

« У Т В Е Р Ж Д А Ю »

/Ректор Таджикского государственного



педагогического университета им. С. Айни,
доктор исторических наук, профессор

Ибодуллозода А.И.

«*Ибодулло*» 2025 г.

О Ф И Ц И А Л Ь Н Ы Й О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Сатторзода Субхонали Абдугафора на тему: «Физико-химические и технологические аспекты переработки побочного продукта производства плавиковой кислоты с использованием глинозёмсодержащих руд Таджикистана», представленную на соискание учёной степени доктора философии (PhD), доктора по специальности 6D072000 – Химическая технология (6D072001– Технология неорганических веществ)

Актуальность темы диссертационной работы. Исследование возможности производства фтористых солей из образующейся смеси кислот в производственном процессе на ООО «ТАЛКО Кемикал» представляет собой комплексную задачу, имеющую важное значение как с экологической, так и с экономической точки зрения. Ожидается, что переработка этих кислотных смесей в ценные фтористые соли не только снизит экологическую нагрузку на окружающую среду, но и создаст новые возможности для производства высокоценных химических веществ. Необходимость проведения этих работ обусловлена целым рядом факторов. Прежде всего, важным аспектом является поиск метода получения фторида натрия, фторида алюминия, криолита и аморфного кремнезёма, поскольку эти вещества имеют широкое промышленное применение в различных отраслях, включая производство алюминия, синтез фторсодержащих материалов, а также в качестве компонентов в производстве стекла, керамики и других материалов. Процесс переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с использованием отечественных алюминийсодержащих руд, гидроксида натрия и алюминия предполагает создание новой технологии, которая позволит более эффективно извлекать полезные компоненты из побочных продуктов и преобразовывать их в ценные химические соединения. Это будет способствовать не только улучшению качества конечной продукции, но и значительному сокращению отходов на производственном процессе.

Кроме того, использование отечественных алюминийсодержащих руд в качестве исходного материала для получения фторидов и других химических соединений представляет собой стратегически важное направление, направленное на улучшение отечественной сырьевой базы. Это также снижает зависимость от импорта и способствует развитию химической промышленности на национальном уровне. Таким образом, работа по разработке метода получения фтористых солей из смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот открывает новые перспективы для химической и металлургической отрасли, предоставляя возможности для эффективного использования побочных продуктов и создания ценного сырья для различных промышленных процессов.

Целью диссертационной работы является разработка физико-химических методов и технологий для эффективной утилизации смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот, образующихся как побочные продукты на производственном процессе, с использованием отечественных алюминийсодержащих руд и гидроксида натрия. Основной задачей работы является получение высококачественных фтористых солей, таких как фторид натрия, фторид алюминия, криолит и аморфный кремнезём, которые являются ценными химическими веществами с широким спектром промышленного применения.

Процесс утилизации смеси этих кислот включает в себя использование современных физико-химических методов, направленных на эффективное извлечение и переработку фторсодержащих компонентов, что позволит значительно снизить экологическую нагрузку, минимизировать отходы и повысить экономическую эффективность производственных процессов. Применение отечественных алюминийсодержащих руд, гидроксидов натрия и алюминия в качестве реагентов для синтеза фторидов и других полезных веществ не только обеспечит снижение затрат на сырьё, но и способствовать развитию национальной сырьевой базы, уменьшив зависимость от импорта. Таким образом, диссертационная работа направлена на создание новой технологической платформы для переработки химических отходов в ценные продукты, что будет иметь важное значение для химической, металлургической и других отраслей промышленности, а также для обеспечения устойчивого и экологически безопасного развития промышленного производства.

Соответствие специализации соискателя специальности выполненной диссертационной работы. Специализация соискателя соответствует научной специальности, по которой выполнена диссертационная работа, представленная на соискание ученой степени

доктора философии (PhD) по специальности 6D072000 – Химическая технология (6D072001 – Технология неорганических веществ). Диссертант окончил бакалавриат на факультете химии Таджикского национального университета по специальности «Прикладная химия» с присвоением квалификации «химик-исследователь», а также магистратуру по специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» с квалификацией «инженер-химик-технолог». Таким образом, можно утверждать, что специализация соискателя полностью соответствует научной специальности, по которой выполнена диссертационная работа на соискание ученой степени доктора философии (PhD).

Рецензируемая диссертационная работа *соответствует паспорту специальности* 6D072001 – Технология неорганических веществ:

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 6D072001 – Технология неорганических веществ по следующим параметрам:

1. Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты. В подглавах 3.2, 3.3, 3.6, 3.8, 4.2 и 4.4 подробно описаны процессы получения фторида натрия, жидкого стекла, фторида алюминия и криолита из смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот.
2. Явления переноса тепла в веществах в связи с химическими превращениями в технологических процессах. Кинетика и термодинамика химических и межфазных превращений. В подглавах 3.1, 3.7, 4.1 и 4.5 проведены детальные термодинамические и кинетические расчеты, описывающие химизм взаимодействия смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с гидроксидом натрия, глинозёмистыми рудами и гидроксидом алюминия, а также их последующие превращения.
3. Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические продукты. В подглавах 3.2, 3.3, 3.6, 3.8, 4.2 и 4.4 представлено детальное описание методов, а также последовательности выполнения технологических операций и процессов, связанных с переработкой исходного сырья. Эти процессы направлены на производство фторида натрия, жидкого стекла, фторида алюминия и криолита с использованием смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот.
4. Экологические проблемы создания неорганических материалов и изделий на их основе. Способы и последовательность технологических

операций и процессов защиты окружающей среды от выбросов неорганических веществ. Смесь кремнефтористоводородной (КФВК) и плавиковой кислот является побочным продуктом, образующимся на предприятии ООО «ТАЛКО Кемикал». Этот продукт требует утилизации, поскольку в процессе производства кислоты накапливаются, представляют определённую угрозу для окружающей среды и нуждаются в переработке. В подглавах 3.2, 3.3, 3.6, 3.8, 4.2 и 4.4 подробно изложены методы и последовательность технологических процессов, связанных с переработкой и утилизацией данной смеси кислот.

5. Разработка оптимальных структур и конструкций, а также инновационных технологий изготовления материалов с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями для обеспечения снижения затрат на организацию их производства и повышение качества продукции. В подглавах 3.3 и 3.4 изложены принципиальная технологическая схема и технико-экономическая оценка разработанной технологии переработки смеси кислот с использованием гидроксида натрия (NaOH). Кроме того, в подглаве 4.6 представлена принципиальная технологическая схема комплексной переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с применением глинозёмсодержащих руд.

Объектом исследования является смесью кремнефтористоводородной и плавиковой кислот, образующейся как побочный продукт в процессе производства плавиковой кислоты на предприятии «ТАЛКО Кемикал». Эта смесь представляет собой сложный химический состав, требующий изучения для эффективного использования и минимизации экологического воздействия.

Предметом исследования выступает разработка и оптимизация технологии обработки местной глинозёмсодержащей руды Таджикистана, а также гидроксидов натрия и алюминия с использованием смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот. Целью является получение ценных продуктов, таких как фторид алюминия, криолит, фторид натрия, жидкое стекло и аморфный кремнезём, которые имеют широкое применение в промышленности.

Методы исследования включают комплексный физико-химический анализ глинозёмсодержащего сырья, смеси кислот, а также промежуточных и конечных продуктов переработки. Используются современные аналитические методы, а также высокоточное лабораторное оборудование для определения состава, структуры и свойств материалов.

Отрасль исследования связана с задачами химической технологии и металлургии, направленных на комплексную переработку побочных продуктов химического производства. Особое внимание уделяется использованию местных глинозёмсодержащих руд Таджикистана и гидроксида натрия для создания устойчивых и экономически эффективных производственных процессов.

Этапы исследования включают следующие направления:

1. Проведение анализа научной и технической литературы по механизмам образования кремнефтористоводородной кислоты, её физико-химическим свойствам и возможным путям комплексной переработки.
2. Изучение технологий извлечения ценных компонентов из побочного продукта предприятия «ТАЛКО Кемикал» – смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот – с оценкой их технико-экономической эффективности.
3. Исследование процессов переработки глинозёмсодержащего сырья Таджикистана с использованием смеси кислот для получения целевых продуктов, включая определение оптимальных параметров технологического процесса.

Основная информационная и экспериментальная база включала поиск информации из научных журналов с использованием международных информационных систем. Исследования проводились в ГУ «Научно-исследовательском институте металлургии» ОАО «ТАЛКО» и Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ, где физико-химическими методами анализа изучались свойства местного глинозёмсодержащего сырья, определялся состав смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот, а также необходимые анализы с применением приборов для РФА.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается применением комплексного подхода, включающего проведение серии экспериментов, химических анализов и использование современных физико-химических методов. На основе полученных данных установлена идентичность характеристик побочного продукта - смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот - и конечных продуктов переработки, таких как фторид алюминия, криолит, фторид натрия, жидкое стекло и аморфный кремнезём. Кроме того, характеристики конечных продуктов были сопоставлены со стандартными показателями, установленными для данных веществ в соответствии с отраслевыми нормативными требованиями и стандартами ГОСТ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Впервые определены ключевые физико-химические параметры процессов утилизации смеси кремнефтористоводородной (H_2SiF_6) и плавиковой (HF) кислот при взаимодействии с гидроксидом натрия. Установлены оптимальные условия для получения фторида натрия, аморфного кремнезёма и жидкого стекла, что способствует эффективной переработке побочных продуктов химического производства.
2. Разработаны и обоснованы физико-химические и технологические подходы к утилизации смеси КФВК и плавиковой кислот с использованием местного глинозёмсодержащего сырья Таджикистана и гидроксида алюминия. Определены параметры, обеспечивающие высокую эффективность процессов и возможность получения ценных продуктов, таких как фторсодержащие соли.

Теоретическая ценность исследования состоит в следующем:

- выявлены и описаны механизмы химического взаимодействия смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с глинозёмсодержащим сырьём, гидроксидом натрия и гидроксидом алюминия.
- проведены детальные термодинамические и кинетические расчёты, характеризующие процессы кислотного разложения и образования целевых продуктов. эти расчёты обеспечивают фундаментальное понимание реакционной способности и позволяют прогнозировать поведение системы в различных условиях;
- сформулированы теоретические основы для оптимизации технологических процессов переработки побочных продуктов химической промышленности;

практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработаны технологические методы утилизации смеси КФВК и плавиковой кислот с использованием местных глинозёмсодержащих руд и гидроксида алюминия, которые обеспечивают производство фторсодержащих солей, востребованных в алюминиевой промышленности;
- предложены технологические схемы и аппаратное оформление, позволяющие эффективно перерабатывать побочные продукты с минимальными экологическими рисками;
- проведена технико-экономическая оценка разработанных технологий, подтверждающая их целесообразность и потенциал для внедрения в промышленное производство.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Установленные физико-химические параметры реакционной способности смеси КФВК и плавиковой кислот при взаимодействии с

местным глинозёмсодержащим сырьём и гидроксидом алюминия, обеспечивающие синтез фторсодержащих солей, необходимых для производства алюминия.

2. Результаты термодинамических и кинетических расчётов, описывающих химизм взаимодействия смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с глинозёмсодержащими рудами, гидроксидом алюминия и гидроксидом натрия, включая определение энергетических характеристик процессов.

3. Разработанные методы утилизации смеси КФВК и плавиковой кислот с использованием гидроксида натрия, гидроксида алюминия и глинозёмсодержащих руд, учитывающие варьирование физико-химических параметров для достижения максимальной эффективности.

4. Принципиальные технологические схемы комплексной переработки смеси КФВК и плавиковой кислот с применением гидроксида натрия, гидроксида алюминия и глинозёмсодержащих руд, обеспечивающие получение ценных продуктов, таких как фторид натрия, криолит и аморфный кремнезём.

5. Предложенная технологическая схема переработки смеси КФВК и плавиковой кислот с использованием NaOH, включающая подбор специализированного оборудования и аппаратов химического назначения (аппаратурно-технологическая схема) для производства фторида натрия и аморфного диоксида кремния.

6. Результаты технико-экономической оценки разработанной технологии переработки смеси КФВК и плавиковой кислот с использованием NaOH, демонстрирующие её промышленную эффективность и экономическую целесообразность для масштабирования.

Личный вклад автора в диссертационное исследование заключается в разработке и обосновании методологии исследований, направленных на решение поставленных научных задач. Автор самостоятельно проводил эксперименты, разрабатывал и применял методы расчётов и экспериментальных подходов для достижения целей исследования. Значительная часть работы автора связана с обработкой, анализом и обобщением экспериментальных и расчётных данных, что позволило сформулировать ключевые выводы и положения диссертации. Автор также активно участвовал в подготовке и публикации результатов исследований в научных изданиях, а также в обобщении и представлении основных положений диссертационной работы в виде научных статей, докладов и патентов.

Публикации по теме диссертации включают 14 научных работ, отражающих результаты исследований. В их числе: 6 статей, опубликованных в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Таджикистан (ВАК РТ), и 8 тезисов докладов, представленных в материалах международных и республиканских научно-практических конференций. Кроме того, по итогам работы получены 2 малых патента Республики Таджикистан, подтверждающих новизну разработанных технологий. Также подготовлен 1 акт о выпуске и испытании опытной партии жидкого стекла и справка, содержащая технико-экономическую оценку предложенной технологии, что подчеркивает её практическую значимость и возможность внедрения.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, обсуждения результатов, выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объём работы составляет 147 страниц компьютерного набора. Текст иллюстрирован 32 рисунками и 31 таблицей, которые наглядно представляют результаты исследований. Список литературы включает 149 источников, отражающих широкий охват научной базы, использованной в работе. Диссертация дополнена 4 приложениями, содержащими вспомогательные материалы, подтверждающие достоверность и полноту проведённых исследований.

Диссертационная работа представляет собой всестороннее исследование физико-химических свойств материалов и раскрывает ключевые аспекты, связанные с переработкой побочных продуктов химического производства, разработкой инновационных методов получения ценных веществ, а также рациональным использованием национальных природных ресурсов для формирования экологически устойчивых производственных процессов. Результаты исследования обладают значительной научной и практической ценностью для химической промышленности и технологий переработки сырья, что делает данную работу достойной представления к защите.

Во введении подробно обоснована актуальность темы исследования, которая определяется спецификой отрасли и её современными вызовами. Здесь подчеркивается практическая значимость выбранного научного направления, четко сформулированы цели и задачи работы, а также аргументирована её важность как для развития научных знаний, так и для внедрения новых технологий. Таким образом, введение демонстрирует вклад диссертации в решение актуальных проблем и развитие соответствующих областей науки и промышленности.

Первая глава содержит обзор литературы, посвященный различным способам получения кремнефтористоводородной кислоты и методам её переработки для синтеза разнообразных фторсодержащих соединений. Особое внимание уделено анализу особенностей кислотной переработки высококремнистых руд с применением фтористых технологий, что подчеркивает новизну и практическую направленность исследования.

Вторая глава сосредоточена на изучении физико-химических свойств смеси кислот, а также каолиновых глин и сланцев, добываемых на территории Таджикистана. В рамках этой главы разработана и подробно описана оригинальная методика химического анализа данных материалов. Проведенные исследования позволили установить их состав, свойства и перспективы применения в промышленных процессах, что вносит вклад в развитие местных сырьевых ресурсов.

Третья глава посвящена разработке и исследованию технологии комплексной переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот. Основное внимание уделено созданию эффективных процессов для получения ценных продуктов, таких как фторид натрия, кремнегель, жидкое стекло, фторид алюминия, криолит и другие соединения. Эти разработки учитывают их практическую значимость и потенциал применения в различных отраслях промышленности, что подчеркивает прикладной характер работы.

Четвертая глава посвящена разработке и описанию методики переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с использованием каолиновых глин, добываемых на месторождении «Чашма-Санг» в Таджикистане. В этой части работы подробно изложены технологические подходы, которые были специально адаптированы к уникальным геологическим и химическим особенностям данного месторождения. Кроме того, представлены результаты практического внедрения разработанных методов, включая оценку их эффективности, что подтверждает применимость предложенных решений в реальных производственных условиях.

В работе исследованы технико-экономические аспекты технологии производства фторида натрия и аморфного кремнезёма из смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот. Проведённые расчёты демонстрируют, что себестоимость фторида натрия, полученного по данной технологии, более чем в два раза ниже стоимости импортного аналога. Примечательно, что в процессе производства в качестве побочного продукта образуется аморфный оксид кремния, рыночная стоимость которого на

международном рынке достигает около 5500 сомони (эквивалентно примерно 500 долларам США).

Фторид натрия, получаемый по разработанной технологии, имеет широкий спектр применения: он используется как компонент флюсов для очистки и защиты расплавленных металлов, в фармацевтической промышленности как лекарственное средство, в качестве реагента при синтезе фреонов, а также в производстве стекла, эмалей, керамики и жаропрочных материалов. Кроме того, он востребован в изготовлении кислотоупорных цементов и в процессе электролитического производства алюминия для регулирования криолитового отношения, что подчёркивает его значимость для различных отраслей промышленности.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Автором предлагается:

- в рамках исследования была разработана технология переработки, позволяющая получать фторид натрия, аморфный кремнезём и жидкое стекло;
- при переработке смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот использовалось местное глинозёмсодержащее сырьё, что позволило частично заменить импортный гидроксид алюминия. Такое решение не только снизило зависимость от зарубежных поставок, но и повысило экономическую эффективность производства, способствуя улучшению экономических показателей нашей страны;
- на основе проведённых расчётов были определены технико-экономические показатели производства. Установлено, что себестоимость фторида натрия (NaF), полученного из кислотной смеси, более чем в два раза ниже стоимости импортного аналога. Кроме того, в процессе производства образуется побочный продукт – аморфный диоксид кремния (SiO_2), рыночная стоимость которого на мировом рынке достигает 5500 сомони (примерно 500 долларов США). Это подчеркивает дополнительную экономическую выгоду разработанной технологии;
- чистота всех полученных продуктов полностью соответствует требованиям ГОСТ, что подтверждает достоверность и воспроизводимость результатов исследования. Таким образом, разработанная технология демонстрирует не только высокую эффективность, но и соответствие стандартам качества, что делает её перспективной для промышленного внедрения.

Вместе с тем, по диссертационной работе Сатторзода Субхонали Абдугафор имеются следующие замечания:

1. На принципиальной технологической схеме кислотного разложения местного глинозёмсодержащего сырья указаны процессы дробления и измельчения, однако при исследовании не установлено, какой класс крупности нужно для последующего разложения.
2. В диссертации не приведены экономические расчёты по разложению местного глинозёмсодержащего сырья мусковит-ставролитовых сланцев месторождения «Курговад» и каолиновых глин месторождения «Чашма-Санг».
3. В составе мусковит-ставролитовых сланцев имеются оксиды калия и натрия, однако при разработке технологии автором не учтены эти оксиды.
4. В тексте диссертации и автореферата говорится, что предложенные технологии являются экологически безопасным, но нет детального анализа выбросов, отходов или возможных негативных эффектов. Желательно привести расчеты снижения загрязнения или сравнение с традиционными методами.
5. В диссертации и автореферате упоминаются фториды железа, однако не раскрыто, как их содержание влияет на качество конечного продукта, требуется ли дополнительная очистка и в каких отраслях они могут быть применены.
6. В содержании диссертации и автореферата выявлены отдельные технические ошибки, которые могут повлиять на точность представленных данных и интерпретацию результатов.

Возникшие в ходе ознакомления с работой замечания и пожелания несколько не снижают достоинства работы и не влияют на главные научные и практические результаты диссертации.

Заключение

Результаты, полученные диссертантом, являются новыми, выводы сформулированы аргументировано. Основные положения диссертационной работы отражены в автореферате, а опубликованные работы, действительно, отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа **Сатторзода С.А.** представляет собой завершённое научное исследование, выполненное автором самостоятельно на высоком уровне, в котором изложены новые научно-обоснованные решения в области физико-химических и технологических процесс обработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот местного глинозёмсодержащего сырья, гидроксидов натрия и алюминия с целью получения таких ценных химических продуктов, как фторид алюминия, криолит, фторид натрия, жидкое стекло и аморфный кремнезём. В рамках данной работы рассматривается использование этих сырьевых материалов в

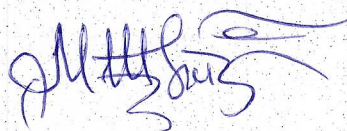
качестве исходных компонентов для синтеза вышеупомянутых веществ, что позволит не только эффективно утилизировать побочные продукты, но и получить важные химические соединения с широким спектром применения в промышленности.

После рассмотрения диссертации Сатторзода С.А. по объему, научной достоверности, по обоснованности основных выводов и по паспорту научной специальности можно сделать вывод, что она полностью отвечает всем требованиям ВАК при Президенте РТ, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267.

Автор работы Сатторзода Субхонали Абдугафор заслуживает присуждения учёной степени доктора философии (PhD) доктора по специальности 6D072000 – Химическая технология (6D072001– Технология неорганических веществ).

Отзыв обсуждён на расширенном заседании химического факультета Таджикского государственного педагогического университета. Протокол № 10 от 10.05.2025 г.

Председатель расширенного
заседания кафедры «Общая и
неорганическая химия»
Таджикского государственного
педагогического университета
им. С. Айни, к.х.н., доцент



Низомов И. М.

Эксперт: к.х.н., доцент кафедры
«Общая и неорганическая химия»
Таджикского государственного
педагогического университета
им. С. Айни



Мусоджонзода Дж. М.

Секретарь заседания,
Доктор философии (PhD) по
специальности химии, и.о. доцент
кафедры «Общая и неорганическая
химия» Таджикского государственного
педагогического университета



Махмадов Х. Р.

Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки 121,
Таджикский государственный педагогический университет (ТГПУ) им.

С. Айни, химический факультет.

E-mail: info@tgpu.tj Тел: +992 (37) 224-13-83;

E-mail: isokhon@mail.ru Тел: +992-877-07-07-45.

Подписи Председатель расширенного заседания кафедрой «Общая и неорганическая химия» Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни, к.х.н., доцента Низомова Исохон Мусоевича, к.х.н., доцента Мусоджонзода Джамила Мансур и (PhD) по специальности химии, и.о доцента этой же кафедры Махмадова Хафизулло Рахматуллоевича

Начальник управления кадров и специальных работ Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни



Мустафозода А.