

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Государственное учреждение
«Научно-исследовательский институт
металлургии» открытого акционерного
общества «Таджикская Алюминиевая
Компания», кандидат технических наук

Наимов Н.А.

2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Акрамзода Рустами Джурахона на тему: «Физико-химические основы переработки борсодержащих материалов Таджикистана органическими реагентами и фосфорной кислотой», представленную на соискание учёной степени доктора философии (PhD), доктора по специальности 6D060600 – Химия (6D060601 - Неорганическая химия)

Актуальность темы исследования

Борные соединения (бораты) представляют собой стратегически важные неорганические вещества, обладающие широким спектром применения в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, а также в медицине и фармацевтике. На современном этапе развития технологических процессов возрастает спрос на высокочистые борсодержащие продукты, что обусловлено расширением их использования в производстве современных стекло- и керамикообразующих материалов, композиционных стекловолокон, антисептических и дезинфицирующих средств, а также в качестве компонентов удобрений и микроэлементов в агрохимии.

Особую значимость приобретают исследования в области переработки природного боросодержащего сырья, учитывая наличие перспективных месторождений боросиликатных руд на территории Таджикистана, в частности, в Памирском регионе. Геолого-минералогические данные указывают на значительные запасы боросодержащих минералов, требующих разработки научно обоснованных и экономически целесообразных методов их переработки с целью получения коммерчески ценных борных соединений.

Бораты широко применяются в стекольной и керамической промышленности для снижения температуры плавления, повышения химической стойкости и термостойкости изделий. В химической промышленности они используются при производстве моющих средств,

эмалей, глазурей и антипиренов. В аграрном секторе борные соединения признаны жизненно необходимыми микроэлементами, оказывающими влияние на метаболические процессы в растениях, повышающими устойчивость культур к неблагоприятным условиям и способствующими увеличению урожайности.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка технологий, обеспечивающих эффективное извлечение борных соединений из природного сырья. Одним из перспективных направлений является применение кислотных методов разложения, в частности, с использованием фосфорной кислоты, позволяющей не только деполимеризовать силикатные матрицы боросодержащих минералов, но и одновременно формировать фосфатные соединения, обладающие агрохимической ценностью.

Кроме того, представляет интерес использование методов жидкостно-жидкостной экстракции для выделения борной кислоты из природных водных источников, таких как рапа озёр, в частности, озера Сасык-Куль. Экстракционные процессы с применением органических реагентов позволяют осуществлять селективное извлечение боросодержащих форм при одновременном снижении затрат на очистку и концентрирование продукта.

Таким образом, исследование физико-химических основ процессов переработки боросиликатного сырья с использованием фосфорной кислоты и органических экстрагентов, а также разработка соответствующих технологических схем, представляют собой актуальное научно-практическое направление. Полученные в результате исследования данные могут стать основой для создания ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий производства борной кислоты, буры, борного спирта и комплексных удобрений, востребованных на внутреннем и внешнем рынках.

Основное содержание работы, новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, выводы, а также список использованной литературы, содержащий 121 наименование. Общий объем работы составляет 137 страниц машинописного текста и включает 28 таблиц, 31 иллюстрацию (рисунок и схему), а также приложения.

Во *введении* обоснована актуальность выбранной научной проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава представляет собой аналитический обзор литературы, посвящённый современным представлениям о термодинамических аспектах разложения алюмосиликатного и боросиликатного сырья. Рассматриваются возможности применения кислотных, хлоридных и спекательных методов, а также различные реагенты и активаторы, используемые в технологических процессах. Проведен сравнительный анализ существующих подходов с позиций эффективности и технологической реализуемости.

Во второй главе изложены методики работы с боросиликатным сырьём, включая подготовку проб и проведение химических и физико-химических анализов. Приведены результаты определения химического и минералогического состава руд методами химического анализа, рентгенофазового анализа (РФА), а также данные термического анализа (ДТА), позволяющие проследить изменения фазового состава при термообработке. Выполнены расчёты термодинамических характеристик разложения боросиликатного сырья ортофосфорной и другими минеральными кислотами, проведена сравнительная термодинамическая оценка исследуемых процессов.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию процессов извлечения борной кислоты из минеральных рассолов озера Сасык-Куль с использованием различных органических экстрагентов. Кроме того, изложены результаты опытов по кислотному разложению боросодержащего сырья ортофосфорной кислотой. Разработаны и предложены принципиальные технологические схемы: экстракции борной кислоты органическими растворителями и кислотного разложения боросиликатных руд. Также изучена кинетика разложения боросодержащего сырья, определены влияющие параметры и предложен механизм протекания процесса.

Четвёртая глава содержит обобщение и обсуждение полученных результатов. Проведено сопоставление с данными аналогичных исследований других авторов, выделены особенности полученных закономерностей, обозначены ограничения проведённой работы и возможные направления для дальнейших исследований.

Основные результаты и положения диссертационной работы полностью обоснованы, подтверждаются проведёнными теоретическими расчётами и серией экспериментальных исследований, выполненных с применением современных аналитических методов.

Научная новизна. Впервые комплексно исследованы физико-химические основы переработки боросодержащих материалов Таджикистана с применением ортофосфорной кислоты и органических реагентов. Изучены

и систематизированы механизмы разложения боросиликатного сырья кислотными методами и процессы экстракции борной кислоты из рассолов. Проведена термодинамическая оценка рассматриваемых процессов. Разработаны укрупнённые технологические схемы переработки борсодержащего сырья, отличающиеся ресурсосберегающим и малоотходным характером.

Теоретическая значимость. Работа вносит вклад в развитие теории кислотного разложения и экстракции бора, углубляет представления о механизмах взаимодействия боросиликатного сырья с минеральными кислотами, и расширяет термодинамическую базу данных по данным системам.

Практическая значимость. Разработанные в ходе исследования технологические схемы переработки борсодержащих материалов обладают высоким потенциалом промышленного внедрения. Они позволяют получать борную кислоту, буру, борный спирт и фосфатные удобрения с высокой степенью извлечения при минимизации отходов. Предложенные методы могут быть использованы для освоения минерально-сырьевых ресурсов Таджикистана и способствовать развитию местной химической промышленности.

Личный вклад соискателя. Соискателем лично выполнены: формулировка целей и задач исследования, анализ научной литературы, выбор методик исследования, постановка и проведение экспериментов, обработка и интерпретация полученных данных, а также формулировка выводов и предложений. Все основные результаты, изложенные в диссертации, получены при непосредственном участии автора.

Анализ содержания и основных результатов диссертационного исследования Акрамзоды Р.Дж. Проведённый анализ диссертационной работы свидетельствует о глубокой проработке темы и комплексном подходе к решению поставленных научных и прикладных задач. Автором выполнены следующие ключевые направления исследований:

- проведены химические и минералогические анализы исходного борсодержащего сырья и минеральных рассолов озера Сасык-Куль (Таджикистан) с использованием современных физико-химических методов, в частности рентгенофазового анализа (РФА) и дифференциально-термического анализа (ДТА). Полученные данные позволили охарактеризовать фазовый и элементный состав объектов переработки.
- выполнен термодинамический анализ возможных химических реакций при взаимодействии боросиликатного сырья с ортофосфорной кислотой.

Расчёты показали термодинамическую реализуемость процессов и обосновали выбор оптимальных условий кислотного разложения.

- экспериментально установлены оптимальные условия экстракции борной кислоты из минеральных рассолов озера Сасык-Куль с использованием одноатомных спиртов — гексанола и октанола. Максимальная эффективность достигалась при соотношении экстрагент/рассол = 1:1, pH среды 1–2, продолжительности экстракции 75 минут. При соблюдении этих параметров степень извлечения борной кислоты (H_3BO_3) составила до 85%.

- также определены оптимальные условия жидкостно-жидкостной экстракции борной кислоты с использованием изобутилового спирта и трибутилфосфата. Максимальные концентрации борной кислоты в органической фазе составили 210 мг/л (изобутиловый спирт) и 198 мг/л (трибутилфосфат) при pH 1–2, времени 60 минут и соотношении фаз 1:1.

- проведены исследования по фосфорнокислотному разложению боросиликатного сырья и его концентрата, предварительно подвергнутых термообработке. Определены оптимальные параметры процесса: температура 80 °С, продолжительность 60 минут, концентрация H_3PO_4 - 25-30%. При этих условиях степень извлечения B_2O_3 из исходного сырья составила 80,1%, а из концентрата – 86,7%.

- изучены кинетические закономерности кислотного разложения концентрата боросиликатного сырья. На основе расчёта энергии активации (27,6 кДж/моль) установлено, что процесс ограничен диффузионной стадией, что имеет важное значение для масштабирования технологии.

- разработана обобщённая технологическая схема переработки боросиликатного сырья месторождения Ак-Архар с применением фосфорной кислоты.

Особо следует отметить вклад диссертанта в определение термодинамических свойств минералов и термодинамическое моделирование процессов кислотного взаимодействия борсодержащего сырья, что повысило уровень обоснованности технологических решений и придало работе фундаментальный характер.

В ходе выполнения диссертационного исследования соискателем получен комплекс новых, научно обоснованных технических и технологических решений, направленных на повышение эффективности переработки борсодержащего сырья. Разработанные подходы имеют прикладной характер и при внедрении способны внести значимый вклад в развитие минерально-сырьевой базы Таджикистана, а также в повышение уровня экологической безопасности и рационального природопользования.

Считаем необходимым выделить ключевые особенности выполненного диссертационного исследования:

- комплексный анализ боросодержащих материалов, включающий исследование их состава с применением химико-аналитических, минералогических и физико-химических методов (в том числе РФА, ДТА), что позволило всесторонне охарактеризовать исследуемое сырьё и продукты его переработки.
- термодинамическая проработка кислотного разложения боросиликатных руд, включающая проведение расчетов стандартных термодинамических функций и построение зависимостей, что обеспечило теоретическое обоснование эффективности применения ортофосфорной кислоты и других реагентов.
- экспериментальное обоснование параметров фосфорнокислотного разложения боросодержащего сырья с определением оптимальных условий процесса, обеспечивающих высокую степень извлечения оксида бора, как из исходного материала, так и из его концентратов.
- исследование процессов экстракции борной кислоты из минеральных рассолов озера Сасык-Куль с применением различных органических реагентов, включая одноатомные спирты и трибутилфосфат. Выполнена оптимизация условий экстрагирования, обеспечивающая максимальную эффективность извлечения целевого компонента.
- изучение кинетики фосфорнокислотного разложения боросиликатного сырья, с определением энергии активации и механизма процесса. Установлено, что процесс протекает в диффузионной области, что важно для масштабирования технологии.
- разработка лабораторно-полупромышленных технологических схем переработки боросодержащего сырья с получением борных продуктов (борная кислота, бура, борные удобрения). Разработанные схемы охватывают как кислотные, так и экстракционные методы, с учётом оптимизации стадий процессов, технологических параметров и получения малотоксичных, экологически приемлемых отходов.

Таким образом, представленная диссертационная работа является самостоятельным и завершённым научным исследованием, отличающимся высоким уровнем теоретической проработки, экспериментальной достоверности и практической ориентированности результатов.

Достоверность и обоснованность результатов. Достоверность представленных в диссертационной работе результатов подтверждена использованием современных, контролируемых методов физико-химического анализа (РФА, ДТА), выполнением повторных химических

анализов нескольких образцов, а также проведением параллельных экспериментов. Применение комплексного аналитического подхода и соблюдение методологической строгости в обработке данных позволяют считать полученные научные и технологические результаты обоснованными и воспроизводимыми. Технологические решения, предложенные автором, базируются на экспериментально подтверждённых данных, что обеспечивает их надёжность и практическую применимость.

Замечания по диссертационной работе. В процессе ознакомления с текстом диссертации и автореферата были выявлены отдельные замечания, носящие в основном уточняющий и рекомендательный характер:

1. В третьей главе названия пунктов 3.4.1 и 3.4.2 во многом дублируют друг друга, что затрудняет восприятие структуры материала. Целесообразно объединить их в один подраздел с логическим разделением внутри текста.
2. Следует отметить, что в диссертации и автореферате приведены результаты разложения боросиликатного сырья фосфорной кислотой только после предварительной термической обработки. Между тем, не были рассмотрены возможности прямого разложения необожжённого сырья, что представляется целесообразным для комплексной оценки эффективности выбранного метода.
3. Имеются отдельные случаи оформления библиографических источников, не соответствующие требованиям ГОСТ, что требует редакторской правки.
4. Для полноты и наглядности представленных данных желательно было бы включить характеристики получаемой борной кислоты (например, степень чистоты, форма кристаллизации) и других конечных продуктов.
5. Недостаточно раскрыт сравнительный анализ эффективности экстракции борной кислоты изобутиловым спиртом и трибутилфосфатом. Указание преимуществ одного экстрагента над другим повысило бы прикладную значимость работы.
6. В разделе термодинамического анализа отсутствуют расчёты по теплоёмкостям рассматриваемых реакции, а также объяснение значений термодинамических функций (ΔH , ΔG , ΔS), что несколько снижает уровень теоретической глубины рассматриваемых процессов.

Несмотря на указанные замечания, которые носят частный характер и могут быть учтены в последующих публикациях автора, диссертационная работа отличается высокой степенью научной обоснованности, актуальностью, экспериментальной и прикладной значимостью.

Представленное исследование является завершённой научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым

к кандидатским диссертациям, и свидетельствует о способности соискателя к самостоятельному научному поиску и решению прикладных задач в области технологии неорганических веществ.

Подтверждение опубликования и апробации основных результатов диссертации. Основные научные положения и результаты, полученные в диссертационном исследовании Акрамзоды Рустами Джурахона, нашли достаточное отражение в научной печати и были апробированы на международных, региональных, республиканских и вузовских научно-практических конференциях и симпозиумах. Это свидетельствует о признании актуальности и научной значимости проведённого исследования в профессиональном сообществе.

По теме диссертации опубликованы 21 научная работа, включая: 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 12 тезисов и статей в материалах научно-практических конференций различного уровня, а также получен 1 малый патент Республики Таджикистан, № TJ 1405 от 12.09.2022 года.

Таким образом, результаты диссертации прошли всестороннюю научную апробацию и могут быть рекомендованы к практическому применению.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат корректно и полно отражает структуру, цели, задачи и ключевые научные результаты диссертационной работы. Основные положения, изложенные в автореферате, соответствуют содержанию и научной сути исследования. Претензий к стилю, форме и полноте представления материалов автореферата не имеется.

Соответствие диссертации установленным требованиям

Диссертационная работа Акрамзоды Рустами Джурахона на тему «Физико-химические основы переработки борсодержащих материалов Таджикистана органическими реагентами и фосфорной кислотой» выполнена в соответствии с критериями, установленными Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021 г. № 267, и отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD).

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 6D060600 – Химия (6D060601 - Неорганическая химия), в частности по следующим направлениям:

Пункт 1. Фундаментальные основы получения объектов исследования и материалов на их основе (исследование состава и свойств боросодержащих руд и минеральных рассолов озера Сасык-Куль);

Пункт 2. Синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами (получение метабората натрия, борной кислоты и борного спирта);

Пункт 4. Реакционная способность неорганических соединений в различных агрегатных состояниях и при экстремальных условиях (термический, термодинамический и кинетический анализ процессов);

Пункт 5. Взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений; технологии получения и переработки неорганических и наноструктурированных материалов.

Практическая значимость и рекомендации к использованию

Ведущая организация считает, что полученные в ходе исследования результаты представляют практическую ценность и могут быть использованы:

- при разработке технологических основ комплексной переработки местного боратного сырья;
- для получения борных удобрений в сельском хозяйстве;
- в научной и прикладной деятельности Государственного учреждения «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «ТАЛКО»;
- в образовательном процессе и исследовательской работе кафедры прикладной химии химического факультета Таджикского национального университета.

Заключение

Диссертационная работа Акрамзода Рустами Джурахона на тему: «Физико-химические основы переработки борсодержащих материалов Таджикистана органическими реагентами и фосфорной кислотой» выполнена автором самостоятельно и на хорошем научно-техническом уровне. В работе получены новые научно-обоснованные научные и технологические решения в области технологических основ получения борных и других полезных продуктов, внедрение которых вносит определённый вклад в перспективность освоения месторождения Ак-Архар для нужд страны.

Диссертационная работа Акрамзода Р.Дж. соответствует требованиям «положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021 г. №267, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора философии (PhD).

Автор диссертации Акрамзода Рустами Джурахон заслуживает присуждения учёной степени доктора философии (PhD), доктора по специальности 6D060600 – Химия (6D060601 – Неорганическая химия).

Отзыв заслушан и утвержден на расширенном заседании лаборатории «Переработки и использование местного глинозема-, углеродсодержащего сырья» Государственное учреждение «Научно-исследовательский Институт металлургии» открытого акционерного общества «Таджикская алюминиевая компания (17 июля 2025 г., протокол №9).

Председатель заседания:

Директор ГУ «НИИМ»
ОАО «ТАЛКО», к.т.н.



Наимов Н.А.

Эксперты:

Заведующий лабораторией переработки
местного глинозема, фтор- и углеродсодержащего
сырья ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО», к.т.н.



Аминджони Г.

начальник отдела внедрения инновационных
технологий ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО»



Махкамбаев Р.С.

Секретарь заседания:

Учёный секретарь ГУ «НИИМ»
ОАО «ТАЛКО», к.т.н.



Хамраев Н.Х.

Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Х. Хакимзаде, 17
E-mail: inmet.talco@mail.ru. **Тел.:** (+992) 37 224 26 20, 44 600 39 01

Подлинность подписей к.т.н. Наимова Н.А., к.т.н. Аминджони Г.,
Махкамбаева Р.С. и к.т.н. Хамраева Н.Х. заверяю:

Заведующий сектором научно-технического
сотрудничества и учёта кадров
ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО»



Шарипов З.Х.