



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени академика М.С. Осими

734042, Душанбе, просп. академиков Раджабовых, 10, Тел.: (+992 37) 221-35-11, Факс: (+992 37) 221-71-35,  
E-mail: [rector.ttu@mail.ru](mailto:rector.ttu@mail.ru), Web: [www.ttu.tj](http://www.ttu.tj)

от «01.08» 2024 г. № 27/974

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Таджикского технического  
Университета им. акад. М.С. Осими,  
А.В. профессор  
Давлатзода К.К.

«01» \_\_\_\_\_ 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Маматова Эргаша Джумаевича** на тему: «Физико-химические основы комплексной переработки боро- и алюмосиликатного минерального сырья Таджикистана» представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4 - Физическая химия (химические науки)

Боро- и алюмосиликатные руды Таджикистана – это низкокачественное сырье переменного состава, их целенаправленное применение для получения глинозёма, солей алюминия, борной кислоты и буры сдерживается отсутствием единого методологического подхода к выбору и получению конечных продуктов применяемых в промышленности и др. отраслях народного хозяйства страны.

Из всего многообразия областей применения бора и его соединений выделяются наиболее крупные: атомная энергетика, стекольное производство, изготовление стекловолокна, других стеклоподобных

материалов, моющих, отбеливающих средств и является важным микроудобрением, играя исключительно большую роль в жизни растений.

Разработка рациональной технологии переработки высококремнистого борного сырья, предусматривающая его разложение с извлечением полезных составляющих и отделение кремнезёмистого остатка, представляется весьма важной, что и предопределило постановку данного исследования.

На предприятиях производственного объединения «Таджикхимпром» образуются большие количества хлора и серной кислоты. Применение хлора и серной кислоты для получения соединений бора, алюминия и железа из боро- и алюмосиликатного минерального сырья позволит получить не только значительный экономический эффект, но и решит экологические проблемы региона.

Комплексное использование боратных руд позволит значительно расширить сырьевую базу республики, ликвидировать в среднеазиатском регионе имеющийся дефицит таких ценных продуктов, как коагулянты для очистки воды, глинозем, борная кислота, бура и др. Разработка эффективных комплексных способов переработки боро- и алюмосиликатных руд значительно расширит сырьевую базу для производства алюминия и борных соединений.

Диссертационная работа Маматова Э.Д. посвящена изучению физико-химическим основам комплексной переработки боро- и алюмосиликатной руды, которые широко распространены в Таджикистане. Исследования в данном направлении, актуальны, в связи с растущими потребностями различных соединениях бора и глинозема.

**Актуальность выполненных исследований** подтверждена включением их в государственные Программы: Стратегия Республики Таджикистан в области науки и техники на период 2005-2015гг.; Программа внедрения научно-технических достижений в промышленное производство Республики Таджикистан на период 2010-2015 гг.; Постановление мэра города Душанбе №674-6 от 24 декабря 2010 года для внедрения научно-технических достижений в промышленное производство города Душанбе на период 2011-2015гг.

Научные исследования, проведённые Э.Д. Маматовым и результаты, изложенные в диссертационной работе, выполнялась в соответствии с заданием Академии наук Таджикистана и с планами НИР Института химии им. В.И.Никитина Академии наук Республики Таджикистан по теме: «Экологическая проблема комплексной переработки минерального сырья, промышленных отходов и разработка материалов для очистки промышленных газов». Регистрационный номер № 00877 на 2000-2005 гг.; «Научные основы безотходной технологии переработки минерального сырья и промышленных отходов» (ГР №0106ТД415) 2006-2010гг.; «Физико-

химические и технологические основы переработки минерального сырья и промышленных отходов» (ГР №0102ТД927) 2011-2015гг. и «Изучение селективных способов разложения высококремнистых бор- и алюминийсодержащих руд Таджикистана» (ГР № 0116ЕО00542) 2016-2020гг.

**Целью работы является** исследование физико-химических основ комплексной переработки боро- и алюмосиликатных руд Таджикистана, щелочью (гидроксидом натрия), минеральными (соляной, серной и азотной) кислотами и хлорированием. Изучение термодинамических, кинетических характеристик разложений и нахождение оптимальных параметров обработки боро- и алюмосиликатных руд для комплексной и безотходной технологии их использования.

**Степень научной новизны результатов.** Показано, что сущность проведенного исследования заключается в разработке теоретических основ и технологических аспектов получения продуктов с оптимальными физико-химическими параметрами и свойствами из различных видов боро- и алюмосиликатного сырья Таджикистана под воздействием факторов кислотного, хлорного и щелочного разложения в динамическом режиме, и выражается в следующем:

- определены морфологические особенности, фазовый, химический и элементный составы исходных боро- и алюмосиликатных руд и продуктов их разложения соляной, серной, азотной кислотами, газообразным хлором и едким натром методами рентгенофазовым, дифференциально-термическим, ИК- спектроскопическим, химическим, элементным и силикатным анализами;
- установлено, что каолиновые глины, аргиллиты и сиаллиты широко представленные в Таджикистане, являются ценнейшим исходным сырьем для получения глинозема, кварца, коагулянтов и керамики;
- показан эффект повышения степени извлечения в раствор макро- и микрокомпонентов боро- и алюмосиликатных руд с избирательным хлорированием оксидов;
- доказано, что без предварительного обжига извлечение оксида бора из состава боросиликатной руды и ее концентрата получается незначительным. Предварительный обжиг следует проводить при температуре 950-980°C;
- найдены оптимальные условия разложения боро- и алюмосиликатных руд и изучены продукты кислотного, хлорного и щелочного разложения рентгенофазовым, дифференциально-термическим и силикатным методами анализа;
- на основе установленной кинетики последовательных реакций под воздействием температуры и продолжительности процесса, рассчитаны соответствующие значения кажущихся констант связей, образованных при кислотном разложении ( $K_1$ ), хлорировании ( $K_2$ ) и выщелачивании ( $K_3$ ). Корректность данного подхода подтверждается достаточно высоким совпадением экспериментальных данных с результатами расчёта теоритическим и графическим методом кинетических параметров последовательных реакций;

- установлена корреляция логарифма констант скоростей разложения боро- и алюмосиликатного сырья ( $\lg k$ ) и последовательных реакций оксидов алюминия ( $\lg k_1$ ) и бора ( $\lg k_2$ ) от обратного значения абсолютной температуры, что позволило оценить кажущуюся энергию активации ( $E(k_1)$ ,  $E(k_2)$  и  $E(k_3)$ ) соответствующих реакций выше указанных процессов;
- найдены оптимальные условия взаимодействия исходных, предварительно обожжённых боро- и алюминийсодержащих руд серной, соляной и азотной кислотами, газообразным хлором, едким натром и разработаны соответствующие принципиальные технологические схемы комплексной их переработки кислотным, хлорным и щелочными способами.

### **Теоретические и практические значение работы.**

Создана научно-обоснованная новая энерго – и ресурсосберегающая технология переработки боро- и алюминийсодержащего сырья, приводящая к значительному сокращению энергозатрат, продолжительности процесса с одновременным получением хлорида алюминия и железа, оксида алюминия, сульфата алюминия, борной кислоты, буры и др. продуктов, с оптимальными химическими и физико-химическими параметрами приемлемыми эксплуатационными свойствами.

#### **1. Разработаны и запатентованы:**

- принципиально новый способ получения солей алюминия и железа из высокожелезистых силлитов путем хлорирования, где оксиды железа и алюминия разлагаются избирательно. В первой стадии процесс проводится без восстановителя – угля (выход хлорида железа 96.74%), а во второй обезжелезённая руда перемешивается с определенным количеством угля, гранулируется и хлорируется (выход хлорида алюминия 96.74%), с получением хлоридов алюминия и железа особой чистоты (Малый патент Республики Таджикистан ТД 996);

- новый способ получения борной кислоты, включающий сульфатизацию боросиликатной руды месторождения Ак-Архар, измельчение спёка, с последующим выщелачиванием спёка сульфатированной боросиликатной руды, исключая процесс обжига при высоких температурах, длительную обработку и увеличивающий выход и улучшающий качество борной кислоты (Малый патент Республики Таджикистан ТД 1031);

- способ получения декагидрата карбоната натрия из жидких отходов алюминиевого производства (Малый патент Республики Таджикистан ТД 1341).

#### **2. Установлены закономерности разложения основных рудообразующих минералов содержащих (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na и др.) и определены микрокомпоненты (Sc, Cr, Mn, Co, Zn, As, Se, Rb, Sr, Cd, Sb, Cs, Ba, Ce, Nb, W, V, Ni, Pb, P, Zr и др.), на основе которых предложены новые способы кислотной, хлорной и щелочной обработки боро- и алюмосиликатного сырья Таджикистана.**

#### **3. Определены физико-химические свойства боро- и алюмосиликатной руды с целью избирательного извлечения ее составляющих и конечных**

продуктов кислотной, хлорной и щелочной обработки на основании рентгенофазового и дифференциально-термического методов анализа.

4. Разработанные технологии по получению кварца и обезжелезненного каолина из боро- и алюмосиликатного сырья апробированы на предприятии ЗАО «Лазурит» г. Турсунзаде и рекомендованы к внедрению.

5. Разработаны и испытаны в лабораторных условиях несколько способов получения коагулянта из алюмосиликатных руд и борной кислоты, буры из боросиликатной руды месторождения Ак-Архар и ее концентрата.

Полученные результаты представляют практический интерес для теоретической физической и неорганической химии и химической технологии, так как расширяют наши представления о характере взаимодействия оксидов бора, алюминия и др. с кислотами, щелочью и газообразным хлором.

**Материалы исследований** могут быть использованы специалистами в области химии синтеза неорганических веществ, неорганической химии, учебных курсах технологии неорганических веществ, а также в Институте химии им. В.И. Никитина НАНТ и для научных исследований в лабораториях ВУЗов и других институтах Республики Таджикистан и за рубежом. Полученные данные по физико-химическим основам переработки боро – алюмосиликатного сырья являются ценными для создания банка данных по переработке низкокачественного боро- и алюмосиликатного минерального сырья (имеется акт внедрения).

**Степень обоснованности научных положений, выводов оформленных в диссертации.** Диссертационная работа Маматова Эргаша Джумаевича выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне. Основные выводы и положения диссертации достаточно обоснованы обширным экспериментальным материалом. Интерпретация полученных результатов проведена в соответствии с современными представлениями неорганической, физической химии и химической технологии.

Предложенные Маматовым Э.Д. новые научные результаты открывают широкие возможности для получения разнообразных продуктов из низкокачественных боро- и алюмосиликатных руд.

На основании выполненных исследований решены важные в научном и практическом плане вопросы по физико-химическим и технологическим основам комплексной переработки боро- алюмосиликатного минерального сырья Таджикистана. На основе достоверных экспериментальных результатов предложен ряд методических решений и определены оптимальные условия разложения оксидов бора и алюминия и получена борная кислота, бура, сульфаты и хлориды алюминия, что определяет научную ценность, представленной диссертационной работы.

**Личное участие автора в получении научных результатов, изложенных в диссертации.** Личное участие Маматова Эргаша Джумаевича состоит в постановке темы исследования; формулировке целей и задач исследований, также ему принадлежит определяющая роль в выборе

направления и методологии исследований, решении поставленных задач путём проведения экспериментальных исследований, обработки, анализе и обобщении полученных результатов и их публикации.

Основные результаты диссертационной работы получены лично автором под его руководством или при его непосредственном участии в планировании и проведении экспериментов, интерпретации результатов и формулировке основных научных положений и выводов работы.

В результате проведенных исследований Маматовым Э.Д. представлены оптимальные условия получения борной кислоты, бората натрия, глинозема, сульфата алюминия и коагулянтов из боро-алюмосиликатного минерального сырья Таджикистана.

**Методология и методы исследования.** Для изучения закономерностей и особенностей физико-химических основ комплексной переработки боро- и алюмосиликатного минерального сырья применялись методы элементного, силикатного, рентгенофазового, дифференциально-термического (термоскан), комплекснометрического анализа и др. методы системного, корреляционного и методы математического моделирования.

**Объектами исследования** являлись: боросиликатная руда месторождения Ак-Архар и ее концентрат, алюмосиликатные руды – каолиновая глина, аргиллиты и сиаллиты Зидды и Чашма-Санг.

Теоретической и методологической основой данного исследования являлись работы современных отечественных и зарубежных ученых в области химии и технологии переработки минерального сырья и отходов производства.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, посвященных обзору литературы, экспериментальной части, результатам исследований и их обсуждению, выводов и приложения, включающего патенты, акты внедрения диссертационной работы в производстве и в учебном процессе и акты лабораторных испытаний полученных продуктов из боро- и алюмосиликатной руды. Содержание диссертации изложено на 422 страницах машинописного текста, включает 125 рисунков и 106 таблиц. Список цитируемой литературы включает 526 наименований.

**Во введении** обосновывается актуальность темы, изложены цель и научная новизна диссертации, практическая ценность и ее структура, апробация полученных результатов.

**В первой главе (литературном обзоре)** изложены сведения, содержащиеся в первоисточниках, о структуре, свойствах, номенклатуре и областях применения борных соединений, глинозёма и сульфата алюминия.

Подробно рассмотрены стадии промышленного получения борной кислоты, буры, глинозёма и сульфата алюминия, начиная с подготовки сырья и заканчивая целевыми продуктами. Дан детальный анализ существующих методов получения глинозёма, борной кислоты и сульфата алюминия, таких как термический, кислотный, хлорный, щелочной и хлоридовозгонный и т.д. Рассмотрены отдельно сведения о боро- и алюмосиликатных рудах, как перспективного и специфичного вида сырья. Обоснован выбор хлорирующего агента и кислот для проведения исследования боро – и алюмосиликатных руд Таджикистана. Также обоснована актуальность настоящего исследования, посвященное разработке методов получения глинозёма, сульфата алюминия, борной кислоты и буры, базирующихся на пониженных температурах и времени контакта реагирующих веществ с хлорирующим и выщелачивающим агентами.

**Во второй главе** приведена характеристика исходного боро- и алюмосиликатного материала, отбор проб и подготовка исходного сырья, предварительный обжиг сырья, методики определения химического и элементного состава боро – и алюмосиликатных руд, методики проведения низкотемпературного и высокотемпературного хлорирования в динамическом режиме, методики определения содержания бора и алюминия в боро- и алюмосиликатных рудах, методики проведения физико-химических исследований, математической обработки результатов и методика расчёта термодинамических функций реакций кислотного, хлорного и щелочного разложения боро – и алюмосиликатных руд.

В 3, 4 и 5 главах приводятся результаты экспериментальных исследований в соответствии свыше представленными задачами.

**Наиболее важные научные результаты работы.** Рентгенофазовым, дифференциально-термическим, ИК-спектроскопическим, химическим методами анализа определены минералогический, химический и элементный составы боро- и алюмосиликатных руд каолиновых глин, сиаллитов, аргиллитов Зидды и Чашма-Санг и боросиликатной руды месторождения Ак-Архар и её концентрата. Исследованы физико-химические свойства исходного и предварительно термически обработанного боро- и алюмосиликатного сырья, а также продуктов их переработки после щелочного, кислотного и хлорного разложения.

Установлены основные закономерности процессов: а) кислотного разложения; б) хлорирования; в) щелочной обработки боро- и алюмосиликатного сырья Таджикистана. Определено влияние макро- и микрокомпонентов на реакционные способности боро- и алюмосиликатных руд при обработке растворами с разными рН кислот, щёлочи и газообразного

хлора. Выявлены оптимальные условия процессов переработки исходного и предварительно термообработанного боро- и алюмосиликатного сырья кислотными, хлорными и щелочными способами.

Доказано, что важную роль для активации структуры и состава, боро- и алюмосиликатных руд играет процесс термической обработки. Установлен факт значительного ускорения процесса разложения боро- и алюмосиликатных руд под воздействием высокой температуры по сравнению с традиционными методами, на основе которого проведена оптимизация процесса в сторону улучшения качества и увеличения выхода целевых продуктов для выбранного вида минерального сырья.

Определены составы боро- и алюмосиликатных руд, и продуктов реакций кислотного, щелочного, хлорного разложения и доказана их структура методами рентгенофазового, дифференциально-термического, ИК-спектроскопического и другими методами анализов.

Определены термодинамические функции величин реакций разложения основных минералообразующих элементов и микрокомпонентов, боро- и алюмосиликатного сырья растворами серной, соляной, азотной кислот, газообразным хлором и едким натрием. Исследована кинетика, рассчитаны соответствующие величины кажущейся энергии активации и константы скоростей реакций, раскрыты механизмы процессов и определены области течения реакций кислотного, хлорного и щелочного разложения боро- и алюмосиликатного сырья.

Разработана полнофакторная математическая модель и на её основе создан пакет программного обеспечения, связывающего вид и выход целевых продуктов из боросиликатного минерального сырья, а также технологических параметров, которая может быть использована для налаживания промышленного производства борной кислоты и её соединений при различных условиях и режимах.

На основе проведенных исследований и выявленных оптимальных параметров процессов разложения боро- и алюмосиликатной руды разработаны технологии получения борной кислоты, бората натрия, хлоридов алюминия и железа, сульфата алюминия, глинозёма, оксида кремния и керамических материалов: а) в динамическом режиме; б) под воздействием высокой температуры; в) обработки обожжённого материала; г) переработки соответствующим реагентом; д) непрерывного выделения продуктов реакций; е) предварительной обработки исходного сырья и полученного целевого продукта. Разработанные комплексные способы переработки боро- и алюмосиликатного сырья приводят к сокращению продолжительности процесса, исключают необходимость использования



концентрированных растворов кислот и щёлочи, улучшают качество целевых продуктов и снижают их себестоимость.

**Публикации и апробации работы.** Основное содержание диссертационного исследования опубликовано в 3 монографиях, 40 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ и получено 3 малых патента Республики Таджикистан.

Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись в 120 тезисах в качестве приглашенных докладов на местных, российских и международных научных конференциях и семинарах.

Результаты, полученные диссертантом путём успешного решения поставленных задач, являются новыми. Выводы сформулированы аргументировано. Основные положения диссертационной работы отражены в автореферате диссертации, а опубликованные работы действительно отражают основное содержание диссертации. Тема, содержание диссертации и полученные результаты соответствуют специальности 1.4.4- физической химии.

Неоспоримы достижения Маматова Э.Д. в развитии новой методологии по физико-химическим основам комплексной переработки боро- и алюмосиликатного минерального сырья Таджикистана. При чтении диссертации и автореферата возникли следующие замечания:

1. Результаты хлорирования боросиликатных руд без восстановителя в интервале температур 200-800°С и продолжительности 120 мин. Показывает на незначительное увеличение степени извлечения оксидов Fe, Ca и B (стр. 230, рис.4.2 а,б). С чем это связано?
2. В тексте не отражается, всегда ли эксперимент заканчивается образованием борной кислоты? При каких условиях можно увеличить процесс кристаллизации борной кислоты?
3. В разделе хлорирования боросиликатной руды и ее концентрата не учитывается возможное образование хлоридов других металлов (суммарное содержание их оксидов около 1,5%). С другой стороны, в принципиальной технологической схеме рис.4.13 говорится не о хлорида бора, а о борной кислоте.
4. Хлорирование алюмосиликатной руды после обжига позволили достичь максимального выхода  $Al_2O_3$  более 80%. Однако в некоторых опытах и рисунках (стр. 260, рис.4.16; стр. 263, рис.4.18, а,б,в,г; стр. 297, рис. 4.36, а,б,в,г) сведения об оксидах калия, натрия, кальция и магния отсутствуют.
5. В работе не приведён технико-экономический показатель предлагаемых методов переработки.

6. Для выявления механизмов разложения боро- и алюмосиликатной руды желательнее было исследовать процессы при более длительном времени.

7. В автореферате и диссертации встречаются технические неточности и грамматические ошибки.

Однако возникшие замечания не умаляют достоинства и научный уровень выполненной работы. Замечания носят дискуссионный характер, не носят принципиальный характера и не влияют на заключение по диссертации в целом.

**Заключение.** Диссертационная работа Маматова Э.Д. представляет собой завершённое научное исследование, а полученные результаты, несомненно, достоверны, имеют теоретическое и практическое значение.

В диссертации решена ключевая научная проблема по созданию научных основ нового метода получения неорганических материалов из боро- и алюмосиликатного сырья Таджикистана, основанного на сочетании кислотного, хлорного и щелочного разложения в условиях разных рН, для разработке научно-обоснованной новой энерго – и ресурсосберегающих технологий приводящие сокращению энергозатрат, продолжительности процесса с одновременным получением хлорида алюминия и железа, оксида алюминия, сульфата алюминия, борной кислоты, буры и расширения материальной базы отечественной химической промышленности. Также в диссертации решена важная задача:

- исследованы химический, минералогический и элементный составы боро- и алюминийсодержащих руд – каолиновых глин, сиаллитов, аргиллитов Зидды и Чашма-Санг и боросиликатной руды Ак-Архара и её концентрата;
- исследованы основные закономерности процессов кислотного разложения, хлорирования и щелочной обработки боро- и алюмосиликатного сырья;
- изучены реакционные способности макро- и микрокомпонентов боро- и алюмосиликатного сырья и полученных продуктов при обработке растворами с разными рН и поведения боро- и алюмосиликатного сырья при предварительном обжиге температурах 500 - 950°C;
- исследованы физико-химические свойства сырья, продуктов кислотного и щелочного разложения, хлорирования рентгенофазовым, дифференциально-термическим, ИК-спектроскопическим и другими методами анализов;
- изучены термодинамика и кинетика выщелачивания, основных порообразующих элементов боро- и алюмосиликатного сырья растворами серной, соляной кислотами, газообразным хлором и едким натром;
- проведена математическое моделирование процесса извлечение оксида бора из боросиликатного минерального сырья;
- найдены оптимальные условия технологических приемов, направленных на обработку боро- и алюмосиликатного сырья и составлены


соответствующие комплексные технологические схемы кислотного, хлорного и щелочного разложения.

По актуальности, научной новизне, по своему содержанию и объёму диссертация Маматова Эргаша Джумаевича на тему: «Физико-химические основы комплексной переработки боро- и алюмосиликатного минерального сырья Таджикистана», отвечает критериям пунктов 9-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор Маматов Эргаш Джумаевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора химических наук по специальности 1.4.4 – Физическая химия (химические науки).

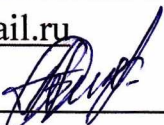
Отзыв обсуждён на расширенном заседании кафедры Общей и неорганической химии Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. Протокол № 12 от «15» июня 2024 г.

**Отзыв составили:**

Кандидат химических наук (специальность 1.4.4 (02.00.04) - физическая химия), доцент, заведующий кафедрой общей и неорганической химии ТТУ им. акад. М.С. Осими; 734042. Таджикистан, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых 10, Тел. (+992) 901-01-09-09, E-mail: [islomovamuqaddam71@gmail.com](mailto:islomovamuqaddam71@gmail.com)

  
\_\_\_\_\_ М.С. Исломова

Член. корр. НАНТ, д.х.н. (специальность 1.4.1 (02.00.01) - неорганическая химия), профессор (специальность 1.4.1 (02.00.01) - неорганическая химия) кафедры общей и неорганической химии ТТУ им. акад. М.С. Осими; 734042. Таджикистан, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых 10, Тел. (+992) 935-71-21-25, Email: [badalovab@mail.ru](mailto:badalovab@mail.ru)

  
\_\_\_\_\_ А. Бадалов

Подписи к.х.н., доцента М.С. Исломовой и д.х.н., профессора, чл.- корр. НАНТ А. Бадалова

**Заверяю:**

Начальник отдела кадров и СР  
Таджикского Технического  
университета им. акад. М.С.Осими





Кодирзода Н.Х.

« 07 » августа 2024 г.