

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук Шепелева Игоря Иннокентьевича 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

Тема диссертации сформулирована достаточно корректно и включает две ведущие характеристики представленного научного исследования, такие как объект и предмет исследования. При этом объектом диссертационного исследования становится комплексная переработка нефелинового сырья, значение которой невозможно переоценить для нашей страны, а её перспективы определяются уровнем решения проблемных вопросов, связанных с крупномасштабным использованием высококремнистого алюминиевого сырья. Сегодня около 40 % отечественного глинозёма производится из российского нефелинового сырья (руд и концентратов), что имеет исключительное значение в контексте повышения технологического суверенитета страны и является исключительным достижением мирового уровня для отечественной науки и производственного комплекса. При этом природный дефицит высококачественных бокситов обязывает и в дальнейшем развивать альтернативные технические решения для использования высокощелочного алюмосиликатного сырья в производстве глинозёма, алюминия и попутной продукции, включая строительные материалы, удобрения, химические реагенты и многое другое. Понятно, что потенциальные возможности данного сырьевого ресурса связаны с дальнейшим решением вопросов снижения энергетических затрат, увеличением доли глинозёма песчаного типа, снижением количества отвального нефелинового шлама, а также уменьшением эмиссии парниковых газов.

В этой связи автор справедливо выделяет в качестве научного приоритета решение задачи регенерации и рециклинга известкового компонента в ходе гидрохимической переработки нефелинового шлама, что позволяет в значительной степени сократить потребность в природном

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-420 ОТ 01.09.20
А В В С

известняка на целом ряде переделов переработки нефелинового сырья способом спекания. Эти переделы включают приготовление известняково-нефелиновой шихты и сырьевой портландцементной смеси, производство известкового молока и синтез гидрокарбоалюминатов кальция (ГКАК). В этой связи тема диссертации в качестве предмета исследования содержит изучение вопросов синтеза гидрокарбоалюминатов кальция и рециклинга известкового компонента, направленных на решение актуальных задач дальнейшего повышения эффективности комплексной переработки нефелинового сырья и щелочных алюмосиликатов в целом, в том числе ультракалийевых полевошпатовых пород. И если научная и прикладная составляющая синтеза ГКАК глубоко разработаны в исследованиях профессора Сизякова В.М. и его учеников с промышленной реализацией на отечественных глинозёмных комбинатах, то вопросы регенерации и рециклинга известкового компонента изучены в значительно меньшей степени и нуждаются в глубокой научно-технологической проработке.

2. Научная новизна диссертации

Диссертация, подготовленная Максимовой Региной Игоревной, представляет собой оригинальное научное исследование, изложенное на 164 страницах машинописного текста, содержащего 49 рисунков и 30 таблиц. Диссертация состоит из оглавления, введения, 5 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 136 наименований, и 3 приложений. Текст диссертации в полной мере соответствует заявленной теме исследования и поставленным задачам, обеспечивающим достижение цели, связанной с разработкой научно-обоснованных технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности комплексной переработки нефелинового сырья. В научно-методологическом аспекте новизна результатов и диссертации в целом обеспечивается оригинальностью выбора предмета исследования и использованием оригинальных методологических подходов при доказательстве как первого, так и второго защищаемого положения. Это позволило внести заметный вклад в развитие теории и практики синтеза ГКАК, установив аддитивный характер изменения состава, свойств и показателей его получения применительно к системам граничного состава $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$. Предложенная и апробированная автором оригинальная методика комплексного физико-химического анализа ГКАК прошла необходимую экспертизу с получением подтверждающего документа - «Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024682672

Российская Федерация. Программа для расчёта химического и вещественного состава твёрдых растворов на основе сложных алюминатов щелочноземельных металлов».

Научная новизна диссертации в рамках второго защищаемого положения определяется результатами системного изучения процесса регенерации и рециклинга известкового компонента, отвечающего известным требованиям существующего технологического процесса переработки нефелиновых руд и концентратов. При этом установлена термодинамическая вероятность протекания процесса углекислотной конверсии ортосиликата кальция в составе нефелинового шлама в зависимости от фазового состава ортосиликата кальция и фазового состава образующегося карбоната кальция. Применительно к процессу кристаллизации двойного карбоната натрия и кальция (пирссонита) показано влияние полиморфных модификаций карбоната кальция на термодинамическую вероятность образования пирссонита в содовом растворе, а также возможность его образования в ходе реакции каустификации содового раствора с использованием известкового молока. Получили развитие теоретические представления о влиянии силикатного модуля смеси сырьевых компонентов в составе известняково-нефелиновой шихты на снижение удельного расхода известняка в её составе и эмиссию углекислого газа в процессе спекания. Выполненные автором аналитические исследования и теоретические расчёты показали эффективность регенерации и рециклинга известкового компонента для снижения углеродного следа переработки нефелинового сырья, а также гармонизации соотношения основной и попутной продукции. Экспериментальные исследования показали полную состоятельность и оригинальность данного подхода, что подтверждается экспертизой новизны и состоятельности предложенного технологического решения с получением подтверждающего документа - «Патент № 2865057 С1 Российская Федерация, Способ комплексной переработки нефелинового сырья».

Заметным научным результатом диссертации Максимовой Р.И. является экспериментальное исследование закономерностей синтеза пирссонита, в том числе с использованием затравочных кристаллов в интересах повышения эффективности разделения известкового и силикатного компонентов в составе нефелинового шлама после его углекислотной гидрохимической обработки.

Таким образом, диссертация Максимовой Р.И. обладает необходимой новизной в рамках научной специальности 2.6.2. Metallургия черных,

цветных и редких металлов по пунктам: п.4. «Термодинамика и кинетика металлургических процессов»; п.7 «Рециклинг материалов, переработка отходов производства и потребления»; п.9. «Энергосбережение, утилизация отходов металлургического производства, снижение выбросов, в том числе парниковых газов»; п.19 «Гидрометаллургические процессы и агрегаты».

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

По материалам выполненного исследования соискателем сформулировано два защищаемых научных положения, доказательство и обоснованность которых вынесены на обсуждение научным сообществом. При этом первое положение относится к развитию теории и практики синтеза ГКАК в системах глинозёмного производства в зависимости от природы катиона щелочного металла в алюминатном растворе, а также методологии расчёта химического и вещественного состава твёрдых растворов на основе сложных алюминатов щелочноземельных металлов. В этой работе автор полностью опирается на ранее выполненные исследования профессора В.М. Сизякова и зарегистрированной научной школы под его руководством, а также теорию и практику глинозёмного производства применительно к переработке нефелинового сырья. Так как данный процесс глубоко обоснован и внедрён на отечественных глинозёмных предприятиях, то можно говорить о высокой преемственности приведённых результатов с выполненными ранее исследованиями и достоверности доказательства первого защищаемого положения с учётом использования высокотехнологичных методов исследования вещественного и химического состава, фазовых превращений, структуры осадков и других характеристик.

Второе научное положение также опирается на известные теоретические и практические подходы, связанные с использованием известкового компонента в составе нефелинового шлама и снижением эмиссии углекислого газа, которые находят полноценное отражение в библиографическом списке диссертации, библиографии опубликованных автором статей и анализе известных технологических разработок в данной области. С учётом углублённой теоретической проработки второго защищаемого положения и подтверждения теоретических выводов результатами системного экспериментального исследования, выполненного на базе Научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» и Научного центра «Геомеханики и

проблем горного производства» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, обоснованность и достоверность этого положения не вызывают вопросов.

В этой связи необходимо отметить широкую осведомлённость научного сообщества о полученных результатах по материалам их апробации на научно-технических мероприятиях, а также публикации в профильных научно-технических журналах, что позволяет говорить о высокой обоснованности и достоверности вынесенных на защиту научных положений. Выводы по главам, заключение, а также содержащиеся в них рекомендации в полной мере отражают полученные научные результаты независимо от методики проведённого исследования, отличающейся на различных этапах выполнения работы, и содержат идентичную информацию в диссертации и автореферате.

4. Научные результаты, их ценность

Научные результаты выполненного диссертационного исследования представляют собой разноплановую научную информацию, полученную на отдельных этапах работы, которым соответствуют пять глав диссертации.

Для первой главы характерны результаты обзорно-аналитического исследования, позволяющего обосновать необходимость и перспективность дальнейшего повышения эффективности переработки щелочных алюмосиликатов, связанной с решением комплекса актуальных задач, включая увеличение глубины переработки силикатно-кальциевого (нефелинового) шлама и снижение углеродного следа технологического процесса. Исходя из результатов проведенного анализа, в конце первой главы была сформулирована цель и основные задачи научного исследования.

Во второй главе выполнен анализ теоретической и технологической обеспеченности синтеза гидрокарбоалюминатов кальция при переработке щелочных алюмосиликатов различного минерального состава, а также рассмотрены фундаментальные и технологические аспекты снижения углеродного следа переработки нефелинового сырья, гармонизации соотношения основной и попутной продукции. В том числе обоснована принципиальная возможность регенерации и рециклинга известкового компонента в рамках известных и предполагаемых технологических процессов с учётом проведённых термодинамических расчётов.

В третьей главе приведены материалы методического обеспечения, включая разработку методики комплексного физико-химического исследования ГКАК, и экспериментального получения ГКАК в

лабораторных условиях с использованием синтетических растворов в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$, что создает необходимые предпосылки для его получения при переработке как бесщелочного сырья, так и щелочных алюмосиликатов с повышенным содержанием калия.

В четвертой главе приведены результаты методической проработки и экспериментального исследования закономерностей синтеза пирссонита в процессе содовой обработки известковых материалов различного фазового состава. В том числе экспериментально установлена возможность значительной интенсификации процесса кристаллизации пирссонита при использовании синтетической затравки, что составляет фундаментальную основу разделения по крупности силикатного и известкового компонентов в составе продуктов углекислотной конверсии нефелинового шлама.

В пятой главе приведены материалы экспериментального исследования закономерностей разделения силикатного и известкового компонентов в составе продуктов конверсии нефелинового шлама, приготовления известняково-нефелиновых шихт и сырьевых портландцементных смесей с использованием оборотного известкового компонента для условий регламентированного производства портландцемента в качестве попутной продукции. Эти исследования стали экспериментальной основой для разработки оригинального способа комплексной переработки нефелинового сырья (Патент № 2865057 С1 Российская Федерация) и разработки принципиальных аппаратурно-технологических решений, учитывающих аспекты регенерации и рециклинга известкового компонента в производстве глинозема из нефелинового сырья.

Таким образом, можно говорить о получении результатов, имеющих существенное научно-методологическое, научно-технологическое и практическое значение для дальнейшего повышения эффективности комплексной переработки нефелинового сырья и его аналогов в части синтеза высоконасыщенных ГКАК, снижения расхода известняка, выхода отвального шлама и уменьшения эмиссии углекислого газа в ходе технологического процесса. Полученные научные результаты системно отражены в публикациях автора, знакомя научное сообщество как с результатами научных исследований, так и с техническими разработками.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 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 2 статьях в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus); получен 1 патент и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

5.1 Термодинамическими расчётами показано влияние полиморфных модификаций карбоната кальция и ортосиликата кальция на вероятность его углекислотной конверсии, что имеет принципиальное значение для регенерации известкового компонента при гидрохимической переработке нефелинового шлама. Дана термодинамическая оценка синтеза пирссонита при использовании различных полиморфных модификаций карбоната кальция при взаимодействии с содовым раствором по п.4. «Термодинамика и кинетика металлургических процессов».

5.2. Установлено, что введение затравочного пирссонита в несколько раз увеличивает скорость его кристаллизации при взаимодействии карбоната кальция с содовым раствором, в том числе в присутствии примеси кремнегеля. Это создаёт необходимые предпосылки для эффективного разделения силикатного и известкового компонентов в продуктах углекислотной конверсии нефелинового шлама по п.4. «Термодинамика и кинетика металлургических процессов», п.7 «Рециклинг материалов, переработка отходов производства и потребления».

5.3. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено снижение расхода известняка и эмиссии углекислого газа при спекании известняково-нефелиновой шихты в зависимости от подшихтовки корректирующих алюминийсодержащих добавок и/или рециклинга оборотного известкового компонента, что обеспечивает гармонизацию соотношения основной и попутной продукции в технологическом процессе по п.7 «Рециклинг материалов, переработка отходов производства и потребления»; п.9. «Энергосбережение, утилизация отходов металлургического производства, снижение выбросов, в том числе парниковых газов»; п.19 «Гидрометаллургические процессы и агрегаты».

5.4. Экспериментально подтверждена возможность синтеза высоконасыщенных по содержанию CO_2 твёрдых растворов на основе сложных алюминатов кальция, что обеспечивает получение целого спектра востребованных продуктов (коагулянтов, сорбентов, специальных цементов, реагентов для сверхглубокого обескремнивания и др.) независимо от природы щелочного металла в алюминатных растворах. В

том числе разработана оригинальная методика комплексного физико-химического анализа ГКАК и программа для расчёта химического и вещественного состава твёрдых растворов на основе сложных алюминатов щелочноземельных металлов по п.19 «Гидрометаллургические процессы и агрегаты».

5.5. Разработано научно обоснованное технологическое решение, обеспечивающее регенерацию и рециклинг известкового компонента, пригодного для использования в процессе комплексной переработки нефелинового сырья на переделе приготовления известняково-нефелиновой шихты, сырьевой портландцементной смеси и др., что отвечает научной специальности 2.6.2 по п.7 «Рециклинг материалов, переработка отходов производства и потребления»; п.9. «Энергосбережение, утилизация отходов металлургического производства, снижение выбросов, в том числе парниковых газов»; п.19 «Гидрометаллургические процессы и агрегаты».

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные автором результаты представляют интерес для отечественного производства глинозёма из нефелинового сырья, которое реализуется на Ачинском глинозёмном комбинате и Пикалёвском глинозёмном заводе в интересах повышения эффективности комплексной переработки сырья и снижения углеродного следа технологического процесса.

Дальнейшее развитие предложенного в диссертации подхода представляет интерес для профильных творческих коллективов, работающих в сфере комплексного использования сырья, в том числе в рамках научной школы под руководством профессора В.М. Сизякова, на лабораторной базе Научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, на площадках Инженерного технологического центра РУСАЛ, в рамках научно-технической деятельности ООО «Экологический инжиниринговый центр» и в других профильных организациях.

Нет сомнения, что целый ряд разработанных автором вопросов представляет интерес для включения в программы дисциплин подготовки инженерных кадров по металлургии лёгких металлов, технологии неорганических веществ и геоэкологии.

Дополнительно следует отметить перспективы развития данного научного направления в рамках подготовки кадров высшей квалификации

– кандидатов и докторов наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов и близкородственным научным специальностям.

7. Замечания и вопросы по работе

По тексту диссертации и автореферата диссертации Максимовой Р.И. имеются следующие замечания и рекомендации:

7.1. Вывод об аддитивном характере изменения состава и свойств твёрдых растворов на основе сложных алюминатов кальция (табл. 3.5) сделан по результатам изучения систем с мольной долей $\text{Na}_2\text{O} = 1$ и $\text{K}_2\text{O} = 1$, т.е. в отсутствии данных о синтезе ГКАК в условиях промежуточного мольного состава алюминатных растворов по содержанию щелочных металлов, а использование производственных данных, соответствующих мольной доле $\text{K}_2\text{O} = 0,3$ не вполне корректно и не вписывается в предложенный аддитивный ряд свойств.

7.2. Термодинамические расчёты (раздел 2.2., стр. 49-53 и стр. 62-65) выполнены без учёта температурной зависимости теплоёмкости веществ и активности компонентов раствора.

7.3. При синтезе пирссонита (рис. 4.12., табл. 4.3) установлен ускоренный выход с достижением предельного выхода пирссонита на уровне 71 % в течение 2-х часов с дальнейшим сохранением этой величины в течение последующих 4-х часов. Чем объясняется достижение этого предела и имеется ли возможность 100 % выхода пирссонита по количеству связанного в него карбоната кальция?

7.4. Экспериментальные исследования по синтезу пирссонита выполнены с использованием чистых препаратов и, конечно, нуждаются в технологическом опробовании на реальных технологических материалах, а также масштабировании лабораторного эксперимента с установлением показателей эффективности разделения известкового и силикатного компонентов при использовании оборотной заправки пирссонита.

7.5. Эффективность рециклинга известкового компонента показана по результатам приготовления сырьевых смесей и шихт требуемого состава, показатели обжига и спекания которых не оценивались по результатам эксперимента.

7.6. В автореферате отсутствуют библиографические сведения о публикуемых докладах автора.

Указанные замечания носят частный характер и не оказывают существенного влияния на качество текста и научное содержание выполненного диссертационного исследования.

8. Заключение по диссертации

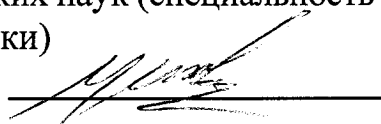
Диссертация «Синтез гидрокарбоалюминатов кальция и рециклинг известкового компонента при комплексной переработке нефелинового сырья», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. – Metallургия черных, ученых цветных и редких металлов полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении 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. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент

Директор Общества с ограниченной ответственностью

«Экологический Инжиниринговый Центр»,

доктор технических наук (специальность 02.00.04 – Физическая химия, технические науки)



Шепелев Игорь Иннокентьевич

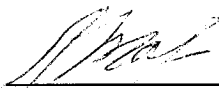
662150, Красноярский край, г. Ачинск, ОПС, а/я 27;

(39151) 2-33-77; 8 9233075644, E-mail: ekoing@mail.ru

18 августа 2026 г.

Подпись доктора технических наук Шепелева И.И. заверяю

Начальник отдела кадров



А.П. Матвеева

