов, которые являются сырьевой базой ряда российских предприятий. Несмотря на успешное промышленное освоение данного природного ресурса, дальнейшее повышение эффективности его переработки неизменно связывается со снижением энергоемкости технологического процесса, повышением качества основной и попутной продукции, сокращением количества отвальных шламов и углеродного следа. В этой связи особое значение приобретает задача адаптации известных технологических решений применительно к переработке алюмосиликатов, отличающихся по своей природе от нефелинового сырья, и которые в полной мере могут отвечать требованиям, предъявляемым к региональным видам сырья по своей доступности, включая каолины и глинистые породы, ультракалиевые полевошпатовые породы и многие другие. При этом возникает необходимость обеспечения технологического процесса при ином соотношении щелочных компонентов в сырье или в их отсутствии. Разумеется, что использование зарекомендовавшего себя способа спекания обращает пристальное внимание исследователей на возможность сокращения расхода известняка, определяющего совместно с силикатным модулем шихты выход нефелинового шлама и связанные с этим проблемы его накопления, хранения и утилизации.

Таким образом, тема диссертации Максимовой Регины Игоревны полностью отвечает современным тенденциям рационального использования природных ресурсов и расширения сырьевой базы производства глинозема за счет высококремнистого алюмосиликатного сырья. Хорошо известно, что эффективность его переработки в значительной степени связана с обеспечением качества основной и попутной продукции, расширением её номенклатуры, рациональным использованием вспомогательных материалов и минимальным влиянием технологического процесса на окружающую среду. В этой части тема полностью соответствует действующей государственной политике в области науки, техники и технологий согласно утвержденным приоритетным направлениям и критическим технологиям, Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, Стратегии развития

ОТЗЫВ

минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р) и другим руководящим документам

2. Научная новизна диссертации

К результатам, обладающим новизной по научной специальности 2.6.2 Металлургия черных, цветных и редких металлов (технические науки), относятся:

- аддитивный характер зависимости показателей процесса синтеза гидрокарбоалюмината кальция (ГКАК) в алюминатных растворах системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ по степени конверсии оксида кальция в ГКАК, содержанию целевой фазы в твердом продукте и насыщению карбонат- и гидроксид-ионами;

- термодинамическая возможность протекания процесса гидрохимической конверсии ортосиликата кальция с образованием известкового и силикатного компонентов независимо от сочетания полиморфных модификаций ортосиликата и карбоната кальция, а также возможность перекристаллизации карбоната кальция в содовом растворе независимо от его полиморфной модификации с образованием двойного карбоната натрия и кальция ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

- установлено долевое распределение потока регенерированного известкового компонента для производства портландцемента и приготовления известняково-нефелиновой шихты глиноземного производства в зависимости от степени углекислотной конверсии ортосиликата кальция и его доли, необходимой для выпуска экономически обоснованного количества клинкера алитового состава;

- экспериментально установлена кинетическая зависимость формирования крупнокристаллического осадка двойного карбоната натрия и кальция при содовой обработке кальцита в присутствии затравочных кристаллов пирссонита, обеспечивающих многократное увеличение скорости этого процесса.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность защищаемых научных положений не вызывают сомнений и подтверждены выполнением достаточного объема испытаний, представительностью и сходимостью полученных результатов, а также детальной проработкой теоретических и научно-технологических основ повышения эффективности комплексной переработки нефелинового сырья. Экспериментальные исследования выполнены с применением аттестованного лабораторного и аналитического оборудования, в том числе с использованием действующих технологических стандартов для проведения испытаний в глиноземной промышленности. Анализ полученных результатов с опорой на материалы ранее проведенных исследований, положения теории глиноземного производства и фундаментальные законы физической химии в

полной мере позволяет говорить об обоснованности представленных выводов и защищаемых положений.

Результаты диссертационной работы за последние три года апробированы на 4-х научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 2-х международных конференциях, включая известное научное мероприятие как XII Международный Конгресс и Выставка «Цветные металлы и минералы» (09-13 сентября 2024, г. Красноярск).

4. Научные результаты, их ценность

Диссертационное исследование Максимовой Регины Игоревны направлено на расширение научного знания в области разработки технологических решений по повышению эффективности и экологической безопасности использования низкокачественного алюминиевого сырья, в частности нефелинов и их близких аналогов, в производстве глинозема и попутной продукции. Существенным научным результатом является установление значительных отличий в показателях синтеза гидрокарбоалюминатов кальция в системах $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ по степени конверсии оксида кальция в ГКАК, содержанию ГКАК в осадке и его стехиометрии с насыщением по CO_2 от 0,79 до 0,62 моль при росте мольной доли K_2O от 0 до 1,0 соответственно. Это создает предпосылки для получения твердых растворов карбоалюминатного ряда при переработке как бесщелочного алюминиевого сырья с использованием натрий алюминатных растворов, так и щелочных горных пород, в частности ультракалиевого сырья с зависимым мольным соотношением ионов Na^+ и K^+ в реакционной среде.

Наряду с этим в работе теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность вовлечения регенерированного известкового компонента в производство глинозема и портландцемента в зависимости от его долевого распределения с эквивалентной заменой природного известняка в составе сырьевых смесей и шихт, удовлетворяющих базовым показателям качества по величине щелочного и известкового модулей. Установлены закономерности снижения углеродного следа комплексной переработки нефелинового сырья в зависимости от доли потока исходного шлама, поступающего на углекислотную гидрохимическую обработку и степени конверсии ортосиликата кальция с образованием карбоната кальция и кремнегеля.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени изложены в 5 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, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. По результатам работы получены 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент Российской Федерации на изобретение.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации определяется направленностью на решение актуальной научно-практической задачи повышения комплексности и экологической безопасности переработки низкокачественного алюминиевого сырья на глинозем и попутную продукцию, которая раскрывается в двух защищаемых научных положениях, каждое из которых подкреплено зарегистрированным объектом интеллектуальной собственности. В рамках первого научного положения показана результативность синтеза гидрокарбоалюмината кальция независимо от молярного соотношения катионов щелочных металлов в алюминатных растворах глиноземного производства. Установленные соискателем физико-химические закономерности развивают ранее выявленные теоретические и технологические подходы к формированию ГКАК, разработанные научной школой «Комплексная переработка сырья цветных, благородных и редких металлов» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II под руководством профессора Сизякова В.М. и получившие промышленную реализацию на отечественных глиноземных предприятиях. Прикладное значение работы заключается в разработке методики комплексного физико-химического анализа продуктов синтеза гидрокарбоалюмината кальция, на основе которой создана и зарегистрирована программа для расчета химического и вещественного состава твердых растворов карбоалюминатного ряда (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2024682672).

В рамках второго научного положения диссертационной работы обоснована возможность получения и повторного использования в технологическом цикле известкового компонента с регламентированным содержанием примеси SiO_2 не более 2–3 масс.%, что соответствует природному известняку 1-го и 2-го сортов (патент РФ № 2 865 057 «Способ комплексной переработки нефелинового сырья»). Наряду с этим получили развитие фундаментальные основы разделения силикатного и известкового компонентов при гидрохимической конверсии ортосиликата кальция на основе формирования крупнокристаллического осадка пирссонита в присутствии затравочного материала. При этом практическая значимость подтверждается актом об использовании результатов диссертации в деятельности ООО «ЭКО-Инжиниринг» от 01.06.2026 при планировании и реализации работ по повышению эффективности рекультивации шламовых полей АО «РУСАЛ Ачинск».

Автореферат отвечает основному содержанию диссертационной работы.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Основные научные и практические результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в следующих направлениях:

– в проектно-конструкторских и инженерно-технологических организациях металлургического профиля (АО «РУСАЛ ВАМИ», ООО «РУСАЛ ИТЦ», ООО «ЭКО-Инжиниринг» и других) при планировании и реализации работ по повышению комплексности и экологической

безопасности переработки низкокачественного алюминиевого сырья на глинозем и попутную продукцию;

– на действующих глиноземных предприятиях ООО «Пикалевский глиноземный завод» и АО «РУСАЛ Ачинский глиноземный комбинат», осуществляющих комплексную переработку нефелинового сырья с получением глинозема и попутной продукции;

– в научно-исследовательской и образовательной деятельности высших учебных заведений при подготовке обучающихся по направлению «Металлургия».

7. Замечания и вопросы по работе

При прочтении и анализе диссертационной работы Максимовой Р.И. возникли следующие вопросы и замечания:

1. В разделе 3.2 установлено влияние мольной доли K_2O в алюминатных растворах на показатели синтеза гидрокарбоалюмината кальция, в частности, на степень его насыщения по диоксиду углерода, которая при повышении содержания катионов калия в рабочей среде снижается с 0,79 до 0,62 моль на моль Al_2O_3 . Как, по мнению автора, данное стехиометрическое изменение влияет на реакционную способность ГКАК на стадии сверхглубокого обескремнивания алюминатного раствора?

2. В разделе 4.2 диссертации установлено, что введение затравочных кристаллов пирссонита многократно увеличивает скорость формирования его крупнокристаллического осадка при взаимодействии кальцита с содовым раствором (стр. 105, рисунок 4.12 (в автореферате – рис. 11), стр. 106, таблица 4.3). Каковы физико-химические причины такого ускорения, и как устанавливалась требуемая дозировка затравочного материала?

3. В разделе 4.3 диссертации при изучении влияния оксида кремния на показатели синтеза крупнокристаллического пирссонита зафиксировано изменение характера кинетических кривых (стр. 113, рисунок 4.16). Поясните, чем обусловлено временное торможение процесса на начальном этапе и последующий выход системы к 6-му часу на показатели, сопоставимые с результатами в системе $Na_2O-CaO-CO_2-H_2O$?

4. В рамках предлагаемого технологического решения по регенерации и рециклингу известкового компонента (см. раздел 5) помимо кальцийсодержащего материала образуется силикатный компонент; подвергается ли он последующей переработке и по какой технологической схеме?

5. По тексту диссертации и автореферата выявлено незначительное количество опечаток, которые не носят системного характера.

Указанные замечания и вопросы по диссертационной работе Максимовой Регины Игоревны не снижают ценность полученных в диссертации данных и выводов, и, скорее, являются пожеланиями с позиции более точного и глубокого понимания полученных авторов результатов и перспектив дальнейшего развития научно-практических основ комплексной

переработки нефелиновых руд и концентратов на глинозем и попутную продукцию.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Синтез гидрокарбоалюминатов кальция и рециклинг известкового компонента при комплексной переработке нефелинового сырья», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, 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 императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор – Максимова Регина Игоревна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов.

«24» августа 2026 г.

Официальный оппонент:

заведующий кафедрой «Металлургия цветных металлов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», доктор технических наук, профессор



Немчинова Нина Владимировна

Сведения об официальном оппоненте:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.istu.edu>

эл. почта: ninavn@istu.edu, kafmcm@istu.edu

телефон: +7 (3952) 405-116

