

## О Т З Ы В

**официального оппонента кандидата технических наук Шопперта Андрея Андреевича на диссертацию Федорова Алексея Томасовича на тему: «Ионный состав и фазовые равновесия в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  при переработке алюминиевого сырья с повышенным содержанием калия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия**

Диссертационная работа Федорова А.Т. посвящена разработке математических моделей ионного состава и фазовых равновесий в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ , которые характерны для технологических процессов, предполагающих переработку нетрадиционного алюминийсодержащего сырья с повышенным содержанием калия. Проведенные в данной работе исследования и полученные математические модели позволяют рассчитать не только равновесный состав растворов с заданным соотношением калия и натрия, но и определить процентное соотношение в растворе основных алюминатных анионов, что позволяет глубже понять механизм протекающих процессов и прогнозировать эффективность гидролитического разложения раствора заданного состава. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых высокоэффективных методов извлечения алюминия из различных алюмосиликатных пород, а также при вовлечении содо-поташной смеси Ачинского глиноземного комбината на Уральских алюминиевых заводах.

### 1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время проблема истощения запасов высококачественных бокситов и эффективной рентабельной переработки низкокачественного сырья или отходов производства становится крайне актуальной, а создание экологически чистых процессов было признано новым важным направлением в развитии технологий. Такой подход не только направлен на повышение эффективности использования ресурсов, но также уделяет больше внимания сокращению выбросов загрязняющих веществ. Одним из наиболее перспективных источников алюминия в будущем являются

ОТЗЫВ  
ВХ. № 9-631 от 19.09.22  
АУ УС

различные алюмосиликатные породы с повышенным содержанием калия: нефелины, нефелиновые сиениты, лейциты, сынныриты, болгариты, различные полевые шпаты и другие аналогичные типы руд. При переработке данного вида сырья щелочными методами калий неизбежно переходит в раствор, что приводит к его накоплению и изменению свойств получаемых растворов. В этой связи особое значение приобретают фундаментальные представления о ионной природе и свойствах ключевой физико-химической системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ , определяющей показатели как выщелачивания, так и гидролитического разложения растворов, а также выход и качество конечной продукции на фоне достаточно ограниченных сведений о равновесных состояниях в данной системе.

Таким образом, соискателем была выбрана актуальная для глиноземной промышленности цель работы, заключающаяся в разработке математических моделей, необходимых для дальнейшего повышения эффективности переработки нетрадиционных видов сырья.

## 2. Научная новизна в рамках требований к диссертации

В качестве объекта исследования автор выбрал систему  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  с различным соотношением калия и натрия, а предметом исследования -- изучение и математическое описание в данной системе. Научная новизна представленной соискателем работы определяется следующими результатами:

- установлено, что степень нелинейности изотерм растворимости в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  является показателем усложнения ионного состава алюминатных растворов при участии димеров тетрагидроксикомплексов метаалюминат-ионов и делает возможным расчёт ионного состава растворов для термодинамической модели при участии двух ионных форм алюминия;

- показано, что при участии димеров область существования соответствующих равновесий определяется построением изотерм растворимости в виде функции  $[\text{Al}_2\text{O}_3] = f([\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}] - [\text{Al}_2\text{O}_3])$ , и позволяет сузить диапазон высказанного модельного представления о совместном существовании

мономеров, димеров и дегидратированных метаалюминатионов в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ ;

- установлено, что значение степени разложения алюминатных растворов в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  имеет нарушение в монотонности её изменения с возникновением особой точки при мольной доле  $\text{K}_2\text{O}$  равной 0,33, наличие которой можно объяснить сменой механизма процесса в связи с изменением ионного состава алюминатного раствора. Кроме того, наблюдается корреляция между значением степени разложения алюминатных растворов и величиной среднего медианного диаметра частиц образующегося твердого осадка гидроксида алюминия, что свидетельствует о тесной взаимосвязи ростовых процессов кристаллизации и механизма гидролиза в целом, а также их зависимости от ионного состава алюминатных растворов;

- экспериментально установлен равновесный состав щелочных алюминатных растворов в частных разрезах системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  и показано, что с точностью  $\pm 5\%$  этот состав может быть определён на основе принципа аддитивности по данным о состоянии равновесия в наиболее изученных частных системах  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ .

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются результатами проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований, соответствующих общепринятым теоретическим и методологическим представлениям, непротиворечивостью полученных результатов, апробацией основных положений диссертации в публикациях и выступлениях на научных конференциях.

#### **4. Практическая значимость**

1. Разработана методика расчёта ионного состава равновесных алюминатных растворов (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022615014 Программа для расчёта ионного состава равновесных алюминатных растворов глинозёмного производства) и показано, что изотермы равновесия в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  при температуре 30, 60 и 95 °С включают фазовые равновесия с участием одной, двух или трёх ионных форм алюминия, область существования которых определяется концентрацией щелочного компонента и температурой.

2. Определены равновесные составы алюминатных растворов в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  и обоснована возможность их расчёта на основе принципа аддитивности для использования в математических моделях технологических процессов и цифровых двойниках глинозёмных предприятий применительно к переработке сырья с повышенным содержанием калия.

3. Предложены принципы построения термодинамической модели для расчёта фазовых равновесий в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  с учётом ионного состава алюминатных растворов и введением понятия условного катиона щелочного металла со средневзвешенной молекулярной массой для суммы калия и натрия в растворе.

Научные и практические результаты могут быть использованы в учебном процессе с их включением в лекционные курсы и лабораторные практикумы по дисциплинам «Физическая химия гетерогенных процессов», «Металлургия легких металлов», «Специальный курс. Производство глинозёма» при подготовке специалистов по направлению «Металлургия» и «Химические технологии».

#### **5. Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертация состоит из оглавления, введения, 5 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 179 наименований. Диссертация изложена на 136 страницах машинописного текста,

содержит 34 рисунка и 11 таблиц. Работа написана грамотным, научным языком, соблюдена правильность оформления. Диссертация производит благоприятное впечатление, содержание диссертации в необходимой мере отражено в автореферате и публикациях. Опубликовано 5 печатных работ, в том числе в 1 статья – в издании 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 международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

## **6. Замечания и вопросы по диссертации**

1. На мой взгляд, акцент в первой главе смещен в сторону кислотных методов переработки и наоборот мало освещены щелочные способы переработки нетрадиционных видов глиноземсодержащего сырья, при этом большая часть посвящена математическому описанию периода индукции.

2. Во второй главе диссертации встречаются устаревшие понятия «гидроокись», «окись», а также имеются опечатки: «электропроводноэги», «часьных» и т.д.

3. На странице 39 диссертации указано, что при 95 °С и 100 °С кристаллизуется гиббсит, хотя последние публикации показывают, что при затравке в виде бемита основным продуктом является именно бемит вплоть до 90 °С. Проводились ли исследования по достижению равновесия в калийных растворах с использованием бемита?

4. Проводилось ли исследование морфологии получаемых осадков в процессе гидrolитического разложения растворов? По данным зарубежных исследователей в калийных растворах наблюдается изменения механизма роста кристаллов, что могло бы объяснить изменения гранулометрического состава.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки работы.

## 7. Заключение по диссертации

Диссертация на тему «Ионный состав и фазовые равновесия в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  при переработке алюминиевого сырья с повышенным содержанием калия», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия соответствует 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 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Федоров Алексей Томасович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник Научной лаборатории перспективных технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья цветных и черных металлов, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Кандидат технических наук  
«12» сентября 2022г

Шопперт Андрей Андреевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Официальный сайт: <https://urfu.ru/>

e-mail: [a.a.shoppert@urfu.ru](mailto:a.a.shoppert@urfu.ru)

Тел.: +7 (343) 375-46-11

Подпись официального оппонента, к.т.н. старшего научного сотрудника Научной лаборатории перспективных технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья цветных и черных металлов Шопперта Андрея Андреевича заверяю:

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.

