

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

УДК: 551.242.1 (575.3)

ББК: 24.1

Э – 98

На правах рукописи



ЭШОВ ДЖУРАМУРОД НУРМУРОДОВИЧ

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

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук
по специальности 02.00.00 –Химия (02.00.01 – неорганическая химия)
(отрасль науки - техническая)**

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.

Научный руководитель:	Исозода Диловаршох Тарик - доктор технических наук, доцент, ректор Института энергетики Таджикистана
Официальные оппоненты:	Мабаткадамзода Кимё Сабзкадам - доктора химических наук, доцент, кафедры неорганической химии Таджикского национального университета Наимов Носир Абдурахмонович - кандидат технических наук, директор ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»
Ведущая организация:	Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни

Защита состоится « 11 » августа 2025 года в 9-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 6D.KOA-042 при ГНУ «Институт химии имени В.И. Никитина» НАН Таджикистана, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: f.khamidov@mail.tj, +992934366463.

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
объединенного диссертационного
совета, кандидат технических наук



Хамидов Ф.А

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В ряду актинидов наибольшую распространённость имеют уран (U) и торий (Th), кларковые атомные числа которых, соответственно составляют $2 \times 10^{-50}\%$ и $3 \times 10^{-40}\%$. Уран в составе земной коры представлен в нескольких минеральных формах, основными и чаще всего встречающимися являются 3 минерала - уранинит (урановая смолка, смоляная руда) - U_3O_8 , отенит $(Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O)$ и карнотит $(KUO_2VO_4 \cdot 3H_2O)$, кроме того, в незначительных содержаниях представлены и другие минеральные формы урана. Минералы отенит и карнотит имеют насыщенную жёлтую окраску. Кроме того, во многих минералах редкоземельных минералов (эвксените, самарските, фергюсоните и др.) также присутствует уран в незначительных количествах.

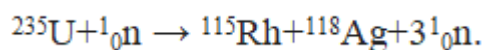
Известны три вида природных изотопа урана – ^{234}U с содержанием его в земной коре всего 0,0057%, ^{235}U с содержанием 0,7204% и изотоп ^{238}U , его содержание составляет 99.2739%. Кроме того, у изотопа ^{238}U период полураспада ($T_{1/2}$) самый большой среди других изотопов и равен 4.51×10^9 лет.

Уран относится к редким и рассеянным элементам. В составе земной коры содержание урана около $2.0 \times 10^{-40}\%$. В целом запасы урана в мировом масштабе значительны, это миллионы тонн. В настоящее время известны около 200 минеральных форм урана, которые в основном являются оксидами переменных составов (отенит, карнотит и др.).

Минералов, в которых присутствует торий, достаточно много, среди них самыми распространёнными и с большими содержаниями тория являются торогумит $(Th(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x})$, монацит, шералит $[(Th, Ca, Ce) (PO_4, SiO_4)]$, торит $(ThSiO_4)$, торианит (ThO_2) . Аналогично урану, торий присутствует практически во всех минеральных формах большинства редкоземельных элементов.

Практически все известные актиниды, вплоть до америция, широко применяются в различных сферах народнохозяйственного комплекса, в частности, в космических технологиях, приборостроении (в антидымовых датчиках). Однако наиболее значимым и распространённым является использование элементов актинидного ряда в ядерных установках и ядерных реакторах (в виде ядерного топлива), а также как одного из компонентов ядерного оружия. Данное использование основано на способности элементов актинидов и их соединений выделять в ядерных реакциях колоссальные количества энергии при ядерном делении, которые могут являться цепными или самоподдерживающимися в определённых условиях.

Основополагающим химическим элементом для атомной энергетики является уран, в основном используется его изотоп – ^{235}U в работе тепловых нейтронных реакторах. Но содержание изотопа ^{235}U в составе природного урана очень мало, не более 0.72%. Для урана-235 поперечное сечение захвата тепловых нейтронов очень высокое, при поглощении ураном-235 этих тепловых нейтронов происходит расщепление и выделение колоссальных количеств энергии. Энергия, переходящая в тепло, в течение одного акта деления (200 МэВ), выделяет около 1.0 МВт сутки в пересчёте на 1.0 грамм прореагировавшего урана-235. Очень важной характеристикой урана-235 является то, что при его делении происходит выделение нейтронов больше, чем их затрачивается. Критическая масса урана-235, при которой начинается процесс самоподдерживающейся цепной ядерной реакции, составляет 0.8 килограмма. В основном при этом происходит деление ядра урана на 2 осколка и высвобождается 2-3 нейтрона, по следующей схеме:



Также в ядерной энергетике используется ядерный цикл, который основан на использовании ^{232}Th и образующегося при его делении полезного продукта – ^{233}U , что является перспективным направлением ядерной энергетике. Высвобождение нейтронов, происходящее при вынужденном делении урана, является важным для поддержания ядерной цепной реакции с получением значительных количеств энергии, а также используется в синтезе более тяжёлых актиноидов. После распада урана-239, осуществляемого через β -распад происходит образование плутония-239 (^{239}Pu), который, как и уран-235 имеет способность делиться спонтанно. Ядерные реакторы, которые были построены первыми, не были использованы для мирных целей и нужд энергетике, они были предназначены для получения ^{239}Pu , который использовался для создания ядерной бомбы.

Торий широко применяется во многих отраслях, например, его используют как легирующую добавку в магний-цинковые сплавы. Многокомпонентные магниевые сплавы с добавками тория являются лёгкими и прочными, пластичными, имеют высокие температуры плавления, поэтому они широко применяются в авиационной отрасли, их используют для производства снарядов. Высокой способностью к электронной эмиссии обладает металлический торий. Электролампы на основе ториевых электродов имеют низкие начальные потенциалы и работают длительное время. По относительному содержанию изотопов урана и тория определяют возраст звёзд.

Торий и уранильные соединения, занимая особое место среди актинидов, обладают уникальными химическими свойствами – высокой реакционной способностью, кроме того, они эффективные энергоёмкие вещества. Торий и уранильные соединения – занимают особое место в жизни человека. Они являются главными элементами атомной энергетике и сырьём для получения другого главного 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 собой сложный и трудоёмкий процесс, в котором используются дорогостоящие исходные соединения.

Имеющаяся информация о термодинамических характеристиках основных комплексных соединений уран-ториевого ряда недостаточна для проведения их системного анализа и определения закономерностей их 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. также входит Стратегия Республики Таджикистан в сферах науки, технологии и инноваций на период до 2030 года утверждённый постановлением Правительства РТ от 30 июня 2021, №263 и соответствует разделу разведки и рациональное использования природных ресурсов, переработки полезных ископаемых.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследований – разработать эффективный метод получения соединений тория и урана из местных сырьевых материалов, изучить их физические и химические свойства и определить термодинамические характеристики. Установить закономерности, согласно которым изменяются термодинамические характеристики 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 соединений уранилнитрата и нитрата тория, синтезированных нами в качестве индивидуальных 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.

Объектом исследования являются урансодержащие руды и отходы урановых предприятий, из которых выделены урановые соединения. Синтезированные уранилсульфат и нитрат тория, изучение термические и термодинамические характеристики торий-урановые соединения.

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.

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 и проведено их 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.

Положения, выносимые на защиту:

- оптимальные условия выделения урановых соединений из отходов и урансодержащих вод;
- оценка термодинамические характеристики разложения урановых руд;
- термические и термодинамические свойства нитрата тория;
- термические и термодинамические характеристики уранилсульфата;
- закономерности изменения термодинамических свойств соединений актинидов.

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.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Область исследования соответствует паспорту специальности 02.00.01. «Неорганическая химия» (отрасль науки-техническая) по следующим пунктам:

- пункт 1 – фундаментальные основы получения объектов исследования и материалов на их основе (получения уранильных соединений, синтез ториевых соединений);
- пункт 2 – синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами (получена закись окись урана из отходов урановой промышленности и синтезирована уранил и ториевые соединений);
- пункт 4 – реакционная способность неорганических соединений в различных агрегатных состояниях и экстремальных условиях (изучена термическая и термодинамическая оценки протекающих процессов);
- пункт 5 – взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы

(технологический особенности выделения U_3O_8 из рассолов дренажных и технических вод);

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.

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);

- *республиканских*: научно-практической конференции «Нумановские чтения» (г. Душанбе, Таджикистан, 2021, 2022); научно-практической конференции, 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 Республики Таджикистан, а также 12 статей и тезисов в материалах научных конференций различного уровня.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация включает введение, три главы, выводы, список использованных литературных источников, включающий 154 наименований. Изложена на 144 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 "C600 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 (бывший г. Табашар) 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-окиси 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: хвостохранилищ, забалансовых руд, отвалов, отходов после кучного выщелачивания («Фабрика бедных руд» - ФБР), шахтных и дренажных вод 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 ураносодержащих 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.

Извлечение урана из рассола озера Сасык-Куль. В рассоле озера Сасык-Куль содержится 40 мг/л урана, pH-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.

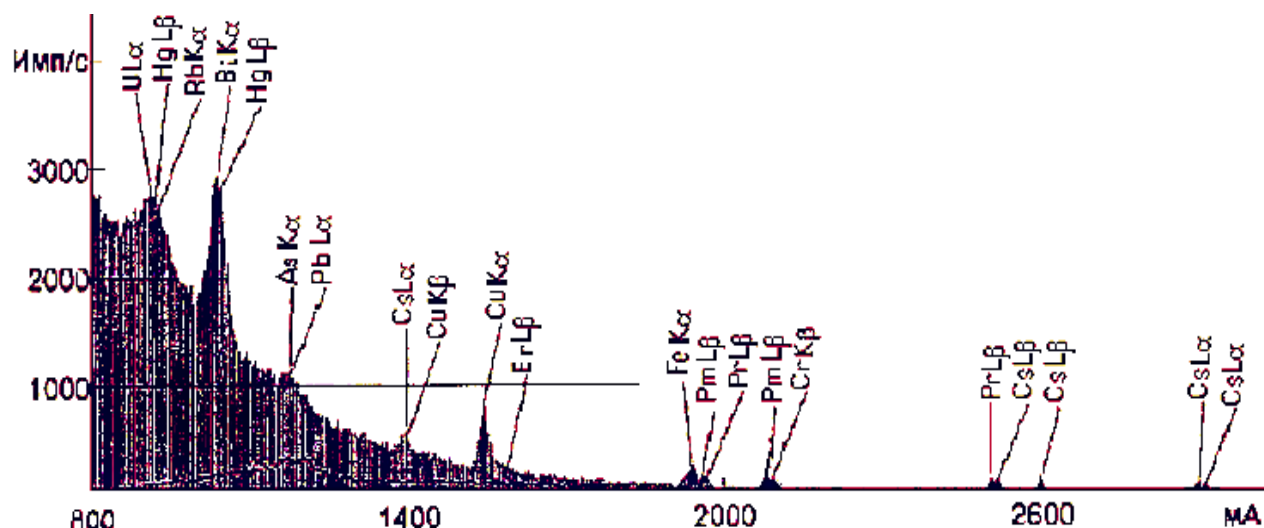


Рисунок 1. - Спектр остатка соли после выпаривания

Разработана принципиальная технологическая схема выделения урана из рассола озера Сасык-Куль (рисунок 3).

Обобщая 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.

Таблица 1. - 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

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

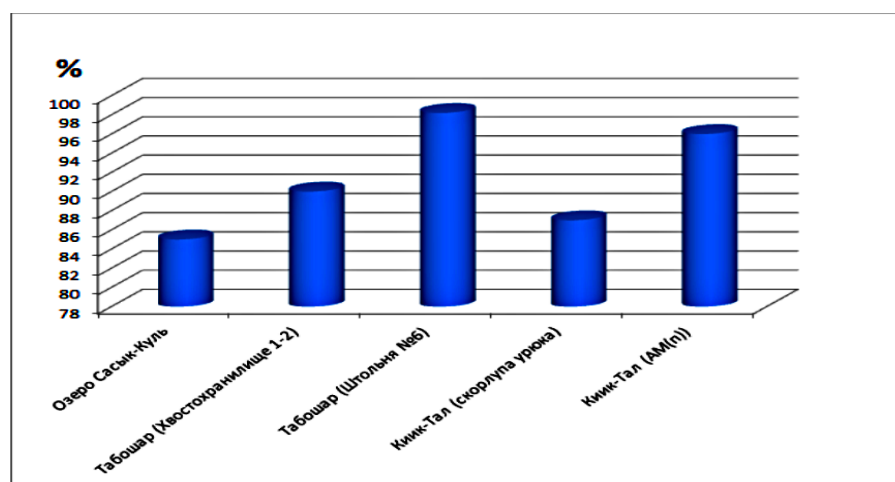


Рисунок 2. - Степень извлечения урана из различных ураносодержащих вод Таджикистана

Физико-химическими методами определён химический состав ураносодержащих вод и показана перспективность переработки уранового рассола озера Сасык-Куль с выделением уранового концентрата.

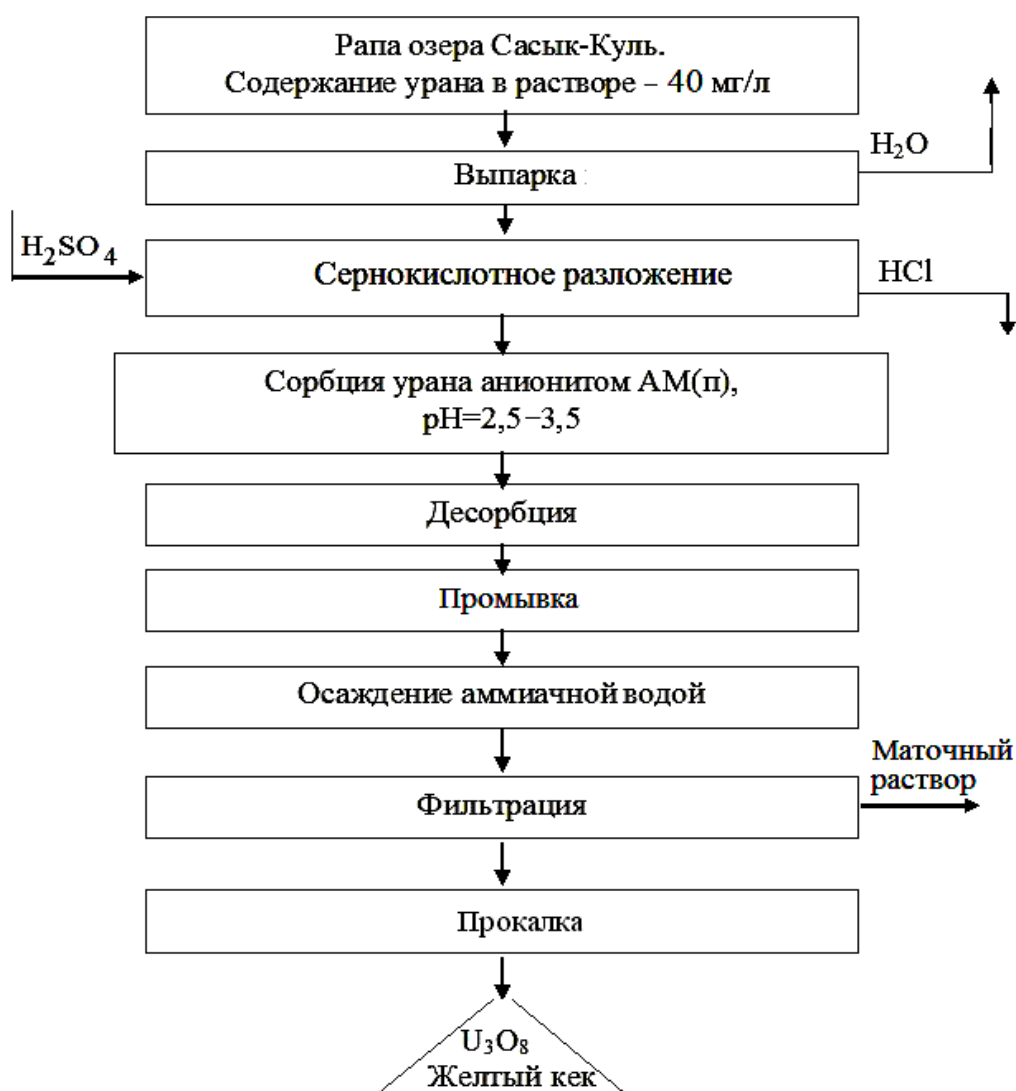


Рисунок 3. - Принципиальная технологическая схема выделения уранового концентрата из рапы озера Сасык-Куль

Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов горнорудной промышленности

Проблемы отходов урановых промышленности, которые образовались 50-х гг. прошлого столетия, многими авторами решены разработками в области вторичной переработки отходов и путём рекультивации урановых хвостохранилищ.

В настоящее время проблема радиоактивных отходов успешно решается их вторичной переработкой, которая решает одновременно несколько вопросов – во-первых, позволяет получать урановые концентраты и, во-вторых, 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, а также ураносодержащих 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

На основании кинетических исследований и установленных оптимальных параметров разработана обобщённая схема технологических процедур переработки ураносодержащих отходов (рисунок 4).

Был проведён сравнительный анализ извлечения урана из различных техногенных ураносодержащих хвостохранилищ, расположенных на территории Таджикистана, результаты которого обобщены на рисунке 5. На основании диаграммы рисунка 5 можно заключить, что максимальные извлечения урана возможны из хвостохранилища г. Истиклол (96%) и хвостохранилища г. Гафуров (90%). В связи с тем, что ураносодержащие отходы являются карбонатными, их переработку перспективнее проводить с использованием щелочного метода извлечения урана в виде U_3O_8 . Отходы остальных хвостохранилищ являются сульфатными, исходя из чего их перспективнее перерабатывать методами кислотного выщелачивания.

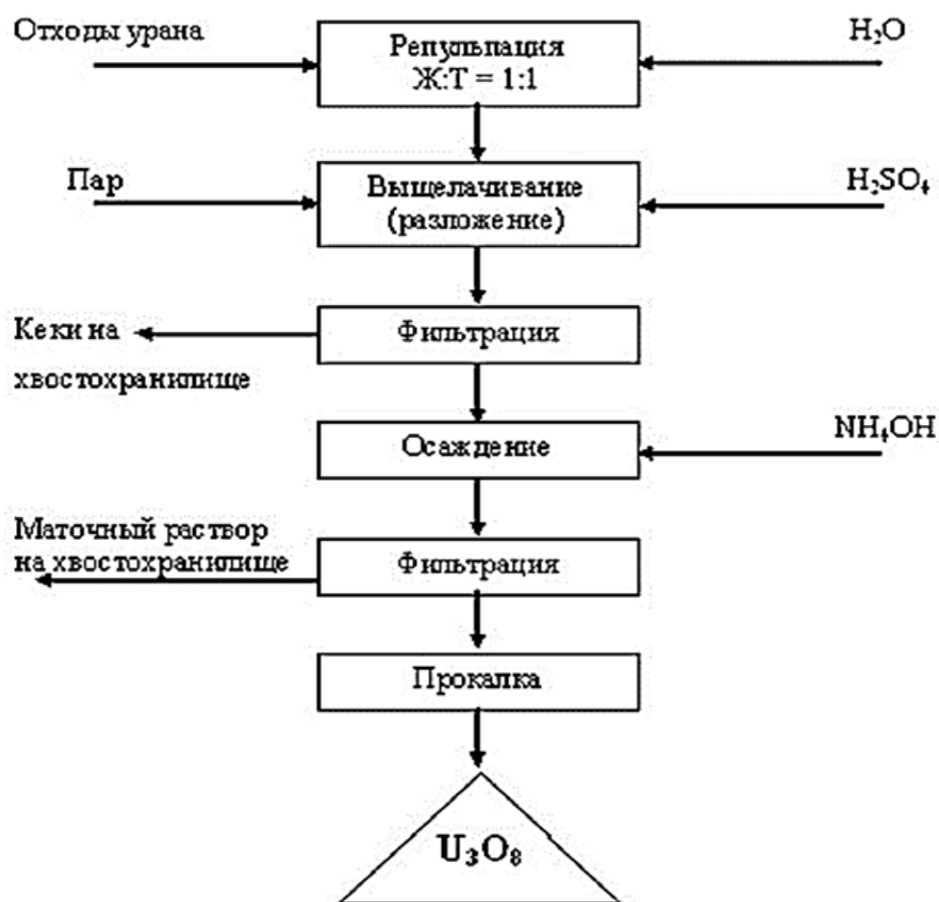


Рисунок 4. - Обобщённая схема технологических процедур переработки ураносодержащих отходов

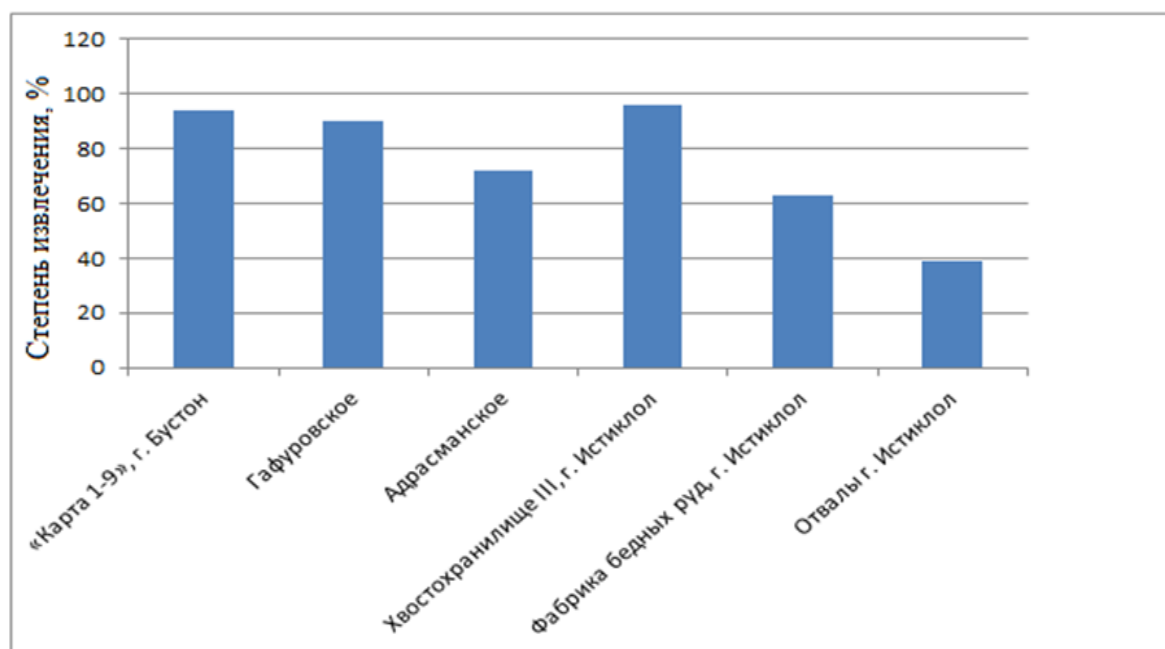


Рисунок 5. - Извлечение урана (U_3O_8) из техногенных ураносодержащих хвостохранилищ Таджикистана

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

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

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

Синтез уранильных соединений и нитрата тория

Получение уранил-сульфата. После нейтрализации растворов получают $(NH_4)_2U_2O_7$. Полученный диуранил аммония подвергают прокалке при 600-900°C с дальнейшим получением закиси-оксида 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 сернокислых растворов осаждением получают $UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$. Содержание основного вещества составляет 98.3%.

Уранилацетат (марки хч) получен растворением трехоксида урана в 80%-ной уксусной кислоте при нагревании до 80°C по реакции:

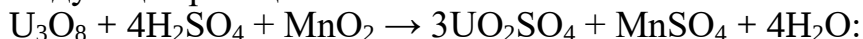


Из прозрачных растворов кристаллизовали $UO_2(CH_3COOH) \cdot 2H_2O$

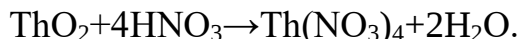
Уранил-нитрат – $UO_2(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ - получен из триоксида урана при нагревании до 80°C по реакции:



Получение уранил-сульфата при выщелачивании урана из руд в присутствии MnO_2 протекает следующая реакция:



Кристаллогидрат нитрата тория получен растворением оксида тория в азотной кислоте по реакции:



Из раствора выделяли $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$. Кристаллогидрат нитрата тория – $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$. Содержание более 98% основного вещества.

Оценка термодинамического анализа протекающих процессов при разложении урансодержащих материалов серной кислотой

Химический анализ и методика эксперимента. Для изучения физических и химических характеристик урансодержащих материалов проведён ряд исследований. Химическим методом анализа был определён состав урансодержащих материалов (таблица 3). Для химического анализа урансодержащих материалов 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

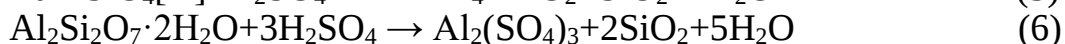
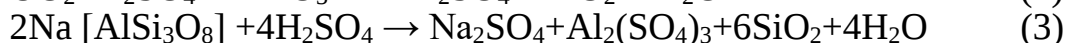
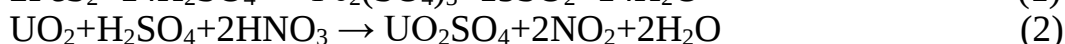
Минералы	Содержание, %	
Пирит, уранинит, альбит, сфен, каолинит, уранофан, кварц	<i>U</i> – 0,033	<i>Ti₂O</i> – 0,3;
	<i>Cr</i> – 0,064	<i>MnO₂</i> – 0,088
	<i>Pb</i> – 0,283	<i>Fe₂O₃</i> – 3,27
	<i>V</i> – 0,021	<i>Al₂O₃</i> – 12,4
	<i>Cu</i> – 0,064	<i>Na₂O</i> – 2,40
		<i>SiO₂</i> – 81

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

Таблица 4. - Термодинамические свойства минералов урановых материалов

Соединения	$-\Delta H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , кДж/моль · К	Cr_{298}^0 , Дж/моль · К
UO ₂ (ТВ)	1081,23	80,0	
Na[AlSi ₃ O ₈] (ТВ)	3938,8	207,4	
FeS ₂ (ТВ)	163,18	53,0	62,2
H ₂ SO ₄ (ж)	814,2	157,0	138,9
Al ₂ Si ₂ O ₇ ·2H ₂ O (Т)	4098,65	203,0	
HNO ₃ (ж)	174,14	155,0	
CaTiSiO ₄ O (Т)	2600,56	173,0	
CaSO ₄ (р-р)	1454,06	40,0	
TiSO ₄ (р-р)	1601,4	173,3	
UO ₂ SO ₄ (р-р)	1929,7	81,2	
NO ₂ (г)	33,5	240,0	
H ₂ O ж	285,8	70,0	75,3
Na ₂ SO ₄ (р-р)	1395,9	136,0	
Al ₂ (SO ₄) ₃ (р-р)	3792,33	550,0	
Fe ₂ (SO ₄) ₃ (р-р)	2825,7	564,0	570**
SO ₂ (г)	296,8	248,2	40

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



Из-за отсутствия значения теплоёмкости многих компонентов рассматриваемых систем и незначительного её влияние на термодинамические характеристики рассматриваемых процессов дальнейшие расчёты проведены без учёта изменения теплоёмкости.

По значениям энергии Гиббса можно утверждать, что наибольшую термодинамическую вероятность протекания имеет процесс (6) и затем уранинит по уравнению (2).

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, дериватографии и микроскопического.

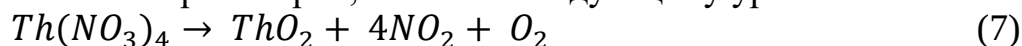
Термическое разложение соединений исследовали при создании двух условий (неравновесных и равновесных) и в двух режимах:

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

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 - $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ и $Th(NO_3)_4$

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 свойств одного из ториевых соединений - кристаллогидрата нитрата тория (IV), а также термического разложения указанного соединения. Для кристаллогидрата нитрата тория (IV) была снята термограмма, на которой были проявлены несколько эндотермических эндоэффектов: 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:



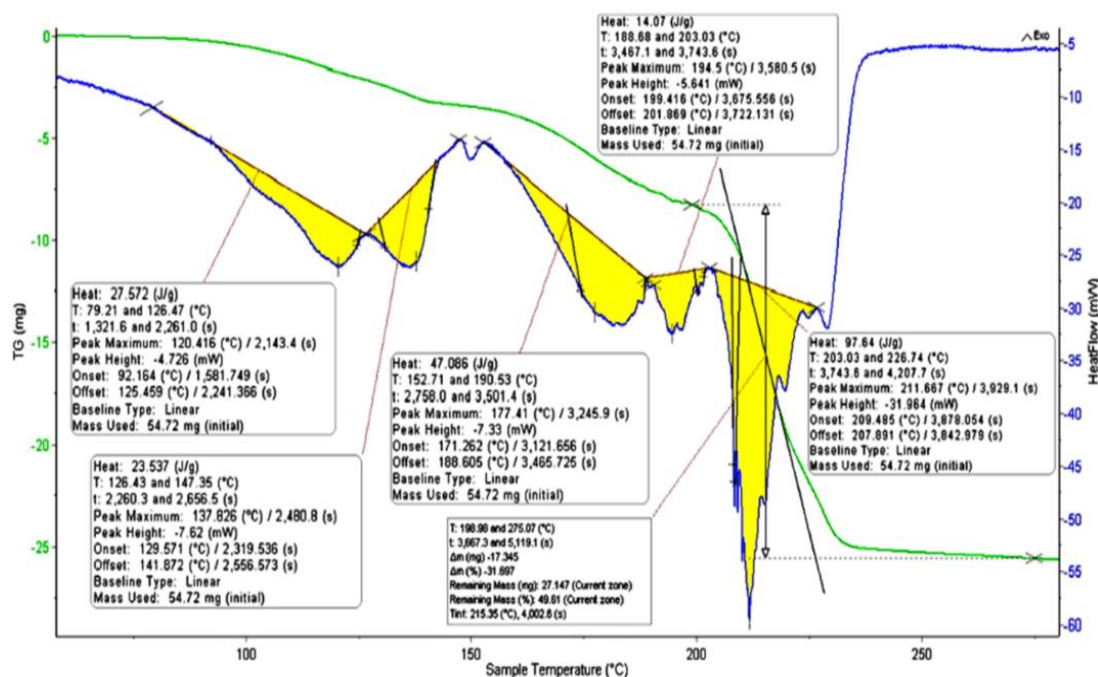


Рисунок 6. - Термограмма распада кристаллогидрата нитрата тория (IV)

Результаты исследования строения исходного кристаллогидрата нитрата тория (IV) электронной микроскопией (рисунок 7) показывают, что образец состоит из отдельных кристаллов с размерами от 0,2 до 0,5 мм.

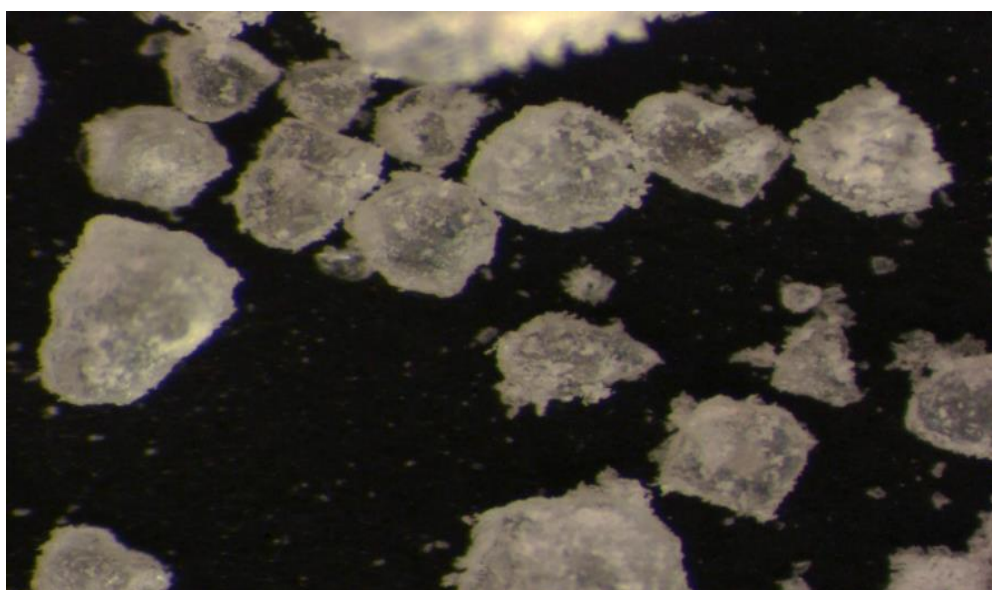


Рисунок 7. - Кристаллы $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

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.

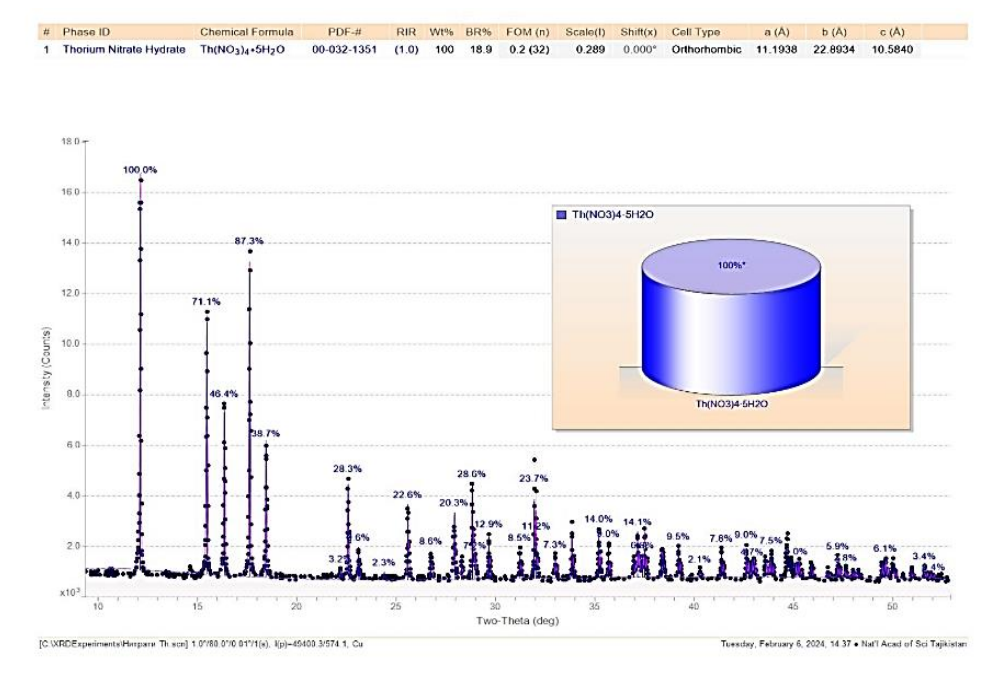


Рисунок 10. - Дифрактограмма продуктов частичной дегидратации кристаллогидрата Th(NO₃)₄·5H₂O

Термодинамические характеристики процесса термического разложения индивидуального нитрата тория (IV)

Калориметрические опыты, проведённые для изучения термического разложения кристаллогидрата нитрата тория (IV) (рисунок 11) проведены при скорости нагрева образца один градус в минуту. Как видно из рисунка 11, в рассматриваемом диапазоне температуры от 30 до 300°C при термическом разложении проявляются пять эндоэффектов: проявление первых четырёх эндоэффектов проявляется, соответственно, в температурных диапазонах (85-108)°C, (108-135)°C, (135-170)°C и (190-243)°C и, вероятно, их проявление связано с частичной дегидратацией кристаллогидрата. Следующий эффект, протекающий в более высоком температурном диапазоне от 243 до 282°C, характеризует полное термическое разложение исходного соединения - нитрата тория (IV).

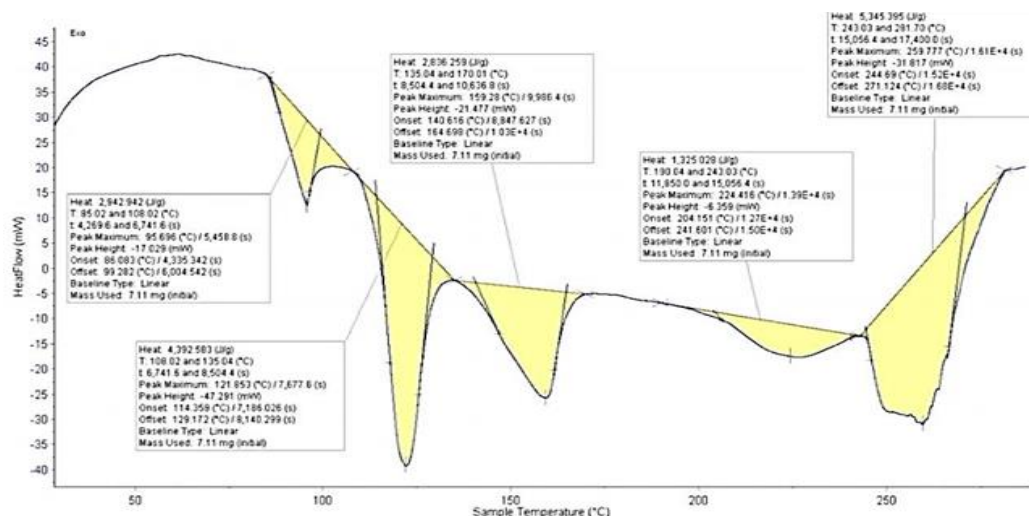


Рисунок 11. - Тепловые эффекты на ступенях нагрева кристаллогидрата нитрата тория (IV), полученные калориметрическим методом

Для определения термодинамических характеристик процессов нужны данные, которые получают тензиметрическим методом в условиях равновесия. В процессе равновесных условий достигается следующим образом: барограмма была получена в изотермических условиях в течение 30 часов и более выдержке каждой фигуративной точки, и были получены зависимости, характеризующие изменение давления пара от температуры для каждого исследуемого образца. Равновесными были приняты такие условия системы, когда в течение 4-х часов и постоянной температуре давление пара сохранялось стабильным. Также условия равновесности системы параллельно контролировали при охлаждении мембраны, т.е. при обратном ходе барограммы. Первые две ступени термического разложения кристаллогидрата $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ характеризовались полным совпадением барограммы при прямом (нагрев) и обратном (охлаждение) ходе. В трёх следующих степенях процесса термического разложения наблюдалось значительное снижение в системе давления при обратном ходе барограммы по сравнению с линиями, характеризующими простое газовое расширение. Динамика изменения давления процесса парообразования изображена на рисунке 12. На основании рисунка 12 можно сделать заключение, что процесс парообразования $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ включает пять ступеней. Для каждой из пяти ступеней определены температурные диапазоны протекания, которые определялись на основании прямых линий газового расширения, которые указывали на окончание одной из ступеней и начале следующей ступени.

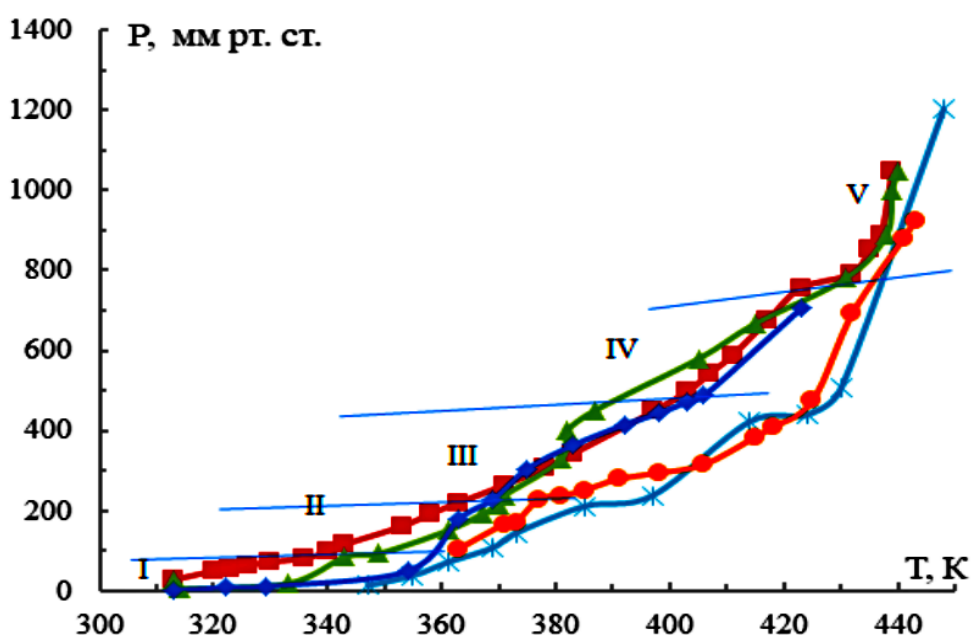


Рисунок 12. - Барограмма процесса парообразования $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$

Для всех прямых линий согласно полученным экспериментальным уравнениям, которые приводятся в таблице 5 также для всех пяти ступеней парообразования кристаллогидрата нитрата тория - $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ экспериментально вычислялись их термодинамические характеристики - значения энтальпии (ΔH , кДж/моль), энтропии (ΔS , Дж/моль·К) и энергии Гиббса (ΔG_{298}^0). Таблица 5 одновременно содержит экспериментально рассчитанные значения

доверительных уровней (R^2) для каждой из ступеней дегидратации кристаллогидрата нитрата тория и термического распада $Th(NO_3)_4$. Рассчитанные значения термодинамических характеристик обобщаются в таблице.5 В вычислениях учитывалась величина давление пара (P , атм.), которую вычисляли следующим образом: $B=B'-2.881$.

Таблица 5. - Уравнения прямых линий ступеней дегидратации $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ и термического разложения $Th(NO_3)_4$

Процесс	№ ступеней	ΔT , К	Коэффициенты уравнений прямых линий $LgP=B-A/T \cdot 10^3$		R^2
			A	B	
Дегидратация	I	300-325	2,728	10,194	0,977
	II	330-350	3,134	10,780	0,996
	III	350-390	5,438	16,800	0,999
	IV	400-425	2,656	9,380	0,994
Разложение	V	427-440	31,137	73,348	0,976

Термическое разложение $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ исследовано двумя независимыми экспериментальными методами – деривативной термогравиметрии и тензиметрии с мембранным нуль-манометром. Результаты исследования показывают, что процесс протекает в пяти ступенях. Как видно из таблицы 5, значения начала и интервала температур ступеней процесса, полученные экспериментальными методами, сильно отличаются. 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 6), 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 $Th(NO_3)_4$ (3.1) изменение массы исходного образца должно составить 46,31%. Заметное расхождение данных, возможно, обусловлено протеканием реакций между побочными продуктами при высокотемпературном гидролизе между компонентами системы.

Таблица 6. - Условия и результаты исследования дегидратации $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ (а) и термического разложения $Th(NO_3)_4$ (б)

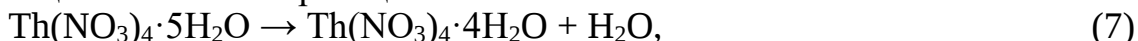
ДТГ								Тензиметрия		
Процесс	Ступени	ΔT , К	п	Изменение массы, Δm , %			ΔH , кДж/моль	Термодинамические характеристики ступеней		
				Опыт	Теория	Расхождение		ΔH	ΔS	ΔG
(а)	I	343-399	1	3,05	3,16	-3,5	15,71	12,98	33,46	3,00
	II	399-420	1	3,05	3,16	-3,5	13,42	15,12	38,50	3,65
	III	426-462	2	6,10	6,32	-3,5	26,85	24,83	63,45	5,92
	IV	463-476	1	3,09	3,16	-2,2	8,02	12,11	42,86	0,66
(б)	V	476-550	1	31,7	46,3	-31,5	55,67	58,27	130,1	19,51

Примечание: п – число дегидратированных молей воды; ΔH и ΔG -кДж/моль; ΔS - Дж/моль·К.

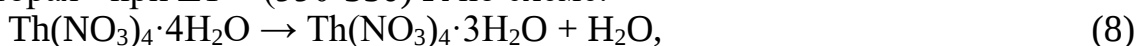
Значения энтальпии ступеней дегидратации $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ и термического разложения $Th(NO_3)_4$ (таблица 3.4), полученные двумя методами – ДТГ и тензиметрии, согласуются между собой в пределах ошибки эксперимента.

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

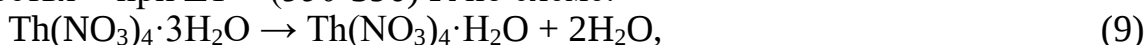
- на первой ступени интервал температур $\Delta T = (300-325)$ К и протекает следующая химическая реакция:



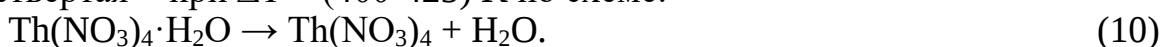
- вторая - при $\Delta T = (330-350)$ К по схеме:



- третья - при $\Delta T = (350-390)$ К по схеме:



- четвёртая - при $\Delta T = (400-425)$ К по схеме:



На пятой ступени происходит термическое разложение $Th(NO_3)_4$, которое соответствует следующей химической реакции:



Установлено, что температуры, характеризующие начала каждой из ступеней процессов в условиях равновесия при использовании тензиметрического метода, смещаются в среднем на 50 - 70°C в более низкие температуры сравнительно с результатами, полученными при ДТГ. Таким образом, определено, что термодинамические характеристики всех пяти ступеней для дегидратации кристаллогидрата нитрата тория - $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ и его дальнейшего термического распада, а также термического распада соединения нитрата тория - $Th(NO_3)_4$ в условиях равновесия являются взаимно согласованными.

Термическая стабильность и термодинамические характеристики сульфата уранила

Состав объектов исследования — соединения $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ и продуктов его термического разложения установлен методом РФА. Как видно из дериватограммы (рисунок 13), при дегидратации уранилсульфата обнаруживаются следующие эндоэффекты: в интервалах $\Delta T_1 = (104 - 185)^\circ\text{C}$ и $\Delta T_2 = (231 - 364)^\circ\text{C}$ соответствуют процессу дегидратации кристаллогидрата, и большой эндоэффект, обнаруженный при $\Delta T_3 = (364 - 985)^\circ\text{C}$, соответствует процессу разложения уранилсульфата, протекающего по схеме::

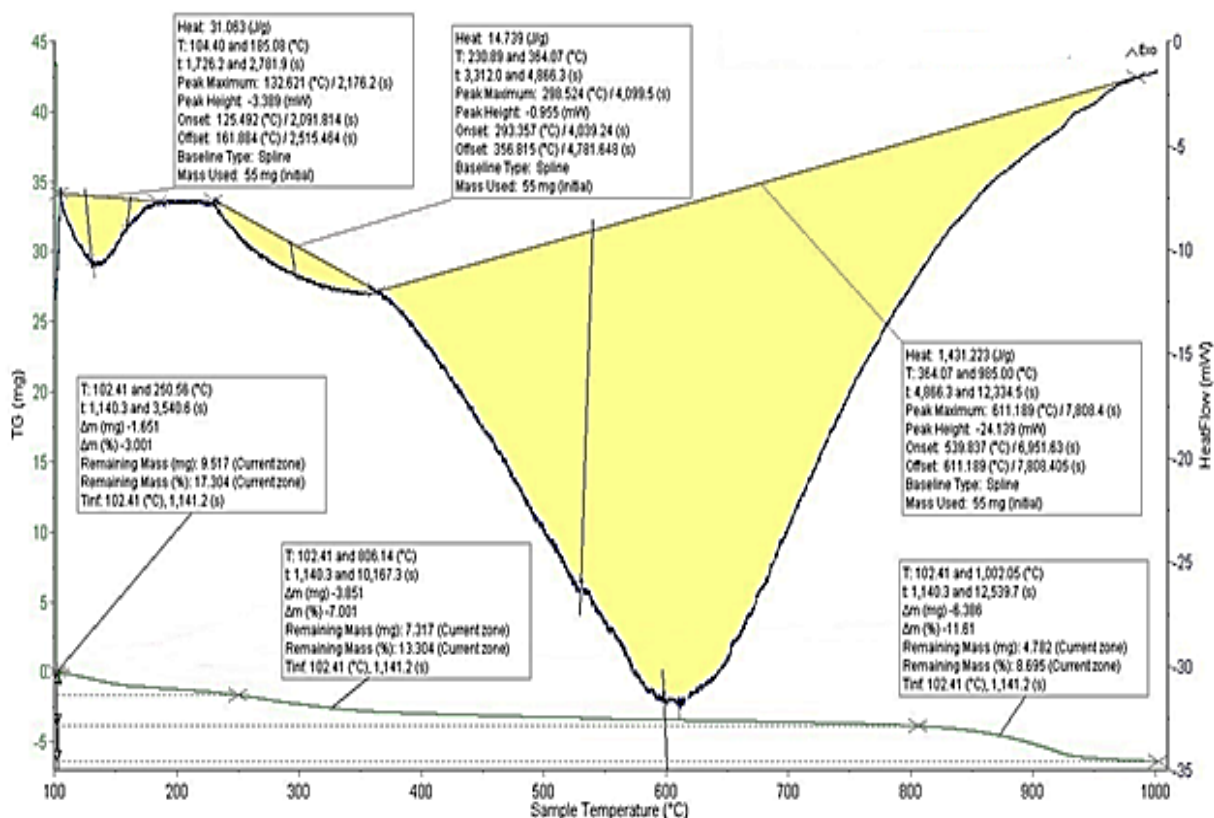


Рисунок 13. - Дериватограмма кристаллогидрата уранилсульфата $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ (скорость нагрева образца 15 К/мин, время измерения 90 мин)

Калориметрические исследования процесса термического разложения кристаллогидрата уранилсульфата $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ проведены при скорости нагрева образца три градуса в минуту. Результаты калориметрического опыта приведены на рисунке 14.

Из рисунка 14 видно, что в исследованном температурном интервале (30 - 400) $^\circ\text{C}$ процесс состоит из трёх эндоэффектов: первые два эндоэффекта соответствуют процессу дегидратации $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$, которые протекают в интервалах температур $\Delta T_1 = (61 - 118)^\circ\text{C}$ и $\Delta T_2 = (130 - 163)^\circ\text{C}$. Третий эндоэффект, протекающий при более высоких температурах (свыше 175) $^\circ\text{C}$, соответствует процессу термического распада уранилсульфата UO_2SO_4 .

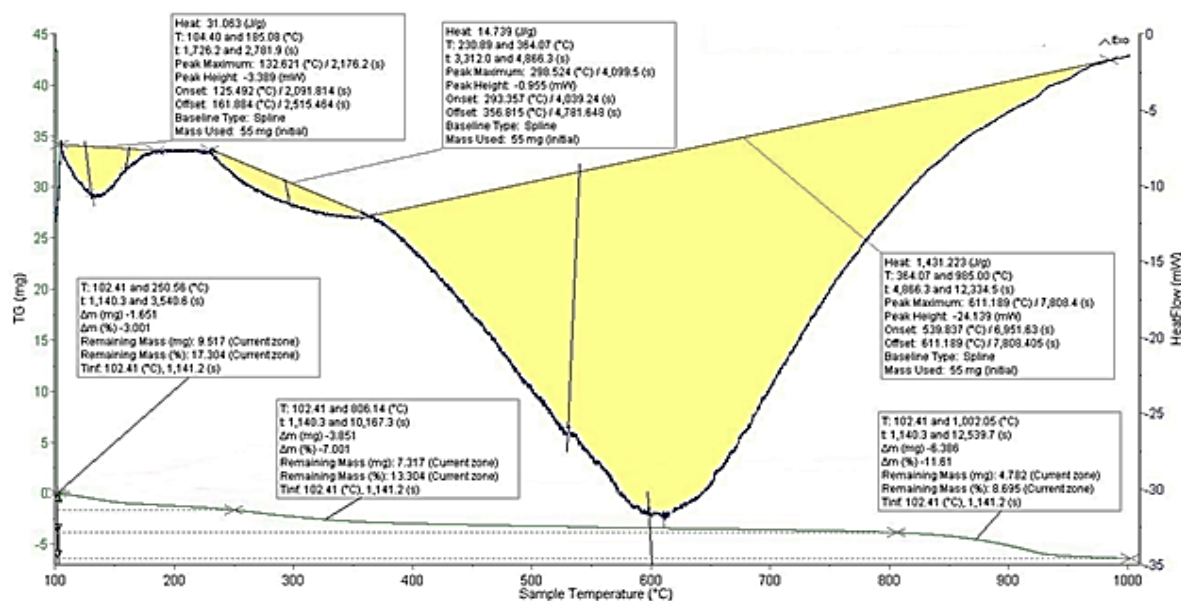


Рисунок 14. - Дериватограмма кристаллогидрата уранилсульфата $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ (скорость нагрева образца 15 К/мин, время измерения 90 мин)

Термическое разложение и термодинамические характеристики кристаллогидрата уранилсульфата состава $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$

Термический распад соединения кристаллогидрата уранилсульфата - $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ с его дальнейшей гидратацией изучались тензиметрическим методом с мембранным нуль-манометром.

При изучении термического разложения кристаллогидрата уранилсульфата $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ давление в мембранной камере поддерживалась с точность ± 100 Па, температура процесса поддерживалась в диапазоне 335-710 К, точность поддержания необходимой температуры составляла $\pm 0,5$ градусов Кельвина. Результаты опытов приведены в таблице (рисунок 15).

По рисунку 15 можно заключить, что в исследуемом температурном диапазоне барограмма процесса термического разложения кристаллогидрата $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ состоит из 3-х ступеней. Проведены тензиметрические количественные опыты, на основании которых выявлено, что для исходного образца дегидратация протекает на двух первых ступенях барограммы, а далее происходит термическое разложение сульфата уранила - на 3-ей ступени.

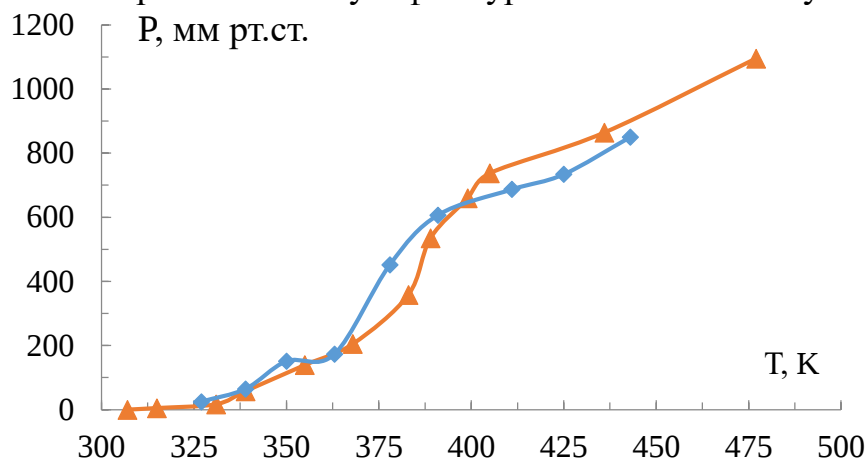
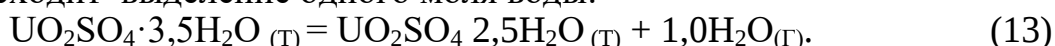
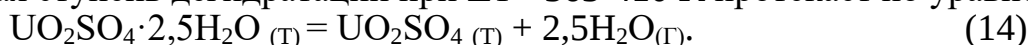


Рисунок 15. - Зависимость давления пара от температуры при термическом разложении $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ в неравновесных условиях (◄ - опыт 1, ■ - опыт 2)

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:



Термодинамические характеристики дегидратации и термического разложения $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$

Предварительно были получены экспериментальные данные в виде зависимости $\text{Lg}P = f(1/T)$ для каждой из ступеней дегидратации соединения $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$, соответственно на основании которых были составлены прямолинейные уравнения для каждой из ступеней дегидратации и термического разложения $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$, которые обобщены в таблице 7. Значение коэффициента рассчитано по формуле $B = B^* - 2,88$ для перевода давления в другие единицы измерения (атм.). На основе полученных уравнений рассчитаны термодинамические характеристики ступеней процесса парообразования кристаллогидрата $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$.

Таблица 7. - Уравнения барограмм дегидратации $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ и термического разложения UO_2SO_4

Процесс	№ ступени	ΔT , К	Коэффициенты уравнений $\text{Lg}P = B - A/T \cdot 10^3$		Тип тренда	R^2
			$A \pm 0,05$	$B \pm 0,08$		
Дегидратация	I	329-373	2,697	9,668	Л	0,99
	II	381-417	3,849	11,985	Л	0,99
Разложение	III	478-573	1,584	2,196	Л	0,99

Примечание: Л – линейный вид тренда.

Далее согласно составленным прямолинейным уравнениям для каждой из ступеней процессов дегидратации $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ и термического разложения UO_2SO_4 были вычислены величины их термодинамических характеристик, которые приведены в таблице 8.

Таблица 8. - Уравнения барограмм дегидратации $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ и термического разложения UO_2SO_4

Соединения	Процесс	Ступени	ΔT , К	Термодинамические характеристики		
				ΔH_T , кДж/моль	ΔS_T , Дж/моль·К	ΔG_T , кДж/моль
$\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$	Дегидратация	I	329-373	$51,6 \pm 2$	$129,9 \pm 4$	$8,7 \pm 3$
		II	381-417	$73,7 \pm 3$	$174,3 \pm 6$	$7,4 \pm 4$
UO_2SO_4	Разложение	III	478-573	$30,3 \pm 3$	$42,7 \pm 5$	$28,5 \pm 2$

ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные условия проведения процесса извлечения концентратов урана из ураносодержащих руд и отходов. Разработана обобщённых технологических схем их переработки [1-А, 4-А].

2. Синтезирован уранилсульфата из отходов уранового производства и урановых руд Таджикистана, а также синтезирован нитрат тория из оксида тория [3-А].

3. Методами дериватографии, калориметрии и тензиметрии установлено, что термическое разложение кристаллогидратов $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ состоит из пяти ступеней: начальные четыре ступени соответствуют процессу дегидратации и последняя – разложению $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ с образованием оксида тория (IV). Определены температурные интервалы и термодинамические характеристики всех ступеней процессов [3-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А].

4. Термическое разложение кристаллогидратов $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ 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 [11-А, 12-А, 13-А, 17-А].

5. Проведён системный анализ термодинамических характеристик хлоридов, нитратов, сульфатов и перхлоратов актинидов и показан сложный характер закономерностей их изменения в зависимости от природы актинидов с проявлением тетрад-эффекта [2-А, 11-А, 14-А, 15-А, 16-А, 18-А, 19-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

- Разработанные обобщённые технологические схемы переработки могут использоваться в процессах переработки ураносодержащих отходов и ураносодержащих материалов минеральными кислотами с целью извлечения из них концентратов урана.

- Полученные в диссертационном исследовании результаты являются полезными для Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана (на основании имеющегося акта внедрения), а также для Министерства промышленности и новых технологий РТ, его подразделений, проектных учреждений и других научных учреждений НАН Таджикистана.

- Результаты диссертационного исследования могут использоваться в технических вузах, на технологических факультетах для подготовки специалистов металлургического, химического и химико-технологического профилей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК Республики Таджикистана

[1-А]. 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-А]. **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-А]. **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-А]. **Эшов, Дж. Н.** Системный анализ термохимических 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-А]. **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-А]. **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-А]. **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.

2. Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

- [8-А]. **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-А]. **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-А]. **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-А]. **Эшов Дж. Н.** Термодинамические свойства хлоридов и нитратов 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. 29-31
- [12-А]. **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-А]. **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-А]. **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-А]. **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-А]. **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-А]. **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-А]. **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 Агенство 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-А]. **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 Агенство 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.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИLMҲОИ ТОҶИКИСТОН
АГЕНТИИ АМНИЯТИ ХИМИЯВЌ БИОЛОГЌ
РАДИАТСИОНЌВА ЯДРОЌ**

УДК: 551.242.1 (575.3)

ББК: 24.1

Э-98

Бо ҳуқуқи дастнавис



ЭШОВ ҶУРАМУРОД НУРМУРОДОВИЧ

**СИНТЕЗ, ХОСИЯТҲОИ ТЕРМИКЌВА ТЕРМОДИНАМИКИИ
ПАЙВАСТАГИҲОИ ТОРИЙ-УРАНИ**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия ба дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи
ихтисоси 02.00.00 – Химия (02.00.01 - химияи ғайриорганикӣ)
(соҳаи илмҳои техникӣ)**

ДУШАНБЕ – 2025 с.

Диссертатсия дар заминаи «Озмоишгоҳи хизматрасонии техникӣ»-и шӯъбаи илмӣ-тадқиқотии Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро карда шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Исозода Диловаршоҳ Тариқ – доктори илмҳои техникӣ, дотсент, ректори Институти энергетикаи Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ:

Мабаткадамзода Кимё Сабзкадам – доктори илмҳои техникӣ, дотсент, кафедраи химияи ғайриорганики Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Наимов Носир Абдурахмонович – номзади илмҳои техникӣ, директори Муассисаи давлатии «Институти илмӣ-тадқиқоти металлургия»-и ҶСК «Ширкати алюминии Тоҷикистон.

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Ҳимоя дар «11» августи соли 2025, соати 9-00 дар ҷаласаи шурои диссертатсионии муштаракӣ 6D.КОА-042 назди Муассисаи давлатии илмӣ «Институти химияи ба номи В.И.Никитин»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, 734063, Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/2 баргузор мегардад. E-mail: f.khamidov@mail.tj, +992934366463.

Бо диссертатсия ва автореферати он дар китобхона ва сайти Муассисаи давлатии илмӣ «Институти химияи ба номи В.И.Никитин»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, www.chemistry.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «___» _____ соли 2025 фиристода шудааст.

Котиби илмӣ
шурои диссертатсионии муштарак,
номзади илмҳои техникӣ



Ҳамидов Ф.А.

МУҚАДДИМА

Муҳиммияти кор. Дар қатори актинидҳо уран (U) ва торий (Th) бештар паҳнгардида мебошанд, ки рақамҳои атомии кларкиашон мутаносибан $2 \times 10^{-5} \%$ ва $3 \times 10^{-4} \%$ -ро ташкил медиҳад. Уран дар қишри замин дар якҷанд шаклҳои маъдани мавҷуд буда, асосӣ ва маъмултарини онҳо 3 маъдан – уранинит (қатрони уран, маъдани қатрон) – U_3O_8 , отенит ($Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O$) ва карнотит ($KUO_2VO_4 \cdot 3H_2O$) мебошанд, ғайр аз ин, шаклҳои дигари маъдани уран низ дар миқдори ночиз мавҷуданд. Маъданҳои отенит ва карнотит ранги зарди равшан доранд. Дар бисёре аз маъданҳои нодири заминӣ (эвксенит, самарскит, фергусонит ва ғайра) низ ба миқдори кам уран мавҷуд мебошад.

Се намуи изотопҳои табиӣ уран маълуманд: ^{234}U бо миқдори он дар қабати замин ҳамагӣ 0,0057%, ^{235}U бо миқдори 0,7204% ва изотопи ^{238}U бо миқдори он 99,2739%. Илова бар ин, изотопи ^{238}U дар байни изотопҳои дигар даври нимкоҳиш ($T_{1/2}$)-и калон дорад ва ба $4,51 \times 10^9$ сол баробар аст.

Уран ба унсурҳои нодир ва пароканда мансуб аст. Миқдори урани қишри замин тақрибан $2,0 \times 10^{-4}$ фоизро ташкил медиҳад. Дар маҷмӯъ, захираҳои уран дар миқёси ҷаҳонӣ назаррас буда, миллионҳо тоннаро ташкил медиҳад. Дар айни замон қариб 200 намуи шаклҳои маъдани уран маълум аст, ки асосан оксидҳои таркибашон тағйирёбанда (отенит, карнотит ва ғайра) мебошанд.

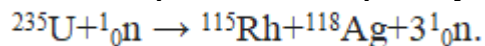
Маъданҳои, ки дар онҳо торий мавҷуд аст, хеле зиёданд, ки дар байни онҳо маъмултарин ва дорои миқдори зиёди торий - торогумит ($Th(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$), монатсит, шералит ($(Th, Ca, Ce)(PO_4, SiO_4)$), торит ($ThSiO_4$), торанит (ThO_2) мебошанд. Ба монанди уран, торий низ дар ҳама шаклҳои маъдани аксари унсурҳои нодири заминӣ мавҷуд аст.

Актиний дар қишри замин кам аст; адади атомии кларкии он $5 \times 10^{-10} \%$ аст. Умуман, паҳншавии актиний дар қишри замин 2600 тоннаро ташкил медиҳад, дар ҳоле ки масалан, миқдори радий ба 40 миллион тонна мерасад. Дар табиат актиний асосан дар таркиби маъданҳои оксигендор, силикати ва сулфиди мавҷуд аст; дар обҳои табиӣ миқдори он назар ба маъданҳои урани ҳатто камтар аст.

Қариб ҳамаи актинидҳои маълум, аз ҷумла америтсий дар соҳаҳои гуногуни ҳоҷагии халқ аз ҷумла, дар техникаи кайҳонӣ, асбобсозӣ (дар детекторҳои зиддидудӣ) васеъ истифода мешаванд. Бо вучуди ин, муҳимтарин ва васеъ истифодабарии унсурҳои силсилаи актинидҳо дар дастгоҳҳои ҳастай ва реакторҳои ҳастай (дар шакли сӯзишвории ҳастай), инчунин яке аз ҷузъҳои силоҳи ҳастай мебошад. Ин истифода ба қобилияти элементҳои актинидҳо ва пайвастагиҳои онҳо барои баровардани миқдори бузурги энергия дар реаксияҳои ядрои ҳангоми тақсимои ядрои асос ёфтааст, ки метавонанд дар шароити муайян занҷир ё худ устувор бошанд.

Унсури асосии химиявӣ барои энергетикаи атомӣ уран аст, ки изотопи он ^{235}U асосан дар реакторҳои ҳароратии нейтрони истифода мешавад. Аммо миқдори изотопи ^{235}U дар урани табиӣ хеле кам аст - на бештар аз 0,72%. Барои уран-235 буриши арзии рабӯиши нейтронҳои ҳароратӣ хеле баланд аст, ҳангоми нейтронҳои ҳароратиро фуру бурдани ^{235}U , таҷзия ба амал меояд ва миқдори зиёди энергия хориҷ мешавад. Энергияи дар давоми як ҳодисаи коҳиш ба гармӣ табдилёфта (200 МэВ), дар як шабонарӯз тақрибан 1,0 МВт аз

рӯйи ҳисоб ба 1,0 грамм ^{235}U -и реаксияшуда ҷудо мекунад. Хусусияти хеле муҳимми уран-235 дар он аст, ки ҳангоми тақсимшавии он ҷудошавии нейтронҳо нисбат ба сарфаи онҳо бештар аст. Массайи бухронӣ (критикӣ)-и уран-235, ки дар он раванди реаксияи занҷирии ядроии худнигоҳдоранда оғоз меёбад, 0,8 килограмм мебошад. Асосан, дар ин маврид, ядроии уран ба 2 порча тақсим мешавад ва аз рӯйи схемаи зерин 2-3 нейтрон ҷудо мешавад:



Инчунин дар энергетикаи атомӣ сикли ҳастай татбиқ мешавад, ки ба истифодаи ^{232}Th ва маҳсули ғоиданоки ^{233}U -и ҳангоми тақсимшавии он ҳосилшаванда асос ёфтааст, ки соҳаи ояндадори энергетикаи ядрой мебошад. Озодшавӣ (раҳошавӣ)-и нейтронҳо, ки ҳангоми тақсимои маҷбурии уран ба вучуд меояд, барои нигоҳ доштани реаксияи занҷираи ядрой бо ба даст овардани миқдори зиёди энергия муҳим аст ва инчунин дар синтези актинидҳои вазнинтар истифода мешавад. Пас аз коҳиши уран-239, ки тавассути β -коҳиш сурат мегирад, плутоний-239 (^{239}Pu) ба вучуд меояд, ки мисли уран-235 қобилияти худ ба худ тақсимшавӣ дорад. Реакторҳои ядрой, ки аввал сохта шуда буданд, бо мақсадҳои осоишта ва эҳтиёҷоти энергетика истифода нашуданд, онҳо барои ҳосил кардани ^{239}Pu пешбинӣ шуда буданд, ки бояд барои сохтани бомбаи ядрой истифода мешуданд.

Торий дар бисёр соҳаҳои саноат васеъ татбиқ мешавад, масалан, он ҳамчун иловаи ҳулақунанда дар ҳулаҳои магний-синкӣ истифода мешавад. Ҳулаҳои бисёртаркибаи магний бо иловаҳои торий, сабук, мустаҳкам ва чандирӣ буда, ҳарорати баланди гудозиш доранд, бинобар ин онҳо дар саноати авиатсия васеъ татбиқ мешаванд ва барои истеҳсоли снарядҳо истифода мешаванд. Торӣи металлӣ нисбат ба афканишоти электронӣ қобилияти баланд дорад. Лампаҳои электроние, ки дар асоси электродҳои торӣи асос ёфтаанд, потенциалҳои ибтидоии паст доранд ва муддати дароз кор мекунанд. Аз рӯйи миқдори нисбии изотопҳои уран ва торӣи синну соли ситораҳоро муайян мекунанд. Ҳоло химияи пайвастагиҳои уран-торӣ ҳам аз ҷиҳати амалӣ ва ҳам аз ҷиҳати маърифатӣ соҳаи ояндадори химия мебошад.

Пайвастагиҳои торӣи ва уранилӣ дар байни актинидҳо мавқеи махсусро ишғол карда, хосиятҳои нодири химиявӣ — қобилияти баланди реаксионӣ доранд, илова бар ин, онҳо моддаҳои самараноки энергиягунҷо мебошанд. Онҳо ҷузъҳои асосии энергетикаи атомӣ ва ашёи хом барои ҳосил намудани дигар ҷузъи асосии энергетикӣ - плутоний ва дигар актинидҳо мебошанд.

Дар айни замон дар байни як қатор пайвастагиҳои актинидӣ пайвастагиҳои торӣи-уранӣ ҷойи махсусро ишғол мекунанд. Як қатор усулҳои самарабахши синтези ин пайвастагиҳо коркард шудаанд.

Уранилсулфат, -нитрит ва -нитрати торӣи пайвастагиҳои муассир барои синтези актинидҳои дигар мебошанд.

Хусусиятҳои дар боло зикрфтаи пайвастагиҳои уран ва торӣи, аҳамияти ин пайвастагиҳо дар химияи муосир, коркарди усулҳои ҳосил намудани актинидҳо ва омӯختани хосиятҳои физикию химиявии онҳо муҳимияти ин корро муайян мекунанд.

Дарачаи омӯзиши проблемаи илмӣ дар соҳаи пайвастагиҳои торӣи-уранӣ нокифоя аст, ба он сабаб, ки раванди синтези пайвастагиҳои нитратӣ, сульфатӣ ва атсетатӣ пештар ҳосилкардашудаи торӣи ва уран раванди мураккаб

ва заҳматталаб мебошад, ки дар он пайвастагиҳои аввалияи гаронбаҳо истифода мешаванд.

Маълумоти мавҷуда оид ба ҳосиятҳои термодинамикии пайвастагиҳои асосии мураккаби торий-уранӣ, махсусан пайвастагиҳои қатори торий барои таҳлили системии онҳо бо мақсади муайян кардани қонуниятҳо дар тағирёбии онҳо нокифоя аст.

Робитаи кор бо барномаҳо (лоиҳаҳо)-и илмӣ, мавзӯҳо. Тадқиқоти диссертатсионӣ дар доираи барномаи илмӣ Агентии амнияти биологӣ, химиявӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар мавзӯи «Асосҳои физикию химиявии ҷудо кардани концентратҳои уран аз маъданҳо ва партовҳо» (бақайдгирии давлатии мавзӯ: 0120 TJ 01030) анҷом дода шудааст, инчунин дар доираи татбиқи Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи илм, технология ва инноватсия барои давраи то соли 2030, ки бо Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 июни соли 2021, № 263 тасдиқ шудааст, ба фасли иктишоф ва истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ, коркарди канданиҳои ғойаданок мувофиқат мекунад.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мақсади тадқиқот коркарди усули самараноки ҳосил намудани пайвастагиҳои торий-уранӣ аз ашёи хоми маҳаллӣ, омӯхтани ҳосиятҳои физикию химиявии онҳо, муайян кардани мушаххаса (характеристика)-ҳои термодинамикии онҳо ва муқаррар кардани қонунияти мебошад, ки тибқи он мушаххасаҳои термодинамикии актинидҳои дохили гурӯҳ тағйир меёбанд.

Вазифаҳои тадқиқот:

- ҳосил кардани моддаҳои энергияғунҷои пайвастагиҳои қатори уран-торий бо истифода аз маъданҳои урандор ва партовҳои урандори Ҷумҳурии Тоҷикистон, таҳияи схемаҳои умумии коркарди ин маъдану партовҳо ва асосноккунии термодинамикии ин равандҳо;

- муайян кардани мушаххасаҳои термодинамикии таҷзияи термикии пайвастагиҳои уранилнитрат ва нитрати торий, ки аз тарафи мо ба сифати пайвастагиҳои ғардӣ синтез карда шудаанд;

- таҳлили системавии мушаххасаҳои термодинамикии бадастовардашуда барои пайвастагиҳои унсурҳои қатори актинидӣ ва муайян кардани қонуниятҳои тағирёбии онҳо дар дохили гурӯҳ;

- моделсозии қонуниятҳои тағйирёбии мушаххасаҳои термодинамикии пайвастагиҳои актинидӣ вобаста ба табиати актинидҳо.

Объекти тадқиқот маъданҳои урандор ва партовҳои корхонаҳои уран, ки аз онҳо пайвастагиҳои уран ҷудо карда шудаанд, уранилсулфат ва нитрати торийи синтезшуда, омӯхтани мушаххасаҳои термикӣ ва термодинамикии пайвастагиҳои торий-уранӣ мебошад.

Мавзӯ (предмет)-и тадқиқот – коркарди усулҳои истихроҷи уран аз обҳои техникӣ ва партовҳои урандор бо мақсади ба даст овардани моддаҳои аввалия – пайвастагиҳои уранилӣ ва омӯзиши устувории термикии онҳо, муайян кардани мушаххасаҳои термодинамикии пайвастагиҳои актинидӣ, муайян кардани қонунияти тағйирёбии ҳосиятҳои термодинамикии пайвастагиҳои актинидӣ дар ҳудуди гурӯҳ мебошад.

Навоварии илмий тадқиқот:

- аз партовҳои истеҳсолоти уран ва обҳои урандор пайвастагиҳои уранилӣ синтез карда шудаанд;
- шароити равандҳои ҳосил кардани пайвастагиҳои уранилӣ ва нитрати торий муқаррар карда шуд;
- схемаи асосии технологияи равандҳо ва асосноккунии термодинамикии он тартиб дода шуд;
- схемаҳои химиявии таҷзияи пайвастагиҳои уранилӣ ва нитрати торий муқаррар карда шуданд. Қиматҳои мушаххасаҳои термодинамикии таҷзияи термикии ин пайвастагиҳо муайян карда шуданд;
- барои пайвастагиҳои қатори актинидҳо таҳлили системавӣ гузаронида шуд. Барои унсурҳои қатори актинидҳо ва пайвастагиҳои мавриди баррасӣ қарордошта онҳо, маълумотҳои дақиқтар ва мукамал оид ба мушаххасаҳои термодинамикии онҳо муайян ва муқаррар карда шуданд. Қонуниятҳои муайян карда шуданд, ки аз рӯи онҳо мушаххасаҳои термодинамикии пайвастагиҳои актинидҳо тағйир меёбанд.

Аҳамияти назариявии тадқиқот. Шароити аз партовҳо ва маъданҳои урандор ҳосил кардани пайвастагиҳои уранилӣ муайян карда шуда, асосноккунии термодинамикии онҳо гузаронда шуд. Мушаххасаҳои термодинамикии пайвастагиҳои актинидҳо муайян ва дақиқ карда шудаанд. Ин маълумот аҳамияти бунёди дорад ва барои амиқтар кардани донишҳо дар назарияи алоқаҳои химиявӣ дар пайвастагиҳои актинидӣ мусоидат мекунад. Қонунияти тағйирёбии ҳосиятҳои термодинамикии актинидҳо муқаррар карда шудаанд.

Аҳамияти амалии тадқиқот дар равиши нави синтези пайвастагиҳои уранилӣ бо истифода аз партовҳои уран ва обҳои саноатӣ ифода меёбад. Маълумот дар бораи ҳосиятҳои термодинамикии актинидҳои дар кор овардашуда хусусияти истинодӣ доранд ва маҳзан (банк)-и бузургҳои термодинамикиро бо маълумоти нав пурра мекунад.

Қонуниятҳои ошкоркардашудаи тағйирёбии ҳосиятҳои пайвастагиҳои актинидҳо имкон медиҳанд, ки актиниди мувофиқ бо хусусиятҳои пешакӣ муайяншуда, мушаххасаҳои “барномашуда”-и ҷавобгӯ ба шароити амалии татбиқ интихоб карда шаванд.

Муқаррароти ба дифоъ пешниҳодшуда:

- шароити муносиб (оптималӣ)-и истихроҷи пайвастагиҳои уранилӣ аз партовҳо ва обҳои урандор;
- арзёбии мушаххасаҳои термодинамикии таҷзияи маъданҳои уранилӣ;
- ҳосиятҳои термикӣ ва термодинамикии нитрати торий;
- мушаххасаҳои термикӣ ва термодинамикии уранилсулфат;
- қонуниятҳои тағйирёбии ҳосиятҳои термодинамикии пайвастагиҳои актинидӣ.

Эътимоднокии маводи диссертатсия бо таҷрибаҳои мувозӣ (параллелӣ) ва таҳлили химиявии якҷанд намунаҳои маводи аввалия, ки аз ашёи хоми маҳаллӣ ба даст оварда шудаанд, тасдиқ карда мешавад. Коркарди маълумот ва маводи таҷрибавӣ бо истифодаи усулҳои муосири мустақили тадқиқоти дақиқ, мутобикати маълумоти ба даст овардашуда, истифодаи маҷмӯи усулҳои ҳисоббарорӣ ва нимтаҷрибавӣ анҷом дода шуданд. Хулоса ва тавсияҳо дар асоси таҳлили илмӣ ва

коркарди маводи таҷрибавӣ ва назариявӣ бо истифода аз технологияҳои компютерӣ ва рақамӣ таҳия шудаанд.

Мутобиқати рисола ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Соҳаи таҳқиқ ба шиносномаи ихтисоси 02.00.01. «Химияи ғайриорганикӣ» (самти илм - илмҳои техникӣ) аз рӯи бандҳои зерин мутобиқат дорад:

- банди 1 – асосҳои бунёди ба даст овардани объектҳои тадқиқот ва маводи тадқиқотӣ дар асоси онҳо (ҳосил кардани пайвастагиҳои уранилӣ, синтези пайвастагиҳои торийӣ);

- банди 2 - синтези пайвастагиҳои нави ғайриорганикӣ ва моддаҳои хеле софи дорои хосиятҳои муайяншуда (оксиди уран аз партовҳои саноати уран ҳосил карда шуда, пайвастагиҳои уранилӣ ва торийӣ синтез карда шудааст);

- банди 4 – қобилияти реаксионии пайвастагиҳои ғайриорганики дар ҳолатҳои гуногуни агрегатӣ ва шароити экстремалӣ (арзёбии термикӣ ва термодинамикии равандҳои ҷойдошта омӯхта шуданд);

- банди 5 – ҳам алоқамандии байни таркиб, сохтор ва хосиятҳои пайвастагиҳои ғайриорганикӣ. Маводҳои наноструктураи ғайриорганикӣ (хусусиятҳои технологияи истихроҷи U_3O_8 аз намакобҳои обҳои ҷохӣ (дренажӣ) ва саноатӣ).

Саҳми шахсии доктараб мураббабсозии ҳадафҳои тадқиқот, ҷамъоварӣ, коркард ва таҳлили сарчашмаҳои адабиётӣ, муайян кардани усулҳое, ки тавассути онҳо масъалаҳои гузашташуда ҳал карда мешаванд, васли дастгоҳҳои таҷрибавӣ, гузаронидани таҷрибаҳо дар тамоми марҳилаҳои омӯзиш, коркарди маълумоти таҷрибавӣ ва ҳисобшудаи бадастомадаро дар бар мегирад.

Тасдиқи диссертатсия ва маълумот оид ба истифодаи натиҷаҳои он. Маводи асосии кори диссертатсионӣ дар маҷаллаҳои тақризшаванда ба таърифи расида, дар конференсияҳои илмӣ сатҳҳои гуногун мавриди баррасӣ қарор гирифтанд. Натиҷаҳои асосии он дар конференсияҳо, симпозиумҳо ва семинарҳои илмӣ зерин гузориш ва муҳокима карда шуданд:

- конференсияҳои илмӣ амалии байналмилалӣ: «Мушкилоти муосири саноати металлургӣ» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, 2021); конференсияи дуҷумлаи «Мушкилоти муосири химия, татбиқ ва дурнамои онҳо» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, 2021); «Мушкилоти муосири саноати металлургӣ» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, 2021); «Беҳтариҳои кимиёвӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ҳастаӣ: дастовардҳо, мушкилот ва дурнамо» (ш. Гулистон, Тоҷикистон, 2023);

- конференсияҳои илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Ҳонишҳои Нуҷмоновӣ» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, 2021, 2022); конференсияи илмӣ амалӣ бахшида ба 30-солагии Истиқлолияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 20-солаи омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф таҳти унвони «Мушкилоти муосири рушди илмҳои табиатшиносӣ: дурнамои рушди минбаъда» бо иштироки олимони ИДМ (ш. Бохтар, Тоҷикистон, 2021).

Натиҷаҳои интизоршудаи диссертатсия. Мазмунҳои асосии кори диссертатсионӣ дар 19 мақолаи илмӣ, аз ҷумла 7 мақола дар маҷаллаҳои илмӣ тақризшаванда аз рӯйхате, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия кардааст, инчунин 12 мақола ва фишурдаи мақолаҳо дар маводи конференсияҳои илмӣ сатҳҳои гуногун инъикос ёфтааст.

Сохтор ва ҳаҷми кори диссертатсионӣ. Диссертатсия аз муқаддима, се боб, хулоса, рӯйхати сарчашмаҳои адабиёти истифодашуда, (фароғири 154 номгӯй) иборат аст. Он дар 144 саҳифаи чопи компютерӣ бо 59 расм ва 39 ҷадвал баён карда шудааст.

МАЗМУНИ АСОСИИ КОР

Дар боби аввал маълумот оид ба сохти электронӣ ва усулҳои ҳосил кардани f-унсурҳои лантанидҳо ва актинидҳо оварда шудааст. Маълумот дар бораи устувории термикӣ, хусусиятҳои таъзияи термикӣ ва мушаххасаҳои термодинамикии боргидридҳои лантанидҳо ва актинидҳо, оксидҳо, галогенидҳои актинидҳо, кристалгидратҳои нитратҳои торий (IV) ва уранилнитрат баён шудаанд. Якхелагии вобастагии тағйирёбии хосиятҳои термодинамикии оксидҳо бо зӯхуроти «тетрад-падида» барои унсурҳои қаторҳои лантанидҳо ва актинидҳо нишон дода шудааст. Таҳлили адабиёт ба мо имкон дод, ки аз шарҳ хулоса бароварда, вазифаҳои кори диссертатсияро мурағбат созем.

Боби дуюм ба баёни мухтасари асосҳои техникаи беҳатарии истифодаи воситаҳои муҳофизати инфиродӣ ва мониторинги дозиметрӣ ҳангоми кор бо маводи урандор бахшида шудааст.

Таҳлили химиявии партовҳои урандор ва обҳои урандор дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон бо истифодаи усулҳои анъанавии таҳлили инструменталӣ ва таҷҳизоти муосири дақиқ - фотометри чорканалаи шафакии М425, спектрометри атомӣ-адсорбсионии АА-7000, дифрактометри рентгении хокавии худкоргардонидашудаи «XRDynamic 500», дериватографи «Labsys Evo-C1600» (истеҳсоли ширкати «Setaram»), калориметри «С600 Calvet», усули статикӣ бо сифрмонometri мембранадор амалӣ карда шуд.

Дар боби сеюм натиҷаҳои тадқиқи равандҳои дегидрататсия ва таъзияи термикии кристаллогидратҳои $(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ ва UO_2SO_4 бо усулҳои тензиметрия бо сифрманometri мембранадор дар шароити мувозинатӣ ва таҳлили рентгенофазӣ оварда шудаанд. Хусусияти зинавии равандҳо, фосилаи ҳароратҳо, муодилаҳои вобастагии фишори буғ ба ҳарорат муқаррар карда шуда, дар асоси онҳо мушаххасаҳои термодинамикии зинаҳои ҷудогонаи равандҳои дегидрататсия ва таъзияи термикии пайвастиҳои зикршуда ҳисоб карда шуданд.

Бо усули нимтаҷрибавӣ таҳлили системавии мушаххасаҳои термодинамикии хлоридҳо, нитратҳо, сулфатҳо ва перхлоратҳои актинидҳо гузаронда шуд. Қонуниятҳои тағйирёбии мушаххасаҳои термодинамикии ин пайвастиҳо вобаста ба табиати актинидҳо муқаррар карда шуд.

Истихроҷи концентратҳои уран аз намакобҳо, обҳои захкаш (дренажӣ) ва техникӣ

Истихроҷи уран аз маъданҳо ва обҳои захкаш ва техникӣ кони Киик-Тол ва шаҳри Истиклол (собиқ шаҳри Табошар)-и Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷолиб аст. Истихроҷи уран аз намакобҳои кули Сосиқ-Кӯл, ки миқдори урани он аз 30 то 40 мг/л аст, аҳамияти муҳим дорад.

Оби чоҳии Киик-тол 20—25 мг/л уран дорад ва бебозгашт ба замин рехта, хокро ифлос мекунад. Бо технологияи самараноки сорбсияи уран аз ин обҳо дар як сол 1-2 тонна оксиди уран ба даст овардан мумкин аст.

Дар обҳои техникии шаҳри Истиқлол аз 10 то 70 мг/л уран мавҷуд аст, ки он ба истихроҷи саноатии уран наздик аст.

Ин ҳолат мушкилоти ҳамоҳангсозии барномаи мониторинги муҳити зист, инчунин зарурати таҳияи технологияи самараноки коркарди партовҳо ва обҳои техникии дорои уранро ба миён меорад.

Дар маҷмӯъ, дар шаҳри Истиқлол мероси нодири урани Иттиҳоди Шуравӣ ҷамъоварӣ шудааст, ки ин имкон медиҳад як қатор лоиҳаҳои илмию тадқиқотӣ амалӣ карда шавад.

Гуногунии мероси урани шаҳри Истиқлол - паспартовгоҳҳо, конҳои ғайримуқаррарӣ, хоктӯдаҳо, партовҳо пас аз ишқоррравонӣ («Фабрикаи конҳои каммаъдан»), обҳои шахтавию заҳкаш моро водор мекунад, ки барои ҳалли мушкилоти экологии ин шаҳр чораҳои фаврӣ андешем.

Дар ин кори диссертатсионӣ концентратҳои уран аз обҳои шахтавӣ, техникӣ ва намакобҳои кӯли Сосиқ-Кӯл ҷудо карда шуданд.

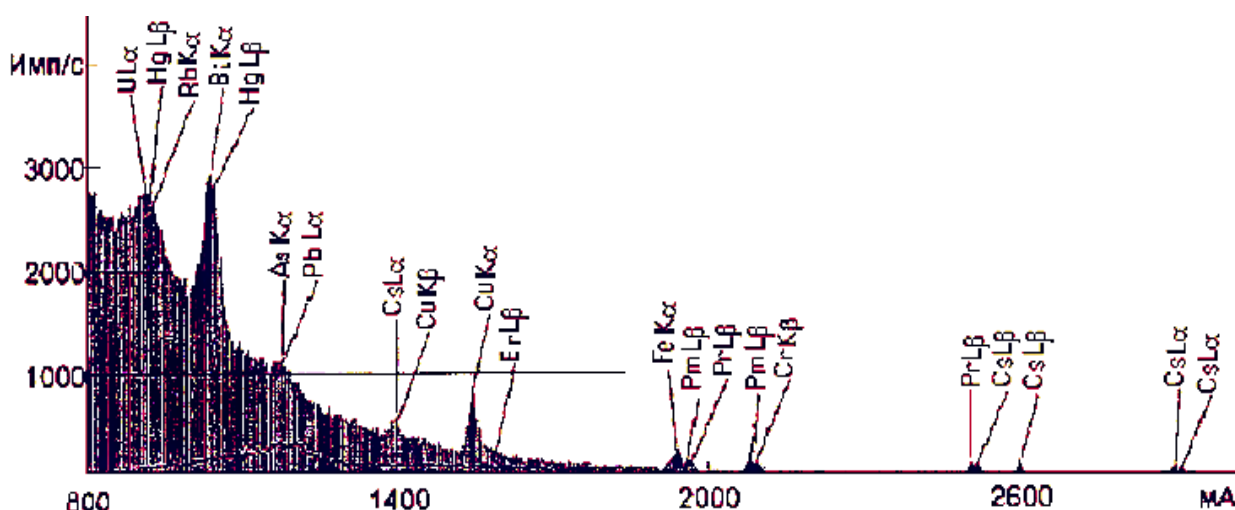
Таҳлили химиявӣ обҳои урандор бо усулҳои гуногун, аз ҷумла усули ҷаббиш (сорбсия)-и гамма-шуоъ, усулҳои гравиметрӣ ва титриметрӣ, ки аз ҷониби Агентии амнияти биологӣ, химиявӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон таҳия шудааст, гузаронида шуд.

Таҳлили рентгенофазавӣ барои муайян кардани фазаҳо баъди бухоршавии намакоби кӯли Сосиқ-Кӯл истифода бурда шуд.

Истихроҷи уран аз намакоби кӯли Сосиқ-Кӯл. Дар намакоби кӯли Сосиқ-Кӯл 40 мг/л уран мавҷуд аст, pH-9,2 (намакобро кормандони Саридораи геологияи назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод кардаанд).

Аз намак ҷудо карда гирифтани уран бо усули маълум коркард шуд.

Дар расми 1 спектрҳои боқимондаи намак пас аз буғронӣ дода шудаанд.



Расми 1. - Спектри боқимондаи намак пас аз буғронӣ

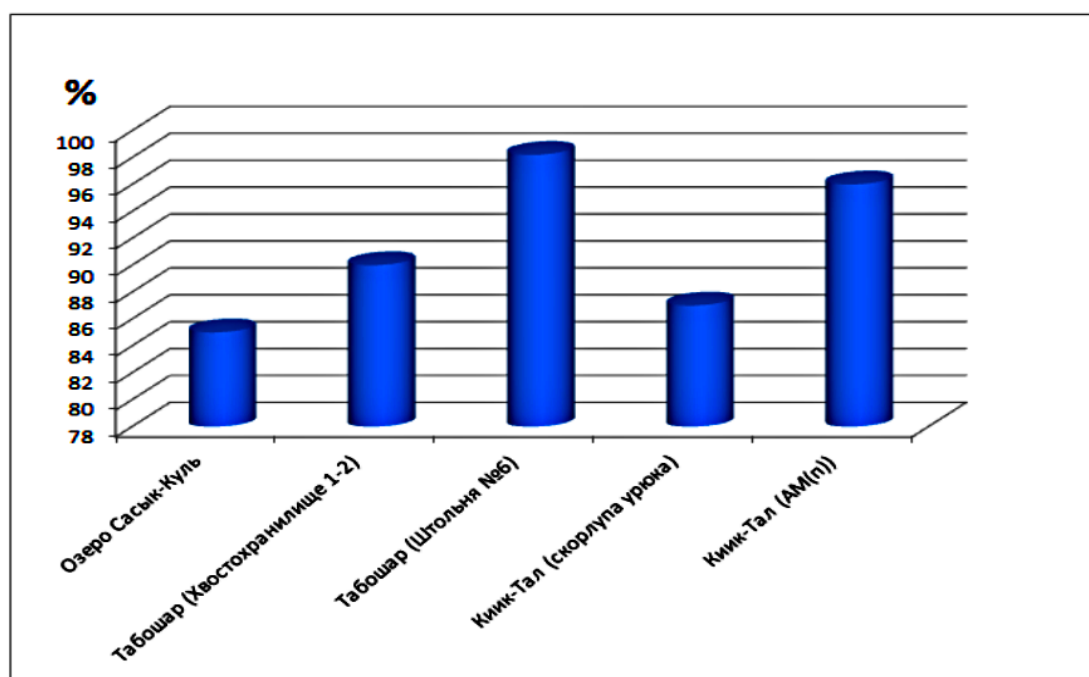
Схемаи асосии технологияи истихроҷи уран аз намакоби кӯли Сосиқ-Кӯл тартиб дода шудааст (расми 3).

Корҳо оид ба истихроҷи концентратҳои уран аз обҳои техникӣ, шахтавӣ ва заҳкашӣ қамъбааст карда шуда, ҷадвали 1 тартиб дода шудааст: тавре дида мешавад миқдори максималии уран дар намакобҳои кули Сосиқ-Кӯл ва дар обҳои заҳкашии Киик-Тол мавҷуда барои истихроҷи саноатии уран ояндадор мебошанд.

Ҷадвали 1. - Хусусиятҳои обҳои урандор ва сорбсияи уран

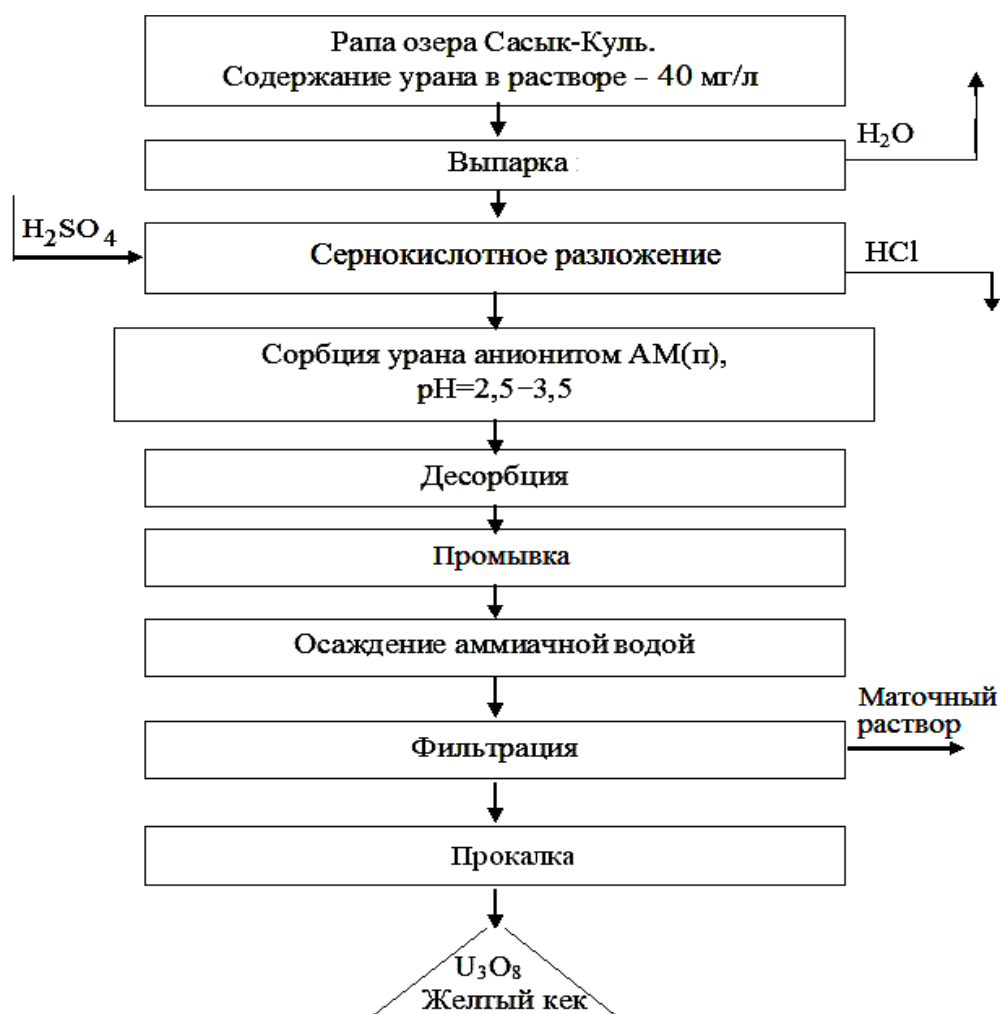
Навъи обҳои техникӣ	Миқдори уран, мг/л	Сорбент	Истихроҷи уран, %
Кӯли Сосиқ-Кӯл	40	АМ(п)	85
Табошар (паспартовгоҳҳои 1-2)	10	АМ(п), гематит ва пиролюзит	90
Табошар (шахтаи №6)	2	АМ(п)	98.2
Киик-Тол	25	пучоқи зардолу	87
Киик-Тол	25	АМ(п)	96

Дар расми 2 гистограммаи дараҷаи истихроҷи уран аз обҳои гуногуни заҳкашӣ нишон дода шудааст.



Расми 2. - Дараҷаи истихроҷи уран аз обҳои мухталифи урандори Тоҷикистон

Бо усулҳои физикию химиявӣ таркиби химиявии обҳои урандор муайян карда шуд ва дурнамои коркарди намакоби урании кули Сосиқ-Кӯл бо истихроҷи концентрати уран нишон дода шуд.



Расми 3. — Схеми асосии технологии истихроҷи концентрати уран аз намакоби кӯли Сосиқ-Кӯл.

Асосҳои физикию химиявии ба даст овардани концентратҳои уран аз партовҳои саноати маъданҳои кӯҳӣ

Мушкилоти партовҳои саноати уран, ки дар солҳои 50-уми асри гузашта ба вуҷуд омада буданд, аз тарафи бисёре аз муаллифони тавассути таҳия ва амалисозии коркардҳо дар соҳаи коркарди такрории партовҳо ва ба бо роҳи барқарорсозӣ (рекултиватсия)-и партовҳои уранӣ ҳал карда шуданд.

Дар айни замон масъалаи партовҳои радиоактивӣ бо роҳи коркарди такрории он бомуваффақият ҳал карда мешавад, ки он дар як вақт якчанд масъаларо ҳал мекунад: аввалан, барои ба даст овардани концентратҳои уран имкон медиҳад ва дуюм, барои бозистифода (утилизатсия)-и партовҳои мавҷудаи урандор мусоидат менамояд. Бо мақсади ба даст овардани концентрати уран бо истеҳсоли минбаъдаи пайвастагиҳои уран, мо натиҷаҳои корҳои ҷаблӣро таҳлил намуда, шароити ба даст овардани U_3O_8 -ро пайдо кардем.

Натиҷаҳо оид ба коркарди партовҳои урандори паспартовгоҳи техногенӣ «Харитаи 1-9»-и шаҳри Бӯстон, инчунин партовҳои урандори паспартовгоҳҳои Адрасмон ва Ғафуров оварда мешавад.

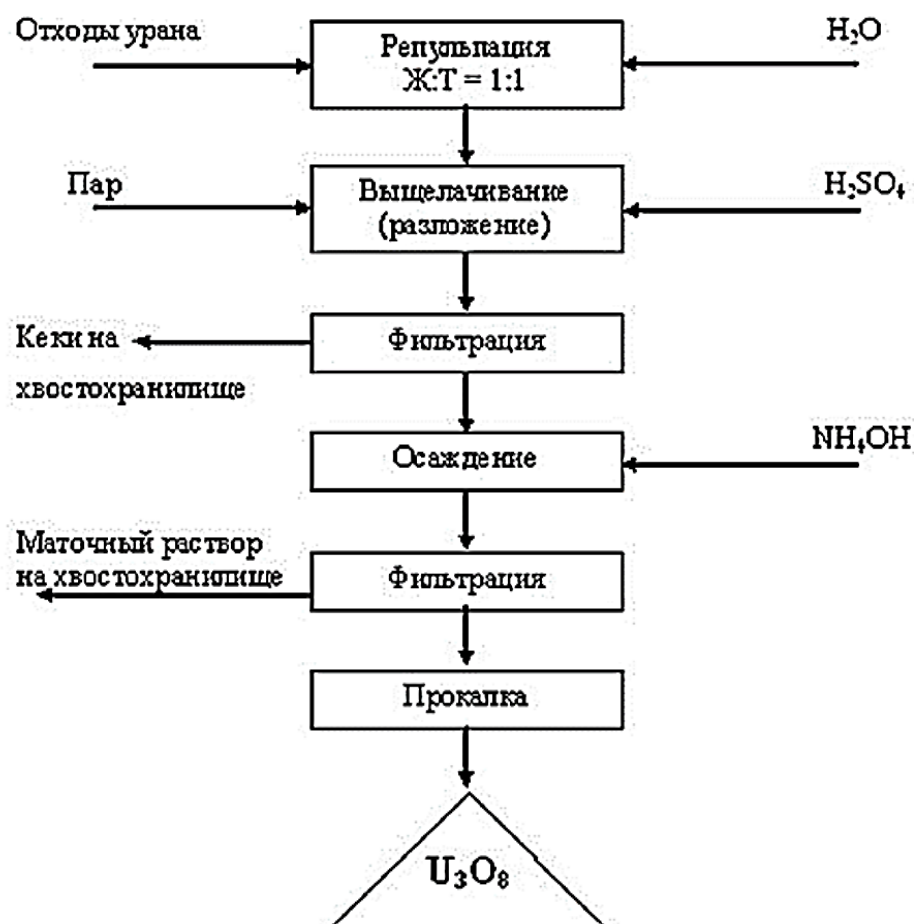
Барои муайян кардани таркиби маъдани маводи паспартовгоҳи «Харитаи 1-9» усули таҳлили рентгенофазӣ (РФА) истифода шуд.

Дар ҷадвали 2 натиҷаҳои ҷудокунии уран аз партовҳои урандори паспартовгоҳҳои техногенӣ оварда шудаанд.

Ҷадвали 2. - Истихроҷи уран аз партовҳои урандори паспартовгоҳҳои техногенӣ бо роҳи таъзияи кислотагӣ

Паспартовгоҳ	Параметрҳои оптималӣ (муносиб)			Истихроҷи U , %
	T , °C	τ , соат	Кислота, кг/т	
«Харитаи 1-9», ш. Бӯстон	65-70	6	80,0	93,85
Ғафуров	70	6	100	89,9
Адрасмон	65-70	7	200	72,1
Паспартовгоҳи ш. Истиқлол	75	7	80,0	95,9
«Фабрика конҳои каммаъдан»-и ш. Истиқлол	75	7,5	80,0	63,1
Хоктӯдаҳои ш. Истиқлол	75	8	80,0	38,9

Дар асоси тадқиқоти кинетикӣ ва параметрҳои оптималии муқарраршуда схемаи умумикардашудаи равандҳои технологии коркарди партовҳои урандор тартиб дода шуд (расми 4).



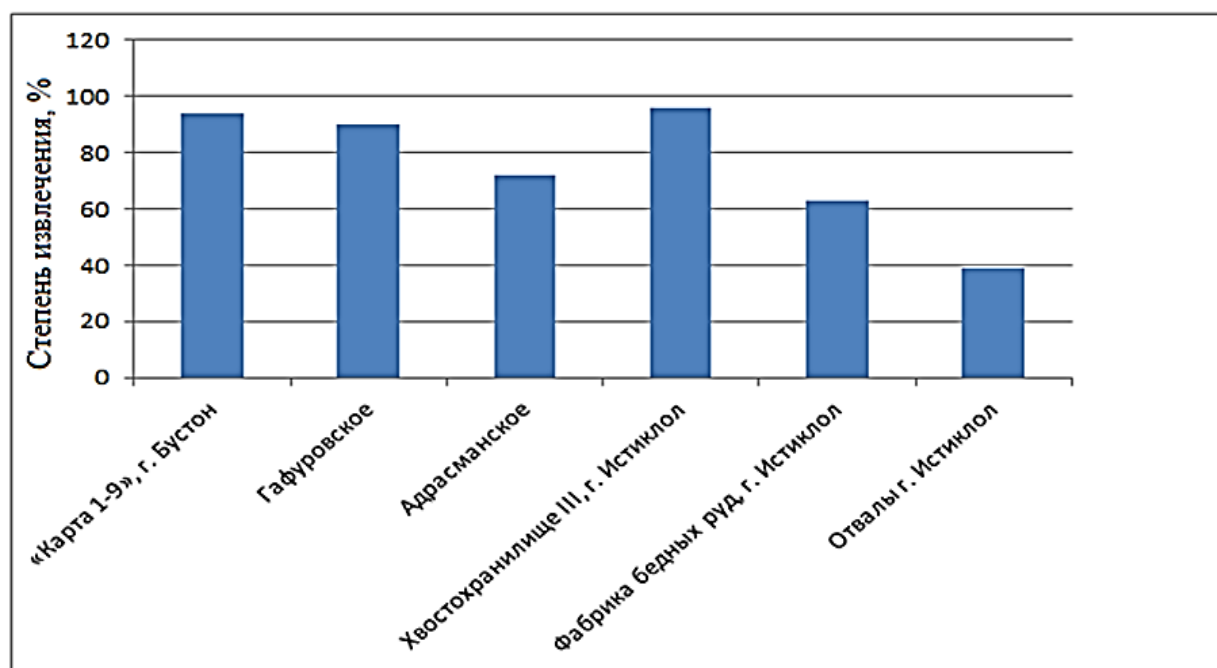
Расми 4. - Схемаи умумикардашудаи равандҳои технологии коркарди партовҳои урандор

Таҳлили муқоисавии истихроҷи уран аз партовгоҳҳои мухталифи урандори техногенӣ, ки дар ҳудуди Тоҷикистон ҷойгиранд, гузаронида шуд, ки натиҷаҳои он дар расми 5 ҷамъбаст шудааст. Дар асоси диаграммаи расми 5 ба хулосае омадан мумкин аст, ки истихроҷи максималии уран аз паспартовгоҳи ш. Истиклол (96%) ва паспартовгоҳи ш. Ғафуров (90%) имконпазир аст. Аз сабаби он, ки партовҳои урандор карбонатӣ мебошанд, коркарди тақрибии он бо усули ишқорӣ аз истихроҷи уран дар шакли U_3O_8 ояндадортар аст. Партови паспартовгоҳи боқимонда сульфатӣ аст, пас бо усулҳои ишқорронии кислотагӣ коркард кардани онҳо мақсаднок мебошад.

Дар асоси тадқиқоти физикию химиявии истихроҷи уран аз партовгоҳ (паспартовгоҳҳо):

- таҷзияи кислотагии (бо кислотаи сулфат) партовҳои паспартовгоҳҳои «Харитаи 1-9»-и ш. Бӯстон, ш. Ғафуров ва ш. Истиклол, инчунин ишқорронии ишқории паспартовгоҳҳои Адрасмон таҳқиқ карда шуданд;

- параметрҳои оптималии истихроҷи уран дарёфт ва схемаҳои асосии технологияи ба даст овардани оксиди уран- U_3O_8 пешниҳод карда шуданд.



Расми 5. - Истихроҷи оксиди уран (U_3O_8) аз паспартовгоҳҳои техногенӣ урандори Тоҷикистон

Ҳосил кардани пайвастагиҳои уранилӣ аз нитрати торӣ

Ҳосил кардани уранилсулфат. Баъди безаргардонии маҳлулҳо $(NH_4)_2U_2O_7$ ба даст меояд. Диуранили аммонӣ ба дастомада дар $600-900^\circ C$ тафсонида мешавад, то минбаъд протоксиди уран (оксиди уран (VI)- диуран (V) - U_3O_8 ҳосил шавад. Одатан, ҳосили маҳсул зиёда аз 90% аст.

U_3O_8 маҳсули ниҳонии истеҳсоли гидрометаллургии уран мебошад. Пас аз тоза кардан аз ғашҳо (ифлосиҳо), U_3O_8 дар кислотаи сулфат бо концентратсияи 60% ҳал карда мешавад, пас аз маҳлулҳои кислотаи сулфат бо роҳи такшинкунии $UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$ ба даст оварда мешавад. Миқдори моддаи асосӣ 98,3%-ро ташкил медиҳад.

Уранилатсепат (тамғаи аз ҷиҳати химиявӣ тозаи он) бо роҳи маҳлул кардани триоксидаи уран дар кислотаи атсепати 80% ҳангоми то 80° гарм кардан аз рӯи реаксияи зерин ба даст оварда шуд:

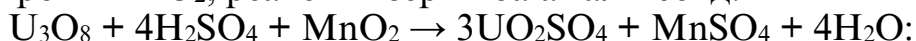


Аз маҳлулҳои шаффоф $\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кристаллизатсия карда шуд.

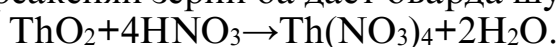
Уранил-нитрат – $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, аз триоксидаи уран ҳангоми то 80° гарм кардан аз рӯи реаксияи зерин ба даст оварда шуд:



Ҳосил кардани уранилсулфат ҳангоми ишқорравонӣ кардани уран аз маъдан бо иштироки MnO_2 , реаксияи зерин ба амал меояд:



Кристалгидрати нитрат бо роҳи маҳлул кардани оксиди торий дар кислотаи нитрат аз рӯи реаксияи зерин ба даст оварда шуд:



Аз маҳлул $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - кристалгидрати нитрат бо миқдори бештар аз 98% моддаи асосӣ ҷудо карда шуд.

Арзёбии таҳлили термодинамикии равандҳое, ки ҳангоми таҷзияи маводи урандор бо кислотаи сулфат амалӣ мегарданд

Таҳлили химиявӣ ва методикаи таҷриба. Барои омӯختани мушаххасаҳои физикию химиявии маводҳои урандор як қатор тадқиқот гузаронида шуданд. Таркиби маводҳои урандор бо роҳи таҳлили химиявӣ муайян карда шуд (ҷадвали 3). Барои таҳлили химиявии маводи урандор усули комплексонометрия - барои муайян кардани уран, усули фотометрии шафақӣ - барои муайян кардани металлҳои ишқорӣ, усули вазнӣ (гравиметрӣ) ва ғайра истифода бурда шуд. Миқдори оҳан ва алюминийро бо истифодаи усули титриметрӣ аз рӯи трилони Б муайян намудем. Миқдори оксиди кремний бо усули гравиметрӣ муайян карда шуд. Нишон дода шуд, ки миқдори уран дар маводи маъданӣ барои дар миқёси саноатӣ иҷро кардани он кифоя аст.

Дар ҷадвали 4 дар асоси маълумоти адабиётӣ мушаххасаҳои термодинамикии маъданҳои алоҳидаи уранӣ оварда шудааст.

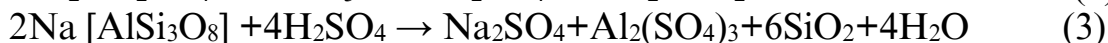
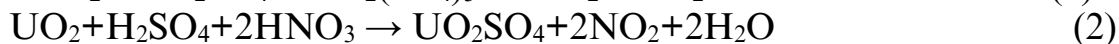
Ҷадвали 3. - Маъданҳое, ки ба таркиби партовҳои дорои уран дохил мешаванд

Маъданҳо	Миқдор, %	
Пирит, уранинит, албит, сфен, каолинит, уранофан, кварс	$U - 0,033$	$Ti_2O - 0,3;$
	$Cr - 0,064$	$MnO_2 - 0,088$
	$Pb - 0,283$	$Fe_2O_3 - 3,27$
	$V - 0,021$	$Al_2O_3 - 12,4$
	$Cu - 0,064$	$Na_2O - 2,40$
		$SiO_2 - 81$

Ҷадвали 4. - Хусусиятҳои термодинамикии маъданҳои ураний

Пайвастагӣ	$-\Delta H_{298}^0$, кҶ/мол	S_{298}^0 , кҶ/мол · К	Cp_{298}^0 , Ҷ/мол · К
UO ₂ (с)	1081,23	80,0	
Na[AlSi ₃ O ₈] (с)	3938,8	207,4	
FeS ₂ (с)	163,18	53,0	62,2
H ₂ SO ₄ (моеъ)	814,2	157,0	138,9
Al ₂ Si ₂ O ₇ ·2H ₂ O (с)	4098,65	203,0	
HNO ₃ (моеъ)	174,14	155,0	
CaTiSiO ₄ O (с)	2600,56	173,0	
CaSO ₄ (мах.)	1454,06	40,0	
TiSO ₄ (мах.)	1601,4	173,3	
UO ₂ SO ₄ (мах)	1929,7	81,2	
NO ₂ (г)	33,5	240,0	
H ₂ O (моеъ)	285,8	70,0	75,3
Na ₂ SO ₄ (мах.)	1395,9	136,0	
Al ₂ (SO ₄) ₃ (мах.)	3792,33	550,0	
Fe ₂ (SO ₄) ₃ (мах.)	2825,7	564,0	570**
SO ₂ (г)	296,8	248,2	40

Ҳангоми таъсири мутақобилаи кислотаи сулфат бо маъданҳои маводи ураний, реаксияҳои зерин имконпазиранд:



Бо сабаби маълум набудани қиматҳои гармиғунҷоиши бисёре аз ҷузъҳои системаҳои баррасишаванда ва таъсири ночизи он ба мушаххасаҳои термодинамикии равандҳои баррасишаванда, ҳисобҳо бидуни ба назар гирифтани тағйирот дар гармиғунҷоиш гузаронида шуданд.

Аз рӯи қиматҳои энергияи Гиббс метавон тасдиқ кард, ки равандҳои (6) ва баъд уранинит (2) эҳтимолияти баланди термодинамикии амалишавӣ доранд.

ХОСИЯТҲОИ ТЕРМИҚИ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ НИТРАТИ ТОРИЙ ВА ПАЙВАСТАГИҲОИ УРАНИЛӢ

Дар ин боби диссертатсия натиҷаҳои омӯзиши таҷзияи термикии баъзе пайвастагиҳои торий ва уран, ки ба воситаи усулҳои ҳозиразамони таҷрибавӣ - тензиметрия бо сифрмонометри мембранадор, калориметрия, таҳлили рентгенофазӣ, дериватогравиметрия ва микроскопӣ таҳқиқ карда шуд.

Таҷзияи термикии пайвастагиҳо ҳангоми ба вучуд овардани ду шароит (ғайримувозинатӣ ва мувозинатӣ) ва дар ду реча таҳқиқ карда шуд:

а) дар шароити ғайримувозинатӣ, вақте ки намуна бо суръати муайяни мукарраршуда якмаром гарм карда мешавад. Таҳқиқ бо усулҳои тензиметрия бо сифрмонотри мембранадор, дериватогравиметрия ва калориметрия гузаронида шуд;

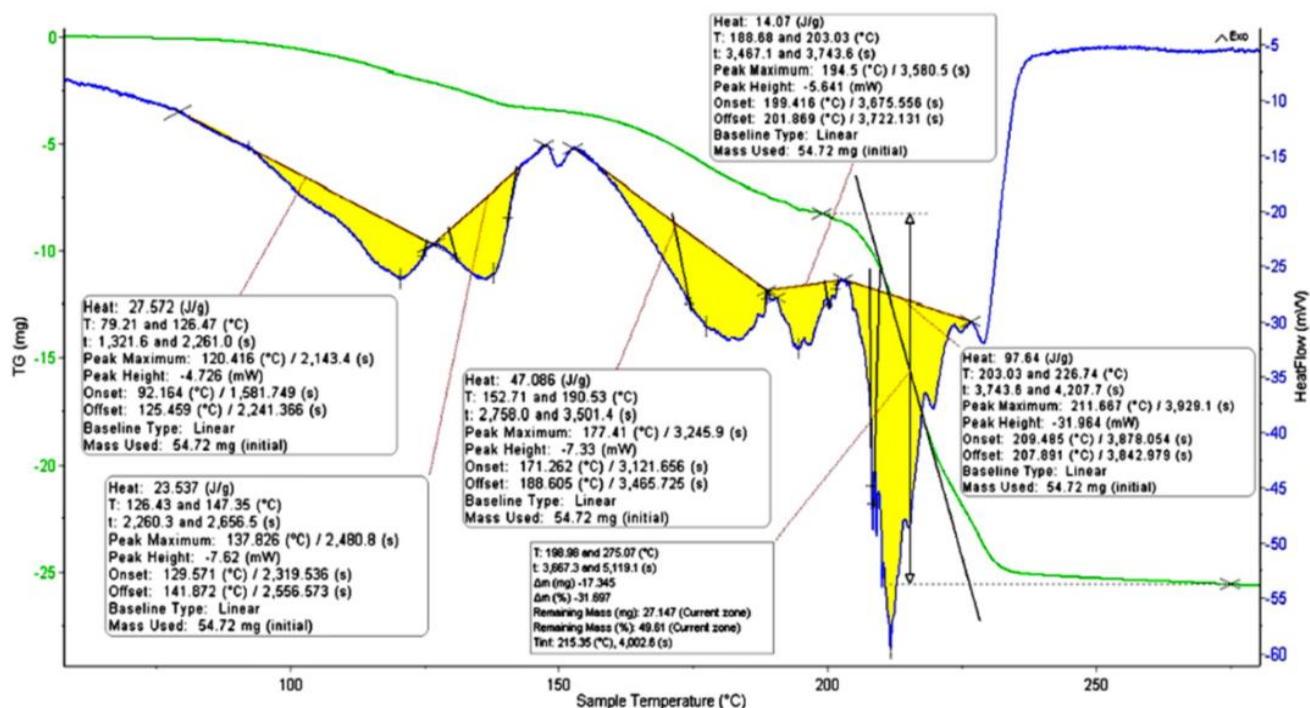
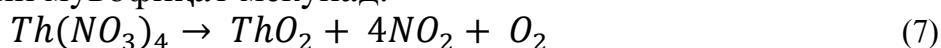
б) дар шароити мувозинатӣ, вақте ки намуна дар шароити изотермӣ дар муддати вақти муайян то расидан ба тағйирнаёбии фишор дар система нигоҳ дошта мешавад. Таҳқиқ бо истифодаи усулҳои тензиметрия бо сифрманотри мембранадор ва калориметрия гузаронида шуд.

Хосиятҳои термикӣ ва термодинамикии нитрати торий

Хусусиятҳои таҷзияи термикии кристалгидрати

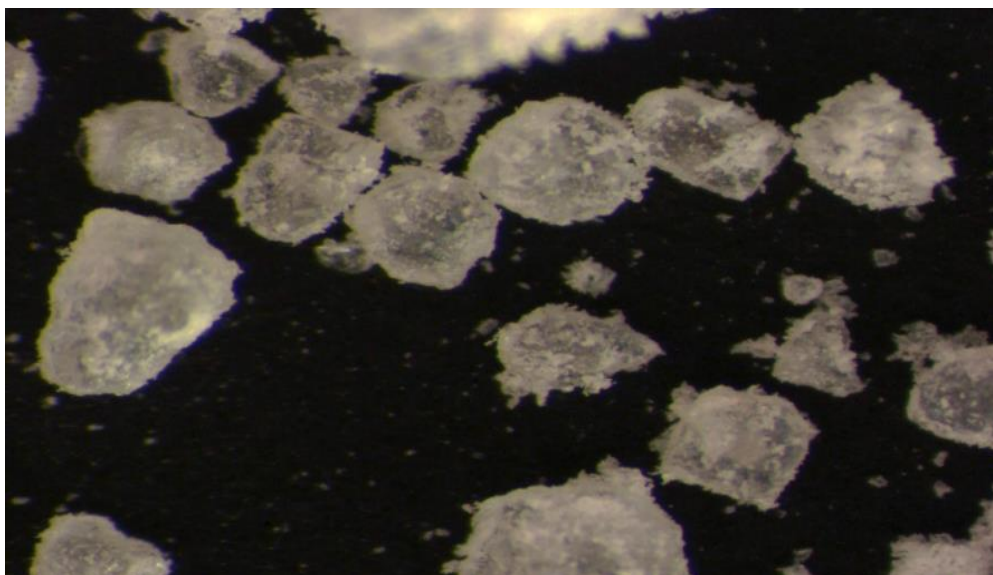
нитрати торий – $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$

Тадқиқи мазкур ҷиҳати ба даст овардани натиҷаҳо бо истифодаи таҷҳизоти замонавӣ (анализатори термикии синхронӣ) – дерватографи Labsys Evo 1600 (истеҳсоли ширкати Setaram Labsys Evo) асос ёфтааст. Қоҳиши термикии пайвастагиҳои торий - нитрати кристалгидрати торий (IV) таҳқиқ шуда, термограммаи он гирифта шудааст (расми 8), ки дар он эндопадаиҳои зерин ошкор карда мешаванд: дар 352-399, 400-420, 425-464 К – бартаараф намудани оби гидратнокро тавсиф медиҳанд. Падидае, ки дар фосилаи ҳароратҳои 476 К мушоҳида мешавад, ба таҷзияи нитрати торий мувофиқи муодилаи зерин мувофиқат мекунад:



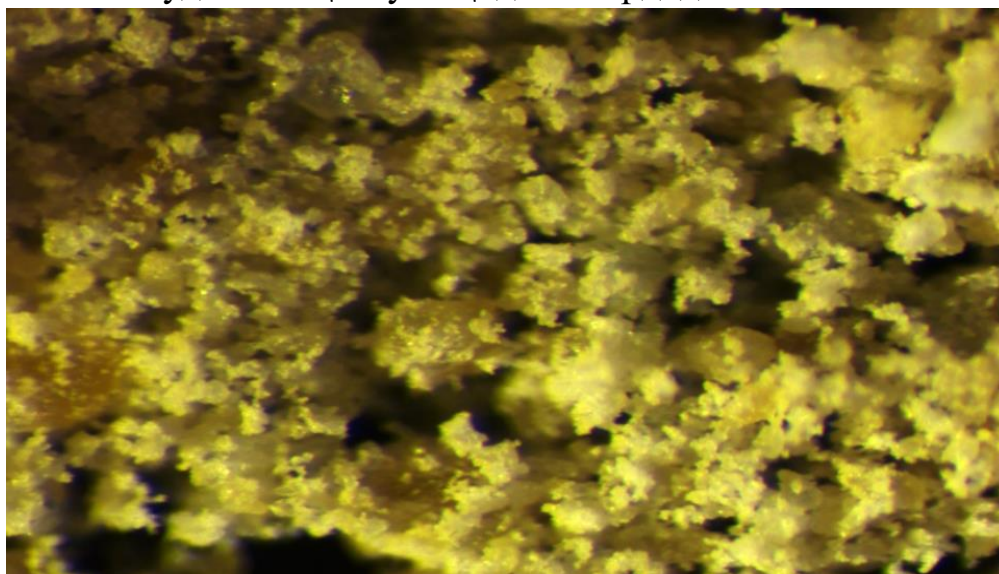
Расми 6. - Термограммаи таҷзияи кристалгидрати нитрати торий (IV)

Натиҷаҳои тадқиқи сохти кристалгидрати аввалияи нитрати торий (IV) бо ёрии микроскопияи электронӣ (расми 7) нишон медиҳанд, ки намуна аз кристалҳои алоҳидаи андозаашон аз 0,2 то 0,5 мм иборат аст.



Расми 7. - Кристаллҳои $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Дар расми 8 тасвири маҳсуле нишон дода шудааст, ки дар натиҷаи гарм кардани намунаи аввалия то ҳарорати 460 К ва қисман дегидрататсияи он ба даст омадааст. Майдашавии кристаллҳои аввалия бо андозаи аз 0,01 то 0,05 мм ва ҳамбаста шудани онҳо мушоҳида мегардад.

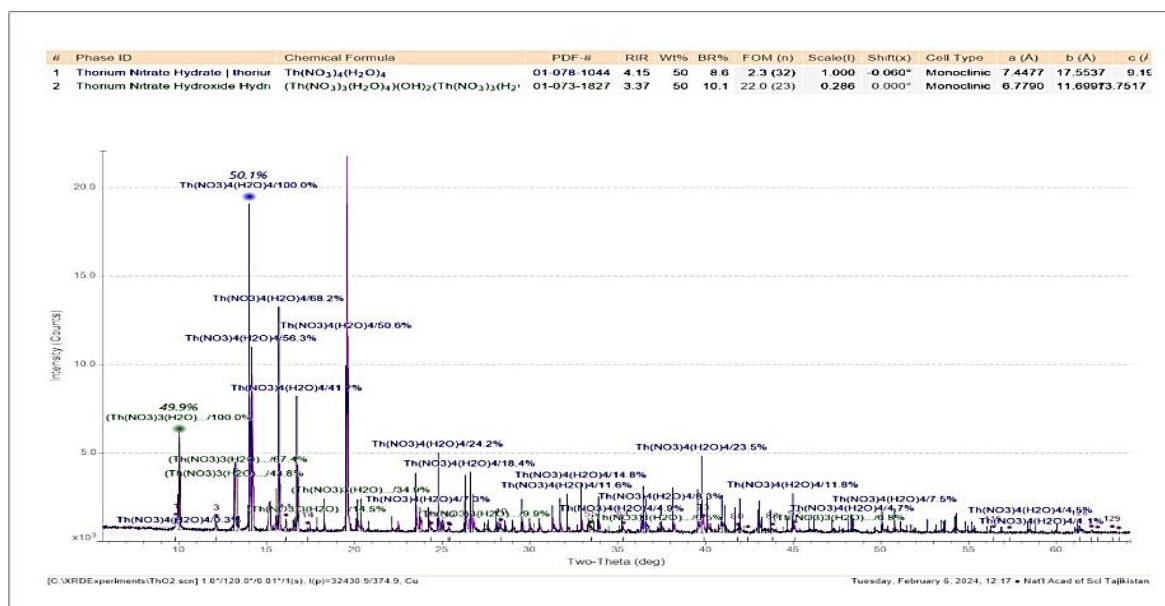


Расми 8. - Кристаллҳои маҳсулҳои қисман дегидрататсияшудаи кристаллгидрати нитрати торий (IV)

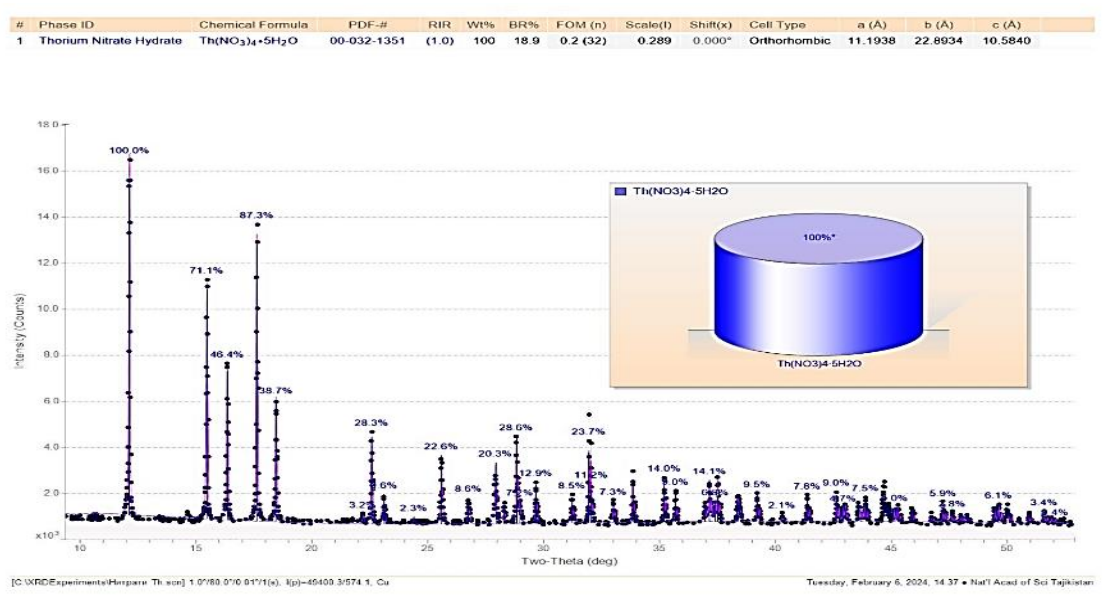
Мушаххасаҳои термодинамикии дегидрататсияи кристаллгидратҳои нитратҳои торий (IV) - $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

Намунаи аввалияи кристаллгидрати нитратҳои торий (IV) бо усули таҳлили рентгеносохторӣ таҳқиқ карда шуд (расми 9) ва маҳсулҳои қисман дегидрататсияшудаи кристаллгидрати нитрати торий $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ таҳқиқ карда шуданд (расми 10). Натиҷаҳое, ки дар расми 9 оварда шудаанд, нишон медиҳанд, ки кристаллҳои $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ дорои сохтори орторомбӣ бо параметрҳои зерин мебошанд: $a=11,1938 \text{ \AA}$; $b=22,8934 \text{ \AA}$ ва $c=10,5840 \text{ \AA}$.

Натиҷаҳои дар расми 10 овардашуда нишон медиҳанд, ки дар натиҷаи қисман дегидратасияшавии кристаллиҳои $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, асосан омехтаҳои кристаллогидратҳои $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ бо сохтори моноклиникӣ мутаносибан бо параметрҳои зерин ташкил меёбанд, $a=7,4471 \text{ \AA}$; $b=17,5737 \text{ \AA}$; $c=9,1920 \text{ \AA}$ ва $a=6,7826 \text{ \AA}$; $b=11,7026 \text{ \AA}$ ва $c=13,7550 \text{ \AA}$.



Расми 9. - Дифрактограммаи кристалгидрати аввалия $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

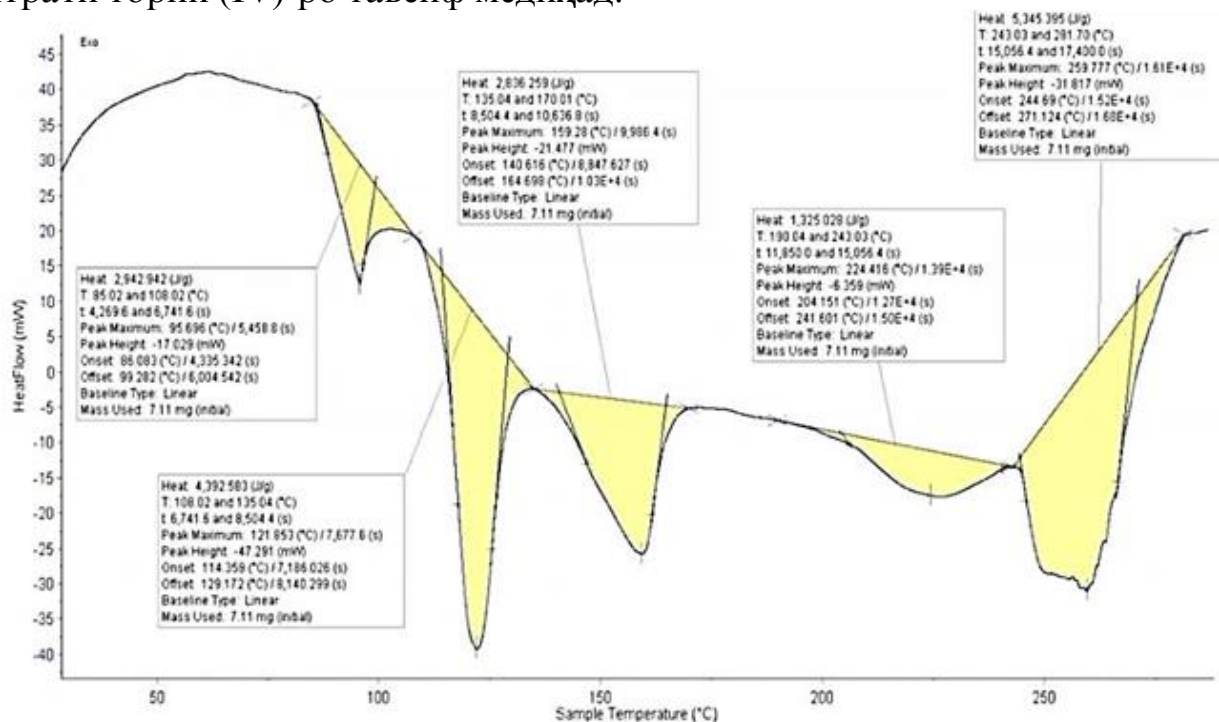


Расми 10. - Дифрактограммаи маҳсулҳои қисман дегидратасияшудаи кристалгидрати $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Мушаххасаҳои термодинамикии раванди таҷзияи термикии нитрати инфиродии торий (IV)

Таҷрибаҳои калориметрӣ, ки барои омӯختани таҷзияи термикии кристалгидрати нитрати торий (IV) анҷом дода шудаанд (расми 11), бо суръати дар як дақиқа ба як дараҷа гармкунии намуна гузаронида шуданд. Аз расми 11 маълум мешавад, ки дар фосилаи баррасишудаи ҳарорат (30-300)°C ҳангоми таҷзияи термикӣ панҷ эндопадида зоҳир мегардад: чор эндопадидаи аввал дар фосилаи ҳароратҳои (85-108)°C, (108-135)°C, (135-170)°C ва (190-

243)°C рух медиҳанд ва эҳтимолан зуҳури онҳо ба қисман дегидратасияшавии кристаллогидрат алоқаманд аст. Падидаи минбаъда, ки дар фосилаи ҳароратии баландтар (243-282)°C ба амал меояд, таҷзияи пурраи термикии нитрати торий (IV)-ро тавсиф медиҳад.

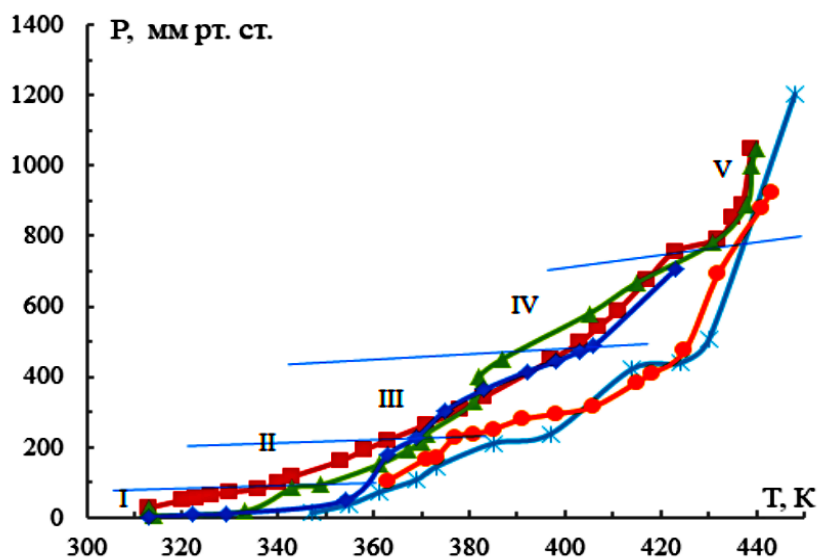


Расми 11. - Падидаҳои ҳароратӣ дар зинаҳои гармкунии кристаллогидрати нитрати торий (IV), ки бо усули калориметрӣ ба даст оварда шудаанд

Барои муайян кардани мушаххасаҳои термодинамикии равандҳо маълумотҳои лозиманд, ки бо усули тензиметрӣ дар шароити мувозинат ба даст оварда мешаванд. Дар раванди шароити мувозинатӣ ба таври зерин ба даст оварда мешавад: барограмма дар шароити изотермикӣ дар давоми 30 соат ё бештар аз он нигоҳ доштани ҳар як нуқтаи тасвирӣ гирифта шудааст ва вобастагӣ ба даст оварда шудаанд, ки тағйирёбии фишори буғро аз ҳарорат барои ҳар як намунаи таҳқиқшаванда тавсиф мекунад. Ба сифати шароити мувозинатӣ чунин шароити система қабул карда шуданд, ки дар давоми 4 соат ва ҳарорати доимӣ фишори буғ устувор буд. Инчунин, шароити мувозинатии система дар як вақт ҳангоми хунукшавии мембрана, яъне ҳангоми рафти баръакси барограмма назорат карда шуд. Ду зинаи аввали таҷзияи термикии кристаллогидрат $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ бо мувофиқати пурраи барограмма дар рафти мустақим (гармӣ) ва рафти баръакси он (сардшавӣ) тавсиф карда шуд. Дар се зинаи минбаъдаи раванди таҷзияи термикӣ, дар рафти баръакси барограмма нисбат ба хатҳои тавсифкунандаи васеъшавии оддии газ, хеле паст шудани фишор дар система мушоҳида карда шуд.

Динамикаи тағйирёбии фишори раванди бухоршавӣ дар расми 12 нишон дода шудааст. Дар асоси расми 12 ба хулосае омадан мумкин аст, ки раванди бухоршавии $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ панҷ зинаро дар бар мегирад. Барои ҳар

яке аз панҷ зина фосилаҳои ҳарорат барои зинаҳои раванд бо ростхаттаҳои васеъшавии газ муайян карда мешаванд, ки аз ба анҷом расидани зинаи қаблӣ ва оғози зинаи оянда шаҳодат медиҳанд.



Расми 12. Барограммаи раванди бухоршавии $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$

Барои ҳамаи ростхаттаҳо мувофиқи муодилаҳои таҷрибавии бадастомада, ки дар ҷадвали 5 оварда шудаанд, инчунин барои ҳамаи панҷ зинаи бухоршавии кристаллгидрати нитрати торий $-Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ мушаххасаҳои термодинамикии онҳо ба таври таҷрибавӣ ҳисоб карда шуданд: энталпия (ΔH , кҶ/мол), энтропия (ΔS , Ҷ/мол·К) ва энергияи Гиббс (ΔG_{298}°). Дар ҷадвали 5 ҳамзамон қиматҳои ба таври таҷрибавӣ ҳисобшудаи сатҳҳои эътимод (R^2) барои ҳар як зинаи дегидрататсияи кристаллгидрати нитрати торий ва таҷзияи термикии $Th(NO_3)_4$ оварда шудаанд. Қиматҳои ҳисобшудаи мушаххасаҳои термодинамикӣ дар ҷадвали 5 ҷамъбаст карда шудаанд. Дар ҳисобкуниҳо қимати фишори буғ (P , атм.) ба назар гирифта шуд, ки он ба таври зерин карда мешавад: $V=B'-2,881$.

Ҷадвали 5. - Муодилаҳои ростхаттаҳои зинаҳои дегидрататсияи $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ ва таҷзияи термикии $Th(NO_3)_4$

Раванд	№ зинаҳо	ΔT , К	Коэффисиентҳои муодилаҳои ростхаттаҳо $LgP=B-A/T \cdot 10^3$		R^2
			A	B	
Дегидрататсия	I	300-325	2,728	10,194	0,977
	II	330-350	3,134	10,780	0,996
	III	350-390	5,438	16,800	0,999
	IV	400-425	2,656	9,380	0,994
Таҷзия	V	427-440	31,137	73,348	0,976

Таҷзияи термикии $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ бо ду усули мустақили таҷрибавӣ - термогравиметрияи ҳосилавӣ (деривативӣ) ва тензиметрия бо сифрмонетри мембранадор омӯхта шуд. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки раванд

дар панҷ зинаа сурат мегирад. Тавре ки аз ҷадвали 5 дида мешавад, қиматҳои оғоз ва фосилаи ҳароратҳои зинаҳои раванде, ки бо усулҳои таҷрибавӣ ба даст оварда шудаанд, хеле фарқ мекунад. Маълумотҳои, ки бо усули тензиметрӣ ба даст оварда шудаанд, назар ба маълумоти бо усули дериватогравиметрия ба даст овардашуда 50-70 дараҷа пасттар аст. Эҳтимолан ин ба шароити ғайримувозинатии гузарондани таҷрибаҳо бо усули дериватогравиметрия алоқаманд бошад, вақте ки суръати гармкунии намуна дар як дақиқа 1-10 дараҷа буд.

Қиматҳои таҷрибавии тағйирёбии массаи намунаҳои таҳқиқшудаи $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ (ҷадвали 6), ки бо усули дериватогравиметрия муайян карда шудааст, барои чор зинаи аввали раванди дегидрататсия бо қиматҳои ҳисобшуда хуб мувофиқат мекунад, ки ин имкон дод адади молҳои оби аз кристаллогидрат ҷудошуда муайян карда шавад. Байни қимати таҷрибавии тағйирёбии масса дар таҷзияи термикии $Th(NO_3)_4$, ки баробари $\Delta m_n = 17,3$ мг аст ва 31,6%-и массаи намунаи аввалия ($m_n = 54,7$ мг)-ро ташкил медиҳад, тафовути назаррас мушоҳида мешавад. Ҳисобҳои назариявӣ нишон медиҳанд, ки барои таҷзияи термикии $Th(NO_3)_4$ (3.1) тағйирёбии массаи намунаи аввалия бояд 46,31% бошад. Тафовути назаррас дар маълумот метавонад аз сабаби пайдоиши реаксияҳо дар байни маҳсулҳои иловагӣ ҳангоми гидролизи баландҳароратӣ байни ҷузъҳои система бошад.

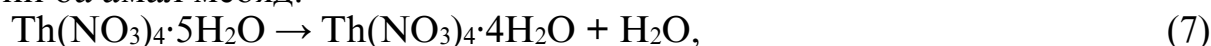
Ҷадвали 6. - Шартҳо ва муодилаҳои ростхаттаҳои зинаҳои дегидрататсия (а) $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ ва таҷзияи термикӣ (б) $Th(NO_3)_4$

Дериватогравиметрия								Тензиметрия		
Раванд	Зинаҳо	$\Delta T, K$	n	Тағйирёбии масса, $\Delta m, \%$			$\Delta H, kJ/mol$	Мушаххасаҳои термодинамикии зинаҳо		
				Таҷриба	Назария	Тафовут		ΔH	ΔS	ΔG
(а)	I	343-399	1	3,05	3,16	-3,5	15,71	12,98	33,46	3,00
	II	399-420	1	3,05	3,16	-3,5	13,42	15,12	38,50	3,65
	III	426-462	2	6,10	6,32	-3,5	26,85	24,83	63,45	5,92
	IV	463-476	1	3,09	3,16	-2,2	8,02	12,11	42,86	0,66
(б)	V	476-550	1	31,7	46,3	-31,5	55,67	58,27	130,1	19,51

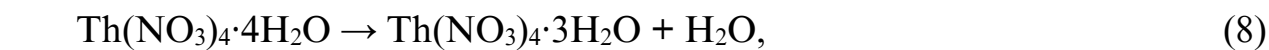
Эзоҳ: n – адади молҳои дегидрататсияшудаи об; Δm – тағйирёбии масса; ΔH и ΔG – кҶ/мол; ΔS – Ҷ/мол·К.

Қиматҳои энталпияи зинаҳои дегидрататсияи $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ ва таҷзияи термикии $Th(NO_3)_4$ (ҷадвали 6), ки бо ду усул – дериватогравиметрия ва тензиметрия ба даст оварда шудаанд, дар ҳудуди хатҳои таҷрибавӣ бо ҳамдигар мувофиқат мекунад. Дар асоси маълумоти ба дастомада мо метавонем схемаи зерини дегидрататсияро барои кристалгидрати $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ тахмин кунем:

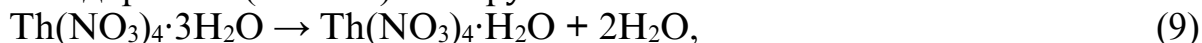
- дар зинаи якум, фосилаи ҳарорат $\Delta T = (300-325) K$, реаксияи химиявии зерин ба амал меояд:



- дуюм – дар $\Delta T = (330-350) K$ аз рӯи схемаи:



- сеюм - дар $\Delta T = (350-390) \text{ K}$ аз рӯи схемаи:



- чорум - дар $\Delta T = (400-425) \text{ K}$ аз рӯи схемаи:



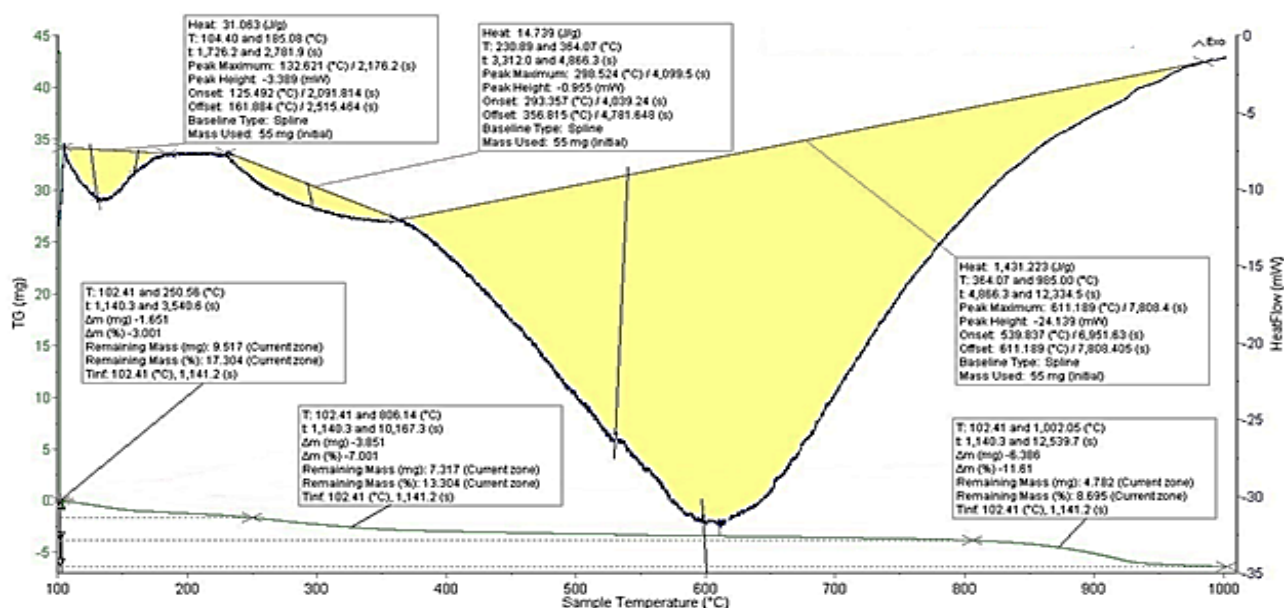
Дар зинаи панҷум таҷзияи термикии $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ба амал меояд, ки ба реаксияи химиявии зерин мувофиқат мекунад:



Муқаррар карда шуд, ки ҳароратҳое, ки оғози ҳар як зинаи равандҳоро дар шароити мувозинатӣ тавсиф мекунад, хангоми истифодаи усули тензиметрӣ нисбат ба натиҷаҳои бо усули дериватогравиметрия ба даст овардашуда ба ҳисоби миёна ба қадри $50-70^\circ\text{C}$ ба тарафи ҳароратҳои паст меғечанд. Ҳамин тариқ, муайян карда шуд, ки бузургиҳои мушаххасаҳои термодинамикӣ барои ҳар як зинаи дегидрататсияи $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ва раванди таҷзияи термикии $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ва таҷзияи термикии $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ дар шароити мувозинатӣ ба ҳамдигар мувофиқанд.

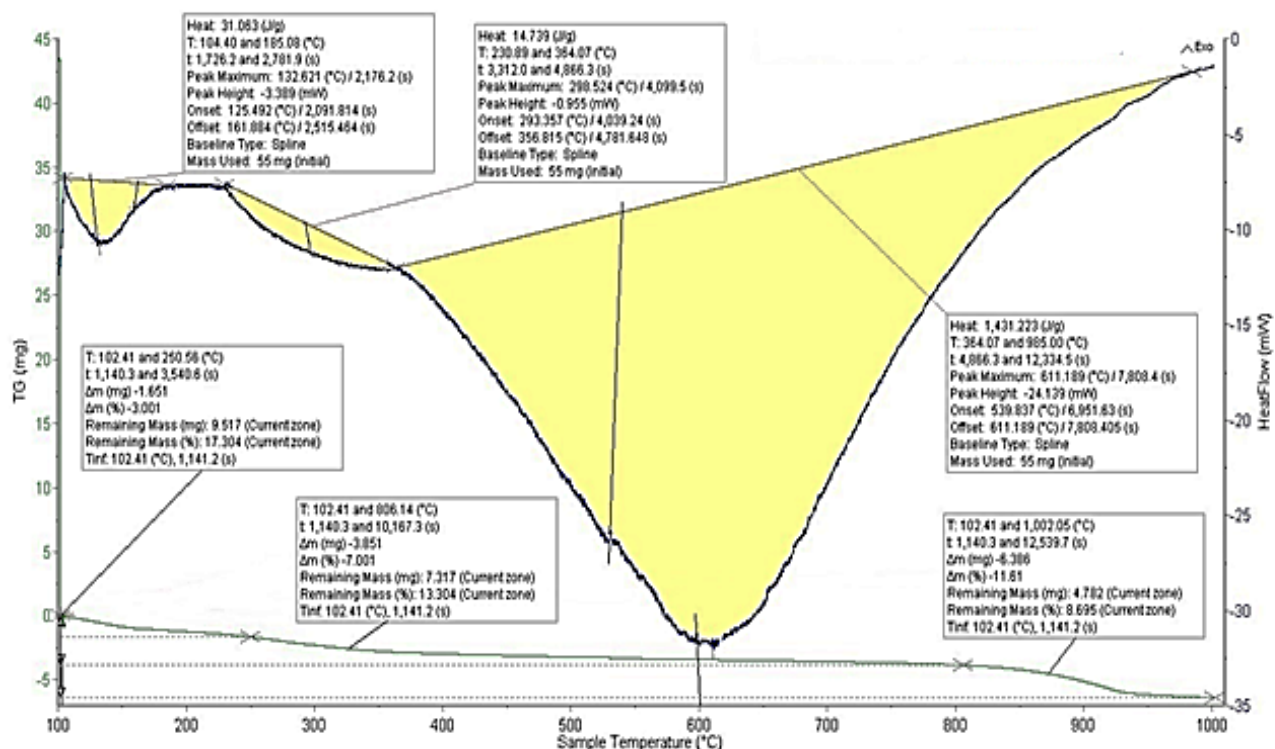
Устувории термикӣ ва мушаххасаҳои термодинамикии уранилсулфат

Таркиби пайвастагиҳои тадқиқот – кристалгидрати уранилсулфат $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ ва маҳсули таҷзияи термикии он бо усули таҳлили рентгенофазӣ таҳқиқ карда шуданд. Тавре аз дериватограмма (расми 13) дида мешавад, хангоми дегидрататсияи уранилсулфат эндопадидаҳои зерин ошкор карда мешаванд: фосилаи $\Delta T_1 = (104-185)^\circ\text{C}$ ва $\Delta T_2 = (231-364)^\circ\text{C}$ ба раванди дегидрататсия кристаллогидрат мувофиқ меояд, эндопадидае, ки дар $\Delta T_3 = (364-985)^\circ\text{C}$ ошкор мешавад, ба раванди таҷзияи уранилсулфат мувофиқ аст, ки аз рӯи схемаи зерин амалӣ мегардад: $\text{UO}_2\text{SO}_4 (\text{с}) = \text{UO}_3 (\text{с}) + \text{SO}_3 (\text{с})$ (12).



Расми 13. - Дериватограммаи кристалгидрати уранилсулфат $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ (суръати гармкунии намуна 15 K/дақ, вақти ченгирӣ 90 дақ.)

Тадқиқоти калориметрии раванди таҷзияи термикии кристалгидрати сульфати уранил $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ бо суръати гармкунии намуна дар як дақиқа се градус гузаронда шуд. Натиҷаҳои таҷрибаи калориметрӣ дар расми 14 нишон дода шудаанд.



Расми 14. - Дериватограммаи кристалгидрати уранилсулфат $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ (суръати гармкунии намуна 15 К/дақ., вақти ченгирӣ 90 дақ.)

Аз расми 14 маълум мешавад, ки дар фосилаи ҳарорати таҳқиқшуда (30-400°C), раванд аз се эндопадаида иборат аст: ду эндопадаидаи аввал ба раванди дегидрататсияи кристалгидрати уранилсулфат $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ мувофиқ меоянд, ки дар фосилаи ҳароратҳои $\Delta T_1 = (61-118^\circ\text{C})$ ва $\Delta T_2 = (130-163^\circ\text{C})$ ба амал меоянд. Эндопадаидаи сеюм, ки дар ҳарорати баландтар (зиёда аз 175°C) ба амал меояд, ба раванди таҷзияи термикии уранилсулфати UO_2SO_4 мувофиқат мекунад.

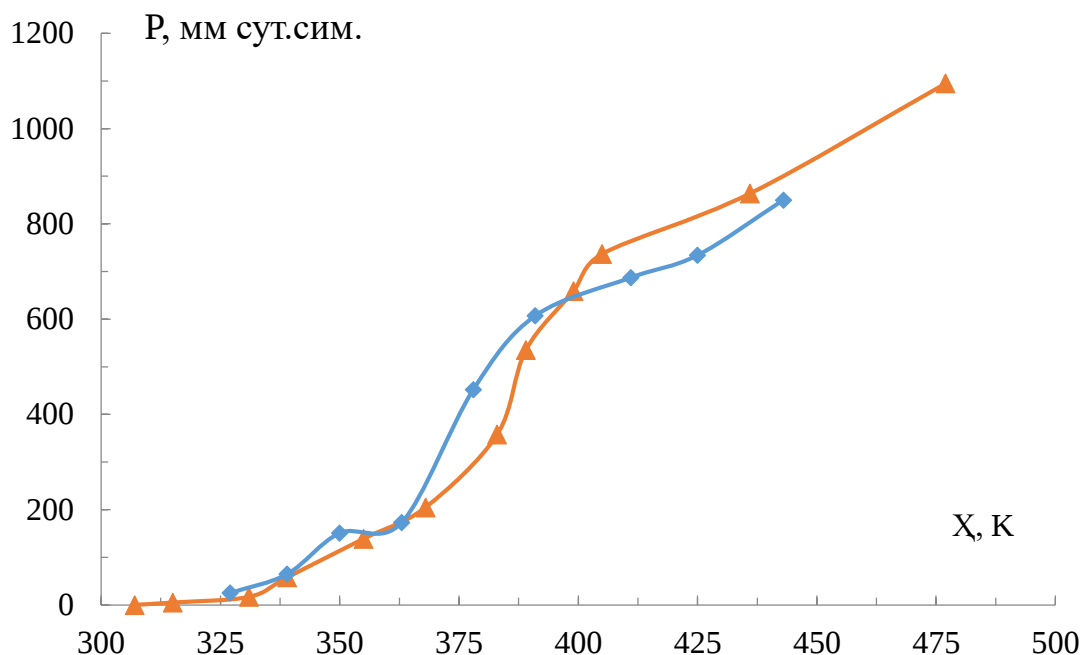
Таҷзияи термикӣ ва мушаххасаҳои термодинамикии кристалгидрати уранилсулфати таркиби $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$

Таҷзияи термикии пайвастагии кристалгидрати уранилсулфат - $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ бо гидратсияи минбаъдаи он бо усули тензиметрӣ бо сифрманометри мембранадор омӯхта шуд.

Ҳангоми омӯзиши таҷзияи термикии кристалгидрати уранилсулфати $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ фишор дар камераи мембрана бо дақиқии ± 100 Па нигоҳ дошта шуд, тадқиқот дар фосилаи ҳарорати 335-710 К бо дақиқии ҳарорат $\pm 0,5$ дараҷа гузаронида шуд. Натиҷаҳои таҷрибаҳо дар чадвал оварда шудаанд (расми 15).

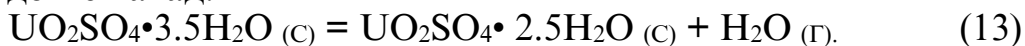
Аз рӯйи расми 15 ба хулосае омадан мумкин аст, ки дар фосилаи ҳароратии таҳқиқшуда барограммаи раванди таҷзияи термикии кристалгидрати $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ аз 3 зина иборат аст. Таҷрибаҳои тензиметрии микдорӣ гузаронда шуданд, ки дар асоси онҳо маълум гардид, ки барои

намунаи аввалия дар ду зинаи аввали барограмма дегидрататсия ба амал меояд ва баъд дар зинаи 3-юм дегидрататсияи термикои уранилсулфат рӯй медиҳад.

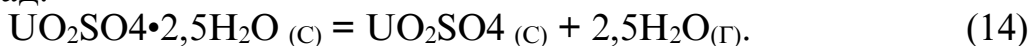


Расми 15. - Вобастагии фишори буғ аз ҳарорат ҳангоми таҷзияи термикои $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ дар шароити ғайримувозинатӣ (◀ -таҷрибаи 1, ■-таҷрибаи 2).

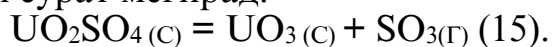
Муқаррар карда шуд, ки дар зинаи аввали дегидрататсия ($\Delta T = 325-350$ K) як мол об ҷудо мешавад:



Зинаи дуюми дегидрататсия дар $\Delta T = 363-410$ K мувофиқи муодилаи зерин сурат мегирад:



Таҷзияи термикои сульфати уранил дар фосилаи ҳарорати 480-710 K мувофиқи муодилаи зерин сурат мегирад:



Мушаххасаҳои термодинамикии дегидрататсия ва гармӣ таҷзияи термикои $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$

Қаблан маълумоти таҷрибавӣ дар шакли вобастагии $LgP = (1/T)$ барои ҳар як зинаи дегидрататсияи пайвастагии $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$, ки мутаносибан дар асоси онҳо муодилаҳои ростхаттагӣ барои ҳар як зинаи дегидрататсия ва таҷзияи термикои $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ аз нав тартиб дода шудаанд, ки дар ҷадвали 7 ҷамъбаст карда шудаанд. Барои табдил додани фишор ба дигар воҳидҳои ҷенкунӣ (атм.) қимати коэффитсиент бо формулаи $B = B \cdot 10^{-2,88}$ ҳисоб карда шуд. Дар асоси муодилаҳои ҳосилшуда мушаххасаҳои термодинамикии зинаҳои раванди бухоршавии кристалгидрат $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ ҳисоб карда шуданд.

Чадвали 7. - Муодилаҳои барограммаҳои дегидрататсияи $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ ва таҷзияи термикии UO_2SO_4

Раванд	№ зинаҳо	$\Delta T, K$	Коэффисиентҳои муодилаҳо $LgP=B-A/T \cdot 10^3$		Навъи тренд	R^2
			$A \pm 0,05$	$B \pm 0,08$		
Дегидрататсия	I	329-373	2,697	9,668	Л	0,99
	II	381-417	3,849	11,985	Л	0,99
Таҷзия	III	478-573	1,584	2,196	Л	0,99

Эзоҳ: Л – намуни хаттии тренд.

Минбаъд мувофиқи муодилаҳои хаттии тартибдодашуда барои ҳар як зинаи равандҳои дегидрататсияи $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ ва таҷзияи термикии UO_2SO_4 , бузургҳои мушаххасаҳои термодинамикии онҳо ҳисоб карда шуданд, ки онҳо дар чадвали 8 оварда шудаанд.

Чадвали 8. - Энталпия, энтропия ва энергия Гиббс барои дегидрататсияи $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ ва таҷзияи ҳароратии UO_2SO_4

Пайвасти- гиҳо	Раванд	Зинаҳо	$\Delta T, K$	Характеристикаи термодинамики		
				ΔH_x , кҶ/мол	ΔS_x , Ҷ/мол·К	ΔG_x , кҶ/мол
$UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$	Дегидрататсия	I	329-373	$51,6 \pm 2$	$129,9 \pm 4$	$8,7 \pm 3$
		II	381-417	$73,7 \pm 3$	$174,3 \pm 6$	$7,4 \pm 4$
UO_2SO_4	Таҷзия	III	478-573	$30,3 \pm 3$	$42,7 \pm 5$	$28,5 \pm 2$

ХУЛОСАҲО

1. Шароити оптималӣ (муносиб)-и раванди истихроҷи концентратҳои уран аз маъданҳо ва партовҳои урандор муайян карда шуданд. Схемаҳои технологияи умумикардашудаи коркарди онҳо таҳия карда шуд [1-А, 4-М].

2. Уранилсулфат аз партовҳои истеҳсоли уран ва маъданҳои урандори Тоҷикистон ҳамчунин нитрати торӣ аз оксиди нитрати торӣ синтез карда шуд [3-М].

3. Бо истифодаи усулҳои дериватограметрия, калориметрия ва тензиметрия муқаррар карда шуд, ки таҷзияи термикии кристалгидратҳои $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ аз панҷ зина иборат аст: чор зинаи аввал ба раванди дегидрататсия ва зинаи охирин ба таҷзияи $Th(NO_3)_4$ бо ҳосил шудани оксиди торӣ (IV) мувофиқ меояд. Барои ҳар як зинаи дегидрататсия ва таҷзияи термикӣ, фосилаҳои ҳароратӣ ва бузургҳои мушаххасаҳои термодинамикӣ муайян карда шуданд [3-М, 5-М, 6-М, 7-М, 8-М, 9-М, 10-М].

4. Муқаррар карда шуд, ки таҷзияи термикии кристалгидратҳои $UO_2SO_4 \cdot 3,5H_2O$ аз се зина иборат аст: ду зинаи аввал ба раванди дегидрататсия ва зинаи охирин ба таҷзияи UO_2SO_4 бо ҳидрататсия ва таҷзияи термикӣ, фосилаҳои ҳароратӣ ва бузургҳои мушаххасаҳои термодинамикӣ муайян карда шуданд [11-М, 12-М, 13-М, 17-М].

5. Таҳлили системавии мушаххасаҳои термодинамикии хлоридҳо, актинидҳо, нитратҳо, сулфатҳо ва перхлоратҳо гузаронида шуда, хусусияти

мураккаби қонунияти тағйирёбии онҳо вобаста ба табиати актинидҳо бо зухуроти тетрад-падида нишон дода шуд [2-М, 11-М, 14-М, 15-М, 16-М, 18-М, 19-М].

Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо

- схемаҳои умумии технологии коркардшударо дар равандҳои коркарди такрории партовҳои урандор ва маводи урандор бо кислотаҳои маъданӣ бо мақсади аз онҳо ҳосил кардани концентратҳои уран истифода кардан мумкин аст;

- натиҷаҳои, ки зимни тадқиқоти диссертатсионӣ ба даст оварда шудаанд, барои Агентии амнияти биологӣ, химиявӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (дар асоси санади мавҷуда оид ба татбиқи онҳо), инчунин барои Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон ва воҳидҳои он, муассисаҳои лоиҳакашӣ ва дигар муассисаҳои илмии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон муфид мебошанд;

- натиҷаҳои тадқиқоти диссертатсиониро дар муассисаҳои таҳсилоти олии техникӣ, факултетҳои технологӣ зимни тайёр кардани мутахассисон аз рӯйи ихтисосҳои «металлургия», «химия» ва «технологияи химиявӣ» истифода кардан мумкин аст.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР НАШРИЯҲОИ ЗЕРИН БАЁН ШУДААСТ:

1. *Мақолаҳои, ки дар маҷаллаҳои илмии аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда ба нашр расидаанд.*

[1-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. Эшов, Дж. Н. Системный анализ термохимических 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-М]. 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-М]. **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-М]. **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.

2. Мақолаҳое, ки дар маводи конференсияҳои байналмиллалӣ ва ҷумхуриявӣ ба нашр расидаанд:

- [8-М]. **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-М]. **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-М]. **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-М]. **Эшов Дж. Н.** Термодинамические свойства хлоридов и нитратов 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. 29-31
- [12-М]. **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-М]. **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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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.

ANNOTATION
of dissertation of Eshov Juramurod Nurmurodovich on the topic:
«Synthesis, thermal and thermodynamic properties of thorium-uranium compounds», submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 02.00.01- Inorganic chemistry

Key words: uranium-containing ores and wastes, basic technological scheme of processing, thermal decomposition process, crystalline hydrates, uranyl sulfate, thorium nitrate, thermodynamic characteristics, regularities of their changes.

Objects and methods of research, use of equipment: the objects are uranium-containing ores and wastes of uranium enterprises, from which uranium compounds and thorium nitrate are extracted. Several traditional methods of instrumental analysis and modern precision equipment were used in this research work - four-channel flame photometer M425, atomic absorption spectrometer AA-7000 (Shimadzu), automated multi-purpose powder X-ray diffractometer "XRDynamic 500" (Anton Paar), derivatograph "Labsys Evo-C1600" and calorimeter "C600 Calvet" by "Setaram", static method with membrane zero-manometer. Semi-empirical and computational methods have been used to determine the thermodynamic characteristics of actinide compounds.

The aim of the research is to develop an effective method for obtaining thorium and uranium compounds from local raw materials, to study their physical and chemical properties and to determine their thermodynamic characteristics. To establish regularities according to which the thermodynamic characteristics of actinide compounds within the group change.

The results obtained and their innovativeness. Uranyl compounds have been synthesized from uranium production wastes and uranium-containing waters. The conditions of the processes of uranyl compounds and thorium nitrate production have been established. The basic technological scheme of the processes is developed. Thermodynamic substantiation of the process of sulphuric acid treatment of uranium-containing minerals is carried out. Chemical schemes and step character of the process of thermal decomposition of crystalline hydrates, individual uranyl sulphate and thorium nitrate have been established. The determination of the values of thermodynamic characteristics of the steps of the thermal decomposition processes of the above compounds has been carried out. On their basis thermodynamic characteristics of actinide compounds were determined. A system analysis was carried out for actinide compounds. More precise and complete data on their thermodynamic characteristics were determined/clarified for the considered elements of the actinide series and their compounds. The regularities according to which the thermodynamic characteristics of actinide compounds change have been determined.

Theoretical and scientific and practical value of the work consists in a new approach to the synthesis of uranyl compounds using uranium production wastes and technical waters. The data on thermodynamic properties of actinides given in this work have a reference character and will supplement the bank of thermodynamic quantities with new data.

The stupefied character of the thermal decomposition process of uranyl sulfate and thorium nitrate crystalline hydrates has been established. The revealed regularities of changes in the properties of actinide compounds make it possible to select the appropriate actinide with predetermined, "programmed" characteristics that meet the applied conditions of use.

Field of application: chemical industry.

АННОТАЦИЯ

диссертации Эшова Джурамуроода Нурмуродовича на тему: «Синтез, термические и термодинамические свойства торий-урановых соединений», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 02.00.01 - Неорганическая химия

Ключевые слова: урансодержащие руды и отходы, принципиальная технологическая схема переработки, процесс термического разложения, кристаллогидраты, сульфат уранила, нитрат тория, термодинамические характеристики, закономерности их изменения.

Объекты и методы исследования, использования аппаратура: объектами являются урансодержащие руды и отходы урановых предприятий, из которых выделены урановые соединения и нитрат тория. Использованы традиционные методы приборного анализа и современная прецизионная аппаратура - четырёхканальный пламенный фотометр М425, атомно-асорбционный спектрометр АА-7000, автоматизированный многоцелевой порошковый рентгеновский дифрактометр "XRDynamic 500", дериватограф "Labsys Evo-C1600" фирмы "Setaram", калориметр "C600 Calvet", статический метод с мембранным нуль-манометром. Применены полуэмпирические и расчётные методы, с помощью которых определены термодинамические характеристики соединений актинидов.

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

Полученные результаты и их новизна. 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. Проведено термодинамическое обоснование процесса сернокислотной обработки урансодержащих минералов. Установлены химические схемы и ступенчатый характер процесса термического разложения кристаллогидратов, индивидуальных сульфата уранила и нитрата тория. Проведено определение значений термодинамических характеристик ступеней процессов термического разложения указанных соединений. На их основе определены термодинамические характеристики соединений актинидов. 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 и научно-практическая ценность работы заключается в новом подходе синтеза уранильных соединений с использованием отходов урановых производств и технических вод. Приведённые в работе сведения о термодинамических свойствах актинидов имеют справочный характер и дополняют банк термодинамических величин новыми данными.

Установлено ступенчатый характер процесса термического разложения кристаллогидратов сульфата уранила и нитрата тория. Выявленные закономерности изменения свойств актинидных соединений позволяют подобрать соответствующий актинид с заранее заданными, "запрограммированными" характеристиками, отвечающими прикладным условиям применения.

Область применения: химическая промышленность.

АННОТАТСИЯИ

кори диссертатсионии Эшов Чурамурод Нурмуродович дар мавзӯи:
«Синтез, хосиятҳои термикӣ ва термодинамикии пайвастиҳои торий-уранӣ», ки ба дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 02.00.01 - Химияи ғайриорганикӣ пешниҳод шудааст.

Калидвожаҳо: маъданҳо ва партовҳои урандор, схемаи асосии технологияи коркард, раванди таҷзияи термикӣ, кристалгидратҳо, сульфати уранил, нитрати торий, мушаххасаҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии онҳо.

Объектҳо ва усулҳои тадқиқот, истифодаи таҳҷизот: объектҳо маъданҳо ва партовҳои урандори корхонаҳои уран, ки аз онҳо пайвастиҳои уранӣ ва нитрати торий ҷудо карда шудаанд. Усулҳои анъанавии таҳлили асбобӣ ва таҳҷизоти муосири дақиқ - фотометри чорканалӣ шафақӣ М425, спектрометри абсорбсияи атомии АА-7000, ҳокаи автоматии рентгении дифрактометри "XRDynamic 500", дериватографи "Labsys Evo-C1600" ширкати "Setaram" калориметри "С600 Calvet", усули статикӣ бо сифрманометри мембранадор истифода шуданд. Усулҳои нимтаҷрибавӣ ва ҳисоббарорӣ татбиқ карда шуданд, ки тавассути онҳо мушаххасаҳои термодинамикии пайвастиҳои актинидҳо муайян карда шуданд.

Мақсади тадқиқот коркарди усули самаранокӣ ҳосил намудани пайвастиҳои торий-уранӣ аз ашёи хоми маҳаллӣ, омӯхтани хосиятҳои физикию химиявии онҳо, муайян кардани мушаххаса (характеристика)-ҳои термодинамикии онҳо ва муқаррар кардани қонунияти мебошад, ки тибқи он мушаххасаҳои термодинамикии актинидҳои дохили гурӯҳ тағйир меёбанд.

Натиҷаҳои бадастовардашуда ва навоғонҳои онҳо. Пайвастиҳои уранӣ аз партовҳои истеҳсоли уран ва обҳои урандор синтез карда шуданд. Шароити равандҳои ба даст овардани пайвастиҳои уранилӣ ва нитрати торий муқаррар карда шудааст. Схемаи асосии технологияи равандҳо тартиб дода шудааст. Асосноккунии термодинамикии раванди коркарди кислотагӣ (бо кислотаи сулфат)-и маъданҳои урандор гузаронида шуд. Схемаҳои химиявӣ ва хусусияти зинавии раванди таҷзияи термикии кристалгидратҳо, сульфати инфиродии уранил ва нитрати инфиродии торий муқаррар карда шудаанд. Қиматҳои мушаххасаҳои термодинамикии зинаҳои равандҳои таҷзияи термикии пайвастиҳои дар боло зикршуда муайян карда шудаанд. Дар асоси онҳо мушаххасаҳои термодинамикии пайвастиҳои актинидҳо муайян карда шудаанд. Таҳлили системавӣ барои пайвастиҳои қатори актинидҳо гузаронида шуд. Барои унсурҳои қатори актинидҳои/баррасишаванда ва пайвастиҳои онҳо маълумоти дақиқтар ва мукамал оид ба мушаххасаҳои термодинамикии онҳо муайян карда шудаанд. Қонуниятҳои муайян карда шудаанд, ки аз рӯи онҳо мушаххасаҳои термодинамикии пайвастиҳои актинидҳо тағйир меёбанд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ амалии кор дар равиши нави синтези пайвастиҳои уранилӣ бо истифода аз партовҳои уран ва обҳои саноатӣ ифода меёбад. Маълумот дар бораи хосиятҳои термодинамикии актинидҳои дар кор овардашуда хусусияти истинодӣ доранд ва маҳзан (бонк)-и бузургҳои термодинамикиро бо маълумоти нав пурра мекунад.

Хусусияти зинавии раванди таҷзияи термикии кристалгидратҳои уранилсулфат ва нитрати торий муқаррар карда шудааст. Қонуниятҳои ошкоркардашудаи тағйирёбии хосиятҳои пайвастиҳои актинидҳо имкон медиҳанд, ки актиниди мувофиқ бо хусусиятҳои пешакӣ муайяншуда, мушаххасаҳои "барномашуда"-и ҷавобгӯ ба шароити амалии татбиқ интиҳоб карда шаванд.

Соҳаи татбиқ: саноати химия.