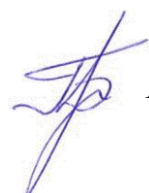


НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ ИМ. В. И. НИКИТИНА
АГЕНТСТВА ПО ХИМИЧЕСКОЙ, БИОЛОГИЧЕСКОЙ,
РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК : 622.349.5(575.3)

ББК : 24.126(2Т)

Б - 72

 На правах рукописи

БОБОЕВ КОМРОН ОДИЛОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД
МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН-2» И ОТХОДОВ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА АДРАСМАН**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени доктора философии (PhD),
доктора по специальности 6D072001 – Технология неорганических веществ

Научный руководитель:
доктор химических наук,
профессор,
академик НАН Таджикистана
У. Мирсаидов

Душанбе – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Список используемых сокращений слов.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ	10
ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД И ОТХОДОВ (Обзор литературы)	16
1.1. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности.....	16
1.1.1. Переработка урановых отходов Гафуровского хвостохранилища.....	16
1.1.2. Переработка ураносодержащих отходов г. Бустон.....	20
1.1.3. Переработка урановых отходов г. Истиклол.....	24
1.1.4. Переработка урановых отходов хвостохранилища Дигмай.....	30
1.2. Физико-химические основы извлечения концентрата урана из технических и дренажных вод.....	33
1.2.1. Извлечение концентрата урана из технических вод месторождения Киик-Тал.....	33
1.2.2. Извлечение урана из шахтных и технических вод г. Истиклол.....	38
1.2.3. Извлечение урана из природных ураносодержащих вод.....	40
1.3. Физико-химические основы выделения урана из ураносодержащих руд Таджикистана.....	43
1.3.1. Физико-химические основы переработки ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан».....	43
1.3.2. Физико-химические основы переработки урановой руды месторождения «Северный Таджикистан».....	49
1.3.3. Физико-химические основы переработки ураносодержащих руд месторождения «Западный Таджикистан».....	52
1.3.4. Физико-химические основы получения концентрата урана из супесчаных почв Таджикистана.....	57
1.4. Заключение по литобзору и задачи настоящей работы.....	57

ГЛАВА 2. ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ДТА, РФА.....	61
2.1. Обращение с отходами урановой промышленности и урановыми рудами.....	61
2.2. Методология и методика эксперимента при переработке урановых руд и отходов.....	71
2.3. Особенности анализа урана в ураносодержащих рудах и отходах.....	75
2.4. Дифференциально-термический анализ ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2».....	80
2.5. Рентгенофазовый анализ ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2».....	85
2.6. Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении ураносодержащих руд серной кислотой.....	89
2.7. Материальный баланс разложения урановых руд.....	93
2.7.1. <i>Расчёт материального баланса сернокислотного разложения руд месторождения «Северный Таджикистан – 2».....</i>	<i>93</i>
2.7.2. <i>Расчёт материального баланса сернокислотного разложения ураносодержащей руды хвостохранилища Адрасман.....</i>	<i>95</i>
ГЛАВА 3. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА АДРАСМАН И УРАНОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН – 2».....	97
3.1. Переработка ураносодержащих отходов урановой промышленности хвостохранилища Адрасман.....	97
3.2. Сравнительная оценка выделения концентратов урана из отходов урановой промышленности Таджикистана.....	104
3.3. Физико-химические основы сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2».....	107

3.4. Кинетика сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2».....	113
3.5. Выделение урановых концентратов из дренажных и технических вод хвостохранилища Адрасман.....	118
3.6. Сорбция урана из растворов при помощи микрогеля.....	121
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	124
ВЫВОДЫ.....	132
<i>Рекомендации по практическому использованию результатов.....</i>	<i>132</i>
ЛИТЕРАТУРА.....	134

Список используемых сокращений слов

- ГМЗ – Гидрометаллургический завод
ГУП – Государственное унитарное предприятие
НАНТ – Национальная академия наук Таджикистана
ДТА – Дифференциальной-термический анализ
РФА – Рентгенофазовый анализ
ДСК - Дифференциальная сканирующая калориметрия
ТГА – Термогравиметрический анализ
МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
АЭС – Атомная электростанция
АМ(п) – Анионит макропористый
ГФСА - Гексафторосиликат аммония
ОВП – Окислительно-восстановительный потенциал
ПРН – Природные радионуклиды
НРБ – Нормы радиационной безопасности
ПОРБ – Правила обеспечения радиационной безопасности
РБ – Радиационная безопасность
ИИИ – Источники ионизирующего излучения

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Введение в экономику местного сырья для нужд и перспектив развития различных отраслей народно-хозяйственного комплекса страны является актуальной задачей. Эта необходимость диктуется экономическими и политическими проблемами, вызванными новыми взаимными отношениями Таджикистана с государствами ближнего и дальнего зарубежья, кроме того, определёнными сложностями в промышленном комплексе страны, в плане обеспечения различных производств местным сырьём. Для данного процесса необходимо расширить фронт фундаментальных исследований, направленных на создание новых технологий, на создание новых видов технологических производств, на новую технологическую направленность страны.

В настоящее время в Республике Таджикистан отрасль урановой промышленности представлена гидromеталлургическим заводом (ГМЗ), входящим в состав государственного унитарного предприятия ГУП «Таджикские редкие металлы» (ГУП «Таджикредмет»).

Быстрое развитие атомной энергии требует постоянного поиска новых месторождений и ставит задачи поиска новых технологических задач переработки урановых руд, в том числе бедных руд и отходов урановой промышленности. Кроме того, важнейшей задачей для технологических процессов по переработке ураносодержащих руд можно назвать выбор эффективных сорбентов для урана.

В нынешних условиях гидromеталлургический завод на территории северного Таджикистана не функционирует из-за трудностей, связанных с отсутствием перспективных урановых месторождений. Необходимо указать, что функционирование гидromеталлургического завода «Таджикредмет» могло обеспечить экономический рост Таджикистана, а продукция завода также могла иметь высокий процент в национальной экономике. Исходя из вышеизложенного, разработка физико-химических основ, направленных на переработку урановых руд и отходов, представляется важной проблемой в нынешних условиях.

Кроме того, на территории северного Таджикистана в результате работы ГМЗ в советское время образовались отвалы и радиоактивные хвостохранилища.

Вопросы их воздействия на окружающую среду требуют решения задач управления отходами. Места дислокации во многих случаях располагаются вблизи населённых пунктов и важных водных артерий. Большинство хвостохранилищ не имеют необходимой защиты, ограничивающей влияние на окружающую среду. Они представляют опасность, выражающуюся в загрязнении подземных вод, воздушного бассейна и почвенно-растительного покрова.

Необходимо найти пути для возможности вторичной (повторной) переработки отходов, образовавшихся в результате деятельности урановой промышленности.

В последние несколько десятилетий расширяются масштабы научно-исследовательских работ, направленных на разработку эффективных способов переработки урановых бедных руд и ураносодержащих отходов с извлечением из них концентратов урана. Исследование экономической целесообразности и возможностей переработки отвалов урановых производств, которые образовались в период их деятельности, требует углублённого изучения, связанного как с самой добычей урана, так и с безопасностью этой добычи для людей и природной окружающей среды.

Представляет интерес поиск и выделение урановых концентратов из руд «Северный Таджикистан – 2» и отходов хвостохранилища Адрасман Республики Таджикистан. Поэтому извлечение урана из ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» и отходов хвостохранилища Адрасман является необходимым и перспективным для нужд Таджикистана, и при разработке эффективных технологий, основанных на сорбции урана из этих руд указанного месторождения и отходов Адрасманского хвостохранилища возможно получение уранового концентрата в виде закиси-окиси урана - U_3O_8 .

Соответственно, в посёлке Адрасман находится значительное количество урановых отходов – это урановое наследие бывшего СССР, в связи с чем на этой территории возможна постановка различных научных исследовательских работ. Однако материал хвостохранилищ, забалансовых руды, шахтные, дренажные воды, отвалы уранового производства являются очень разными по форме, строению,

химическому составу, поэтому в республике необходимо принятие срочных экстренных мер и проведения мероприятий по решению экологических проблем этих территорий. Кроме того, республика располагает определёнными запасами урановых руд. Исходя из вышеперечисленного, актуальной задачей является разработка инновационных технологических основ, чтобы переработать эти ураносодержащие руды и отходы.

Ранее была изучена переработка отходов ряда хвостохранилищ северного Таджикистана [1-4]. Проблемы хвостохранилища пос. Адрасман практически не изучены. Поэтому представляет интерес научно-исследовательская разработка данного хвостохранилища, а также перспективной представляется возможность переработки ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» («месторождение «Октябрьское»), которое практически не изучено.

Данное исследование проводится в рамках Государственной программы приоритетных исследований по переработке минерального сырья страны.

Соответственно, в связи с изложенным выше, в Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ) расширяется исследовательская деятельность, направленная на разработку перспективных методов выделения урана из ураносодержащих руд и отходов уранового наследия СССР. Изучение при этом экономической целесообразности и возможность разработки новых методов, ориентированных на переработку руд новых ураносодержащих месторождений является важным, потому что одновременно решает ряд поставленных задач – это непосредственное извлечение урана, безопасность при эксплуатации урановых месторождений и, соответственно, охрана окружающей природной среды.

Извлечение урана из урановых руд и ураносодержащих отходов с привлечением различных методов с применением местных сорбционных материалов является важной исследовательской задачей.

В данной диссертации приведены результаты:

- анализа по изучению химико-минералогического состава ураносодержащих руд месторождения «Северный Таджикистан – 2» и отходов хвостохранилища Адрасман;

- исследования физико-химических характеристик ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализов;

- термодинамической оценки процесса разложения ураносодержащих руд серной кислотой;

- переработки отходов урана хвостохранилища Адрасман;

- исследований физико-химических основ по переработке урановой руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» с разработкой технологических схем по получению концентратов;

- кинетики процесса выщелачивания урановых руд месторождения «Северный Таджикистан – 2»;

- извлечения рассолов, дренажных и технических вод хвостохранилища Адрасман концентратов урана.

Степень научной разработанности изучаемой проблемы. В Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана исследуются вопросы, направленные на изучение физико-химических основ переработки ураносодержащих руд различных месторождений Таджикистана, а также из отходов урановой промышленности, супесчаных ураносодержащих почв, шахтных и дренажных вод с получением U_3O_8 . Для переработки ураносодержащих руд разработаны различные методы – перспективными среди которых можно назвать сернокислотные методы выделения урана.

Сернокислотный метод разложения ураносодержащих руд позволяет получить уран из месторождения «Северный Таджикистан – 2» и раскрыть механизм кислотного разложения руд.

Сырьевая база для нужд уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности Таджикистана является достаточно обширной, и предложен

гидрометаллургический метод переработки сырья, так как подземное и кучное выщелачивание из-за горной местности трудно применяется.

Ураносодержащие руды месторождений Таджикистана являются перспективными для получения из них урановых концентратов и для их переработки разработаны обобщённые технологические схемы с целью получения урановых соединений с использованием местных сырьевых материалов.

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Данное диссертационное исследование выполнено в рамках научной программы Агентства по ХБРЯ безопасности и Института химии имени В. И. Никитина НАН Таджикистана на тему: «Физико-химические основы выделения урановых концентратов из руд и отходов». Государственная регистрация 0120 ТД 01030.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью исследования является разработка технологических основ, направленных на переработку урановой руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» и урановых отходов хвостохранилища Адрасман.

Объектом исследования являются руды из уранового месторождения «Северный Таджикистан – 2» и отходов хвостохранилища Адрасман.

Предмет исследования – это изучение физико-химических и технологических основ по выделению из урановых руд и ураносодержащих отходов концентратов урана.

Основными задачами исследования являются:

- определение химического и минералогического составов месторождения «Северный Таджикистан – 2» (Октябрьское) и урановых отходов хвостохранилища Адрасман;

- изучение возможности разложения руд и отходов урана кислотным методом;

- определение для процесса разложения ураносодержащих руд энергетических и кинетических характеристик;

- разработка технологических схем для переработки урановой руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» и урановых отходов;

- выделение урановых концентратов из ураносодержащих вод.

При достижении цели работы решались следующие **задачи**:

1. Анализ выполненных работ по переработке урановых отходов, извлечению урановых концентратов из дренажных и шахтных вод и получению урана из руд северного Таджикистана (по результатам литературных источников и патентных исследований).

2. Изучение физико-химических свойств урановых руд месторождения «Северный Таджикистан – 2» различными методами – дифференциально-термическим (ДТА) и рентгенофазовым (РФА).

3. Изучение физико-химических характеристик сернокислотного извлечения уранового концентрата из ураносодержащих руд Таджикистана.

4. Разработка перспективных обобщённых технологических схем для извлечения концентрата урана из руд и урановых отходов.

5. Выделение урана из дренажных и технических вод.

Методы исследования. Современные физико-химические методы исследования урановых руд Таджикистана (ДТА, РФА, альфа- и гамма-спектрометрический, рентгеноспектральный).

Отрасль исследования относится к задачам комплексной переработки ураносодержащих руд Республики Таджикистан.

Этапы исследования включают изучение имеющихся источников литературы различных авторов по следующим темам: физико-химические основы переработки урановых руд и ураносодержащих отходов Таджикистана сернокислотными методами, разработка методов анализа, постановка эксперимента по переработке урановых руд кислотными методами. Разработка основных технологических схем по переработке урановых руд и отходов Республики Таджикистан.

Основная информационная и экспериментальная база включает поиск в информационных международных системах научных журналов, в которых опубликованы близкие к нашей диссертационной теме исследовательские работы.

Особое внимание уделялось использованию сети Интернет и научным материалам в электронных форматах. Результаты диссертационной работы получены в исследовательской лаборатории технических услуг Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности и в лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и промышленных отходов» ГНУ «Институт химии им. В. И. Никитина» НАН Таджикистана. В лаборатории имеются все необходимые приборы и установки, применяемые в ходе исследования.

Обоснованность и достоверность научных исследований, выводов и рекомендаций основаны на результатах, полученных на сертифицированном и аттестованном лабораторном оборудовании, где также были использованы различные физико-химические методы исследования – методы ДТА и РФА, спектральные, включая α - и γ -спектроскопию. Теоретическая часть диссертационного исследования согласуется с законами физической химии и технологии неорганической веществ.

Научная новизна работы. Показано, что сернокислотным разложением ураносодержащих руд можно получить уран из месторождения «Северный Таджикистан – 2». Раскрыт механизм кислотного разложения руд из уранового месторождения «Северный Таджикистан – 2».

Теоретическая и научно-практическая ценность работы заключается в нахождении оптимальных параметров процесса разложения урановых руд месторождения «Северный Таджикистан – 2» и отходов хвостохранилища Адрасман.

Установлен механизм разложения руд и отходов, проведена и представлена термодинамическая оценка разложения руды серной кислотой.

Практическая ценность работы заключается в разработке основных технологических схем по выделению концентратов урана, которые могут применяться на гидromеталлургических заводах по получению урановых концентратов.

Положения, выносимые на защиту:

- минералогический и химический анализ ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан – 2», определяемые методами РФА, ДТА, альфа- и гамма-спектрометрии;

- минералогический и химический составы урановых отходов хвостохранилища Адрасман;

- изучение процесса разложения руд ураносодержащего месторождения «Северный Таджикистан – 2», а также урановых отходов хвостохранилища Адрасман и установление оптимальных параметров процесса;

- установление энергетических и кинетических характеристик для процессов разложения ураносодержащих руд и отходов серной кислотой;

- разработка основных обобщённых схем для переработки урановой руды месторождения «Северный Таджикистан – 2» и отходов хвостохранилища Адрасман.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 6D072001- Технология неорганических веществ по следующим параметрам:

- производственные процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты;

- технологические процессы (химические, физические и механические) изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала в производстве неорганических продуктов;

- способы и средства разработки, технологических расчётов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции применительно к производственным процессам получения неорганических продуктов;

- химические и физико-химические основы технологических процессов: химический состав и свойства веществ, термодинамика и кинетика химических и межфазных превращений;

- механические процессы изменения состояния, свойств и формы сырья материалов и компонентов в неорганических технологических процессах;

- способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические продукты.

Реализация выводов и рекомендации работы. Данное исследование выполнялось в соответствии с программой «Физико-химические основы выделения урановых концентратов из руд и отходов». Государственная регистрация 0120 ТГ 01030, а также результаты введены в обучающие программы Горно-металлургического института Министерства образования и науки Республики Таджикистан.

Личный вклад соискателя заключается в установлении исследовательских методов для решения сформулированных задач, проведении эксперимента, использовании методов расчёта и эксперимента для достижения намеченных целей, обработке, анализе и обобщении полученных в результате работы экспериментальных и расчётных данных, их публикации в различных печатных изданиях. В формулировке и обобщении основных положений и выводов диссертационной работы.

Апробация и реализация результатов диссертации.

Основные положения диссертации были представлены и обсуждались на следующих общественных научных мероприятиях: Республиканской научно-практической конференции «Инновационное развитие науки» с участием международных организаций (Душанбе, 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы химии, применение и их перспективы», посвящённой 60-летию кафедры органической химии и памяти д.х.н., профессора Ш.Х. Халикова (Душанбе, 2021 г.); Республиканской научно-практической конференции «Фундаментальная наука – основа совершенствования технологий и материалов» (Душанбе, 2021 г.); Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2021 г.); XVII Нумановских чтениях «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке» (Душанбе, 2022 г.).

Публикации по теме диссертации. По результатам исследований опубликовано 17 работ, в том числе 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК Республики Таджикистан, 8 тезисов докладов в материалах международных и республиканских конференций, получен 1 Малый патент Республики Таджикистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация представляет собой рукопись, изложенную на 150 страницах компьютерного набора, содержит введение, обзор литературы, результаты исследований и их обсуждение, заключение, список цитируемой литературы, включающий 124 наименования библиографических ссылок и приложения. Работа иллюстрирована 47 рисунками и 45 таблицами.

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД И ОТХОДОВ

(Обзор литературы)

1.1. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности

1.1.1. Переработка урановых отходов Гафуровского хвостохранилища

В работах [1-9] исследовано инженерно-геологическое состояние и содержание в радиоактивных отходах Гафуровского хвостохранилища различных естественных радионуклидов, проведены гамма-съёмка и радоновый мониторинг хвостохранилища, определено содержание радионуклидов в отходах и предложены пути вторичной переработки отходов урана, показаны пути переработки отходов урана.

Авторы работ [7, 8] использовали для переработки два вида отходов: «богатые» отходы с содержанием урана 0.016-0.516% и «бедные» отходы с содержанием урана 0.009-0.031%. Для этих отходов разработана принципиальная технологическая схема (рисунок 1.1) [10].

Условия вскрытия «богатых» песков обобщаются в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Выделение урана из «богатых» песков (условия: Т:Ж = 1:1; тем-ра 65-70°C), согласно авторам [7, 8]

№ пробы	Содержание урана в отвалах, %	Режим выщелачивания					Результаты выщелачивания		
		рН		ОВП		% св. кисл.	содержание урана		% извлечения
		начало	конец	начало	конец		г/л, жидк.	% в хвостах	
1	0.1	0.6	1.1	750	690	0.5	4	0.011	85-90
2	0.2	0.6	1.05	750	700	0.5	5	0.023	85-90
3	0.3	0.4	1.0	800	750	0.7	6	0.032	85-90

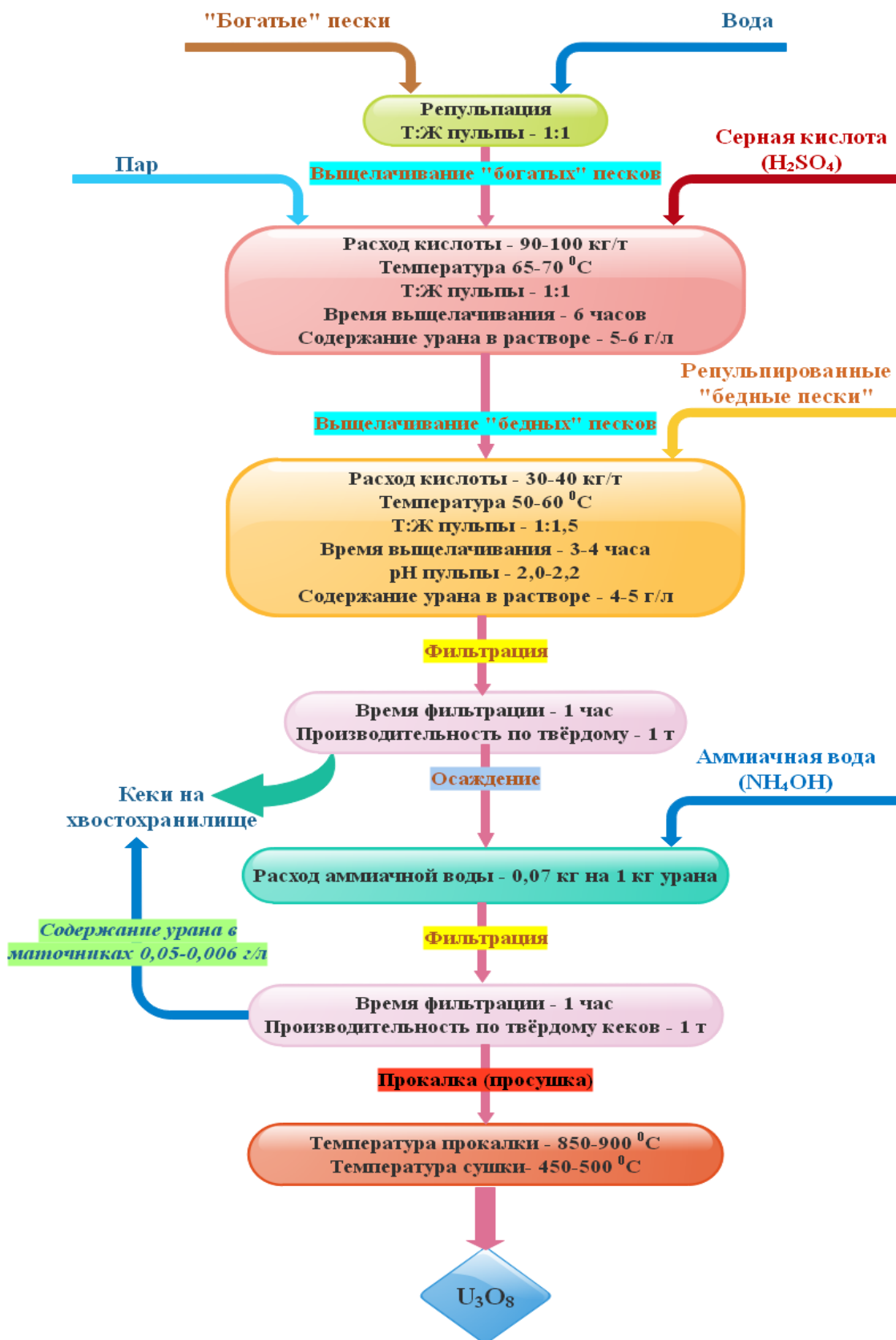


Рисунок 1.1 – Обобщённая технологическая схема для вторичной переработки ураносодержащих отвалов хвостохранилищ Чкаловского и Гафуровского, согласно авторам [7, 8].

В шламовой пульпе, согласно рисунку 1.1, кислота нейтрализовалась известняковым раствором, результаты обобщены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Нейтрализация кислоты известняковыми растворами в шламовой пульпе репульпированных песков (при условиях рН=3.6, тем-ра 40°C; τ=1,5 ч), согласно авторам [7, 8]

Характеристика шламовой пульпы				Расход “бедных” песков, кг/т	Результаты нейтрализации “бедными” песками	
удельный вес, г/см ³	рН	Содержание урана			Содержание урана	
		г/л (жидк.)	% (тв.)	г/л (жидк.)	% (тв.)	
1.5	2.2	4	0.010	в зависимости от рН пульпы в хвосте процесса	3.75	0.010
1.5	2.1	5	0.090		4.7	0.012
1.5	2.0	6	0.090		5.7	0.012

Как можно увидеть из таблицы 1.2, после выщелачивания “богатых” песков с тем-рой выщелачивания 65-70°C и расходом кислоты 90-100 кг/т время выщелачивания равно примерно 6 часов, соотношение Т:Ж в пульпе равно 1:1, содержание урана в растворе 5-6 г/л, при величине окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в диапазоне от 700 до 800 милливольт. По окончании выщелачивания водородный показатель (рН) для “богатых” песков равен 1,0-1,1. Далее при выщелачивании “бедных” их подвергают репульпации, насыщают кислотой, оставшейся от выщелачивания “богатых” песков. Величины остаточной кислотности “богатых” песков контролируют, они должны составлять не более 20-30 килограмм на одну тонну. Выщелачивание “бедных” песков проводится по остаточной кислотности от “богатых песков”, одновременно нейтрализую шламовую пульпу до рН=2.0-2.2 при следующем режиме: содержание урана - 4-5 г/л, окис-

лительно-восстановительный потенциал = 550-600 милливольт, В, Т:Ж = 1:1.5, тем-ра 50-60°C, время выщелачивания от 3 до 4 часов.

После завершения выщелачивания “богатых” и “бедных” песков содержание урана снижается с 6.0 до 5.0 г/л, что можно объяснить разбавлением общего объёма шламовой пульпы за счёт “бедных” песков. Затем, для отделения растворённого урана на рамных фильтрпрессах происходит фильтрация шламовой пульпы при условиях: производительность фильтров по твёрдому кеку - 1 тонна, время фильтрации - 1 ч. По окончании процесса фильтрации кек удаляют на хвостохранилище, содержание урана в кеке низкое и составляет всего 0.008-0.010%. Ураносодержащие растворы после фильтрации с содержанием урана от 5.0 до 6.0 грамм на 1 литр отправляют в отстойники, где происходит их осаждение при рН, равном 5.0-6.2.

Затем проводят фильтрацию диураната на рамных фильтрпрессах, при этом маточные растворы с низким (в пределах от 0.005 до 0.024 грамм на 1 литр) содержанием урана также отправляют на хвостохранилище. Получение диураната представляет значительное технологическое удобство и определённый практический интерес, так как из диураната после его прокаливания достаточно легко получают U_3O_8 (закись-окись урана). Соответственно, на стадии выщелачивания из “богатых” и “бедных” песков при технологическом извлечении урана процент извлечения высокий и составляет примерно 90% [7, 8].

Хакимов Н и сотр. [10] на основе исследований и паспортизации всех хвостохранилищ Согдийской области установили, что для вторичной переработки наиболее перспективными представляются ураносодержащие отходы Гафуровского хвостохранилища.

Также Хакимов Н. и сотр. [10] показали, что ураносодержащие отходы, в которых содержание урана составляет от 0,03 до 0,518 %, перерабатываются по технологическим схемам, в которых исключены некоторые операции, характерные для переработки обычной ураносодержащей руды: это стадии дробления, измельчения, сгущения, классификации, сорбции и десорбции. При этом извлечение

урана достигает 90%. Также эти авторы определили величины оптимальных параметров для выделения U_3O_8 из отходов уранодобывающих производств [10].

1.1.2. Переработка ураносодержащих отходов г. Бустон

В г. Бустон (бывший г. Чкаловск) имеются захоронения отходов урановой промышленности под названием «Карта 1-9». Авторы работ [11-18] изучили химический и минералогический состав этих отходов и показали перспективность их вторичной переработки с целью получения урановых концентратов.

Поскольку хвостовой материал техногенного хвостохранилища «Карта 1-9» в основном представлен кварцем (его содержание достигает в хвостах 69%), эти ураносодержащие отходы было рекомендовано перерабатывать кислотным выщелачиванием.

После проведения лабораторных исследований были обобщены результаты по степеням вскрытия отходов и переходу урана в продуктивные кислотные растворы (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Влияние расходов H_2SO_4 на выделение урана в процессе выщелачивания (условия: тем-ра 20°C, время 10 ч, содержание U 0.018%) [4]

Соотношение Т:Ж=1:1		Соотношение Т:Ж=1:2	
расход H_2SO_4 , кг/т хвостов	извлечение урана в раствор, %	расход H_2SO_4 , кг/т хвостов	извлечение урана в раствор, %
60	3	60	4
90	20	90	25
100	31	100	37
110	37	110	42
120	39	120	43
130	41	130	48
180	53	180	60
350	55	350	61

На основании таблицы 1.3 можно заключить, использование серной кислоты при вскрытии хвостового материала с содержанием в нём урана от 0.008 до 0.021% в продуктивные растворы переходит ~93.9% урана. Данный факт можно объяснить тем, что из хвостового материала под воздействием серной кислоты хорошо выделяется уран. Извлечение урана без дополнительного измельчения облегчается также за счёт длительного контакта кислоты и хвостового материала.

При кислотном разложении хвостового материала серной кислотой наступает термодинамическое равновесие, когда химические потенциалы растворенных веществ становятся равными химическим потенциалам данных веществ в твёрдом состоянии (то есть в исходном состоянии).

При кислотном разложении хвостового материала отвалов важное значение играет изучение кинетических процессов, протекающих при разложении. Соответственно, различные условия кислотного разложения по разному влияют на скорость разложения и на степени извлечения урана в течение определённых промежутков времени. Так, величина коэффициента диффузии (Д) значительно зависит от тем-ры процесса, согласно выражению:

$$D = \frac{RT}{N} \times \frac{1}{3\pi\mu d},$$

в котором: R – постоянная газовая const;

N - число Авогадро;

T - абсолютная тем-ра, К;

μ - вязкость среды, Па·с;

d - диаметр частиц, мм.

Так, при увеличении тем-ры процесса на 10°C, когда вязкость среды (μ) и диаметр частиц (d) не меняются, скорость разложения возрастает в два и более раз. Исходя из этого, целесообразным является проводить высокотемпературное кислотное разложение. Но при этом, начиная с температур 80-90°C происходят значительные теплотери в процессе и необходима дополнительная теплоизоляция оборудования. Исходя из этого, для разложения хвостового материала рекомендованы следующие условия – тем-ра от 65 до 70°C, время разложения 6 ч, со-

отношение Ж:Т=1:1 (рисунок 1.2) [12, 13, 14].

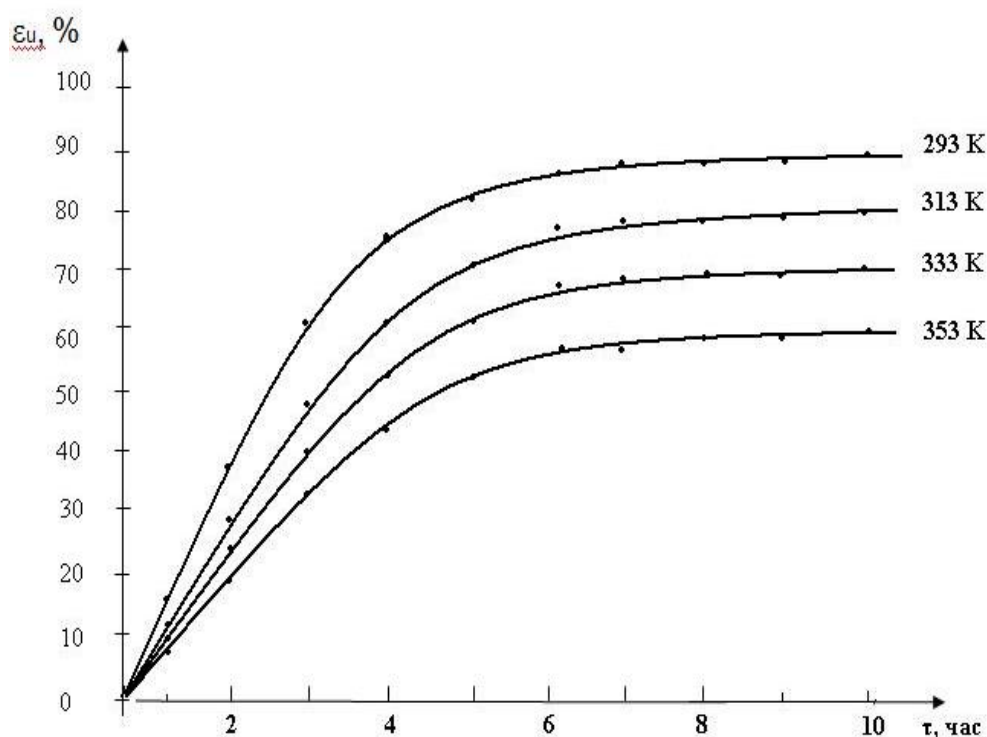


Рисунок 1.2 - Кинетические кривые линии процесса кислотного разложения хвостового материала при соотношении Т:Ж=1:2 (содержание U=0.018%).

Кинетические процессы, протекающие при разложении хвостового материала, исследовались при следующих параметрах: тем-ра в диапазоне от 293 до 353 К, расход H_2SO_4 – 180 килограмм на одну тонну, условия изотермические, пульпа выдерживалась в термостатированном реакторе 10 часов.

Из рисунка 1.2 можно заключить, что при увеличении времени сернокислотного разложения хвостового материала из техногенного хвостохранилища «Карта 1-9» и при увеличении тем-ры разложения хвостов извлечение урана соответственно возрастает [12-14].

В частности, в изученном интервале темп-р извлечение урана увеличивается от 60 до 90%. Изучение кинетических параметров проводили через построение кинетических кривых линий процесса разложения в широком диапазоне тем-ры: 293 – 313 - 333 - 353 К. Как видно на графике рисунка 1.2, первые 2.5-3 часа извлечение протекает усиленно, линейно, а потом линии становятся параболическими и процесс замедляется.

Как видно из графика зависимости константы скорости от тем-ры, в координатах $\lg K - 1/T$ (рисунок 1.3) практически все полученные экспериментально точки при нанесении на график представляю собой прямую линию, соответственно, данную зависимость описывают уравнением Аррениуса. При этом также вычисляют энергию активации (E) процесса, которая вычисляется через тангенс угла наклона построенной прямой линии. В данном случае $E=6.0$ кДж/моль.

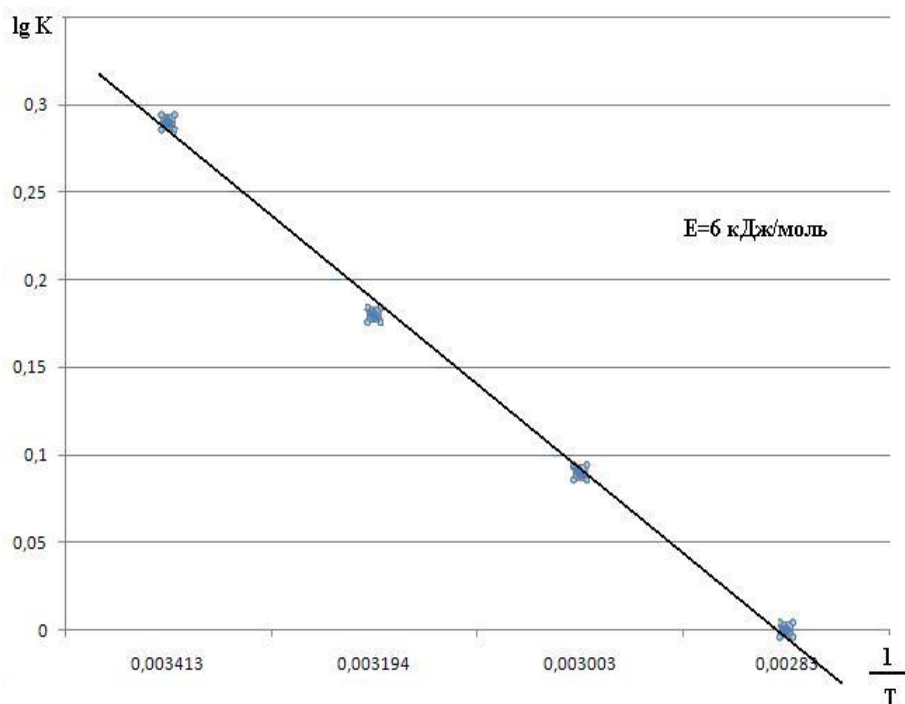


Рисунок 1.3 - Зависимости константы скорости от тем-ры, в координатах $\lg K - 1/T$.

После обработки полученных кинетических кривых линий, для процесса разложения вычислялась величина энергии активации, величина которой оказалась равной 6.0 кДж/моль, то есть на этом основании можно утверждать, что кислотное разложение хвостового материала техногенного хвостохранилища «Карта 1-9» протекает под кинетическим контролем (таблица 1.4) [12].

Соответственно, для хвостового материала - ураносодержащих отходов города Бустон проиллюстрирована возможность их вторичной переработки на примере техногенного хвостохранилища «Карта 1-9». Установлено, что расход серной кислоты 180 килограмм на 1 тонну отходов является оптимальным расходом

для данных ураносодержащих отходов, также проведён расчёт кинетических и энергетических параметров кислотного разложения указанных отходов [12-18].

Таблица 1.4 – Величины кинетических и энергетических параметров кислотного разложения отходов техногенного хвостохранилища «Карта 1-9» [12]

Расход кислоты при разложении, кг/т	Температура разложения, К	Истинная скорость разложения, %/час	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
180	293	1.96	6.0
	313	1.54	
	333	1.23	
	353	1.00	

1.1.3. Переработка урановых отходов г. Истиклол

В г. Истиклол (бывший г. Табошар) имеется несколько видов ураносодержащих отходов, в частности, это хвостохранилища, ураносодержащие отвалы от гидрометаллургического производства («Фабрика бедных руд»), а также дренажные и техногенные воды с повышенными содержаниями урана.

Г. Истиклол имеет население всего примерно 12 тысяч человек, и территориально он располагается всего в нескольких километрах от Табошарского уранового месторождения, которое в настоящее время является законсервированным. Сейчас это огромная территория, площадь которой более 400 гектаров, на этой территории складированы радиоактивные отходы предприятия по переработке ураносодержащей руды – «Фабрики бедных руд».

В период 1973-1975 годов хвостохранилища, расположенные вблизи города Истиклол, были законсервированы, соответственно, откосы и поверхности хвостохранилищ были засыпаны местным крупнообломочным грунтом с супесчаным наполнителем высотой 1 метр. Однако данное покрытие является недостаточным,

оно не препятствует проникновению в тело хвостохранилища кислорода и атмосферных осадков.

Рудник «Истиклол» включает в себя пять хвостохранилищ. Ураносодержащие отходы скапливались здесь в период 1945-1965 гг., это отходы двух заводов по обогащению урана и отходы двух гидromеталлургических заводов. Табошарский рудник являлся основной сырьевой базой государственного предприятия «Таджикские редкие металлы» ранее (Ленинабадского горно-химического комбината). Ураносодержащие руды здесь добывались двумя способами – из рудников, а также из карьера №1 открытым способом. Хвостохранилище и хранилище бедных руд, образовавшиеся после деятельности рудника «Истиклол», расположены на Кураминском хребте вблизи города Истиклол на высоте 1300-1500 м над ур. м. Расстояние от города Худжанд – всего 35 км. Кроме ураносодержащих отходов «Фабрики бедных руд» все хвостохранилища г. Истиклол в настоящее время отнесены в категорию «законсервированные» [19, 20].

Территория хвостохранилищ города Истиклол равна 50 гектаров. Общее количество радиоактивных отходов равно примерно 15 миллионов тонн. Имеется карьер – его глубина 1200 метров, диаметр 1000 м. Карьер наполовину заполнен водой с содержанием в ней урана от 3.0 до 5.0 мг/л. На данной территории преобладают горные климатические условия, а также умеренной силы ветра. Среднегодовая тем-ра воздуха равна +15°C. Среднегодовое количество осадков не более 700 мм. Водородный показатель хвостового материала (рН) равен 5-6, то есть среда кислая.

Данные о хвостохранилищах рудника «Истиклол» обобщены в таблице 1.5, в таблице 1.6 приводятся данные о гранулометрическом составе хвостового материала рудника «Истиклол», в таблице 1.7 – химический состав хвостового материала рудника «Истиклол».

Суммарная активность на территории хвостохранилищ составляет около 1228 Кюри, при мощности гамма-излучения на поверхности от 40.0 до 100.0 мкР/час. В таблице 1.8 обобщены данные по распределению содержания долгоживущих радионуклидов в хвостовом материале рудника «Истиклол». Что каса-

ется выделения радона с поверхности хвостохранилищ, то величины среднегодового выделения радона с поверхности равны в среднем 10.6 Кюри в год.

Соответственно, на рисунках 1.4-1.8 приводятся схемы хвостохранилищ рудника «Истиклол» [19, 20].

Таблица 1.5 – Данные по хвостохранилищам рудника «Истиклол» [4]

Наименование	Месторасположение хвостохранилища, удалённость от ближайшего населённого пункта и период эксплуатации	Мощность дозы в зоне наблюдения, мкР/час	Характеристика изоляции	Количество хранящихся отходов, тонн
Хвостохранилище I-II	г. Истиклол, 2 км, 1945-1959 гг.	40-60	Грунт 0.7-1 м	$1.7 \cdot 10^6$
Хвостохранилище III	г. Истиклол, 0.5 км, 1947-1963 гг.	40-60	Грунт 0.7-1 м	$2.0 \cdot 10^6$
Хвостохранилище IV	г. Истиклол, 1 км, 1949-1965 гг.	40-60	Грунт 0.7-1 м	$4.2 \cdot 10^6$
Хвостохранилище цеха №3	г. Истиклол, 3 км, 1949-1965 гг.	40-60	Грунт 0.7-1 м	$1.2 \cdot 10^6$
Хранилище «Фабрика бедных руд»	г. Истиклол, 4 км, 1950-1965 гг.	100-250	Открытое	$2.03 \cdot 10^6$

Таблица 1.6 - Гранулометрический состав хвостового материала рудника «Истиклол» [19]

+1 мм	до 1%
-1+0.314 мм	до 8%
-0.314+0.1 мм	до 10%
-0.1+0.074 мм	до 15%
- 0.074 мм	илы 65%

Таблица 1.7 - Химический состав хвостового материала рудника «Истиклол» [19]

U ²³⁸ , %	Fe, %	Ca, %	Кварц и другие элементы, %
0.009-0.025	3-5	8-10	80-95

Таблица 1.8 - Содержание долгоживущих радионуклидов в хвостовом материале рудника «Истиклол» [19]

Радионуклиды	Содержание, Бк/кг	
	от	до
Ra-226	12106	180120
Th-232	430	748
K-40	1112	1480



Рисунок 1.4 - Схема хвостохранилища города Истиклол (I-II), согласно данным [4, 19, 20].



Рисунок 1.5 - Схема хвостохранилища города Истиклол (III), согласно данным [4, 19, 20].



Рисунок 1.6 - Схема хвостохранилища города Истиклол (IV), согласно данным [4, 19, 20].



Рисунок 1.7 - Схема хвостохранилища города Истиклол (цех № 3), согласно данным [4, 19].



Рисунок 1.8 - Схема хвостохранилища города Истиклол («Фабрика бедных руд»), согласно данным [4, 19].

Авторы работ [21-25] показали возможность выделения урановых концентратов из хвостохранилищ г. Истиклол. В [23] проведено определение оптимальных параметров для извлечения урановых концентратов путём выщелачивания хвостов из «Фабрики бедных руд».

1.1.4. Переработка урановых отходов хвостохранилища Дигмай

В Средней Азии самым крупным среди всех имеющихся в этом регионе хвостохранилищ бывших урановых производств является Дигмайское хвостохранилище. Площадь Дигмайского хвостохранилища равна более 90 гектаров, на которых складированы отходы урановых руд (около 35 миллионов тонн), забалансовые урановые руды (около 500 000 тонн), кроме того, на территории хвостохранилища хранятся отходы переработки ванадийсодержащих руд (около 5.7 миллионов тонн), активность которых равна примерно 16 000 ГБк. Поверхность хвостохранилища закрыта насыпью всего на 83%, то есть на остальной части отходы находятся в открытом состоянии [26-30].

Так как данное хвостохранилище является открытым, с его поверхности происходит выделение радона – этот радиоактивный газ выделяется постоянно и существенно. В последние годы выход радона в атмосферный воздух увеличился, что связано с пересыханием поверхности, на которой происходит образование трещин и оврагов до 2-х метров глубиной и несколько десятков метров в длину. Соответственно, при средних значениях плотности потока радона около 40 Бк/(м²·с), можно прогнозировать, что ежегодное поступление в атмосферный воздух газа радона будет равным $1.13 \cdot 10^{15}$ Бк. Таким образом, как видно из результатов мониторинга, проблема радоновыделения является намного серьезней, как это было оценено ранее. Такой исключительно высокий поток радона в атмосферный воздух должен формировать очень высокие концентрации таких его продуктов распада, как ²¹⁰Po и ²¹⁰Pb в составе атмосферных осадков и аэрозолей, которые осаждаются на прилегающие сельхозугодия и присутствуют в атмосферном воздухе.

В [26] были изучены опасные территории и выявлены территории с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения по сравнению с естественным фоном на данной территории. Загрязнение таких территорий является определённым радиационным и радиологическим риском для населения, так как на этих территориях и поблизости живут люди, которые используют природные ресурсы этой загрязнённой территории, что приводит к дополнительному облучению данного населения. Также источником дополнительного облучения населения является повышенное содержание радионуклидов в водоемах. В качестве двух территорий для оценки были выбраны территория Дигмайского хвостохранилища и территория селения Гозиён.

Территория хвостохранилища Дигмай является потенциально опасной в связи с тем, что оно находится на территории, где проживает большое количество населения. Соответственно, на этой территории существуют высокие риски загрязнения природных вод из-за больших объёмов отходов бывших урановых производств, которые складированы на территории хвостохранилища Дигмай, на поверхности которого отсутствуют защитные покрытия, а также отсутствуют ограждения. Территория хвостохранилища Дигмай была сформирована в результате перекрытия искусственной дамбой ущелья. Из-за засушливых климатических условий с поверхности хвостохранилища происходит постоянно испарение воды, а поверхность хвостохранилища по всей своей площади оказалась покрыта значительными такырными трещинами, вследствие чего на территории хвостохранилища формируются значительные плотности потока радона с поверхности, составляющие от 36 до 65 Бк/(м²·с). На различных участках тела хвостохранилища в атмосферном воздухе были измерены величины объёмной активности Rn-222, которые составили широкий диапазон измерений в пределах 200-1000 Бк/м³.

Для хвостохранилища Дигмай были учтены следующие факторы повышенного радиологического и радиационного риска:

- радиоактивное загрязнение территории населённого пункта, который находится вблизи хвостохранилища. При этом учитывались только отдельные средние данные о радиологическом загрязнении атмосферного воздуха и данной

территории, но не было проведено радиологическое обследование жилых домов и помещений в данной местности;

- показано, что в ураносодержащем материале хвостохранилища велико содержание природных радионуклидов, также с территории хвостохранилища происходит значительное выделение газа радона;

- происходит загрязнение подземных вод радиоактивными нуклидами из тела хвостохранилища [26-30].

В таблице 1.9 приведены физико-химические параметры жидкой фазы пульпы и их сопоставление с данными других гидromеталлургических заводов (ГМЗ) [30].

Таблица 1.9 – Сопоставление химических составов жидкой фазы пульпы гидromеталлургического передела

Компонент	Концентрация, мг/л	
	Дигмайское хвостохранилище	Среднее по ГМЗ
Уран природный	0.35-0.5	0.5-5.0
Радий-226	10-12 Бк/л	9.9-29.6 Бк/л
Полоний-210	2.0-2.6 Бк/л	1.85-55.5 Бк/л
Оксид железа	800-850	700-800
Оксид магния	180-250	100-200
Оксид марганца	60-70	50-100
Натрий + калий	230-320	200-400
Нитраты	600-800	500-3000
Сульфаты	3200-4200	2000-5500
Сухой остаток	9800-12000	8000-10000
pH	5.6-7	7.8-8

Анализ табличных данных показывает, что в целом состав жидкой фазы, сбрасываемой в хвостохранилище пульпы, соответствует среднестатистическим

данным литературных источников [30]. Содержания радионуклидов превышают установленные нормы уровня вмешательства [29].

Как видно из результатов исследований [26-30], выделение урана из отходов Дигмайского хвостохранилища является менее перспективным по сравнению с хвостохранилищами гг. Бустон и Истиклол.

1.2. Физико-химические основы извлечения концентрата урана из технических и дренажных вод

1.2.1. Извлечение концентрата урана из технических вод месторождения Киик-Тал

В работах [31-44] изучено выделение урановых концентратов из техногенных вод месторождения Киик-Тал. Показана эффективность местных сорбентов (скорлупы урюка, шишек сосны, скорлупы ореха и др.) для очистки технических и дренажных вод.

В [32] показана возможность получения U_3O_8 из шахтных вод Киик-Тала и проведено исследование сорбционной способности скорлупы урюка, этот сорбент на основе местных сырьевых материалов показал значительную сорбционную эффективность. Авторы [34] исследовали кинетические процессы, происходящие при сорбции урана, где сорбентом был выбран сорбент - скорлупа урюка.

Для процесса сорбции урана была определена энергия активации данного процесса, которая изменялась в диапазоне 6.0-13.0 кДж/моль в зависимости от водородного показателя среды (рН среды). Значения энергии активации указывают на прохождении процесса сорбции под диффузионным контролем.

Соответственно, кинетические кривые линии, характеризующие сорбцию урана сорбентом скорлупой урюка при различных темп-рах свидетельствуют о том, что сорбция урана при повышении температуры также увеличивается, что видно из рисунка 1.9. Для сорбции урана на сорбенте скорлупы урюка вычислена энергия активации, которая равна 6.16 кДж/моль.

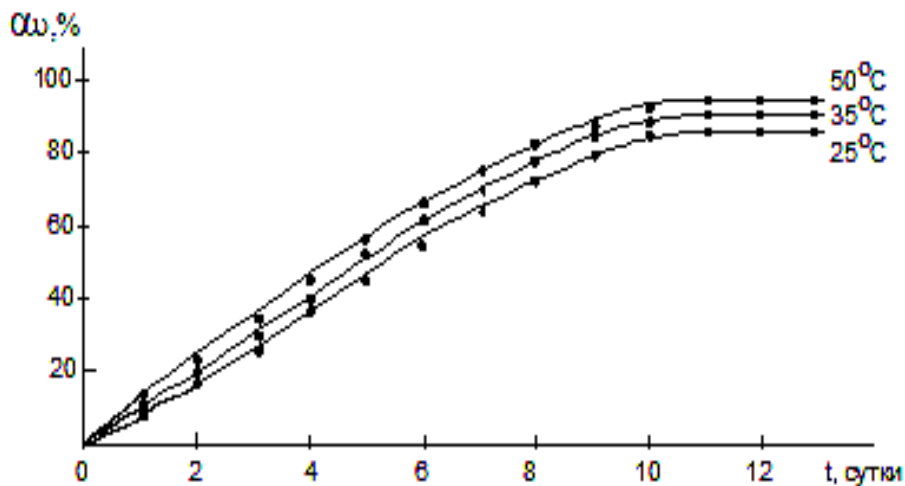
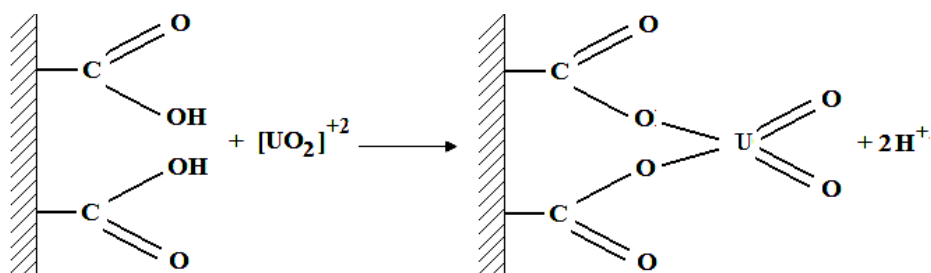


Рисунок 1.9 – Зависимость сорбции урана от времени сорбции (частицы скорлупы урюка размерами <2 мм).

При сорбции урана на скорлупе урюка величина водородного показателя (рН) уменьшалась. Эта закономерность, а также вытеснение водорода с ионами урана с поверхности сорбента, свидетельствует об ионообменном характере сорбции катионов металлов. Схематично ионный обмен можно представить в виде нижеприведённой схемы, поскольку в составе растительных сорбентов присутствуют лигнин и целлюлоза:



Ионообменную природу сорбции катионов урана подтверждает анализ ИК-спектров предварительно обожжённой скорлупы урюка (рисунок 1.10).

Однако отличия ИК-спектров исходного сорбента по сравнению с ИК-спектром предварительно обожжённого сорбента незначительны: практически не изменяются интенсивности полос пропускания, которые ответственны в алифатических цепях за валентные колебания СН-связей, отличием является также наличие группы ОН. По сравнению с ИК-спектром исходного сорбента практически не изменяется интенсивность пропускания С=О-группы, но отмеча-

ется смещение положения этой группы в низкочастотную область, равную 1620.5 см^{-1} , что по литературным данным указывает на замещение иона водорода на ион металла и на ионизацию функциональной группы, в соответствии с данными [19, 43].

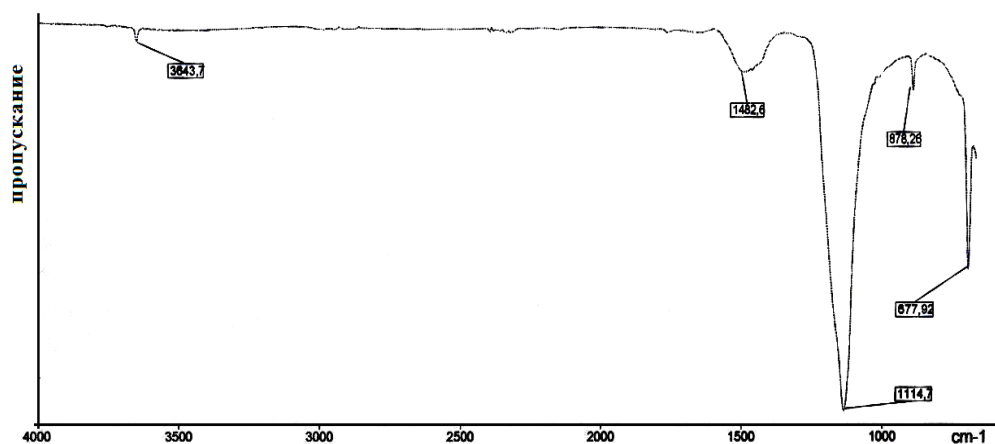


Рисунок 1.10 - ИК-спектр сорбента скорлупы урюка после насыщения ураном.

Исследование сорбционной способности сорбентов на основе растительного сырья показало, что значительную сорбционную ёмкость также показывает сорбент из шишек арчи (рисунок 1.11) [19, 41].

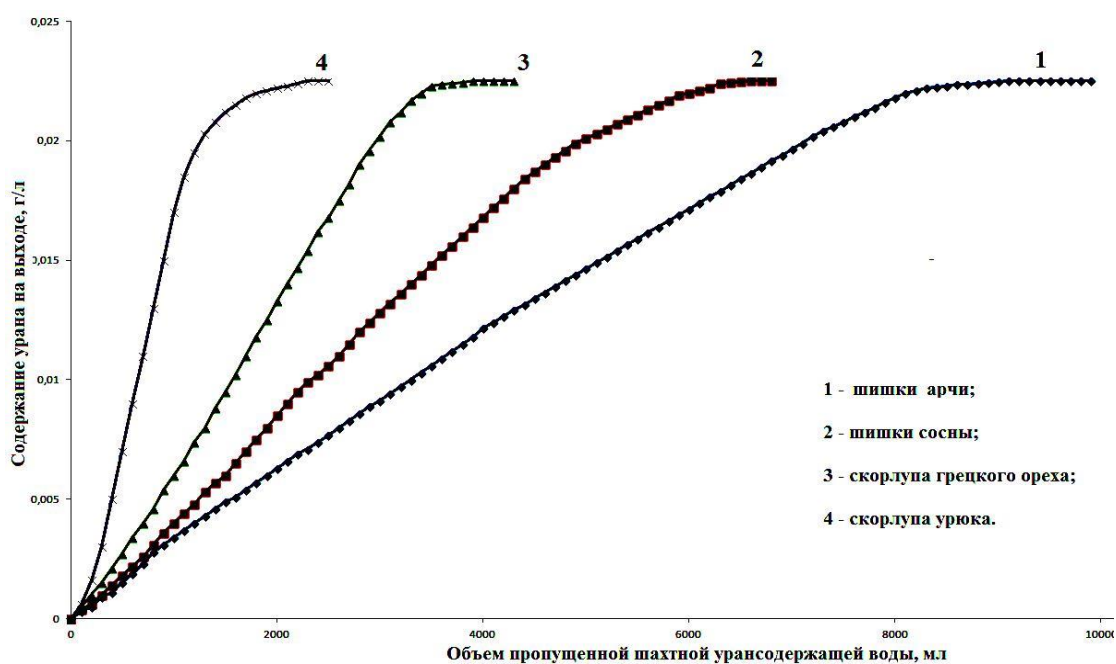


Рисунок 1.11 - Зависимость содержания урана на выходе от объёма пропускаемой воды через растительные природные сорбенты.

Однако у сорбента из шишек арчи время насыщения (90 дней) значительно больше (до 90 дней) по сравнению с другими растительными природными сорбентами (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Сравнительный анализ природных растительных сорбентов

Наименование сорбентов	Сорбционная ёмкость материала, кг/т	Время насыщения ураном, сутки	Количество урана при 90-дневном насыщении, кг/т
Шишки арчи	10.00	90	10.0
Шишки сосны	6.50	50	11.7
Скорлупа ореха	3.20	25	11.5
Скорлупа урюка	1.72	12	12.9

Как показал сравнительный анализ сорбционной способности природных растительных сорбентов, скорлупа урюка является для извлечения урана лучшим сорбентом, так как за одно и то же время (90 дней) превосходит по объёму перечисленные в таблице 1.10 сорбенты.

На рисунке 1.12 схематично приводится обобщённая технологическая схема извлечения урановых концентратов из шахтных вод сорбцией на скорлупе урюка.

Таким образом, определены оптимальные условия сорбции концентратов урана из ураносодержащих шахтных вод с помощью сорбента скорлупы урюка:

- время полного насыщения сорбента (скорлупы урюка) – 12 суток (~300 часов);
- среднее содержание в исходном растворе урана – 21 мг/л;
- содержание в растительном сорбенте урана – 1.721 кг/т.

По результатам опытно-промышленных экспериментов нами была создана опытно-промышленная установка по очистке шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана [19, 39].

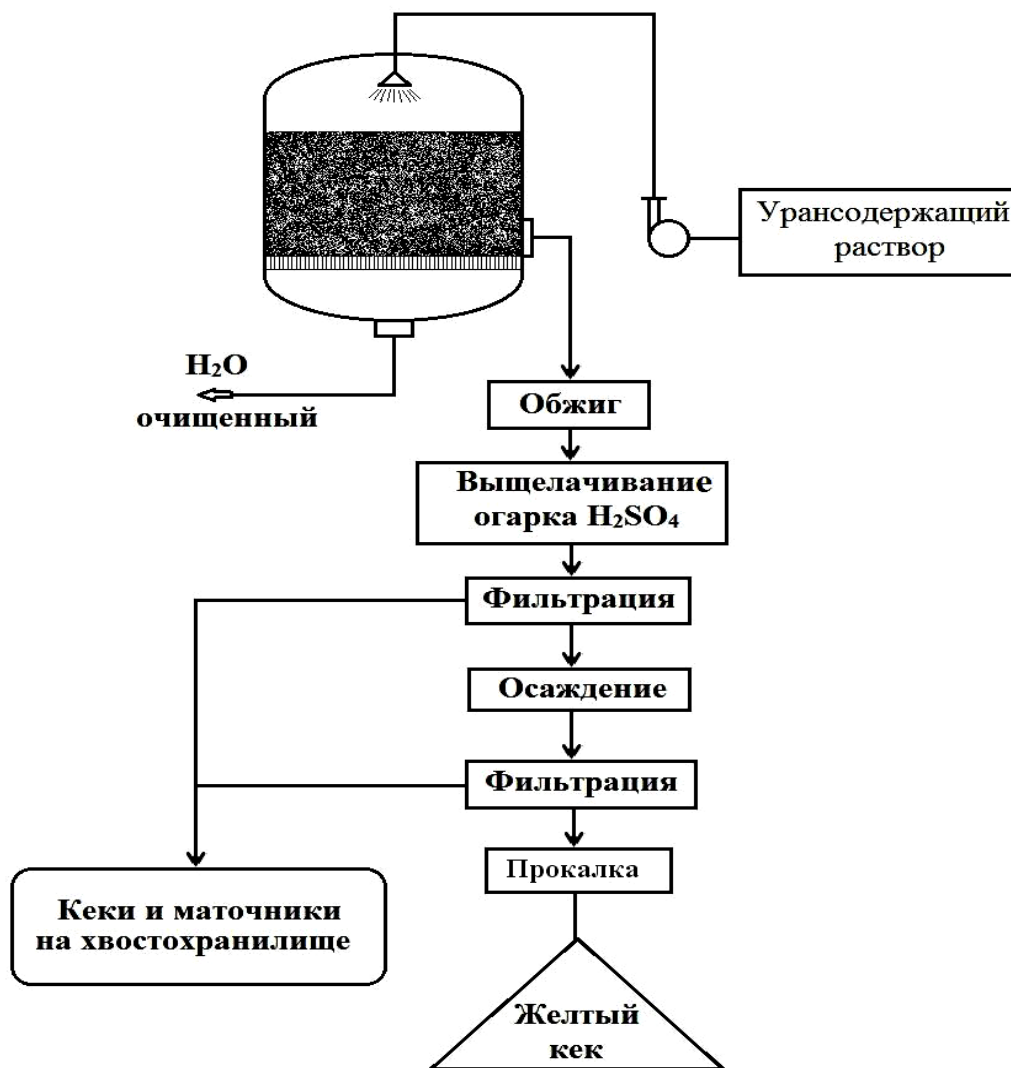


Рисунок 1.12 – Обобщённая технологическая схема для сорбции концентратов урана из ураносодержащих шахтных вод.

По результатам опытно-промышленных экспериментов нами была создана пилотная опытно-промышленная установка по очистке шахтных вод месторождения Киик-Тал (рисунок 1.13). Поскольку месторождение Киик-Тал расположено в высокогорной местности, необходимости использования насосного оборудования нет. Смонтирована полупромышленная установка по очистке воды месторождения Киик-Тала на основе местных сорбционных материалов и, тем самым, продемонстрирована возможность очистки от урана ураносодержащих шахтных вод [45, 46].

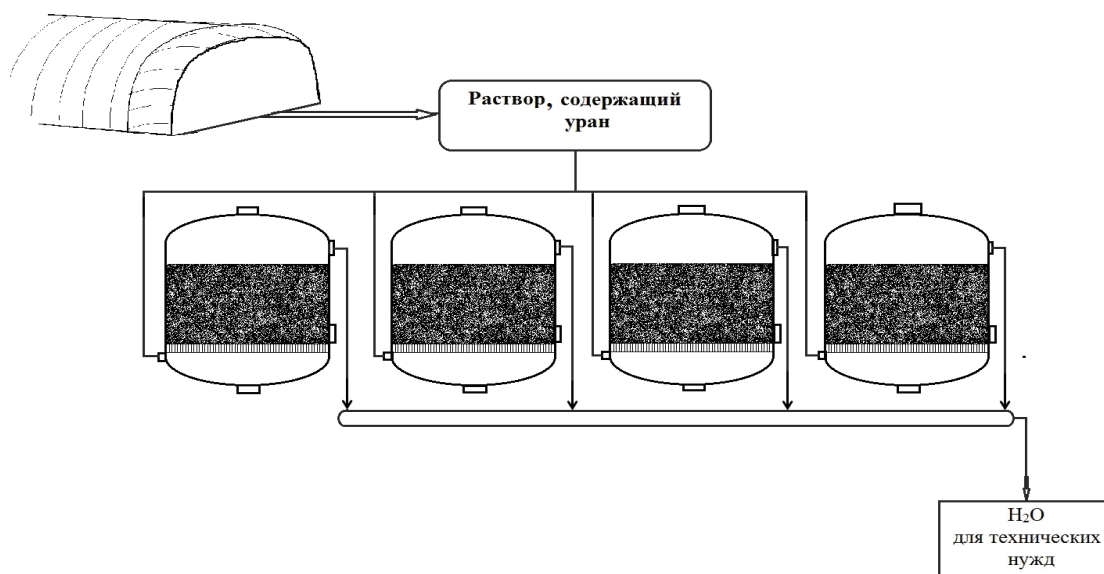


Рисунок 1.13 – Пилотная установка по получению концентрата урана на основе местного сорбционного материала – скорлупы урюка.

1.2.2. Извлечение урана из шахтных и технических вод г. Истиклол

Особой проблемой для хвостохранилищ, расположенных вблизи города Истиклол является дренаж остаточных растворов, выходящих в виде родников и других водных артерий из-под тел этих хвостохранилищ. Так, водные источники, вытекающие из-под тел хвостохранилищ I-II очереди, имеют исключительно высокую концентрацию сульфат-ионов, составившую 9200-9600 мг/л, а также карбонатных оснований (HCO_3^-) в пределах 1800 мг/л, кроме того, в этих родниках обнаружен растворённый уран и другие уран-ториевые радионуклиды (рисунок 1.14) [4, 19].

Также в указанных дренажных водах определены высокие содержания общей альфа-активности (в диапазоне от 1200 до 1500 Бк/л), проведены измерения содержания активности суммы изотопов урана U-238 +U-234, которые проводились пятью независимыми определениями, и выявлено, что активность суммы изотопов урана находится в диапазоне от 1110 до 1450 Бк/л, то есть эти значения близки со значениями промышленных ураносодержащих растворов.

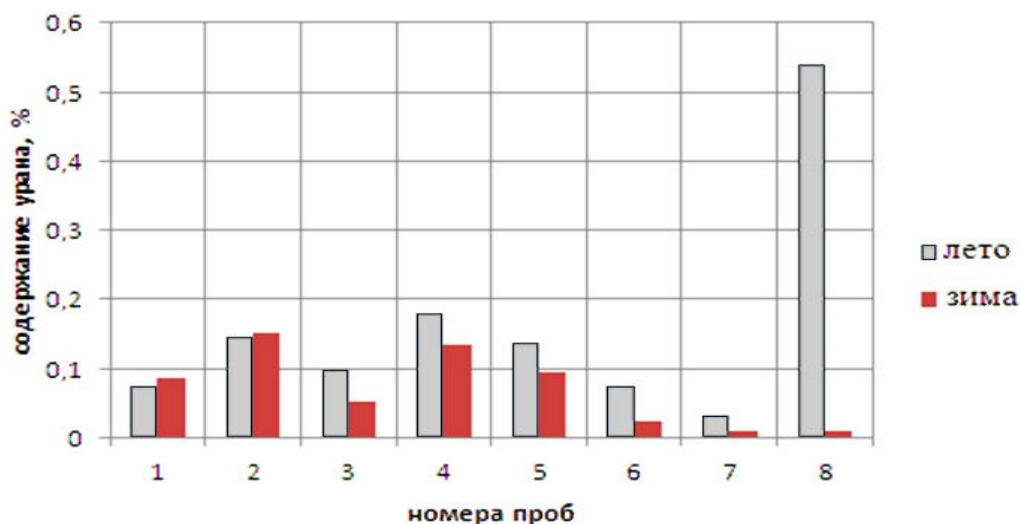


Рисунок 1.14 – Изменение миграции урана-238 в горизонтах почвы в зависимости от времени года.

В засушливом климате распространение дренажей по берегам водных артерий (рек, родников, саев) при испарении образует желтоватую корку, состав которой минерализован в виде комплексов малорастворимых сульфатов и карбонатов с исключительно высокими концентрациями природных радионуклидов. По берегам водных артерий происходит образование желтоокаймлённых кристаллов, представляющих сульфатные комплексы концентрированного урана, концентрации которых имеют очень широкий интервал значений от 12 до 15 000 Бк/кг (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 - Кристаллы сульфата уранила по берегам ручьев, дренируемых из-под тела хвостохранилища г. Истиклол.

Из указанных жёлтых кристаллов – сульфатов уранила были взяты пробы и физико-химическими методами в них определено содержание урана (таблица 1.11) [4, 19].

Таблица 1.11 - Результаты физико-химического анализа проб, взятых на теле хвостохранилищ I-II города Истиклол

№ проб	1	2	3	4	5	6	7	8 (соль - жёлтые кристаллы)
Содержание урана по результатам химического анализа, %	0.074	0.147	0.097	0.179	0.137	0.075	0.031	0.54
Содержание урана по результатам рентгеноспектрального анализа, %	0.047	0.095	0.11	0.12	0.091	0.051	0.016	0.54
Радиационный фон, мкЗв/ч	0.42	0.61	0.53	0.75	0.62	0.51	0.43	1.13

1.2.3. Извлечение урана из природных ураносодержащих вод

В работах [19, 47] изучено выделение урана из рассола рапы озера Сасык-Куль и показана возможность получения из рассола U_3O_8 . В таблице 1.12 приводятся концентрации основных катионов и анионов, которые определены химическим методом анализа в воде озера Сасык-Куль. На основании данных таблицы 1.12 можно сделать заключение, что в воде озера присутствуют также значительные содержания хлор-ионов, в пределах до 34.9 грамм на литр. Сорбция урана из воды озера Сасык-Куль невозможна классическими методами, необходима разработка метода применительно конкретно к данным водам.

На рисунке 1.16 приводится рентгенограмма выпаренного остатка воды озера, также проведено определение химического состава остатка после выпаривания.

Таблица 1.12 – Содержания основных катионов и анионов в воде озера Сасык-Куль

Анион-ионы	Содержание, г/л	Катион-ионы	Содержание, г/л
Cl ⁻	34.9	Na ⁺	37.5
CO ₃ ²⁻	19.4	K ⁺	1.3
HCO ₃ ⁻	9.39	Li ⁺	0.5
SO ₄ ²⁻	8.0	-	-
F ⁻	0.5	-	-

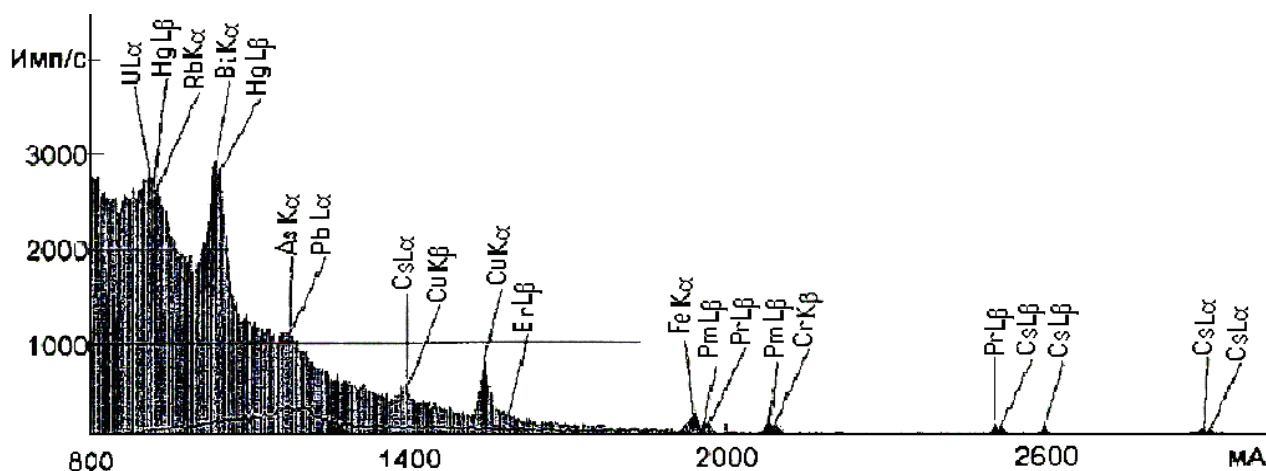


Рисунок 1.16 - Спектр остатка соли после выпаривания пробы воды озера Сасык-Куль.

Извлечение урана из рассола озера проводили по следующей схеме: выпаривали рассол для удаления хлор-ионов, добавляли серную кислоту, при этом улавливали выделяющиеся пары соляной кислоты, потом из продуктивного раствора выделяли оксид урана (таблица 1.13).

Таким образом, представленная схема является перспективной, так как из рассола озера с содержаниями хлор-ионов извлекают урановый концентрат и па-

раллельно получают 10-12% соляную кислоту.

Таблица 1.13 - Сорбция урана из рассола с использованием смолы АМ(п) после удаления хлор-ионов

№ опыта	Объём пропущенного раствора, мл	Вход		Выход		Извлечение U_3O_8 , %
		г/л	рН	г/л	рН	
1	350	0.013	3.3	0.002	2.75	84.61
2	170	0.018	3.05	0.005	2.93	72.22

С целью извлечения концентрата урана из ураносодержащих рассолов озера Сасык-Куль проведена разработка обобщённой технологической схемы, в которую включены такие основные стадии, как: выпаривание, разложение серной кислотой, улавливание газообразного хлороводорода, сорбция, десорбция, промывка, осаждение аммиачной водой, фильтрация, прокалка (рисунок 1.17).

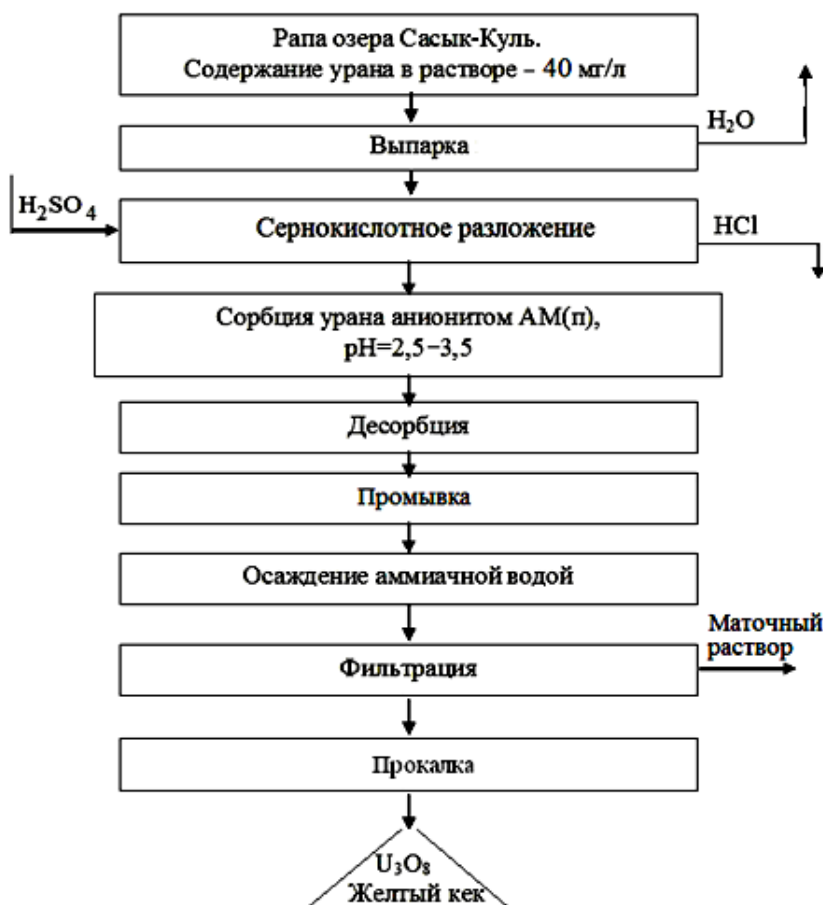


Рисунок 1.17 – Обобщённая технологическая схема извлечения концентрата урана из рассола озера Сасык-Куль.

1.3. Физико-химические основы выделения урана из ураносодержащих руд Таджикистана

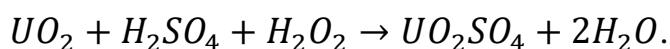
1.3.1. Физико-химические основы переработки ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан»

Значительное число исследований [49-53] посвящено изучению химического и минералогического составов ураносодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан». Для руд данного месторождения было проведено изучение их изотопного состава. Изучено сернокислотное разложение ураносодержащих руд с использованием различных окислителей. Показано, что на извлечение уранового концентрата из руды оказывает значительное влияние рН среды. Также изучены кинетические процессы, протекающие при извлечении урана, а также разработана обобщённая технологическая схема по извлечению урана из ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан».

При изучении минералогического состава ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан» показано, что в составе руды находятся следующие минералы: кварц – 34,5%, альбит – 30,7%, иллит – 21,0%, кальцит – 3,0%, плагиоклаз – 2,9%, магнетит – 1,7%. Ураносодержащие руды месторождения представлены экзогенными минералами – уранофаном и коффинитом, которые имеют способность мигрировать. В этих минералах уран представлен в четырёхвалентной и шестивалентной формах, соответственно с этим данные руды перспективно перерабатывать кислотным или щелочным разложением. Однако при кислотном разложении отмечены более высокие показатели извлечения уранового концентрата по сравнению с карбонатным разложением, кроме того, кислотное разложение является более практичным, поскольку при разложении используется относительно более дешёвый растворитель - серная кислота [54].

Для лабораторных исследований была взята навеска ураносодержащей руды 100 грамм в режиме перемешивания из расчёта 0.27% урана. Также для навески руды был проведён гранулометрический анализ и установлен гранулометрический состав, результаты данного анализа обобщены в таблице 1.14 [52, 54].

Согласно протеканию химической реакции окисления диоксида урана пероксидом водорода, в сернокислой среде скорость реакции высокая, в результате происходит образование уранилсульфата с выделением воды по реакции:



Использование в качестве окислителя пероксида водорода является закономерным по сравнению с другими окислителями (азотная кислота, диоксид марганца и другие) с экологической точки зрения, а также рациональным и эффективным для производственного процесса [54, 55].

Таблица 1.14 - Гранулометрический состав ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан»

Выход классов	Крупность классов, мкм						Σ выход классов
	+300	-300+125	-125+106	-106+90	-90 +63	-63	
в граммах	63	308	82	37	6	4	500
в %	12.6	61.6	16.4	7.4	1.2	0.8	100

Отдельные показатели, характеризующие извлечение урана в сернокислом растворе, обобщены в виде графиков на рисунке 1.18. Как видно из рисунка 1.18а, при следующих условиях: тем-ра 60°C, время – 4 ч, $C_{H_2SO_4}$ =150 килограмм на 1 тонну, соотношение Т:Ж -1:2 (при исходном соотношении Т:Ж - 1:2, а также плюс соотношение Т : промывная вода равное 1:3), оптимальным расходом окислителя – 25% пероксида водорода является в среднем 50 литров на 1 тонну, при этих условиях извлечение концентрата урана достигает 95.6%. исходя из этого, в дальнейших исследованиях использовали 25% раствор пероксида водорода в количестве 50 литров на 1 тонну. После каждого опыта полученный кек отфильтровывался от продуктивного раствора и промывался водой в соотношении Т:Ж, равном 1:3 [54, 57].

Согласно результатам изучения извлечения уранового концентрата в сернокислой среде (рисунок 1.18б), показано, что при использовании на каждую тонну ураносодержащей руды 150 килограмм серной кислоты достигается максималь-

ное извлечение. Также показано, что дальнейшее повышение концентрации серной кислоты при разложении ураносодержащей руды не оказывает положительного влияния, то есть оптимальным количеством серной кислоты является 150 кг на каждую тонну руды. Для максимального извлечения урана (96%) из ураносодержащей руды необходима 4-х часовая обработка руды раствором серной кислоты с введением в процесс активатора – пероксида водорода. После 4-х часов происходит замедление извлечения урана, которое полностью заканчивается через 5-6 ч от начала процесса и дальнейшее проведение процесса является не целесообразным [54, 57].

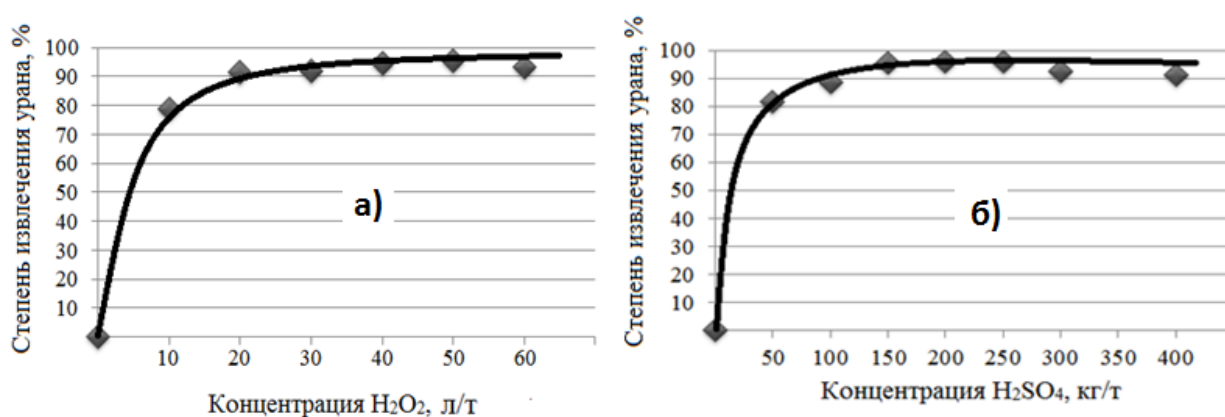


Рисунок 1.18 – Извлечение урана в зависимости от: а) от расхода пероксида водорода - окислителя (25% H_2O_2) при тем-ре $60^{\circ}C$; $\tau=4$ ч; $C_{H_2SO_4}=150$ кг/т; Т:Ж=1:2. б) от концентрации H_2SO_4 при условиях: тем-ра $60^{\circ}C$; $\tau = 4$ ч; $C_{H_2O_2}=50$ л/т; Т:Ж=1:2.

На рисунке 1.19 обобщены данные по эффективности окислителя - пероксида водорода по сравнению с другими окислителями (азотной кислотой, пиролюзитом) в растворе серной кислоты различной концентрации [54, 55].

Соответственно, по полученным результатам можно заключить, что в сернокислой среде окислитель пероксид водорода является очень эффективным и его использование позволяет достигнуть высоких извлечений урана из ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан».

Таким образом, исследования, проведённые в работах [54, 57] обосновали возможность эффективного разложения ураносодержащей руды месторождения

«Центральный Таджикистан» серной кислотой. При этом показано, что минимальный расход серной кислоты на разложение обеспечивается значительным (34.5%) содержанием в руде минерала кварца. Так, из руды указанного месторождения возможно извлечение урана до 96% при следующих условиях: содержание окислителя – пероксида водорода 50 л/т, тем-ра 60°C; $\tau = 4$ часа; Т:Ж=1:2; $C_{H_2SO_4}=150$ кг/т.

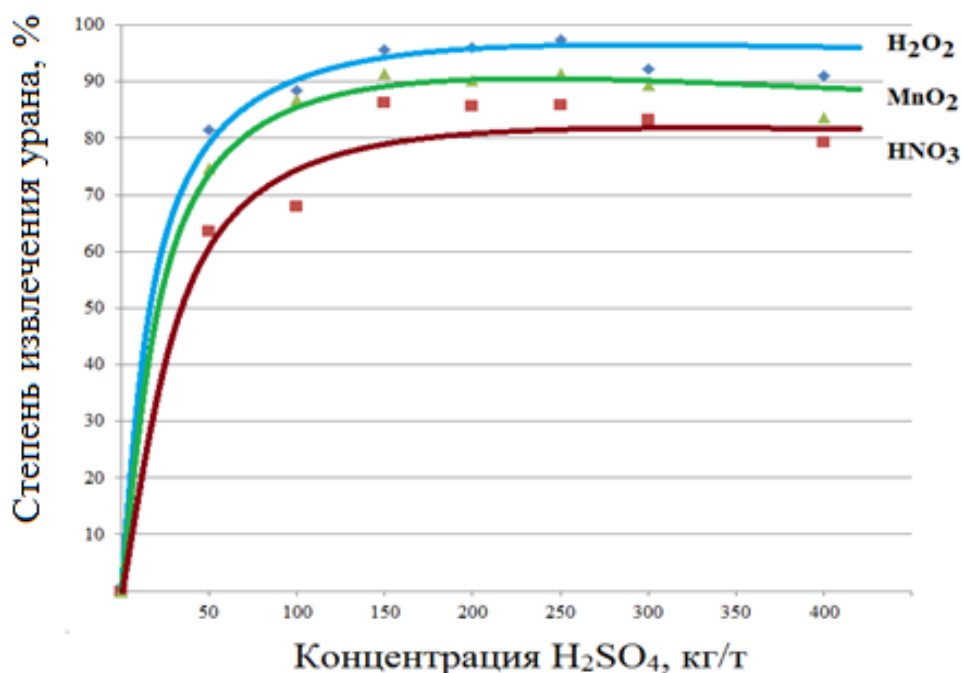


Рисунок 1.19 – Извлечение урана в зависимости от использования различных окислителей и концентрации H_2SO_4 при условиях: тем-ра 60°C, $\tau=4$ ч, $C_{H_2O_2}=50$ л/т, $C_{MnO_2}=50$ кг/т и $C_{HNO_3}=50$ л/т.

На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать заключение, что пероксид водорода по своей окислительной активности в сернокислой среде является лучшим по сравнению с другими активными окислителями - азотной кислотой и пиролюзитом, независимо от pH среды [55].

Кинетические процессы, происходящие при сернокислотном разложении ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан» с активатором – пероксидом водорода, были изучены при следующих условиях разложения: тем-ра 293-353 К, время разложения 6 ч, $C_{H_2SO_4}=150$ кг/т, $C_{H_2O_2}=50$ л/т, Т:Ж=1:2

(рисунок 1.20). Показано, что при увеличении тем-ры от 293 до 353 К и времени разложения от 1 до 6 часов извлечение урана соответственно возрастает. Максимальное извлечение урана происходит в первые 1-2 часа от начала процесса, затем до 4-х часов отмечается равномерное извлечение, которое практически заканчивается к 6-и часам от начала процесса, то есть длительность процесса извлечения урана свыше 6-и часов является не целесообразной и не эффективной [53, 54].

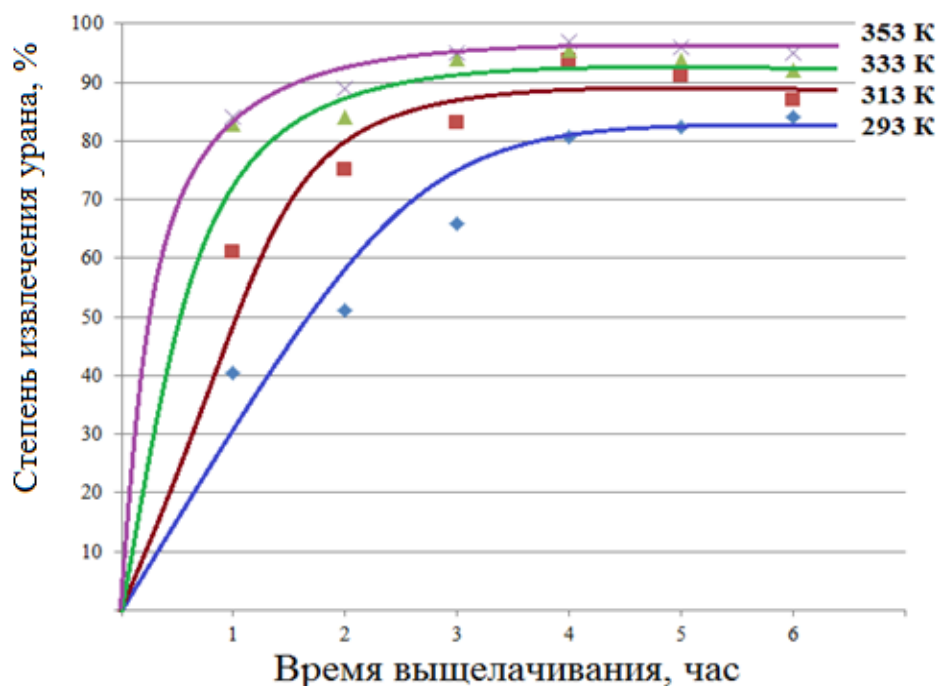


Рисунок 1.20 – Влияние времени и тем-ры процесса на извлечение урана из ураносодержащей руды.

Для процесса разложения ураносодержащей руды построены кинетические кривые линии, описание которых соответствует уравнению первого порядка - $d\alpha/d\tau = K(1-\alpha)$. Преобразовывая это уравнение в виде логарифма, оно приобретает вид: $\lg(1-\alpha) = K \cdot \tau / 2.303$. Далее, используя зависимость $\lg 1/(1-\alpha)$ от времени процесса, были определены константы скоростей протекания этого процесса (рисунок 1.21а). Таким образом, в данном случае применимо уравнение Аррениуса - $\lg K = \lg K_0 - E / 2,303 RT$, описывающее изменение константы скорости процесса от его тем-ры.

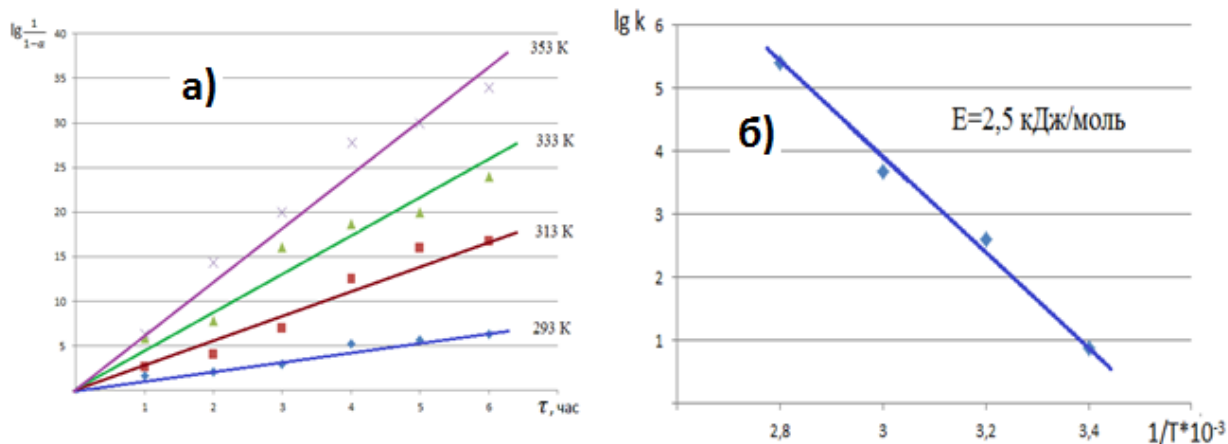


Рисунок 1.21 – Изменение $\lg 1/(1-\alpha)$ от времени процесса (а); изменение $\lg k$ в зависимости от величин обратной абсолютной тем-ры (б).

Как показано на графике рисунка 1.21б, характеризующего зависимость константы скорости от тем-ры, представленной в координатах $\lg k-1/T$, каждая из экспериментально полученных точек располагается практически прямо, образуя, соответственно, прямую линию (рисунок 1.21б). Для наклона этой прямой был вычислен её тангенс в соответствии с выражением: $E = 2,303 R \operatorname{tg} \alpha$ и далее вычислена энергия активации процесса разложения ураносодержащей руды (E), составившая 2.5 кДж/моль, то есть можно сделать заключение о прохождении данного процесса разложения под диффузным контролем (таблица 1.15) [53, 54].

Таблица 1.15 - Кинетические и энергетические параметры разложения ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан» (время разложения 4 ч, Т:Ж=1:2, $C_{H_2SO_4}=150$ кг/т, $C_{H_2O_2}=50$ л/т

Температура разложения, К	Истинная скорость разложения, г/час	Энергия активации, кДж/моль
293	0.11	2.5
313	0.16	
333	0.22	
353	0.23	

Таким образом, на основании исследований определён механизм извлечения уранового концентрата сернокислотным разложением ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан». Кроме того, на основе полученных величин кинетических параметров определён оптимальный режим сернокислотного разложения данных руд с максимальным извлечением из них уранового концентрата [54-57]. Также на основе экспериментальных данных разработана обобщённая технологическая схема по переработке ураносодержащей руды с использованием серной кислоты, состоящая из стадий: рудоподготовка – дробление и измельчение, отмывка водой, разложение серной кислотой, сорбция, десорбция, нейтрализация десорбата, осаждение диураната аммония, фильтрация, получение товарного продукта - жёлтого кека (рисунок 1.22).

Соответственно, из ураносодержащей руды конечный продукт - U_3O_8 получен с использованием методов кислотного разложения, сорбции и осаждения [49-54].

1.3.2. Физико-химические основы переработки урановой руды месторождения «Северный Таджикистан»

Ураносодержащие руды месторождения «Северный Таджикистан» изучены достаточно подробно [4, 12, 19, 58], для них изучены химический и минералогический составы, проведено определение их изотопного состава, исследовано разложение указанных руд карбонатным и кислотными методами.

Для месторождения «Северный Таджикистан», согласно данным, представленным Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН), главными урановыми минералами являются силикаты и титанаты, в очень незначительных количествах присутствуют минералы уранинит и настуран. Ураносодержащая руда этого месторождения также включает такие не урановые минералы, как марганцевые и титановые минералы, рутилы, антимониты, галениты, пириты. Нерудными минералами, входящими в состав указанных

руд, являются карбонаты и кварц. Минералогический состав подтверждается химическим и рентгенофазовым (рисунок 1.23) анализом [4, 19].

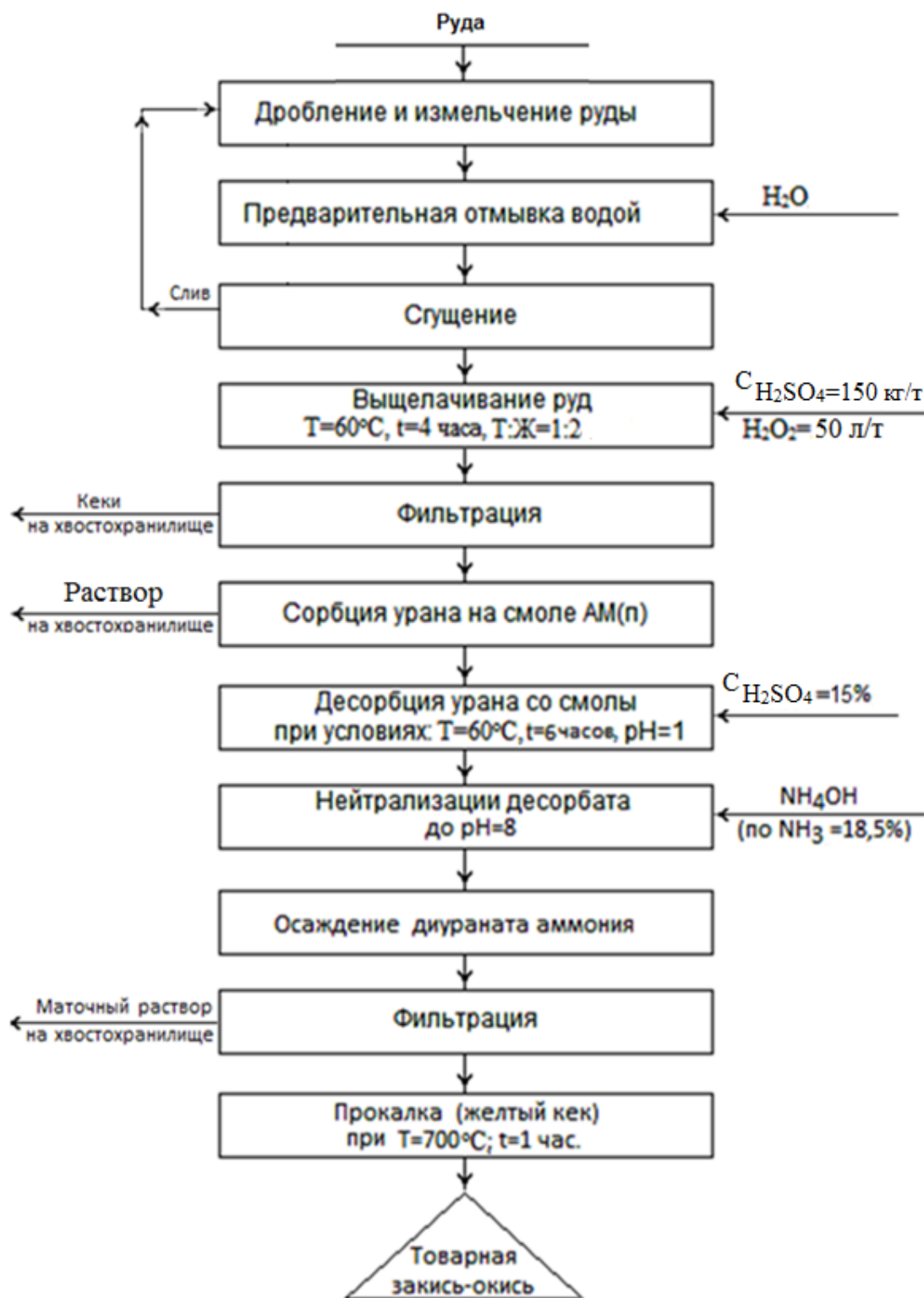


Рисунок 1.22 – Обобщённая технологическая схема сернокислотного метода разложения ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан».

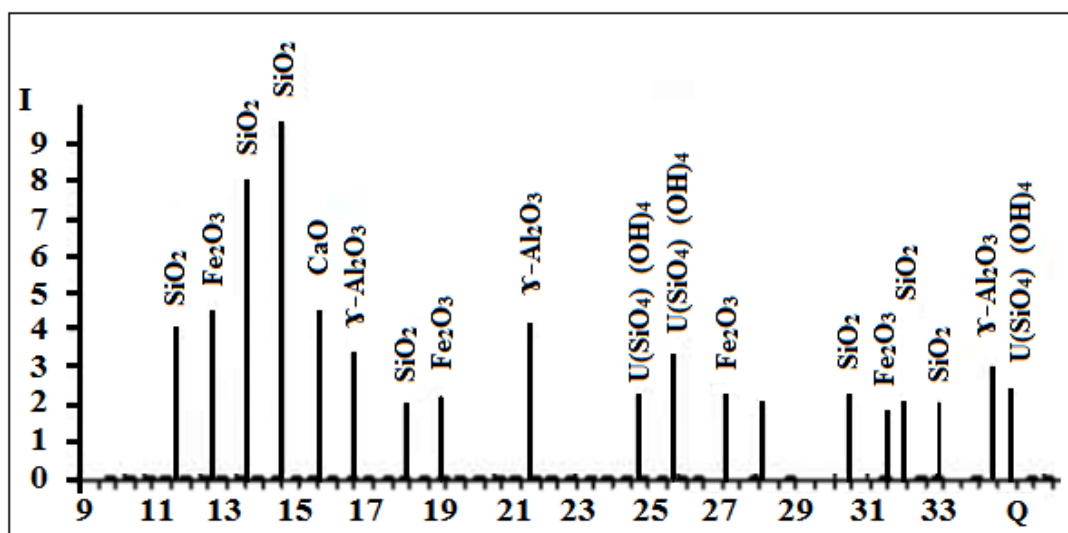


Рисунок 1.23 – Результаты рентгенофазового анализа ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан».

Ураносодержащие руды указанного месторождения являются карбонатными рудами, исходя из этого, руду предварительно промывали водой при тем-ре 20°С в соотношении Т:Ж=1:10 для снижения расходов кислоты, после чего полученные результаты сравнивали с результатами переработки этой руды без предварительной обработки водой. Согласно полученным результатам, после предварительной промывки вскрытие руды происходит на порядок лучше.

Затем ураносодержащая руда разлагалась серной кислотой, которая бралась из расчёта 100-600 килограмм на 1 тонну руды. На этой стадии в процесс вводился окислитель – азотная кислота или оксид марганца. Условия сернокислотного разложения были следующие: тем-ра 60-70°С, $\tau=6$ ч, Т:Ж = 1:2. Полученный в процессе разложения твёрдый остаток промывали водой два раза с соотношением вода:руда = 1:1 [12, 19, 58]. Были получены продуктивные сернокислые ураносодержащие растворы, из которых уран извлекался классическими методами – экстракцией, сорбцией или осаждением.

Для сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан» в [12, 19] изучена кинетика. Показано, что с ростом расхода H_2SO_4 происходит также рост извлечения урана из руды, достигая значительного извлечения в 93.27% (рисунок 1.24).

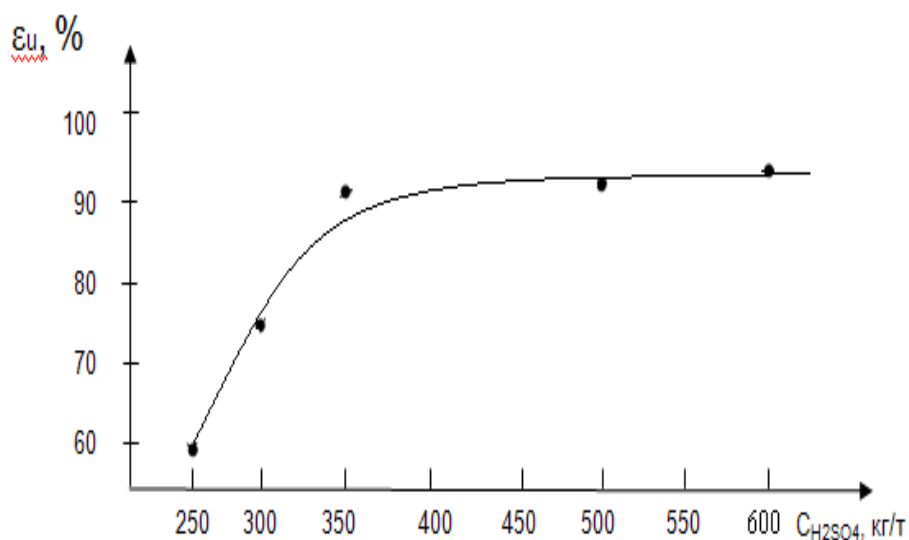


Рисунок 1.24 - Влияние расхода H_2SO_4 на извлечение урана для ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан».

Оптимальное извлечение урана составляет 93.13%, которое достигается при использовании в процессе разложения 30 кг/т азотной кислоты или 350 кг/т серной кислоты, при этом имеются показатели и возможности к снижению расходов кислоты с сохранением оптимального извлечения урана.

Для процесса извлечения урана была вычислена энергия активации (E), равная 5.6 кДж/моль (таблица 1.16), то есть разложение ураносодержащей руды происходит под кинетическим контролем [12, 19].

1.3.3. Физико-химические основы переработки ураносодержащих руд месторождения «Западный Таджикистан»

С учетом того, руда является силикатной, для выщелачивания руды авторы работ [59-65] использовали сернокислотный метод с добавлением азотной кислоты в качестве окислителя.

В результате проведенных опытов рекомендуются следующие оптимальные условия разложения руды серной кислотой: температура кислотного разложения 80°C, продолжительность процесса 1 час, концентрация кислоты 30%. Степень извлечения урана, согласно полученным в [65] данным равна 88.2%.

Таблица 1.16 – Зависимость кинетических и энергетических параметров от расхода H_2SO_4 при разложении ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан»

Расход кислоты при выщелачивании, кг/т	Температура выщелачивания, К	Истинная скорость выщелачивания, %/час	Энергия активации, кДж/моль
150	293	1.15	5.6
	313	1.19	
	333	1.23	
200	293	1.38	4.6
	313	1.60	
	333	1.73	
250	293	0.97	4.4
	313	1.00	
	333	1.07	
300	293	1.19	4.0
	313	1.23	
	333	1.27	
350	293	0.81	3.8
	313	0.90	
	333	0.93	
400	293	1.04	3.4
	313	1.07	
	333	1.23	

Была исследована кинетика разложения ураносодержащей руды в диапазоне тем-ры от 293 до 363 К, также в широком интервале времени разложения руды – от 15 минут до 1.5 ч. Проведено построение кинетических кривых линий данного процесса (рисунок 1.25), из рисунка 1.25 видна зависимость между извлечением урана и увеличением тем-ры процесса и временем разложения ураносодержащей

руды. Соответственно, чем выше тем-ра разложения и больше времени протекает процесс, тем выше из руды извлекается урана. Определено, что максимальное извлечение происходит при 60-минутном разложении руды.

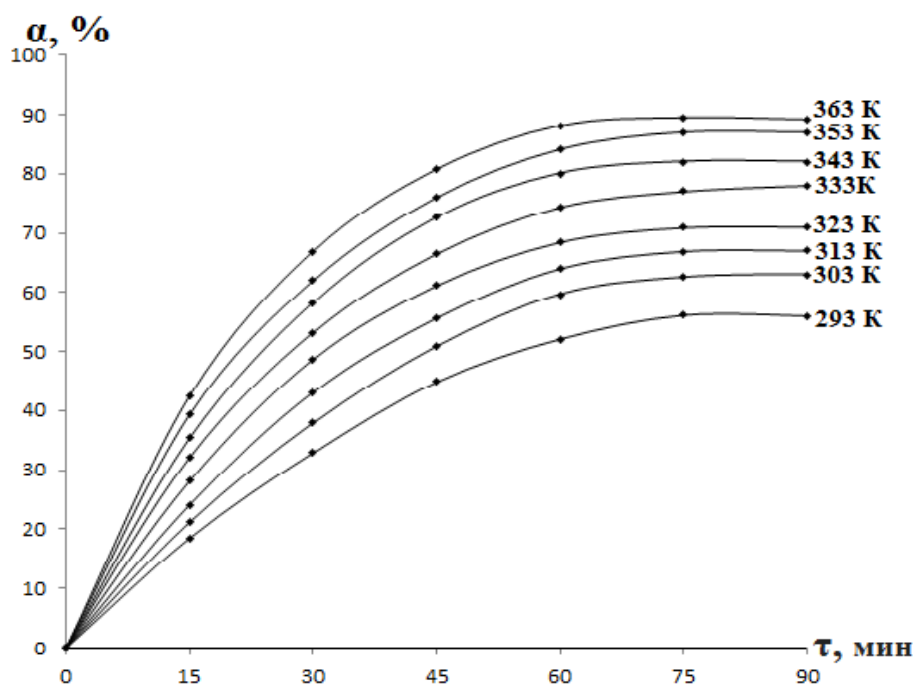


Рисунок 1.25 – Влияние тем-ры процесса и времени разложения на извлечение урана из ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан».

Используя зависимость $\lg 1/(1-\alpha)$ от времени процесса, были определены константы скоростей протекания этого процесса (рисунок 1.26). Как показано на графике рисунка 1.27, характеризующего зависимость константы скорости от температуры, представленной в координатах $\lg K-1/T$, каждая из экспериментально полученных точек располагается практически прямо, образуя, соответственно, прямую линию. Для наклона этой прямой был вычислен её тангенс в соответствии с выражением: $E = 2.303 R \operatorname{tg} \alpha$ и далее вычислена энергия активации процесса разложения ураносодержащей руды (E), составившая 14.11 кДж/моль, то есть можно сделать заключение о прохождении данного процесса разложения под диффузным контролем. Проведенные исследования и расчетные значения кинетических характеристик позволяют выбрать оптимальный режим протекания процесса разложения ураносодержащей руды.

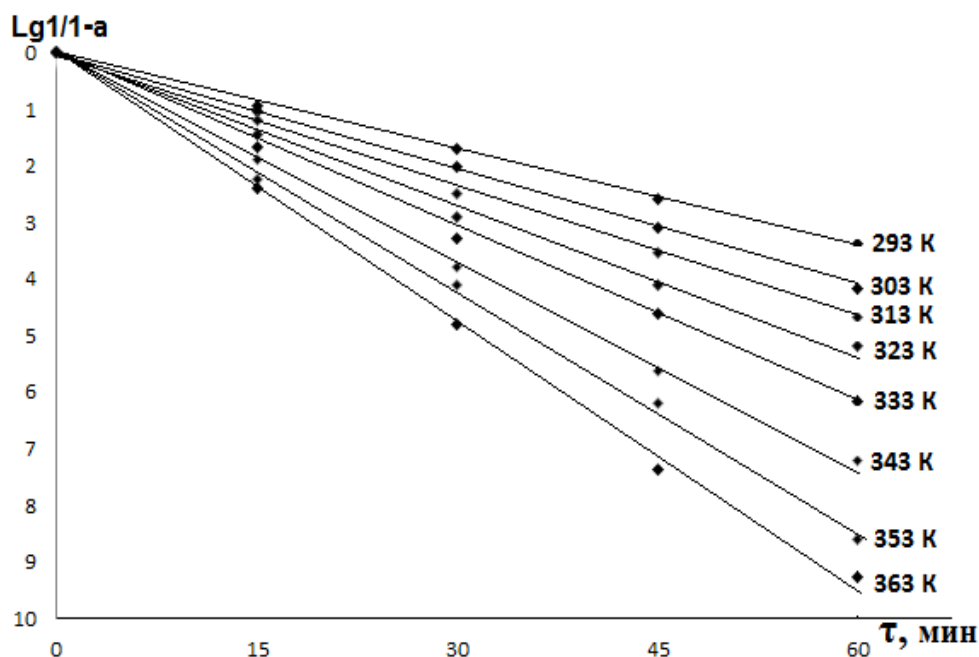


Рисунок 1.26 - Изменение $\lg 1/(1-\alpha)$ от времени процесса разложения урано-содержащей руды.

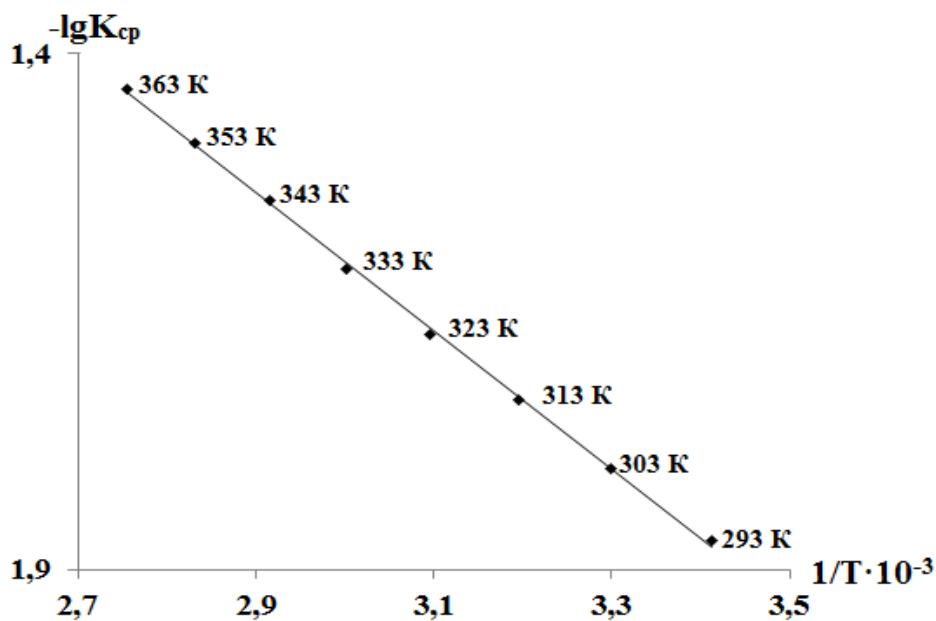


Рисунок 1.27 - Изменение $\lg K$ в зависимости от величин обратной абсолютной тем-ры при разложении ураносодержащей руды.

Соответственно, на основе экспериментальных данных разработана обобщённая технологическая схема по переработке ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан» с получением конечного продукта - U_3O_8 , схема

включает несколько основных стадий - рудоподготовка – дробление и измельчение, окисление и разложение руды кислотами, фильтрация, сорбция на сорбент (активированный уголь), обжиг насыщенного ураном термообработанного угля, разложение огарков серной кислотой и окислителем, фильтрация, осаждение, получение товарного продукта - U_3O_8 (рисунок 1.28) [59, 65].

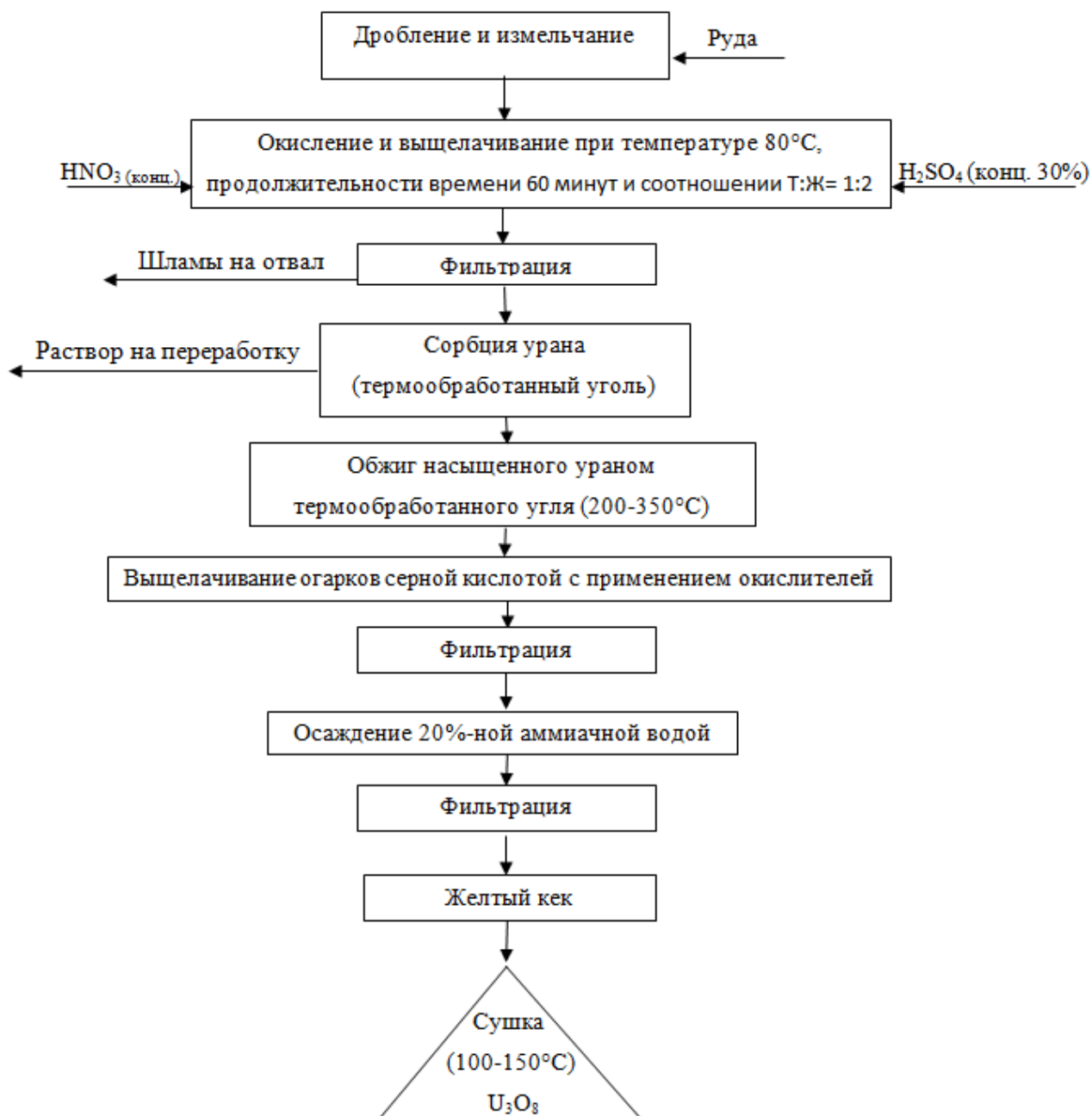


Рисунок 1.28 – Обобщённая технологическая схема по переработке урано-содержащей руды месторождения «Северный Таджикистан».

1.3.4. Физико-химические основы получения концентрата урана из супесчаных почв Таджикистана

Перспективным направлением является изучение супесчаных почв урановых рудников с целью извлечения из них уранового концентрата. Авторами [19, 66-71] исследованы физико-химические основы формирования указанных почв, выявлено значение различных почвообразующих минералов в транспортировке и накоплении урана в ураносодержащих рудообразующих породах. Определены закономерности, согласно которым уран распределяется по геохимическим фракциям в почвенном покрове и донных отложениях. Определено также, что в наземных экологических системах ионы UO_2^{+2} обладают сильной миграционной способностью.

Для извлечения урана из супесчаных почв исследована кинетика данного процесса. После получения кинетических кривых линий данного процесса вычислена величина энергии активации ($E=16$ кДж/моль), то есть извлечение урана из супесчаных почв протекает под диффузным контролем.

Также проведена разработка обобщённой технологической схемы по переработке ураносодержащих супесчаных почв, в которой использовался сорбционный метод. Сорбентом в данном случае авторы использовали смолу АМ(п) – анионит – макропористую анионообменную смолу (рисунок 1.29) [66].

1.4. Заключение по литобзору и задачи настоящей работы

В обзоре литературы приведены общие методы переработки урановых руд и отходов. Подробно анализированы физико-химические основы по переработке ураносодержащих отходов, а также технологические основы получения урана из указанных отходов. Эффективность и перспективность вторичной переработки ураносодержащих отходов показана на примере отдельных хвостохранилищ, территориально расположенных в Согдийской области РТ. Для Гафуровского хвостохранилища, в частности, показана перспективность переработки ураносодержащих отходов с содержаниями 0.03-0.51%, разработаны эффективные усовершенствованные схемы их переработки, в которых из процесса удалены несколько

стадий - дробление, измельчение, сгущение, сорбция и десорбция, что значительно сокращает время переработки и материальные потоки. В разработанных обобщённых схемах достигается высокое извлечение уранового концентрата - более 90% [8-10].

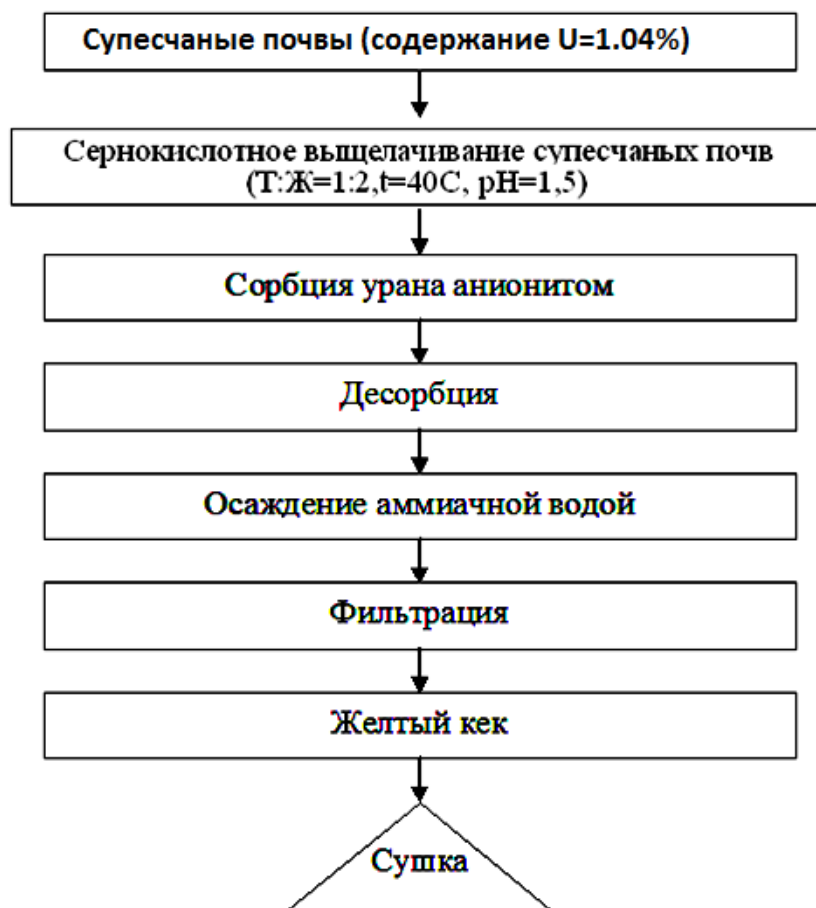


Рисунок 1.29 – Обобщённая технологическая схема получения уранового концентрата из ураносодержащих супесчаных почв.

Перспективными для вторичной переработки также являются отходы хвостохранилища «Карта 1-9» г. Бустон. Для этих отходов найдены оптимальные параметры переработки, определены кинетические и энергетические параметры разложения отходов серной кислотой [12-18].

Для отходов г. Истиклол найдено несколько методов переработки. Найдены оптимальные параметры выделения U_3O_8 путём выщелачивания хвостов из Фабрики бедных руд [21-25].

В литературном обзоре приведены результаты переработки урановых отходов хвостохранилища Дигмай [26-36].

Особое место в литературном обзоре отводится физико-химическим основам извлечения уранового концентрата из технических и дренажных вод [31-44].

В работах [45, 46] описан процесс переработки технических вод месторождения Киик-Тал с извлечением из них урана на пилотной установке. Для сорбции урана были применены сорбенты на основе местных сырьевых материалов (из скорлупы грецких орехов, скорлупы косточки урюка и других), которые в значительных количествах имеются в Таджикистане, являясь отходом пищевой промышленности.

Выделение урана из рассолов рапы озера Сасык-Куль приведены в работах [19, 47]. Авторами указанных работ предложена обобщённая технологическая схема по извлечению концентрата урана концентратов из ураносодержащих рассолов озера Сасык-Куль (рапы).

Извлечение уранового концентрата из ураносодержащих руд Таджикистана с изучением физико-химических основ процессов извлечения приведено в работах [49-53]. В [49, 54] проведено изучение кинетических и энергетических параметров разложения ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан». Разработана обобщённая технологическая схема по переработке ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан» серноокислотным способом.

Физико-химические основы разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан» изучены в работах [4, 12, 19, 28]. Установлен изотопный состав руды, изучен процесс разложения руды карбонатным и кислотными методами.

В работах [59-65] приведены основы переработки ураносодержащих руд месторождения «Западный Таджикистан». На основании полученных данных проведена разработка обобщённой технологической схемы для извлечения из ураносодержащей руды месторождения «Западный Таджикистан» закиси-окиси урана - U_3O_8 . В схеме основными стадиями переработки являются: рудоподготов-

ка – дробление и измельчение, окисление и разложение руды кислотами, фильтрация, сорбция на сорбент (активированный уголь), обжиг насыщенного ураном термообработанного угля, разложение огарков серной кислотой и окислителем, фильтрация, осаждение, получение товарного продукта - U_3O_8 [59, 65].

В литературном обзоре приведены также результаты извлечения из урано-содержащих супесчаных почв концентрата урана [66-71].

Как видно из обзора, в литературе имеются определенные разработки по отходам и урановым рудам Таджикистана. В литературе отсутствуют материалы по переработке отходов хвостохранилища Адрасман и месторождения «Северный Таджикистан» («Октябрьское»). Поэтому в настоящей работе приведены результаты переработки отходов хвостохранилища Адрасман и месторождения «Северный Таджикистан».

В работе исследованы и решены следующие задачи:

- обоснование задач по целесообразности выделения из руд и отходов урана закиси-окиси урана U_3O_8 ;
- технологические особенности выделения из отходов хвостохранилища Адрасман уранового концентрата;
- термодинамические и кинетические исследования протекания процессов для ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан»;
- определены оптимальные параметры технологического процесса извлечения концентрата урана из ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан».

ГЛАВА 2. ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ДТА, РФА

2.1. Обращение с отходами урановой промышленности и урановыми рудами

Изучение современной радиологической обстановки на площадках уранового наследия Таджикистана, в частности, хвостохранилище Адрасман, является важной актуальной задачей.

Всё минеральное сырьё и материалы содержат радионуклиды природного происхождения, из которых наиболее важными для целей радиационной защиты являются радионуклиды ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K [107-110].

Для большинства видов деятельности человека, связанных с минеральным сырьём и материалами, уровни воздействия этих радионуклидов не значительно превышают нормальные уровни фона. Такие облучения не являются проблемой радиационной защиты. Тем не менее, определённые виды работ могут привести к значительному усилению воздействия, которое, возможно, необходимо будет регулировать. Материал, дающий начало этим усиленным воздействиям, стал известен, как природные радионуклиды (ПРН).

Горнодобывающая промышленность является одной из основных фундаментальных отраслей экономики Республики Таджикистана. Однако при этой деятельности вместе с добытым сырьём на поверхность из недр земли происходит вынос огромного количества природных радионуклидов, которые в виде примесей находятся во всех видах минерального сырья. На протяжении последних 20 лет вопросы, касающиеся контроля этих природных радионуклидов, обсуждаются в документах Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), как на международном, так и на национальном и региональном уровнях [111-114], также являются важным вопросом при проведении регулярных международных конференций [115, 116].

В целях оценки воздействия бывших и действующих горнодобывающих предприятий на окружающую среду и оказания помощи в решении проблем экологии, в последние годы в Таджикистане стартовал ряд международных проектов.

Имеющиеся в настоящее время в Таджикистане проблемы радиологического и экологического характера представляют собой наследие бывшего Советского Союза, когда интенсивно развивались уранодобывающая и ураноперерабатывающая отрасли промышленности. После распада СССР эксплуатация большей части ураносодержащих месторождений в Таджикистане прекратилась. Однако после прекращения деятельности основных рудников Таджикистан почти одновременно столкнулся с рядом серьёзных проблем – это проблемы закрытия шахт, безопасного управления ураносодержащими отходами, необходимостью рекультивации территорий, на которых ранее проводилась деятельность по добыче ураносодержащих руд и их переработка.

В Республике Таджикистан, таким образом, в хвостохранилищах бывших урановых производств накопилось значительное количество ураносодержащих отходов, которое, по разным оценкам составляет примерно 55 миллионов тонн, а их суммарная активность находится в пределах 240-285 ТБк. Поля отвалов бывших урановых производств не организованы, их площади и количество отходов в них точно не определены. В настоящее время практически все хвостохранилища и отвальные поля характеризуются активными эрозионными процессами, радионуклиды с них дренируют в прилегающие саи (временные водотоки) и подземные воды [117, 118].

Отвалы уранодобывающих производств и хвостохранилища, расположенные в городе Истиклол и посёлке Адрасман, вблизи города Бустон, а также хвостохранилище Дигмай имеют неудовлетворительное состояние. Здесь происходит значительное рассеивание хвостового материала и загрязняющих веществ за пределы их основного местонахождения, что является значительным риском для населения, которое проживает поблизости этих объектов. Распространение радиоактивного загрязнения с поверхности отвалов и хвостохранилищ происходит в связи с отсутствием на этих объектах защитных покрытий и поверхности хвостохранилищ и отвалов подвергаются разрушительным действиям природных факторов, а также проблему создают роющие животные.

Проблему представляет также использование населением дренажных вод, которые вытекают из-под хвостохранилищ, для полива местных огородов и садов, расположенных в непосредственной близости от мест накопления отходов уранодобывающих производств. На участках выклинивания дренажных вод происходит выпас и водопой домашних животных. Также проблемой является незаконный сбор цветных металлов населением и их нелегальная реализация на местных рынках, участились случаи экспорта загрязнённых металлов в другие страны.

В настоящее время единственное функционирующее предприятие в Таджикистане, сохранившее потенциал для переработки ураносодержащих руд, для переработки кислотных ураносодержащих растворов после химического выщелачивания – это Государственное унитарное предприятие «Таджикские редкие металлы», у этой компании также на балансе находятся 10 объектов, содержащих отходы уранового производства (это отвалы от переработки урановой руды и хвостохранилища).

Важным шагом на пути к улучшению ситуации по обращению с радиоактивными отходами явилось принятие Национальной концепции по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2014-2024 годы. Данная концепция определила приоритет реабилитационных работ на хвостохранилищах Согдийской области. Так, в концепции первостепенной задачей указана реабилитация хвостохранилища в городе Истиклол, затем реабилитация Дигмайского хвостохранилища и забалансовых ураносодержащих руд и шахтных вод в городе Худжанд на правом берегу реки Сырдарья.

Международные доноры - Европейский союз, СНГ, МАГАТЭ запустили в действие программы и проекты по снижению негативных последствий, связанных с обращением с радиоактивными отходами. Ниже приводятся характеристики хвостохранилищ, расположенных в Согдийской области Таджикистана.

Хвостохранилище Дигмай – период эксплуатации 1963-1993 годы. Территориально находится в Гафуровском районе Согдийской области Таджикистана. Расположено на Дигмайской возвышенности с седловиной и чашеобразным углублением, расстояние до ближайшего населённого пункта – пос. Гузиён со-

ставляет всего 1.5 километра, расстояние до г. Худжанд – около 10 километров. Является самым крупным хвостохранилищем ураносодержащих отходов в Центрально-Азиатском регионе. Площадь Дигмайского хвостохранилища более 90 гектаров, в нём складированы следующие радиоактивные отходы: 500 тысяч тонн забалансовых ураносодержащих руд, вой руды, 20 миллионов тонн ураносодержащих отходов, 5.7 миллионов тонн ванадийсодержащих отходов от ванадиевого производства, общая активность хвостохранилища составляет 16 тысяч ГБк. Защитная насыпь на теле хвостохранилища выполнена всего на 83%. На одной из сторон хвостохранилища была построена насыпь, длина которой 1800 метров и высота 35 метров, создавшая ёмкость хвостохранилища в виде естественной седловины.

До середины 1990-х годов тело хвостохранилища было частично покрыто водой, которая постепенно высохла к 2000 году, и на поверхности хвостохранилища произошло формирование такыров-оврагов - трещин глубиной до 2-4 м и глубиной 30-80 см, вследствие чего из тела хвостохранилища увеличилась эксхалляция радона и увеличилась вероятность ветрового пыления с поверхности и эрозии.

На поверхности Дигмайского хвостохранилища в 2016-2018 годы были измерены дозы мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, которые оказались высокими, составив в среднем 2.5-18.0 мкЗв/ч, которые значительно превышают безопасные уровни для свободного доступа людей.

На территории хвостохранилища Дигмай выявлены техногенно повышенные содержания по сравнению с естественным фоном таких радионуклидов, как изотопов радия-226, урана-238, тория-230, а также продуктов их распада. Результаты анализа состава хвостового материала на различных участках Дигмайского хвостохранилища обобщены в таблице 2.1.

В соответствии с принятой в Таджикистане классификацией твёрдых радиоактивных отходов по уровням радиоактивных загрязнений, хвостовой материал Дигмайского хвостохранилища требует регулирующего контроля, так как отно-

сится к низкоактивным отходам по альфа-активности техногенно повышенных концентраций естественных радионуклидов [119].

Таблица 2.1 - Активность естественных радионуклидов в пробах почвы Дигмайского хвостохранилища (в (Бк/кг))

Место отбора пробы	^{238}U	^{226}Ra	^{230}Th
1	980±100	7620±580	15600±1700
2	820±80	7220±570	11165±1240

Хвостохранилище в г. Истиклол – было создано в 1926 году и функционировало в период 1944-1965 годов, когда проводилась активная деятельность по добыче ураносодержащей руды. Это хвостохранилище является одним из крупнейших на территории стран СНГ.

Город Истиклол с населением около 12 тыс. жителей находится всего на расстоянии 0.5-4.0 километра от хвостохранилища Истиклол. Хвостохранилище включает не законсервированный карьер, открытую шахту, три хвостохранилища, а также демонтированные промышленные здания. В целом здесь хранится более 15 миллионов тонн ураносодержащих отходов после переработки урановых руд после кислотной экстракции. Здесь складированы отходы от деятельности 4-х гидрометаллургических предприятий, и в целом общая площадь хвостохранилищ Истиклол занимает площадь около 54 гектаров, общее количество ураносодержащих отходов здесь составляет примерно 7.6 миллионов тонн [1-3].

Отвалы ураносодержащих забалансовых руд и пустой породы были образованы в основном от колодцев и карьеров, в которых добывалась ураносодержащая руда. Соответственно, поверхность хвостохранилищ сверху была засыпана указанными забалансовыми рудами и материалом отвалов. На отвалах величины мощности доз гамма-излучения составляли 0.4-0.7 мкЗв/ч, значительно увеличиваясь на отвалах забалансовых руд, достигая величин 3.0-4.0 мкЗв/ч.

Помимо рудников, в окрестностях города Истиклол и затопленного в настоящее время водой карьера глубиной до 50 метров, складированы ураносодержащие отходы «Фабрики бедных руд». Данное хранилище радиоактивных отходов

представляет собой высокую насыпь измельчённого светло-жёлтого хвостового материала, предназначенного для дальнейшей возможной вторичной переработки. Однако уже в течение более 40 лет ураносодержащие отходы «Фабрики бедных руд» являются открытыми, и на них происходит ветровая и водная эрозия. Уровень гамма-фона на поверхности отвала 1.0-1.5 мкЗв/ч. В местах, где накапливался смытый материал с поверхности отвала в результате эрозии, мощность дозы гамма-излучения составляет 2.2-2.7 мкЗв/ч и выше.

В настоящее время идёт рекультивация «Фабрики бедных руд» при финансовой поддержке Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» Российской Федерации. Отходы будут покрыты стандартными слоями глины, гальки и плодородной почвы.

Кроме отходов урановой промышленности, нами анализированы отходы, загрязнённые природными радионуклидами на других не урановых предприятиях республики – это предприятия, которые могут образовывать отходы с высокими концентрациями природных радионуклидов, сюда можно отнести предприятия, которые добывают или перерабатывают минеральное сырьё на территории Таджикистана – это горнодобывающие предприятия; фабрики по обогащению минерального сырья; предприятия, связанные с использованием природных минеральных вод; по добыче и сжиганию природного угля, предприятия пылевого водоснабжения и другие [120].

Соответственно, в каждой отрасли народного хозяйства происходит накопление отходов промышленных предприятий, отличающихся своими характерными особенностями, эти особенности определяются в добываемых или используемых материалах наряду с удельной активностью природных радионуклидов.

Радиоэкологический мониторинг осуществляется согласно [121] с использованием широкого спектра радиометрических измерений на многочисленных месторождениях цветных и редких металлов, золотоносных руд, неметаллических минералов (дамбуритов, фосфоритов и др.) и различных стройматериалов [122]. В рудных месторождениях, перерабатываемых в республике, природные радионуклиды присутствуют в виде примесных компонентов к основным минералам,

так и в самостоятельном виде. Элементы уранового и ториевого рядов широко развиты во многих вмещающих породах, они находятся в составе россыпных акцессорных минералов, включая золотиносные.

Для определения содержания природных радионуклидов используется метод гамма-спектрометрии. Показано, что в некоторых рудах Таджикистана содержания природных радионуклидов являются очень низкими. Низкие их содержания, а также присутствие в рудах элементов уран-ториевого ряда объясняются тем, что на территории Таджикистана геологические комплексы имеют различный возраст - начиная от кристаллических пород, сформировавшихся в архейский период до современных россыпей. После переработки на предприятиях республики минеральных руд, в отходах и шламах содержания природных нуклидов очень низкие, и дальнейшая добыча их в месторождениях и переработка на перерабатывающих предприятиях может проводиться без ограничений радиационной безопасности.

За последние годы в Республике Таджикистан разработаны законы и нормативно-правовые акты, позволившие создать нормативно-правовую базу обращения с радиоактивными отходами, урегулировать обращение с источниками ионизирующих излучений и ограничить облучение населения вследствие природных нуклидов.

Основными нормативными документами, в которых определяются требования по нормированию и снижению облучения работников и населения от природных источников ионизирующего излучения, являются «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-06) и «Правила обеспечения радиационной безопасности» (ПОРБ-08). Согласно статье 4.1.1 ПОРБ-08, рудодобывающие и рудоперерабатывающие предприятия с целью извлечения из них природных нуклидов, соответственно, организации, в которых используются эти нуклиды, являются предприятиями, работающими с техногенными источниками излучения.

К такому типу практической деятельности отнесена добыча, обогащение и переработка ураносодержащих руд. Соответственно, в международных правилах и рекомендациях, в нормативно-правовых документах, которые распространяются

на функционирующие предприятия по добыче и переработке ураносодержащих руд, а также на население, которое проживает в близлежащих районах от этих предприятий, устанавливаются предельно-допустимые дозовые нагрузки от искусственного техногенного облучения [123].

К естественному облучению относят облучение населения, проживающего на территориях, где расположены объекты уранового наследия, а также хвостохранилища и ураносодержащие отвалы, образовавшиеся после добычи ураносодержащих руд и извлечения из них урановых концентратов.

Согласно статье 5.3.1 НРБ-06, допустимые значения эффективных доз от суммарного облучения от естественных источников излучения, не устанавливаются для населения. Для населения рекомендовано снижение эффективных доз облучения за счёт установления ограничений от отдельных естественных источников излучения.

Нормами ПОРБ-08 установлено, что требования, направленные на обеспечение радиационной защиты населения распространяются на регулируемые природные источники ионизирующих излучений: изотопы радона и продукты их радиоактивного распада, содержащиеся в воздушной среде зданий и помещений; гамма-излучение от естественных нуклидов, содержащихся в стройматериалах; естественные радионуклиды, содержащиеся в питьевых водах, минеральных удобрениях, а также в продуктах, изготовленных из минеральных материалов и минерального сырья с содержаниями природных радионуклидов.

Меры по снижению облучения от природных источников радиации должны осуществляться в приоритетном порядке для групп населения, которые получают высокие дозы облучения, установленные как >10 мЗв/год.

При обращении с промышленными отходами с содержаниями природных радионуклидов разработаны различные варианты их складирования, утилизации и способы снижения их радиологического воздействия на природную окружающую среду и население. Бесконтрольное внесение таких отходов в почву, их размещение рядом с жилыми домами может привести к попаданию радона в здания и помещения, вызывать дополнительное внешнее облучение населения, природные

радионуклиды могут попадать в почву, а затем в сельскохозяйственную продукцию и далее в организмы людей.

В зависимости от величин эффективных удельных активностей естественных радионуклидов ($A_{\text{эфф.}}$) в промышленных отходах, содержащих только естественные радионуклиды, их разделяют на несколько категорий.

Обращение в производственных условиях с промышленными отходами - сбор, временное хранение, переработка, транспортировка – не ограничиваются радиационным фактором.

Промышленные отходы, имеющие по естественным радионуклидам эффективную удельную активность ниже 1500 Бк/кг, должны направляться на захоронение на промышленные полигоны захоронения без ограничений по радиационному фактору.

Промышленные отходы, имеющие по естественным радионуклидам эффективную удельную активность выше 1500 и до предела 10 000 Бк/кг, должны направляться в места их захоронения на территории, специально отведённые для захоронения промышленных отходов. Соответственно, при этом дозы облучения критических групп населения, проживающих на близлежащих территориях не должны превышать в течение 1 года 0.1 мЗв.

Порядок, условия и способы захоронения или утилизации этих промышленных отходов должны быть установлены органами местного самоуправления и опираться на природоохранные законы и природоохранные нормативно-правовые акты. Выбор территорий захоронения промышленных отходов, категорий отходов, систем инженерных технических барьеров и естественных преград для ограничения миграции радионуклидов в природную окружающую среду из мест захоронения должны быть по каждому пункту обоснованы в проектной документации на их захоронение.

Обращение с промышленными отходами III категории, имеющими эффективную удельную активность по природным радионуклидам более 10 000 Бк/кг, осуществляется в соответствии с требованиями обращения с низкоактивными отходами.

Переработкой промышленных отходов, содержащих только естественные радионуклиды, с целью извлечения полезных компонентов считается обращение с минеральным сырьём и материалами с повышенными концентрациями естественных радионуклидов.

Обеспечение радиологической безопасности при использовании металлических отходов с повышенными концентрациями естественных радионуклидов (металлолома) необходимо осуществлять на основании правил, норм и требований «Требования к обеспечению радиологической безопасности при сборе (заготовке) металлолома и лома черных, цветных металлов» - НП 03.004-11.

Перевозка промышленных отходов с повышенными концентрациями естественных радионуклидов с эффективными удельными активностями более 10 000 Бк/кг должна осуществляться согласно требованиям нормативного документа - «Правила безопасности при перевозке радиоактивных материалов».

На основе анализа законодательных документов, информации и материалов международных изданий сделано заключение, что одна из основных задач в области сохранения окружающей природной среды и здоровья населения - это сокращение количеств отходов производств с содержаниями естественных радионуклидов через их повторное использование, утилизацию, включая при необходимости их разбавление, а также снижение степени их опасности.

Анализ отходов урановой промышленности показывает, что Адрасманское хвостохранилище занимает особое место среди других хвостохранилищ. Здесь наблюдается разнообразие уранового наследия. Адрасманское хвостохранилище содержит до 200 тысяч тонн отходов. Содержание урана в хвостохранилище – до 0.05%. Шесть хвостохранилищ, которые расположены вокруг одноимённого посёлка, было решено объединить в одно хвостохранилище, которое было засыпано слоем 0.7-0.1 м забалансовых руд действующей свинцово-цинковой фабрики (1990-1991 гг.).

Хвостохранилище Адрасман находится над месторождением Большой Конимансур и поэтому вторичная переработка отходов этого хвостохранилища име-

ет особое значение, и в настоящей работе дана оценка вторичной переработке указанных отходов.

2.2. Методология и методика эксперимента при переработке урановых руд и отходов

Как известно, в методологическом плане первым этапом научной работы является теоретический анализ объекта исследования.

Предварительно были изучены объекты отходов урановой промышленности и урановых руд. Были выбраны наиболее не изученные объекты – отходы и сырьё. Были сопоставлены литературные данные с новым объектом исследования: урановыми рудами месторождения «Северный Таджикистан - 2». («Октябрьское») и отходами хвостохранилища Адрасман. Был проведён предварительный теоретический анализ возможности переработки сырья серной кислотой в присутствии окислителей.

Известно, что экспериментальные методы – это проверка тех или иных гипотез, результаты которых имеют выход на практику. Собранная информация по переработке руд и отходов показывает целесообразность переработки отходов хвостохранилища Адрасман и ураносодержащих руд месторождения «Северный Таджикистан - 2».

Для методики эксперимента по минеральному сырью особое значение имеет установление химического и минералогического состава руды, нахождение закономерностей миграции урана.

При постановке задач были изучены работы по переработке отходов и руд в различных организациях Таджикистана: ГУП «Таджикредмет», Институте химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана, Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана и др. Нами была разработана структура планирования эксперимента, анализа параллельных образцов и объектов. Были найдены области чистоты эксперимента и эффективности проведения работ.

На каждом этапе работы были составлены программы и календарные планы эксперимента, обобщения и выводы. Опорной точкой для каждого этапа работ служило составление заключения и выводов на данном этапе работы.

Предметом эксперимента по исследованию сырья и отходов служило нахождение оптимальных параметров переработки объекта (температура, продолжительность процесса, концентрация кислоты и др.).

Протекание процесса выщелачивания контролировалось различными параметрами на начальном, промежуточном и конечном этапах.

Технику экспериментальной работы по урану и отходам урановой промышленности соблюдали по традиционным методикам и мерам безопасности при работе с радиоактивными веществами. При этом были разработаны требования по обеспечению радиационной безопасности (РБ), установлены нормы, правила и инструкции по РТ. На всех этапах работы были выполнены все требования НРБ.

При проведении экспериментов использовали средства индивидуального дозиметрического контроля и средства индивидуальной защиты. Все работы по отбору проб и их анализу выполняли в защитных боксах с соблюдением мер безопасности. Необходимо указать, что защита от радиоактивного облучения расстоянием, временем и количеством носит универсальный характер и в полной мере относится ко всем видам работ с радиоактивными веществами.

При работе с радиоактивными веществами были использованы различные защитные экраны и манипуляторы.

Химический анализ.

При определении химико-минералогических составов ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов урановых производств были использованы следующие методы химического анализа:

- пламенная фотометрия – для определения щелочных и щёлочноземельных металлов;
- комплексометрия - при определении алюминия;
- спектрометрия;
- весовой метод анализа.

Метод пламенной фотометрии.

Пламенная фотометрия — один из видов спектрального анализа, в основе которого лежит непосредственное измерение в анализируемых пробах интенсивности излучения, пробы вводятся в пламя, которое является источником возбуждения. Значения, которые получают после проведения фотометрических измерений, находятся в непосредственной зависимости от содержания в анализируемых пробах определяемых элементов. Фотометрические измерения проводятся с использованием соответствующего оборудования, основными узлами которого являются источник света (пламя) и система, производящая измерение радиации. Комплект такого оборудования называется пламенным фотометром.

Сущностью метода пламенной фотометрии является следующее: исследуемый раствор сжатым воздухом эжектируется, при этом кислород воздуха является окислителем, далее направляется параллельно со светильным газом в смеситель и образует пламя горелки. Схематично прибор представлен на рисунке 2.1. При пламенно-фотометрическом определении содержания ионов натрия, кальция и других щелочных металлов строится градуировочный график, приведённый на рисунке 2.2.

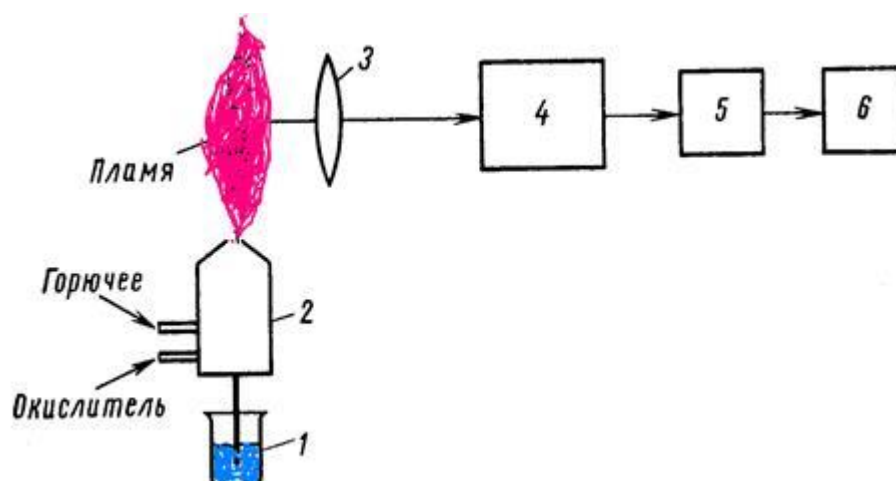


Рисунок 2.1 - Схема фотометра пламени: 1 - анализируемый раствор, 2 – горелка со смесителем, 3 - линза, 4 – световой фильтр, 5 - фотоэлемент, 6 – микроамперметр.

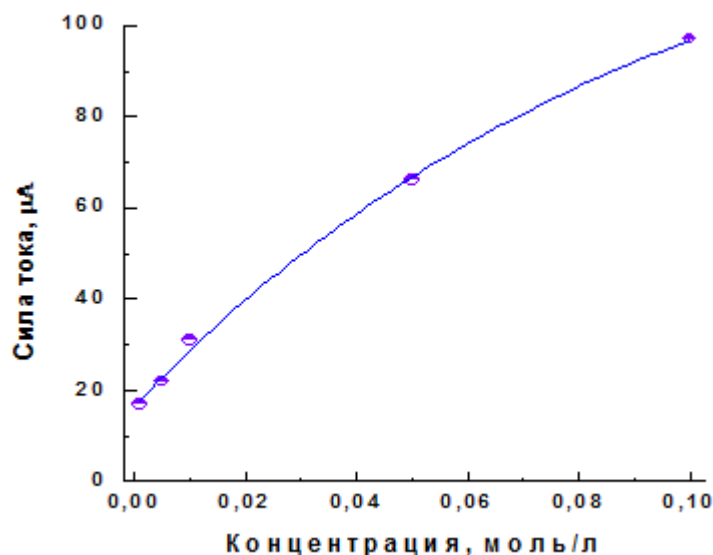


Рисунок 2.2 – Построение градуировочного графика при пламенно-фотометрическом определении содержания ионов Na, Ca и других щелочных металлов.

В пламени происходят последовательные процессы: испарение из раствора воды, превращение в газы твёрдых частиц, распыление твёрдых частиц. Атомы Na, Ca и других щелочных металлов возбуждаются и происходит их переход на другие энергетические уровни, при этом происходит их релаксация с излучением квантов электромагнитного поля с длиной волны 589,3 нм. Полная излучаемая атомами мощность соответствует нелинейной функции Больцмана, но при постоянных характеристиках процесса и очень низких или средних концентрациях эта мощность преобразуется в линейную зависимость. При фотометрическом пламенном анализе растворов с высокими содержаниями анализируемых элементов кванты света воспринимаются соседними атомами, происходит их возбуждение и соответственно переизлучение квантов. Данный процесс называют самопоглощением, причём в процессе переизлучения один квант могут излучать несколько атомов, при этом зависимость переходит из нелинейной в линейную и чувствительность метода при этом снижается. Поэтому данный метод рекомендован для определения низких содержаний элементов, в случае высоких содержаний рекомендуется разбавлять исследуемые растворы.

2.3. Особенности анализа урана в ураносодержащих рудах и отходах

Руды, содержащие уран в концентрациях 0.1% и более, для переработки промышленными способами можно считать перспективными, из них можно извлекать целевой продукт достаточно продуктивно. Для урановых руд Республики Таджикистан определены их химико-минералогические составы, обобщённые в таблице 2.2, соответственно, в таблицах 2.3 и 2.4 обобщены данные, касающиеся концентраций урана в ураносодержащих отходах от урановых производств и в шахтных и дренажных ураносодержащих водах.

Как показано в таблицах 2.2-2.4, уран в рудах, отходах и различных водах существует в различных формах. Ураносодержащие минералы, содержащие изотопы урана от U-92 по U-238, являются родоначальниками семейства радиоактивных химических элементов [72]. Урановый ряд, соответственно, подразделяется на две большие группы - группу урана (химические элементы от U до Ra) и группу радия ${}^{238}_{92}\text{Ra}$ (химические элементы от Ra до Rn). В Таджикистане ураносодержащие руды традиционно принадлежат к первой группе - урановой, что является важным при разработке методов определения урана в горных породах и ураносодержащих отходах, в которых необходимо проводить определение, как урана, так и радона.

В литературных источниках приводится значительное количество способов для определения урана [73]. Существует также ряд разработанных авторских методов по качественному и количественному определению урана и радона.

К числу качественных методов определения урана необходимо, во-первых, отнести люминесцентный метод. Сущностью данного метода является способность уранил-ионов UO_2^{2+} под воздействием ультрафиолетового излучения вызывать флуоресценцию жёлто-зелёного цвета. Этот метод является более чувствительным по сравнению с другими, поэтому в нашей работе мы его использовали для определения небольших содержаний урана в ураносодержащих отходах.

Таблица 2.2 – Химико-минералогические составы урановых руд в различных ураносодержащих месторождений Республики Таджикистан

Месторождения	Минералогический состав	Химический состав, %	
Северный Таджикистан-1	Титанаты урана, силикат урана, настуран, уранинит, пирит, галенит, антимонит, кальцит	U – 0.241 Th – 0.02 Cr – 0.027 Co – 0.033 SiO ₂ – 54.85 Cu – 0.035	TiO ₂ – 1.76 MnO – 1.27 Fe ₂ O ₃ – 19.04 Zn – 0.1 Pb – 0.013 V – 0.07
Центральный Таджикистан	Кальциевый титаносиликат урана, коффинит, уранофан, пирит, кварц, кальцит, альбит, магнетит, гематит	U – 0.027 Ca – 5.4 Mg – 0.25 P ₂ O ₅ – 0.12 K ₂ O – 2.89	TiO ₂ – 0.48 MnO – 0.11 Fe ₂ O ₃ – 4.52 Al ₂ O ₃ – 13.55 SiO ₂ – 61.85
Западный Таджикистан	Кварц, альбит, мусковит, пирит, уранинит, урановая слюда	U – 0.11 Cr – 0.011 Pb – 0.10 V – 0.05 SiO ₂ – 69.4	TiO ₂ – 0.53 MnO ₂ – 0.08 Fe ₂ O ₃ – 8.13 Al ₂ O ₃ – 13.7 Na ₂ O – 2.40
Северный Таджикистан-2	Урановая слюда, уранинит, коффинит, пирит, каолинит, сфен, кварц, альбит	U – 0.033 Cr – 0.064 Pb – 0.283 V – 0.021 SiO ₂ – 81 Zn – 0.404	TiO ₂ – 0.3 MnO ₂ – 0.088 Fe ₂ O ₃ – 3.27 Al ₂ O ₃ – 12.4 Na ₂ O – 2.40 Cu – 0.064

Таблица 2.3 - Содержания урана в ураносодержащих отходах хвостохранилищ Республики Таджикистан

Хвостохранилище	Содержание урана, %
Табошарское	0.015-0.030
Дигмайское	0.01-0.03
Адрасманское	0.024
Карта 1-9	0.018
Гафуровское	0.008-0.518

Таблица 2.4 - Содержание урана в ураносодержащих дренажных и шахтных водах

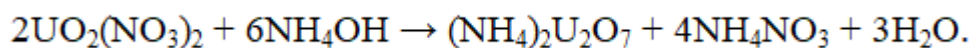
Дренажные и шахтные воды	Содержание урана, мг/л
Шахтные воды Кник-Тал	14-16
Дренажные воды г. Истиклол (Табошар)	30-36
Шахтные воды г. Истиклол (Табошар)	1.7-2.0
Озеро Сасык-Куль	17-20

Для определения урана в некоторых образцах-пробах использовались неорганические реагенты, такие как роданид аммония и роданид калия, придающие урану жёлтую окраску из-за образования растворимых в воде комплексов.

Для качественного определения урана применяли метод с использованием перекиси водорода.

Очень чувствительным методом является метод с фероцианидом калия, когда образующийся осадок с содержанием урана приобретает интенсивный красно-коричневый цвет [73].

Для количественного определения урана использовали гравиметрический, титриметрический, электрохимический и фотометрический методы. Для осаждения урана из раствора с помощью аммиачной воды использовался гравитационный метод. Осаждение осуществлялось внесением реагентов NH_4NO_3 или NH_4Cl согласно выражения:



В гравиметрическом методе в качестве активатора использовали пероксид водорода (H_2O_2), уранил-ионы данным методом осаждали пероксидом водорода в кислой среде рН в пределах 0.5-3.5.

Для определения содержания в образцах урана использовали титриметрический метод. Наиболее применяемыми методами являются фотохимические, электрические, а также восстановление UO^{2+} до U^{4+} такими химическими элементами, как цинк, висмут, свинец, кадмий, их амальгамами с серебром, титаном. После восстановления титрование проводят окислительными растворами, например, сульфатом церия - $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$, дихроматом калия - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, перманганатом калия KMnO_4 , ванадатами калия, аммония или натрия, титрование йодом.

Кроме того, образцы проб ураносодержащих руд или вод исследовали фотометрическими методами.

Фотометрические (спектрофотометрические и колориметрические) и методы основаны на определении содержания урана в пробах определения урана в ультрафиолетовом и видимом спектрах, также к фотометрическим методам относится люминесцентный.

Методы колориметрии и спектрометрии очень разнообразны и их используют для определения широкого интервала концентраций урана в образцах, которые могут находиться в пределах 0.001-100%.

К этим методам относятся колориметрическое определение методом визуального сравнения и работа с помощью фотоэлектрических фотометров и спектрофотометров, которые основаны на изменении интенсивности собственной окраски в зависимости от концентрации солей урана, а также на основании химических реакций с привлечением неорганических и органических реагентов (8-гидроксинаолином, перекисью водорода и др.).

Электрохимические методы также использовались для осаждения урана. В эту группу входят методы кулонометрического, амперометрического, потенциометрического и полярографического определения урана. Широко используются радиометрические методы (спектральные).

Радионуклиды уранового ряда и их активности были определены с привлечением гамма-спектрометрического метода (рисунок 2.3). Как показано на рисунке 2.3, проба содержит радионуклиды уран-ториевого ряда. На спектре чётко выражены пики, свидетельствующие о присутствии урана, в области энергий 143 и 186 кэВ. Однако необходимо учитывать при переработке урановых руд, что в продуктивные растворы переходит не только сам уран, то и некоторые другие радионуклиды.

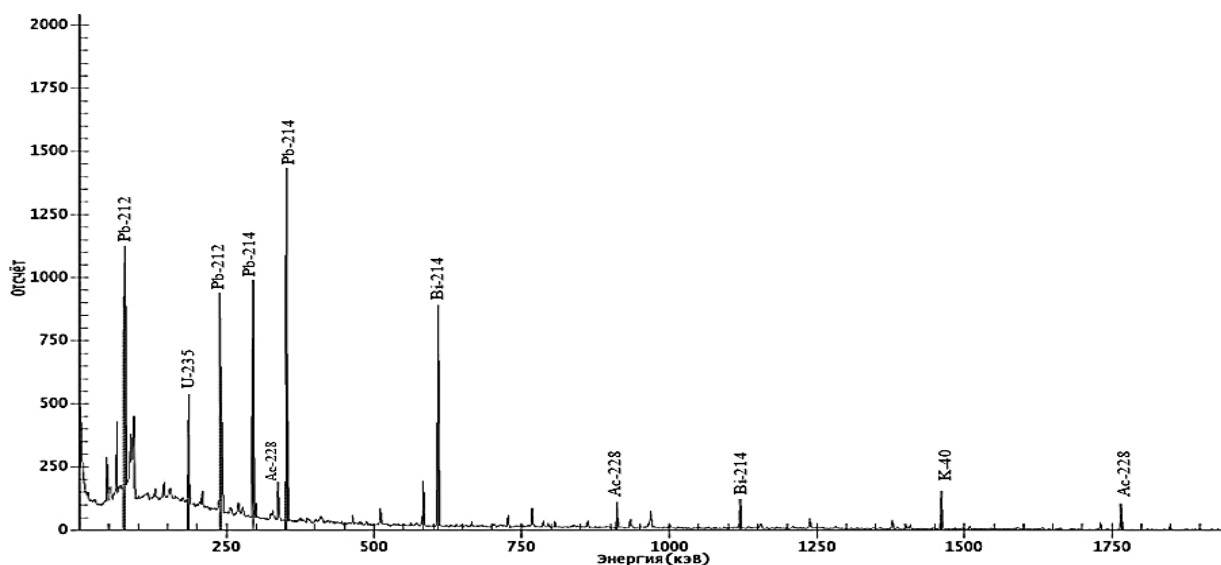
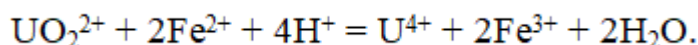


Рисунок 2.3 - Энергетический гамма-спектр ураносодержащей руды.

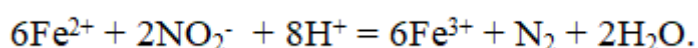
Одним из перспективных методов определения урана также является титриметрический метод, сущностью которого является восстановление урана (VI) до урана (IV) титрованием растворами с окислителями, затем титрование урана (IV) стандартными окислительными растворами.

Для анализа было взято 10 мл раствора, содержащего уран, полученного ранее после выщелачивания ураносодержащей руды. Если объем пробы составлял менее десяти миллилитров, доливают дистиллированную воду до отметки 10 мл. Далее раствор помещают в колбу ёмкостью 250 мл. Если проба кислая, добавляют 1 каплю 25% аммиачного раствора. К раствору приливают 15 мл фосфорной кислоты (с плотностью (ρ) 1,6 г/см³) и нагревают до кипения. Затем добавляли 2% раствор KMnO_4 до стабилизации цвета раствора. При этом происходит полный

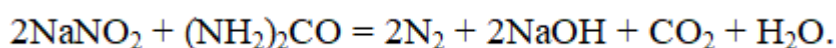
переход урана в форму UO_2HPO_4 . Для восстановления UO_2^{2+} до U^{4+} затем к раствору добавляют 5 мл 10% раствора соли Мора ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$):



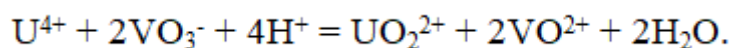
Раствор охлаждают до комнатной температуры, приливают к охлаждённому раствору 5 мл 5% раствора нитрита натрия для окисления избытка Fe^{2+} , перемешивая до полного исчезновения коричневого цвета, при этом происходит соответствующая реакция:



Затем добавляют 10 мл 30% раствора мочевины, при этом происходит разложением остатка нитрита натрия:



Приготовленный соответствующим образом раствор титруют ванадатом аммония (NH_4VO_3), добавляя индикатор - дифениламинсульфонат натрия (полуокисленный) не более 3-4 каплей до появления пурпурного цвета, при этом происходит реакция:



Данная реакция является аналитической реакцией при окислительном ванадатометрическом титровании урана (IV). Затем концентрацию урана рассчитывают согласно классическому уравнению реакции титрования урана (IV).

2.4. Дифференциально-термический анализ ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Дифференциально-термический анализ (ДТА) – это один из более применяемых методов, по своей сути он является методом термического анализа, при его использовании исследователи получают информацию широкого спектра [75, 76]. В данном диссертационном исследовании для проведения ДТА использовался современный дериватограф от фирмы Setaram марки «Labsys Evo - 1600». Данный дериватограф является термическим синхронным анализатором. В нём совмещены элементы для проведения термогравиметрических анализов, а также сканиру-

ющей дифференциальной калориметрии (ТГА-ДТА/ДСК, TG-DTA/DSC). Дериватограф «Labsys Evo - 1600» имеет высокую точность анализа и очень высокую чувствительностью по сравнению с аналоговым оборудованием. В комплектацию дериватографа «Labsys Evo - 1600» входят весы TG (точность до 0.01 мг), DSC-сенсор тепла с 3D (Calvet), а также печь (водяное охлаждение и нагрев до тем-ры 1600°C). 3D-сенсор имеет чувствительность 0.5 мВ/мВт, печь обладает высокой скоростью охлаждения/нагрева до 100°C/мин (с шагом 0.1°C в минуту. Причём во всем диапазоне тем-р точность измерения C_p составляет 2%. 3D-сенсор для определения величин C_p включает 10 термопар, окружающих исследуемый образец по окружности. Исследуемые образцы помещаются в платиновый или корундовый тигель объёмом 0.1 мл, имеется возможность использовать различные газовые среды (атмосферный воздух, водород, аргон, гелий, кислород, азот или их смеси. Соответственно, дериватограф имеет высокую скорость нагрева, составляющую 10°C в минуту во всех указанных средах.

Нами для исследования ураносодержащих руд месторождений Таджикистана был использован дифференциально-термический анализ (ДТА) с помощью дериватографа «Labsys Evo - 1600», с помощью которого исследовались образцы ураносодержащих руд. Так, на рисунке 2.4 приводится дериватограмма образцов руды месторождения «Центральный Таджикистан», на которой идентифицированы термические кривые, соответствующие минералам доломиту, слюде, кварцу, каолиниту.

Каолинит. На термической кривой ДТА каолинита чётко выражены три основных эффекта, один из которых является экзотермическим, проявившемся при тем-ре 893°C и два эндотермических эффекта, соответственно при 518 и 81°C. Первый эндотермический эффект показывает дегидроксилизацию каолинита. Второй (при 81°C) характеризует удаление адсорбированной воды с поверхности минерала, а также несовершенство структуры каолинита. Для каолинита при терморазложении определена потеря его массы, равная 0.65%. При повышении тем-ры разложения до 400-600°C потеря массы минерала каолинита увеличивается, составляя 1.38%, что свидетельствует о содержании в пробе каолинита в количе-

стве 9.9%. Кроме указанных эффектов, на термической кривой каолинита проявляется незначительный экзотермический эффект с максимальным пиком при температуре 893°C, что может свидетельствовать о дисперсности каолинита с образованием фазы минерала шпинели.

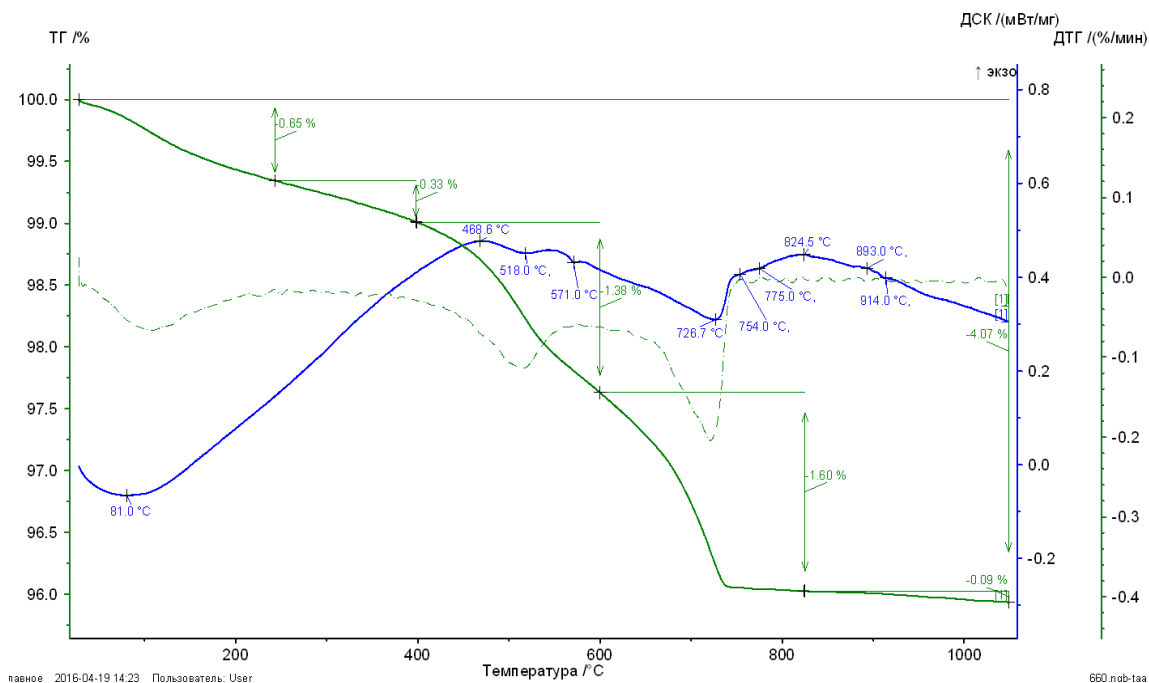


Рисунок 2.4 - Термические кривые линии образца ураносодержащей руды месторождения «Центральный Таджикистан», полученные с использованием дериватографа «Labsys Evo - 1600».

Кварц на дериватографе «Labsys Evo - 1600» идентифицирован по характерному пику и имеет максимум при температуре 571°C, то есть температуре перехода α -кварца в его β -форму.

Карбонатные минералы. Термические кривые линии образцов ураносодержащей руды на кривой ДСК дают пики в температурном интервале от 650 до 800°C, которые характеризуют карбонатные минералы. В этом интервале отмечен один эндотермический эффект с максимум пика при 726.7°C, данный пик характеризует термическую диссоциацию минерала доломит образца руды.

Слюда. Для слюды на термической кривой линии образцов ураносодержащей руды отмечается эндотермический эффект при температуре 1000°C, то есть являющийся высокотемпературным эндоэффектом, который ответственен за разложение кристаллической решетки слюды и удаление из минерала конституционной

воды. Для слюды характере также незначительный эффект на термической кривой, максимум которого приходится на тем-ру 824.5°C, который характеризует окисление железа из состава руды.

Также методом ДТА с помощью дериватографа «Labsys Evo - 1600» были изучены образцы ураносодержащей руды месторождения «Западный Таджикистан», результаты дериватограммы образцов руды приводятся на рисунке 2.5.

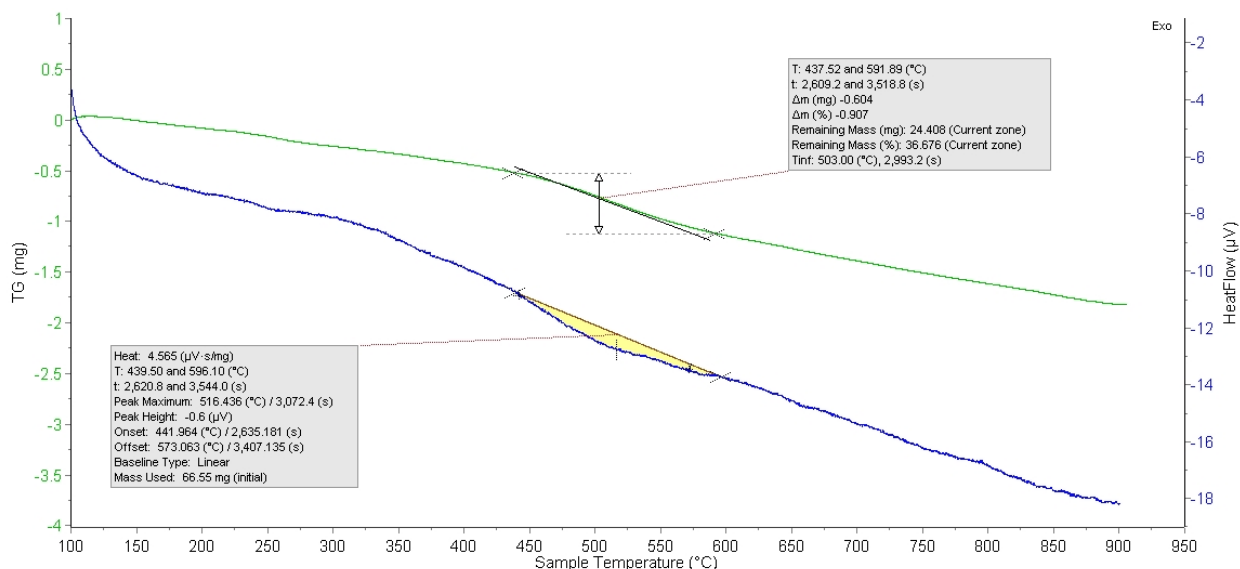


Рисунок 2.5 - Термические кривые линии образца ураносодержащей руды месторождения «Западный Таджикистан», полученные с использованием дериватографа «Labsys Evo - 1600».

Однако дериватограмма образца руды не имеет чётко выраженных пиков, поэтому минералогический состав образцов руды месторождения «Западный Таджикистан» идентифицируется трудно. Соответственно, в образцах показано значительное количество минерала кварц, содержание которого составляет более 50% от общего состава минералов. Также выявлены малые содержания минерала каолинита, пиков ураносодержащих минералов на термических кривых не отмечается, видимо, в связи с их очень малыми содержаниями в руде месторождения «Западный Таджикистан».

На термической кривой образца ураносодержащей руды месторождения «Западный Таджикистан», как видно из рисунка 2.5, присутствует широкий эндо-

термический эффект в диапазоне температур от 450 до 600°C, ответственный за дегидроксилизацию минерала каолинита.

ДТА образца ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» показало, что на термограмме, полученной с помощью дериватографа «Labsys Evo - 1600», наблюдается один эндотермический эффект при тем-ре 450-550°C, который ответственен за превращение минерала каолинит (рисунок 2.6).

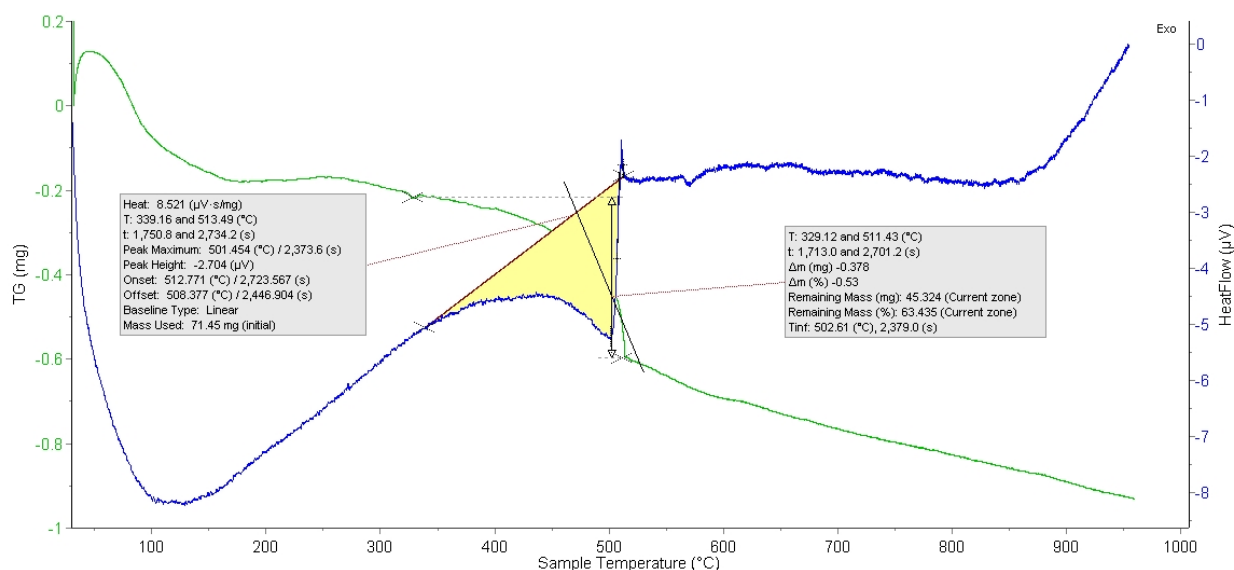


Рисунок 2.6 - Термические кривые линии образца ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» (ранее месторождение «Октябрьское»), полученные с использованием дериватографа «Labsys Evo - 1600».

Соответственно, на термических линиях образцов ураносодержащей руды месторождений «Западный Таджикистан» и «Северный Таджикистан - 2» отсутствуют пики, характерные для перехода α-кварца в его β-форму, а также отсутствуют пики, характерные для карбонатных минералов.

Соответственно, на основании проведённого ДТА можно сделать заключение, что ураносодержащая руда месторождения «Центральный Таджикистан» по своему минералогическому составу является карбонатной, и наиболее эффективным методом для её переработки является карбонатный метод.

Ураносодержащие руды месторождений «Западный Таджикистан» и «Северный Таджикистан - 2» не являются карбонатными, и наиболее перспективным

методом их переработки представляется серноокислотный метод с использованием окислителей.

2.5. Рентгенофазовый анализ ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

В настоящем подразделе приводятся результаты изучения химико-минералогических составов ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». На основании РФА показано, что основные рудообразующие минералы здесь представлены следующими минералами – урановой слюдой, уранинитом, пиритом, мусковитом, альбитом и кварцем.

В настоящее время запасы богатого уранового сырья в северном Таджикистане истощены. Истощение запасов богатых металлами руд требует развития технологий, направленных на разработку бедных месторождений. Перспективным становится получение концентратов урана из ураносодержащего хвостового материала и забалансовых бедных руд.

Изучение вещественного и химического состава урановых руд проводилось методом РФА (рентгено-флуоресцентного анализа). Было использовано современное оборудование - вакуумный спектрометр «AxiosmAXAdvanced» и рентгеновский дифрактометр марки «ULTIMA-IV» японского производителя Rigaku. В образце ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» был определён минералогический состав методом РФА также на современном оборудовании «ДРОН-3» с медным анодом (20 мА и 35 кВ), никелевым фильтром и цифровой обработкой полученных результатов. Так как ураносодержащая руда месторождения «Северный Таджикистан - 2» определена, как силикатная, для её выщелачивания можно порекомендовать серноокислотный метод.

Для определения радионуклидного состава ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» был проведён гамма-спектрометрический анализ на гамма-спектрометре Канберра. Результаты обработки спектра приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Радионуклидный состав ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг	
	Руда	отвал
K-40	-	951±39.0
Pb-210	3927±557.0	1520±215.0
Bi-211	333±12.0	-
Bi-212	164±9.0	37±2.0
Pb-212	309±19.0	64±4.0
Bi-214	4548±48.0	2380±25.0
Pb-214	5015±152.0	2277±67.0
Rn-219	258±14.0	152±8.0
Ra-226	5551±927.0	2864±341.0
Th-227	250±9.0	120±4.0
Ac-228	270±5.0	58±1.0
Th-228	408±470.0	2742±274.0
Pa-231	108±6.0	40±2.0
Th-231	48±6.0	-
Pa-234	10±3.0	-
Pa-M-234	1835±326.0	577±67.0
Th-234	7448±749.0	900±107.0
U-235	300±12.0	62±4.0
U+dau-238	4734±345.0	699±51.0

На основании РФА были определены основные рудообразующие минералы в руде месторождения «Северный Таджикистан - 2», соответственно, в образцах минералы были представлены урановой слюдой, ортоклазом, альбитом и кварцем (рисунок 2.7), также результаты исследования были обобщены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Минералогический состав проб ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Наименование проб	Минерал	Содержание, %		
		№1	легкая фракция	серый
Руда	Кварц - SiO_2	87.67	90.64	92.99
	Альбит - $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	12.33	-	-
	Альбит - $(\text{K}_{0.88}\text{Na}_{0.10}\text{Ca}_{0.009}\text{Ba}_{0.012})(\text{Al}_{1.005}\text{Si}_{2.995}\text{O}_8)$	-	2.48	-
	Ортоклаз - $(\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_{0.02})(\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8)$	-	6.88	-
	Альбит - $\text{K}(\text{Si}_{0.75}\text{Al}_{0.25})_4\text{O}_8$	-	-	1.67
	Микроклин - $\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.8}\text{AlSi}_3\text{O}_8$	-	-	2.09
	Флогопит - $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{Al, Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH, F})_2$	-	-	3.25
Отвал	Кварц - SiO_2	88.16	-	-
	Альбит - $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	11.84	-	-

Содержание урана в руде составляет 0.2%. В связи с тем, что основными рудообразующими минералами в данной руде являются силикаты, её рекомендуется эффективнее перерабатывать кислотными методами, в частности, сернокислотным.

Содержание элементов в составе проб ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» приведено в таблице 2.7.

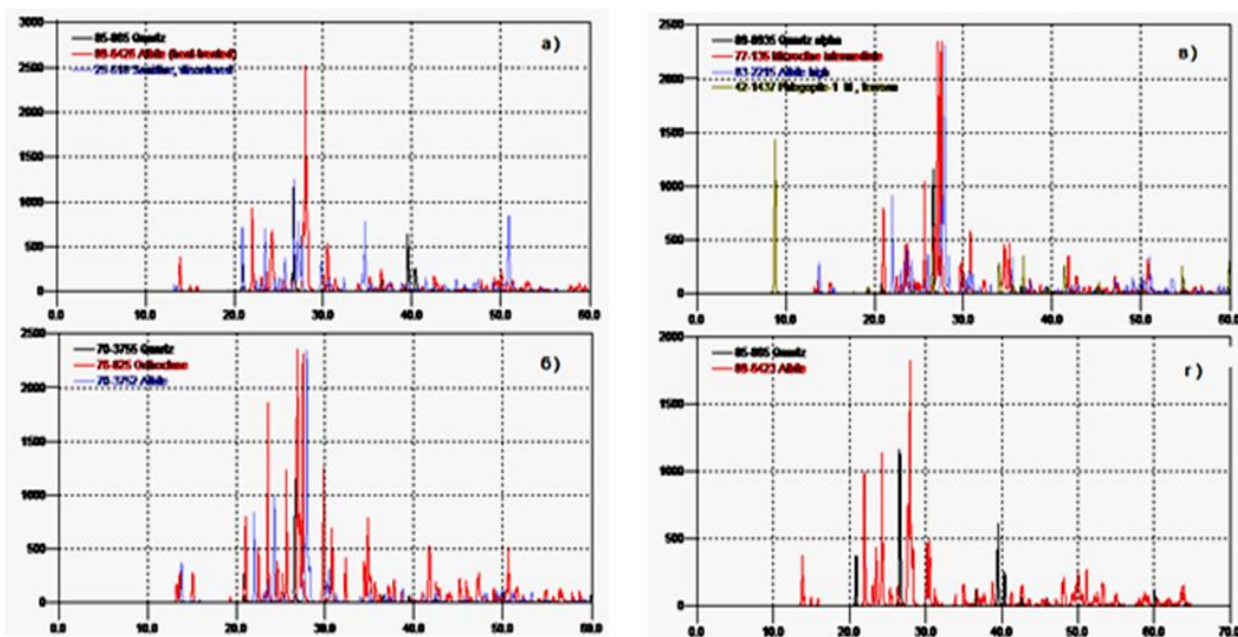


Рисунок 2.7 - Рентгенограмма пробы ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

Таблица 2.7 - Содержание элементов в составе пробы ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Наименование проб	Содержание элементов											
	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	V	Cr	Fe ₂ O ₃	U*
	мг/кг										%	
Руда	174	-	4	864	43	14	19	144	72	94	2	0.16
Отвал	165	526	123	177	37	6	4	144	79	94	5	0.06

Примечание: *Содержание урана определено объёмным методом.

Таким образом, показано, что по своему химико-минералогическому составу ураносодержащая руда месторождения «Северный Таджикистан - 2» относится в основном к силикатным и карбонатным рудам.

Для отдельных проб ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» была определена удельная активность изотопов урана, значения данного показателя для указанной руды являются высокими. Данный факт позво-

лит в перспективе рассматривать данное месторождение в качестве объекта для переработки урановых руд.

2.6. Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении ураносодержащих руд серной кислотой

Разложение ураносодержащих руд минеральными кислотами исследованы достаточно широко, для кислотного их разложения определены оптимальные параметры, кроме того, проведена разработка обобщённых схем по кислотному разложению ураносодержащих руд различных месторождений Республики Таджикистан.

Соответственно, для ураносодержащих руд месторождений «Центральный Таджикистан» и «Западный Таджикистан» рассмотрена термодинамика сернокислотного разложения этих ураносодержащих руд.

Согласно полученным термодинамическим характеристикам сернокислотного разложения ураносодержащей руды, сделано заключение, что разложение протекает при стандартных условиях. В частности, авторы [4] исследовали влияние тем-ры процесса разложения на величины энергии Гиббса, одной из важнейших термодинамических характеристик протекания процессов. Авторы указывают, что содержащиеся в ураносодержащей руде минералы мусковита, пирита, альбита, ураннитита способны разлагаться при высоких тем-рах. В работах [50-52] приводятся вычисленные величины энергий Гиббса для всех химических реакций при разложении указанных минералов.

Авторы [50-52] также определили оптимальную тем-ру (298-375 К), при которой из ураносодержащей руды месторождений «Центральный Таджикистан» и «Западный Таджикистан» при сернокислотном разложении извлекается максимальное количество полезных продуктов.

В данном подразделе приводятся результаты термодинамической оценки для сернокислотного разложения минералов, входящих в состав ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

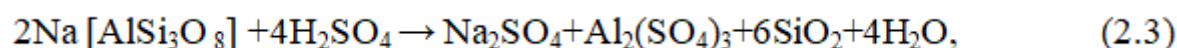
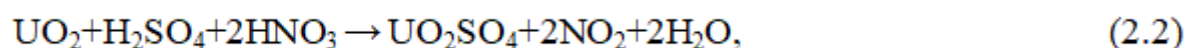
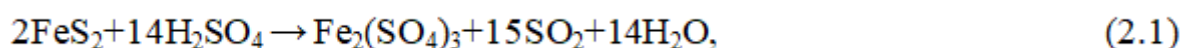
Для проведения данного исследования брали несколько образцов руды месторождения «Северный Таджикистан - 2», для которых проводили рентгенофазовый анализ, а также ДТА. На основании полученных результатов РФА и ДТА для ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» были определены минералы состава данной руды (таблица 2.8). На основании таблицы 2.8, состав данной руды представлен следующими минералами: кварцем, уранофаном, каолинитом, сфеном, альбитом, уранинитом, пиритом.

Таблица 2.8 – Минералы ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

№ п/п	Минералы
1	Пирит (FeS_2)
2	Уранинит (UO_2)
3	Альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)
4	Сфен (CaTiSiO_4)
5	Каолинит ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
6	Уранофан ($\text{CaUO}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
7	Кварц SiO_2

Для некоторых минералов, входящих в состав ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» вычислены значения термодинамических параметров – энтальпии и энтропии, которые обобщены в таблице 2.9. Значения термодинамических параметров были вычислены, как в твёрдых веществах, отдельных жидких соединениях так и в продуктивных растворах.

Также показано, что при химических реакциях минералов ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» с H_2SO_4 происходят химические реакции:



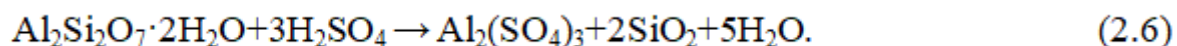
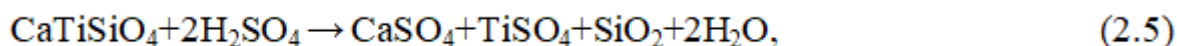
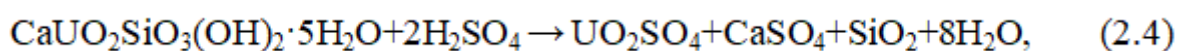


Таблица 2.9 – Величины термодинамических параметров отдельных минералов ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

№	Вещество	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·К
1.	UO_2 (тв)	-1081.23	0.08
2.	$\text{Na} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (тв)	-3938.8	0.2074
3.	FeS_2 (тв)	-163.18	0.053
4.	H_2SO_4 (ж)	-814.2	0.157
5.	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (т)	-4098.65	0.203
6.	HNO_3 (ж)	-174.14	0.155
7.	CaTiSiO_4 (т)	-2600.56	-0.173
8.	CaSO_4 (р-р)	-1454.06	-0.04
9.	TiSO_4 (р-р)	-1601.4	-0.1733
10.	UO_2SO_4 (р-р)	-1929.7	0.0812
11.	NO_2 (г)	33.5	0.24
12.	H_2O ж	-285.8	0.07
13.	Na_2SO_4 (р-р)	-1395.9	0.136
14.	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (р-р)	-3792.33	0.55
15.	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (р-р)	-2825.7	-0.564

Как известно, состояние системы характеризуют такие основные термодинамические параметры, как энтальпия, энтропия и энергия Гиббса. Исходя из этого, нами выбраны уравнения этих термодинамических параметров для термодинамического обоснования разложения минералов данной ураносодержащей руды. Выбраны следующие уравнения:

для энтальпии:

$$\Delta H^0_P = \sum \Delta_f H^0_{\text{кон. продукт}} - \sum \Delta_f H^0_{\text{исх. вещ-во}},$$

для энтропии:

$$\Delta S^0_p = \sum \Delta S^0_{\text{кон.продукт}} - \sum \Delta S^0_{\text{исх. вещ-во}}$$

для энергии Гиббса:

$$\Delta G^0_p = \Delta H^0 - T\Delta S^0.$$

В результате использования этих уравнений были получены для каждой из химических реакций (2.1)-(2.6) величины термодинамических характеристик, которые обобщены в таблицах 2.10 и 2.11.

Таблица 2.10 – Значения термодинамических характеристик химических реакций (2.1)-(2.6) сернокислотного разложения минералов руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

№ схемы реакции	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·К	ΔG^0_{298} , кДж/моль
(2.1)	482.63	1.84	-65.7
(2.2)	-190.62	0.006	-192.41
(2.3)	-662.7	-0.924	-387.35
(2.5)	-309.1	0.1705	-359.91
(2.6)	-502.11	0.79	-737.53

Соответственно, по результатам вычислений термодинамических параметров для реакций (2.1)-(2.6) (таблица 2.10) можно сделать заключение, что сернокислотное разложение ураносодержащей руды протекает при стандартных условиях.

Изучено влияние изменения тем-ры на изменение величин энергии Гиббса (таблица 2.11 и рисунок 2.8) и показано, что чем выше тем-ра при протекании химических реакций (2.1)-(2.6), тем указанные реакции протекают быстрее.

Определён диапазон температур, при котором сернокислотное разложение ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» протекает более оптимально, это температуры в пределах от 298 до 373 К.

Таблица 2.11 - Энергия Гиббса (ΔG , кДж/моль) для химических реакций (2.1)-(2.6) при различных тем-рах

№ схемы реакции	ΔG^0_{298}	ΔG^0_{313}	ΔG^0_{333}	ΔG^0_{353}	ΔG^0_{373}
(2.1)	-65.7	-93.3	-130.1	-166.9	-203.7
(2.2)	-192.41	-188.76	-188.64	-188.53	-188.41
(2.3)	-387.35	-373.36	-354.9	-336.4	-317.91
(2.5)	-359.91	-362.47	-365.88	-369.28	-372.7
(2.6)	-737.53	-749.38	-765.18	-780.98	-796.8

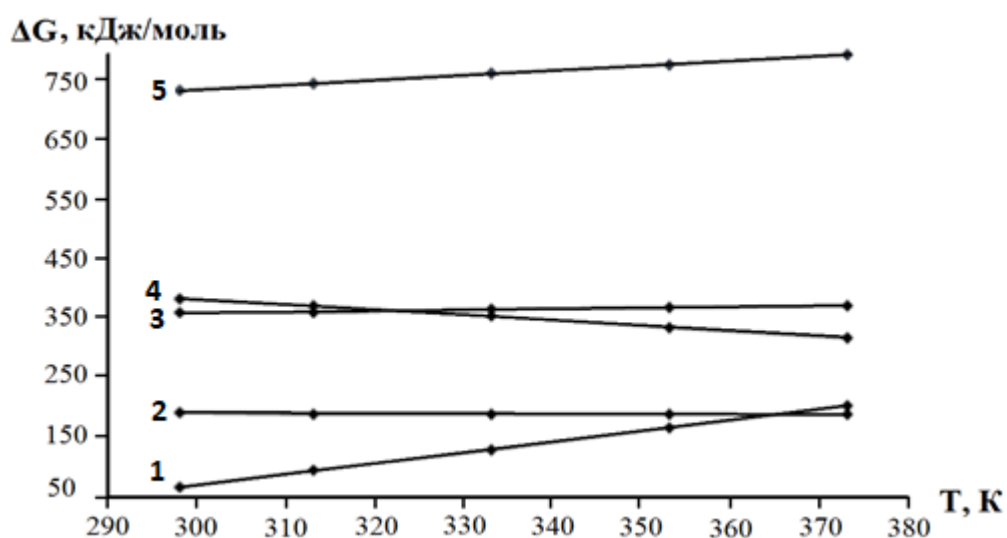


Рисунок 2.6 - Изменение энергии Гиббса (ΔG) от тем-ры разложения минералов ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» (1 - пирит, 2 - ураниннит, 3 - альбит, 4 - сфен, 5 – каолинит).

2.7. Материальный баланс разложения урановых руд

2.7.1. Расчёт материального баланса сернокислотного разложения руд месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Для ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» рассчитали материальный баланс. Материальный баланс рассчитали из расчёта на 1 килограмм руды, который разлагали 30% H_2SO_4 . Серной кислоты указанной концентрации было израсходовано на разложение 1209.6 грамм, то есть при пересчёте на 100% серной кислоты это было равно 644 г серной кислоты (таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Расчёт материального баланса при сернокислотном разложении 1 кг ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Приход	В г	%	Расход	В г	%
Al ₂ O ₃	124.0	5.6	Al ₂ (SO ₄) ₃	415.8	18.8
Fe ₂ O ₃	32.7	1.5	Fe ₂ (SO ₄) ₃	81.7	3.7
CaO	3	0.13	CaSO ₄	9	0.4
TiO ₂	0.88	0.04	Ti(SO ₄) ₂	2.5	0.11
Na ₂ O	24.0	1.1	Na ₂ SO ₄	54.96	2.48
CuO	5	0.22	CuSO ₄	9.94	0.45
MnO ₂	1.87	0.085	Mn(SO ₄) ₂	4.82	0.22
ZnO	0.864	0.04	ZnSO ₄	1.72	0.08
ZrO ₂	0.174	0.001	Zr(SO ₄) ₂	0.4	0.02
SiO ₂	650	29.4	SiO ₂ , в том числе непрореагировавшие элементы	950.5	43.02
Кристаллизационная вода	157.352	7.137	H ₂ O	301.54	13.71
UO ₂	0.16	0.007	UO ₂ SO ₄	0.22	0.01
H ₂ SO ₄ , 30%	1209.6	54.74	H ₂ SO ₄ , избыток	376.5	17.0
<i>Итого:</i>	2209.6	100	<i>Итого:</i>	2209.6	100

Соответственно, с использованием при разложении 644 г серной кислоты, как было вычислено при расчёте материального баланса, из ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» извлечение оксида урана (UO₂) составило 75.7%, в опыте получено 0.22 грамма UO₂SO₄, то есть можно констатировать, что при этом не прореагировавшей остаётся примерно 24.3% ураносодержащей руды. В расходной части материального баланса получен избыток H₂SO₄, составивший 376.5 грамм.

2.7.2. Расчёт материального баланса сернокислотного разложения ураносодержащей руды хвостохранилища Адрасман

Расчёт материального баланса ураносодержащей руды хвостохранилища Адрасман был произведён на 1 килограмм руды. При разложении 1 кг руды 30% серной кислотой было израсходовано 1209.6 грамм 30% серной кислоты, при пересчёте на 100% H₂SO₄, что было равно 644 г серной кислоты (таблица 2.13).

Таблица 2.13 - Расчёт материального баланса при сернокислотном разложении 1 кг ураносодержащей руды хвостохранилища Адрасман

Приход	В г	%	Расход	В г	%
SrO	0.129	0.007	SrSO ₄	0.23	0.01
ZnO	0.132	0.006	ZnSO ₄	0.26	0.012
Co ₂ O ₃	0.186	0.0086	Co ₂ (SO ₄) ₃	0.45	0.02
MnO ₂	0.109	0.005	Mn(SO ₄) ₂	0.31	0.014
Fe ₂ O ₃	90	4.07	Fe ₂ (SO ₄) ₃	225	10.18
PbO ₂	0.304	0.014	Pb(SO ₄) ₂	0.51	0.023
SiO ₂	862.316	39.02	SiO ₂ , в том числе непрореагировавшие элементы	1301.81	58.92
Кристаллизационная вода	46.8	2.1284	H ₂ O	304.5	13.82
UO ₂	0.024	0.001	UO ₂ SO ₄	0.03	0.001
H ₂ SO ₄ , 30%	1209.6	54.74	H ₂ SO ₄ , избыток	376.5	17.0
<i>Итого:</i>	2209.6	100	<i>Итого:</i>	2209.6	100

Соответственно, с использованием при разложении 644 г серной кислоты, как было вычислено при расчёте материального баланса, из ураносодержащей руды хвостохранилища Адрасман извлечение оксида урана (UO₂) составило 90.0%, в опыте получено 0.03 грамма UO₂SO₄, то есть можно констатировать, что при этом не прореагировавшей остаётся примерно 10% ураносодержащей руды. В

расходной части материального баланса получен избыток H_2SO_4 , составивший 376.5 грамм.

ГЛАВА 3. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА АДРАСМАН И УРАНОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН - 2»

3.1. Переработка ураносодержащих отходов урановой промышленности хвостохранилища Адрасман

Согласно проведённым физико-химическим и технологическим обоснованиям переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств, располагающихся ранее на севере Таджикистана [1-3] показана перспективность переработки следующих отходов – это отходы хвостохранилища Адрасман, хвостохранилища «Карта 1-9» [4] и хвостохранилищ города Чкаловска.

Для хвостохранилища Адрасман изучено его геологическое и инженерно-техническое состояние, а также содержание в его ураносодержащих отходах различных радионуклидов.

Установлено, что рассматриваемые радиоактивные отходы имеют низкую активность и могут быть переработаны с получением U_3O_8 .

В процессе переработки ураносодержащих отходов в зависимости от содержания в них различных минералов, возможно уменьшить число производственных операций, например, дробления – измельчения - сгущения и других. В зависимости от руды. Извлечение уранового концентрата из ураносодержащих руд различных хвостохранилищ и ураносодержащих отходов составило свыше 90%. Определены оптимальные параметры извлечения урана из отходов уранодобывающих производств.

Как известно, в 1950-1990 годах более 30% производимого в Советском Союзе концентрата урана поступало из среднеазиатских республик, в которых урановый концентрат производился в виде жёлтого кека. Соответственно, уранодобывающие и ураноперерабатывающие технологии в то время разрабатывались под контролем Министерства среднего машиностроения СССР одними проектными и научно-исследовательскими организациями.

Характеристики уранового наследия Узбекистана, Таджикистана, Кыргыз-

стана и Казахстана имеют значительные различия, так как ранее в некоторых республиках бывшего Союза ураносодержащие руды добывались различными методами – подземным выщелачиванием или традиционными гидрометаллургическими методами [74-76].

В течение 1961-1995 годов большинство рудников по добыче ураносодержащей руды прекратило свою деятельность, позднее лишь некоторое их число возобновило свою деятельность, эти предприятия территориально были расположены около больших городов и населённых пунктов [1-4].

Так, на севере Таджикистана в густонаселённом районе города Бустон (ранее городе Чкаловск) отвалы ураносодержащей руды бывшего уранодобывающего предприятия были засыпаны устойчивым грунтом, покрытым слоем высотой в 1 метр, что значительно снизило излучение радона и дозу гамма-излучения на поверхности этих отвалов. Однако эти отвалы ураносодержащих руд остаются по-прежнему фактором риска, так как они располагаются всего на расстоянии не более 50 метров от жилого сектора. Необходимо констатировать, что реабилитационные мероприятия проведены на очень пока малом количестве объектов, а зачастую и вовсе не проведены, а также не созданы специальные фонды для восстановления радиационной безопасности на этих радиационноопасных участках и территориях. Однако судьба наследия урановых производств, начиная с середины 1990 гг., сильно отличалась в каждой из среднеазиатских республик. Например, в Кыргызстане и Таджикистане в настоящее время практически прекращена уранодобыча и уранопереработка, но Казахстан и Узбекистан на настоящий момент широко развивают эти уранодобывающие и ураноперерабатывающие отрасли.

Проблемы ураносодержащих отходов, возникшие в результате прошлой деятельности, следует решать соответствующим образом. Например, во многих странах Среднеазиатского региона основным ограничением реабилитации этих отходов и территорий, на которых они были складированы, является отсутствие финансовых ресурсов, которые можно было бы направить на решение этих вопросов. Еще одним важным ограничением разработки национальных планов реабилитации является отсутствие или недостаток соответствующих регулирующих

инфраструктур.

В последние десятилетия внимание многих исследователей направляется на решение вопросов дезактивации территорий, на которых ранее функционировали уранодобывающие и ураноперерабатывающие предприятия. В настоящее время радиоактивные отходы не находят применения, однако они могут быть вторично переработаны, где решится сразу две важные проблемы - извлечения концентрата урана и утилизации радиоактивных отходов [3-4].

Поэтому существует острая необходимость в разработке технологий, направленных на переработку ураносодержащих отходов бывших урановых производств.

Ранее проводились научно-исследовательские работы по переработке ураносодержащих отходов хвостохранилища «Карта 1-9» (город Бустон) и хвостохранилищ, расположенных в Гафуровском районе Согдийской области [3-4].

В данном разделе работы представлены результаты исследований по изучению возможности вторичной переработки ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища. В таблицах 3.1-3.5 обобщаются результаты исследования химико-минералогического состава, гранулометрических характеристик и активности ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища.

Таблица 3.1 – Гранулометрические характеристики ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища

Выход классов	Крупность классов, мм					Σ выход классов
	+1	-1+0,314	-0,314 +0,1	-0,1+ 0,074	< 0,074	
в граммах	5	65	70	110	250	500
в %	1	13	14	22	50	100

Так, на поверхности хвостохранилища величины мощности гамма-излучения равны 0.85-1.25 мкЗв/час, достигая в теле хвостохранилища от 0.5 до 150.0 мкЗв/час. Значение суммарной активности равно около 160 Кюри. Что касается эксхалации радона с поверхности, то величины общегодовых выбросов радо-

находятся в диапазоне от 6.5 до 7.0 Кюри/год, полученные данные обобщены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Радионуклидный состав ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища

Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг	Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг
^{40}K	180±7	^{227}Th	76±3
^{210}Pb	874±124	^{228}Ac	148±2
^{212}Bi	88±4	^{228}Th	2017±202
^{212}Pb	154±10	$^{234}\text{Pa-M}$	892±101
^{214}Bi	1551±16	^{234}Th	1272±131
^{214}Pb	1486±47	^{235}U	99±4
^{219}Rn	84±4	$^{238}\text{U+dau}$	1271±94
^{226}Ra	1626±291		

Таблица 3.3 – Величины активности естественных радионуклидов проб ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища

Активность радионуклидов, Бк/кг			$A_{эфф.}$, Бк/кг
^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
2087-29677	30-342	535-1812	2200-30285

Минералы в составе ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища были изучены методом рентгенофазового анализа на аппаратуре «ДРОН-3» (модифицированный) с цифровой обработкой на медном аноде (35 кВ, 20 мА) и никелевом фильтре. Показано, что в основном минералы в исследуемых ураносодержащих отходах представлены кварцем, урановой слюдой, ортоклазом и альбитом (рисунок 3.1 и таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Минералогическая характеристика ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища

Минерал		№3	Лёгкая	Магнитная	Старые данные
			фракция	фракция	
Кварц - SiO ₂	39.80	94.66	95.12	23.80	85-95
Циркон - Zr(SiO ₄)	53.65				
Барит - BaSO ₄	6.55				
Na(AlSi ₃ O ₈)		3.31			
K(AlSi ₃ O ₈)		2.03	1.76		
(Na _{0.98} Ca _{0.02})(Al _{1.02} Si _{2.98} O ₈)			3.12		
Гематит - Fe ₂ O ₃				76.20	
²³⁸ U					0.02-0.08
Fe					5-7
Ca					10-15

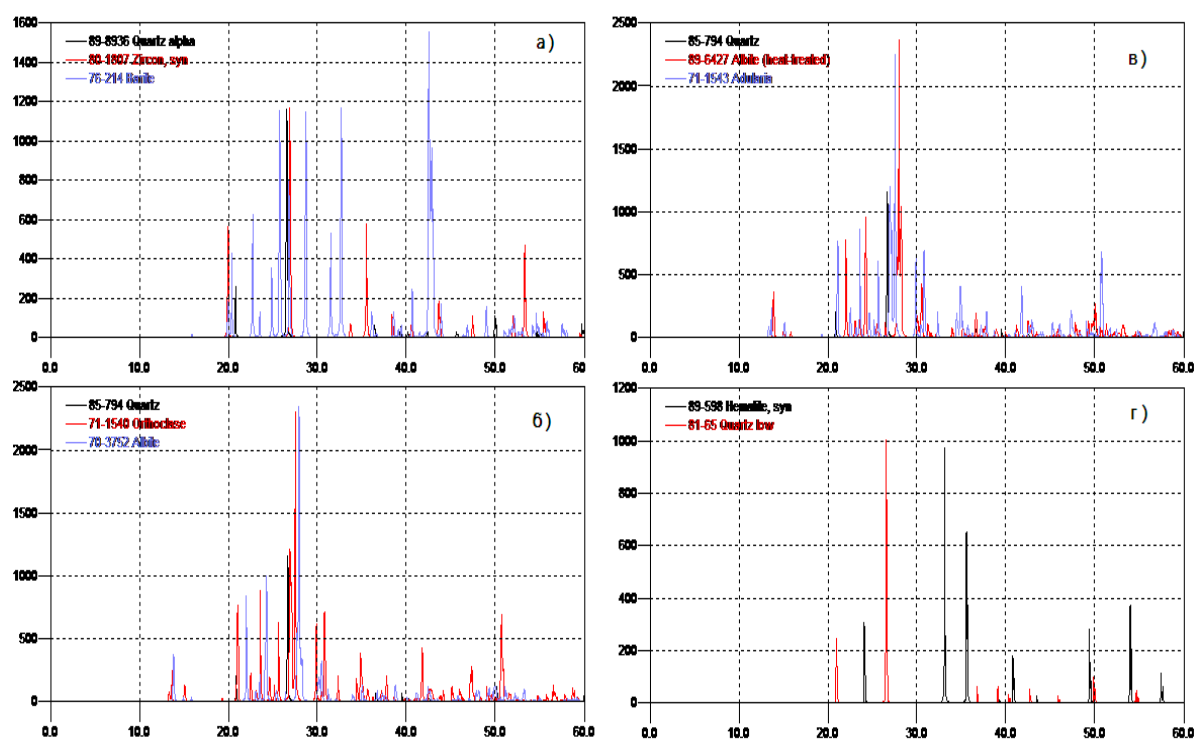


Рисунок 3.1 - Рентгенограмма ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища

Химический состав ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища обобщён в таблице 3.5.

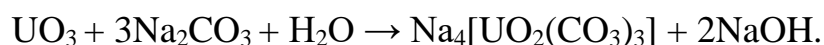
Таблица 3.5 – Содержание химических элементов в ураносодержащих отходах Адрасманского хвостохранилища

Содержание элементов											
Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	V	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	U
мг/кг									%		
129	304	103	132	42	5	186	109	51	0,3	9	0.024
Анализ на уран объёмным методом, %											

По результатам исследования параметров переработки ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища определены оптимальные параметры, а также разработана и проверена в лабораторных условиях обобщённая технологическая схема по переработке указанных ураносодержащих отходов.

Показано, что ураносодержащие отходы Адрасмана содержат в основном карбонатные минералы, в связи с чем их кислотная переработка представляется нерентабельной и не эффективной, поэтому данные отходы необходимо перерабатывать растворами перерабатывали тотходы При переработке отходов хвостохранилища Адрасман, содержащих карбонаты, кислотное выщелачивание экономически невыгодно, поэтому применяют разложение с помощью карбонатных растворов щелочных металлов.

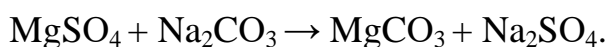
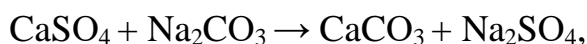
Карбонатное разложение основано на химической реакции:



Согласно данной химической реакции, уран превращается в комплексное соединение, относительно хорошо растворимое в воде: трикарбонат уранилата натрия. Эта реакция с использованием раствора соды довольно легко позволяет разлагать все осадочные породы урана, моноуранаты и триоксиды урана.

При содовом разложении отходов сульфаты магния и гипс являются нежелательными примесями, так как на их разложение в процессе переработки тратит-

ся большое количество соды, химическую реакцию можно представить в следующем виде:



Также при содовом разложении указанных ураносодержащих отходов происходит образование труднорастворимых гидроксидов металлов (например, при разложении соединений с шестивалентным ураном в основном образуются диуранаты) (таблица 3.6).

Таблица 3.6 - Растворимость некоторых гидроксидов металлов в воде при тем-ре 25°C

Гидроксид металла	Растворимость, мг/л	Гидроксид металла	Растворимость, мг/л
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1200	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	9
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	4	$\text{U}(\text{OH})_4$	0.0001
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	2	$(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$	0.5
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	0.0002	$\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$	0.5
$\text{Al}(\text{OH})_3$	0.0006	-	-

Все эти металлы, кроме кальция, могут количественно переходить в осадки при содовой переработке ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов. Однако выпадение гидратов в виде осадка происходит только при определенных рН растворов.

Количественное осаждение урана происходит при рН, равном 6; а осаждение урановых концентратов в основном проводится растворами щелочей или аммиачным раствором при рН, равном 6-7.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, карбонатное разложение ураносодержащих отходов проводилось с расходом карбоната натрия в количестве 100-400 килограмм Na_2CO_3 на каждую тонну ураносодержащих отходов. Пульпа выщелачивалась в течение шести часов при тем-ре 80°C при массовом соотношении

T:Ж, равном 1:2. Затем твёрдый остаток после выщелачивания промывали водой три раза в равных соотношениях T:Ж (1:1). Извлечение урана возрастает с увеличением расхода карбоната натрия с 100 до 400 кг/т и достигает максимального извлечения 82%. При среднем расходе карбоната натрия (в пределах 200 килограмм на 1 тонну) извлечение урана является оптимальным, составляя 72%, при этом происходит экономия материальных затрат на приобретение Na_2CO_3 .

3.2. Сравнительная оценка выделения концентратов урана из отходов урановой промышленности Таджикистана

В настоящем подразделе дается сравнительная оценка переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств на территории Таджикистана с использованием литературных источников.

В настоящее время ураносодержащие отходы не используются для переработки, однако их можно эффективно вторично перерабатывать, при этом будет решено несколько задач – во-первых, извлечение из указанных отходов концентратов урана, а во-вторых, данные отходы будут при этом утилизироваться.

Ранее проводились исследования физико-химических основ по переработке некоторых ураносодержащих отходов бывших урановых производств, проведено определение оптимальных условий, согласно которым происходит максимальное извлечение из этих отходов концентрата урана, предложена схема получения закиси-оксида урана [1-3].

Дана сравнительная оценка переработки отходов «Карта 1-9» г. Бустон, Гафуровского и Адрасманского хвостохранилищ.

На основании анализа хвостохранилищ перспективны работы по вторичной переработке ураносодержащих отходов уранового производства в городе Бустон - «Карта 1-9». Минералогическая характеристика ураносодержащих отходов хвостохранилища «Карта 1-9» была определена с использованием метода рентгенофазового анализа и состав минералов данных отходов обобщён на рисунке 3.2.

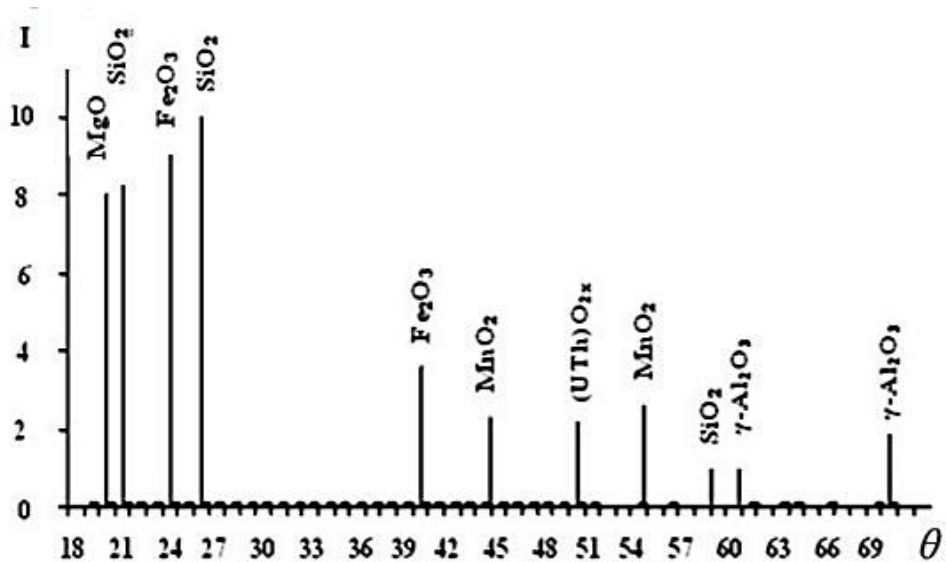


Рисунок 3.2 - Штрихдифрактограмма пробы ураносодержащих отходов хвостохранилища «Карта 1-9».

На основании кинетических исследований и установления оптимальных параметров разработана обобщённая технологическая схема по переработке ураносодержащих отходов (рисунок 3.3)

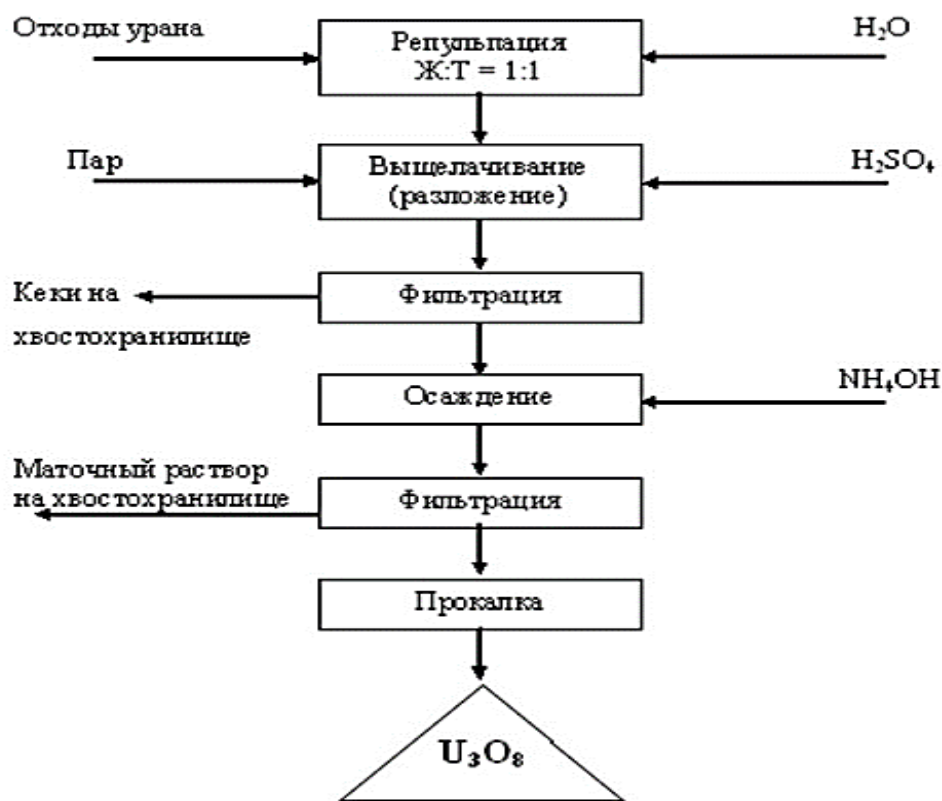


Рисунок 3.3 - Обобщённая технологическая схема по переработке ураносодержащих отходов хвостохранилища «Карта 1-9».

Одним из вопросов исследования было сравнение результатов по извлечению урана и методов переработки ураносодержащих отходов различных хвостохранилищ, расположенных на севере Таджикистана, на основании проведения анализа с использованием результатов работ [4-5] была составлена сравнительная таблица (таблица 3.7), в которой сравнены результаты изучения шести хвостохранилищ на севере Таджикистана.

Таблица 3.7 - Извлечение урана из отходов урановых производств (хвостохранилищ)

№	Название хвостохранилищ	Оптимальные параметры			Степень извлечения, %	Прочие
		Тем-ра, °С	Время, час	Расход кислоты, кг/т		
1.	«Карта 1-9» г. Бустон	65-70	6.0	80.0	93.85	Кислотное выщелачивание
2.	Гафуровское	70	6.0	100	89.9	Кислотное выщелачивание
3.	Адрасманское	65-70	7.0	200	72.1	Щелочное выщелачивание
4.	Хвостохранилище Ш г. Истиклол	75	7.0	80.0	95.9	Кислотное выщелачивание
5.	Фабрика бедных руд, г. Истиклол	75	7.5	80.0	63.1	Кислотное выщелачивание
6.	Отвалы г. Истиклол	75	8.0	80.0	38.9	Кислотное выщелачивание

На рисунке 3.4 приводится сравнительная оценка извлечения урана из урановых хвостохранилищ Таджикистана. Как видно из рисунка 3.4, максимальные степени извлечения отмечаются для хвостохранилищ г. Гафурова – 90% и для

хвостохранилищ г. Истиклол – 96%. Так как хвостохранилище Адрасман является карбонатным, для него был использован щелочной метод выделения U_3O_8 . Остальные хвостохранилища сульфатные, поэтому для них использовано кислотное выщелачивание.

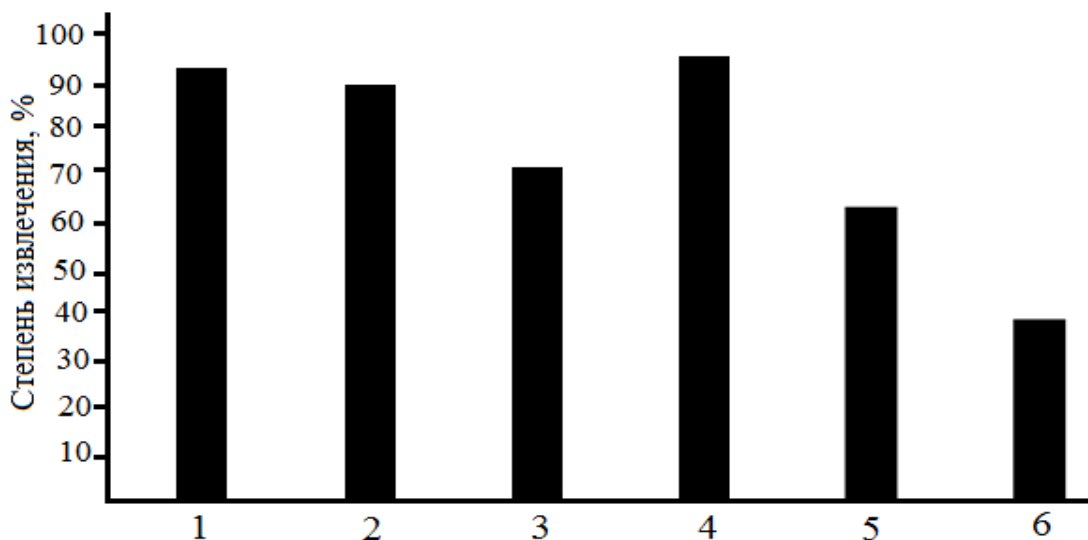


Рисунок 3.4 - Извлечение урана из ураносодержащих отходов хвостохранилищ Таджикистана («Карта 1-9» г. Бустон; 2 - Гафуровское; 3 - Адрасман; 4 - хвостохранилища г. Истиклол; 5 – Фабрика бедных руд г. Истиклол; 6 - отвалы г. Истиклол).

3.3. Физико-химические основы сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Как известно, месторождения ураносодержащих руд на территории Таджикистана имели чрезвычайно важное значение при практическом решении проблемы радиоактивного сырья, которая возникла в Советском Союзе после 1945 года. Первым заводом в отрасли добычи и переработки ураносодержащих руд был Комбинат № 6 (ныне государственное предприятие «Таджикские редкие металлы»). Первый советский концентрат урана был получен из руды, добытой на месторождениях Таджикской ССР. В СССР в составе государственного предприятия «Таджикские редкие металлы») ведущее место занимал гидрометаллургический завод, на нём производилось 20% всего добываемого в СССР уранового концентрата [1].

В урановой технологии имеется большое число методов по уранодобыче и уранопереработке, это связано со значительным разнообразием составов ураносодержащих руд. В настоящее время технологические схемы по переработке ураносодержащих руд разрабатываются применительно к каждому отдельно взятому урановому месторождению, с учётом минералогических химических характеристик руды. Как известно, характеристики ураносодержащих руд на каждом из месторождений могут иметь значительные различия. Исходя из этого, при проведении технологических работ и разработке технологической схемы для конкретной ураносодержащей руды, эти различия оцениваются с количественной точки зрения, а далее обеспечивается сочетание операций, которое приведет к максимальной рентабельности технологического процесса [2].

В будущем возможно извлечение уранового концентрата из ураносодержащих руд методом сорбции его из продуктивного раствора, с последующей десорбцией с получением товарного уранового концентрата.

В данном разделе рассмотрено сернокислотное разложение ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

Ранее кислотная переработка ураносодержащих руд, а также вторичная переработка ураносодержащих отходов урановых производств уже изучалась в работах [51, 52]. Тем не менее авторы не исследовали конкретно ураносодержащую руду месторождения «Северный Таджикистан - 2».

В таблице 3.8 в качестве сравнения приводятся химические составы ураносодержащих руд таких урановых месторождений, как «Центральный Таджикистан» и «Западный Таджикистан» в сравнении с аналогичными параметрами руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

В качестве примера на рисунке 3.5 представлена линейная дифрактограмма образца ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». Согласно данным РФА, в составе исследуемой руды урановые минералы представлены известняком, уранинитом, силикатами урана, титанатами урана, а также минералами марганца и титана. Как показано в таблице 3.8 и на рисунке 3.5, ураносодержащие руды Таджикистана представляют собой силикаты, в которых со-

держание SiO_2 колеблется в пределах 53.1-69.4%. Концентрации урана в образцах варьируют в пределах 0.11-0.24%. Исходя из того, что данные руды в основном являются силикатными, для них рекомендовано кислотное разложение с использованием окислителей. После полного извлечения урана и других радиоактивных соединений эти руды могут перертабатываться комплексной переработкой с получением нужных перспективных компонентов - оксидов алюминия и оксидов железа.

Таблица 3.8 - Химический состав ураносодержащей руды различных урановых месторождений Республики Таджикистан (в %)

№	Руда	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO_2
1	«Северный Таджикистан-2»	59.4	7.2	16.1	1.76	1.27
2	«Центральный Таджикистан»	53.1	8.25	6.3	1.4	0.26
3	«Западный Таджикистан»	69.4	13.7	8.13	0.53	0.27

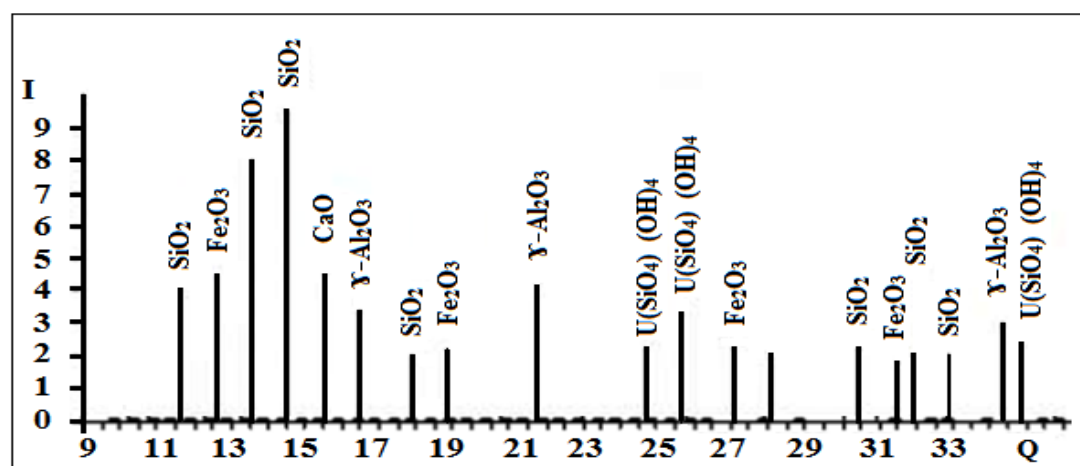


Рисунок 3.5 - Линейная дифрактограмма образца ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

В данной работе рассмотрена сравнительная оценка разложения ураносодержащей руды различных урановых месторождений республики при сравнении с данными авторов работ [51, 52]. Нами проведены исследования по разложению

серной кислотой ураносодержащей руды с варьированием технологических параметров – размеров частиц при измельчении руды, концентраций серной кислоты, изменение времени разложения, использование окислителей и других параметров.

На рисунке 3.6 показаны диаграммы извлечения урана из различных месторождений, а также влияние различных параметров и зависимость степени извлечения урана от технологических параметров процесса. Как показано на рисунке 3.6, извлечение урана из различных месторождений различается незначительно, составляя в среднем около 90%, но при этом из ураносодержащей руды месторождения «Западный Таджикистан» извлекается больший процент урана (несколько выше 90%).

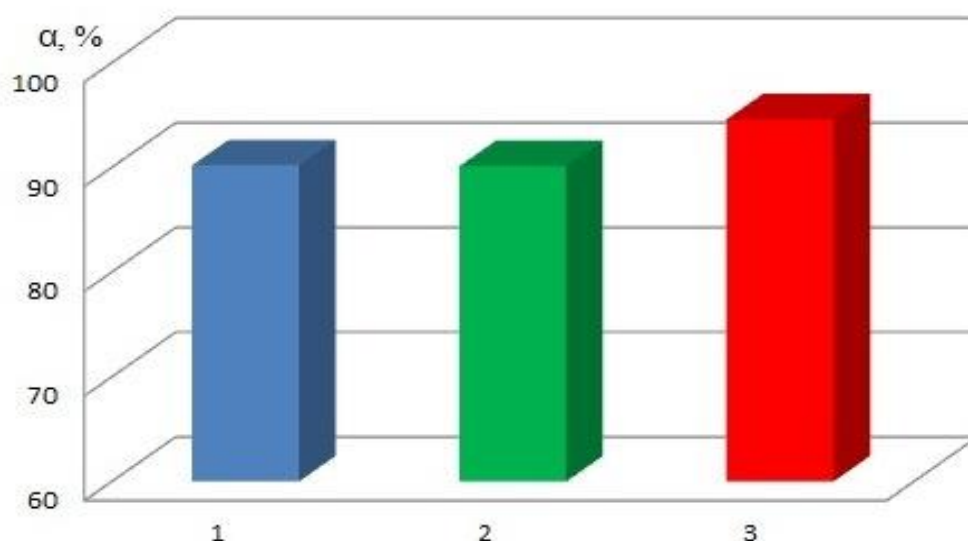


Рисунок 3.6 - Сравнительный анализ извлечения урана из урановых месторождений Республики Таджикистан:

- 1 - месторождение "Северный Таджикистан - 2";
- 2 - месторождение "Центральный Таджикистан";
- 3 - месторождение "Западный Таджикистан".

На рисунках 3.7 - 3.9 представлены результаты влияния концентрации серной кислоты, тем-ры, времени разложения на извлеченрие урана из ураносодержащих руд различных урановых месторождений.

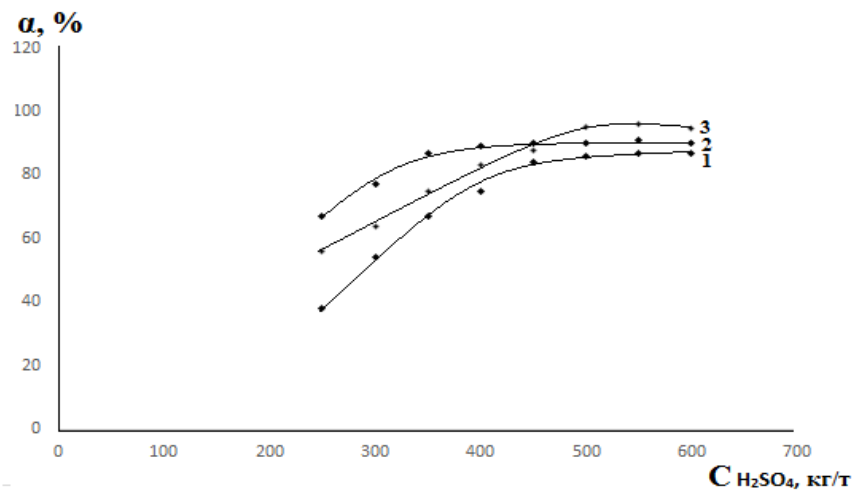


Рисунок 3.7 - Сравнительный анализ извлечения урана из урановых месторождений Таджикистана в зависимости от концентрации H_2SO_4 :

- 1 - месторождение "Северный Таджикистан - 2";
- 2 - месторождение "Центральный Таджикистан";
- 3 - месторождение "Западный Таджикистан".

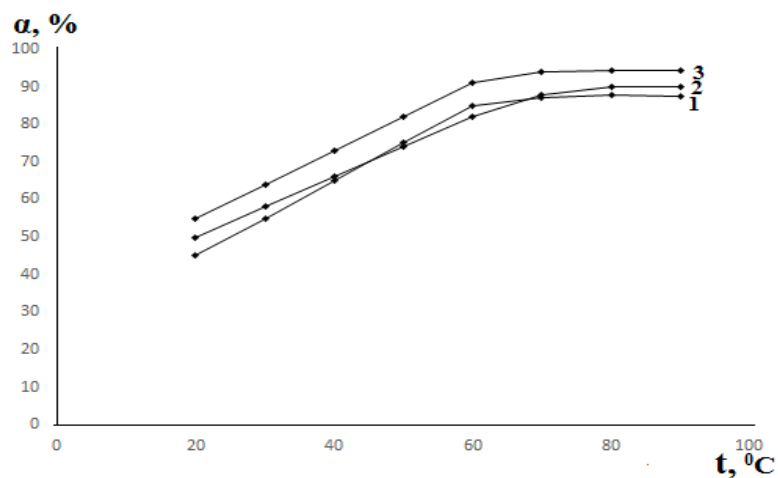


Рисунок 3.8 - Сравнительный анализ извлечения урана из урановых месторождений Таджикистана в зависимости от тем-ры процесса извлечения:

- 1 - месторождение "Северный Таджикистан - 2";
- 2 - месторождение "Центральный Таджикистан";
- 3 - месторождение "Западный Таджикистан".

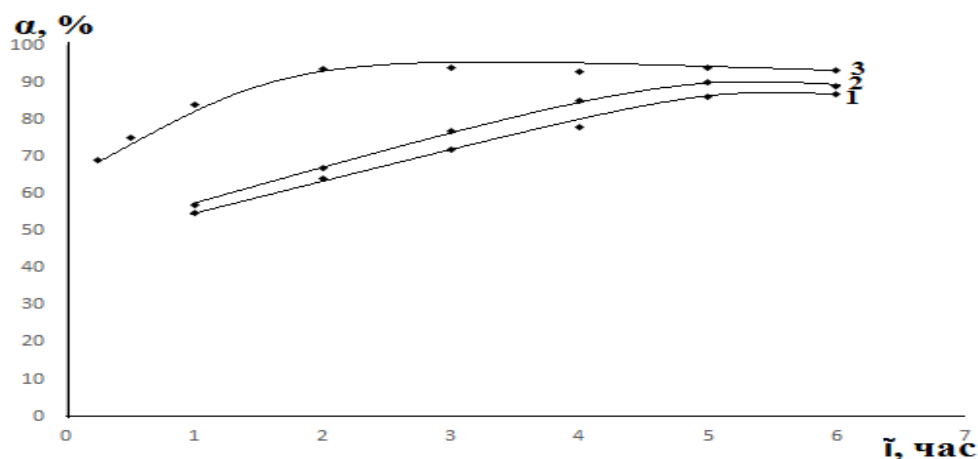


Рисунок 3.9 - Сравнительный анализ извлечения урана из урановых месторождений Таджикистана в зависимости от времени разложения серной кислотой:

- 1 - месторождение "Северный Таджикистан - 2";
- 2 - месторождение "Центральный Таджикистан";
- 3 - месторождение "Западный Таджикистан".

Характер кривых линий незначительно отличается для разных месторождений, на основании чего можно утверждать о сходстве минералогических составов ураносодержащих руд в различных урановых месторождениях Таджикистана.

Соответственно, в данном подразделе подробно исследованы физико-химические и технологические принципы переработки ураносодержащей руды различных месторождений Таджикистана в зависимости от различных технологических параметров (тем-ры, времени разложения, концентрации H_2SO_4 и др.). Дан сравнительный анализ ураносодержащих руд различных месторождений и показано, что в основном из ураносодержащей руды различных месторождений возможно извлекать до 90% урана.

3.4. Кинетика сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Химическая технология играет особую роль в решении проблем, связанных с минеральным сырьём. Поиск способов переработки местного сырья является актуальной задачей для Таджикистана. Методы переработки местного сырья, в том числе ураносодержащей руды различных месторождений Таджикистана, приведены авторами в [3, 4].

Ранее исследователи в [3, 4, 50-52] изучили переработку ураносодержащих руд кислотным и щелочным методами. Определили оптимальные параметры извлечения урановых концентратов при использовании кислотного и щелочного методов. Изучили кинетические параметры извлечения уранового концентрата и влияние тем-ры на его извлечение. Определили величины энергий активации для процессов разложения ураносодержащей руды различными методами. Также показано протекание процесса разложения ураносодержащей руды под диффузионным контролем [50-52].

В [4, 50-52] авторами разработаны и в лабораторных условиях подтверждены обобщённые технологические схемы для переработки ураносодержащих руд республики.

Изучено извлечение уранового концентрата из отходов бывших урановых производств. Соответственно, в качестве примера перспективности вторичной переработки ураносодержащих отходов приводится возможность переработки отходов хвостохранилища «Карта 1-9» города Бустон в Таджикистане. Предложены несколько обобщённых технологических схем для переработки ураносодержащих отходов различных хвостохранилищ [19, 20]. Также этими авторами проведено исследование кинетических процессов, происходящих при сернокислотном разложении ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан» и, в соответствии с полученными величинами энергии активации этого процесса, показано, что он происходит под кинетическим контролем [19, 20].

В данном разделе рассмотрены вопросы, касающиеся кинетических параметров разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» и проведена разработка и лабораторное подтверждение обобщённой технологической схемы для переработки указанной руды.

В урановом месторождении «Северный Таджикистан - 2» руда является традиционной, характерной для урановых месторождений республики.

Минералогическая характеристика руды данного месторождения исследована и определена методом рентгенофазового анализа, который показал наличие в

данной ураносодержащей руде минералы кварца, уранофана, каолинита, сфена, альбита, уранинита, пирита.

Согласно минералогической характеристике ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2», в данной руде уран находится в составе минералов уранофан и уранинит. Поскольку руда содержат уран в четырех- и шестивалентной формах, их можно подвергать кислотному или карбонатному разложению. Но в связи с тем, что в ураносодержащей руде месторождения «Северный Таджикистан - 2» присутствует в значительных содержаниях минерал кварц, то при кислотном разложении извлечение урана достигается значительно больше по сравнению с карбонатным разложением. Кроме того, в кислотном методе используется серная кислота, которая является более дешёвым реагентом по сравнению с карбонатными реагентами.

В таблице 3.9 приводится влияние концентрации серной кислоты на изменения степеней извлечения урана из руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» при постоянных параметрах – тем-ра 60°C, время разложения 60 минут.

Таблица 3.9 - Влияние концентрации серной кислоты на изменения степеней извлечения урана из руды месторождения «Северный Таджикистан - 2»

Концентрация H ₂ SO ₄ , %	10	20	30	40	50
Соотношение Т:Ж	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
Степень извлечения урана, %	33.2	50.1	63.1	65.3	66.6

Результаты исследования сернокислотного разложения ураносодержащей руды свидетельствуют о том, что при концентрации H₂SO₄, равной 30%, достигается максимальное извлечение из руды уранового концентрата. При концентрациях серной кислоты свыше 30% не отмечается существенных изменений в извлечении уранового концентрата. Соответственно, максимальное извлечение урана достигается при следующих условиях – время разложения руды 60 минут, серная кислота концентрации 30% с добавлением в процесс азотной кислоты, при этих условиях извлечение считается максимальным и составляет 66.6%.

В таблице 3.10 представлено изменение процентного извлечения урана в зависимости от тем-ры при постоянных параметрах - времени разложения 60 минут и концентрации серной кислоты 30%.

Таблица 3.10 – Влияние температуры на изменения степеней извлечения урана из руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» (концентрация H_2SO_4 30%, время разложения 60 мин, Т:Ж=1:2)

Температура, °С	30	40	50	60	70	80	90
Степень извлечения урана, %	25.4	45.3	56.7	63.1	65.3	68.8	69.1

Как показано в таблице 3.10, степени извлечения урана из руды увеличиваются с повышением тем-ры. В интервале 60-80°С степень извлечения возрастает, соответственно, до 63-69% и остается неизменной при дальнейшем повышении тем-ры.

Также было изучено изменение процентного извлечения урана в зависимости от времени разложения при постоянных параметрах - тем-ра 80°С и концентрации H_2SO_4 30% (таблица 3.11). Показано, что через 90 мин от начала процесса разложения извлечение достигает 75.5%, при дальнейшем увеличении времени разложения извлечение не увеличивается.

В изотермических условиях изучены кинетические параметры сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» при оптимальной концентрации H_2SO_4 30%, в диапазоне тем-ры от 303 до 353 К, эти параметры приводятся в таблице 3.12, из которой видно, что максимальное извлечение урана достигается при разложении в течение 1.5 ч и тем-ре 80°С, составляя 75.7 процентов.

Таблица 3.11 – Влияние времени разложения на изменения степеней извлечения урана из руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» (концентрация H_2SO_4 30%, тем-ра 80°С, Т:Ж=1:2)

Продолжительность процесса, ч	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Степень извлечения урана, %	60.0	68.8	75.7	75.7	75.7

Таблица 3.12 – Кинетика извлечения урана из руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» при концентрации H_2SO_4 30%

Температура, °С	Продолжительность процесса, ч				
	0.5	1	1.5	2	2.5
30	18.6	25.4	44.5	44.5	44.5
40	25.7	45.3	55.7	55.7	55.7
50	37.6	56.7	63.1	63.1	63.1
60	44.5	63.1	65.3	65.3	65.3
70	55.7	65.3	66.8	66.8	66.8
80	60.0	68.8	75.7	75.7	75.7

Также на основании таблицы 3.12 построен график (рисунок 3.10), на котором наглядно видно, что при увеличении тем-ры от 303 до 353 К и времени разложения руды от 0.5 до 2.5 ч процентное извлечение урана из руды также увеличивается, но после 1.5 ч практически не изменяется.

На рисунке 3.11 представлены результаты изучения влияния обратной абсолютной тем-ры ($1/T$) на $\lg K$ при проведении сернокислотного разложения руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

В соответствии с рисунком 3.11, экспериментально полученные точки удовлетворительно ложатся на прямую, по наклону которой было рассчитано значение энергии активации (15.37 кДж/моль). По этому значению и зависимости скорости реакции от тем-ры и времени разложения можно заключить о прохождении разложения под диффузионным контролем.

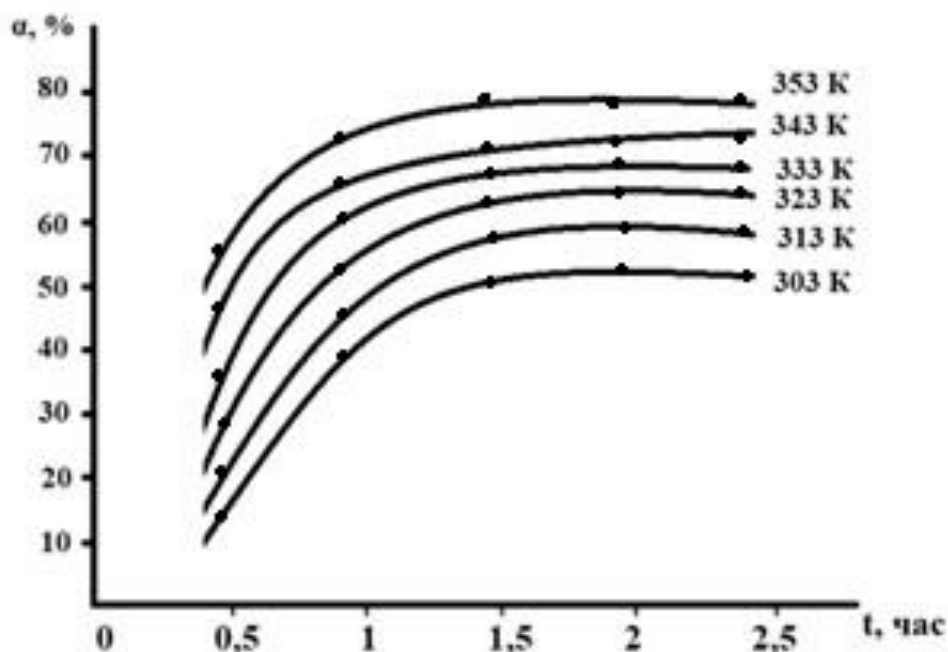


Рисунок 3.10 - Кинетические кривые линии сернокислотного разложения руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» в зависимости от тем-ры и времени разложения (Т:Ж равно 1:2).

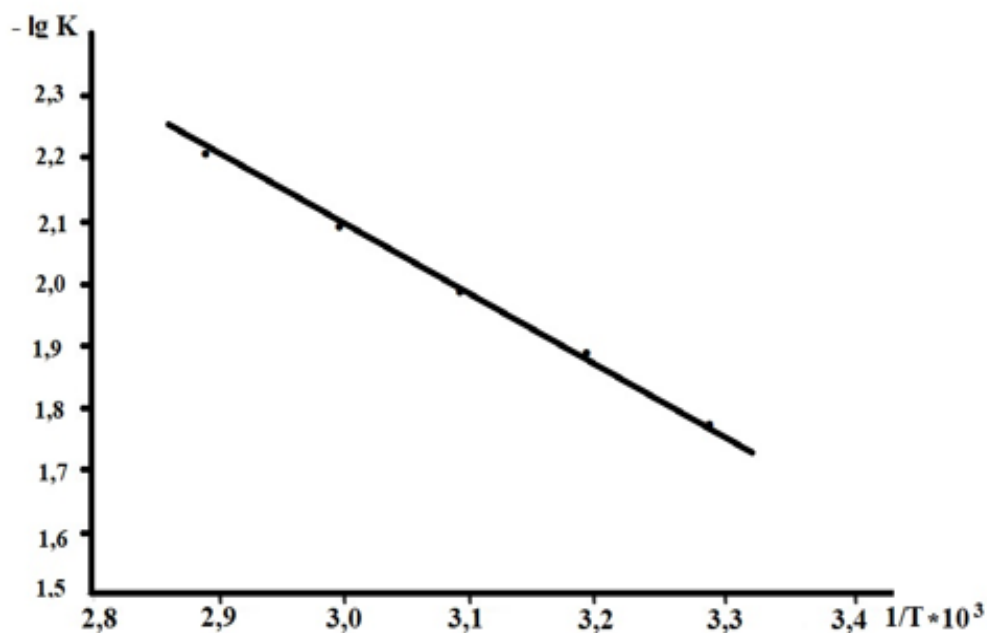


Рисунок 3.11 - Влияние обратной абсолютной тем-ры ($1/T$) на $\lg K$ при проведении сернокислотного разложения руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

Таким образом, на основании проведённых исследований раскрыты механизмы, на основании которых происходит разложение ураносодержащей руды

месторождения «Северный Таджикистан - 2». После определения кинетических характеристик, на их основании выбраны оптимальные режимы реализации разложения указанной руды. Также проведён анализ влияния таких параметров, как тем-ра, время разложения, концентрация H_2SO_4 на процентное извлечение урана из ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» - это тем-ра $80^{\circ}C$, время разложения 1.5 ч, концентрация H_2SO_4 30%, Т:Ж равно 1:2, при использовании этих параметров из руды извлекается 75.7% урана.

Установлено, что серноокислотное разложение руды с извлечением урана является изотермическим процессом. Для выявления механизма протекания этого процесса проведено построение кинетических кривых линий, характеризующих данный процесс. Кинетические кривые линии построены в широком диапазоне изменения основных параметров – в диапазоне тем-ры 303-353 К, времени разложения 0.5-2.5 ч, концентрации H_2SO_4 10-50%. Определено значение энергии активации серноокислотного разложения руды, равное 15.37 кДж/моль. По этому значению и зависимости скорости реакции от тем-ры и времени разложения можно заключить о прохождении разложения под диффузионным контролем.

3.5. Выделение урановых концентратов из дренажных и технических вод хвостохранилища Адрасман

Возникновение современных радиологических и экологических проблемы в республике связаны с наследием ранее функционирующих предприятий по уранодобыче и уранопереработке, которые являлись флагманами бывшего Советского Союза по получению урановых концентратов. После распада СССР практически все эти предприятия, также как и разработка ураносодержащих месторождений на севере Таджикистана, прекратили свою деятельность.

Исходя из этого, представляется перспективной переработка шахтных и дренажных вод Адрасманского хвостохранилища на севере Таджикистана с выделением из них уранового концентрата.

Содержание урана в дренажных водах Адрасманского хвостохранилища достаточно высокое, составляющее 20-25 мг/л урана, но эти воды не используются,

они безвозвратно дренирую вглубь хвостохранилища, загрязняя подземные воды и далее почву, растительный покров. Благодаря созданию современных эффективных технологий сорбции урана, эти воды могут быть использованы в производстве, из них возможно получение 1.0-2.0 тонн уранового концентрата ежегодно.

Данный факт является очень актуальным в настоящее время, он может гармонизировать программы экологического мониторинга, а также способствовать разработке эффективных технологий, направленных на решение сразу нескольких проблем – выделение из этих вод уранового концентрата, очистку ураносодержащих промышленных вод, снижения рисков от облучения населения после использования ими этих вод при поливе огородов, и корма скота.

В общем, в окрестностях посёлка Адрасман находится уникальное урановое наследие, позволяющее осуществлять многочисленные исследовательские проекты.

Разнообразие уранового наследия посёлка Адрасман: хвостохранилища, ураносодержащие отвалы, дренажные воды заставляют нас принимать меры, направленные на решение радиологических и экологических проблем посёлка.

Цель настоящего подраздела – изучение возможности выделения урановых концентратов из дренажных вод хвостохранилища Адрасман.

Химический анализ ураносодержащих вод проводили различными методами, в том числе, методом абсорбции, гамма-излучения, весовым и титриметрическим методами, разработанными в Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана.

Рентгенофазовый анализ (РФА) использовали для определения фаз после выпаривания растворов.

На рисунке 3.12 представлена гистограмма степени извлечения урана из различных ураносодержащих вод Таджикистана, согласно данным таблицы 3.13.

Таблица 3.13 - Характеристика ураносодержащих вод и сорбция урана

Тип технических вод	Содержание урана, мг/л	Сорбент	Степень извлечения урана, %
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

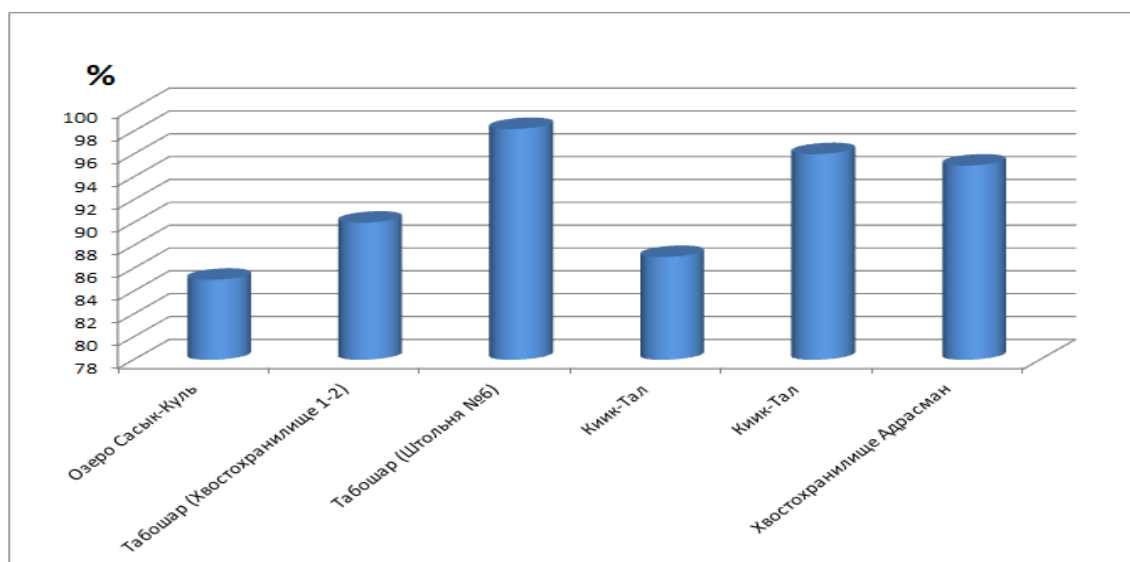


Рисунок 3.12 - Степени извлечения урана из различных ураносодержащих вод Таджикистана.

Физико-химическими методами определён химический состав ураносодержащих вод хвостохранилища Адрасман и показана перспективность выделения из них U_3O_8 . Найдены оптимальные параметры сорбции урана из дренажных ураносодержащих вод хвостохранилища Адрасман с использованием сорбента из местных сырьевых материалов.

3.6. Сорбция урана из растворов при помощи микрогеля

Ранее изучались сорбционные способы, направленные на переработку ураносодержащих шахтных вод и выщелоченных рудных растворов, используя промышленные и природные сорбенты [65].

Для сорбции урана из ураносодержащих шахтных вод использовали микрогель на основе пектиновых полисахаридов, которые были извлечены из природного материала – корзинок подсолнечника. Корзинки подсолнечника представляет собой активный сорбент, размеры частиц которого находятся в пределах не выше 0,4 мм, этот сорбент получали по методике, приведённой ниже.

Измельченные высушенные корзинки подсолнечника помещали в колбу и заливали раствором HCl, поддерживая водородный показатель (pH) в пределах 1-2, а гидромодуль в соотношении 1:10. Полученную смесь нагревали до тем-ры 40-50°C в течение определенного времени для набухания при постоянном перемешивании смеси. Экстракцию урана проводили на водяной бане при 85°C в течение 30 мин, при параметрах общего гидромодуля 1:20 и скорости перемешивания 2500 оборотов в минуту. После завершения экстракции полученная смесь направлялась на фильтрацию через полиамидный фильтр. Для полного отделения компонентов, оставшихся на фильтре - клеточной стенке, осадок промывали кипяченой дистиллированной водой не менее трёх раз, затем высушивали при комнатной тем-ре и определяли процентный выход целевого продукта. Полученный раствор разделяли на отдельные фракции: микрогель, пектиновые вещества и олигосахариды. Полученный раствор – гидролизат охлаждали, затем нейтрализовали аммиаком до pH=3.5-4. При этом один из компонентов раствора - микрогель – выпадал в осадок, поскольку микрогель нерастворим в слабокислых и нейтральных средах. Микрогель от раствора отделяли центрифугированием, которое проводили в течение 30 мин при скорости вращения 5000 оборотов в минуту. Полученная масса геля содержала в своём составе красители и балластные вещества, поэтому массу промывали этанолом не менее трёх раз, затем фильтровали и высушивали.

Сорбцию проводили следующим образом: к определённой массе (1 г) сорбента (микрогеля) с размерами частиц до 0.4 мм добавляют воду с целью его

набухания. Набухший сорбент помещают в сорбционную колонку. Далее через сорбционную колонку пропускают определённый объем ($V=0.2$ мл/мин) ураносодержащего раствора определённой концентрации. Отбирают пробы из вытекающего раствора по 5 мл и определяют содержание урана.

После протекания процесса сорбции, который контролируется содержанием урана в жидкости, насыщенный ураном сорбент обжигается в печи при $250-350^{\circ}$ до полного сгорания. Зола с содержанием урана, растворяют с использованием серной кислоты, добавляют окислители (железо трёхвалентное и азотную кислоту). После растворения полученная масса фильтровалась и в растворе был получен фильтрат уранил-сульфата. Затем уран из раствора осаждался аммиачной водой с получением закиси-оксида урана, полученный продукт высушивался при $100-150^{\circ}\text{C}$ в вакууме. Выход продукта 90-95%. Содержание основного вещества 90-95%. Результаты испытания приведены в таблице 3.14.

Таким образом, такой способ переработки шахтных вод урановых рудников позволяет использовать микрогель на основе пектиновых полисахаридов, полученных из корзинки подсолнечника, для выделения ценного продукта U_3O_8 .

Также был проведён сравнительный анализ сорбции урана из растворов различными сорбентами при статическом режиме. Результаты сравнения сорбции приведены в таблице 3.15.

Таким образом, выявлено, что сорбент на основе микрогеля хорошо сорбирует уран, как и другие традиционные сорбенты.

Таблица 3.14 - Сорбция ионов урана из раствора в микрогель в нейтральной и кислой среде

Характеристика	Показатели	
	pH (раствора) = 7	pH (раствора) = 2-6
Размер частиц сорбента, мм	до 0.4	до 0.4
Температура раствора, $^{\circ}\text{C}$	20-25	20-25
Концентрация урана в исходном растворе, мг/л	35.7	20
Вес сорбента в колонке, г	1	1

Высота слоя сорбента в колонке, мм	80	80
Объём раствора, пропущенного через колонку, мл	50	50
Сорбционная ёмкость сорбента, мг/г	1.6	0.72
Степень извлечения урана из растворов, %	90-95	70-75

Таблица 3.15 - Сравнительный анализ сорбции урана из растворов различными сорбентами при статическом режиме

Сорбент	Количество сорбента, г	Количество раствора, мл	Время выдержки, час	Степень сорбции, %
АМ 25	3	20	24	50.35
АМП 100	3	20	24	37.53
Уголь, термообработанный	3	20	24	63.20
Сорбент К	3	20	24	62.52
Микрогель	1	20	24	52.52

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проблема переработки урановых руд и отходов является одной из острых проблем, которые стоят перед Таджикистаном.

Если рассматривать состояние хвостохранилищ северного Таджикистана, то для их имеется много проблем, которые требуют решения.

В настоящее время на севере Таджикистана имеется десять хвостохранилищ – площадок, на которых в различное время осуществлялось захоронение радиоактивных отходов после переработки ураносодержащих руд. Их общая площадь составляет 180 гектаров, на которых скопилось более 55 миллионов тонн радиоак-

тивных отходов. Хвостохранилища территориально располагаются в в густонаселенных территориях, некоторые хвостохранилища расположены в верховьях притоков реки Сырдарья. По своему физическому состоянию в настоящее время почти все хвостохранилища представляют серьёзные риски и отрицательно воздействуют на здоровье людей и окружающую природную среду. Кроме того, на территории Согдийской области расположены заброшенные радиоактивные шахты, тоннели и другие источники ионизирующего излучения высокой интенсивности [19-21].

Все радиоактивные хвостохранилища северного Таджикистана имеют в своём составе различные содержания основных естественных радионуклидов, загрязняющих биосферу - это уран, радий, торий, полоний. В настоящее время наибольшую опасность представляет Фабрика бедных руд в городе Истиклол, которая до недавнего времени находилась в критическом состоянии, но сейчас на этой территории проводятся реабилитационные работы. Большой риск для населения и окружающей природной среды представляет также Адрасманское хвостохранилище, которое расположено в селевом канале, а также хвостохранилище Дигмай, являющееся самым крупным из всех хвостохранилищ и наиболее подверженное ветровой эрозии [93-97].

Также в группе риска находится Табошарский рудник, включающий вокруг себя пять хвостохранилищ, общая площадь которых оценивается примерно в 55 гектаров. Этот рудник с хвостохранилищами располагается от города Худжанд всего в 45 километрах. В этих хвостохранилищах складировано примерно 15 миллионов тонн ураносодержащих радиоактивных отходов, которые образовались в период 1945-1965 гг. в результате деятельности 2-х предприятий по обогащению урана и 2-х гидрометаллургических производств по извлечению урана из руд. Также на этой территории располагается заброшенный карьер, глубина которого достигает 50 метров, карьер в настоящее время затоплен водой, которая продолжает поступать, а также ураносодержащие отвалы Фабрики бедных руд. Эти ураносодержащие отходы лежат открыто и более 50 лет подвергаются водной и ветровой эрозии и загрязняют биосферу, ветра разносят радионуклиды по пастбищ-

ным полям, автомобильным дорогам, садовым участкам и огородам жителей на обширной территории вдоль русла реки Уткенсай, достигая Мирзораватской долины. В случае сильных дождей и селей радионуклиды могут попасть в реку Сырдарья. В некоторых местах долины концентрации радия в почвенном слое в 300 раз превышает максимально допустимые уровни для материалов, используемых в строительстве жилых домов. Однако на территориях хвостохранилищ местными жителями проводится строительство жилых домов, хозяйственных построек, выпас скота и создание садов и огородов [27, 28, 98].

Значительная опасность исходит от хвостохранилища Дигмай, территориально расположенного на территории бывшего водоема, в настоящее время полностью высохшего. Территориально хвостохранилище Дигмай занимает площадь 90 гектаров, расположено на территории Б. Гафуровского района, Худжанд находится на расстоянии всего 10 км от него, а ближайший населённый пункт – селение Гозиён - всего в 1.5 км. На территории хвостохранилища накопилось 36 миллионов тонн радиоактивных отходов. Во время добычи урана сюда сбрасывали жидкие радиоактивные отходы. После прекращения деятельности уранодобывающих и ураноперерабатывающих производств произошло полное испарение жидкости с тела хвостохранилища, а сами радиоактивные отходы спрессовались под собственной тяжестью в твердый грунт. Соответственно, защитное покрытие на территории Дигмайского хвостохранилища отсутствует. С поверхности Дигмая ветер может переносить ежегодно до 6.0 тысяч кубических метров радиоактивной пыли, загрязняя тем самым окружающую среду. Это хвостохранилище представляет опасность и в связи со значительными активностями газа радона и активностями продуктов его распада. Уровни радиации на поверхности Дигмая достигают 1200 микрорентген в час при допустимом радиационном фоне от 20 до 40 микрорентген в час. Хвостохранилище Дигмай имеет ограждение, которое охватывает примерно 85% его территории [26, 67, 96].

Хвостохранилище ураносодержащих радиоактивных отходов Адрасман территориально расположено в 75 километрах от областного центра – города Худжанд, в Карамазарских горах. Хвостохранилище Адрасман было сформирова-

но вследствие сбросов радиоактивных отходов в сай (овраг с временным или постоянным водотоком) с крутыми склонами. Ураносодержащие отходы сбрасывались в данное хвостохранилище в течение 1945-1955 гг. Соответственно, количество этих отходов в хвостохранилище достигает 400 тысяч тонн, которые складированы на площади 3.2 гектаров. Кроме того, здесь на глубине 14 метров было захоронено оборудование ураноперерабатывающего предприятия, которое также загрязнено значительными содержаниями радионуклидов. Поверхность Адрасманского хвостохранилища не является открытой, ранее были проведены работы по засыпке его пустыми породами Адрасманского свинцового комбината. В период 1992-1993 гг. начались работы по объединению небольших отдельных хвостохранилищ в одно. Но в связи с отсутствием финансирования деятельность по рекультивации и утилизации ураносодержащих отходов была прекращена [20, 22].

В настоящей работе мы дали оценку вторичной переработки хвостохранилища Адрасман.

Кроме проблемы хвостохранилищ, важной проблемой является радионуклидный мониторинг биосреды хвостохранилищ.

В ряде работ [77-86] широко освещаются проблемы радиоэкологии, радиационной безопасности населения [78], содержания тяжёлых металлов и радионуклидов в почвах и растениях [79, 80, 82]. Вопросы радиоактивной безопасности урановых руд и гигиена труда рассмотрены в [81].

Особое значение для работников, занимающихся урановым производством или использующих в работе другие источники ионизирующего излучения (ИИИ), имеет оценка доз облучения. В рамках этой работы сотрудниками Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана были проведены измерения величин индивидуального эквивалента дозы облучения персонала, работающего с ИИИ [87-93].

Одной из проблем для Таджикистана является содержание Cs-137 в почве из-за ядерных испытаний, проводимых в соседних странах – Китае, Пакистане и Индии [99, 100].

Для мониторинга хвостохранилищ важным фактором является радоновая проблема. Исследования сотрудников Агентства по ХБРЯ безопасности НАНТ показали, что радон присутствует во многих помещениях домов, которые находятся вблизи хвостохранилищ [101-106].

Основываясь на результатах ранее проведённых исследований, касающихся вторичной переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств [107-115], в настоящей работе мы остановились на переработке отходов хвостохранилища Адрасман.

Ранее Н. Хакимов и сотр. [1-3] исследовали ураносодержащие отходы, провели их физико-химический анализ, изучили извлечение из ураносодержащих отходов урановых концентратов, кроме того, ими были проведены следующие исследования:

- исследовали разложение ураносодержащих отходов с использованием H_2SO_4 , для данного процесса определили оптимальные параметры - разложение серной кислотой в течение 6 ч при тем-ре 65-70°C; расход H_2SO_4 - 180 килограмм на каждую 1 тонную ураносодержащей руды, при этих параметрах было достигнуто извлечение урана 93.85%;

- получены кинетические кривые линии процесса извлечения и определена энергия активации – 16.0 кДж/моль, то есть процесс проходит под диффузионным контролем;

- разработана обобщённая технологическая схема по переработке ураносодержащих отходов хвостохранилища «Карта 1-9», включающая следующие операции: репульпирование песков, нейтрализация до разложения «бедных» песков, фильтрация, удаление кеков, осаждение урана из раствора аммиаком, фильтрованием и прокаливанием диураната. Благодаря наличию нитратов и сульфатов железа в составе ураносодержащих отходов для процесса разложения нет необходимости использовать для активации окислители.

Хвостохранилище Адрасман также является перспективным для вторичной переработки. Нами показана возможность получения U_3O_8 из ураносодержащих

отходов Адрасмана. Дана сравнительная оценка извлечения концентрата урана из ураносодержащих отходов бывших урановых производств Таджикистана.

Вторым этапом работы было изучение физико-химических основ сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» (Октябрьское). В работе подробно изучена характеристика руд, проведены ДТА и РФА урановых руд месторождения «Северный Таджикистан - 2». Проведён термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урановых руд серной кислотой. Изучена кинетика процесса выщелачивания ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

Кроме того, в работе приведены результаты выделения урановых концентратов из дренажных и технических вод хвостохранилища Адрасман.

В результате проведённых исследований по физико-химическим и технологическим основам извлечения уранового концентрата из ураносодержащих руд и отходов рекомендовано использование местных сырьевых ресурсов для переработки ураносодержащих руд месторождения «Северный Таджикистан - 2» и ураносодержащих отходов Адрасмана для получения U_3O_8 .

В настоящей работе подробно анализированы методы переработки урановых руд Таджикистана и отходов урановой промышленности.

Для каждого хвостохранилища приводится методика обращения с отходами и их вторичной переработки.

В работе анализированы основы извлечения концентрата урана из ураносодержащих дренажных и технических вод. Показано, что является целесообразным и перспективным извлечение уранового концентрата из шахтных вод месторождения Киик-Тал, из шахтных и технических вод г. Истиклол, и хвостохранилища Адрасман.

В работе также анализированы физико-химические основы выделения урана из руд Таджикистана – месторождений «Центральный Таджикистан», «Северный Таджикистан», «Западный Таджикистан». Приведены результаты получения уранового концентрата из состава супесчаных почв.

В методике описано обращение с отходами хвостохранилищ Дигмай, Истиклол, г. Бустон и подробно описана методика работы с отходами пос. Адрасман.

Разработана методика анализа урана в рудах и отходах. ДТА ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан» сопоставлен с ДТА других урановых месторождений. РФА проведён на одном из современных приборов – рентгеновском дифрактометре ULTIMA-IV.

Переработка отходов урановой промышленности хвостохранилища Адрасман и ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» приводится в третьей главе.

Переработка отходов Адрасмана показывает возможность вторичного выщелачивания материала. В работе определены химический, гранулометрический и минералогический составы хвостов Адрасмана. Величины мощностей гамма-излучения на поверхности Адрасмана находятся в диапазоне от 0.85 до 1.25 мкЗв/час, а на теле хвостохранилища – значительно выше, в диапазоне от 0.5 до 130 мкЗв/час. Величины суммарной активности равны 160.0 Кюри. В составе хвостового материала Адрасмана среднее содержание урана равно 0.024%. Определены величины оптимальных параметров при переработке ураносодержащих отходов и разработана в лабораторных условиях и апробирована обобщённая технологическая схема их переработки. При переработке хвостов Адрасмана содержание карбонатов значительно выше, поэтому было предложено карбонатное выщелачивание отходов.

В работе дан анализ степени извлечения урана из хвостохранилищ Таджикистана. Также в работе подробно описаны основы сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». Исследованы кинетические процессы, происходящие в ураносодержащей руде месторождения «Северный Таджикистан - 2» при её переработке.

Изучение кинетических параметров способствует пониманию механизма сернокислотного разложения урановой руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». Полученные кинетические характеристики и параметры имеют

важное значение при выборе оптимального режима реализации процесса разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». Также проведён анализ влияния таких параметров, как тем-ра, время разложения, концентрация H_2SO_4 на процентное извлечение урана из ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» - это тем-ра $80^{\circ}C$, время разложения 1.5 ч, концентрация H_2SO_4 30%, Т:Ж равно 1:2, при использовании этих параметров из руды извлекается 75.7% урана.

Для сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» проведено построение кинетических кривых линий, характеризующих этот процесс. При этом придерживались следующих параметров - концентрация H_2SO_4 30%, тем-ра 303-353 К, которые являются оптимальными. Показано, что данный процесс является изотермическим, и величина его энергии активации равна 15.37 кДж/моль. По этому значению и зависимости скорости реакции от тем-ры и времени разложения можно заключить о прохождении разложения под диффузионным контролем.

Проведён сравнительный анализ извлечения ураносодержащей руды из месторождений, расположенных на севере Таджикистана – это месторождения «Центральный Таджикистан», «Северный Таджикистан», «Западный Таджикистан», «Северный Таджикистан - 2», а также супесчаные ураносодержащие почвы. Как показал анализ, извлечение уранового концентрата из всех указанных месторождений высокое – от 60 до 90%, несколько ниже извлечение уранового концентрата из супесчаных почв ~ 40%, наиболее перспективной для переработки предложено использовать руду месторождения «Западный Таджикистан», хотя в ней несколько ниже содержание урана по сравнению с рудами других месторождений. На рисунке 4.1 приводится диаграмма сравнительного анализа извлечения уранового концентрата из месторождений страны и из супесчаных почв.

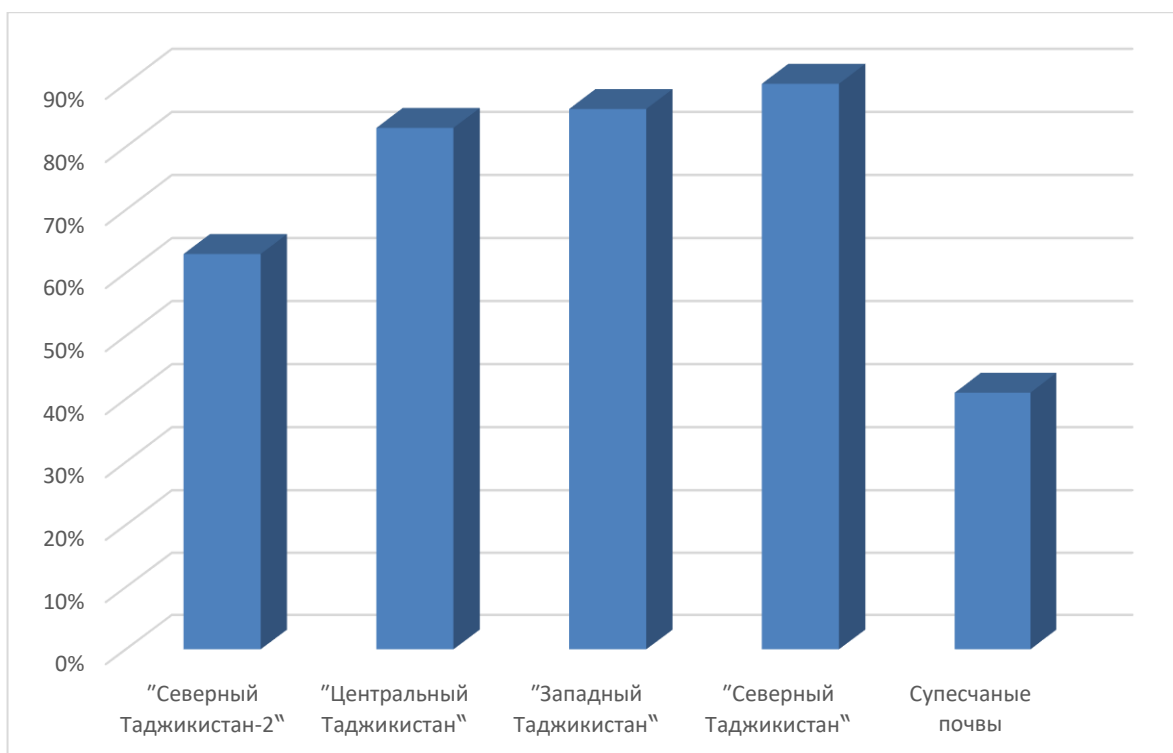


Рисунок 4.1 - Сравнительный анализ извлечения уранового концентрата из ураносодержащих руд месторождений Таджикистана и из супесчаных почв.

Таким образом, показана возможность получения U_3O_8 из ураносодержащей руды хвостохранилища Адрасман и из руды месторождения «Северный Таджикистан - 2».

Один из разделов работы посвящён выделению урановых концентратов из дренажных и технических вод хвостохранилища Адрасман.

Разработан специфический сорбент путём переработки пектиновых полисахаридов на микрогель.

ВЫВОДЫ

1. Изучены химический и минералогический составы отходов хвостохранилища Адрасман и ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» методами химического, дифференциально-термического и рентгенофазового анализа [1-А], [2-А], [3-А], [6-А], [11-А].
2. Поведён термодинамический анализ протекающих процессов при разложении ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2» и показана возможность протекания процессов разложения отдельных минералов руды [4-А].
3. Показана возможность переработки ураносодержащих отходов Адрасманского хвостохранилища. Найдены оптимальные параметры процесса выделения урана и дана сравнительная оценка получения концентрата урана из ураносодержащих отходов уранового производства [10-А], [14-А].
4. Исследовано сернокислотное разложение ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». Найдены оптимальные параметры разложения указанной руды [6-А], [7-А].
5. Изучена кинетика разложения ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2». Вычислено значение энергии активации данного процесса, составившего 15.37 кДж/моль, что свидетельствует о прохождении процесса под диффузионным контролем [5-А], [12-А], [15-А].
6. Разработаны обобщённые технологические схемы для переработки ураносодержащих отходов хвостохранилища Адрасман и ураносодержащей руды месторождения «Северный Таджикистан - 2», которые включают следующие основные стадии: дробление, разложение пульпы, фильтрация, сорбция, десорбция, процесс осаждения и получение U_3O_8 [9-А], [13-А], [16-А], [17-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- разработанную технологию переработки ураносодержащих руд Таджикистана рекомендовано использовать для получения концентратов урана;
- при переработке ураносодержащих руд рекомендуется использовать пероксид водорода как наилучшей окислитель по сравнению с другими окислителями;
- в качестве сорбента для получения урана из ураносодержащих растворов рекомендуется местный растительный сорбент;
- показано, что сырьевая база для нужд уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности Таджикистана является достаточно обширной, и предложен гидрометаллургический метод переработки сырья, так как подземное и кучное выщелачивание из-за горной местности трудно применяется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов. - Душанбе: Дониш, 2011. - 125 с.
2. Khakimov, N. Physico-Chemical and Manufacturing Basis for Uranium Concentratis Production from Wastes of Hydrometallurgical Plants and Technical Waters / N. Khakimov, Kh.M. Nazarov, I.U. Mirsaidov. - Dushanbe, 2012. - 210 p.
3. Хакимов, Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов. - Душанбе: Мавлави, 2012. - 120 с.
4. Мирсаидов, И. У. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов и сырьевых материалов / И.У. Мирсаидов. - Душанбе: Дониш, 2014. - 106 с.
5. Хакимов, Н. Инженерно-геологическое состояние хвостохранилища г. Гафурова / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, Д. Д. Камалов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 15-20.

6. Хакимов, Н. Экологический риск при вторичной переработке урановых отвалов Гафуровского хвостохранилища / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 43-48.
7. Переработка рентабельных отвалов ГП «Востокредмет» для добычи урана / У.М. Мирсаидов, Н.Хакимов, Х.М. Назаров, Д.Д. Камалов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 55-61.
8. Пути повышения извлечения урана из Гафуровского и Чкаловского хвостохранилищ на стадии выщелачивания / У.М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х.М. Назаров, Д.Д. Камалов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 103-109.
9. Мирсаидов, У.О возможности добычи урана из хвостохранилищ и шахтных вод месторождения Киик-Тал в Таджикистане / У. Мирсаидов, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. – Т. 48. - № 1. – С. 44-46.
10. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов уранодобывающей промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Хакимов. – Душанбе, 2006. - 22 с.
11. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 108. Способ переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов. 04.05.2007.
12. Баротов, Б.Б. Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых материалов Таджикистана: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.Б. Баротов. – Душанбе, 2011. - 22 с.
13. Поиск и возможности переработки отходов урановой промышленности / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. - Т. 54. - № 10. - С. 837-840.
14. Перспективы переработки урансодержащих отходов горной промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов [и др.] / Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. - Т. 56. - № 3. - С. 222-227.
15. Мирсаидов, И.У. Экологические риск при переработке отходов урановой промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов

// Труды VI Международной конференции «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2007. - С. 528-529.

16. Вторичная переработка хвостов техногенного месторождения северного Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов [и др.] // Материалы XII Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы 21 века». - Минск, 2012. - С. 90-93.

17. Мирсаидов, И.У. О возможности переработки отходов урановой промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Труды VI Международной конференции «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2007. - С. 530-531.

18. Мирсаидов, И.У. Экологические проблемы урановой переработки отходов промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Материалы Сахаровских чтений «Экологические проблемы 21 века». - Минск, Белоруссия, 2007. - С. 168.

19. Мирсаидов, И. У. Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых ресурсов Таджикистана: дис. ... д-ра техн. наук / И.У. Мирсаидов. – Душанбе, 2016. - 273 с.

20. Мирсаидов, У.М. Организационная и научная деятельность в области радиационной безопасности / У.М. Мирсаидов // Горный журнал. - 2016. - № 1. – С. 69-71.

21. Физико-химические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых материалов Таджикистана / У.М. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Ф.А. Хамидов, И.У. Мирсаидов // Материалы XVII Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы 21 века». - Минск, 2017. – Ч. 2. – С. 96.

22. Экологический мониторинг хвостохранилищ Таджикистана и выделение уранового концентрата из отходов урановой промышленности / У. М. Мирсаидов, Ф.А. Хамидов, С.М. Бахронов, С.В. Муминов // Там же. – С. 112-115.

23. Мирсаидов, У.М. Отходы уранодобывающего производства в Таджикистане / У.М. Мирсаидов // Региональный симпозиум «Урановое наследие Со-

ветского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, 2012. – С. 3-5.

24. Выщелачивание хвостов из «Фабрики бедных руд» / Н.Н. Рахматов, Н. Хакимов, Х.М. Назаров, А.М. Баротов // Там же. – С. 73-76.

25. Хакимов, Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И. У. Мирсаидов // Там же. – С. 79-81.

26. Оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилища Дигмай (Таджикистан) для населения, проживающего вокруг него / Х.М. Назаров, К.А. Эрматов, С.М. Бахронов [и др.] // Радиационная гигиена. - 2019. – Т. 12. - № 1. – С. 115-121.

27. Паспорта радиоактивных хвостохранилищ Северного Таджикистана. Агентство по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2004. - 6 с.

28. Оценка потенциальной радиационной опасности бывших урановых объектов для населения г. Истиклол Республики Таджикистан / Х.М. Назаров, К. А. Эрматов, Дж.А. Саломов [и др.] // Радиационная гигиена. - 2018. – Т. 11. - № 2. – С. 83-90.

29. Нормы радиационной безопасности (НРБ-06 СП 2.6.1.001-06): зарег. 16.01.2007 г. – Душанбе: Минюст Республики Таджикистан, 2007. – 172 с.

30. Физико-химические характеристики отходов Дигмайского хвостохранилища / М.М. Юнусов, Н.И. Беззубов, Х.И. Тиллобоев, С. Г. Ковыршин // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2007. – Т. 50. - № 6. – С. 527-530.

31. Мирсаидов, И.У. Использование местных материалов в качестве сорбента для извлечения урана из сточных шахтных и технических вод горнодобывающих предприятий / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Горный журнал. - 2011. - № 12. - С. 60-62.

32. Мирсаидов, И.У. О возможностях извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Ха-

кимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. - Т. 48. - № 9-10. - С. 100-104.

33. Мирсаидов, И.У. Исследование сорбционных свойств скорлупы урюка / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2007. - Т. 50. - № 1. - С. 46-50.

34. Мирсаидов, И.У. Кинетика процесса сорбции урана скорлупой урюка / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2007. - Т. 50. - № 6. - С. 532-535.

35. Суфиев, А.З. Характеристика шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / А.З. Суфиев, И.У. Мирсаидов, В.М. Миряхъев // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2008. - № 2. - С. 50-53.

36. Осаждение диураната аммония из десорбата / Х.М. Назаров, Н. Хакимов, Б.Б. Баротов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. - Т. 54. - № 8. - С. 657-660.

37. Физико-химическое состояние урана в шахтных урансодержащих водах и в супесчаных почвах / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н.Н. Рахматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. - Т. 56. - № 9. - С. 725-729.

38. Мирсаидов, И.У. Конструкционные особенности аппарата для сорбции урана из шахтных и технических вод / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, С.Д. Гафуров // Известия АН Республики Таджикистан. - 2007. - № 3 (128). - С. 78-82.

39. Технология очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод / И. У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов, М.З. Ахмедов // Известия АН Республики Таджикистан. - 2009. - № 2 (135). - С. 63-71.

40. Сорбция ионов урана из шахтных и дренажных вод с помощью шишек арчи в динамическом режиме / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, М. Хикматов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. - 2014. - № 3 (156). - С. 64-69.

41. Сорбция ионов урана из шахтных и дренажных вод с помощью шишек арчи в динамическом режиме / Н.Н. Рахматов, И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2014. - № 3 (156). - С. 64-69.

42. Мирсаидов, И. У. Экологические проблемы извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Материалы Сахаровских чтений «Экологические проблемы 21 века». - Минск, Белоруссия. - 2007. - С. 169.

43. Мирсаидов, И.У. Использование местных сырьевых материалов для адсорбции урана из вод отходов горнодобывающей промышленности Таджикистана: Сборник научных трудов сотрудников Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ / И.У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов. - Душанбе: АЯРБ АН РТ. - 2010. - С. 116-120.

44. Хакимов, Н. Очистка шахтных и дренажных вод от урана / Н. Хакимов, И.У. Мирсаидов, М.З. Ахмедов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». – Душанбе, 2009. - С. 238-239.

45. Хамидов, Ф.А. Физико-химические основы выделения уранового концентрата из отходов и термодинамические характеристики торий-урановых соединений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф.А. Хамидов. – Душанбе, 2017. – 22 с.

46. Мирсаидов, И. У. Опытнo-промышленные испытания сорбционных свойств местных сырьевых материалов / И.У. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Н. Н. Рахматов // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. – С. 72-73.

47. О возможности извлечения урана из рапы озера Сасык-Куль Таджикистана / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, Б.Б. Баротов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. – Т. 54. - № 9. – С. 769-773.

48. Технология извлечения урана из рассола с высоким содержанием хлоридов / У.М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Б.Б. Баротов [и др.] // Сборник научных трудов сотрудников Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ. – Душанбе, 2010. – С. 138-141.

49. Возможности переработки урансодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, М.К. Хочиён [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2017. - Т. 60. - № 3-4. – С. 168-172.

50. Физико-химические основы переработки урановых руд серноокислотным разложением / С.К. Ходжиев, М.С. Пулатов, С.В. Муминов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 5-6. – С. 247-250.

51. Серноокислотное выщелачивание урана из руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат, хим., геол. и техн. наук. - 2018. - № 4 (169). – С. 71-75.

52. Физико-химические свойства урановых руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, М.Д. Бобоёров, У. М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. - № 2. – С. 183-189.

53. Кинетика выщелачивания урансодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, С.М. Бахронов, У.М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. - № 3. – С. 161-165.

54. Ходжиев, С.К. Физико-химические и технологические основы переработки урансодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан»: автореф. дис. ...канд. техн. наук / С.К. Ходжиев. – Душанбе, 2018. - 22 с.

55. Эффективность действия пероксида водорода, как окислителя диоксида урана, в зависимости от рН среды / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, К.А. Эрматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. - № 3. – С. 281-285.

56. Термодинамический анализ протекающих процессов при серноокислотном выщелачивании руд месторождений «Западный Таджикистан» и «Центральный Таджикистан» / М.Д. Бобоёров, Б.Б. Баротов, Ф.А. Хамидов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат, хим., геол. и техн. наук. - 2020. - № 1 (178). – С. 84-88.

57. Физико-химические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров // XV Нумановские чтения «Академик И. У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». – Душанбе, 2019. – С. 155-156.

58. Назаров, Х.М. Карбонатное выщелачивание урановых руд / Х.М. Назаров, Н. Хакимов, И.У. Мирсаидов // Материалы семинаров «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистан». – Душанбе, 2011. – С. 27-29.

59. Physico-Chemical basics of processing of uranium-containing ores of the «Western Tajikistan» deposit / I.U. Mirsaidov, B.B. Barotov, M.D. Boboyorov, U. M. Mirsaidov // Applied Solid State Chemistry. - 2019. - № 1. – P. 53-56.

60. Sorption properties of thermal processed coal for extraction of uranium from solutions / M.D. Boboyorov, F.A. Khamidov, B.B. Barotov, U.M. Mirsaidov // Applied Solid state Chemistry. - 2019. - № 4. - P. 51-56.

61. Кинетика процесса разложения урановых руд месторождения «Западный Таджикистан» / М.Д. Бобоёров, Б.Б. Баротов, И.У. Мирсаидов [и др.] // XV Нумановские чтения ««Академик И. У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». – Душанбе, 2019. – С. 165-167.

62. Кинетика разложения урансодержащих руд месторождения «Рафикон» / Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров, И.У. Мирсаидов [и др.] // IV Международная научная конференция «Вопросы физической и координационной химии», посвященная памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хамида Мухсиновича и Юсуфова Зухуриддина Нуриддиновича: Материалы конференции. – Душанбе, 2019. - С. 37-140.

63. Физико-химические основы переработки урансодержащих руд месторождения «Рафикон» / И.У. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров [и др.] // Там же. – С. 140-144.

64. Эффективность действия окислителя при окислении урана в зависимости от рН среды / М.Д. Бобоёров, С.К. Ходжиев, Б.Б. Баротов, И.У. Мирсаидов // Республиканская научно-теоретическая конференция «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященная 60-летию химического факультета и памяти д.х.н. Нуманова Ишанкула Усмановича: Сборник статей. - Душанбе, 2020. - С. 91-94.

65. Бобоёров, М.Д. Физико-химические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана серноокислотным методом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Д. Бобоёров. – Душанбе, 2022. – 22 с.
66. Рахматов, Н.Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из супесчаных почв и шахтных вод: автореф. дис. ... канд. хим. наук / Н.Н. Рахматов. – Душанбе, 2016. – 22 с.
67. Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из растительного сырья / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н.Н. Рахматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. - Т. 56. - № 8. - С. 634-638.
68. Сорбционные свойства скорлупы ореха / Н.Н. Рахматов, Х.М. Назаров, А.В. Аксёнов [и др.] // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов». – Иркутск, 2015. - С. 155-159.
69. Рахматов, Н.Н. Кинетика процесса выщелачивания супесчаных урансодержащих почв / Н.Н. Рахматов, И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. – С. 80-83.
70. Извлечение урана из серноокислотных растворов супесчаных почв с промышленным сорбентом АМ(п) / Н.Н. Рахматов, И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. – С. 83-84.
71. Рахматов, Н.Н. Физико-химическое состояние урана в супесчаных почвах / Н.Н. Рахматов, И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. – С. 84-86.
72. Ласкорин, Б.Н. Химия урана / Б.Н. Ласкорин, Б.Ф. Мясоедов. – М.: Наука, 1989. – 466 с.
73. Марков, В.К. Уран, методы его определения / В.К. Марков, А.В. Виноградов. – М.: Атомиздат, 1964. – 464 с.
74. Раков, Э.Г. Процессы и аппараты производства радиоактивных и редких металлов / Э.Г. Раков, С.В. Хаустов. - М.: Metallurgia, 1993. - 384 с.

75. Харрингтон, Н.И. Технология производства урана / Н.И. Харрингтон, А. Рюэле. - М.: Госатомиздат, 1961. - 586 с.
76. Чесноков, Н.И. Уранодобывающая промышленность капиталистических стран. Современный этап развития / Н.И. Чесноков, Е.А. Котенко, М.В. Грязнов. - М.: Атомиздат, 1979. - 144 с.
77. Алексахин, Р. М. Проблемы радиоэкологии / Итоги науки и техники: Сер. Радиационная биология. - М.: ВИНТИ, 1983. – 147 с.
78. Алексахин, Р.М. Радиационная безопасность населения и агропромышленное производство (к вопросу о нормировании содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции) / Р.М. Алексахин, Е.В. Спирин, М.Н. Савкин // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1990. – № 4. – С. 444-450.
79. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. - Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
80. Андреева, Е.А. Естественная радиоактивность почв и определение валового калия радиометрическим методом / Е.А. Андреева // Почвоведение. – 1960. – № 5. – С. 21-29.
81. Андреева, О.С. Вопросы радиоактивной безопасности при переработке урановых руд / Вопросы гигиены труда на урановых рудниках и обогатительных предприятиях / О.С. Андреева. - М., 1971. – С. 5-17.
82. Баранов, В.И. Поведение естественных радионуклидов в почвах / Современные проблемы радиобиологии. Радиоэкология / В.И. Баранов, Н.Г. Морозова / Под ред. В.М. Клечковского, Г.Г. Поликарпова, Р.М. Алексахина. - М.: Атомиздат, 1971. – Т. 2. – С. 13-40.
83. Белоусова, И.М. Естественная радиоактивность / И.М. Белоусова, Ю. М. Штуккенберг. - М.: Медгиз, 1961. – С. 83-94.
84. Трахтенберг, И.М. Тяжелые металлы во внешней среде: Современные гигиенические и токсикологические аспекты / И.М. Трахтенберг, В.С. Колесников, В.П. Луковенко – Минск, 1995. – 285 с.
85. Цыб, А.Ф. Вокруг Семипалатинского полигона: Радиоэкологическая обстановка, дозы облучения населения в Семипалатинской области / А.Ф. Цыб, В.

Ф. Степаненко, В.А. Питкевич // Медицинская радиология. - 1990. - № 12. - С. 3-11.

86. Шарипов, С.М. Обеспечение радиационной безопасности промышленных предприятий северного региона Казахстана / С.М. Шарипов, М.Ж. Шартыхбаев. – Павлодар, 2006. – С. 25-42.

87. Мониторинг индивидуальных доз облучения сотрудников рентгенкабинетов стоматологических поликлиник г. Душанбе Республики Таджикистан / Н.У. Хакимова, Е.Ю. Малышева, Ш.Г. Шосафарова, У.М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 1. - С. 58-60.

88. Сравнительный анализ внешнего облучения различных профессиональных групп медперсонала г. Душанбе Республики Таджикистан / Н.У. Хакимова, Е.Ю. Малышева, Ш.Г. Шосафарова, У.М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. - 2019. - Т. 12. - № 4. - С. 78-81.

89. Радоновый мониторинг на территории Северного Таджикистана / У.М. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Ш.Г. Шосафарова, М.М. Махмудова // Радиационная гигиена. - 2020. - Т. 13. - № 1. - С. 68-73.

90. Хакимова, Н.У. Дозы облучения персонала в радиационной диагностике / Н.У. Хакимова, Е.Ю. Малышева, Ш.Г. Шосафарова // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - 2009. - Т. 52. - № 11. - С. 899-901.

91. Хакимова, Н.У. Анализ данных индивидуального дозиметрического контроля сотрудников таможенной службы, относящихся к группе «А» / Н.У. Хакимова, Е.Ю. Малышева, Ш.Г. Шосафарова // Известия Академии наук Республики Таджикистан. - 2015. - № 2 (159). - С. 93-96.

92. Анализ внешнего облучения различных профессиональных групп медперсонала города Душанбе / Н.У. Хакимова, Е.Ю. Малышева, Ш.Г. Шосафарова [и др.] // Материалы XV Нумановских чтений «Академик И.У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». – Душанбе, Институт химии им. В. И. Никитина АН РТ, 2019. - С. 161-162.

93. Анализ индивидуального мониторинга внешнего облучения медперсонала в Республике Таджикистан / Ш.Г. Шосафарова, Н.У. Хакимова, Е. Ю. Ма-

лышева, У.М. Мирсаидов // Материалы республиканской научно-практической конференции « Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики». – Душанбе, ТНУ, 2020. - С. 265-268.

94. Муртазаев, Х. Радиологическая карта северного Таджикистана / Х. Муртазаев, Б.Д. Бобоев, А. Муртазаев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. 48. - № 11-12. - С. 104-109.

95. Трансграничные радиозэкологические проблемы (на примере соседних районов Кыргызстана и Таджикистана) / Х. Муртазаев, Б.Д. Бобоев, А. Муртазаев, Ш. Болибеков // Учёные записки Худжандского государственного университета. Серия естественные и экономические науки. – 2006. - № 12. - С. 62-68.

96. Бобоев, Б.Д. Радиационный мониторинг северных склонов Туркестанского хребта / Б.Д. Бобоев, Х.М. Назаров, Х. Муртазаев // Материалы Республиканской научно-практической конференции « Из недр Земли до горных вершин». - Чкаловск, ГМИТ, 2007. – С. 153-154.

97. Муртазаев, Х. Радиологическая карта северного Таджикистана / Х. Муртазаев, Б.Д. Бобоев, А. Муртазаев // Материалы II Международной конференции «Современные проблемы геоэкологии и сохранение биоразнообразия». - Бишкек, 2007. - С. 109-110.

98. Бобоев, Б.Д. Физико-химические основы миграции урана в системе «Дренажные воды-почва» / Б.Д. Бобоев, Х.М. Назаров, М.З. Ахмедов // Материалы семинаров «2011 год - Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе, 2011. – С. 30-32.

99. Содержание цезия-137 в почвенном покрове Центрального и Южного Таджикистана / С.В. Муминов, Б.Б. Баротов, У.М. Мирсаидов [и др.] // Радиационная гигиена. - 2021. - Т. 14. - № 2. - С. 66-71. Индексирован в системе Scopus.

100. Накопление изотопа цезия-137 в почве за счёт атмосферных выпадений на юга-западе Таджикистана / С.В. Муминов, И.У. Мирсаидов, Б.Б. Баротов [и др.] // Материалы II Международного научного форума «Ядерная наука и технологии». - Алматы, 2019. - С. 177-178.

101. Radon EEC in the Southern region's preschool and institution's buildings of the Republic of Tajikistan / U.M. Mirsaidov, S.V. Muminov, B.B. Barotov [et al.] // Modern Environmental Science and Engineering(ISSN 2333-2581). – USA. - Academic Star Publishinh Company. – 2021. – V. 7. - № 10. – P. 1010-1016. Индексирован в системе Scopus.

102. Концентрации радона в питьевой воде и её очищение от радона / К.А. Эрматов, Х.М. Назаров, Б.Д. Бобоев [и др.] // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в машиностроении Республики Таджикистан», посвящённой Дню химика и 80-летию со дня рождения д.т.н., проф., ак. Международной инженерной академии и Инженерной академии Республики Таджикистан А.В. Вахобова. - Душанбе, 2016. - С. 228-229.

103. Радиологический мониторинг хвостохранилищ Таджикистана и выделение уранового концентрата из отходов урановой промышленности / У.М. Мирсаидов, Ф.А. Хамидов, С.М. Бахронов, С.В. Муминов // Материалы XVII Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2017 года: экологической проблемы 21 века». - Минск, 2017. - Ч. 2. - С. 96.

104. Эрматов, К.А. Радоновый мониторинг некоторых районов Таджикистана / К.А. Эрматов, С.М. Бахронов, С.В. Муминов // Материалы XIV Нумановских чтений «Вклад молодых учёных в развитие химической науки». - Душанбе, 2017. - С. 62-63.

105. Общий анализ результатов проведения радонового мониторинга в северном Таджикистане / К.А. Эрматов, С.М. Бахронов, С.В. Муминов, Х.М. Назаров, У. М. Мирсаидов // Сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции « Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2018)». - Уфа, 2018. - Т. 1. – С. 259-263.

106. Удельная суммарная активность радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения южных районов Республики Таджикистан / С.В. Муминов, Ш.Р. Муродов, Ф.С. Мухидинов [и др.] // Сборник материалов XV Нумановских чтений «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве РТ». - Душанбе, 2019. - С. 153-154.

107. Ласкорин, Б.Н. Химия урана / Б.Н. Ласкорин. – М.: Наука, 1981. – 504 с.
108. Технология переработки урановых руд: Сборник статей / Советская атомная наука и технология / Б.Н. Ласкорин / Под ред. К. И. Щёлкина. – М.: Атомиздат, 1967. – С. 222-240.
109. Шаталов, В.В. Химия естественных радионуклидов и вопросы защиты окружающей среды / Химия урана / В.В. Шаталов, Б.Н. Ласкорин. – М.: Наука, 1989. – С. 17-24.
110. Каплан, Г.Е. Промышленные методы переработки бедных урановых руд / Г.Е. Каплан, Б. Н. Ласкорин, Б. В. Невский // Атомная энергия. – 1959. – Т. 6. № 2. – С. 112-123.
111. Radiation protection and the management of radioactive waste in the oil and gas industry: Safety Report Series, No 34. - IAEA, 2003.
112. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. - Vienna, 2004.
113. Assessing the need for radiation protection measures in work involving minerals and raw material: Safety Report Series No 49. - IAEA, 2006.
114. Radiation protection and NORM residue management in the zircon and zirconia industries: Safety Report Series No 51. - IAEA, 2007.
115. Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VII): Proceedings of an International Symposium. - Beijing, China, 2013.
116. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM VIII): Proceedings of an International Symposium. - Rio de Janeiro, Brazil, 2016.
117. Радиологический мониторинг хвостохранилищ Таджикистана и выделение уранового концентрата из отходов урановой промышленности / У.М. Мирсаидов, Ф.А. Хамидов, С.М. Бахронов, С.В. Муминов // Материалы XVII Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века» / Под общей редакцией С.А. Маскевича, С. С. Позняка. - Минск, Белоруссия, 2017. - С. 97.

118. Радиоэкологический мониторинг хвостохранилищ Северного Таджикистана / Н. Хакимов, О.В. Войцехович, В.Я. Саидов [и др.] // Материалы VI Нумановских чтений. - Душанбе, 2009. - С. 207-213.

119. Нормы и правила НП 03.003-11 «Правила обращения с радиоактивными отходами», зарегистрировано в МЮ РТ №608 от 11.04.2011.

120. Лисаченко, Э.П. Природные радионуклиды в производственных отходах предприятий неурановых отраслей промышленности / Э. П. Лисаченко, И. П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2. – № 2. – С. 70-77.

121. Радиоэкологический мониторинг минеральных руд Таджикистана / Ф. А. Хамидов, Б.Б. Баротов, Ш.Р. Муродов [и др.] // Материалы XV Нумановских чтений. – Душанбе, 2019. – С. 169-171.

122. Радионуклиды в строительных материалах Таджикистана / С.В. Муминов, Б.Б. Баротов, Ф.А. Хамидов [и др.] // Материалы XV Нумановских чтений. – Душанбе, 2019. – С. 171-173.

123. Правила обеспечения радиационной безопасности. – Зарегистрировано в МЮ РТ № 402 от 18.06.2008.

124. СанПиН 2,6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счёт природных источников ионизирующего излучения». – Россия, Минздрав РФ, 2011.

Список научных публикаций соискателя по теме диссертации:

[1-А]. **Бобоев, К.О.** Оценка возможности переработки урановых отходов хвостохранилища Адрасман / Х.М.Назаров, И.Мирсаидзода (И.У. Мирсаидов), Б. Б.Баротов, К.О.Бобоев, У.М.Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2021. - № 2 (183). - С. 84-89.

[2-А]. **Бобоев, К.О.** Физико химические основы сернокислотного разложения урансодержащих руд Таджикистана/ М.Д. Бобоёров, Б.Б. Баротов, И. Мирсаидзода (И.У.Мирсаидов), К.О. Бобоев, У.М. Мирсаидов //Доклады НАН Таджикистана. – 2021. – Т. 64. - № 1-2. – С. 92-96.

[3-А]. **Бобоев, К.О.** Выделение урановых концентратов из рассолов, дренажных и технических вод / У.М. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, И. Мир-

саидзода, Дж.Н. Эшов // Доклады НАН Таджикистана. – 2021. – Т. 64. - № 3-4. – С. 219-223.

[4-А]. **Бобоев, К.О.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд / 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.

[5-А]. **Бобоев, К.О.** Кинетика процесса выщелачивания урансодержащей руды месторождения «Октябрьский» / К.О. Бобоев // Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 65. - № 7-8. – С. 523-527.

[6-А]. **Бобоев, К.О.** Особенности анализа урана в урансодержащих рудах и отходах / К.О. Бобоев, М.Д. Бобоёров, Б.Б. Баротов, И. Мирсаидзода // Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 66 . - № 3-4 . – С.218-222.

[7-А]. **Бобоев, К.О.** Дифференциально-термический анализ урановых руд Таджикистана / М.Д. Бобоёров, К.О. Бобоев, Б.Б. Баротов, С.К. Ходжиев, И. Мирсаидзода // Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 65 . - № 9-10 . – С. 643-646 .

[8-А]. **Бобоев, К.О.** Характерные особенности урановых руд месторождений Таджикистана / М.Д. Бобоёров, К.О. Бобоев, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов, У.М. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2022. - № 4 (189). - С. 90-96.

Публикации в материалах научных конференций:

[9-А]. **Бобоев, К.О.** Технологические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана / И.Мирсаидзода, Б.Б.Баротов, М.Д.Бобоёров, К.О.Бобоев, У.М.Мирсаидов // Материалы Республиканской научно-практической конференции « Инновационное развитие науки» с участием международных организации. – Душанбе, 2020. - С. 97-98.

[10-А]. **Бобоев, К.О.** Поиск и оценка возможности переработки урановых отходов хвостохранилища Адрасман / Х.М. Назаров, И. Мирсаидзода, М.Д. Бобоёров, К.О. Бобоев, У.М. Мирсаидов // Материалы Республиканской научно-практической конференции « Инновационное развитие науки» с участием международных организации. – Душанбе, 2020. - С. 117-119.

[11-А]. **Бобоев, К.О.** Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов горнорудной промышленности / И. Мирсаидзода, Ф.А. Хамидов, Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, Дж.Н. Эшов // 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.

[12-А]. **Бобоев, К.О.** Оценка возможности переработки урановых руд месторождения Октябрьское / К.О. Бобоев // Республиканская научно-практическая конференция «Фундаментальная наука – основа совершенствования технологий и материалов». – Душанбе, 2021. - С14-16.

[13-А]. **Бобоев, К.О.** Об перспективах переработки урансодержащих руд месторождения «Северный Таджикистан-2» / К.О. Бобоев, Б.Б. Баротов, Х.М. Назаров, И. Мирсаидзода // Республиканская научно-практическая конференция «Фундаментальная наука – основа совершенствования технологий и материалов». – Душанбе, 2021. – С. 11-14.

[14-А]. **Бобоев, К.О.** Поиск и оценка возможности переработки урановых отходов и отвалов посёлка Адрасман Республики Таджикистан / У.М. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, Х.М. Назаров // Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века». - Минск, 2021. - С. 279-282.

[15-А]. **Бобоев, К.О.** Кинетика процесса выщелачивания урансодержащей руды месторождения «Октябрьский» Таджикистана / К.О. Бобоев, М.Д. Бобоёров, Б.Б. Баротов, А.М. Мирзоев // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». – Душанбе, 2022. – С. 50-52.

[16-А]. **Бобоев, К.О.** Переработки местного урансодержащего сырья Таджикистана / К.О. Бобоев, М.Д. Бобоёров, Дж.Н. Эшов, Б.Б. Баротов, У.М. Мирсаидов // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». – Душанбе, 2022. - С. 103-104.

Патенты и изобретения:

[17-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1223. Способ извлечения урана из шахтных вод / **К.О. Бобоев**, М.Д. Бобоёров, И. Мирсаидзода, Дж.Х. Халиков, Д.С. Мухиддинов, Б.Б. Баротов, Ф.А. Хамидов. - 21.10.2020.