

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
АГЕНТСТВО ПО ХИМИЧЕСКОЙ, БИОЛОГИЧЕСКОЙ,
РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

На правах рукописи

ЭШОВ ДЖУРАМУРОД НУРМУРОДОВИЧ

**СИНТЕЗ, ТЕРМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТОРИЙ-УРАНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

1.1.4 – Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата химических наук

Душанбе – 2025 г.

Диссертация выполнена на базе «Лаборатории технических услуг» Научно–исследовательского отдела Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ).

- Научный руководитель:** **Исозода Диловар Тарик** - доктор технических наук, доцент, ректор института энергетики Таджикистана
- Официальные оппоненты:** **Раджабов Умарали** - доктор химических наук, доцент кафедры фармацевтической и токсикологической химии, «Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино»
- Наимов Носир Абдурахмонович** - кандидат технических наук, директор ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»
- Ведущая организация:** Кафедра «Общая и неорганическая химия» Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни

Защита состоится «05» мая 2025 года в 09⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета **73.1.002.03** при ГНУ «Институт химии имени В.И. Никитина» НАН Таджикистана, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2.
E-mail:dissovet@ikai.tj

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГНУ «Институт химии имени В.И. Никитина» НАН Таджикистана, www.chemistry.tj

Автореферат разослан « » 2025г.

**Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
доцент.**

Норова М.Т.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В настоящее время химия уран-ториевых соединений является перспективной отраслью химии как с практической, так и с познавательной точек зрения. Торий и уранильные соединения, занимая особое место среди актинидов, обладают уникальными химическими свойствами – высокой реакционной способностью и являются эффективными энергоёмкими веществами. Торий и уранильные соединения – занимают особое место в жизни человека. Они являются главными элементами атомной энергетики и сырьём для получения другого важного энергетического элемента – плутония.

К настоящему времени из ряда актинидных соединений особое место занимают торий-урановые соединения. Разработан ряд эффективных методов синтеза этих соединений. Уранил-сульфат, -нитрит и -нитрат тория являются эффективными соединениями для синтеза других актинидов. Выше отмеченные особенности урана и ториевых соединений и значение этих соединений в современной химии, развитие методов получения актинидов и исследование их физико-химических свойств определяют актуальность данной работы.

Степень изученности научной проблемы в области торий-урановых соединений недостаточна, в связи с тем, что процесс синтеза полученных ранее нитратных, сульфатных, ацетатных соединений тория и урана представляет сложный и трудоёмкий процесс, в котором используются дорогостоящие исходные соединения.

Имеющаяся информация о термодинамических характеристиках комплексных соединений уран-ториевого ряда недостаточна для проведения системного анализа и определения закономерностей изменений, особенно это касается соединений ториевого ряда.

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационное исследование выполнялось в рамках научной программы Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана на тему: «Физико-химические основы выделения урановых концентратов из руд и отходов». Государственная регистрация 0120 TJ 01030.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследований – разработать эффективный метод получения соединений тория и урана из местных сырьевых материалов, изучить их физические и химические свойства, термическую устойчивость и определить термодинамические характеристики. Установить закономерности, согласно которым изменяются термодинамические характеристики соединений актинидов внутри группы.

Задачи исследования:

- получение энергоёмких соединений уран-ториевого ряда на основе урансодержащих руд и урансодержащих отходов Таджикистана, разработка усреднённых схем по переработке указанных руд и отходов и термодинамическое обоснование данных процессов;

- определение термодинамических характеристик термического распада кристаллогидратов, индивидуальных сульфата уранила и нитрата тория, синтезированных нами в качестве основных соединений;

- системный анализ полученных термодинамических характеристик для соединений актинидного ряда элементов. Определение закономерностей их изменения внутри группы;

- моделирование закономерностей изменений термодинамических характеристик соединений актинидов в зависимости от природы актинидов.

Научная новизна исследования:

- из отходов уранового производства и урансодержащих вод синтезированы уранильные соединения;

- установлены условия протекания процессов получения уранильных соединений и нитрата тория;

- разработана принципиальная технологическая схема процессов и её термодинамическое обоснование;

- установлены химические схемы термического разложения уранильных соединений и нитрата тория. Проведено определение значений термодинамических характеристик термического разложения этих соединений;

- для соединений актинидного ряда проведён системный анализ. Для рассматриваемых элементов актинидного ряда и их соединений определены/уточнены более точные и полные данные по их термодинамическим характеристикам. Определены закономерности, согласно которым изменяются термодинамические характеристики соединений актинидов.

Теоретическая ценность исследования. Выявлены условия выделения урановых соединений из отходов и урансодержащих руд, проведено термодинамическое обоснование. Определены и уточнены термодинамические характеристики соединений актинидов.

Эти сведения имеют фундаментальное значение и способствуют углублению знаний в теории химической связи в соединениях актинидов. Установлены закономерности изменения термодинамических свойств актинидов.

Практическая ценность исследования заключается в новом подходе синтеза уранильных соединений с использованием отходов урана и технических вод. Приведённые в работе сведения о термодинамических свойствах актинидов имеют справочный характер и дополняют банк термодинамических величин новыми данными.

Выявленные закономерности изменения свойств актинидных соединений позволяют подобрать соответствующий актинид с заранее заданными, “запрограммированными” характеристиками, отвечающими прикладным условиям применения.

Объектом исследования являются урансодержащие руды и отходы урановых предприятий, из которых выделены урановые соединения и нитрат тория.

Предмет исследования – разработка методов извлечения урана из урансодержащих технических вод и отходов с целью получения исходных веществ – уранильных соединений и изучение их термической устойчивости, определение термодинамических характеристик соединений актинидов. Определение закономерности изменения термодинамических свойств актинидных соединений в пределах группы.

Личный вклад соискателя охватывает постановку задач исследования, сбор, обработку и анализ литературных источников, определение методов, с помощью которых будут решены поставленные задачи, сборку экспериментальных установок, проведение экспериментов на всех этапах исследования, обработку полученных экспериментальных и расчётных данных.

Методы исследования. На всех этапах исследования физических и химических характеристик исходных продуктов, полупродуктов и конечных

продуктов использован комплекс современных прецизионных экспериментальных методов. Применены полуэмпирические и расчётные методы, с помощью которых определялись термодинамические характеристики энергоёмких веществ. Характеристики приборов описаны в главе 2.

Отрасль исследования – неорганическая химия актинидов с решением технических задач.

Этапы исследования. Исследование по диссертационной теме проведено в течение 2021-2024 гг. и включает следующие этапы:

- проведение исследования литературных источников по комплексным гидридам и актинидам, термической устойчивости 4f- и 5f-элементов;
- разработка методики выделения соединений урана из отходов урановых производств и урансодержащих веществ и разработка обобщённых технологических схем по получению уранильных соединений;
- изучение термической устойчивости уранильных соединений и нитрата тория;
- изучение термодинамических свойств актинидов и проведение их системного анализа;
- установление закономерности изменения термодинамических свойств актинидов.

Основная информационная и экспериментальная база.

Информационная база охватывает поиск работ по диссертационной теме через научные журналы с использованием международных информационных систем. Исследованы электронные научные материалы и компьютерные статьи системы ИНИС (база Международной системы ядерной информации – INIS – International Nuclear Information System).

Экспериментальную базу составили оборудование и приборы Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ (Агентство по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана).

Достоверность диссертационных материалов подтверждена проведением параллельных экспериментов и химическим анализом нескольких образцов исходных веществ, полученных из местного сырья. Обработка данных и экспериментальных материалов обеспечивается применением современных независимых прецизионных методов исследования, согласованностью полученных данных, использованием в комплексе расчётных и полуэмпирических методов. Выводы и рекомендации сформулированы на основании научного анализа и обработки экспериментальных и теоретических материалов, с использованием компьютерных технологий и цифровизации.

Положения, выносимые на защиту:

- оптимальные условия выделения урановых соединений из отходов и урансодержащих вод;
- механизмы процессов извлечения соединений уранила из местных сырьевых ресурсов и их термодинамическое обоснование;
- характеристики процессов термического разложения и дегидратации кристаллогидратов нитрата тория (IV) и уранилсульфата;
- закономерности изменения термодинамических свойств соединений актинидов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности (с обзором и областью исследований). Диссертация соответствует паспорту специальности 1.4.4 – Физическая химия (химический науки) по следующим пунктам:

- пункт 1 – фундаментальные основы получения объектов исследования и материалов на их основе;
- пункт 2 – синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами;
- пункт 3 – природа химической связи и строение неорганических соединений;
- пункт 4 – реакционная способность неорганических соединений в различных агрегатных состояниях и экстремальных условиях;
- пункт 5 – взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы;
- пункт 7 – процессы комплексообразования и реакционная способность координационных соединений, реакции координированных лигандов.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов.

Основные материалы диссертационной работы опубликованы в рецензируемых журналах и широко обсуждались на научных конференциях различных уровней. Основные результаты докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях, симпозиумах и семинарах:

- международных научно-практических конференциях: «Современные проблемы металлургической промышленности» (г. Душанбе, Таджикистан, 2021); 2-ая «Современные проблемы химии, применение и их перспективы» (г. Душанбе, Таджикистан, 2021); «Современные проблемы металлургической промышленности» (г. Душанбе, Таджикистан, 2021); «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» (г. Гулистан, Таджикистан, 2023); «Химия и инженерная экология– XXIV» Казань, 27-28.09. 2024,
- республиканских научно-практических конференциях: «Нумановские чтения» (г. Душанбе, Таджикистан, 2021, 2022); посвященной 30-летию Государственной независимости РТ и 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования «Современные проблемы развития природоведческих (естественных) наук: перспективы дальнейшего развития» с участием СНГ (г. Бохтар, Таджикистан, 2021)».

Опубликованные результаты диссертации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 19 научных публикациях, из них 7 статей в рецензируемых научных журналах из перечня рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, а также 14 статей и тезисов в материалах научных конференций различного уровня, литературных источников, включающих 154 наименований. Изложена на 164 страницах компьютерного набора, иллюстрирована 59 рисунками, 39 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены сведения об электронном строении и способах получения f-элементов лантанидов и актинидов. Изложены сведения о термической устойчивости, особенностях термического разложения и термодинамических характеристиках борогидридов лантанидов и актинидов, оксидов, галогенидов актинидов, кристаллогидратов нитрата тория (IV) и уранилнитрата. Показана идентичность зависимости изменения термодинамических свойств оксидов с проявлением тетрад-эффекта для элементов лантанидного и актинидного рядов. Проведённый анализ литературы позволил сделать заключение по обзору и составить задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена краткому изложению основ техники безопасности с использованием индивидуальных средств защиты и дозиметрического контроля при работе с урансодержащими материалами.

Химический анализ ураносодержащих отходов и ураносодержащих вод, находящихся на территории Республики Таджикистан, осуществлён с применением традиционных методов приборного анализа и современной прецизионной аппаратуры - четырёхканального пламенного фотометра М-425, атомно-адсорбционного спектрометра АА-7000, автоматизированного многоцелевого порошкового рентгеновского дифрактометра "XR Dynamic 500", дериватографа "Labsys Evo-C1600" фирмы "Setaram", калориметра "С600 Calvet", тензиметрического метода с мембранным нуль-манометром.

В **третьей главе** приведены результаты исследования процессов дегидратации и термического разложения кристаллогидратов $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ и UO_2SO_4 методами тензиметрии с мембранным нуль-манометром в равновесных условиях и рентгенофазового анализа. Установлено ступенчатый характер процессов, интервал температур, уравнений зависимости давления пара от температуры и на их основе рассчитаны термодинамические характеристики отдельных ступеней процессов дегидратации и термического разложения отмеченных соединений.

Проведён системный анализ термодинамических характеристик хлоридов, нитратов, сульфатов и перхлоратов актинидов полуэмпирическим методом. Установлены закономерности изменения термодинамических характеристик этих соединений в зависимости от природы актинидов.

Выделение урановых концентратов из рассолов, дренажных и технических вод

Представляет интерес выделение урана из шахтных и технических вод месторождения Киик-Тал и г. Истиклол Республики Таджикистан. Важное значение имеет выделение урана из рассолов рапы озера Сасык-Куль, где содержание урана составляет от 30 до 40 мг/л.

Шахтные воды Киик-Тала содержат 20-25 мг/л урана и безвозвратно дренируются в землю, загрязняя почву. При эффективной технологии сорбции урана из этих вод можно получить 1-2 тонн/год закиси-оксида урана.

Технические воды г. Истиклола содержат от 10 до 70 мг/л урана, которые близки к промышленной добыче урана.

Это обстоятельство актуализирует проблему гармонизации программы мониторинга окружающей среды, а также необходимость разработки эффективной технологии переработки отходов и технических вод, содержащих уран.

В целом, в г. Истиклол накоплено уникальное урановое наследие Советского Союза, которое даёт возможность постановки ряда научно-исследовательских работ.

Разнообразие уранового наследия г. Истиклол: хвостохранилища, забалансовых руды, отвалы, отходы после кучного выщелачивания («Фабрика бедных руд» ФБР), шахтные и дренажные воды - вынуждает принять экстренные меры по решению экологических проблем города.

В настоящей работе выделены урановые концентраты из шахтных, технических вод и рассолов рапы озера Сасык-Куль.

Химический анализ урансодержащих вод проводили различными методами, в том числе, методом абсорбции гамма-излучения, весовым и титриметрическим методами, разработанными в Агентстве по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана.

Рентгенофазовый анализ (РФА) использовали для определения фаз после выпаривания рассола озера Сасык-Куль. Для РФА использовали аппарат ДРОН-3 с программным обеспечением.

Извлечение урана из рассола озера Сасык-Куль. В рассоле озера Сасык-Куль содержится 40 мг/л урана, рН=9.2 (рассол был представлен сотрудниками Главного геологуправления при Президенте Республики Таджикистан).

Методика выделения урана из рассола разработана в работе.

На рисунке 1 приведены спектры остатка соли после выпаривания.

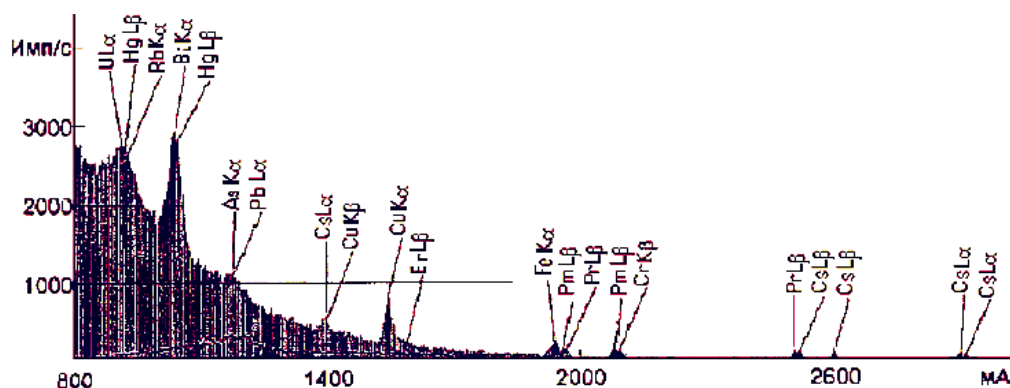


Рисунок 1. Спектр остатка соли после выпаривания.

На рисунке 2 представлена гистограмма степени извлечения урана из различных дренажных вод.

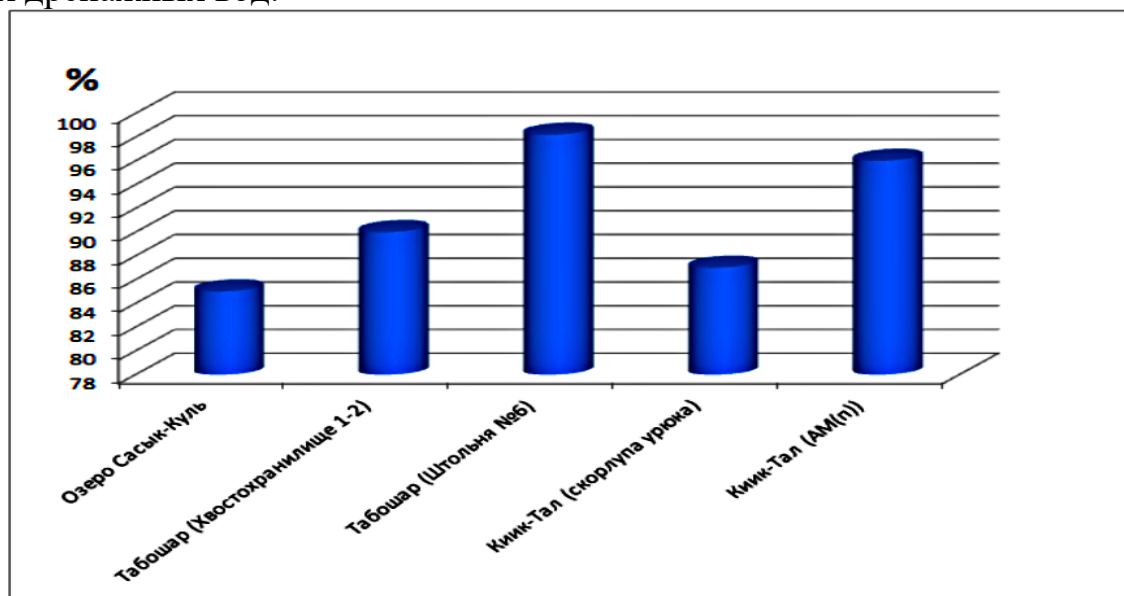


Рисунок 2. Степень извлечения урана из различных урансодержащих вод Таджикистана.

Обобщая данные работ по извлечению урановых концентратов из технических, шахтных и дренажных вод, составлена таблица 1, где видно, что максимальные количества урана содержатся в рапе озера Сасык-Куль и в дренажных водах Киик-Тал, которые являются перспективными для промышленного выделения урана.

Характеристика урансодержащих вод и сорбции урана

Тип технических вод	Уран, мг/л	Сорбент	Извлечения U, %
Озеро Сасык-Куль	40	АМ(п)	85
Табошар (Хвостохранилище 1,2)	10	АМ(п), гематит и пиролюзит	90
Табошар (Штольня №6)	2	АМ(п)	98.2
Киик-Тал	25	Скорлупа урюка	87
Киик-Тал	25	АМ(п)	96

Физико-химическими методами определён химический состав урансодержащих вод и показана перспективность переработки уранового рассола озера Сасык-Куль с выделением уранового концентрата. Найдены оптимальные параметры сорбции урана из шахтных и дренажных урансодержащих вод с использованием сорбента из местных сырьевых материалов. На их основе разработана принципиальная технологическая схема выделения уранового концентрата из рапы озера Сасык-Куль.

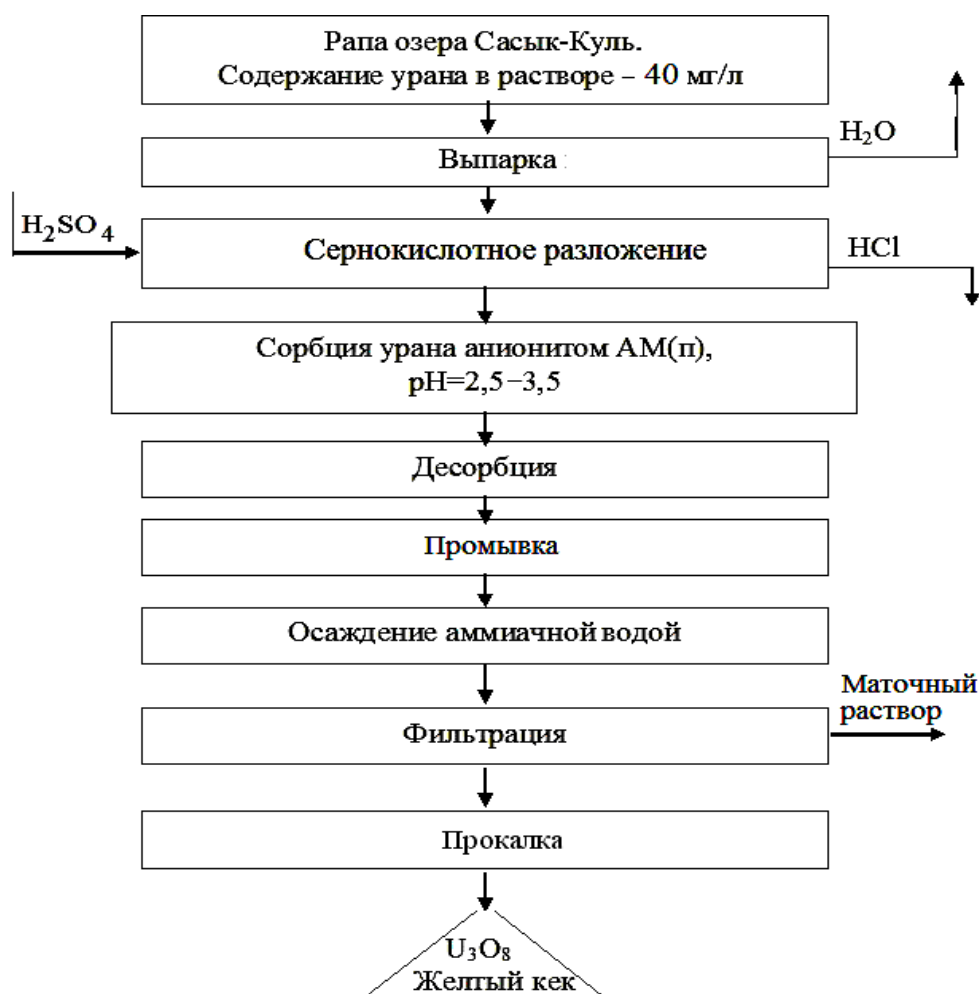


Рисунок 3. Принципиальная технологическая схема выделения уранового концентрата из рапы озера Сасык-Куль.

Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов горнорудной промышленности

Проблемы отходов урановой промышленности, полученные в 50-х гг. XX столетия, многими авторами решены, разработаны способы вторичной переработки отходов и пути рекультивации урановых хвостохранилищ.

В настоящее время радиоактивные отходы подвергаются вторичной переработкой, которая позволяет получать урановые концентраты и утилизирует имеющиеся ураносодержащие отходы. С целью получения уранового концентрата с последующим получением урановых соединений нами анализированы результаты предыдущих работ и найдены условия получения U_3O_8 .

Приводятся результаты, касающиеся переработки отходов ураносодержащего техногенного хвостохранилища "Карта 1-9" города Бустон, как более перспективных, также отходов хвостохранилищ Адрасман и Гафуровского.

Для определения минералогического состава материала хвостохранилища "Карта 1-9" был использован метод рентгенофазового анализа (РФА).

В таблице 2 приведены результаты выделения урана из ураносодержащих отходов техногенных хвостохранилищ.

Таблица 2

Извлечение урана из отходов техногенных хвостохранилищ кислотным разложением

Хвостохранилища	Оптимальные параметры			Извлечение U , %
	Т, °С	τ , час	Кислота, кг/т	
«Карта 1-9», г. Бустон	65-70	6	80,0	93,85
Гафуровское	70	6	100	89,9
Адрасманское	65-70	7	200	72,1
Хвостохранилище III, Истиклол	75	7	80,0	95,9
Фабрика бедных руд, г. Истиклол	75	7,5	80,0	63,1
Отвалы г. Истиклол	75	8	80,0	38,9

Проведён сравнительный анализ извлечения урана из различных техногенных ураносодержащих хвостохранилищ Таджикистана (рисунок 4). Диаграмма 5 показывает, что максимальное извлечение урана возможно из хвостохранилищ г. Истиклол (96%) и г. Гафуров (90%). Ураносодержащие отходы являются карбонатными, их переработку перспективнее проводить с использованием щелочного метода с извлечением урана в виде U_3O_8 . Отходы остальных хвостохранилищ являются сульфатными, и их перспективнее перерабатывать методами кислотного выщелачивания.

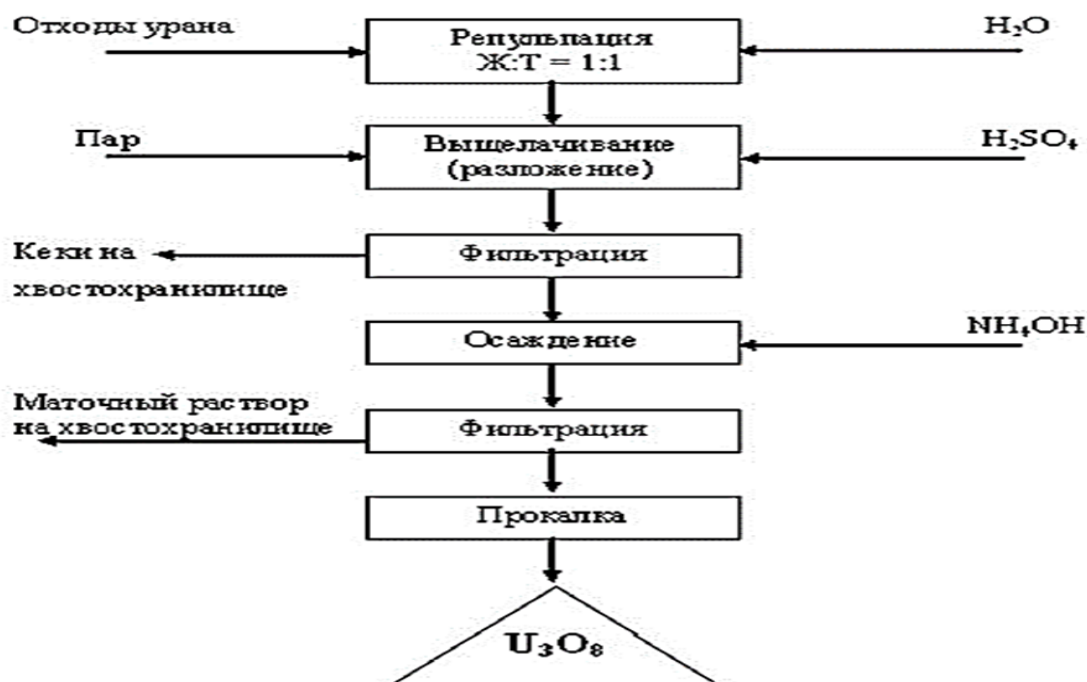


Рисунок 4. Обобщённая схема технологических процедур переработки ураносодержащих отходов.

На основании физико-химических исследований извлечения урана из отходов (хвостохранилищ):

- исследовано сернокислотное разложение отходов хвостохранилищ: «Карта 1-9» г. Бустона, Гафуровского и г. Истиклол, а также щелочное выщелачивание хвостохранилища Адрасман;

- найдены оптимальные параметры извлечения урана и приведены принципиальные технологические схемы получения закиси-оксида урана - U_3O_8 .

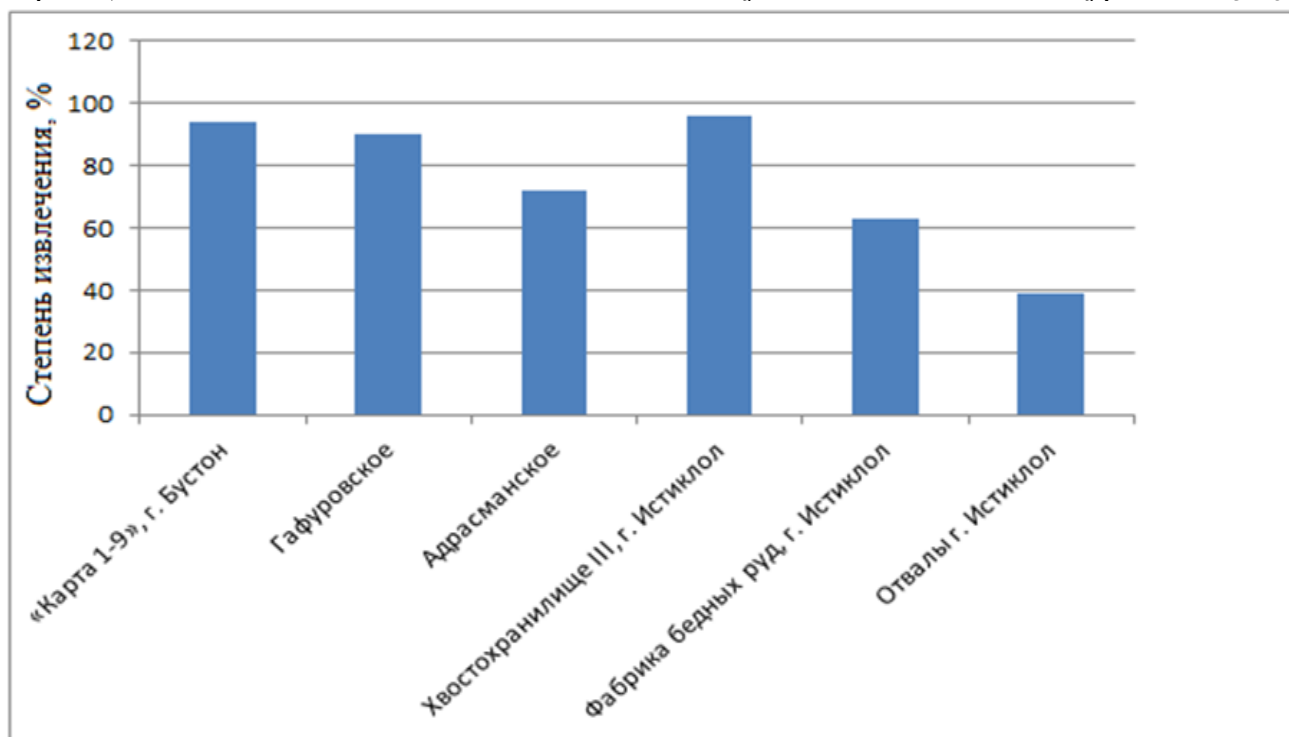


Рисунок 5. Извлечение урана (U_3O_8) из техногенных ураносодержащих хвостохранилищ Таджикистана

Получение уранильных соединений

Получение уранил-сульфата. После нейтрализации растворов получают $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$. Полученный диуранил аммония подвергают прокалке при 600-900°C с дальнейшим получением закиси-окиси урана (оксид урана(VI)-диурана(V)) - U_3O_8 . Как правило, выход продукта составляет более 90%.

U_3O_8 является конечным продуктом гидрометаллургического производства урана. После очистки от примесей U_3O_8 подвергают растворению при нагревании в серной кислоте с концентрацией 60%, затем из разбавленных серноокислых растворов осаждением получают $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Содержание основного вещества составляет 98.3%.

Получение уранил-ацетата (марки хч) – перекристаллизовывали из водных растворов, содержащих до 10% уксусной кислоты и из прозрачных растворов кристаллизовали $\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Получение уранил-нитрата – $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Нитрат уранила получали из триоксида урана по реакции:



Кристаллогидрат нитрата тория – $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Содержание более 98% основного вещества.

Химический анализ минералов и термодинамическая оценка

процессов разложения урансодержащих материалов серной кислотой

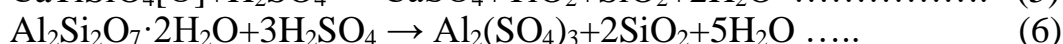
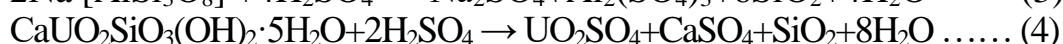
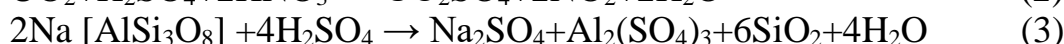
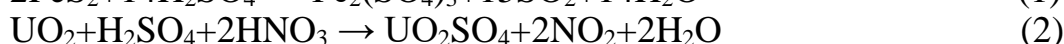
Химический анализ и методика эксперимента. Для изучения физических и химических характеристик урансодержащих материалов проведён ряд исследований. Химическим анализом определён состав урансодержащих материалов (таблица 3). Использован метод комплексонометрии – для определения урана, метод пламенной фотометрии – для определения щелочных металлов, весовой метод и др. Содержания железа и алюминия определяли с использованием титриметрического метода по трилону Б. Количественное содержание оксида кремния определили гравиметрическим методом. Показано, что содержание урана в рудных материалах является достаточным, чтобы проводить их в промышленных масштабах.

Таблица 3

Минералы, входящие в состав урансодержащих отходов

Минералы	Содержание, %	
Пирит, уранинит, альбит, сфен, каолинит, уранофан, кварц	$U - 0,033$	$Ti_2O - 0,3;$
	$Cr - 0,064$	$MnO_2 - 0,088$
	$Pb - 0,283$	$Fe_2O_3 - 3,27$
	$V - 0,021$	$Al_2O_3 - 12,4$
	$Cu - 0,064$	$Na_2O - 2,40 \quad SiO_2 - 81$

При взаимодействии серной кислоты с минералами урановых материалов возможны следующие реакции:



В таблице 4 на основе литературных данных приведены термодинамические характеристики отдельных минералов урановых материалов.

Из-за отсутствия значений теплоёмкости многих компонентов рассматриваемых систем и незначительного её влияния на термодинамические характеристики рассматриваемых процессов дальнейшие расчёты проведены без учёта изменения теплоёмкости. Рассчитанные термодинамические характеристики приведены в таблице 4. Термодинамические характеристики реакции (4) не рассчитаны, так как отсутствуют сведения минерала состава $\text{CaUO}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. По значениям энергии Гиббса (таблица 4) можно утверждать, что наибольшую термодинамическую вероятность протекания имеет процесс (6) и затем уранинит по уравнению (2).

Таблица 4

Термодинамические свойства минералов урановых материалов

(а) - урановые минералы: (кДж, Дж)				(б) - взаимодействие с H_2SO_4			
Соединения	$-\Delta H_{298}^0$	S_{298}^0	Cp_{298}^0	№ реак	$-\Delta H_{298}^0$	ΔS_{298}^0	$-\Delta G_{298}^0$
UO_2 (тв)	1081,23	80,0		1	223,15	1480	218,34
$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	3938,8	207,4		2	314,6	154,01	360,5
FeS_2 (тв)	163,18	53,0	62,2	3	331,37	87,1	357,33
H_2SO_4 (ж)	814,2	157,0	138,9	5	176,31	-17,24	171,16
$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (т)	4098,65	203,0		6	501,95	310	594,33
HNO_3 (ж)	174,14	155,0		(а) - урановые минералы			
$\text{CaTiSiO}_4\text{O}$ (т)	2600,56	173,0		Соединения	$-\Delta H_{298}^0$	S_{298}^0	Cp_{298}^0
CaSO_4 (р-р)	1454,06	40,0		Na_2SO_4 (р-р)	1395,9	136,0	
TiSO_4 (р-р)	1601,4	173,3		$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (р-р)	3792,33	550,0	
UO_2SO_4 (р-р)	1929,7	81,2		$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (р-р)	2825,7	564,0	570**
NO_2 (г)	33,5	240,0		SO_2 (г)	296,8	248,2	40
H_2O ж	285,8	70,0	75,3				

ТЕРМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРАТА ТОРИЯ И УРАНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В данной главе диссертации приведены результаты изучения термического распада некоторых соединений тория и урана, полученные с помощью современных экспериментальных методов – тензиметрического с мембранным нуль-манометром, калориметрии, рентгенофазового анализа, дериватограмметрии и микроскопического.

Термическое разложение соединений исследовали при создании двух условий (неравновесных и равновесных) и в двух режимах:

А) в неравновесных условиях, когда образец нагревается монотонно с определённой, заданной скоростью. Исследование проведено методами ДТГ, калориметрии и тензиметрии с мембранным нуль-манометром.

Б) в условиях равновесия, когда образец выдерживается в изотермических условиях в течение определённого времени до достижения неизменности давления в системе. Исследование проведено методами тензиметрии с мембранным нуль-манометром и калориметрии.

Термические и термодинамические свойства нитрата тория. Особенности термического разложения кристаллогидрата нитрата тория - $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$

Данное исследование основано на получении результатов с помощью современного оборудования (синхронного термического анализатора) - дериватографа "Labsys Evo 1600", разработанного фирмой "Setaram Labsys Evo". В рамках исследования была поставлена задача изучения термической устойчивости $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. На термограмме проявлено несколько эндотермических эндозффектов: первый - при 352-399 К, второй – при 400-420 К и третий – при 425-464 К, которые свидетельствуют об удалении из соединения гидратированной воды (рисунок 6). Эффект, наблюдаемый в интервалах температур 476 К, соответствует разложению нитрата тория, согласно следующему уравнению:

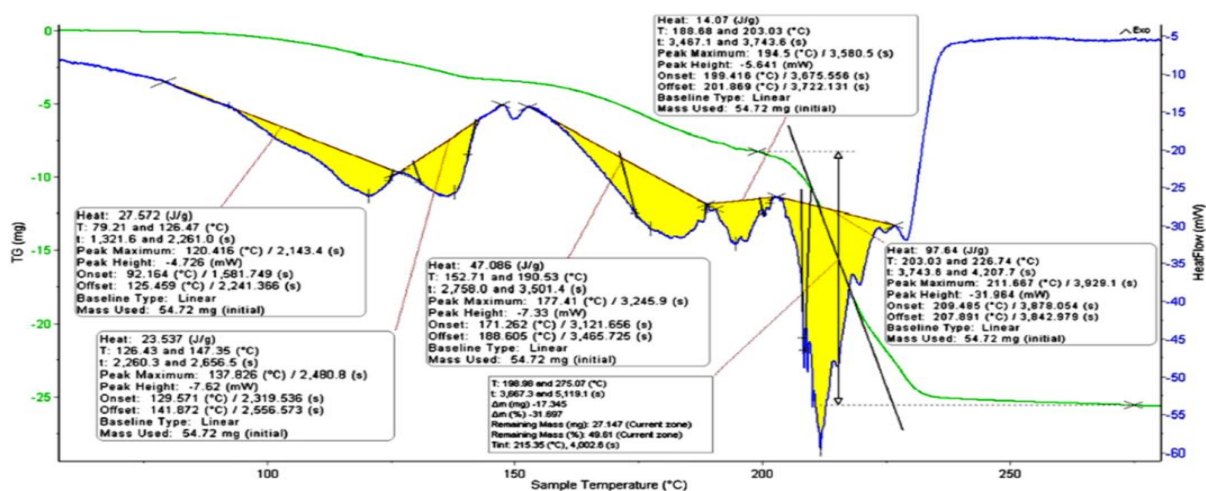
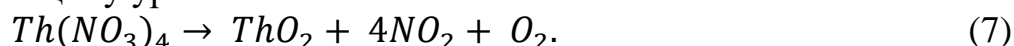


Рисунок 6. Термограмма распада кристалло- гидрата нитрата тория (IV).

Результаты исследования строения $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ электронной микроскопией (рисунок 7) показывают, что образец состоит из отдельных кристаллов с размерами от 0,2 до 0,5 мм.

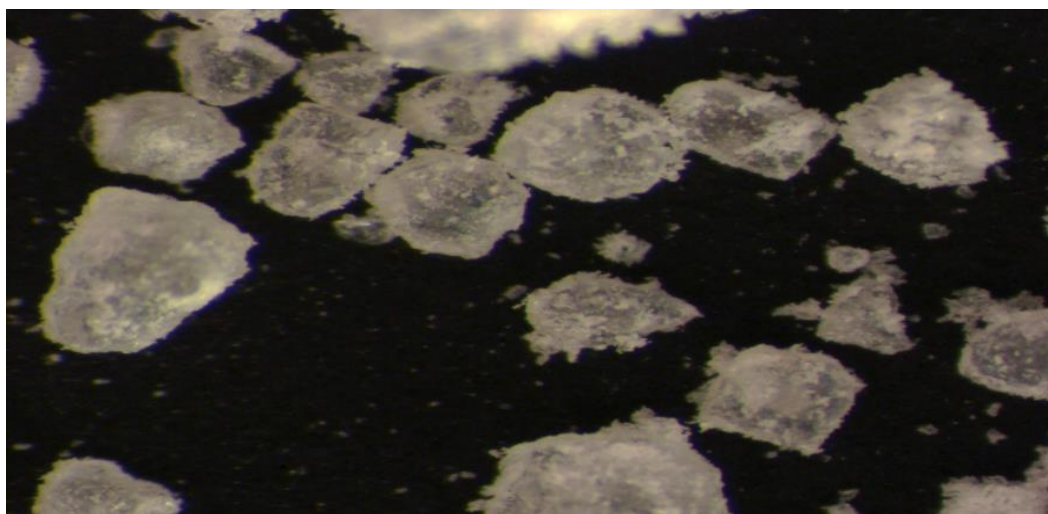


Рисунок 7. Кристаллы $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

На рисунке 8 приведено изображение продукта, полученного при нагреве исходного образца до температуры 460 К и частичной его дегидратации. Наблюдается измельчение исходных кристаллов с размерами от 0,01 до 0,05 мм и их слияние.

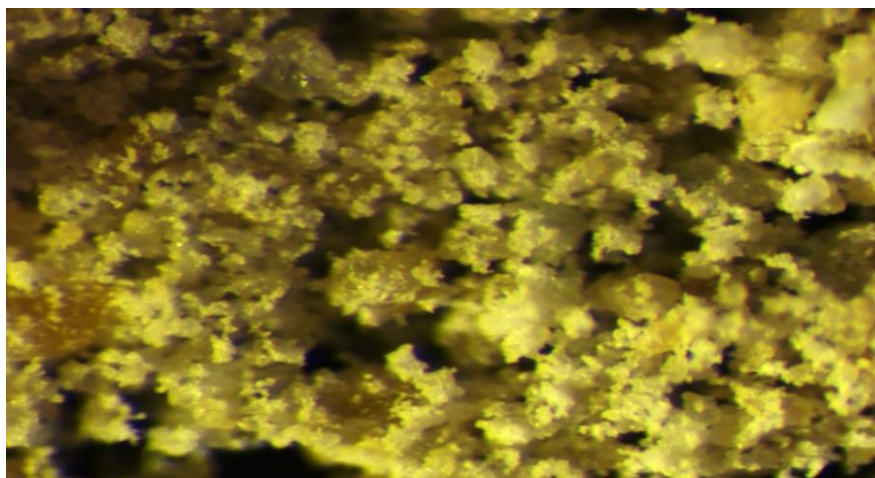


Рисунок 8. Кристаллы продуктов частичной дегидратации кристаллогидрата нитрата тория (IV).

Термодинамические характеристики дегидратации кристаллогидратов нитрата тория (IV) $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

Исходный образец кристаллогидрата нитрата тория (IV) исследовался методом рентгеноструктурного анализ (рисунок 9). Установлено, что кристаллы $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ имеют орторомбическую структуру с параметрами: $a=11,1938 \text{ \AA}$; $b=22,8934 \text{ \AA}$ и $c=10,5840 \text{ \AA}$.

Продукты частичной дегидратации кристаллов $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 10) состоят, в основном, из смеси кристаллогидратов $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ с моноклинной структурой с параметрами, $a=7,4471 \text{ \AA}$; $b=17,5737 \text{ \AA}$; $c=9,1920 \text{ \AA}$ и $a=6,7826 \text{ \AA}$; $b=11,7026 \text{ \AA}$ и $c=13,7550 \text{ \AA}$, соответственно.

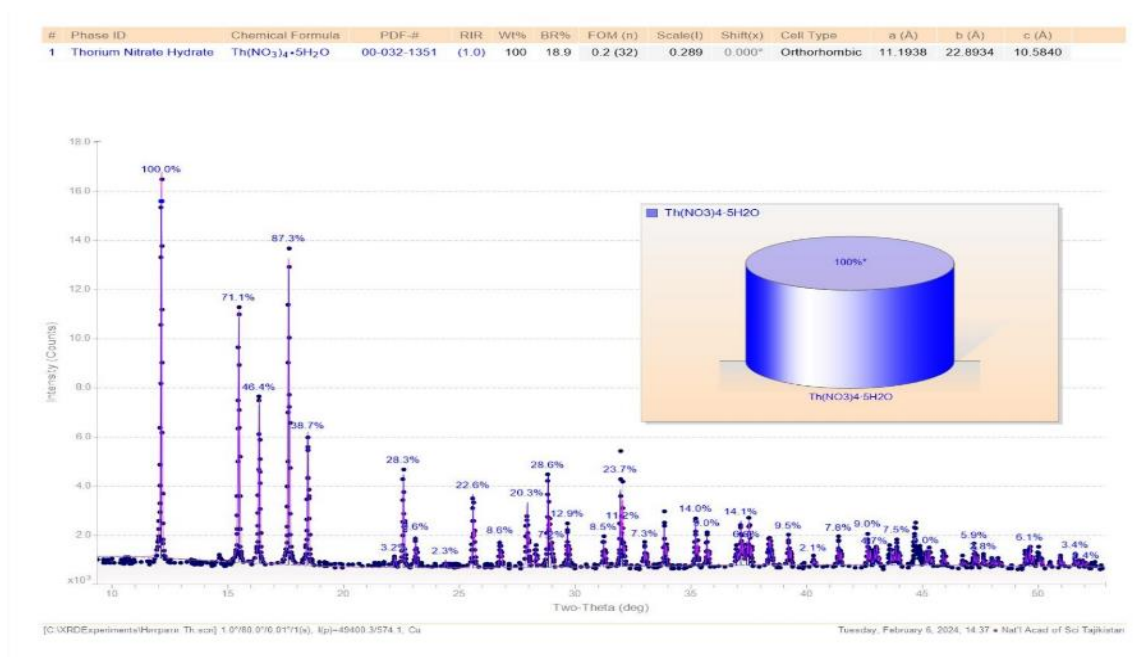


Рисунок 9. Дифрактограмма исходного кристаллогидрата $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

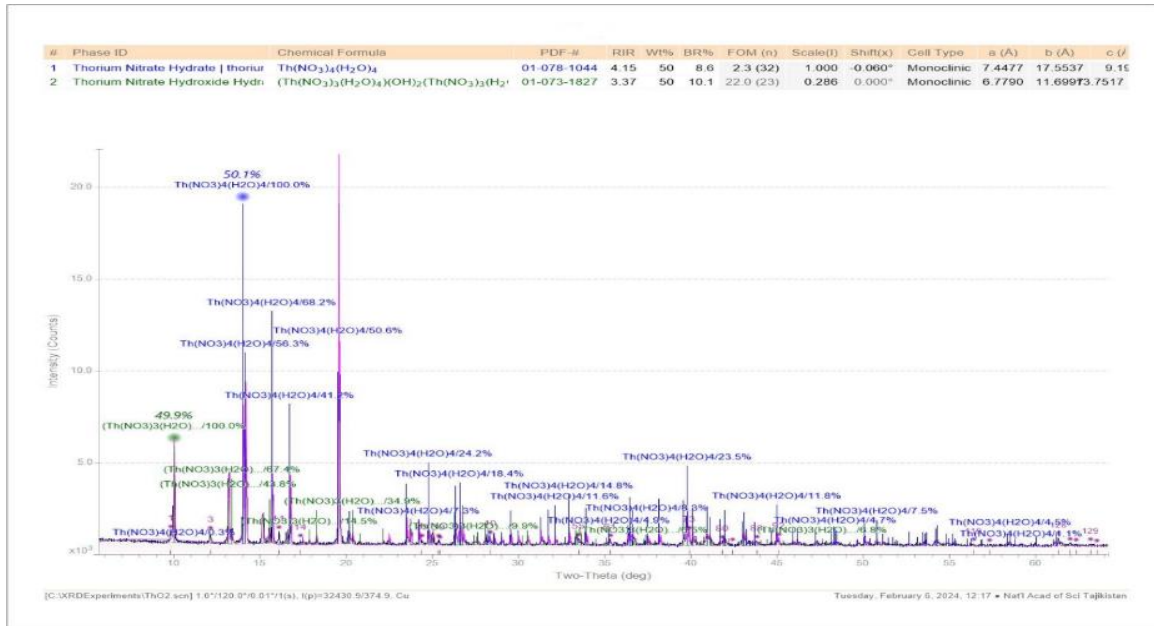


Рисунок 10. Дифрактограмма продуктов частичной дегидратации кристаллогидрата Th(NO₃)₄·5H₂O.

Термодинамические характеристики процесса термического разложения индивидуального нитрата тория (IV)

Калориметрические исследования термического разложения Th(NO₃)₄·5H₂O проводили с использованием современного оборудования - калориметра марки "С600 Calvet" (рисунок 11). В диапазоне температуры от 30 до 300°C проявляются пять эндоэффектов: первые четыре эндоэффекта протекающие, соответственно, при температурах (85-108), (108-135), (135-170) и (190-243)°C, вероятно, связано с дегидратацией кристаллогидрата. Следующий эффект при 243 до 282°C, характеризует термического разложения нитрата тория (IV).

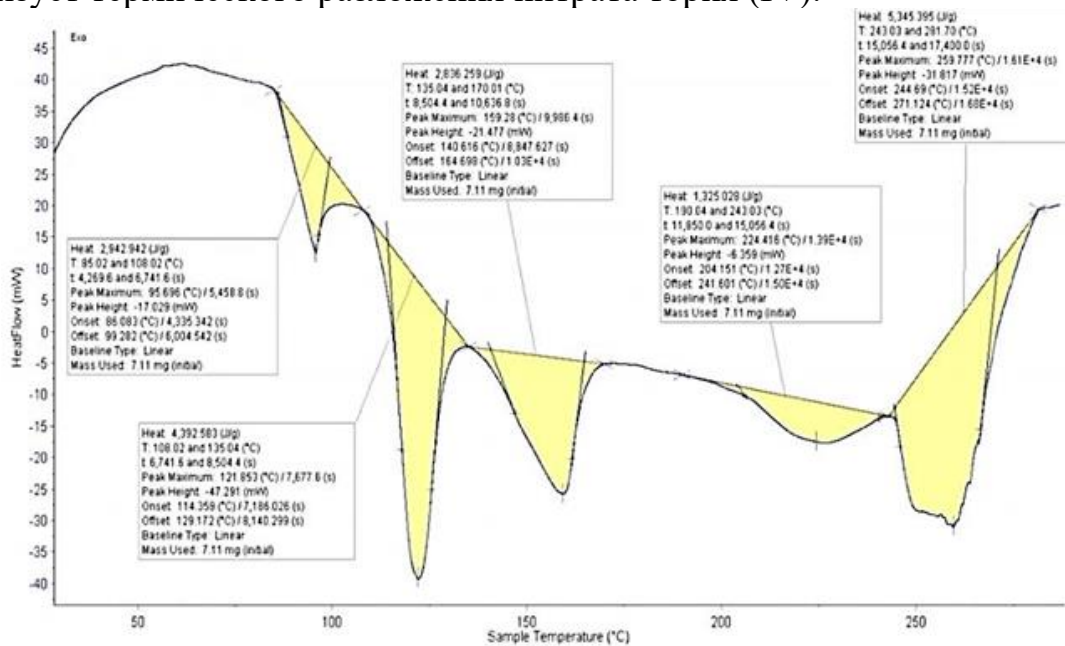


Рисунок 11. Графики тепловых эффектов ступеней процесса нагрева кристаллогидрата нитрата тория (IV), полученных методом калориметрии

Для определения термодинамических характеристик процессов проведены опыты методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром в условиях равновесия. Каждая фигуративная точка на барограмме получена в изотермических условиях при выдержке в течение 30 часов в интервале $T=300-450$ К. Первые две ступени дегидратации $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ характеризуются совпадением кривых барограммы при прямом (нагрев) и обратном (охлаждение) ходе. Результаты пяти опытов по измерению давления пара (рисунок 12) показывают, что процесс парообразования $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ включает пять ступеней.

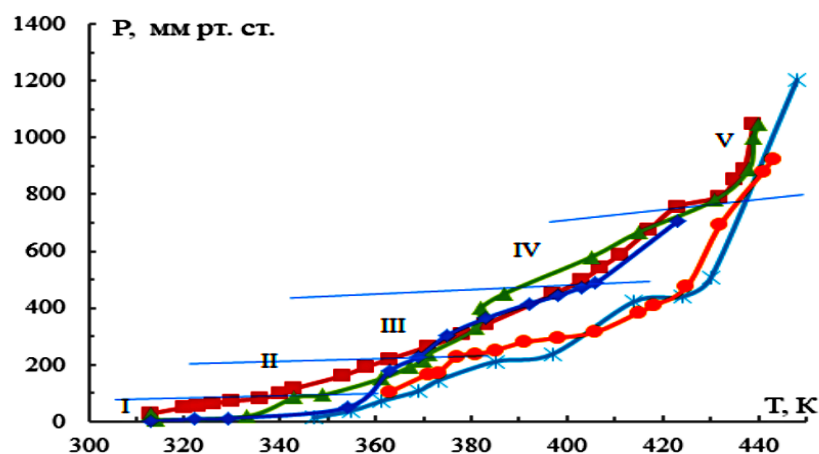


Рисунок 12. Барограмма процесса парообразования $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$.

По экспериментальным данным, приведённым в виде $\lg P = f(1/T)$, получены уравнения отдельных ступеней процессов и рассчитаны их термодинамические характеристики — значения энтальпии (ΔH , кДж/моль), энтропии (ΔS , Дж/моль·К) и энергии Гиббса (ΔG_{298}^0 , кДж/моль) (таблица 5).

Таблица 5

Условия и уравнения прямых линий ступеней дегидратации (а) $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ и термического разложения (б) $Th(NO_3)_4$

		Тензиметрия				ДТГ					Тензиметрия		
Процесс	ступени	ΔT , К	$LgP=B-A/T \cdot 10^3$		n	ΔT , К	Δm , %			ΔH	ΔH	ΔS	ΔG
			A	B			Опыт	Теория	$\pm \Delta$				
а	I	300-325	2,73	10,19	1	343-399	3,05	3,16	-3,5	15,71	13,0	33,5	3,0
	II	330-350	3,13	10,78	1	399-420	3,05	3,16	-3,5	13,42	15,1	38,5	3,7
	III	350-390	5,44	16,80	2	426-462	6,10	6,32	-3,5	26,85	24,8	63,5	5,92
	IV	400-425	2,66	9,38	1	463-476	3,09	3,16	-2,2	8,02	12,1	42,9	0,66
б	V	427-440	31,1	73,35		476-550	31,7	46,3	-31	55,67	58,3	130,1	19,5

Примечание: n – число дегидратированных молей воды; Δm – изменение массы; ΔH и ΔG – кДж/моль; ΔS – Дж/моль·К.

Данные, полученные методом тензиметрии на 50-70 градусов ниже, чем по методу ДТГ. Возможно, это связано с неравновесными условиями проведения

экспериментов по методу ДТГ, когда скорость нагрева образца составляла 1-10 градусов в минуту.

Экспериментальные значения изменения массы исследованных образцов $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ (таблица 5), определённые методом ДТГ, для первых четырёх ступеней процесса дегидратации хорошо совпадают с расчётными величинами, что позволило определить число отделённых молей воды из кристаллогидрата. Заметное расхождение наблюдается между экспериментальным значением изменения массы в термическом разложении $Th(NO_3)_4$, которое составляет $\Delta m_{пр.} = 17,3$ мг, что составляет 31,6% массы исходного образца ($m_{пр.} = 54,7$ мг). Теоретические расчёты показывают, что для термического разложения $Th(NO_3)_4$ изменение массы исходного образца должно составить 46,31%. Заметное расхождение данных, возможно, обусловлено протеканием реакций между побочными продуктами при высокотемпературном гидролизе между компонентами системы.

Значения энтальпии ступеней дегидратации $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ и термического разложения $Th(NO_3)_4$ (таблица 6), полученные двумя методами – ДТГ и тензиметрии, согласуются между собой в пределах ошибки эксперимента.

На основе полученных сведений можно предположить следующую схему дегидратации кристаллогидрата $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$:

- на первой ступени при $\Delta T = (300-325)$ К протекает химическая реакция:



- вторая - $\Delta T = (330-350)$ К: $Th(NO_3)_4 \cdot 4H_2O \rightarrow Th(NO_3)_4 \cdot 3H_2O + H_2O, \quad (9)$

- третья - при $\Delta T = (350-390)$ К: $Th(NO_3)_4 \cdot 3H_2O \rightarrow Th(NO_3)_4 \cdot H_2O + 2H_2O, \quad (10)$

- четвёртая - при $\Delta T = (400-425)$ К: $Th(NO_3)_4 \cdot H_2O \rightarrow Th(NO_3)_4 + H_2O. \quad (11)$

- пятая - $\Delta T = (427-440)$ К соответствует термическому разложению $Th(NO_3)_4$:



Образование оксида азота (IV) в мембранной камере наблюдается визуально.

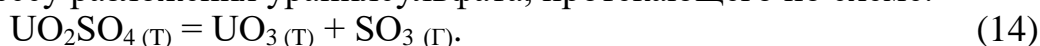
Разложение обезвоженного $Th(NO_3)_4$ выражается уравнением:

$$LgP = (6.05 \pm 0.7 - \frac{(2.85 \pm 0.03)}{T}) \cdot 10^3 \quad \text{при } \Delta T = (430-470) \text{ К} \quad (13).$$

С учётом количества молей газообразных продуктов, вычислено термодинамические характеристики распада $Th(NO_3)_4$ и получены следующие результаты: $\Delta H_T^0 = 273.1 \pm 8.0$ кДж·моль⁻¹, $\Delta S = 579.6 \pm 17.0$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹. По данным таблицы 5 и справочных величин проведён расчёт термодинамических характеристик $Th(NO_3)_4$, равные $\Delta_f H_{T_{эксперим.}}^0 = (-1366.3) \pm 15.0$ кДж·моль⁻¹, при справочное, равное (-1461.47) кДж·моль⁻¹, и $S_{T_{экспер.}}^0 = 651 \pm 23.0$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹,

Термическая стабильность и термодинамические характеристики сульфата уранила

Состав объектов исследования — соединения $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ и продуктов его термического разложения установлен методом РФА. На дериватограмме (рисунок 13) в интервалах $\Delta T_1 = (104-185)^\circ\text{C}$ и $\Delta T_2 = (231-364)^\circ\text{C}$ обнаружены эндоэффекты, соответствующие процессу дегидратации кристаллогидрата, и большой эндоэффект, обнаруженный при $\Delta T_3 = (364-985)^\circ\text{C}$, соответствует процессу разложения уранилсульфата, протекающего по схеме:



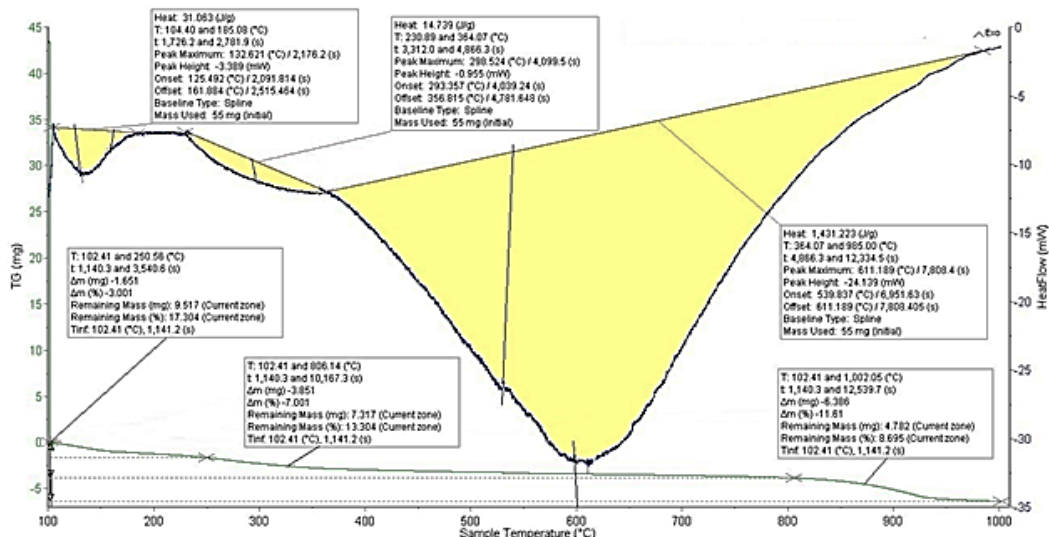


Рисунок 13. Дериватодиаграмма кристаллогидрата уранилсульфата $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ (скорость нагрева образца 15 К/мин, время измерения 90 мин).

Калориметрические исследования показали, что в температурном интервале (30-400)°С процесс термического разложения кристаллогидрата $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ состоит из трёх эндозффектов: первые два эндозффекта соответствуют процессу дегидратации, протекающего в интервале температур $\Delta T_1 = (61-118)^\circ C$ и $\Delta T_2 = (130-163)^\circ C$. Третий эндозффект, протекающий свыше 175°С, соответствует процессу термического распада уранилсульфата UO_2SO_4 .

Термическое разложение и термодинамические характеристики кристаллогидрата уранилсульфата состава $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$

Тензиметрическим методом установлено, что в диапазоне температур 335-710 К термический распад $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ состоит из 3-х ступеней (рисунок 14). Количественные тензиметрические опыты показали, что первые две ступени соответствуют процессу дегидратации и термическому разложению сульфата уранила соответствует 3-я ступень.

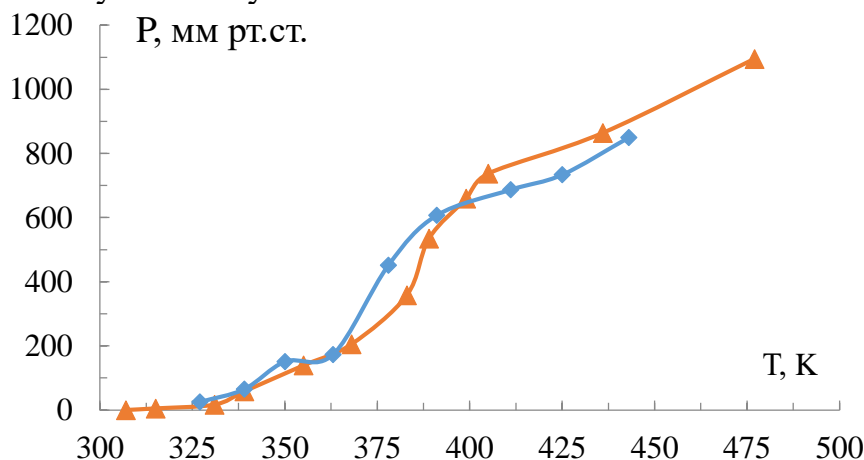
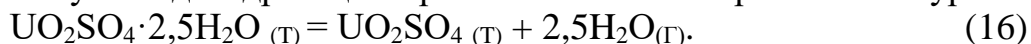


Рисунок 14. Зависимость давления пара от температуры при термическом разложении $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ в неравновесных условиях (▲ - опыт 1, ■ - опыт 2).

Установлено, что на первой ступени дегидратации ($\Delta T = 325-350$ К) происходит выделение одного моля воды:



Вторая ступень дегидратации при $\Delta T = 363-410$ К протекает по уравнению:



Термическое разложение сульфата уранила в диапазоне температур 480-710 К осуществляется по уравнению:



Методом РФА установлено образование оксида уранила. Результаты опытов по дегидратации и термическому распаду кристаллогидрата $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$, проведённых в равновесных условиях, сведены в таблицу 7.

Таблица 7

Уравнения барограмм и термодинамические характеристики процессов дегидратации (а) и термического разложения (б) $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$

Процесс	ступени	$\Delta T, K$	$LgP=B-A/T \cdot 10^3$		Тренд	R^2	Термодинамические свойства		
			$A \pm 0,05$	$B \pm 0,08$			$\Delta H_T,$ кДж/моль	$\Delta S_T,$ Дж/моль·К	$\Delta G_T,$ кДж/моль
(а)	I	329-373	2,697	9,668	Л	0,99	51,6±2	129,9±4	8,7±3
	II	381-417	3,849	11,985	Л	0,99	73,7±3	174,3±6	7,4±4
(б)	III	478-573	1,584	2,196	Л	0,99	30,3±3	42,7±5	28,5±2

ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные условия (температура процесса, времени, концентрации кислоты). Для извлечения концентратов урана из ураносодержащих руд и отходов проведена разработка обобщённых технологических схем их переработки с помощью минеральных кислот. Используются прецизионные методы, имеющиеся в лаборатории Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана, при которых соблюдался весь перечень норм и требований радиационной безопасности (НРБ-06), разработанных для Республики Таджикистан.

2. Методами дериватограмметрии, калориметрии и тензиметрии установлено, что термическое разложение кристаллогидратов $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ состоит из пяти ступеней: начальные четыре ступени соответствуют процессу дегидратации и последняя – разложению $Th(NO_3)_4$ с образованием оксида тория (IV). Определены температурные интервалы и термодинамические характеристики всех ступеней процессов.

3. Термическое разложение кристаллогидратов $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ состоит из трёх ступеней: начальные две ступени соответствуют процессу дегидратации и последняя – разложению UO_2SO_4 с образованием оксида уранила (VI). Для каждой ступени дегидратации и термического разложения определены температурные интервалы и значения термодинамических характеристик.

4. Проведён системный анализ термодинамических характеристик хлоридов, нитратов, сульфатов и перхлоратов актининов и показан сложный характер закономерностей их изменения в зависимости от природы актининов с проявлением тетрад-эффекта.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В
СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

**Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации**

1. **Эшов, Дж.Н.** Выделение урановых концентратов из рассолов, дренажных и технических вод / У.М. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, Дж.Н. Эшов, И. Мирсаидзода // Доклады НАН Таджикистан.– 2021. – Т. 64. - № 3-4. – С. 219-223.
2. **Эшов, Дж.Н.** Моделирование закономерности изменения термодинамических свойств борогидридов лантаноидов / А. Бадалов, Ф.А. Хамидов, Д.Т. Исозода, Дж.Н. Эшов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2021– №4 (185). – С. 60-65.
3. **Эшов, Дж. Н.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд серной кислотой/ К. О. Бобоев, М. Д. Бобоёров, Дж. Н. Эшов, Б. Б. Баротов, У. М. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2022. – № 1 (186). – С. 88-92.
4. **Эшов, Дж. Н.** Системный анализ термодинамических закономерности их изменения /Ф.А Хамидов, М.Ю. Акрамов, Дж. Н. Эшов, Д.Т. Исозода, А. Бадалов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2022. – № 1 (186). – С. 78-87.
5. **Эшов, Дж. Н.** Термические и термодинамические свойства нитрата тория / Дж. Н. Эшов, // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2023. – № 1 (190). – С. 53-58.
6. **Эшов, Дж.Н.** Термодинамические характеристики процесса термического разложения $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. / У.М. Мирсаидов, Дж.Н. Эшов, Ф.А. Хамидов, А.Б. Бадалов. Журнал физической химии РФ, 2024 г. №3. (т.98). - С. 10-14.
7. **Dj.N. Eshova.** Chemical thermodynamics and thermochemistry. Thermodynamic Characteristics of the Thermal Decomposition of $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ / U.M. Mirsaidova, Dj.N. Eshova, F.A. Khamidova, A.B. Badalova. ISSN 0036-0244, Russian Journal of Physical Chemistry A, © Pleiades Publishing, Ltd., 2024, No. 3. Vol. 98. - p. 1-5.

***Статьи, опубликованные в материалах международных и
республиканских конференций:***

8. **Эшов, Дж. Н.** Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов горнорудной промышленности / Ф. А. Хамидов, Дж. Н. Эшов, А. Бадалов, Д. Т. Исозода, И. Мирсаидзода // II Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы химии, применение и их перспективы», посвящённая 60-летию кафедры органической химии и памяти д.х.н., профессора Ш. Х. Халикова. – Душанбе, 2021. – С. 308-311.
9. **Эшов, Дж. Н.** Энтальпия образования оксидов актинидов и моделирование закономерности их изменения /И. Мирсаидзода, Ф. А. Хамидов, Дж. Н. Эшов // Сборник статей II международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы химии, применение и их перспективы», посвящённой 60-летию кафедры органической химии и памяти д.х.н., профессора Халикова Ширинбека Халиковича. 14-15 мая 2021г. С. 315-319.

10. **Эшов, Дж. Н.** Термодинамическая оценка некоторых соединений актинидов / Ф. А. Хамидов, Дж. Н. Эшов, Д. Т. Исозода // Республиканская научно-практическая конференция «Современные проблемы развития природоведческих (естественных) наук: перспективы дальнейшего развития», посвящённая 30-летию Государственной независимости РТ и 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования, с участием СНГ. – Бохтар, Республика Таджикистан, 2021. – С. 26-29.
11. **Эшов, Дж. Н.** Термодинамические свойства хлоридов и нитратов актинидов / Ф. А. Хамидов, Дж. Н. Эшов, Д. Т. Исозода // Там же. – С. 29-31.
12. **Эшов, Дж. Н.** Термодинамическая оценка сульфатов и перхлоратов актинидов / Ф. А. Хамидов, Дж. Н. Эшов, А. Бадалов, Д. Т. Исозода, И. Мирсаидзода // XVI Нумановские чтения «Достижения химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан». – Душанбе, Институт химии НАНТ, 2021. - С. 70-74.
13. **Эшов, Дж. Н.** Закономерности изменения термодинамических свойств хлоридов и нитратов актиноидов / Ф. А. Хамидов, И. Мирсаидзода, М. Д. Бобоёров, К. О. Бобоев, У. М. Мирсаидов // Материалы XVI Нумановских чтений «Достижения химической науки за 30 лет государственной независимости РТ. Душанбе, Институт химии НАНТ. 27 октября 2021г. - С. 74-78.
14. **Эшов, Дж. Н.** Переработка местного ураносодержащего сырья Таджикистана / К. О. Бобоев, М. Д. Бобоёров, Дж. Н. Эшов, Б. Б. Баротов, А. М. Мирзоев // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». – Душанбе, Институт химии имени В. И. Никитина НАНТ, 2022. – С. 103-104.
15. **Эшов, Дж. Н.** Процессы дегидратации кристаллогидрата и термического разложения нитрата тория (IV) / Дж. Н. Эшов, С. Садиров, Ф. А. Хамидов, И. Мирсаидзода, А. Бадалов // НАН Таджикистана Институт Химии имени В.И.Никитина Сборник материалов XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». Душанбе 26.10.2022г. – С. 26-30.
16. **Эшов, Дж. Н.** Термодинамическая оценка сульфатов и перхлоратов 5f-элементов / Дж. Н. Эшов, Ф. А. Хамидов, Ф. Дж. Саломов, А. Б. Бадалов // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: Достижения, проблемы и будущие перспективы». – Гулистан, Таджикистан, Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ, 2023. – С. 73-77.
17. **Эшов, Дж. Н.** Термическая устойчивость и термодинамические характеристики ураниловых соединений / Дж. Н. Эшов, Ф. А. Хамидов, Ф. Дж. Саломов, А. Бадалов, У. М. Мирсаидов // НАН Таджикистана Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности. Сборник материалов Международной научно – практической конференции «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: Достижения, проблемы и будущие перспективы» 4-6 августа 2023г. | г. Гулистан, Таджикистана. С. 96-100.

18. **Эшов, Дж. Н.** Термодинамическая оценка хлоридов и нитратов 5f- элементов / Дж. Н. Эшов, Ф. А. Хамидов, Ф. Дж. Саломов, И. Мирсаидзода, А. Бадалов // НАН Таджикистана Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности. Сборник материалов Международной научно – практической конференции «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: Достижения, проблемы и будущие перспективы» 4-6 августа 2023г. |г. Гулистан, Таджикистана. – С. 77-81.
19. **Эшов, Дж. Н.** Закономерности изменения термодинамических характеристик оксидов актинидов / Дж. Н. Эшов, Ф. А. Хамидов, Ф. Дж. Саломов, А. Бадалов, У. М. Мирсаидов // НАН Таджикистана Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности. Сборник материалов Международной научно – практической конференции «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: Достижения, проблемы и будущие перспективы» 4-6 августа 2023г. г. Гулистан, Таджикистан. – С. 70-73.