

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

На правах рукописи

УДК: 661.17 (575.3)
ББК: 24.12 (2 точик)
Б 24



БАРОТОВ БАХТИЁР БУРХОНОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ
МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТАДЖИКИСТАНА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 05.17.00 – Химическая технология (05.17.01 – Технология
неорганических веществ)

Душанбе – 2025

Диссертационная работа выполнена на базе «Лаборатории технических услуг» Научно-исследовательского отдела Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной Академии наук Таджикистана.

Научный консультант: **Мирсаидзода Илхом**,
доктор технических наук, профессор, директор Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной Академии наук Таджикистана

Официальные оппоненты: **Мирзозода Баходур**
доктор технических наук, с.н.с. отдела науки и инноваций филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г.Душанбе, Таджикистан

Шарифов Абдумумин
доктор технических наук, профессор, заведующий отделом водородной энергетики Института химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана

Гайбуллаева Зумрат Хабибовна
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология производственных процессов» филиала Таджикского технического университета им. Акад. М.С.Осими на ОАО АЗОТ

Опонирующая организация: Горно-металлургический институт Таджикистана, г. Бустон, Таджикистан

Защита состоится «19» января 2026 года в 09:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA-042 на базе Института химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана и Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, +992934366463.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина НАНТ www.chemistry.tj.

Автореферат разослан «____» _____ 2025 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

Хамидов Ф.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Развитие уранодобывающей промышленности в Таджикистане имеет свою уникальную историю. В советский период переработка урановых руд в Таджикистане была одной из ведущих отраслей. С 1945 года урановая промышленность развивалась стремительными темпами, и машиностроение сыграло ключевую роль в обеспечении атомной энергетики концентратами в форме желтого кека.

Как известно, процесс добычи и переработки урановых руд играет важнейшую роль в обеспечении стабильной работы ядерной энергетики.

В Таджикистане деятельность, связанная с добычей урана, представлена гидрометаллургическим заводом (ГМЗ), функционирующим в рамках государственного унитарного предприятия «Таджикские редкоземельные металлы». Стремительный рост ядерной энергетики требует повседневного обнаружения не изученных источников урансодержащих руд, а также совершенствования технологий их переработки и внедрения передовых методов обогащения, включая обработку малосодержательных руд и отходов урановой индустрии. Существенным компонентом данных технологических процессов является подбор высокоэффективных сорбентов для урана, а также вторичная переработка урановых отходов. Кроме того, значительный интерес представляет очистка урансодержащих вод с использованием различных местных сорбентов.

Проблема хвостохранилищ остаётся недостаточно изученной. Поэтому важное значение имеет научная разработка методов их исследования, а также перспективной задачей является переработка урансодержащих руд месторождений Северного, Центрального, Западного Таджикистана и Северного Таджикистана, которые до настоящего времени практически не изучены.

Анализ экономической эффективности и возможности переработки урансодержащих руд из новых залежей требует глубокой проработки. Эффективная добыча урана должна сочетаться с созданием надёжных и безопасных условий освоения месторождений, что особенно важно для снижения возможного воздействия на окружающую среду и предотвращения технических осложнений.

Важной областью научных изысканий выступает внедрение разнообразных технологий извлечения урана как из минерального сырья, так и из техногенных отходов, в том числе с использованием местных сорбентов, обладающих высокой селективностью. Эти технологии позволяют повысить эффективность переработки сырья и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Степень научной разработанности изучаемой определяется масштабом исследований, проводимых Агентством по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана. В центре внимания - изучение физических и химических принципов переработки урановых руд, добываемых на местных месторождениях, кроме того, особое внимание уделяется разработке действенных стратегий по переработке и утилизации отходов, образующихся в уранодобывающей промышленности, включая супесчаные отложения, а также производственные жидкости (шахтные стоки) и дренажные стоки. К числу приоритетных задач относится извлечение концентрата триоксида урана (U_3O_8), обладающего высокой коммерческой значимостью.

В настоящее время ведутся активные работы по созданию и совершенствованию технологий уранодобычи, среди которых наибольший потенциал демонстрируют методы, основанные на использовании серной кислоты и щелочных реагентов. Сернокислотный способ демонстрирует высокую эффективность при обработке урановых залежей месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан - 2" и "Восточный Памир", а также позволяет изучать механизмы кислотного разложения пород.

Связь исследования с программами (проектами), научной тематикой. Данное диссертационное исследование выполнено в рамках научных программ Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной Академии наук Таджикистана на тему: "Физико-химические основы выделения

урановых концентратов из руд и отходов" (2020-2024 гг. ГР №0120 ТЈ01030), "Физико-химические основы извлечения урана из руд и урансодержащих шахтных и технических вод" (2015-2019 гг. ГР №0115 ТЈ 00470) и "Изыскание технологических основ переработки урансодержащих руд и отходов урановой промышленности" (2010-2014 гг. ГР №102ТД843). Кроме того, данное исследование охватывает "Стратегию Республики Таджикистан в сферах науки, технологий и инноваций на период до 2030 года" по приоритетным направлениям научных и научно-технических исследований, т.е. разведка и рациональное использование природных ресурсов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью данного исследования является разработка физико-химических основ переработки урансодержащих руд, характерных для месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан – 2", "Восточный Памир", а также отходов, накопленных в хвостохранилищах Адрасман и города Бустон.

Основные задачи исследования включают:

- изучение механизмов разложения урансодержащего сырья с применением кислотных и щелочных агентов, направленных на эффективное извлечение полезных компонентов;
- определение ключевых энергетических и кинетических параметров, влияющих на скорость и полноту химических реакций при переработке руд;
- разработка и оптимизация технологических схем, адаптированных к особенностям урановых месторождений Таджикистана и обеспечивающих безопасную утилизацию отходов;
- исследование процессов извлечения урановых концентратов из разнообразных водных сред, включая стоки дренажей, технологических растворов и производственных жидкостей с содержанием урана.

Объектом исследования выступают урановые руды, извлекаемые из вышеуказанных месторождений, а также техногенные отходы, накапливаемые в хвостохранилищах Адрасман и Бустон. Эти объекты требуют глубокого анализа их химико-минералогического состава, а также детального изучения первичных компонентов, промежуточных стадий переработки и финального продукта — концентрата триоксида урана (U_3O_8).

Предмет исследования научной работы включает рассмотрение физико-химические закономерностей и технологических аспектов извлечения уранового концентрата из различного рода источников — природных руд, производственных остатков, технологических растворов, а также минерального рассола озера Сасык-Куль.

Научная новизна проведённого исследования заключается в:

- экспериментальном обосновании возможности извлечения урана из урансодержащих руд месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан – 2", "Восточный Памир";
- экспериментальном обосновании возможности извлечения урана из отходов хвостохранилищ Адрасман и города Бустон с применением сернокислотного и щелочного методов разложения;
- раскрытии механизма кислотного разложения урановых руд, характерных для региона, и установления ключевых значений окислительных агентов в процессе выщелачивания.

Теоретическая и научно-практическая значимость исследования заключается в оптимизации параметров разложения урановых руд и отходов, находящихся в хвостохранилищах, что способствует повышению эффективности их переработки. Проведена термодинамическая оценка сернокислотного разложения уранового сырья, а также изучены механизмы выделения из технических, шахтных и дренажных вод урана в виде U_3O_8 . В рамках работы разработаны методологические подходы к решению радиологических проблем, связанных с уранодобывающей и перерабатывающей промышленностью.

Практическая ценность данного исследования заключается в разработке ключевых оптимизированных схематических технологий, направленных на получение урановых концентратов, которые могут быть внедрены на гидрометаллургических предприятиях с целью эффективного извлечения урана из различных материалов, содержащих этот элемент.

Положения, выносимые на защиту:

- данные минералогического и химического анализа урановых залежей месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан – 2" и "Восточный Памир", а также их физико-химические свойства, определённые с применением рентгенофазового анализа, дифференциального термического анализа, альфа- и гамма-спектрометрии.;

- установленные химико-минералогические характеристики ураносодержащих отходов, накопленных в хвостохранилищах Таджикистана;

- результаты исследования процессов разложения руд урановых месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан - 2" и "Восточный Памир", а также отходов хвостохранилища Адрасман и хвостохранилища города Бустон, с установлением оптимальных параметров проведения данных процессов.

- данные по изучению процессов выщелачивания урановых руд с введением в процесс окислителей, а также анализ зависимости эффективности извлечения урана от уровня pH раствора в присутствии окислительных агентов;

- энергетические и кинетические параметры разложения ураносодержащих руд и отходов в условиях сернокислотного воздействия;

- разработанные оптимизированные схематические технологии переработки уранового сырья, добываемого на месторождениях "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан - 2" и "Восточный Памир", а также отходов хвостохранилища Адрасман и хвостохранилища города Бустон;

- предложенные эффективные методы извлечения урана из технических и шахтных вод, наряду с разработкой решений для устранения экологических проблем, связанных с уранодобывающей промышленностью.

Степень достоверности результатов опирается на результаты, полученные с применением сертифицированного и аккредитованного аналитического оборудования, соответствующего современным требованиям лабораторной практики. Комплексное применение современных физико-химических методов анализа, таких как спектральный анализ, альфа- и гамма-спектрометрия, дифференциальный термический анализ (ДТА) и рентгенофазовый анализ (РФА), обеспечило высокую точность, надёжность и воспроизводимость полученных экспериментальных данных. Теоретическая база исследования опирается на фундаментальные принципы физической химии и технологию переработки неорганического сырья, что обеспечивает научную обоснованность, логическую согласованность и целостность проведённой работы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности:

Область исследования соответствует паспорту специальности 05.17.00 – Химическая технология (05.17.01 – Технология неорганических веществ) по следующим пунктам:

п.1.Производственные процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты. (Исследованы сорбционные методы извлечения урана. Рассмотрены методы сорбции на ионообменных смолах, углях и природных сорбентах. Исследована эффективность термообработанных углей месторождения Фан-Ягноб и микрогелей на основе пектиновых полисахаридов)

п.2.Технологические процессы (химические, физические и механические) изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала в производстве неорганических продуктов. (Разработаны технологические схемы переработки урановых руд, добываемых из месторождений "Танзим", "Восточный Памир", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан" и "Северный Таджикистан - 2".)

п.4. Способы и средства разработки, технологических расчетов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции применительно к производственным процессам получения неорганических продуктов. *(Определена кинетика выщелачивания урана при различных температурных условиях (293, 313, 333 К) и временных интервалах (1–10 часов). Рассчитаны значения энергии активации процессов, позволяющие установить механизмы реакции и определить наиболее рациональные технологические параметры для максимального извлечения урана)*

Личный вклад соискателя учёной степени выражается в активном участии на всех этапах выполнения научной работы. Соискателем были разработаны и реализованы методологические подходы, направленные на достижение целей и решение поставленных исследовательских задач. Автор лично провёл комплекс экспериментальных исследований, применяя современные аналитические и численные методы для получения достоверных результатов. Были осуществлены сбор, систематизация, обработка и всесторонняя интерпретация экспериментальных и расчетных данных, а также выполнен их сравнительный анализ и обобщение. Полученные научные результаты нашли отражение в рецензируемых научных изданиях, а основные положения и выводы диссертации сформулированы на основе собственных исследовательских наработок и экспериментальных данных.

Апробация и реализация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждены в рамках ряда научных мероприятий различного уровня, что способствовало их апробации и получению экспертной оценки научным сообществом, что обеспечило их апробацию в профессиональном сообществе: VI Нумановских чтениях (Душанбе, 2009); VII Междунар. конфер. «Ядерная и радиационная физика» (Алматы, Казахстан, 2009); Семинарах «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана» (Душанбе, 2011); Междунар. семинаре «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения» (Душанбе, 2012); Республик. конфер. по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, гео-логических, химических и медицинских объектов (Душанбе, 2014); Между-нар. научн.-практич. конфер., посвящённой 1150-летию учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн За-кария Рази (Душанбе, 2015); Междунар. науч. конфер. «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», посвящённой 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан (Душанбе, 2016); XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе, 2019); Республ. науч.-теоретич. конфер. «Основы развития и перспективы химической науки в Республики Таджикистан», посвящ. 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика АН РТ И. У. Нуманова (Душанбе, 2020); Республ. науч.-практич. конфер. «Инновационное развитие науки» с участием междунар. организаций (Душанбе, 2020); XXI Междунар. науч. конфер. «Сахаровские чтения 2021 года: Экологические проблемы XXI века» (Минск, Беларусь, 2021); Междунар. науч.-практич. конфер. «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы» (Душанбе, 2023); XXIII Междунар. конфер. «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2023); Международная научно-практическая конференция на тему «Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны», посвященная провозглашению четвертой национальной цели – ускоренной индустриализации страны и двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (Душанбе, 2024); Международная научно-практическая конференция на тему «Цифровая индустриализация и развитие энергетики глазами ученых и исследователей» (Бохтар, 2024); X Международной конференции «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века» (Минск, Республика Беларусь, 2024); Междунар. науч.-практич. конфер. «Цифровая индустрия и энергетическое развитие глазами учёных и исследователей» (Бохтар, ГОУ Институт энергетики Таджикистана, 2024); Междунар. науч.-практич. конфер. «Современное состояние обеспечения качества и экологической безопасности

продовольственных продуктов в Центральной Азии» (Худжанд, 2024); Междунар. науч.-практич. конфер. «Перспективы использования ядерной технологии и проблемы радиационной безопасности в государствах Центральной Азии (Душанбе, 2025).

Публикации по теме диссертации. По результатам проведённого исследования опубликовано 63 научных труда, включая 2 монографии, 30 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 25 публикаций в материалах республиканских и международных научных конференций, а также получено 8 малых патентов Республики Таджикистан на изобретения.

Структура диссертации и объем. Диссертационная работа изложена на 395 страницах, включает 91 таблицу и 129 иллюстраций. Структура исследования охватывает введение, шесть основных глав, заключительные выводы и перечень использованных источников, включающий 301 наименование.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во введении обоснована научная и практическая актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, представлены основные положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна и прикладная значимость полученных результатов. Также дана общая характеристика и структура диссертационной работы, приведено её краткое содержание, сведения об апробации результатов, а также отражён личный вклад автора в решение исследуемой научной проблемы.

В первой главе представлен обзор литературный данных «Технологические основы получения урана из руд и других сырьевых материалов». В нём рассмотрены основные виды урановых руд, их химический состав и методы переработки, включая кислотное и щелочное выщелачивание, прямое фторирование и микробиологические методы. Подробно проанализированы промышленные типы урановых месторождений, их морфологические особенности и технологическая применимость различных методов переработки. Особое внимание уделено гидрометаллургическим процессам, таким как кучное и подземное выщелачивание, их применение в уранодобывающей промышленности, а также истории развития урановой отрасли в Таджикистане. Приведены данные о переработке урановых хвостохранилищ, показана возможность вторичного использования отходов уранового производства, предложены технологические схемы переработки. Также рассмотрено текущее состояние мировой ядерной энергетики, развитие реакторных технологий и их связь с обеспечением урановым сырьём. Подчёркнуто значение экологических аспектов уранодобычи, а также необходимость оптимизации технологических процессов для минимизации радиоактивных отходов.

Среди множества известных урановых минералов лишь небольшая часть обладает промышленной ценностью. Классификация урановых руд осуществляется согласно содержанию сопутствующих элементов (уран-молибденовые, уран-ванадиевые и т.д.), их химического состава (силикатные, сульфидные, карбонатные и другие) и по концентрации урана (бедные руды - менее 0,1%); рядовые - 0,25-0,1%, средние - 0.25-0,5%, богатые -0.5-1.0% и очень богатые – более 1%).

Существуют три основных промышленных метода переработки урановых руд, различающихся по технологическому подходу и применяемым условиям: кучное выщелачивание, гидрометаллургический и подземное выщелачивание.

Гидрометаллургическая переработка урановых руд включает несколько ключевых технологических этапов: вначале концентраты подготавливают к процессу выщелачивания, преобразуя уран в растворимое состояние различными методами, такими как термическая обработка, спекание или сплавление с реагентами. Затем происходит процесс выщелачивания, во время которого уран растворяется под воздействием химических соединений. После этого его извлекают из полученного раствора с помощью методов осаждения или сорбции, а затем проводят завершающую очистку (Рисунок 1).

Подземное выщелачивание урана состоит из процесса добычи его соединений путём вымывания их из породы с использованием специальных растворителей (в основном серная кислота и карбонаты), которые закачиваются в залежь через скважины. Этот

метод не требует значительных объёмов горных работ и минимизирует контакт рабочих с горными породами и особенно эффективен для бедных и глубоко залегающих руд.

Основными источниками урана для атомной промышленности СССР во второй половине XX века стали республики Центральной Азии. Впервые крупные залежи урана были обнаружены в Таджикистане, а затем в Киргизии. Добыча велась как открытым, так и шахтным способом. Ограниченные запасы природного урана требовали первоочередного развития уранодобывающих предприятий в Таджикистане. Максимальные капитальные вложения направлялись на строительство объектов Комбината № 6. К началу работы комбината № 6 в Таджикской ССР было известно о четырех урановых месторождениях – Адрасман, Табошар, Майлису и Уйгур-сай, однако их геологическая изученность оставалась на низком уровне. Затем были обнаружены и добыты новые месторождения урановых руд. В 80-х годах XX столетия Комбинат № 6, находившийся на севере Таджикской ССР начал массово перерабатывать сотни тысяч местной урановой руды.

От добычи урановой руды и получения конечного продукта – закись-оксида урана зависит и развитие мировой ядерной отрасли. На сегодняшний день около 500 атомных энергоблоков, действующих в 34 странах, обеспечивают приблизительно 18% мирового производства электроэнергии. Этот показатель оставался неизменным с 1986 года, отражая стабильное развитие атомной энергетики в соответствии с глобальными темпами роста энергопотребления. В последние десятилетия рост производительности атомных станций обеспечивался не столько строительством новых объектов. По данным Всемирной ядерной ассоциации (WNA), в международном масштабе в настоящий момент ведётся строительство порядка 30 новых атомных энергоблоков. Предполагается, что к 2030 году суммарная мощность этих объектов достигнет примерно 570 ГВт.

При переработке урановых руд образуются радиоактивные отходы. В публикациях ученых этой области рассматриваются история формирования урановых хвостохранилищ в Таджикистане, масштабы радиоактивного загрязнения, их характеристики, текущее состояние и перспективы повторной переработки. Также анализируются экологические аспекты воздействия хвостохранилищ на окружающую среду. Приведены химический и минералогический состав отходов, а также исследования почвы, воды и других загрязнённых территорий. Ими разработаны физико-химические и технологические основы извлечения урановых концентратов из отходов урановой промышленности. По результатам данных исследований была разработана оптимизированная схематическая технология, направленная на переработку таких отходов, представленная на рисунке 2.

Шахтный способ переработки урановой руды также имеет негативные экологические последствия. При взаимодействии с подземными водами из шахт и штольн вытекают загрязнённые ураном воды. Урансодержащие воды также можно очистить и переработать. Например, шахтные воды, поступающие из штольни месторождения Истиклол (Таджикистан), характеризуются стабильным объёмом потока в 40 м³/час, при этом концентрация урана колеблется в пределах от 0.01 до 0.07 г/л. Аналогичные процессы наблюдаются и в шахтных водах, вытекающих из месторождения Киик-Тал (Таджикистан), то при примерно одинаковых объёмах потоков содержание урана здесь значительно более высокое, достигает 0.025-0.03 г/л.

Также проведено исследование кинетики сорбции урана из шахтных и технологических вод с применением местных сорбционных материалов, включая сорбент на основе скорлупы абрикосовых косточек. Экспериментальные результаты позволили определить оптимальные параметры для эффективного извлечения урана. Технология извлечения урана местным сорбентом – косточки урюка состоит из следующих стадий: (подкисление), очистка сорбента, обжиг, выщелачивание, осаждение соединений – формирование осадка урановых солей для последующего выделения, фильтрация – удаление примесей и повышение чистоты целевого вещества, финальная сушка – стабилизация полученного концентрата урана.

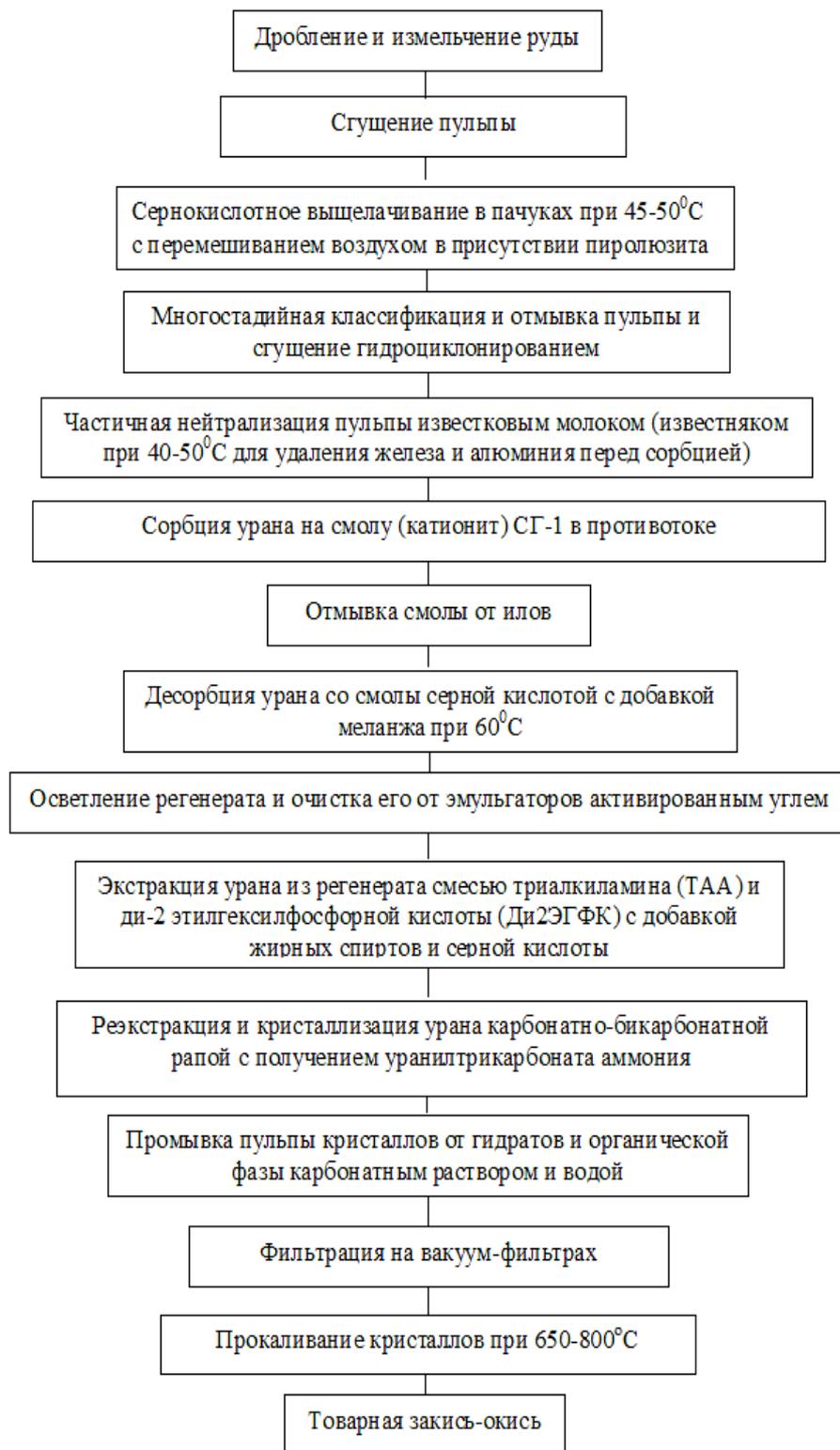


Рисунок 1. - Принципиальная схема сернокислотного извлечения, сорбционного концентрирования и экстракционной очистки урана

В целом, переработка урансодержащих руд имеет значительные проблемы, включая сложность выделения урана из различных типов руд, высокие затраты на технологии переработки и утилизацию отходов, а также влияние уранодобывающей промышленности на окружающую среду

Во второй главе диссертации “Методика экспериментов, химический и минералогический анализ и физико-химические свойства урановых руд Таджикистана” приведены результаты комплексного исследования методик переработки урансодержащих руд, химического и минералогического состава урановых месторождений Таджикистана, а также анализа физических и химических свойств данных руд; приведены методики отбора и подготовки проб, включая рентгенофазовый

анализ, гамма-спектрометрию, рентгеноспектральный и химический анализы, а также дифференциально-термический анализ руд. Исследования проводились с применением современного аналитического оборудования, что позволило получить достоверные данные о составе и свойствах урансодержащих минералов.

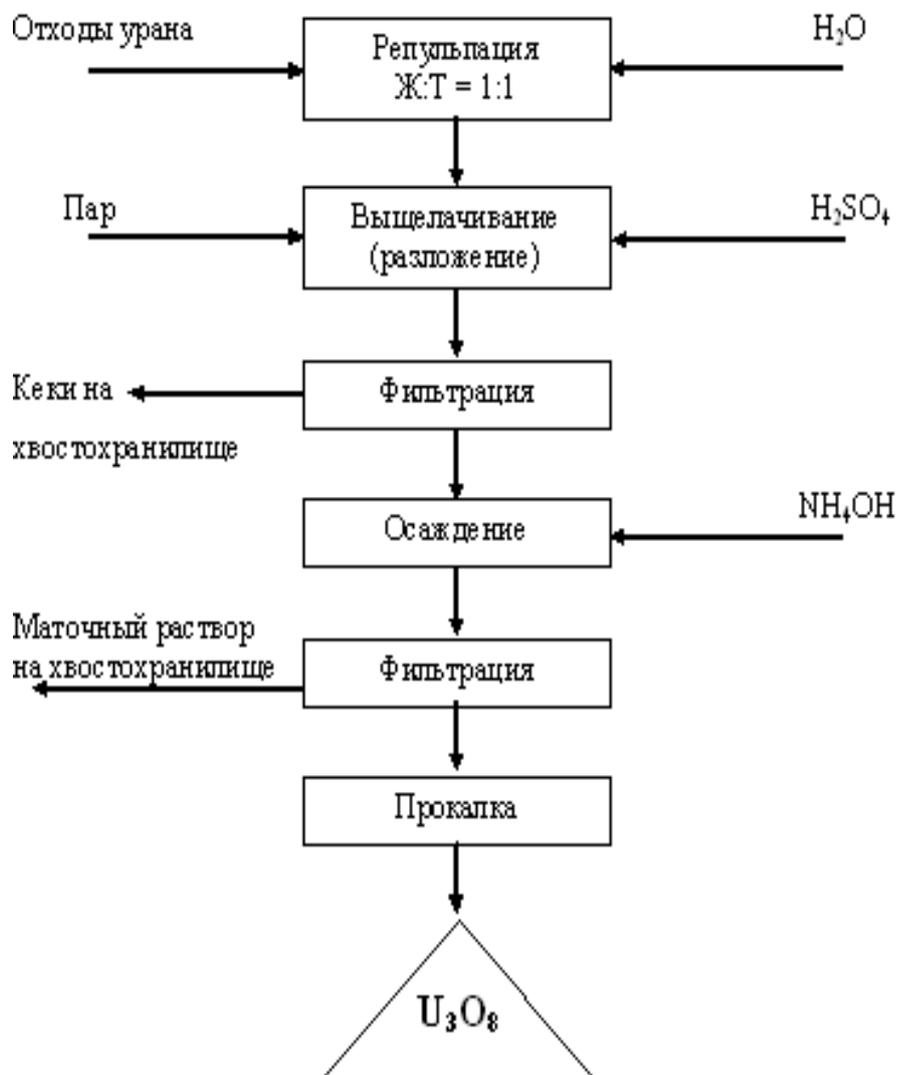


Рисунок 2. – Оптимизированная схематическая технология для переработки отходов уранового производства

Исследование урановых месторождений, расположенных на территории Таджикистана ("Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан - 2", "Восточный Памир") позволило выявить основные минералы, содержащие уран, а также определить химические составы их руд и минералогические характеристики.

Отбор проб урансодержащей руды осуществлялся согласно общепринятой методике в зависимости от цели анализа. Проводились исследование структуры фаз с применением рентгеновских дифрактометров. Элементный состав образцов анализировали рентгеноспектральным методом, используя спектрометр "Спектроскан МАКС-GVM". Содержание природных радиоактивных элементов в исследуемых образцах определялось методом гамма-спектрометрии с применением высокоточного спектрометра "Canberra". В ходе измерений регистрировались активности изотопов урана (^{235}U и ^{238}U), радия (^{226}Ra), тория (^{232}Th), а также дочерних продуктов распада — свинца (^{210}Pb) и полония (^{210}Po). В таблице 1 представлены содержание основных металлов в пробах руды месторождения Танзим.

Таблица 1. - Результаты рентгеноспектрального анализа образцов руды из месторождения Танзим (Северный Таджикистан)

Определяемый элемент	As	Zn	Ni	Co	Pb	Cu	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Th	U	Cr	V
Содержание, %	0,0055	0,10	0,026	0,033	0,013	0,035	19,04	1,27	1,76	0,02	0,241	0,027	0,070

Гамма-спектрометрический анализ урансодержащих руд позволяет определять другие радиоактивные элементы распада уранового семейства, которое влияет на общую радиоактивность (таблица 2).

Таблица 2. - Концентрация различных радионуклидов в урансодержащих рудах месторождения "Западный Таджикистан"

Радионуклиды	Значения средней удельной активности (кБк /кг)
²¹² Pb	0.0427
²³¹ Pa	0.4435
²¹⁴ Pb	13.69687
⁴⁰ K	0.4687
²³⁸ U	2.1092
²²⁶ Ra	32.6967
²³⁵ U	0.6202
²¹⁴ Bi	15.9164
²¹² Bi	0.0323
²²⁷ Th	0.7211
²²⁸ Ac	0.0508

Результаты дифференциально-термического анализа образцов урансодержащей руды месторождения «Восточный Памир-1» представлены на рисунке 3. На основании анализа термограмм установлено, что основными минералогическими компонентами исследуемой руды являются кальцит, доломит и минералы группы слюд.

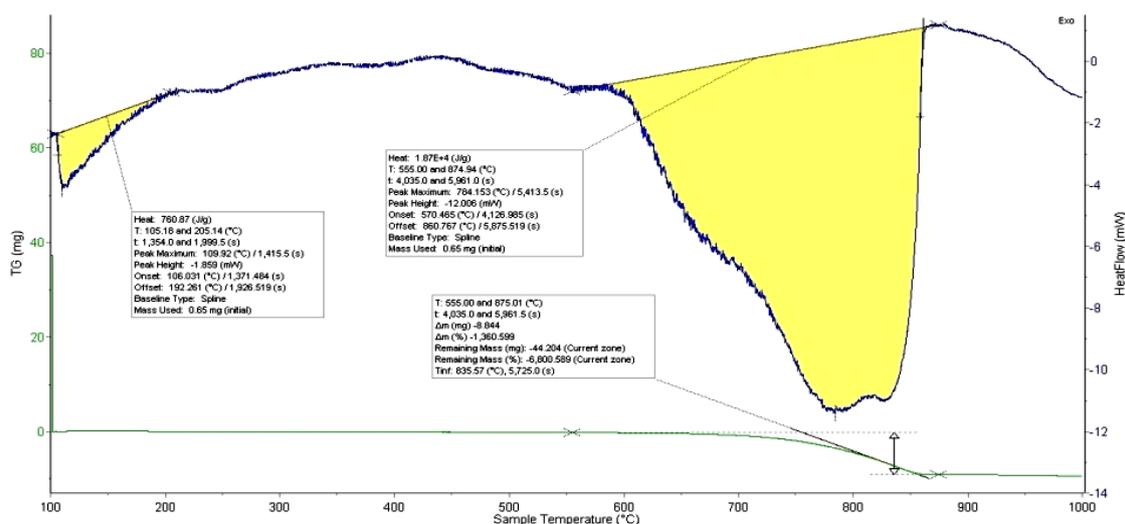


Рисунок 3. Дериватограмма пробы месторождения «Восточный Памир-1» (нагрев до 1000°C, при скорости 10 К/мин в течении 1 ч 30 мин, масса навески 0,65 мг)

Фазовый состав исследуемых образцов изучался методом рентгенофазового анализа с использованием рентгеновского дифрактометра "XRDinamic" с цифровой регистрацией данных, работающего на медном аноде (при напряжении 35 кВ и токе 20 мА) и никелевом фильтре. Согласно полученным результатам, основными минералами

урановой руды месторождения «Западный Таджикистан» являются кварц, альбит, мусковит, пирит, уранинит и урановая слюда (рисунок 4).

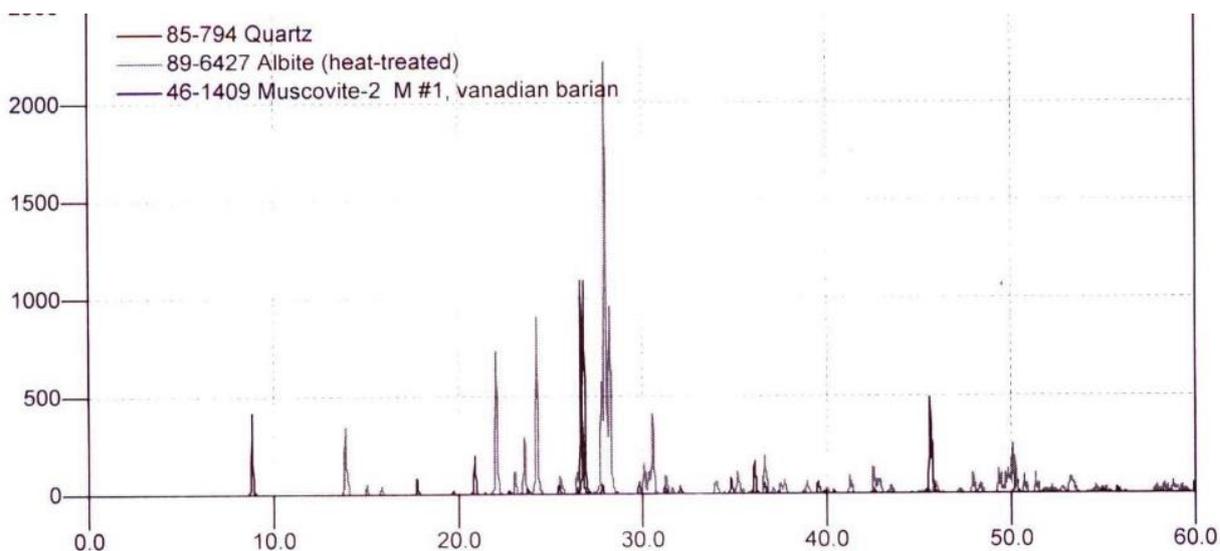


Рисунок 4. - Рентгенограмма руды месторождения "Западный Таджикистан"

В рамках исследования ставилась задача изучения воздействия температурного режима на уровень энергии Гиббса в анализируемых процессах. Как следует из графика на рисунке 5, увеличение температуры создаёт благоприятные условия для протекания большинства реакций с участием серной кислоты.

Анализ термодинамических вычислений демонстрирует вероятность протекания упомянутых химических реакций в стандартных условиях. Следовательно, разложение урановой руды месторождения "Восточный Памир" с использованием серной кислоты может происходить при температурах от 298 до 373 К, сопровождаясь образованием целевых компонентов.

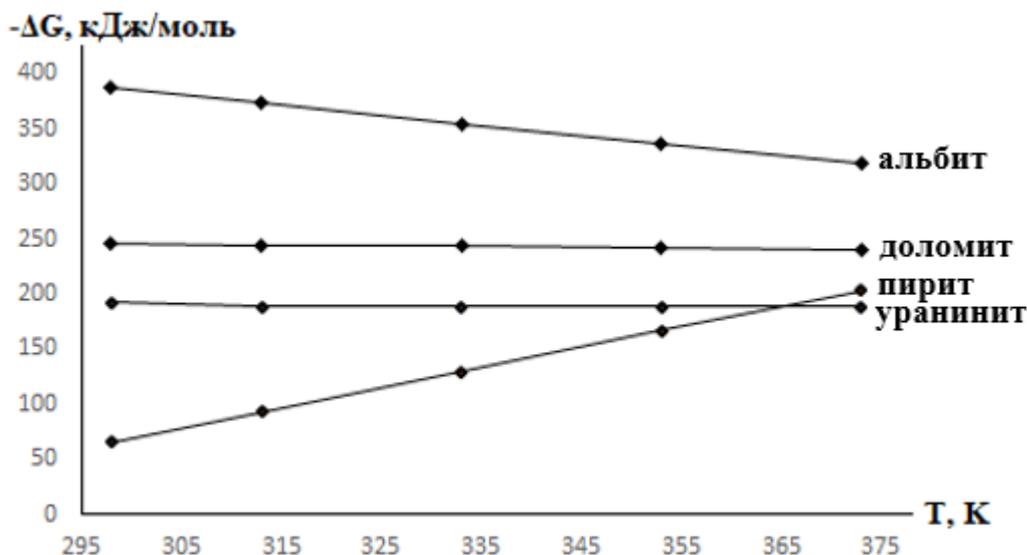


Рисунок 5. – Влияние температуры разложения минералов руды месторождения "Восточный Памир" на энергию Гиббса процессов

В большинстве руд вышеуказанных месторождений установлено наличие минералов, среди которых коффинит, уранинит, настуран, уранофан, а также значительное содержание кварца, карбонатов и силикатов. На основании полученных данных были предложены оптимальные методы переработки руд, в зависимости от их химико-минералогического состава. Так, для силикатных руд целесообразно использовать сернокислотное выщелачивание, тогда как для карбонатных руд рекомендован карбонатный метод переработки. Кроме того, проведённый

термодинамический анализ процессов сернокислотного выщелачивания позволил оценить эффективность различных реакций взаимодействия урана с серной кислотой, определить основные факторы, влияющие на процесс извлечения урана, а также выявить возможные пути оптимизации данного процесса. Экспериментальные данные подтвердили, что для переработки урановых руд, содержащих значительные примеси кальция, магния и железа, необходимы дополнительные стадии очистки и сепарации.

В третьей главе «Особенности выщелачивания урановых руд и ураносодержащих отходов Таджикистана» представлен детальный анализ особенностей процесса выщелачивания ураносодержащих руд и отходов, с использованием месторождений и хвостохранилищ республики в качестве наглядных примеров. Показана перспективность сернокислотного метода и метода карбонатного выщелачивания, рассмотрены технологические параметры, влияющие на повышение эффективности выделения урановых соединений из ураносодержащих руд и отходов бывших урановых производств.

Выщелачивание руды месторождения «Танзим» (Северный Таджикистан).

При проведении сернокислотного выщелачивания урановой руды месторождения "Танзим" был учтён факт, что данный материал относится к карбонатному типу, и поэтому перед основным этапом обработки была выполнена предварительная водная промывка при температуре 20 °С. При этом соблюдалось массовое соотношение твёрдой и жидкой фаз 1:10, что способствовало удалению легкорастворимых примесей и обеспечивало снижение кислотности среды на последующих этапах выщелачивания.

На следующем этапе проводился процесс выщелачивания, в котором использовалась серная кислота в дозировке 100-600 кг/т, а также добавлялись окислители HNO_3 и MnO_2 . Переработка суспензии осуществлялась при температуре 60-75°С и пропорции Т:Ж=1:2, продолжительностью 6 часов. По завершении обработки оставшийся твёрдый осадок дважды промывали водой при пропорции Т:Ж=1:1. Этот метод обеспечивает частичное отделение урана из продуктивных растворов ещё до включения руды в основную технологическую схему, что позволяет существенно снизить объёмы реагентов и общие эксплуатационные расходы.

Установлено, что степень извлечения урана находится в прямой зависимости от дозировки серной кислоты, применяемой в процессе выщелачивания. В рамках экспериментальных исследований был охвачен диапазон подачи H_2SO_4 от 100 до 600 кг на тонну руды. Максимальное значение извлечения урана — 93,27% — было достигнуто при дозировке серной кислоты 600 кг/т в сочетании с добавлением 26 кг/т азотной кислоты. Полученные результаты согласуются с данными, представленными на рисунке 6.

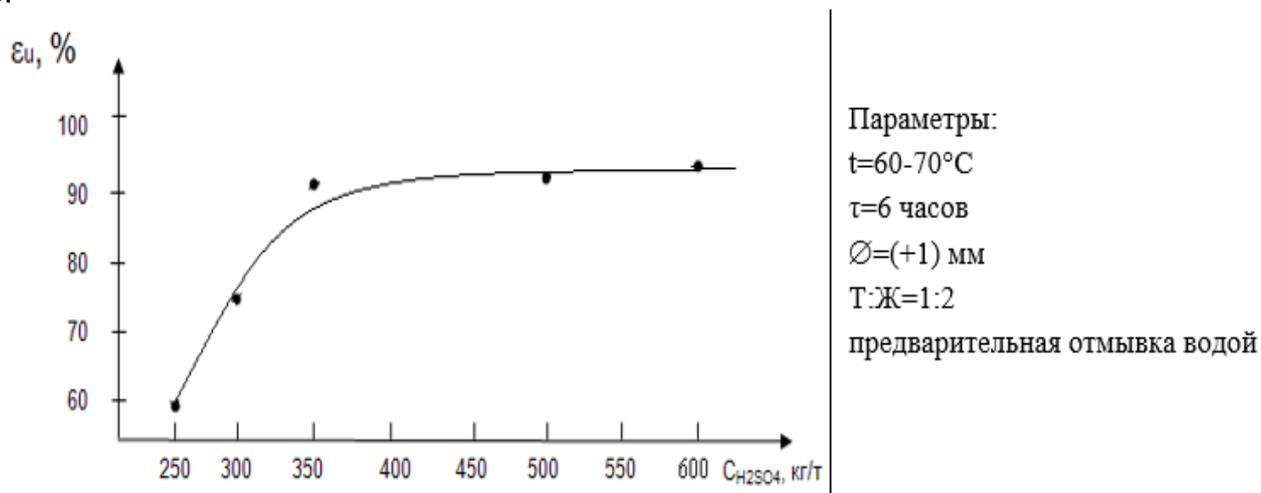


Рисунок 6. – Исследование влияния содержания H_2SO_4 на эффективность извлечения урана из руды

Оптимальным режимом выщелачивания урана установлена комбинация расхода серной кислоты в количестве 350 кг/т и азотной кислоты - 30 кг/т. При данных параметрах достигается максимальная эффективность извлечения урана, составляющая

93,13%, при этом обеспечивается рациональный баланс между технологической результативностью и экономическими затратами на реагенты

Были определены кинетические зависимости извлечения урана в зависимости от температуры и длительности обработки при различных расходах серной кислоты (150 кг/т, 200 кг/т, 250 кг/т, 300 кг/т, 350 кг/т, 400 кг/т).

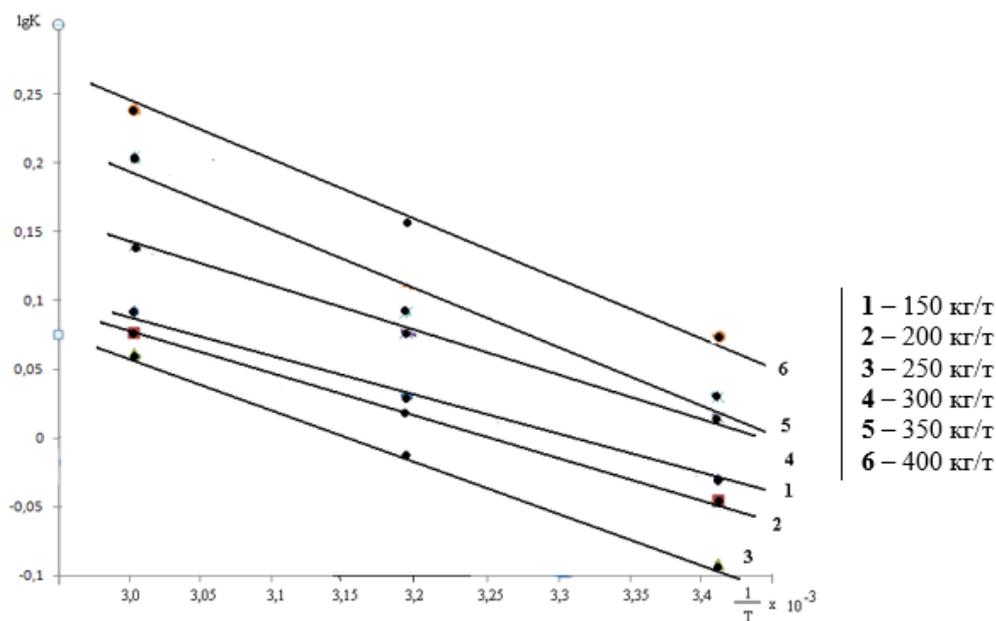


Рисунок 7. – График Аррениуса для динамики выщелачивания руды при различных дозировках H_2SO_4

При анализе зависимости логарифма усреднённых значений констант скорости от обратной температуры можно увидеть, что точки на графике образуют линейное распределение. Этот закономерный характер данных отчётливо прослеживается на рисунке 7.

Изучение процессов сернокислотного выщелачивания урановых руд месторождения "Танзим", а также механизмов выщелачивания позволило детально исследовать динамику этих процессов, определить ключевые факторы, влияющие на эффективность извлечения, выявить оптимальные условия для максимального выделения урановых соединений. На рисунке 8 приведены основные этапы процесса извлечения урана из руды месторождения "Танзим" путём сернокислотного выщелачивания.

В процессе осаждения урана из кислого десорбата присутствующие примеси, такие как алюминийсодержащие, железосодержащие элементы и другие, осаждаются с ураном одновременно, в связи с чем жёлтый кек загрязняется, качество его ухудшается и усложняется его дальнейшая переработка. С целью снижения расхода аммиачной воды и улучшения качества осадка, предлагается внедрение предварительного этапа нейтрализации серной кислоты в десорбате с использованием природного карбоната кальция ($CaCO_3$). Проведение такой нейтрализации позволяет эффективно снизить кислотность среды, способствует удалению вторичных ионов (например, сульфатов и магния), а также осаждению сопутствующих примесей в виде гипса и других малорастворимых соединений.

Для эффективного удаления примесей из десорбата и сокращения расхода аммиачной воды предлагается использовать природный карбонат кальция ($CaCO_3$), содержащий 72-75% $CaCO_3$. На рисунке 9 приведена технологическая схема процесса осаждения урана из кислого десорбата.

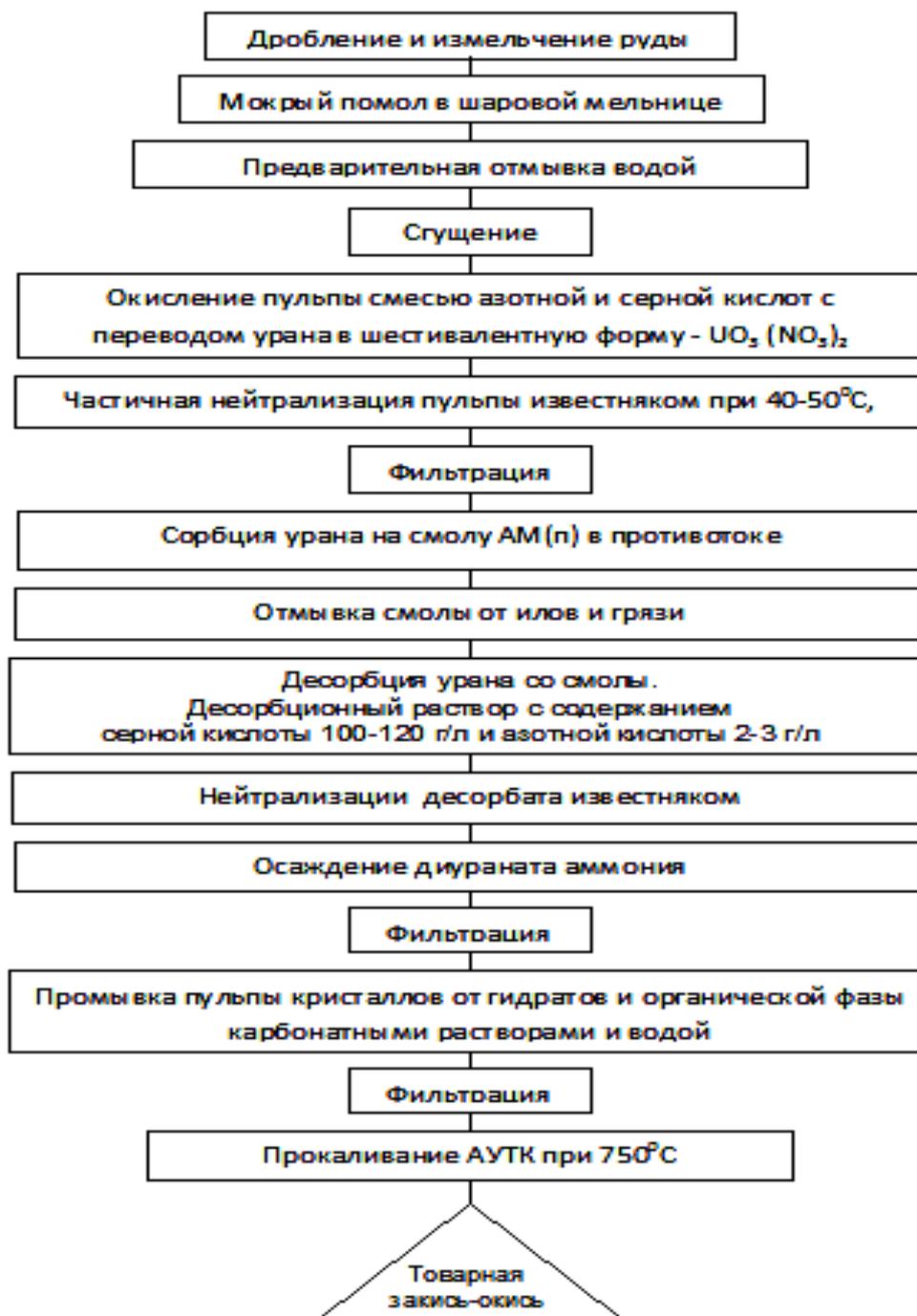


Рисунок 8. – Оптимизированный схематический процесс извлечения урана из руды месторождения "Танзим" путём сернокислотного выщелачивания

Выщелачивание руды месторождения «Центральный Таджикистан».

Минералогический анализ руд месторождения «Центральный Таджикистан» показал, что уран содержится преимущественно в виде экзогенных минералов, таких как коффинит и уранофан, обладающих способностью к миграции. В связи с тем, что уран в указанных минералах встречается в четырёх- и шестивалентных формах, руды пригодны как для кислотного, так и для карбонатного методов выщелачивания. При этом кислотное выщелачивание демонстрирует более высокий коэффициент извлечения урана по сравнению с карбонатным.

Некоторые ключевые показатели процесса выщелачивания урана в сернокислых растворах представлены на рисунке 10, отражая влияние химических параметров на эффективность извлечения металла.

Кинетические особенности процесса сернокислотного выщелачивания урансодержащих руд исследовались при использовании различных окислительных агентов. В рамках эксперимента были выбраны три типа окислителей, что позволило проанализировать их влияние на интенсивность и степень извлечения урана: азотная

кислота (50 л/тонну), пиролюзит (50 кг/т), перекись водорода (50 л/тонну).

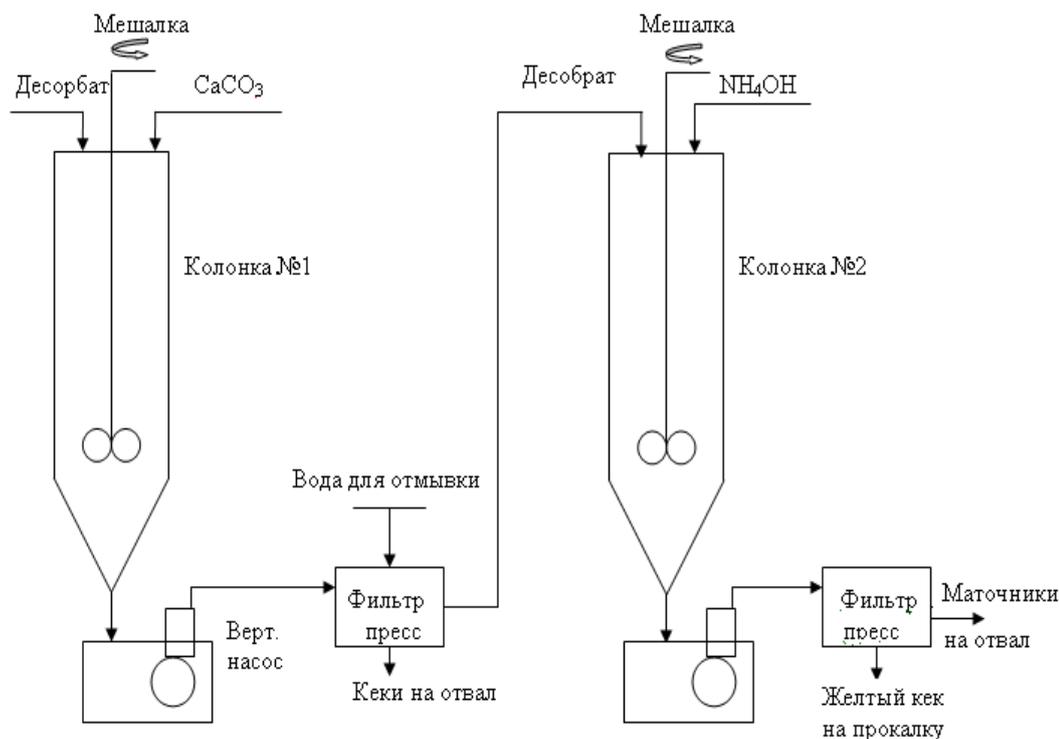


Рисунок 9. – Усовершенствованный процесс получения жёлтого кека на основе карбоната кальция

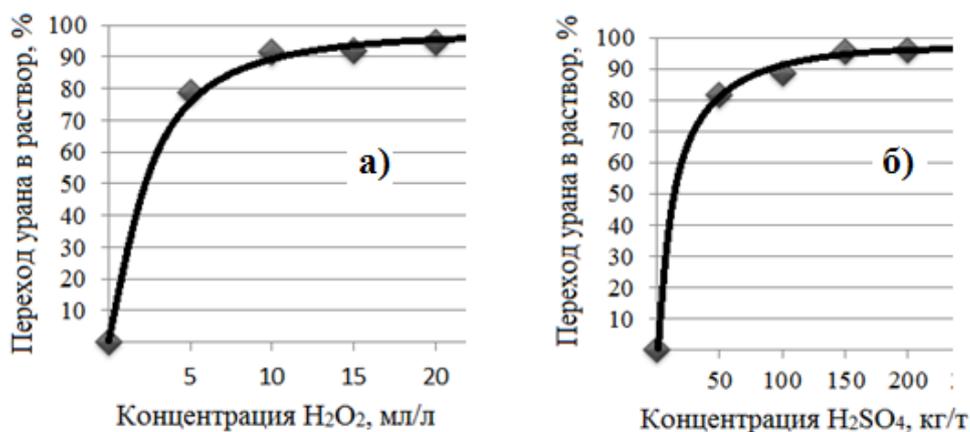


Рисунок 10. – Зависимость процесса выщелачивания: а) от расхода окислителя (25% H₂O₂) при условиях: T=60 °C; τ=4 часа; C_{H₂SO₄}=150 кг/т; T:Ж=1:2-5. б) от концентрации серной кислоты при условиях: T=60 °C; C_{H₂O₂}=25 мл/л; τ=4 часа; T:Ж=1:2-5

Эксперименты проводились при параметрах - температурный диапазон 293–353 К, длительность 6 часов, соотношение твёрдых и жидких компонентов (Т:Ж) 1:2, количество серной кислоты 150 кг/тонну.

Результаты, полученные в данных экспериментах, обобщены в рисунках 11-13, согласно которым можно заключить, что по мере увеличения продолжительности выщелачивания и повышения температуры наблюдается рост степени извлечения урана. Наиболее интенсивное извлечение урана происходит в первые 1–2 часа реакции при нагреве реакционной смеси до 60–80°C.

По мере увеличения продолжительности выщелачивания до 4 часов и более степень извлечения урана не изменяется или изменяется в малых пределах, что делает дальнейшее продление времени реакции нецелесообразным.

На основании графической зависимости времени разложения (τ) от lg(1/(1-α)), которая отражена на рисунках 14–16, выполнялись вычисления по определению значений коэффициентов скоростей реакций.

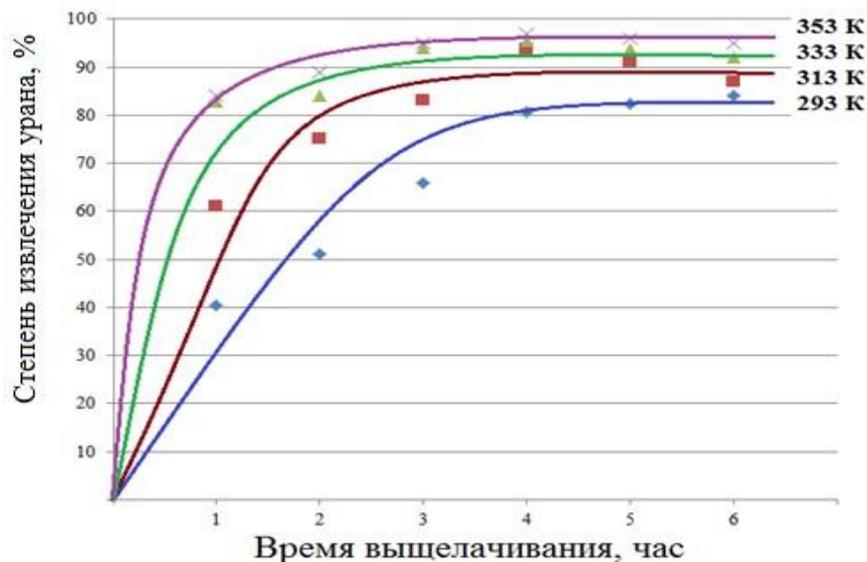


Рисунок 11. - Длительность выщелачивания урана в присутствии H₂O₂: влияние температурного режима

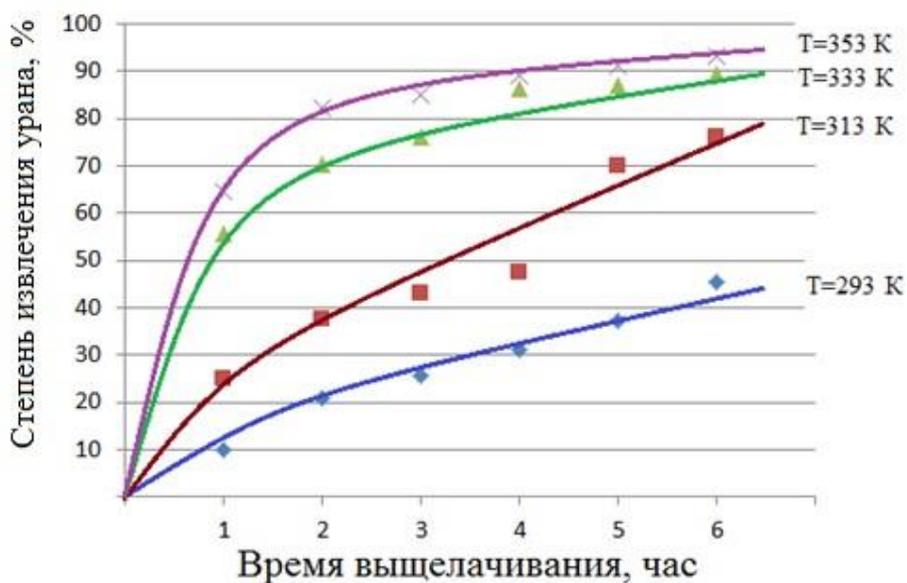


Рисунок 12. - Длительность выщелачивания урана в присутствии HNO₃: влияние температурного режима

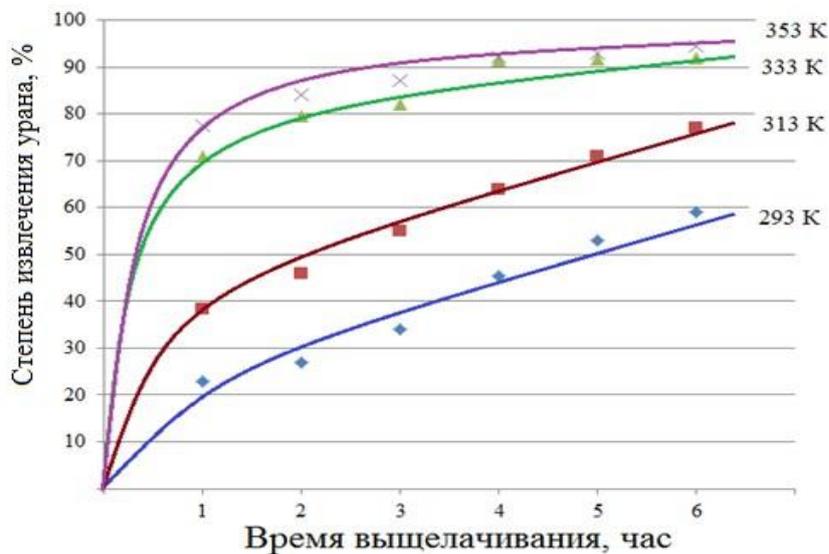


Рисунок 13. - Длительность выщелачивания урана в присутствии диоксида марганца (MnO₂): влияние температурного режима

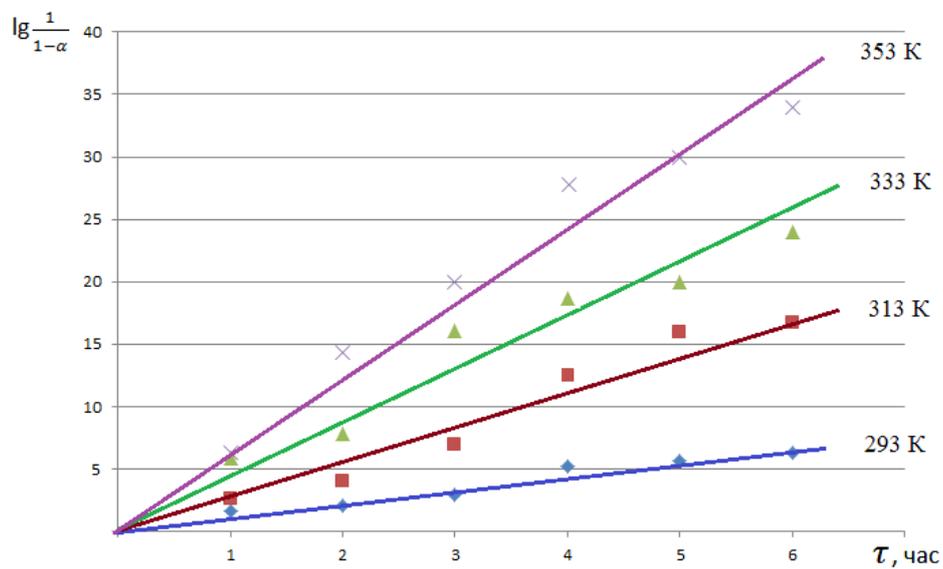


Рисунок 14. - Влияние длительности выщелачивания на кинетику извлечения урана: зависимость $\lg(1/(1-\alpha))$ при применении H_2O_2

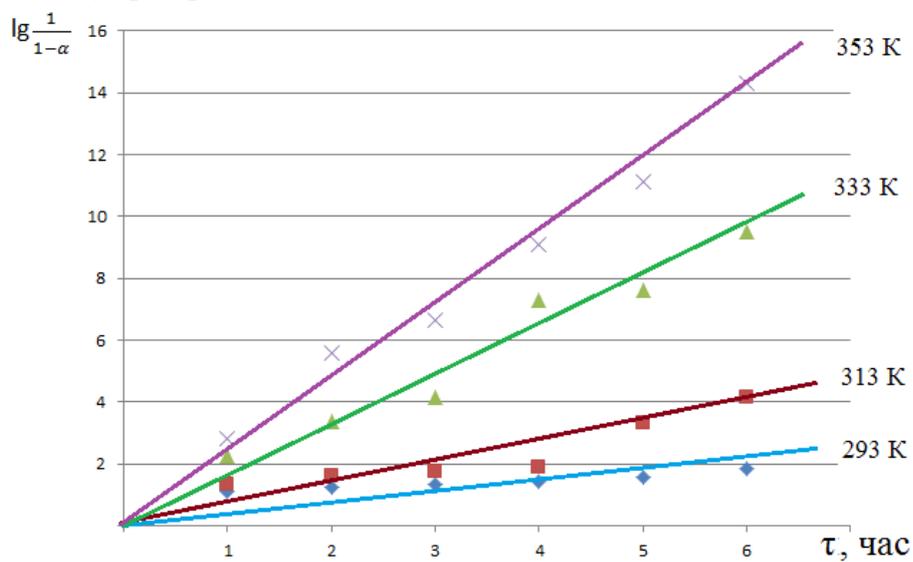


Рисунок 15. - Влияние длительности выщелачивания на кинетику извлечения урана: зависимость $\lg(1/(1-\alpha))$ при применении $[\text{HNO}]_3$

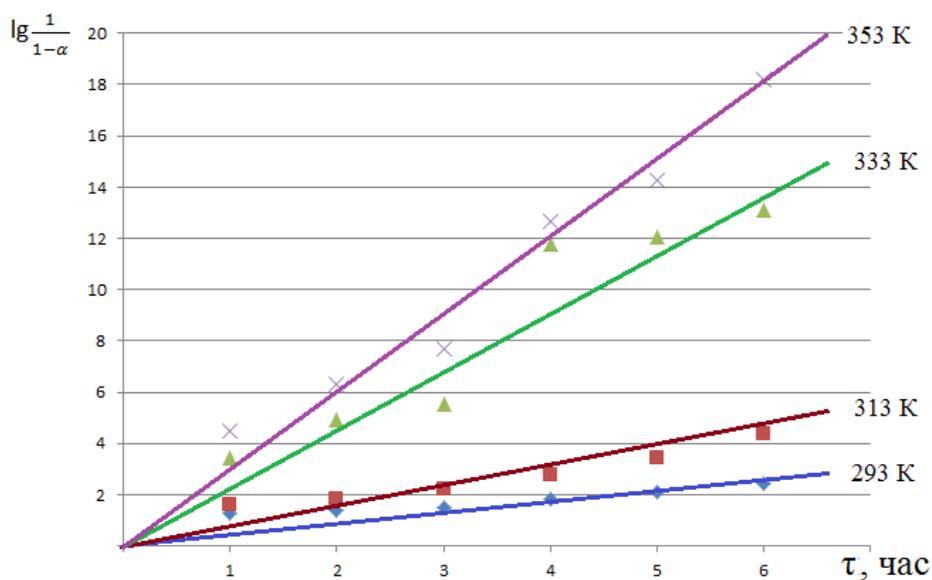


Рисунок 16. - Влияние длительности выщелачивания на кинетику извлечения урана: зависимость $\lg(1/(1-\alpha))$ при применении $[\text{MnO}]_2$

Анализ зависимости $\lg k$ от $1/T$ (рисунок 17) показывает, что все полученные экспериментальные данные следуют прямолинейной закономерности. Это подтверждает правомерность применения модели Аррениуса для описания кинетики рассматриваемых процессов.

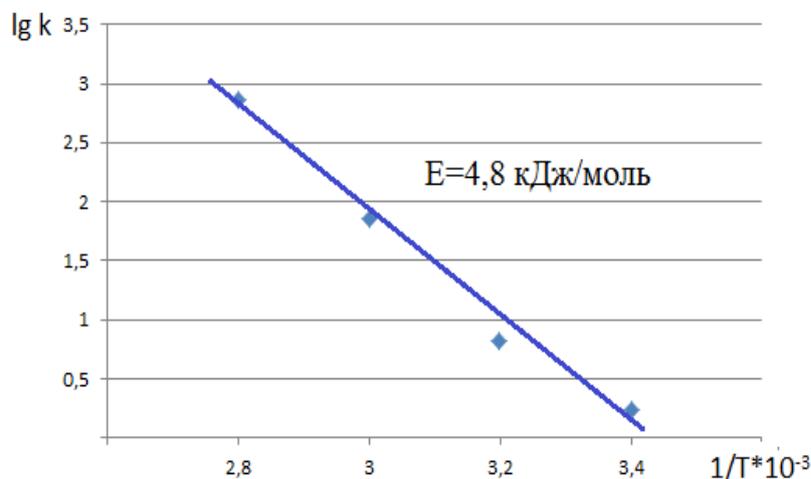


Рисунок 17. - Влияние температуры на кинетику выщелачивания урана: зависимость $\lg k$ от $1/T$ при использовании окислителя $[(MnO)]_2$

На основе полученных экспериментальных данных была разработана схема-технология выщелачивания ураносодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан" серноокислотным методом (рисунок 18).

Физико-химические основы переработки ураносодержащей руды месторождения "Западный Таджикистан"

Изучение физико-химических характеристик руд, добываемых на различных месторождениях Республики Таджикистан, в том числе на участке «Западный Таджикистан», представляет собой важный научный аспект, способствующий обоснованию эффективных технологий их переработки. Для руды данного месторождения определялся химический состав посредством различных аналитических методов.

Учитывая силикатную природу руды, для процесса выщелачивания использовали серноокислотный метод с введением в процесс окислителя, окислителем в данном исследовании была использована HNO_3 .

В процессе проведения экспериментов по оценке эффективности кислотного выщелачивания урана, исследуемые образцы предварительно измельчались в лабораторной шаровой мельнице до крупности 0,1–0,16 мм. Далее осуществлялась химическая обработка серной кислотой, направленная на активацию выщелачивающих реакций, что обеспечивало повышенную степень извлечения урана из ураносодержащего материала.

Проведённые эксперименты (рисунки 19-21) подтвердили, что увеличение концентрации серной кислоты до 30% способствует повышению извлечения урана до 88,2%, благодаря усиленной реакции растворения урановых минералов. Однако дальнейшее увеличение концентрации свыше 30% приводит к снижению эффективности процесса, что связано с дефицитом воды, необходимой для полноценного взаимодействия реагентов. Повышение температуры также способствует росту извлечения урана, максимальное значение достигается при $80^\circ C$. Продолжительность процесса играет существенную роль: оптимальное время выщелачивания составляет 60 минут, что обеспечивает наилучшие результаты.

Кинетика процесса выщелачивания урановой руды изучалась в интервале температур 293–363 К при продолжительности процесса от 15 до 90 минут.

На основе полученных результатов построили кинетические кривые (рисунок 22). С увеличением температуры и продолжительности процесса выщелачивания степень извлечения урана из руды значительно возрастает. Максимальное извлечение наблюдается при продолжительности выщелачивания 60 мин.

Для нахождения энергии активации и более точного определения области

протекания процесса выщелачивания построили график зависимости логарифма средних значений констант скоростей реакции от обратной абсолютной температуры, он даёт прямую линию.

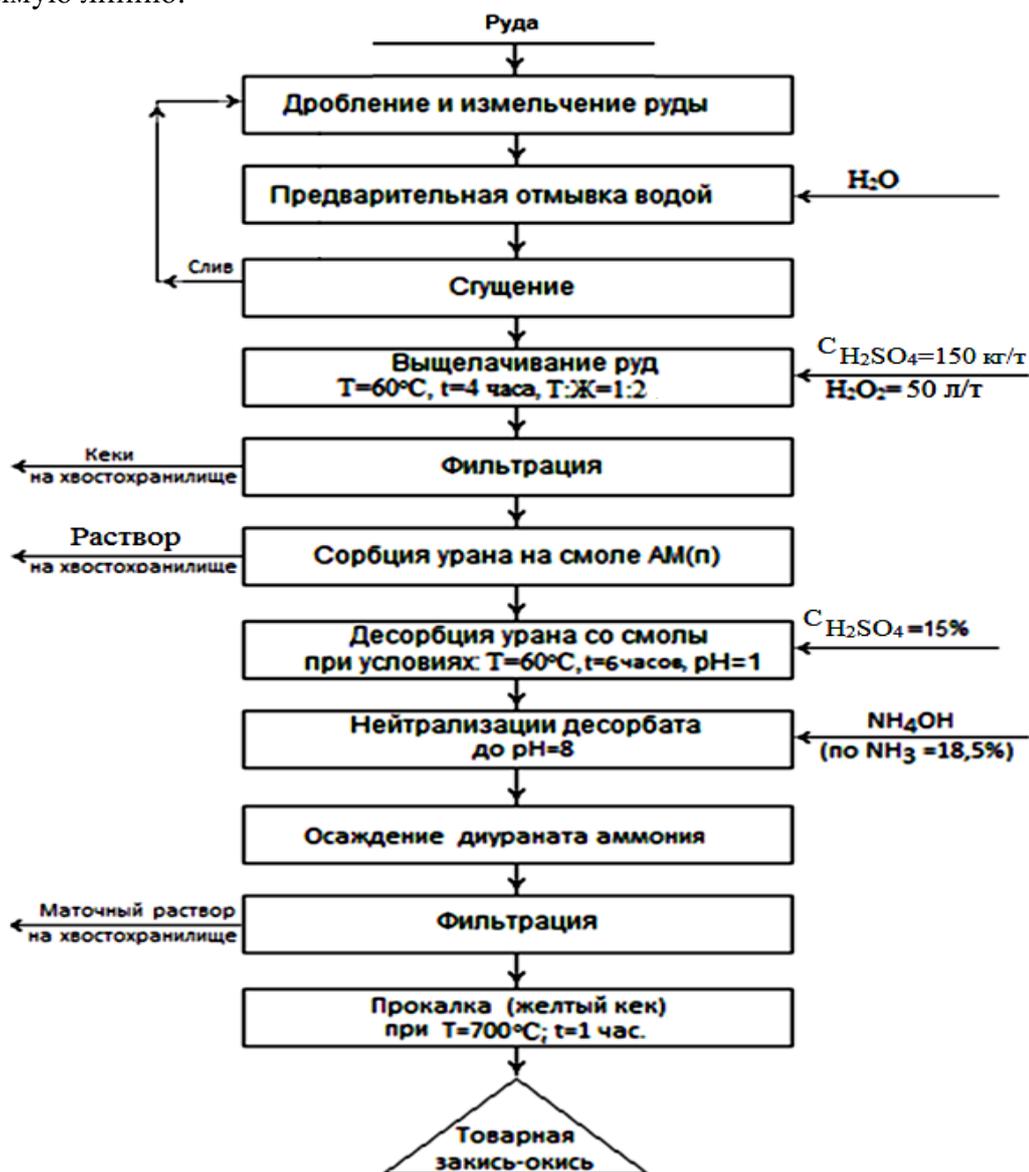


Рисунок 18. – Схема-технология выщелачивания ураносодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан" серной кислотой

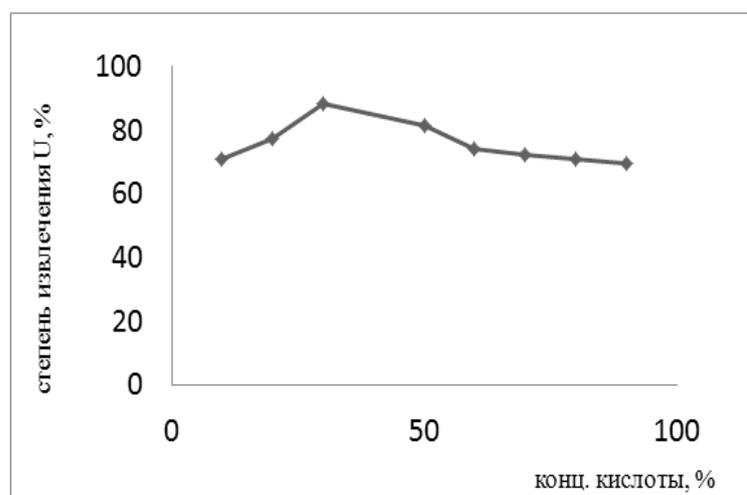


Рисунок 19. - Зависимость извлечения урана от расхода H_2SO_4 при $t=80^\circ C, \tau=1$ ч, $T:Ж=1:2$

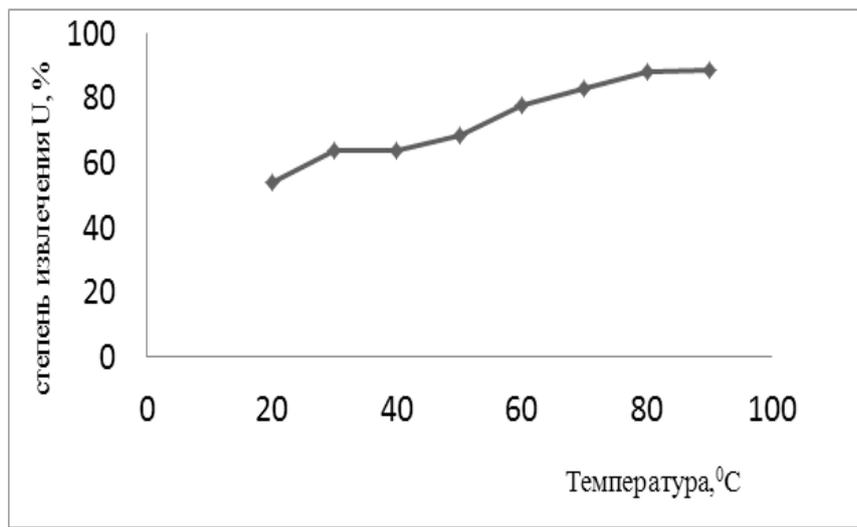


Рисунок 20. - Роль температуры в процессе сернокислотного извлечения урана из рудного сырья

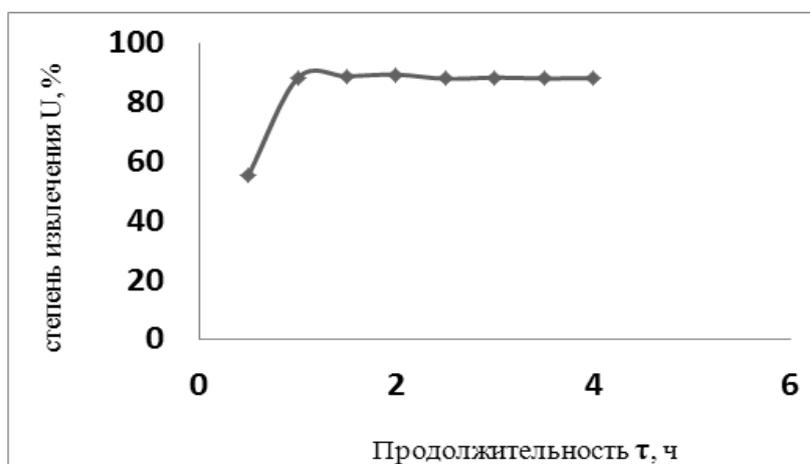


Рисунок 21. - Влияние длительности сернокислотного выщелачивания на извлечение урана из руды

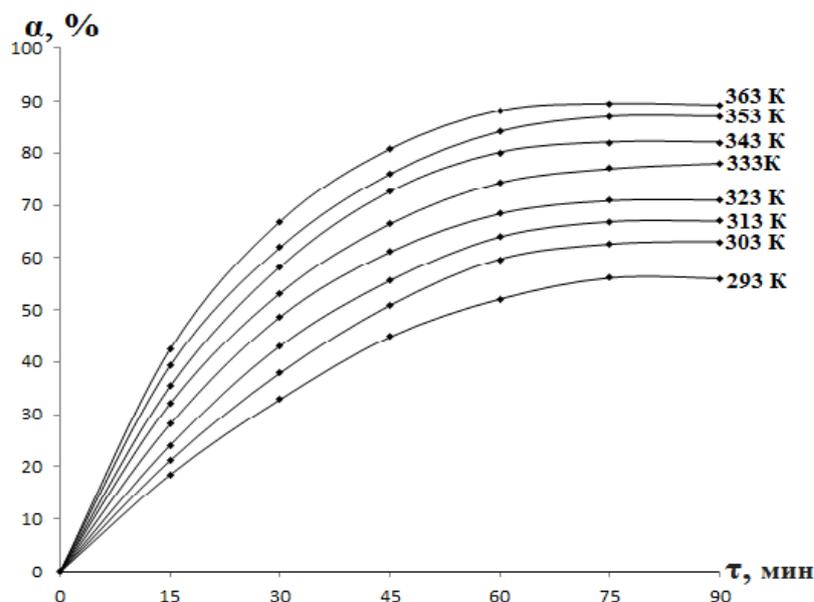


Рисунок 22. - Влияния температуры и продолжительности процесса на степень извлечения урана

Построена графическая зависимость степени извлечения урана от логарифма величины $\lg(1/(1-\alpha))$ и времени, что позволило проанализировать кинетику процесса выщелачивания и определить его соответствие выбранной модели реакции (рисунок 23).

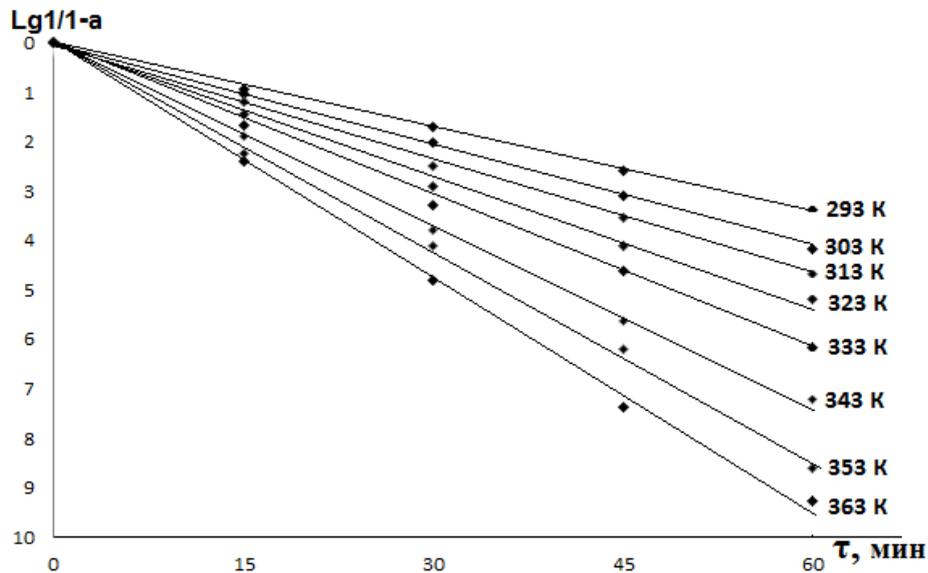


Рисунок 23. - Зависимость степени извлечения урана от $\lg 1/1-a$ и времени

Численное значение энергии активации и зависимость скорости реакции от температуры и продолжительности процесса выщелачивания свидетельствуют о его протекании в диффузионной области. Проведённые исследования и вычисленные значения кинетических характеристик дают возможность выбора рационального режима осуществления процесса выщелачивания.

По тангенсу угла наклона рассчитали значение энергии активации процесса (рисунок 24).

Как видно из рисунка 24, точки удовлетворительно укладываются на прямую линию, по наклону которой вычислена величина кажущейся энергии активации, равная 14,11 кДж/моль.

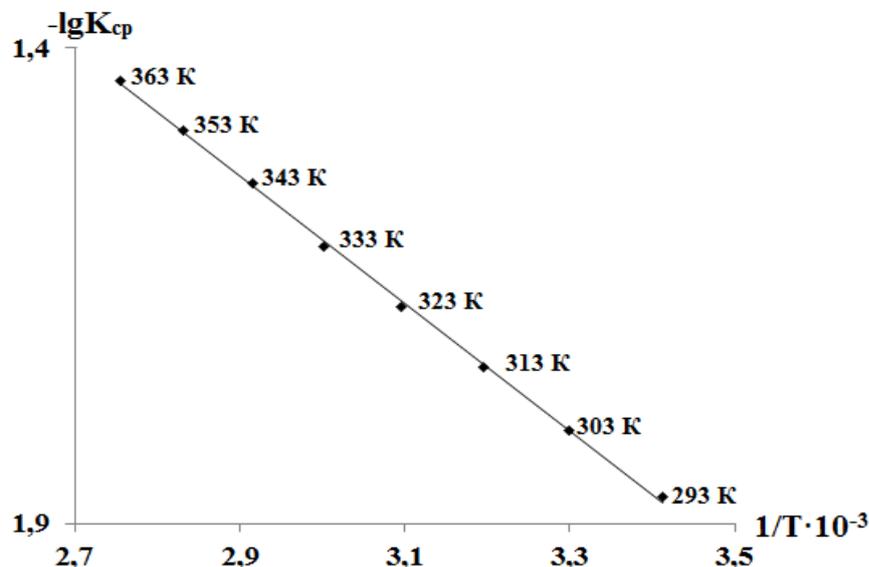


Рисунок 24. - Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры.

На основе полученных экспериментальных данных была разработана схема-технология выщелачивания ураносодержащей руды месторождения "Западный Таджикистан" сернокислотным методом (рисунок 25). Данная схема-технология включает ключевые стадии, оптимизированные для эффективного извлечения урана. В процессе учтены кинетические особенности реакции и оптимизированные параметры, полученные в ходе исследований.

Процесс включает несколько последовательных этапов. Предварительная обработка сырья включает механическое измельчение и подготовку руды к химической

обработке. Разложение компонентов осуществляется посредством воздействия химических реагентов, включая серную кислоту, что способствует высвобождению урана. Очистка полученных растворов необходима для удаления примесей и стабилизации состава перед последующей сорбцией. Адсорбция урана проводится с применением модифицированного углеродного сорбента, обеспечивающего эффективное извлечение целевого компонента. Термическая обработка насыщенного сорбента способствует выделению урана, после чего проводится растворение оставшихся веществ для повышения эффективности процесса. Дополнительная фильтрация используется для удаления нежелательных компонентов и подготовки раствора к осаждению. Осаждение целевого соединения обеспечивает формирование конечного продукта с высокой концентрацией урана. Дальнейшая сушка применяется для удаления влаги из осаждённого вещества, а заключительная прокалка проводится при высокой температуре для получения стабильного продукта U_3O_8 .

Физико-химические основы сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан - 2"

Настоящий раздел посвящён детальному анализу разложения ураносодержащих руд, добытых на месторождении "Северный Таджикистан - 2", ранее известном как "Октябрьское", методом сернокислотного выщелачивания.

Минералогические свойства изученной руды соответствуют характеристикам типичных урановых месторождений республики. Проведённый рентгенофазовый анализ (РФА) выявил присутствие в образцах таких минералов, как кварц, уранофан, каолинит, сфен, альбит, уранинит и пирит.

Минералогический анализ показал, что основными носителями урана в данной руде являются уранофан и уранинит. При этом уран присутствует в минералах в двух различных валентных состояниях - четырёх- и шестивалентном, что открывает возможность применять как кислотное, так и карбонатное выщелачивание для его извлечения. Однако высокое содержание кварца в породе оказывает значительное влияние на выбор технологии, делая кислотное разложение более предпочтительным. Это связано с тем, что при наличии кварца карбонатный метод менее эффективен, а кислотное выщелачивание обеспечивает более высокий коэффициент извлечения. Применение серной кислоты в процессе извлечения урана способствует увеличению его выхода, а также является экономически выгодным, поскольку стоимость серной кислоты ниже по сравнению с карбонатными реагентами. Таким образом, использование кислотного метода не только повышает степень извлечения урана, но и оптимизирует затраты на химическую обработку руды.

Рисунок 26 представляет экспериментальные результаты, отражающие зависимость степени извлечения урана от концентрации серной кислоты при обработке руды, добытой на месторождении "Северный Таджикистан - 2". В данном исследовании параметры технологического процесса оставались неизменными: температура реакции поддерживалась на уровне $60^{\circ}C$, продолжительность обработки составляла 60 минут, а соотношение твёрдой и жидкой фаз оставалось стабильным – 1:2.

Анализ процесса кислотного разложения ураносодержащей руды продемонстрировал, что применение 30%-ного раствора H_2SO_4 обеспечивает максимальный уровень извлечения уранового концентрата. При дальнейшем повышении концентрации кислоты выше 30% значительных изменений в эффективности выделения урана не наблюдается, что свидетельствует о достижении предельного значения растворимости.

Таким образом, для обеспечения оптимального извлечения урана рекомендовано использовать 30%-ный раствор серной кислоты с добавлением азотной кислоты в технологический процесс. При этом продолжительность разложения руды составляет 60 минут. Соблюдение данных параметров позволяет достичь коэффициента извлечения урана на уровне 66,6%, что подтверждает эффективность выбранной методики.

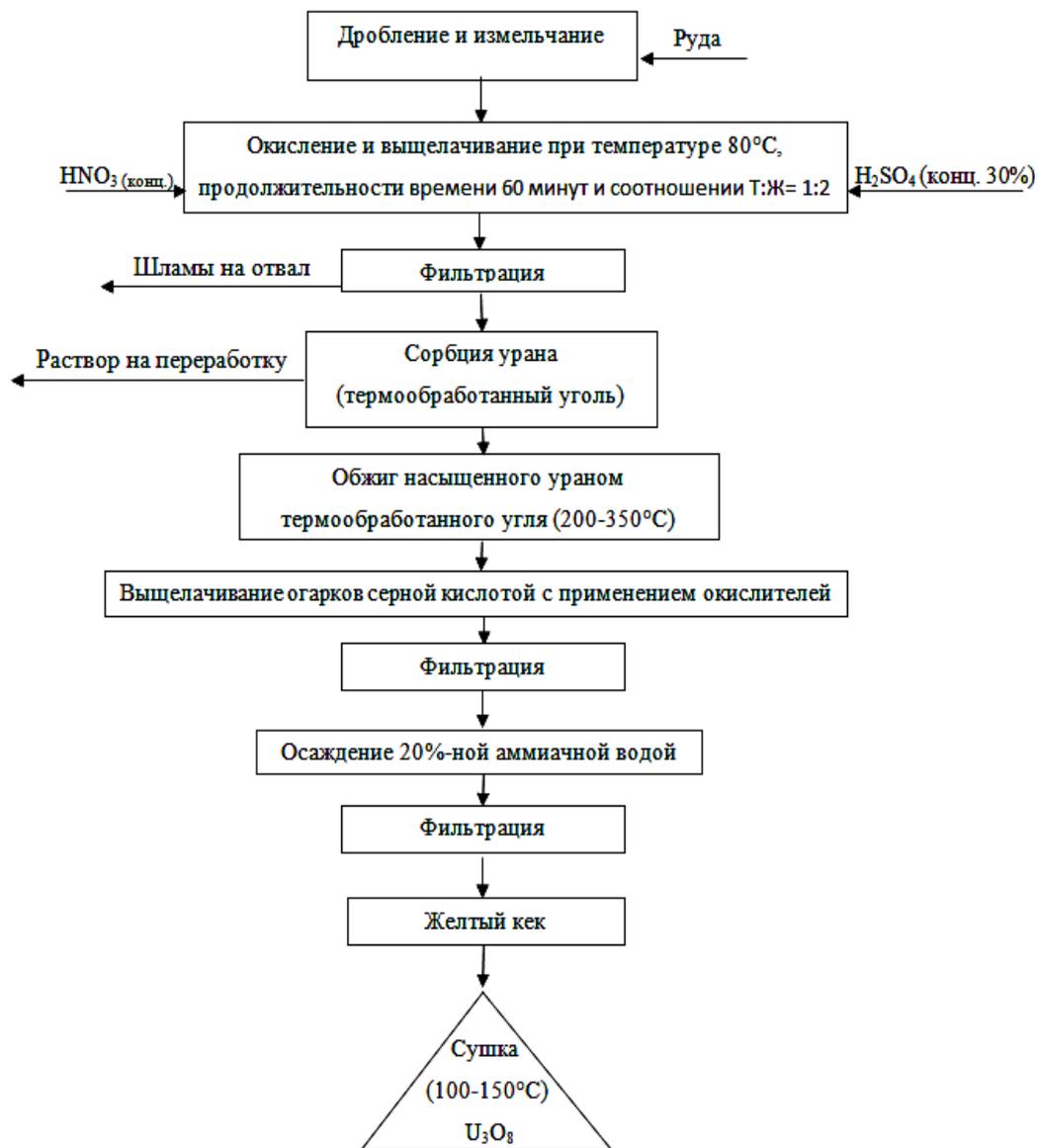


Рисунок 25. – Методика гидрометаллургической обработки ураносодержащих руд месторождения "Западный Таджикистан" с использованием сернокислотного реагента



Рисунок 26. – Зависимость извлечения урана от концентрации H_2SO_4 при переработке руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" ($t=60^\circ C$, $\tau=60$ мин, $T:Ж=1:2$)

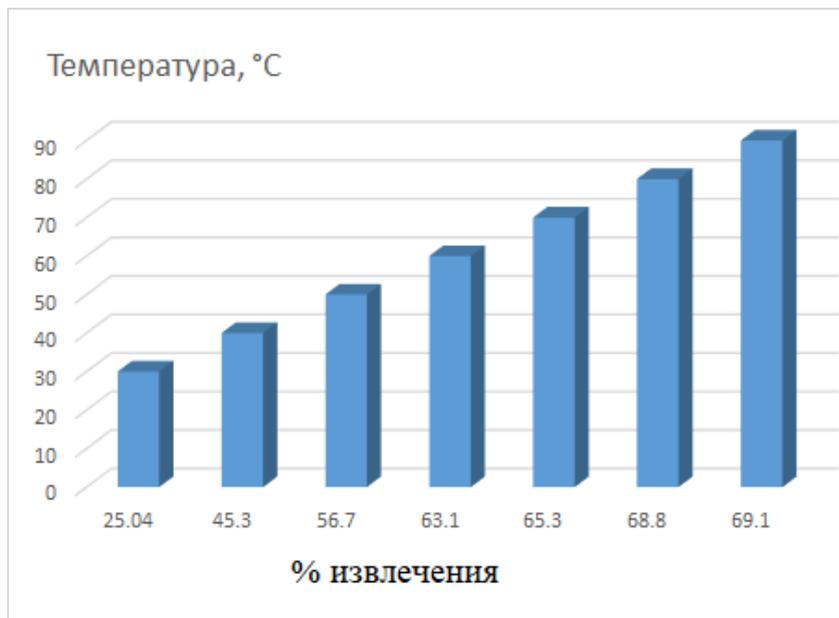


Рисунок 27. – Температурный фактор в сернокислотном извлечении урана из руды месторождения "Северный Таджикистан - 2": анализ зависимости ($C_{(H_2 [SO]_4)}=30\%$, $\tau=60$ мин, $T:Ж=1:2$)

Рисунок 27 содержит экспериментальные данные, демонстрирующие влияние температурного режима на процесс извлечения урана при фиксированных технологических параметрах: продолжительности разложения 60 минут, концентрации серной кислоты (H_2SO_4) 30% и соотношении твёрдой и жидкой фаз ($T:Ж$) 1:2.

Анализ результатов показывает, что повышение температуры благоприятно сказывается на коэффициенте извлечения урана. В диапазоне 60–80°C наблюдается его рост до значений 63–69%, что свидетельствует о повышенной реакционной способности компонентов при данных условиях. Однако дальнейшее увеличение температуры не приводит к значительным изменениям эффективности процесса, что указывает на достижение предельного уровня растворимости урана в данных условиях обработки.

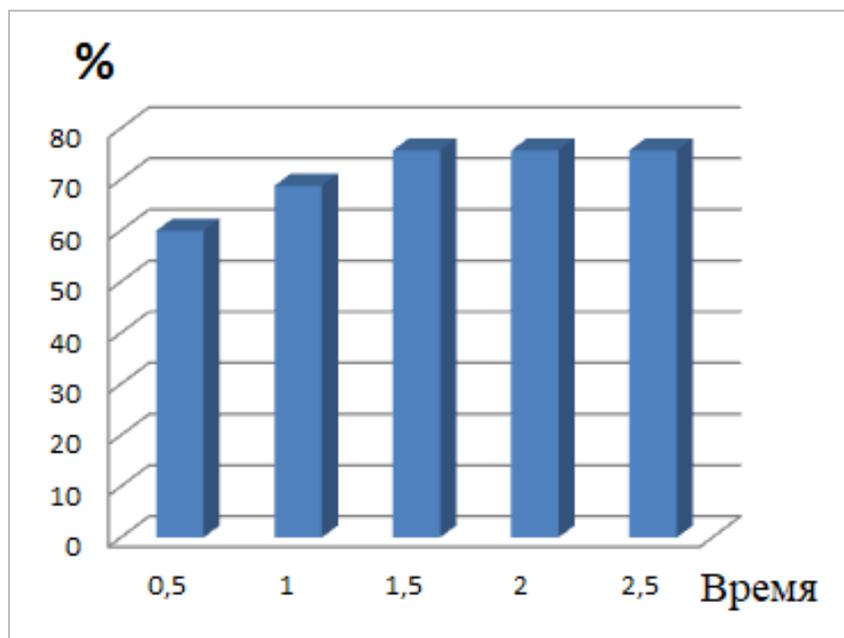


Рисунок 28 – Зависимость извлечения урана от длительности разложения при переработке руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" ($C_{(H_2 [SO]_4)}=30\%$, $t=80^\circ C$, $T:Ж=1:2$)

В данном исследовании была проведена детальная оценка влияния продолжительности разложения на процесс извлечения урана при фиксированных технологических параметрах - температуре 80°C, концентрации $H_2 [SO]_4$ 30% и

соотношении Т:Ж=1:2 (рисунок 28).

Результаты эксперимента показывают, что при 90-минутной обработке достигается максимальный уровень извлечения урана, составляющий 75,5%. Однако дальнейшее увеличение времени эксперимента не приводит к существенному росту эффективности процесса, что свидетельствует о достижении предельного уровня растворения урановых соединений.

Исследование кинетических параметров разложения урановой руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" в изотермических условиях позволило определить наиболее эффективные технологические параметры сернокислотного выщелачивания: температурный диапазон от 303 до 353 К, оптимальная концентрация H_2SO_4 30%. Согласно результатам экспериментов, максимальный коэффициент извлечения урана достигается при температуре 80°C и длительности разложения 1,5 часа, составляя 75,7%.

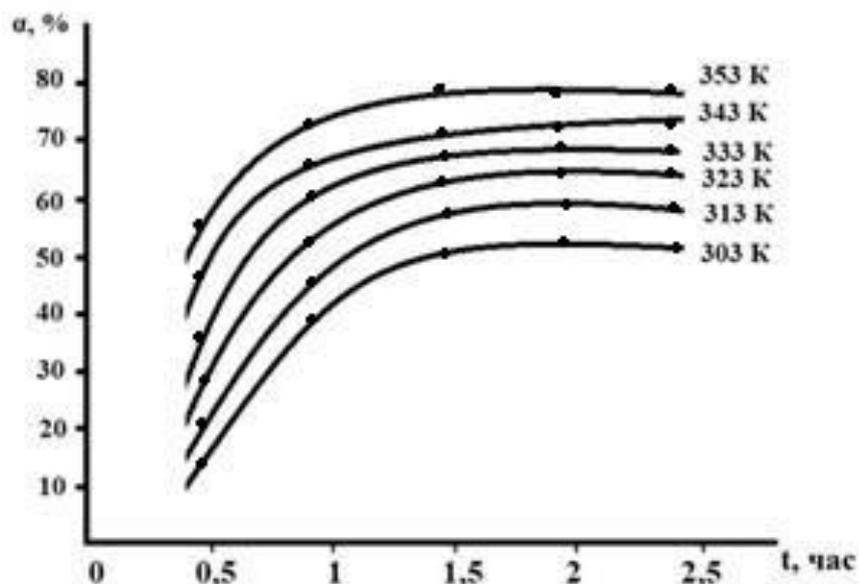


Рисунок 29. – Взаимосвязь температуры и продолжительности сернокислотного разложения руды месторождения "Северный Таджикистан-2": анализ кинетических кривых

На основе полученных данных был построен график (рисунок 29), который отображает динамику извлечения урана в зависимости от температуры и длительности процесса разложения. Анализ графика показывает, что повышение температуры от 303 до 353 К и продлении времени разложения от 30 мин (0.5 ч) до 150 мин (2.5 ч) процент извлечения урана постепенно возрастает. Однако после 150 мин показатель стабилизируется, и дальнейшее увеличение длительности обработки не оказывает значительного влияния на эффективность процесса.

Графический анализ, представленный на рисунке 30, отражает закономерность между логарифмом скорости реакции ($\lg K$) и обратной абсолютной температурой ($1/T$) в процессе разложения руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" сернокислотным методом.

Экспериментальные точки демонстрируют хорошую согласованность с линейной зависимостью, что позволило вычислить энергию активации, составляющую 15,37 кДж/моль. Проведённый анализ влияния температуры и продолжительности разложения на скорость химической реакции подтвердил, что процесс протекает в условиях, подчиняющихся диффузионным закономерностям.

В ходе проведённых исследований были подробно рассмотрены механизмы переработки ураносодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" сернокислотным методом и проведена оптимизация технологического процесса. Комплексный анализ кинетических характеристик позволил выявить ключевые факторы, влияющие на эффективность выделения урана, такие как температурный режим, продолжительность процесса и концентрация серной кислоты.

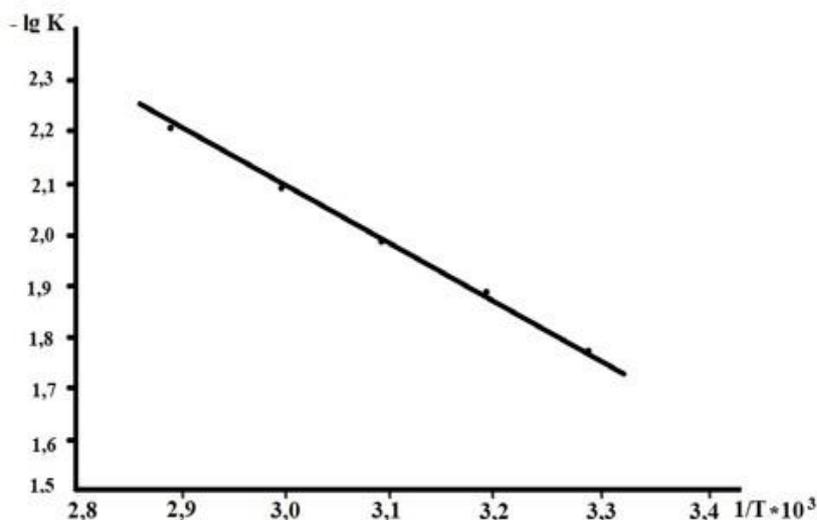


Рисунок 30. - Температурная зависимость скорости реакции разложения руды месторождения "Северный Таджикистан-2": логарифмический анализ константы k

Оптимальные условия извлечения включают: температуру 80°C, длительность обработки 1,5 часа, концентрацию $H_2[SO]_4$ равную 30% и соотношение твёрдых и жидких компонентов (Т:Ж) 1:2. Данные параметры обеспечивают максимальный уровень выделения урана, составляющий в процентном соотношении 75,7 процентов.

Исследования подтвердили, что процесс разложения ураносодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" сернокислотным методом проходит в изотермических условиях. Для детального изучения механизма были построены кинетические кривые, демонстрирующие зависимость параметров процесса разложения от температурного режима, длительности обработки и концентрации кислоты. В ходе экспериментов были исследованы различные технологические условия: температурный диапазон от 303 до 353 К, продолжительность реакции от 30 до 150 мин, концентрация $H_2[SO]_4$ варьировалась от 10 до 50%.

Установлено, что энергия активации процесса составляет 15,37 кДж/моль. Результаты анализа температурной и временной зависимости скорости разложения указывают на то, что процесс развивается в соответствии с характерными кинетическими закономерностями, типичными для реакций твёрдой фазы. Технологическая план-схема получения урана из руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" приведена на рисунке 31.

Полученные кинетические характеристики позволили детально исследовать механизмы протекания процесса и оптимизировать параметры технологического процесса. Анализ этих факторов даёт возможность выбора наиболее эффективного режима обработки.

В целях проведения сравнительного анализа приведены данные о химическом составе ураносодержащих руд, характерных для ряда месторождений Республики Таджикистан, включая участки «Центральный Таджикистан» и «Западный Таджикистан». Полученные характеристики сопоставлены с аналогичными параметрами руд месторождения «Северный Таджикистан – 2», что наглядно представлено в виде диаграммы на рисунке 32.

Для образца руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" получена дифрактограмма в линейном формате. По сведениям рентгенофазового анализа (РФА), данный образец включает уранинит, ураносиликаты и уранотитанаты, известняковые породы, а также марганец- и титансодержащие соединения. Большинство урановых руд, обнаруженных на территории Таджикистана, обладают силикатным составом, характеризующимся значительным содержанием SiO_2 (в пределах 53,1–69,4%). Вариация концентрации урана в исследуемых образцах, составляющая от 0,11 до 0,24%, требует тщательного подбора оптимального метода переработки.

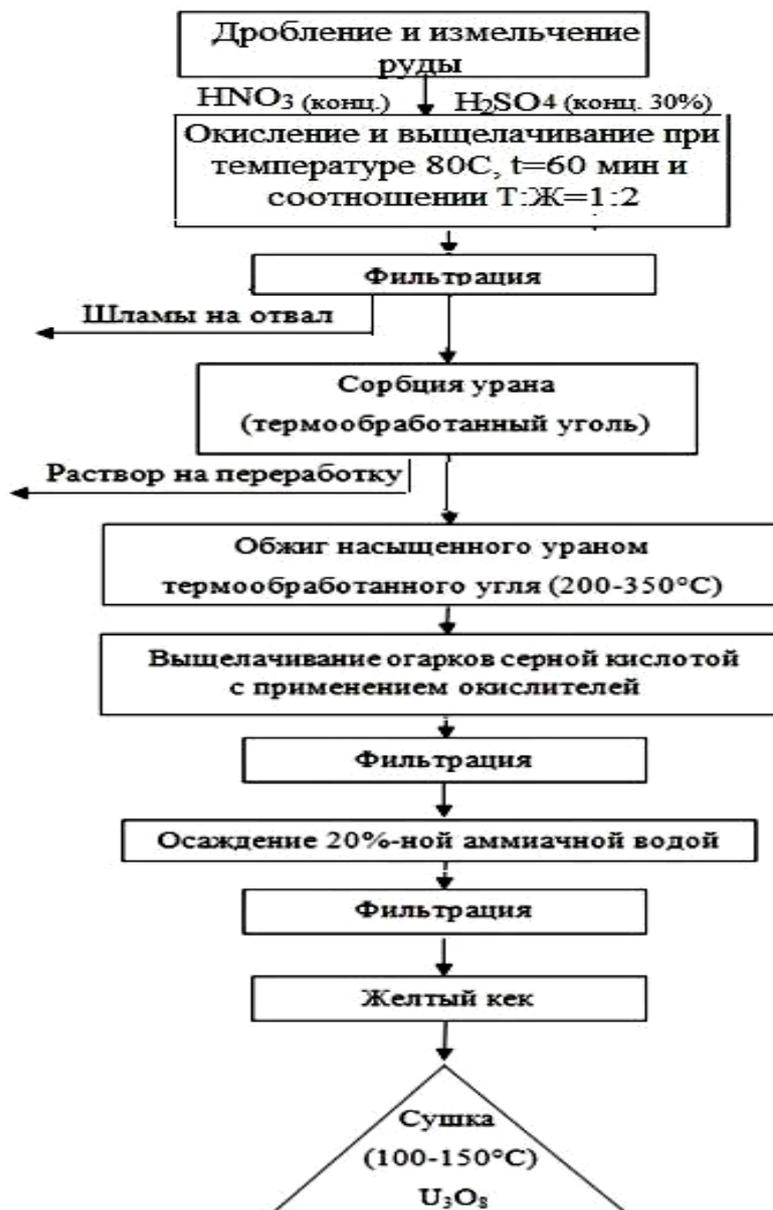


Рисунок 31. – Технологическая план-схема выделения урана из руды месторождения "Северный Таджикистан - 2" сернокислотным методом

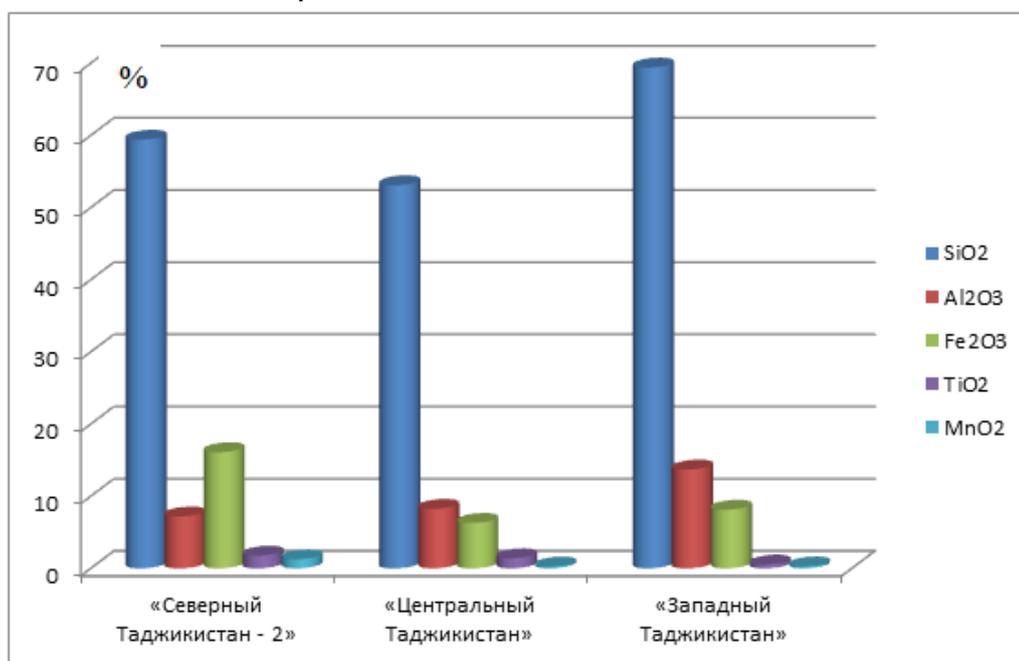


Рисунок 32. – Сравнение химического состава урановых руд различных месторождений Таджикистана: основные элементы и их концентрация (%)

Учитывая специфику данной руды, наиболее эффективным способом её обработки является кислотное разложение с добавлением окислителей, которые обеспечивают максимальное извлечение урана и других элементов. После завершения процесса выщелачивания рудные остатки могут пройти комплексную переработку, что позволит извлечь дополнительные ценные промышленные материалы, такие как оксиды алюминия и оксиды железа. Это не только повышает экономическую эффективность процесса, но и способствует рациональному использованию сырья, минимизируя отходы и расширяя спектр полезных компонентов, получаемых из урансодержащих руд.

В рамках работы анализировался процесс кислотного разложения рудных пород с использованием серной кислоты, а также изучались основные технологические переменные, включая размер фрагментов после дробления, концентрацию реагента (H_2SO_4), длительность обработки, применение окислителей и прочие факторы.

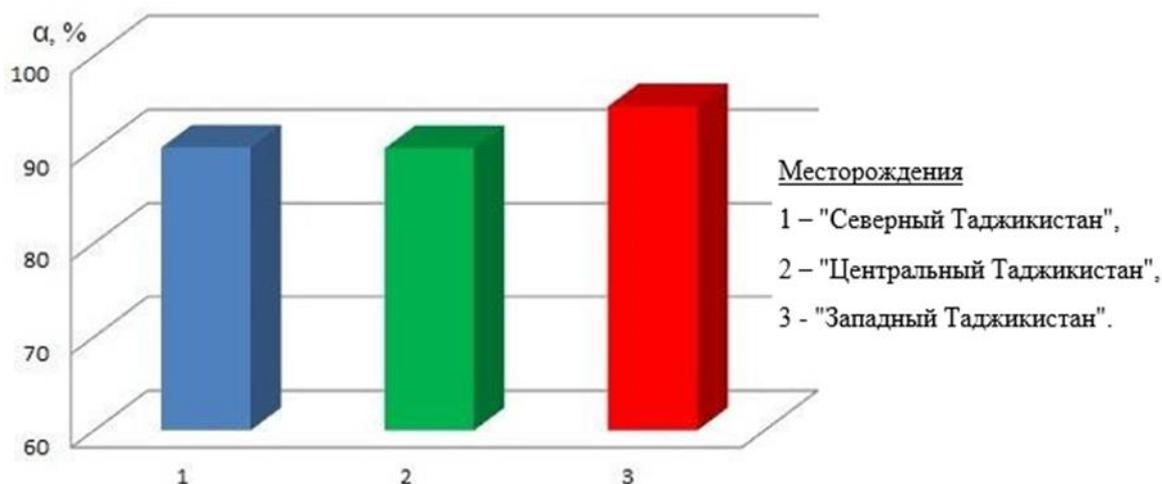


Рисунок 33. – Сравнительное исследование технологий извлечения урана из месторождений Таджикистана: анализ эффективности

На рисунке 33. представлены графические зависимости, демонстрирующие процесс выделения урана из руд различных месторождений. Исследования показывают, что уровень извлечения урана варьируется незначительно между месторождениями, в среднем достигая примерно 90 процентов. Тем не менее, образцы из месторождения "Западный Таджикистан" показывают более высокое извлечение, превышающее отметку в 90 процентов.

Рисунки 34–36 наглядно демонстрируют влияние ключевых технологических параметров – времени разложения, температурного режима и концентрации серной кислоты - на процесс извлечения урана из руд различных месторождений, находящихся на территории республики.

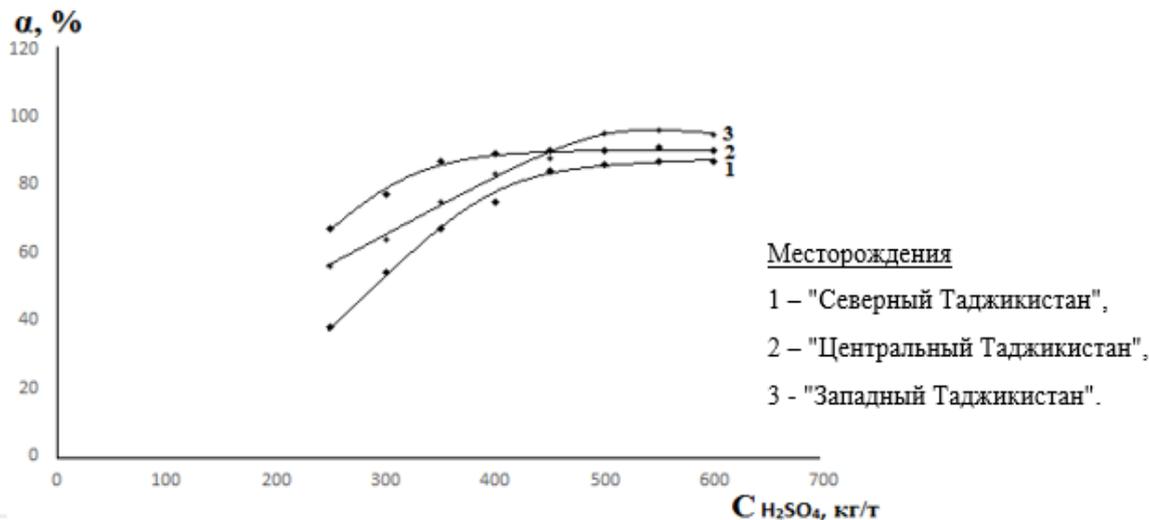


Рисунок 34. – Влияние сернокислотного выщелачивания (H_2SO_4) на коэффициент извлечения урана из руд месторождений Таджикистана: сравнительный анализ

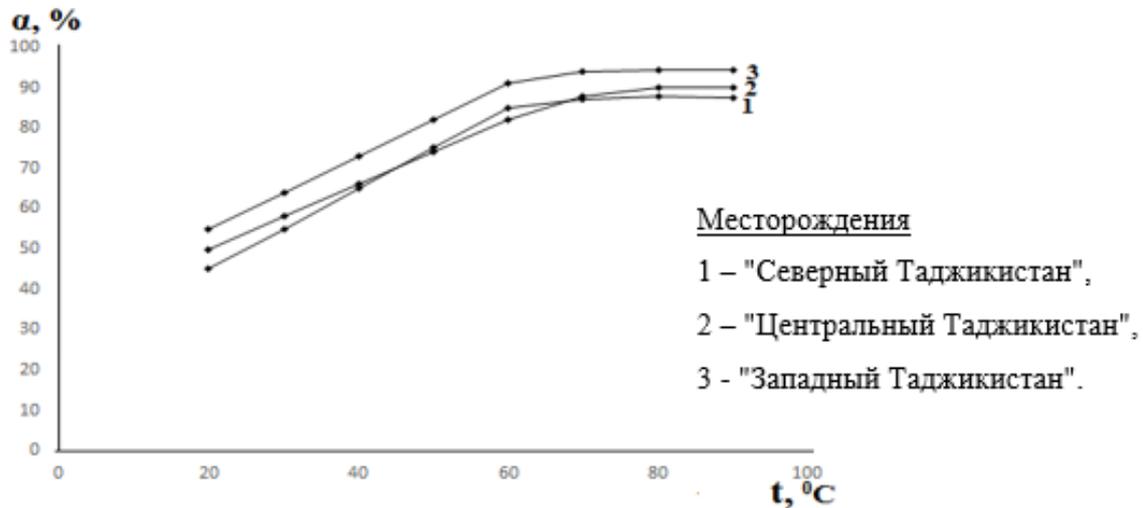


Рисунок 35. – Влияние изменения температуры на коэффициент извлечения урана из ураносодержащих руд Таджикистана: сравнительный анализ

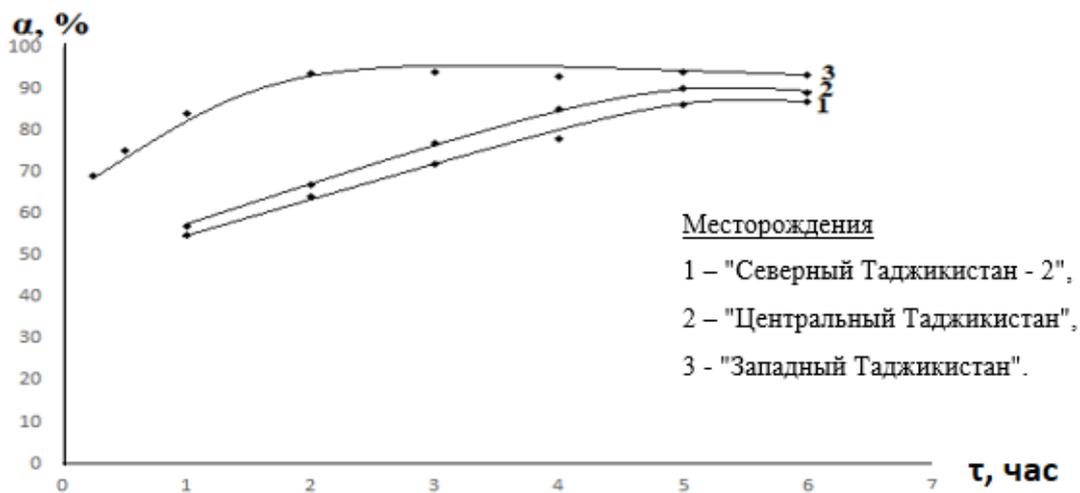


Рисунок 36. - Влияние времени сернокислотной обработки на степень извлечения урана из руд месторождений Таджикистана: сравнительный анализ

Анализ графических данных демонстрирует схожесть формы кривых для всех изучаемых месторождений, что указывает на их близкий минералогический состав. Это подтверждает, что урановые руды, добываемые в Таджикистане, обладают аналогичными физико-химическими характеристиками.

Технология переработки ураносодержащих руд месторождения "Восточный Памир"

В рамках данного раздела выполнен комплексный анализ химического и минералогического состава ураносодержащей руды месторождения «Восточный Памир», а также проведено термодинамическое моделирование процессов, протекающих в условиях карбонатного выщелачивания. Кроме того, осуществлено детальное исследование механизма выщелачивания данной руды с применением карбонатного метода.

Основное внимание уделено анализу кинетических параметров разложения минералов, позволяющему оптимизировать условия извлечения урана.

Для оценки эффективности карбонатного разложения руды месторождения образцы предварительно подвергались механическому измельчению в лабораторной шаровой мельнице до крупности 0,1–0,16 мм. После этого проводилась обработка раствором карбоната натрия. В результате исследований были определены оптимальные параметры процесса, когда степень извлечения урана является максимальной. Установлены оптимизированные параметры проведения разложения руды: $t=70^{\circ}\text{C}$, время взаимодействия с карбонатом натрия 90 минут и концентрация $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 5\%$. При соблюдении указанных оптимизированных параметров извлечение

урана составляет в процентном отношении 94,14 процентов. Дополнительно изучалась кинетика разложения урановых минералов методом выщелачивания в температурном режиме 303–343 К с варьированием длительности обработки от 15 до 120 минут. Полученные данные систематизированы в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. - Влияние длительности карбонатного выщелачивания на извлечение урана из руды месторождения "Восточный Памир"

$C_{Na_2CO_3},$ %	Т: Ж	$\tau,$ час	Т, К	Извлечение U, %
5	1:2	15	343	32,82
—«—	—«—	30	—«—	51,34
—«—	—«—	60	—«—	81,81
—«—	—«—	90	—«—	94,14
—«—	—«—	120	—«—	95,84

Таблица 4. – Влияние длительности карбонатного выщелачивания на извлечение урана из руды месторождения "Восточный Памир"

$C_{Na_2CO_3},$ %	Т: Ж	$\tau,$ час	Т, К	Извлечение U, %
5	1:2	90	303	55,4
—«—	—«—	—«—	313	63,71
—«—	—«—	—«—	323	74,35
—«—	—«—	—«—	333	85,5
—«—	—«—	—«—	343	94,14

На основе полученных результатов построили кинетические кривые (рисунки 37 и 38). Рост температуры и удлинение времени выщелачивания способствуют значительному увеличению степени извлечения урана из рудного материала.

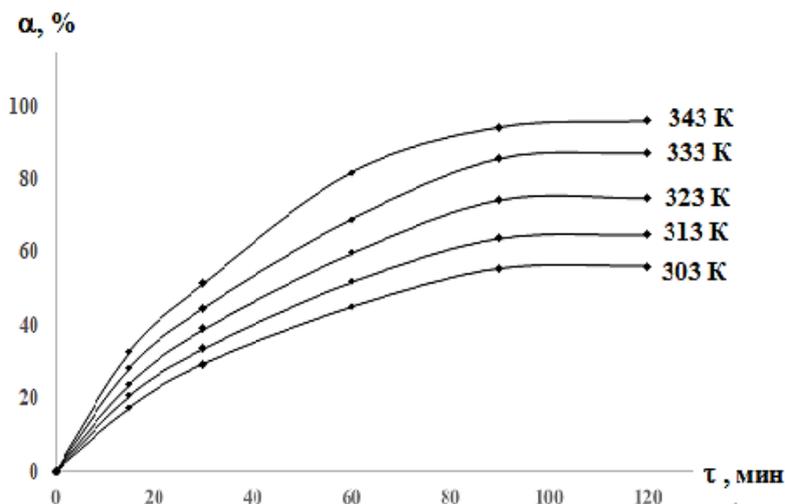


Рисунок 37 - Зависимость степени извлечения урана от продолжительности времени выщелачивания при различных температурах

Характер полученных кинетических кривых свидетельствует о параболической

зависимости. Максимальное значение извлечения зафиксировано при продолжительности процесса 90 минут.

С целью определения энергии активации и уточнения температурной области протекания процесса выщелачивания построен график зависимости логарифма средних значений констант скорости реакции от величины, обратной абсолютной температуре. Полученная линейная зависимость свидетельствует о соответствии процесса кинетическим закономерностям. Значение энергии активации рассчитано по тангенсу угла наклона прямой (рисунок 39).

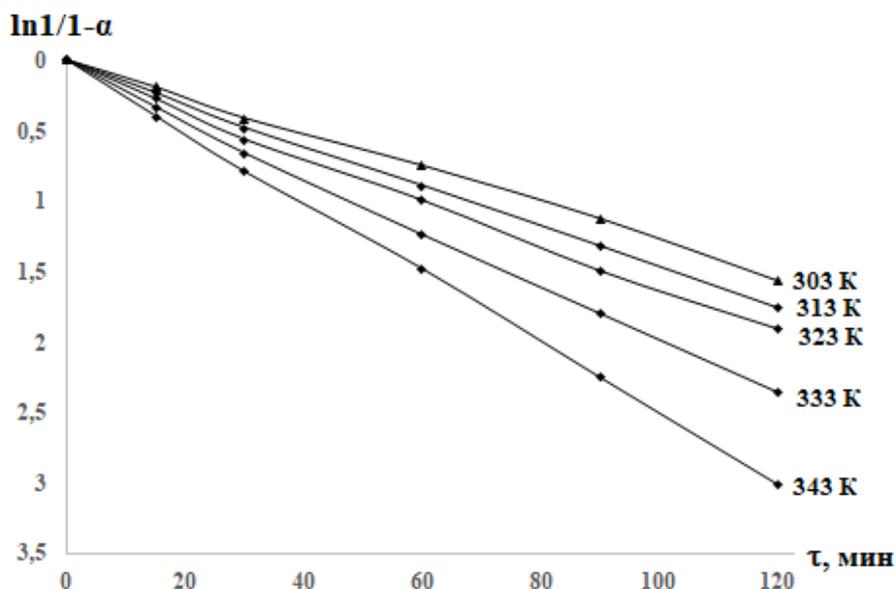


Рисунок 38. - Зависимость степени извлечения урана от $\ln(1/1-\alpha)$ и времени

Как следует из данных, представленных на рисунке 39, экспериментальные точки удовлетворительно располагаются вдоль прямой линии, наклон которой позволил определить значение кажущейся энергии активации, равное 22,04 кДж/моль. Полученное значение, а также характер зависимости скорости реакции от температуры и времени процесса указывают на то, что выщелачивание протекает преимущественно в диффузионной области.

В результате установления оптимальных условий разложения руды, расчета энергии активации и определения преобладающего механизма процесса (в данном случае подчиняющегося диффузионным закономерностям) удалось выбрать наиболее эффективный режим обработки урансодержащей руды месторождения "Восточный Памир", обеспечивающий максимальное выделение урана.

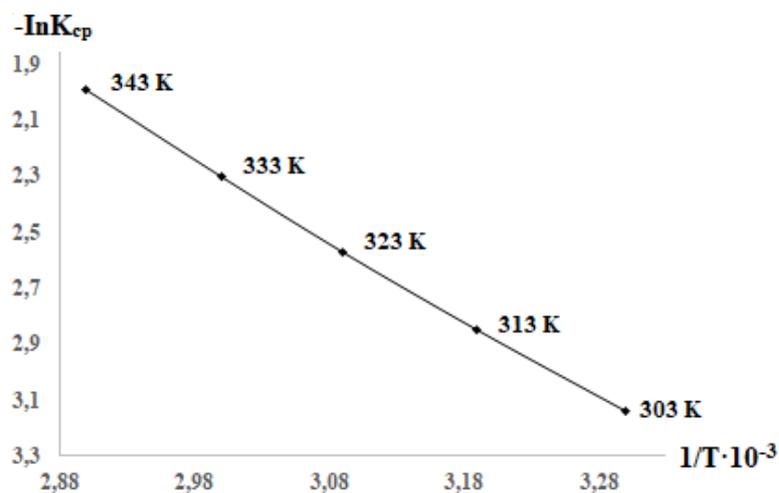


Рисунок 39. - Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры

Сернокислотное выщелачивание хвостов из техногенного хвостохранилища "Карты 1-9"

Так как хвосты из техногенного хвостохранилища "Карты 1-9" в основном содержат кварц (69,4%), их подвергали кислотному выщелачиванию. Результаты лабораторных исследований по степени вскрытия и переходу урана в раствор обобщены в таблице 5.

Таблица 5. - Влияние расхода серной кислоты на извлечение урана при выщелачивании (U=0,018%, t=20°C, τ=10 часов)

Соотношение Т:Ж=1:1		Соотношение Т:Ж=1:2	
расход серной кислоты, кг/т хвостов	извлечение урана в раствор, %	расход серной кислоты, 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

Анализ сведений из таблицы 5 демонстрирует, что обработка хвостов с содержанием урана 0,008-0,021% при помощи серной кислоты приводит к его извлечению в раствор с эффективностью 93,85%. Такой высокий показатель объясняется высокой реакционной способностью хвостового материала к сернокислотному воздействию. В диапазоне 80–90°C наблюдаются значительные тепловые потери, что требует дополнительных мер по теплоизоляции оборудования для минимизации энергозатрат. Соответственно, в ходе эксперимента был выбран температурный режим 65–70°C, при котором достигается оптимальный баланс между уровнем извлечения урана и энергетической эффективностью. Процесс длился 6 часов, а соотношение жидкость-твёрдое (Ж:Т) составляло 1:1, как представлено на рисунке 40.

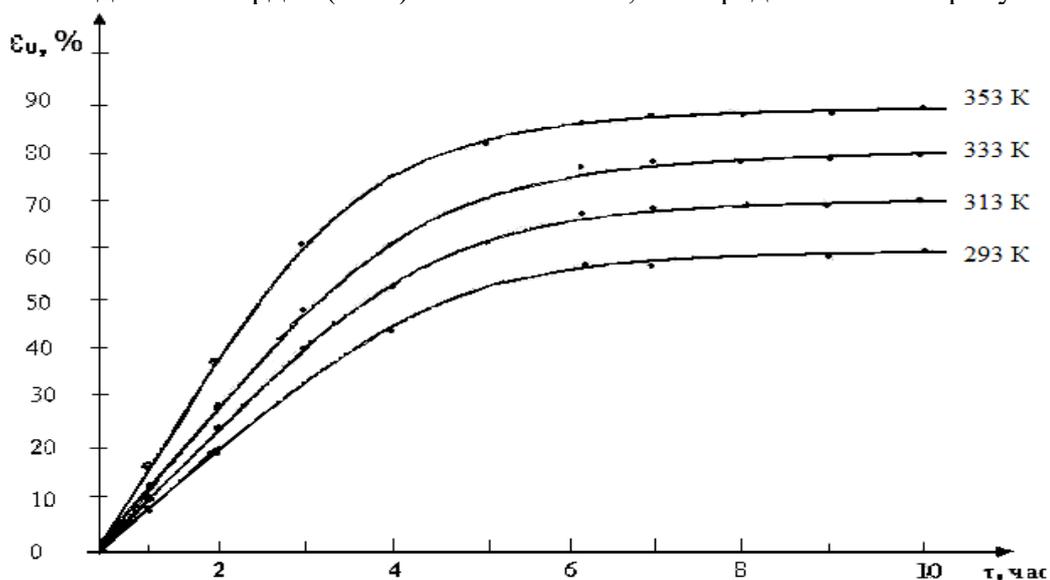


Рисунок 40. - Кинетические кривые выщелачивания хвостов (содержание урана 0,018%) при соотношении Т:Ж=1:2

Анализ кинетических кривых позволил определить эмпирическое значение энергии

активации, которое составило 6 кДж/моль. Такая величина свидетельствует о том, что процесс выщелачивания протекает преимущественно в кинетической области (рисунок 41).

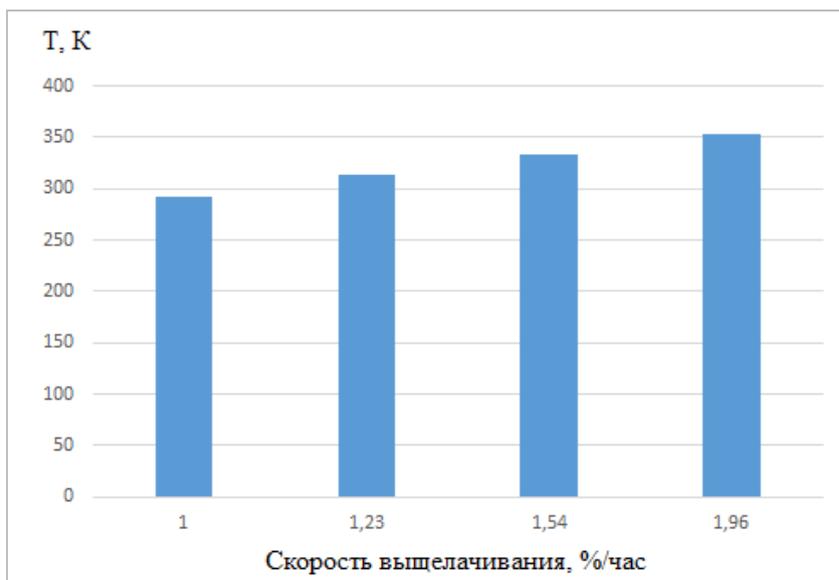


Рисунок 41. - Кинетические и энергетические характеристики извлечения урана из хвостов техногенного хвостохранилища "Карты 1-9" методом выщелачивания (при расходе $H_2SO_4 = 180$ кг/т, энергия активации = 6.0 кДж/моль)

Проведённое исследование процессов сернокислотного выщелачивания отходов обогащения позволило установить наиболее эффективные условия извлечения урана и осуществить оптимизацию параметров технологического процесса. С целью извлечения их хвостового материала оксида урана U_3O_8 разработана усовершенствованная схема-технология разложения отходов хвостохранилища "Карты 1-9" (рисунок 42).

В четвёртой главе диссертации «Сорбционные методы выделения урана из растворов и урансодержащих вод Таджикистана» рассмотрены различные сорбционные методы выделения урана из растворов и урансодержащих вод Таджикистана.

Сорбция урана из раствора выщелачивания руды с использованием сорбента типа АМ(п)

Из руды месторождения "Центральный Таджикистан" извлекался урана выщелачиванием, при этом были получены продуктивные растворы с определёнными содержаниями урана, эти растворы далее проходили процесс сорбции, где использовался анионит АМ(п).

Применение метода ионного обмена, основанного на специализированных сорбентах, обусловлено тем, что после обработки серной кислотой уран остаётся в растворе в форме комплексных уранил-сульфатных анионов: $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$, который имеет две координирующие сульфатных группы, и $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$ - в котором координирующих сульфатных групп четыре.

Извлечение урана из продуктивного раствора (концентрация = 0,515 г/л), проводилось с применением сорбционного метода, основанного на динамическом поглощении урановых соединений с использованием сорбента АМ(п). Этот способ позволял обеспечить непрерывную сорбцию, что значительно повышало эффективность извлечения целевого компонента. Исследования осуществлялись в стандартных условиях – при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении.

По завершении стадии сорбции остаточный раствор исследовался на химический состав, что позволило оценить уровень эффективности процесса улавливания урана. Адсорбция осуществлялась в колонке высотой 18 см и диаметром 2,4 см, где сорбент объёмом 45 см^3 равномерно распределялся между двумя слоями медицинской ваты, обеспечивая равномерное прохождение раствора. Продуктивный раствор подавался снизу вверх с скоростью подачи 30 мл/мин, что способствовало эффективному захвату урана, обеспечивая уровень сорбции в 47,6%. Дополнительные исследования помогли определить оптимальную скорость подачи – 12,3 мл/мин, что обеспечивало максимальную эффективность сорбции, достигавшую в процентном отношении 99

процентов.

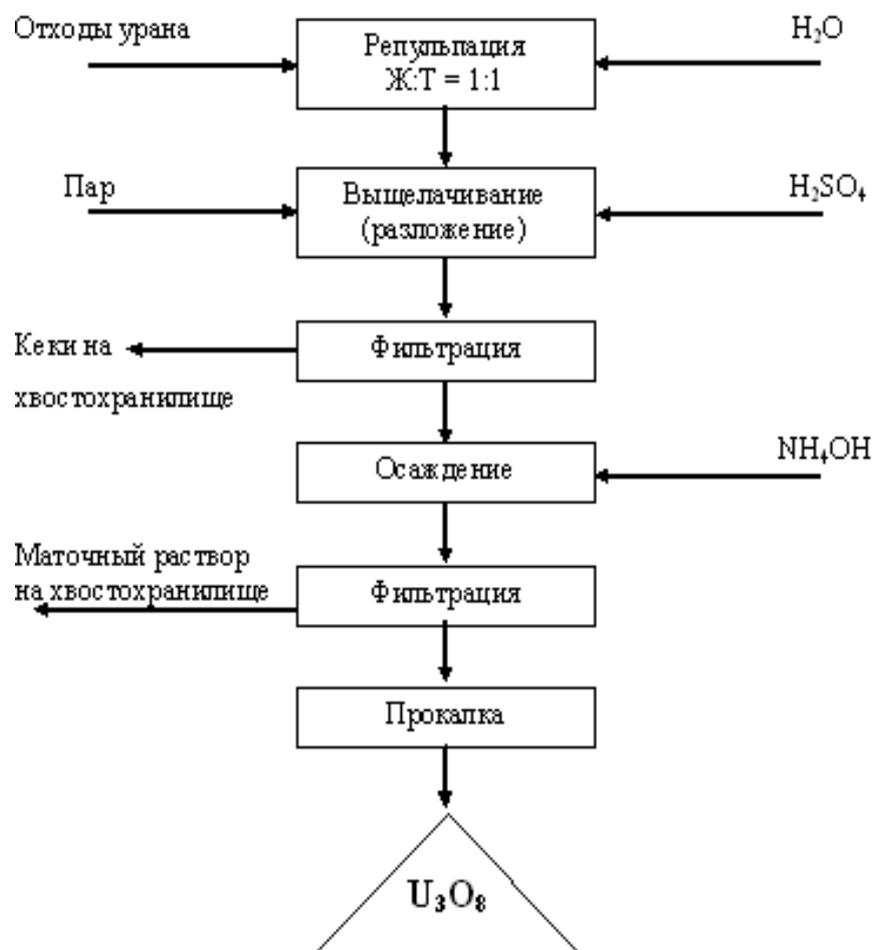


Рисунок 42. – Схема-технология переработки отходов урановой промышленности

После насыщения урана сорбент АМ(п) подвергался процессу десорбции. Традиционным реагентом для этого этапа служит раствор серной кислоты.

Насыщенный сорбент АМ(п) объёмом 45 см³ подвергался десорбции с применением 15%-ного раствора H₂SO₄. Процесс осуществлялся в динамических условиях при температуре 50–60°С, уровне рН = 1 и длился 6 часов, обеспечивая высокий уровень десорбции—99,4% (εU (десорб.)).

Образовавшийся десорбат далее нейтрализовался аммиачным раствором до достижения уровня рН = 8. После выделения урана раствор подвергался дополнительной обработке аммиачной водой, значительная часть которой использовалась для устранения остаточной кислотности.

Для осаждения урана применялся аммиачный раствор с концентрацией по NH₃, равной 18,5%, а длительность процесса составляла 6 часов. В результате уран осаждался в виде жёлтого кека, и его степень осаждения в процентном отношении составляла 97,8 процентов.

Чтобы получить товарный продукт, осаждённый жёлтый кек подвергался термической обработке при 700°С на протяжении 1 часа. В результате удалось получить конечный продукт, в котором содержание U₃O₈ было равным 74,7 процента.

Сорбция урана из растворов термически обработанным углём

В данном исследовании рассмотрено сорбционное извлечение урана с использованием сорбента, полученного в результате термической обработки углей месторождения Фан-Ягноб.

Выше в первой главе было отмечено, что сорбция урана является важнейшим этапом технологии получения урана в виде U₃O₈. В Агентстве по ХБРЯ безопасности НАНТ проводятся исследования различных сорбентов, изготовленных на основе местного растительного сырья.

Установлено, что скорлупа косточки абрикоса обладает значительно лучшими сорбционными характеристиками по сравнению с другими растительными материалами, которые были апробированы в качестве сорбентов.

Проанализирована кинетика сорбции урана из шахтных и дренажных вод, образующихся в отходах урановой промышленности. Построены кинетические кривые извлечения урана при различных температурах (293,313,333 К) и временных интервалах (от 1 до 10 часов). Экспериментально подтверждено, что энергия активации составляет 6.0 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в условиях, подчиняющихся диффузионным закономерностям.

С учётом доступности углей Фан-Ягнобского месторождения был разработан сорбент, полученный методом термической обработки в условиях отсутствия кислорода. Первоначально этот сорбент применялся для удаления из состава шахтных вод урановых соединений.

Процесс сорбции урана включает ряд последовательных этапов. Сначала термообработанный уголь (3–5 г) тщательно измельчается до фракций 0,25 мм и загружается в сорбционную колонку. Затем в неё добавляют шахтную воду, оставляя систему в состоянии покоя на 4 часа для первоначального взаимодействия. Следующая фаза заключается в непрерывном пропуске шахтной воды через сорбционную колонку со скоростью 10 мл/мин. Исходная концентрация урана в растворе составляет 0,044–0,051 г/л, а эффективность сорбции контролируется по снижению его содержания до 0,0039–0,0063 г/л. После завершения сорбционного этапа очищенный раствор направляется в отдельные ёмкости, а термообработанный уголь, а насыщенный ураном термообработанный уголь подвергается дальнейшей термической обработке при 200–350°C, что обеспечивает полное сгорание материала.

Процесс переработки урансодержащей золы включает несколько последовательных стадий. На начальном этапе зола подвергается выщелачиванию, где используется серная кислота в сочетании с окислителями, такими как азотная кислота и трёхвалентное железо. Эти реагенты способствуют максимальному растворению урановых соединений. После завершения выщелачивания раствор проходит процесс фильтрации, в результате которого формируется фильтрат, насыщенный уранилсульфатом. Очищенный раствор затем подвергается следующей технологической стадии - осаждению урана с использованием аммиачной воды, по традиционной технологии, что приводит к образованию оксида урана (U_3O_8). Заключительным этапом является сушка полученного осадка в вакууме при температуре 100–150°C. Итоговый выход целевого продукта составляет 90–95%, а концентрация основного вещества достигает аналогичного уровня.

Оптимизированные параметры данной технологии обобщены в таблице 6.

Таблица 6. – Оптимизированные параметры извлечения из шахтных вод урана методом сорбции (сорбент - термообработанный уголь)

Параметры сорбции	Значения
Температура в помещении	298.15 К
Масса сорбента в сорбционной колонне	5 грамм
Слой сорбента в колонне, высота	25-30 мм
Размер фракций сорбента	до 0.25 мм
Объём шахтной воды, пропускаемый через колонну	10 литров
Содержание в исходном растворе урана	0,044–0,051 г/л
Процент извлечения из шахтной воды урана	90-95 процентов

Для расширенного анализа дополнительно были проведены исследования процессов сорбции урана, в которых использовались альтернативные сорбционные материалы. Эксперименты осуществлялись в статическом режиме, что позволило

оценить их сорбционные свойства и эффективность по сравнению с микрогелем. Итоговые результаты анализа представлены на рисунке 43.



Рисунок 43. – Сравнительная характеристика различных сорбентов (сорбент 3 грамма, раствор – 20 мл, время сорбции 24 ч, режим статический)

На основании оптимизированных параметров извлечения из шахтных вод ураносодержащих соединений методом сорбции на сорбент - термически обработанный уголь, разработана оптимизированная схема-технология данного процесса (рисунок 44).

В пятой главе диссертации «Воздействие на окружающую среду производств урановых концентратов из руд» рассмотрены вопросы воздействия радионуклидов на окружающую среду при производстве урановых концентратов, с акцентом на радиологическую ситуацию урановых хвостохранилищ и их влияние на населенные пункты Таджикистана.

В настоящей работе изучена радиационная ситуация на хвостохранилище Дегмай. Исследования включали характеристики полевых, геосферных и биосферных условий на объектах наследия, кроме того проводился мониторинг и замеры следующих показателей:

- мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД – гамма фон);
- концентрации радона в атмосферном воздухе;
- концентрации радона в помещениях.

МАЭД на территории хвостохранилища Дегмай приведены на рисунке 45.

Мониторинг МАЭД (мощности амбиентной эквивалентной дозы) проводился на всей территории хвостохранилища и прилегающих участках до достижения естественного уровня радиации (150–200 нЗв/ч).

Наивысшие уровни радиации (до 12 000 нЗв/ч) были зафиксированы в центральных частях хвостохранилища.

Факторы, влияющие на повышенные уровни радиации:

- оседание пыли на естественных склонах приводило к локальному повышению МАЭД до 1 000 нЗв/ч, особенно на северо-востоке и юго-западе хвостохранилища (участки с песчаными и илистыми отложениями охристого и красно-коричневого цвета);

- отвальная порода и бедные руды также способствовали увеличению радиационного фона, местами превышая 1 000 нЗв/ч;

- примерно 15% всех замеров зафиксировали особенно высокие уровни радиации > 3 000 нЗв/ч.

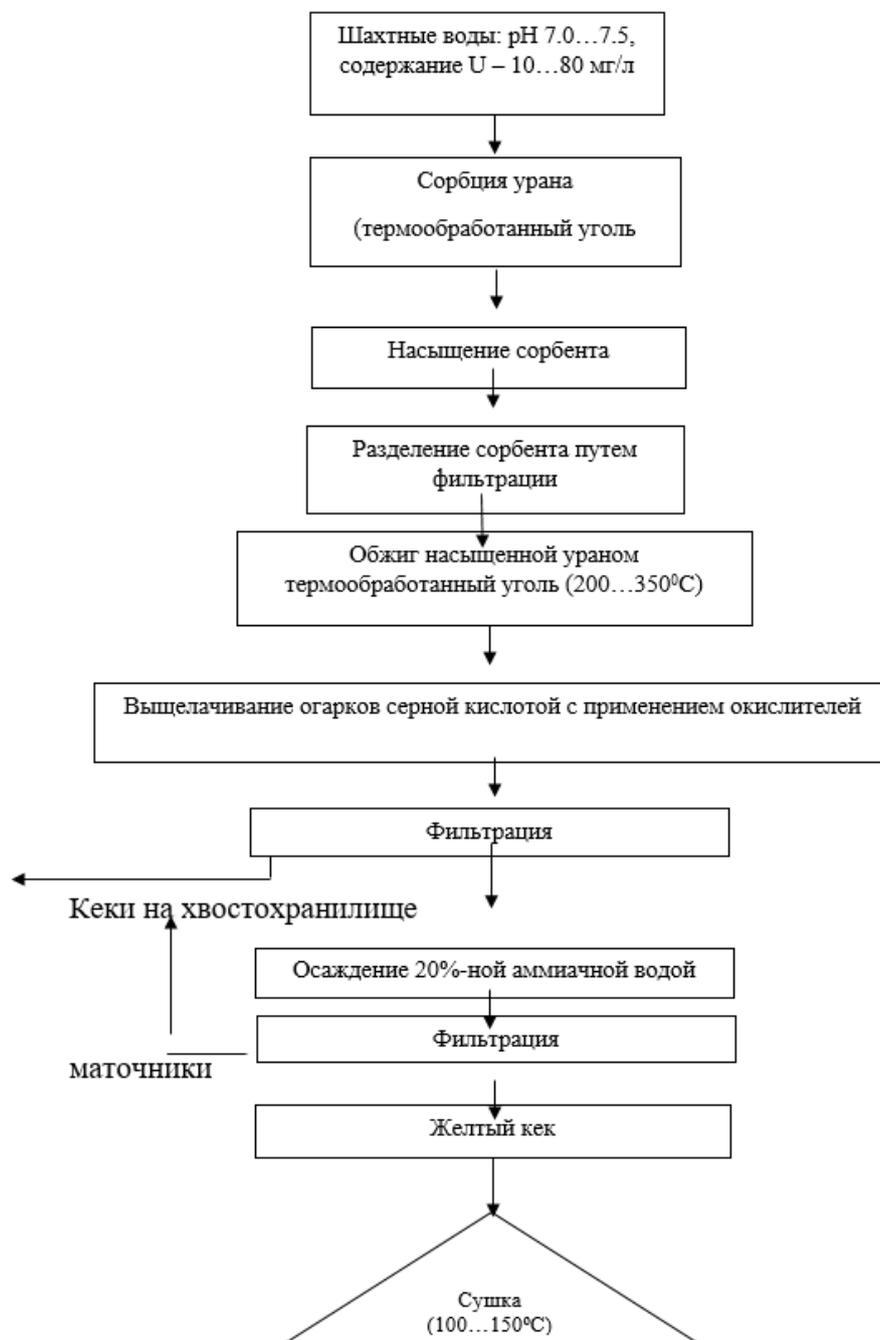


Рисунок 44. – Оптимизация процесса сорбции урана: использование активированного угольного сорбента из месторождения Фан-Ягноб

Дополнительно МАЭД измерялась вдоль первоначального пульпопровода. В трубах № 1, 2 и 3 отмечены повышенные уровни радиации (>500 нЗв/ч) из-за осадков и хвостового материала внутри них.

Для определения содержания радионуклидов было пробурено 8 скважин.

В буровых кернах были проанализированы следующие параметры:

- лабораторные параметры – содержание металлов (в мг/кг) U, As, Ni, Cr, Fe, Sr, Sb, Se, Sc, Zn, Co в 11 пробах.
- определение радионуклида Ra-226 – в 7 керновых пробах.
- полный изотопный анализ – проведён в одной керновой пробе.
- геотехнические тесты – выполнены для 40 проб.

Результаты анализа радионуклидов в пробах, отобранных во время буровых работ, представлены в таблице 7.

Также проведён анализ радиационной обстановки в зоне урановых отходов города Истиклол. Естественный фон гамма-радиации в Истиклоле составляет 140–150 нЗв/ч. В районе рудника Табошар фоновый уровень значительно выше – в среднем 239 нЗв/ч (получено на основе 33 замеров в разных местах).

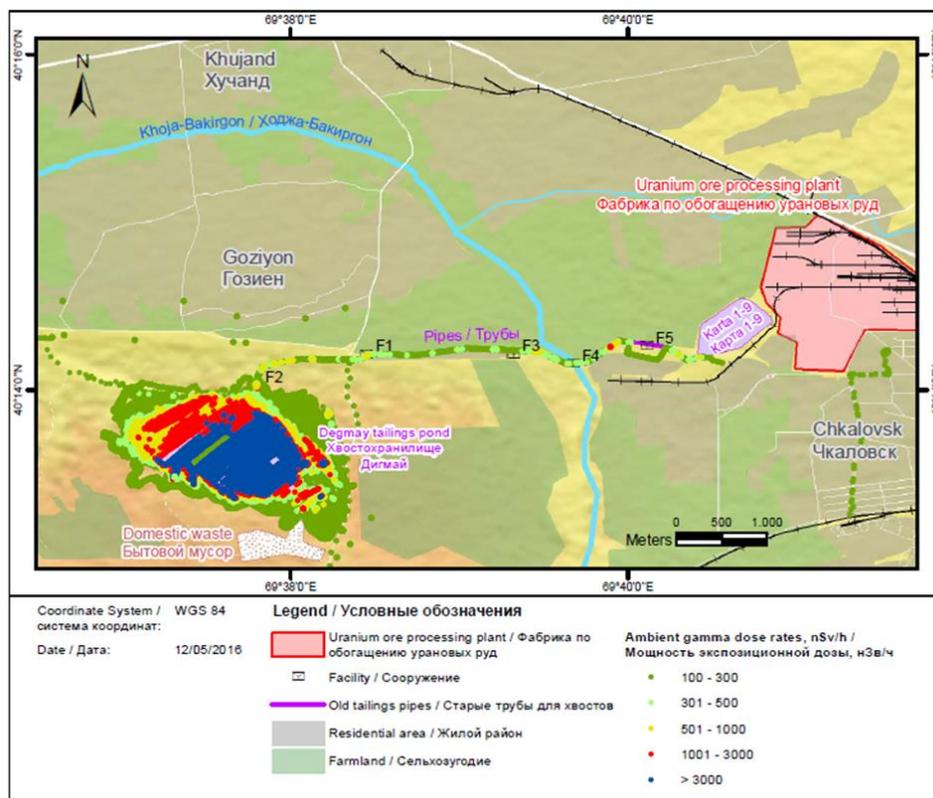


Рисунок 45. - МАЭД на хвостохранилище Дегмай

Таблица 7. - Результаты анализа хвостового материала по некоторым радионуклидам, Дегмай

№ про-бы	Материал / интервал глубин	U-238	Ra-226	Pb-210	U-235	Ra-228	Th-228	K-40
		Бк/кг						
DB2_R2	хвостовой материал (керн) / 19.0-19.2 м	912	3900	4230	42	67	68	1080
DB3_R2	хвостовой материал (керн) / 18.3-18.5 м	789	4950	5060	36	70	77	1160
DB4_R3	хвостовой материал (керн) / 30.6-30.75 м	574	9640	9790	26	64	64	994
DB5_R1	хвостовой материал (керн) / 5.0-6.0 м	550	9290	9570	25	50	45	672
DB5_R2	хвостовой материал (керн) / 19.2-19.3 м	1100	31100	30200	51	136	140	667
DB5_R3	хвостовой материал (керн) / 25.5-25.6 м	985	33700	33000	45	115	125	711
DB6_R2	хвостовой материал (керн) / 28-28.8 м	610	6000	6110	28	66	65	1030
DB7_R3	хвостовой материал (керн) / 29.2-29.35 м	582	6290	6160	27	55	55	955

В характеристических точках, расположенных вне зон загрязнения, связанных с добычей и обогащением урана, значения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) варьируются: 153 нЗв/ч (на огородных участках) и 467 нЗв/ч (на выходах коренных пород в Старом Табошаре).

Мониторинг МАЭД проводился на всех объектах зоны рудника и прилегающих территориях до достижения естественного радиационного фона.

Наиболее высокие уровни радиации зафиксированы в центральных частях

хвостохранилищ и на отвалах урановых руд. Основные загрязняющие факторы – радон, пыль с хвостохранилищ и выщелачивание урана в подземные воды.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что радиационная обстановка в районах уранодобычи требует постоянного контроля и принятия мер по снижению воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

В шестой главе «Обсуждение результатов» приведены обсуждения результатов данной диссертационной работы. Данное исследование представляет собой итоговый результат научной деятельности, проведенной в рамках следующих тематических направлений Агентства по ХБРЯ безопасности:

- "Изыскание технологических основ переработки урансодержащих руд и отходов урановой промышленности" (Номер государственной регистрации: ГР № 102 ТД 843, период выполнения 2010-2014 гг.);

- "Физико-химические основы извлечения урана из руд и урансодержащих шахтных и технических вод" (Номер государственной регистрации: ГР № 00470 ТД 0115, период выполнения 2015-2019 гг.);

- "Физико-химические основы радиационной экологии, разработка радиэкологических карт регионов и радиационный мониторинг биосферы Таджикистана" (Номер государственной регистрации: ГР № 00471 ТД 0115, период выполнения 2015-2019 гг.);

- "Физико-химические основы выделения урановых концентратов из руд и отходов" (Номер государственной регистрации: ГР № 0120 ТД 01030, период выполнения 2020-2024 гг.);

- "Радиэкологические исследования на объектах, содержащих радионуклиды" (Номер государственной регистрации: ГР №0120 ТД 01031, период выполнения 2020-2024 гг.).

В рамках исследования выполнен всесторонний анализ научной литературы, посвящённой переработке урановых руд и техногенных урановых отходов. Проведённый обзор охватывает широкий спектр технологических методов обработки урансодержащего сырья, с акцентом на особенности разработки и переработки месторождений, расположенных на территории Таджикистана.

В данном диссертационном исследовании изучены процессы извлечения и переработки урановых ресурсов месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан - 2", "Восточный Памир" и "Танзим".

В рамках исследования проведён подробный анализ химико-минералогического состава урансодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан», а также детальное изучение изотопного состава рудного сырья месторождения «Танзим». Экспериментально исследованы процессы извлечения урана серноокислотным выщелачиванием с применением различных окислителей, включая пероксид водорода (H_2O_2), диоксид марганца (MnO_2 , пиролюзит) и азотную кислоту (HNO_3). Установлено, что наибольшая степень извлечения урана достигается при использовании пероксида водорода. Кроме того, проанализировано влияние кислотности среды на эффективность выщелачивания урана в условиях серноокислотных растворов.

Проведён комплексный анализ кинетических характеристик процесса выщелачивания, в результате которого построены графические зависимости скорости извлечения урана в температурном интервале 293–353 К при длительности выщелачивания от 1 до 6 часов. Определены значения энергии активации для различных окислителей: 2,5 кДж/моль для H_2O_2 , 4,8 кДж/моль для MnO_2 (пиролюзит) и 5,7 кДж/моль для HNO_3 , при варьировании концентрации серноокислого раствора. Полученные результаты указывают на то, что процесс извлечения урана из рудных материалов протекает в диффузионной области, подчиняясь соответствующим закономерностям массопереноса.

Проведено детальное исследование механизмов разложения урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан" под воздействием серной кислоты различной концентрации, а также оптимизированы параметры процесса. Оптимизированные параметры показаны следующими: максимальная степень

извлечения урана достигает 96 процентов при температуре 60°C, длительности обработки руды в течение 4-х часов, концентрации окислителя - пероксида водорода 50 л/т, серной кислоты 150 кг/т и соотношении твёрдого и жидкого компонентов 1:2.

Исследования физических и химических свойств руд ураносодержащих месторождений Таджикистана позволили также оптимизировать технологии переработки для получения уранового концентрата из местного сырья с максимальными выходами конечного продукта в виде U₃O₈.

Так как для всех рассматриваемых ураносодержащих месторождений исследовался процесс разложения руд методом сернокислотного выщелачивания, на рисунке 46 приводится диаграмма по извлечению урана из руд месторождений, где максимальное извлечение урана (90% и более) показывает руда месторождения "Западный Таджикистан".

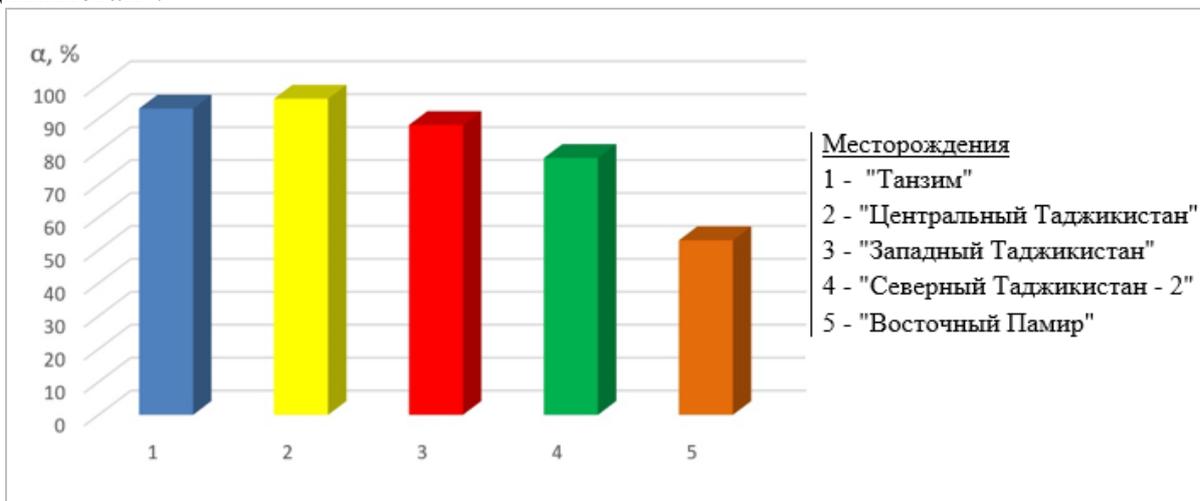


Рисунок 46. –Эффективность сернокислотного метода для урановых руд месторождений Таджикистана

Кроме того, изучены сорбционные возможности природных сорбентов, в частности, исследования посвящены сорбенту – скорлупе косточек абрикоса. Этот метод не требует высоких эксплуатационных вложений, его можно использовать в отдалённых регионах страны. Данный метод позволяет при уровне рН, равном 8,0 достигать 86.9-процентного извлечения урана. Возможные способы переработки насыщенной ураном скорлупы включают обжиг с последующим растворением урана или десорбцию с использованием сернокислотных растворов.

Сравнительная оценка степени извлечения урана из шахтных и технических вод Таджикистана различными сорбентами приведена на рисунке 47.

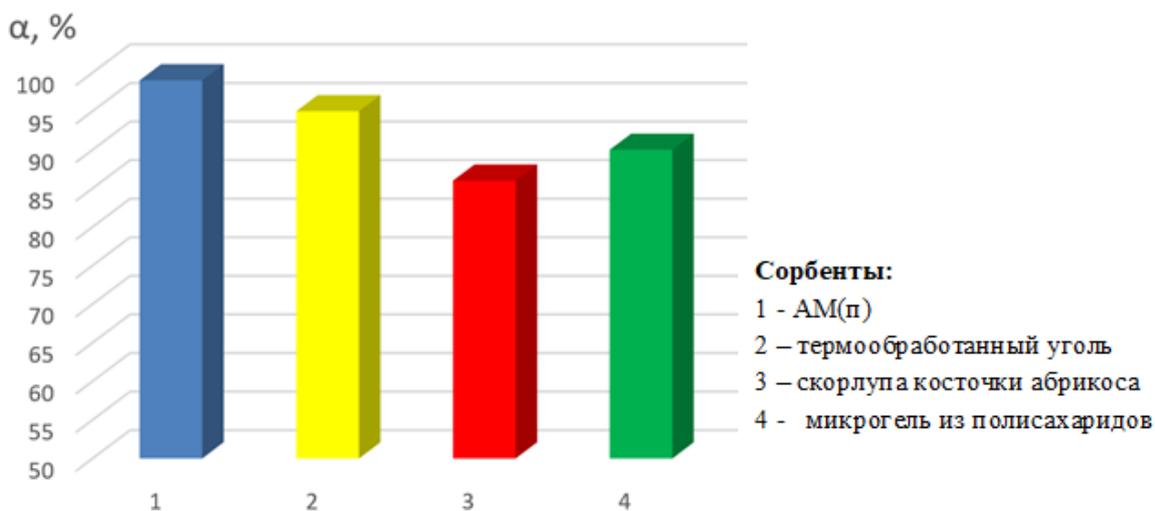


Рисунок 47. - Сравнительный анализ сорбционных характеристик различных сорбентов (1-4), использованных для извлечения урана из шахтных и технических вод Таджикистана

Сравнительный анализ радиологической обстановки на хвостохранилищах Дегмай и Истиклол показывает, что уровень загрязнения существенно варьируется в зависимости от объекта. В Дегмае наиболее высокие уровни МАЭД зафиксированы в центральных частях хвостохранилища, тогда как в Истиклоле значительное загрязнение связано с рудными отвалами и складированием хвостового материала. Для снижения радиационного воздействия необходимы срочные рекультивационные мероприятия, постоянный мониторинг и контроль за уровнем загрязнения в окружающей среде.

ВЫВОДЫ

1. Основные научные результаты диссертации:

1.1. Применение комплекса аналитических методов, включая химический анализ, дифференциально-термический анализ (ДТА) и рентгенофазовый анализ (РФА), позволило всесторонне охарактеризовать химико-минералогический состав урановых руд месторождения «Танзим», "Восточный Памир", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан" и "Северный Таджикистан - 2", расположенного на территории Таджикистана [2-А, 12-А, 15-А, 16-А, 18-А, 23-А, 26-А, 29-А, 36-А, 39-А, 40-А, 42-А, 45-А, 47-А].

1.2. Подтверждена эффективность промышленной переработки урансодержащих руд указанных месторождений. Определены оптимальные концентрации серной кислоты и натриевого карбоната, способствующие эффективному процессу выщелачивания. Установлены кинетические характеристики и термодинамические параметры реакций, обеспечивающие максимальное извлечение урана [2-А, 12-А, 15-А, 16-А, 17-А, 18-А, 23-А, 38-А, 40-А, 42-А, 45-А, 48-А, 49-А, 54-А, 59-А].

1.3. В рамках исследования выполнен анализ кинетики выщелачивания урана при различных температурах (293, 313 и 333 К) и временных интервалах от 1 до 10 часов. Расчётные значения энергии активации позволили уточнить механизм протекания процесса и определить наиболее эффективные технологические условия, способствующие максимальному извлечению урана из урансодержащего сырья [2-А, 12-А, 16-А, 18-А, 23-А, 46-А].

1.4. Разработаны базовые технологические схемы переработки урановых руд, характерных для месторождений «Танзим», «Восточный Памир», «Центральный Таджикистан», «Западный Таджикистан» и «Северный Таджикистан – 2». Предложены и обоснованы технологические решения, обеспечивающие высокоэффективное извлечение урана из руд указанного происхождения. Перспективность разработанных процессов подтверждена достижением степени извлечения урана до 99% на стадии осаждения [2-А, 9-А, 16-А, 17-А, 18-А, 23-А, 28-А, 47-А].

1.5. Определены термодинамические характеристики процессов при сернокислотном выщелачивании урановых руд месторождений Таджикистана [20-А, 25-А, 27-А, 28-А, 31-А].

1.6. Показана возможность выделения урана из отходов урановых хвостохранилищ Таджикистана. Разработаны технологические схемы выделения урана из отходов урановых хвостохранилищ Таджикистана [5-А, 11-А, 12-А, 13-А, 14-А, 24-А, 30-А, 35-А, 41-А, 43-А, 50-А, 51-А, 56-А].

1.7. Разработана обобщённая схема-технология для извлечения из рас-сольных вод озера Сасык-Куль ураносодержащих соединений. Схема включает несколько этапов: выпаривание, выщелачивание, улавливание выделяющихся хлороводородных газов, сорбцию, десорбцию, осаждение, сушку и прокаливание готового соединения. Подтверждена эффективность извлечения урана из рассольных вод с содержаниями хлорид-ионов [10-А, 12-А, 22-А, 45-А].

1.8. Исследованы сорбционные методы извлечения урана. Рассмотрены методы сорбции на ионообменных смолах, углях и природных сорбентах. Исследована эффективность термообработанных углей месторождения Фан-Ягноб и микрогелей на основе пектиновых полисахаридов [3-А, 4-А, 6-А, 7-А, 8-А, 19-А, 21-А, 22-А, 44-А, 52-А, 58-А, 60-А, 62-А].

1.9. Разработана технологическая схема сорбционной очистки урансодержащих вод с использованием сорбентов на основе скорлупы косточек абрикоса и микрогеля. Доказана высокая эффективность применения сорбентов, полученных из местного сырья, для удаления урана из водных растворов [3-А, 6-А, 19-А, 21-А, 22-А].

1.10. Проведен углублённый анализ возможностей извлечения урана из природных вод и отходов промышленных урановых производств, оптимизированы характеристики сорбционного процесса для повышения его эффективности. Разработана схема-технология для извлечения урана из шахтных и технических вод отходов урановых производств, включающая ключевые этапы: подкисление, сорбцию, термическую обработку, выщелачивание, осаждение, фильтрацию и высушивание полученного соединения [3-А, 4-А, 6-А].

1.11. Изучены радиационные характеристики урановых хвостохранилищ, выявлены зоны с повышенными уровнями радиации. Проанализированы концентрации радона в атмосферном воздухе и их влияние на близлежащие населенные пункты. Проведен мониторинг загрязнения почвы, воды и воздуха в районах уранодобычи. Разработаны рекомендации по рекультивации загрязненных территорий, включая снижение пылевого загрязнения и улавливание радона [1-А, 32-А, 33-А, 34-А, 37-А, 53-А, 55-А, 57-А, 61-А].

2. Рекомендации по практическому применению результатов.

2.1. Разработанные технологии переработки урансодержащих руд Таджикистана рекомендовано использовать для получения соединений урана, как исходное сырьё для ядерного топлива в уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности.

2.2. Разработанные схемы могут внедряться на гидрометаллургических заводах для повышения извлечения урана из различных типов сырья.

2.3. Разработанную технологию переработки урансодержащих отходов рекомендовано использовать для извлечения соединений урана и других металлов при получении полезных ископаемых из техногенных месторождений.

2.4. Внедрение схем вторичной переработки урановых отходов способствует более полному использованию минерального сырья, снижению объёма опасных отходов и реализации принципов безотходного производства.

2.5. Разработан и рекомендован способ извлечения урана из технических и шахтных вод, как дополнительные источники получения урана.

2.6. Разработан и рекомендован способ очистки урансодержащих вод, наряду с разработкой решений для устранения экологических проблем, связанных с уранодобывающей промышленностью, которую можно использовать в технологии утилизации и переработки техногенных отходов. Сорбционные схемы, разработанные в работе, могут быть адаптированы для удаления тяжёлых металлов и радионуклидов из технических, шахтных и дренажных вод — не только урановых, но и других горнодобывающих объектов.

2.7. Применение предложенных методик выщелачивания, кислотного и щелочного разложения, а также термодинамических расчётов — в технологических линиях, связанных с неорганическим сырьём. Использование местных сорбентов в процессах очистки растворов от радионуклидов в химической и радиохимической промышленности.

2.8. Разработки по радиационному мониторингу загрязнений, радонового фона и разработка мероприятий по снижению радиационного риска в населённых пунктах можно использовать в экологической безопасности и радиационной экологии.

2.9. Данные по выщелачиванию, термодинамики и кинетики рекомендовано включить в банк данных для расчетов и проектирования технологий неорганических веществ.

2.10. Материалы диссертации рекомендовано использовать как учебные материалы при обучении студентов высших учебных заведений по дисциплинам химическая технология, технология неорганических веществ, физическая химия, радиохимия и другие.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

-монография

- 1-А. **Баротов, Б.Б.** Радиоэкологическая ситуация в Республики Таджикистан. / И. Мирсаидзода, М.З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов**, Х.М. Назаров, Ф.А. Хамидов. – Душанбе: Дониш, 2021. – 114 с.
- 2-А. **Баротов, Б.Б.** Технологические особенности переработки ураносодержащих сырья Таджикистана / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, Х.М. Назаров, М.Д. Бобоёров. – Душанбе: Дониш, 2024. – 123 с.

-статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

- 3-А. **Баротов, Б.Б.** Кинетика процесса сорбции урана скорлупой урюка / Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 50. - № 6. – С. 532-535.
- 4-А. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из шахтных и технических вод отходов урановой промышленности / Х.М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 50. - № 8. – С. 703-706.
- 5-А. **Баротов, Б.Б.** Скорлупа урюка как индикатор урана / И.У. Мирсаидов, О.В. Бобошина, Н. Хакимов, **Б.Б. Баротов** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 51. - № 12. – С. 824-825.
- 6-А. **Баротов, Б.Б.** Осаждение диураната аммония из десорбата / Х.М. Назаров, Н. Хакимов, **Б.Б. Баротов** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. - Т. 54. - № 8. - С. 657-660.
- 7-А. **Баротов, Б.Б.** возможностях извлечения урана из рапы озера Сасык-куль Таджикистана / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, У. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. –Т.54. -№9. –С. 769-773.
- 8-А. **Баротов, Б.Б.** Поиск и возможности переработки отходов урановой промышленности / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54. - № 10. – С. 837-839.
- 9-А. **Баротов, Б.Б.** Перспективы переработки ураносодержащих отходов горной промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, У. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. – 2013. - Т. 56. - № 3. – С. 222-227.
- 10-А. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические и технологические основы переработки ураносодержащих отходов / Ф.А. Хамидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. – 2016. - № 3. – С. 84-89.
- 11-А. **Баротов, Б.Б.** Возможности переработки ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, **Б.Б. Баротов** [и др.] / Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 3-4. - С. 168-172.
- 12-А. **Баротов, Б.Б.** Сернокислотная добыча урана из рудного месторождения «Центральный Таджикистан» / С. К. Ходжиев, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, М. Д. Бобоеров, У. М. Мирсаидов / Известия АН РТ. – 2017. - Т. 60. - № 4. - С. 71-75.
- 13-А. **Barotov, V.V.** Phisico-Chemical basics of processing of uranium-containing ores of the «Western Tajikistan» deposit / I. U. Mirsaidov, **V.V. Barotov**, M. D. Boboyorov, U. M. Mirsaidov / Applied Solid State Chemistry. – 2019. - № 1. – P. 53-56.
- 14-А. **Баротов, Б.Б.** Термодинамический анализ протекающих процессов при сернокислотном выщелачивании руд месторождений «Западный Таджикистан» и «Центральный Таджикистан» / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, Ш. Р. Муродов, У.М. Мирсаидов / Известия НАН Таджикистана. - 2020. - № 1 (178). - С. 84-88.
- 15-А. **Баротов, Б.Б.** Выделение урановых концентратов из рассо-лов, дренажных и технических вод / У. М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, К. О. Бобоев, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов), Дж.Н. Эшов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2021. - Т. 64. - № 3-4. – С. 219-223.

- 16-А. **Баротов, Б.Б.** 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 АН Республики Таджикистан. – 2021. - Т. 64. - № 1-2. – С. 92-96.
- 17-А. **Баротов, Б.Б.** Оценка возможности переработки урановых от-ходов хвостохранилища Адрасман / Х.М. Назаров, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов), **Б.Б. Баротов**, К.О. Бобоев, У. М. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. - 2020. - № 2 (182). - С. 84-89.
- 18-А. **Баротов, Б.Б.** Дифференциально-термический анализ урановых руд Таджикистана / М.Д. Бобоёров, К.О. Бобоев, **Б.Б. Баротов** [и др.] / Доклады НАН Таджикистана. - 2022. - Т. 65. - № 9-10. - С. 643-646.
- 19-А. **Баротов, Б.Б.** Характерные особенности урановых руд ме-сторождений Таджикистана / М.Д. Бобоёров, К.О. Бобоев, **Б.Б. Баротов** [и др. / Известия НАН Таджикистана. - 2022. - № 4 (189). - С. 90-96.
- 20-А. **Баротов, Б.Б.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд серной кислотой / К. О. Бобоев, М. Д. Бобоёров, Дж.Н. Эшов, **Б.Б. Баротов**, У.М. Мирсаидов / Известия НАН Таджикистана. - 2022. - № 1 (186). - С. 88-92.
- 21-А. **Баротов, Б.Б.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд месторождения «Танзим» / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, Ф.А. Хамидов, Ш. Р. Муродов, У. М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. - 2022. - Т. 65. - № 9-10. - С. 653-657.
- 22-А. **Баротов, Б.Б.** Особенности анализа урана в урансодержащих рудах и отходах / К. О. Бобоев, М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаид-зода // Доклады НАН Таджикистана. – 2022. – Т. 66. - № 3-4. – С. 218-222.
- 23-А. **Баротов, Б.Б.** Таҳлили термодинамикии равандҳои хими-явӣ ҳангоми таҷзияи кислотагии маъдани урандори кони «Помири Шарқӣ» / А. Ш. Насруллоев, С.С. Рахматшоев, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. – 2024. - № 2/3 (126). - С. 70-73.
- 24-А. **Баротов, Б.Б.** Исследование радиологической ситуации уранового хвостохранилища Дегмай, Республики Таджикистан / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, Ф.А. Хамидов, М.А. Зоитова, В.А. Умаров / Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. – 2024. - № 2/3 (126). - С. 43-47.
- 25-А. **Баротов, Б.Б.** Радиологической мониторинг хвостохрани-лища Дегмай, Республики Таджикистан с определением мощности амбиент-ного эквивалента дозы и тяжёлых металлов в почве и воде / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, М.А. Зоитова, Ш.Б. Каримова / Вестник Бо-хтарского государственного университета имени Носира Хусрава. – 2024. - № 2/3 (126). - С. 48-53.
- 26-А. **Баротов, Б.Б.** Исследование радиологической ситуации ура-новых отходов г. Истиклол, Республики Таджикистан / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, Ф.З. Шафиев, Ф. С. Мухиддинова, В. Я. Саидов / Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. – 2024. - № 2/3 (126). - С. 6-13.
- 27-А. **Баротов, Б.Б.** Получение уранового концентрата из отхо-дов «Фабрики бедных руд» г. Истиклола / С.С. Рахматшоев, **Б.Б. Баротов**, Х.М. Назаров, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов), А. С. Курбонов, Т. Г. Хайров / Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. - 2024. - № 2/3 (126). - С. 63-66.
- 28-А. **Баротов, Б.Б.** Характерные особенности урансодержащих руд месторождения «Восточный Памир» / А.Ш. Насруллоев, С.С. Рах-матшоев, Дж.Н. Эшов, **Б.Б. Баротов**, М.Д. Бобоёров, У.М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. - 2024. - Т.12. - № 3-4. - С. 34-35.

- 29-А. **Баротов, Б.Б.** Радиологический мониторинг на некоторых исторических и туристических объектах Таджикистана / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, Ш.Р. Муродов, Ф. Мухиддинова, У.М. Мирсаидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2024. – № 2 (195). – С. 93-99.
- 30-А. **Баротов, Б.Б.** Кинетика процесса выщелачивания урано-держущих руд месторождения «Восточный Памир» / А.Ш. Шарифзода (А.Ш. Насруллоев), С. С. Рахматшоев, М.Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, У. М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. - 2025. - Т. 65. - № 9-10. - С. 653-657.
- публикации в материалах научных конференций и патенты на изобретение:*
- 31-А. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из природных ураносодержащих руд месторождений Северного Таджикистана / Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // Материалы VI Нумановских чтений. – Душанбе, 2009. - С. 228-231.
- 32-А. **Баротов, Б.Б.** Uranium extraction from natural uranic ores deposits of Northern Tajikistan / Х.М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // VII Международная конференция «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2009. - С. 235.
- 33-А. **Баротов, Б.Б.** Карбонатное выщелачивание урановых руд месторождения «Танзим» / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов, М. З. Ахмедов // Материалы семинаров «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». – Душанбе, 2011. - С. 27-29.
- 34-А. **Баротов, Б.Б.** О возможности переработки отходов урановой промышленности Таджикистана / Н. Хакимов, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов, А. М. Баротов, М. З. Ахмедов // Международный семинар «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». - Душанбе, 2012. - С. 43-47.
- 35-А. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых материалов Таджикистана / Б.Б. Баротов, К. А. Эрматов // Республиканская конференция по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических, химических и медицинских объектов. - Душанбе, Таджикистан, 2014. - С. 93-94.
- 36-А. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы выделения урановых концентратов из отходов урановой промышленности / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, Ж. А. Мисратов // Международная научно-практическая конференция, посвящённая 1150-летию учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази. – Душанбе, 2015. - С. 16-17.
- 37-А. **Баротов, Б.Б.** Контроль радиационной обстановки окружающей среды Таджикистана автоматизированными системами / О.А. Азизов, Дж.К. Камолзода (Дж. Камалов), **Б.Б. Баротов** // Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования ядерной технологии и проблемы радиационной безопасности в государствах Центральной Азии. - С. 136-142.
- 38-А. **Баротов, Б.Б.** Извлечение уранового концентрата из различных сырьевых ресурсов Таджикистана / И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Н. Рахматов, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов // Международная научная конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», посвящённая 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. - С. 84-87.
- 39-А. **Баротов, Б.Б.** Кинетика процесса разложения урановых руд месторождения «Западный Таджикистан» / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов, С. М. Бахронов, Ш. Р. Муродов // XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». - Душанбе, 2019. - С. 165-167.
- 40-А. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы переработки ураносодержащих руд Таджикистана / И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, М. Д. Бобоёров, С. К. Ходжиев, У. М. Мирсаидов // XV Нумановские чтения «Современное состояние

- химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». - Душанбе, 2019. - С. 155-156.
- 41-А. **Баротов, Б.Б.** 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 Республики Таджикистан», посвящённая 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика АН РТ И. У. Нуманова. - Душанбе, 2020. - С. 91-94.
- 42-А. **Баротов, Б.Б.** Технологические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, М. Д. Бобоёров, К. О. Бобоев, У. М. Мирсаидов // Республиканская научно-практическая конференция «Инновационное развитие науки» с участием международных организации. – Душанбе, 2020. - С. 101-102.
- 43-А. **Баротов, Б.Б.** 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 // XXI Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2021 года: Экологические проблемы XXI века». - Минск, Беларусь, 2021. – С. 279-282. <https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-279-282>.
- 44-А. **Баротов, Б.Б.** Выделение редкоземельных металлов из отходов урановой промышленности Таджикистана / Д.Т. Исозода, Ф.А. Назаров, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы». – Душанбе, 2023. - С. 48-52.
- 45-А. **Баротов, Б.Б.** Нормативно-правовые сопровождения надзора за проведением реабилитационных работ загрязнённых территорий от добычи урана в Республики Таджикистан / У. М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов, И. Мирсаидзода // XXIII Международная конференция «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века». – Минск, 2023. – Ч. 2. - С. 151-153
- 46-А. **Баротов, Б.Б.** Сравнительная оценка сорбционных свойств сорбентов на основе местных сырьевых материалов Таджикистана / А. Ш. Насруллоев, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода, М. Д. Бобоёров // Маҷмуаи мақолаҳои Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Нақши химия ва саноати химиявӣ дар саноатикунони босуръати кишвар” бахшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми миллӣ – саноатикунони босуръати кишвар ва Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф”. - Душанбе, 2024. - С. 141-143.
- 47-А. **Баротов, Б.Б.** Экологическое воздействие урановых отходов на окружающую среду Таджикистана / У. М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода, Ф. А. Хамидов // Маҷмуаи мақолаҳои Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Саноатикунони рақамӣ ва рушди энергетикӣ аз нигоҳи олимону муҳақиқон”. – Бохтар, 2024. - С. 150-155.
- 48-А. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы переработки урано-держащих руд Таджикистана / К.О. Бобоев, М. М. Шокиров, А.Ш. Насруллоев, **Б.Б. Баротов** // Маҷмуаи мақолаҳои конференсияи илмӣ-амалии олимонӣ ҷавон «Илм аз дидгоҳи олимони ҷавон» бахшида ба эълон гардидани соли 2024 “Соли маърифати ҳуқуқӣ”. - Душанбе, 2024. - С. 386-389.
- 49-А. **Баротов, Б.Б.** Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными установками / У. М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода, Ф. А. Хамидов // X Международная конференция «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века». – Минск, Республика Беларусь, 2024. - С. 26-32.
- 50-А. **Баротов, Б.Б.** Радиоэкологические проблемы Дигмайского хвостохранилища Таджикистана / Х.М. Назаров, Х. И. Тиллобоев, Б. Д. Бобоев, М. З. Ахмедов,

- Б.Б. Баротов** // Международная научно-практическая конференция «Цифровая индустрия и энергетическое развитие глазами учёных и исследователей». – Бохтар, ГОУ Институт энергетики Таджикистана, 2024. – С. 172.
- 51-А. **Баротов, Б.Б.** Получение уранового концентрата из отходов урановых хвостохранилищ г. Истиклола / М. М. Исмадинов, Х. М. Назаров, А. Ш. Насруллоев, Ф.З. Шафиев, **Б.Б. Баротов** // III Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие науки» (ИРН -2024).
- 52-А. **Баротов, Б.Б.** Гидрогеологические особенности загрязнения водной среды на основе системы мониторинга / Х. И. Тиллобоев, Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, М. З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов** // Международная научно-практическая конференция «Современное состояние обеспечения качества и экологической безопасности продовольственных продуктов в Центральной Азии». – Худжанд, Политехнический институт, Таджикский технический университет им. М. С. Осими, 2024. – С. 192-195.
- 53-А. **Баротов, Б.Б.** Выделение урана из ураносодержащих вод Таджикистана / Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров, Ш.Н. Ишратов, С.С. Рахматуллоев // Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования ядерной технологии и проблемы радиационной безопасности в государствах Центральной Азии». – Душанбе, 2025. - С. 62-64.
- 54-А. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из отходов урановой промышленности Таджикистана / Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, М.А. Зоитова, У.М. Мирсаидов // Там же. - С. 65-70.
- 55-А. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из ураносодержащих руд Таджикистана / Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров, М. Шодмонова, А.Ш. Шарифзода // Там же. - С. 70-73.
- патенты Республики Таджикистан:**
- 56-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 108. Способ переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**. – Выдан 04.05.2007.
- 57-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 109. Способ извлечения урана из шахтных вод / Н. Хакимов, И. У. Мирсаидов, О. В. Бобошина, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**. – Выдан 07.05.2007.
- 58-А. **Баротов, Б.Б.** Авторское свидетельство Республики Таджикистан ТЖ № 0184. Природный сорбент и индикатор для урана / Н. Хакимов, И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**. – Выдано 11.09.2009.
- 59-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 927. Способ выщелачивания урановых руд / У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, С. К. Ходжиев, М. К. Ходжиён, **Б.Б. Баротов**. – Выдан 27.08.2018.
- 60-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 1044. Способ извлечения урана из шахтных вод / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов [и др.]. - Выдан 05.07.2019.
- 61-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 1277. Как контролировать уровни радиации в урановых хвостохранилищах / С. М. Бахронов, Е. Ю. Малышева, М. З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов**, С. В. Муминов, У. Мирсаидов. – Выдан 21.01.2022.
- 62-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 1223. Способ извлечения урана из шахтных вод / И. Мирсаидзода, Дж. Х. Халиков, Д. С. Мухиддинов, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, М. Д. Бобоёров, К. О. Бобоев. - Выдан 21.10.2020.
- 63-А. **Баротов, Б.Б.** Малый патент Республики Таджикистан ТЖ № 1384. Способ извлечение редкоземельных металлов из отходов урановой промышленности / И. Мирсаидзода, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Назаров [и др.]. - Выдан 05.05.2023.

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК: 661.17 (575.3)
ББК: 24.12 (2 тоҷик)
Б 24



БАРОТОВ БАХТИЁР БУРХОНОВИЧ

**АСОСҲОИ ТЕХНОЛОГИИ КОРКАРДИ МАВОДҲОИ УРАНДОР АЗ АШӢИ ХОМИ
МАҲАЛЛИИ ТОҶИКИСТОН**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи доктори илмҳои
техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.17.00 – Технологияи химиявӣ (05.17.01 – Технологияи
моддаҳои ғайриорганикӣ)

Диссертатсия дар пояи “Озмоишгоҳи хизматрасонии техникӣ”-и шуъбаи илмӣ-тадқиқотии Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро шудааст

Мушовири илмӣ: **Мирсаидзода Илҳом,**
доктори илмҳои техникӣ, профессор,
директори Агентии амнияти химиявӣ,
биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Муқарризи расмӣ: **Мирзозода Баходур**
доктори илмҳои техникӣ, ходими калони
илмии Шуъбаи илм ва инноватсияи
Филиали ДДМ ба номи М.В.Ламоносов
дар ш.Душанбе, Тоҷикистон,

Шарифов Абдумумин
доктори илмҳои техникӣ, профессор,
мудири шуъбаи энергетикаи гидрогении
Институту химияи ба номи В.И.Никитини
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,

Гайбуллаева Зумрат Хабибовна
доктори илмҳои техникӣ, профессор
мудири кафедраи Технологияи равандҳои
истехсолии Филиали Донишгоҳи
техникии Тоҷикистон ба номи акад.
М.Осимӣ дар ҶСК “АЗОТ”

Муассисаи пешбар: Донишгари кӯҳӣ-металлургии
Тоҷикистон, ш.Бӯстон, Тоҷикистон

Ҳимоя «19» январи соли 2026, соати 09:00 дар маҷлиси Шӯрои диссертатсионии муштарак 6Д.КOA-042 дар заминаи Институту химияи ба номи В.И.Никитини АМИ Тоҷикистон ва Агентии бехатарии кимиёвӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИ Тоҷикистон дар суроғи: 734063, ш. Айнӣ 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, +992934366463

Бо диссертатсия дар китобхонаи илмӣ ва дар сайти Институту химияи ба номи В.И. Никитина АМИТ шинос шудан мумкин аст. www.chemistry.tj.

Реферат фиростода шуд " ____ " _____ 2025

Котиби илмии
шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ

Ҳамидов Ф.А.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзӯи таҳқиқот. Рушди саноати истихроҷи уран дар Тоҷикистон таърихи хоси худро дорад. Дар давраи шӯравӣ коркарди маъданҳои уран дар Тоҷикистон яке аз соҳаҳои пешбари саноат ба ҳисоб мерафт. Аз соли 1945 саноати уран бо суръати баланд рушд ёфт ва мошинсозӣ дар таъмин намудани энергетикаи атомӣ бо концентратҳо дар шакли «нони зард» нақши калидӣ бозид.

Тавре маълум аст, раванди истихроҷ ва коркарди маъданҳои уран дар таъмини кори устувори энергетикаи ҳастай нақши муҳим мебозад.

Дар Тоҷикистон фаъолияти вобаста ба истихроҷи уран тавассути заводи гидрометаллургии (ГМЗ) амалӣ мегардад, ки дар сохтори корхонаи воҳиди давлатии «Металлҳои нодирҳои Тоҷикистон» фаъолият мекунад. Рушди босуръати энергетикаи ҳастай талаб менамояд, ки ҳамарӯза сарчашмаҳои то ҳол таҳқиқнашудаи маъданҳои урандор муайян карда шаванд, инчунин технологияҳои коркарди онҳо такмил дода шуда, усулҳои пешрафтаи ғанисозӣ, аз ҷумла коркарди маъданҳои каммаҳсул ва партовҳои саноати уран ҷорӣ карда шаванд. Ҷузъи муҳими ин равандҳои технологӣ интихоби сорбентҳои баландсамар барои уран, инчунин коркарди дуҷумлаи партовҳои уран мебошад. Ғайр аз ин, поксозии обҳои дорои уран бо истифода аз сорбентҳои гуногуни маҳаллӣ низ тавачҷуҳи ҷиддӣ ба худ ҷалб мекунад.

Масъалаи ҳавзҳои захираи партов (хвостохранилище) ҳанӯз пурра омӯхта нашудааст. Аз ин рӯ, таҳияи усулҳои омӯзиши онҳо аҳамияти илмӣ калон дорад, инчунин яке аз вазифаҳои умедбахш коркарди маъданҳои урандори конҳои шимол, марказ ва ғарби Тоҷикистон ва ҳамчунин Шимоли Тоҷикистон мебошад, ки то имрӯз қариб омӯхта нашудаанд.

Таҳлили самаранокии иқтисодӣ ва имконияти коркарди маъданҳои урандор аз конҳои нав ба таҳқиқоти амиқ ниёз дорад. Истихроҷи самараноки уран бояд бо фароҳам овардани шароити бозғатимод ва бехатарии истифодабарии канданиҳои фойданок ҳамроҳ бошад, ки ин махсусан барои коҳиш додани таъсири эҳтимолии онҳо ба муҳити зист ва пешгирии мушкilotи техникӣ аҳамияти калон дорад.

Самти муҳими пажӯҳишҳои илмӣ ҷорӣ намудани технологияҳои гуногуни истихроҷи уран ҳам аз ашёи маъданӣ ва ҳам аз партовҳои техногенӣ мебошад, аз ҷумла бо истифодаи сорбентҳои маҳаллӣ, ки дорои интихобнокии баланд мебошанд. Ин технологияҳо имкон медиҳанд, ки самаранокии коркарди ашёи хом баланд ва таъсири манфӣ ба муҳити зист кам карда шавад.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ бо ҳаҷми корҳои тадқиқотие, ки аз ҷониби Агентии бехатарии химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ҳастаии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон анҷом дода мешаванд, муайян мегардад. Дар маркази тавачҷуҳи омӯзиши асосҳои физикӣ ва химиявии коркарди маъданҳои уран, ки дар конҳои маҳаллӣ истихроҷ мегарданд, қарор дорад. Илова бар ин, ба таҳияи стратегияҳои муассир оид ба коркард ва безаргардонии партовҳои саноати уран, аз ҷумла таҳшинҳои супесӣ ва моеъҳои истеҳсолӣ (обҳои зеризаминӣ ва дренажӣ) тавачҷуҳи махсус зоҳир мегардад. Ба қатори вазифаҳои авлавиатнок истихроҷи концентрати триоксиди уран (U_3O_8), ки арзиши баланд дорад, дохил мешавад.

Дар айни замон корҳои фаъол оид ба офаридан ва такмил додани технологияҳои истихроҷи уран идома доранд, ки миёни онҳо усулҳои асосёфта ба истифодаи кислотаи сулфат ва реагентҳои ишқорӣ иқтидори баланд нишон медиҳанд. Усули кислотаи сулфат самаранокии баланд дорад ҳангоми коркарди конҳои «Шимоли Тоҷикистон», «Марказии Тоҷикистон», «Ғарби Тоҷикистон», «Шимоли Тоҷикистон – 2» ва «Помири Шарқӣ», инчунин имконият медиҳад, ки механизмҳои вайроншавии кислотаи сангҳо омӯхта шаванд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ. Ин таҳқиқоти диссертсионӣ дар доираи барномаҳои илмӣ Агентии бехатарии химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ҳастаии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон оид ба мавзӯҳои «Асосҳои физикӣ-химиявии ҷудо кардани концентратҳои уран аз маъдан ва партовҳо» (солҳои 2020–2024, ГР №0120 ТҶ01030), «Асосҳои физикӣ-химиявии истихроҷи уран аз

маъдан ва обҳои шахтӣ ва техникий дорой уран» (солҳои 2015–2019, ГР №0115 ТЈ00470) ва «Таҳқиқи асосҳои технологӣ оид ба коркарди маъдан ва партовҳои дорой уран» (солҳои 2010–2014, ГР №102ТД843) анҷом дода шудааст. Илова бар ин, ин таҳқиқот «Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаҳои илм, технология ва инноватсия то соли 2030»-ро фаро мегирад, ки дар он самтҳои авлавиятноки таҳқиқоти илмӣ ва илмӣ-техникӣ, яъне ҷустуҷӯ ва истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ, муайян шудаанд.

ТАВСИФНОМАИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Коркард намудани асосҳои физикӣ-химиявии коркарди маъданҳои дорой уран, ки барои конҳои «Шимоли Тоҷикистон», «Марказии Тоҷикистон», «Ғарби Тоҷикистон», «Шимоли Тоҷикистон – 2», «Помири Шарқӣ» хос мебошанд, инчунин партовҳои, ки дар ҳавзҳои захираи партовҳои Адрасмон ва шаҳри Бӯстон ҷамъ шудаанд.

Вазифаҳои асосии таҳқиқот иборатанд аз:

- омӯзиши механизмҳои вайроншавии ашёи хоми дорой уран бо истифода аз моддаҳои кислотаи ва ишқорӣ, ки ба истихроҷи самараноки ҷузъҳои фойданок равона шудаанд;

- муайян кардан ва баҳо додани миқдорӣ ба параметрҳои асосии энергетикӣ ва кинетикӣ, ки суръат ва дараҷаи анҷомёбии равандҳои химиявиро дар ҷараёни коркарди ашёи хоми дорой уран муайян мекунанд;

- таҳия ва такмил додани схемаҳои технологӣ барои коркард, ки ба хусусиятҳои геологӣ-минералогии конҳои уран дар Тоҷикистон мутобиқ карда шуда, безаргардонии экологӣ-беҳатари партовҳои истеҳсолиро таъмин менамоянд;

- омӯзиши равандҳои истихроҷи концентратҳои уран аз муҳитҳои гуногуни обӣ, аз ҷумла обҳои дренажӣ, маҳлулҳои технологӣ ва моеъҳои истеҳсолӣ, ки дорой уран мебошанд.

Объекти таҳқиқот маъданҳои уран мебошанд, ки аз конҳои зикршуда истихроҷ мегарданд, инчунин партовҳои техногенӣ, ки дар ҳавзҳои захираи партовҳои Адрасмон ва Бӯстон ҷамъ мешаванд. Ин объектҳо таҳлили амиқи таркиби химиявӣ-минералогӣ ва омӯзиши муфассали ҷузъҳои аввалия, марҳилаҳои миёнаи коркард ва маҳсулоти ниҳой — концентрати триоксиди уран (U_3O_8)-ро талаб мекунанд.

Мавзӯи таҳқиқоти илмӣ баррасии қонуниятҳои физикӣ-химиявӣ ва ҷиҳатҳои технологиро оид ба истихроҷи концентрати уран аз манбаъҳои гуногун — маъданҳои табиӣ, боқимондаҳои истеҳсолӣ, маҳлулҳои технологӣ, инчунин оби шӯр (рассол) аз кӯли Сасиккӯл дар бар мегирад.

Навгонии илмӣ таҳқиқот:

Навгонии илмӣ ин таҳқиқот дар:

- асосноккунии таҷрибавии имконияти истихроҷи уран аз маъданҳои дорой урани конҳои «Шимоли Тоҷикистон», «Марказии Тоҷикистон», «Ғарби Тоҷикистон», «Шимоли Тоҷикистон – 2», «Помири Шарқӣ»;

- асосноккунии таҷрибавии имконияти истихроҷи уран аз партовҳои ҳавзҳои захираи Адрасмон ва шаҳри Бӯстон бо истифодаи усулҳои вайронкунии кислотаи сульфат ва ишқорӣ;

- дар нишон додани механизми вайроншавии кислотагии маъданҳои уран, ки барои минтақа хосанд ва муайян намудани нақши калидии моддаҳои оксидкунанда дар ҷараёни маҳлулкунӣ ифода меёбад.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ-амалии таҳқиқот дар оптимизатсияи параметрҳои таҷзияи маъданҳои уранӣ ва партовҳои дар маҳфузгоҳҳо мавҷудбуда мебошад, ки ба самаранокии баланди коркарди онҳо мусоидат мекунанд. Арзёбии термодинамикии таҷзияи кислотаи сульфатии ашёи хоми уран гузаронида шуда, ҳамчунин механизмҳои ҷудо кардани уран аз обҳои техникӣ, ҷохӣ ва захбурӣ (дренажӣ) дар шакли U_3O_8 омӯхта шудаанд. Дар доираи кор усулҳои методологӣ барои ҳалли мушкилоти радиоэкологии ба саноати истихроҷ ва коркарди уран вобаста буда, таҳия шудаанд.

Аҳамияти амалии таҳқиқоти мазкур дар таҳияи схемаҳои калидии оптималии

технологӣ ифода меёбад, ки ба гирифтани концентратҳои уран, мутобиқ барои қорӣ намудан дар корхонаҳои гидрометаллургӣ ва баланд бардоштани самаранокии истихроҷи уран аз маводҳои гуногуни дорои уран равона шудаанд.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

– натиҷаҳои таҳлили минералогӣ ва химиявии захираҳои урани конҳои «Шимоли Тоҷикистон», «Марказии Тоҷикистон», «Ғарби Тоҷикистон», «Шимоли Тоҷикистон – 2» ва «Помири Шарқӣ», инчунин ҳосиятҳои физикӣ-химиявии онҳо, ки бо истифода аз таҳлили рентгенофазавӣ, таҳлили гармии дифференсиалӣ, спектрометрияи альфа ва гамма муайян шудаанд;

– хусусиятҳои химиявӣ-минералогии партовҳои дорои уран, ки дар ҳавзҳои захираи партовҳои Тоҷикистон ҷамъ шудаанд;

– натиҷаҳои тадқиқоти равандҳои вайронкунии маъданҳои урани конҳои «Шимоли Тоҷикистон», «Марказии Тоҷикистон», «Ғарби Тоҷикистон», «Шимоли Тоҷикистон – 2» ва «Помири Шарқӣ», инчунин партовҳои ҳавзҳои захираи Адрасмон ва шаҳри Бӯстон бо муайян кардани параметрҳои оптималии иҷрои ин равандҳо;

– маълумот оид ба омӯзиши равандҳои маҳлулкунии маъданҳои уран бо ворид намудани моддаҳои оксидкунанда, инчунин таҳлили вобастагии самаранокии истихроҷи уран аз сатҳи рН маҳлул дар ҳузури моддаҳои оксидкунанда;

– параметрҳои энергетикӣ ва кинетикӣ вайронкунии маъданҳо ва партовҳои дорои уран дар шароити таъсири кислотаи сулфат;

– схемаҳои технологӣ, ки барои коркарди ашёи хоми уран, ки дар конҳои «Шимоли Тоҷикистон», «Марказии Тоҷикистон», «Ғарби Тоҷикистон», «Шимоли Тоҷикистон – 2» ва «Помири Шарқӣ» истихроҷ мегардад, инчунин партовҳои ҳавзҳои захираи Адрасмон ва шаҳри Бӯстон таҳия ва тақвими дода шудаанд;

– усулҳои муассири истихроҷи уран аз обҳои техникаю шахтӣ, ҳамзамон бо таҳияи роҳҳои ҳалли мушкилоти экологӣ, ки бо саноати истихроҷи уран вобастаанд.

• **Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо** ба маълумотҳои асосӣ меёбад, ки бо истифода аз таҷҳизоти таҳлилии сертификатсияшуда ва аккредитатсияшуда, ки ба талаботи муносири амалияи лабораторӣ мувофиқат мекунанд, ба даст оварда шудаанд. Истифодаи маҷмӯи усулҳои муносири таҳлили физикӣ-химиявӣ, аз қабилӣ таҳлили спектралӣ, спектрометрияи альфа ва гамма, таҳлили гармии дифференсиалӣ (ДТА) ва таҳлили рентгенофазавӣ (РФА) дақиқӣ, боэътимодӣ ва такроршавии баланди маълумоти таҷрибавиро таъмин намуд. Асоси назариявӣ тадқиқот ба қонунҳои асосии химияи физикӣ ва технологияи коркарди ашёи хоми ғайриорганикӣ таъяс мекунад, ки боис ба асосноккунии илмӣ, мутобиқати мантиқӣ ва яклухтии корҳои анҷомдодашуда мегардад.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ:

Соҳаи тадқиқот ба паспорти ихтисоси 05.17.00 – Технологияи химиявӣ (05.17.01 – Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ) мувофиқ буда, самтҳои зеринро дар бар мегирад:

п.1. Равандҳои истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ: намакҳо, туршҳо ва ишқорҳо, нуриҳои минералӣ, изотопҳо ва маҳсулоти ғайриорганикӣ тозашудаи баланд, катализаторҳо, сорбентҳо ва доруҳои ғайриорганикӣ. (Дар ин самт усулҳои сорбсионии ҷудо намудани уран таҳқиқ шудаанд. Усулҳои сорбсия дар асоси қатраҳои ионообменӣ, ангишт ва сорбентҳои табиӣ мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд. Самаранокии ангиштҳои гармокоркардашудаи конҳои Фон-Яғноб ва микрогелҳо дар асоси полисахаридҳои пектинӣ омӯхта шудааст.)

п.2. Равандҳои технологӣ (химиявӣ, физикӣ ва механикӣ), ки ба тағйири таркиб, ҳолат, ҳосият ва шакли ашёи хом ё мавод дар истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ марбутанд. (Дар ин самт схемаҳои технологияи коркарди маъданҳои уран таҳия шудаанд, ки аз конҳои "Танзим", "Помири Шарқӣ", "Тоҷикистони Марказӣ", "Тоҷикистони Ғарбӣ" ва "Тоҷикистони Шимолӣ-2" истихроҷ мегарданд.)

п.4. Усулҳо ва воситаҳои таҳия, ҳисобҳои технологӣ, тарҳрезӣ, идоракунии равандҳои технологӣ ва сифати маҳсулот дар робита ба равандҳои истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ. (*Кинетикаи шустани уран дар шароити ҳароратии гуногун (293, 313, 333 К) ва фосилаҳои замони (1–10 соат) муайян карда шудааст. Қимматҳои энергияи активатсионии равандҳо ҳисоб гардидаанд, ки имкон медиҳанд механизмҳои реаксия муайян ва параметрҳои аз лиҳози технологӣ рационалӣ барои ҳадди аксар ҷудо намудани уран интиҳоб карда шаванд.*)

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот дар иштироки фаъоли ӯ дар ҳамаи марҳилаҳои иҷрои кори илмӣ ифода меёбад. Довталаб усулҳои методологиро, ки ба дастбӣ ба ҳадафҳо ва ҳалли масъалаҳои тадқиқотӣ равона шудаанд, шахсан таҳия ва амалигардонӣ намудааст. Муаллиф маҷмӯи пурраи тадқиқотҳои таҷрибавиро бо истифодаи усулҳои муосири таҳлиливу ҳисоббарорӣ гузаронида, натиҷаҳои боэътимод ба даст овардааст. Ӯ инчунин ҷамъоварӣ, системасозӣ, коркард ва тафсири ҳамаҷонибаи маълумоти таҷрибавӣ ва ҳисобиро анҷом дода, таҳлили муқоисавӣ ва умумисозии онҳоро ба иҷро расондааст. Натиҷаҳои илмӣ ба дастмада дар нашрияҳои илмӣ баррасишудаи рецензентӣ инъикос ёфта, мавқеъҳои асосӣ ва хулосаҳои диссертатсия бар асоси корҳои тадқиқотии шахсӣ ва маълумоти таҷрибавӣ баён шудаанд.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Мавқеъҳо ва натиҷаҳои асосии таҳқиқоти диссертатсионӣ дар доираи як қатор чорабиниҳои илмӣ сатҳҳои гуногун пешниҳод ва баррасӣ гардида, мавриди апробатсия қарор гирифта, баҳои мутахассисонаи ҷомеаи илмӣ-касбӣ ба даст оварда шудаанд. Ин имконият фароҳам овард, ки натиҷаҳо дар муҳити касбӣ санҷида ва пазируфта шаванд. Натиҷаҳои тадқиқот дар чунин маҷлисҳои илмӣ пешниҳод гардидаанд: VI Хонишҳои Нуманов (Душанбе, 2009); VII Конфронси байналмилалӣ «Физикаи ҳастай ва радиатсионӣ» (Алмато, Қазоқистон, 2009); Семинарҳои «Соли 2011 – Соли байналмилалӣ химия» ва «Амнияти радиатсионии Тоҷикистон» (Душанбе, 2011); Семинари байналмилалӣ «Мероси урани Иттиҳоди Шӯравӣ дар Осиёи Марказӣ: мушкilot ва роҳҳои ҳалли он» (Душанбе, 2012); Конфронси ҷумҳуриявӣ оид ба усулҳои ядрой-физикии таҳлили таркиби объектҳои биологӣ, геологӣ, химиявӣ ва тиббӣ (Душанбе, 2014); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ, баҳшида ба 1150-солагии олим-энциклопедист, табиб, алхимик ва файласуф Абу Бакр Муҳаммад ибни Закариё ар-Разӣ (Душанбе, 2015); Конфронси илмӣ байналмилалӣ «Нақши олимони ҷавон дар рушди илм, инноватсия ва технологияҳо», баҳшида ба 25-солагии Истиқлолияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон (Душанбе, 2016); XV Хонишҳои Нуманов «Вазъи муосири илми химия ва истифодаи дастовардҳои он дар хоҷагии халқи Ҷумҳурии Тоҷикистон» (Душанбе, 2019); Конфронси илмӣ-назариявӣ ҷумҳуриявӣ «Асосҳои рушди илм ва дурнамои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон», баҳшида ба 60-солагии факултети химия ва хотираи академик И.У. Нуманов (Душанбе, 2020); Конфронси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Рушди инноватсионии илм» бо иштироки созмонҳои байналмилалӣ (Душанбе, 2020); XXI Конфронси байналмилалӣ илмӣ «Хонишҳои Сахаров – 2021: Мушкilotи экологӣ дар асри XXI» (Минск, Беларус, 2021); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ҳастай: дастовардҳо, мушкilot ва дурнамо» (Душанбе, 2023); XXIII Конфронси байналмилалӣ «Хонишҳои Сахаров – 2023: мушкilotи экологӣ дар асри XXI» (Минск, 2023); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Нақши химия ва саноати химиявӣ дар индустриализатсияи босуръати кишвар», баҳшида ба ҳадафи чорум – индустриализатсияи босуръати кишвар ва 20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва математикӣ (Душанбе, 2024); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Саноати рақамӣ ва рушди энергетика аз нигоҳи олимони ва муҳаққиқон» (Бохтар, 2024); X Конфронси байналмилалӣ «Энергетикаи атомӣ, технологияҳои ҳастай ва радиатсионии асри XXI» (Минск, Ҷумҳурии Беларус, 2024); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Саноати рақамӣ ва рушди энергетика аз нигоҳи олимони ва муҳаққиқон» (Бохтар, ДОТ Институти энергетикаи Тоҷикистон, 2024); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Вазъи

муосири таъмини сифат ва амнияти экологӣ дар маҳсулоти ғизоӣ дар Осӣи Марказӣ» (Хучанд, 2024); Конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Дурнамои истифодаи технологияҳои ҳастай ва мушкилоти амнияти радиатсионӣ дар кишварҳои Осӣи Марказӣ» (Душанбе, 2025).

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Дар асоси натиҷаҳои тадқиқот 63 асари илмӣ ба нашр расидааст, аз ҷумла: 2 монография, 30 мақола дар нашрияҳои илмӣ тақризшаванда, ки ба рӯйхати КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дохил мешаванд, 25 мақола дар маводи конфронсҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ илмӣ, инчунин 8 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои ихтироот ба даст оварда шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Кори диссертатсионӣ дар 395 саҳифа баён гардида, дорои 91 ҷадвал ва 129 тасвир мебошад. Сохтори тадқиқот иборат аст аз муқаддима, шаш боби асосӣ, хулосаҳои ниҳой, рӯйхати манбаъҳои истифодашуда, ки 301 номгӯй-ро дар бар мегирад.

ҚИСМАТИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар муқаддима ба таври муфассал асосноккунӣ аҳамияти илмӣ ва амалӣ пешниҳод шудааст. Дар он ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот муайян гардида, мавқеъҳои асосӣ, ки ба ҳимоя пешниҳод мешаванд, ифода ёфтаанд; навоварии илмӣ ва аҳамияти амалӣ нишон дода шудаанд. Ҳамчунин, хусусият ва сохтори умумии кори диссертатсионӣ тавсиф шуда, мазмуни мухтасар, маълумот дар бораи апробатсияи натиҷаҳо ва саҳми шахсии муаллиф дар ҳалли масъалаи илмӣ таҳқиқотӣ инъикос ёфтааст.

Дар боби якум баррасии адабиёт таҳти унвони «Асосҳои технологияи гирифтани уран аз маъданҳо ва дигар ашёи хом» пешниҳод шудааст. Дар он намудҳои асосии маъданҳои уран, таркиби химиявӣ ва усулҳои коркарди онҳо, аз ҷумла шустани кислотаӣ ва ишқорӣ, фторкунӣ мустақим ва усулҳои микробиологӣ шарҳ дода шудаанд. Бо тафсилоти бештар, намудҳои саноатӣ конҳои уран, хусусиятҳои морфологӣ онҳо ва имконияти татбиқи технологияи гуногуни коркард мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Ба равандҳои гидрометаллургӣ, аз қабili шустани кӯчагӣ ва зеризаминӣ, таваҷҷуҳи махсус дода шуда, истифодаи онҳо дар саноати уран ва таърихи рушди соҳаи уран дар Тоҷикистон нишон дода шудааст. Ҳамчунин, маълумот оид ба коркарди пасмондаҳои конҳои уран оварда шуда, имконияти истифодаи дуҷуми партовҳои истеҳсолоти уран ва пешниҳод гардидани схемаҳои технологӣ барои коркарди онҳо нишон дода мешавад. Вазъи кунунӣ энергетикаи ҳастаии ҷаҳонӣ, рушди технологияҳои реакторӣ ва вобастагии онҳо аз таъминот бо ашёи хоми уран низ баррасӣ гардидааст. Дар матн зарурати ба назар гирифтани паҳлӯҳои экологӣ ҳангоми истихроҷ ва коркарди уран таъкид гардида, муҳим будани оптимизатсияи равандҳои технологӣ бо мақсади кам кардани партовҳои радиоактивӣ зикр шудааст.

Аз миёни шумораи зиёди минералҳои уран танҳо як қисми хурд дорои арзиши саноатӣ мебошад. Классификатсияи маъданҳои уран вобаста ба таркиби элементҳои ҳамроҳ (уран-молибденӣ, уран-ванадий ва ғ.), таркиби химиявӣ (силикатӣ, сулфидӣ, карбонатӣ ва дигарон), концентратсияи уран (маъданҳои каммаҳсул – камтар аз 0,1%, маъданҳои оддӣ – 0,1–0,25%, маъданҳои миёна – 0,25–0,5%, маъданҳои бой – 0,5–1,0%, ва маъданҳои хеле бой – зиёда аз 1%).

Се усули асосии саноатӣ коркарди маъданҳои уран вучуд доранд, ки вобаста ба равиши технологӣ ва шароити татбиқ аз ҳам фарқ мекунанд: ишқоронии тӯдагӣ, коркарди гидрометаллургӣ, ишқоронии зеризаминӣ.

Коркарди гидрометаллургии маъданҳои уран аз якҷанд марҳилаи калидии технологӣ иборат мебошад: сараввал концентратҳо ба раванд омода карда мешаванд, ки дар он уран ба ҳолати ҳалшаванда гузаронида мешавад. Барои ин усулҳои гуногун, аз ҷумла коркарди гармӣ, пухтан ё ғудохтан бо реагентҳо истифода мешаванд. Пас аз он раванди ишқоронӣ гузаронида мешавад, ки дар он уран зери таъсири пайвастагиҳои химиявӣ ба маҳлул мегузарад. Сипас, ҷудокунии уран аз маҳлули ҳосилшуда бо

истифода аз усулҳои такшоншавӣ ё сорбсия ва тозакунии ниҳой гузаронида мешавад, (нигаред ба Расми 1).

Ишқоронии зеризаминии уран ин равандест, ки дар он пайвастагиҳои уран бо роҳи шустани онҳо аз чинсҳои кӯҳӣ тавассути маҳлулҳои махсус истихроҷ карда мешаванд. Барои ин мақсад асосан маҳлули кислотаи сулфат ва карбонатҳои ишқорӣ истифода мешаванд, ки тавассути пармаҳо ба қабатҳои маъдан ворид карда мешаванд. Афзалияти ин усул дар он аст, ки ба ҳаҷми бузурги корҳои кӯҳкорӣ ниёз надорад, сатҳи алоқаи коргарон бо чинсҳои кӯҳӣ кам карда мешавад ва барои маъданҳои камқимат ва чуқурзахира самаранок арзёбӣ мегардад.

Дар нимаи дуоми асри XX ҷумҳуриҳои Осиеи Марказӣ ба манбаъҳои асосии таъминкунандаи уран барои саноати ҳастаии ИҶШС табдил ёфтанд. Аввалин конҳои бузурги уран маҳз дар Тоҷикистон кашф гардида, сипас дар Қирғизистон ошкор шуданд. Истихроҷ бо ду роҳ — кушода ва кӯҳӣ (шахтӣ) ба роҳ монда шуд. Маҳдуд будани захираҳои урани табиӣ зарурати рушди босуръати саноати уранро дар Тоҷикистон ба миён овард. Сармоягузориҳои бузург ба сохтмони иншооти Комбинати № 6 равона гардиданд. То оғози фаъолияти ин комбинат дар ҳудуди ҶШС Тоҷикистон танҳо чор кон маълум буд — Адрасмон, Табашар, Майлису ва Уйгурсой, ки сатҳи омӯзиши геологии онҳо нокифоя арзёбӣ мешуд. Минбаъд як қатор конҳои нави маъданҳои уран кашф ва ба истихроҷ ҷалб гардиданд. Дар солҳои 80-уми асри XX Комбинати № 6, воқеъ дар шимоли Тоҷикистон, ба коркарди садҳо ҳазор тонна маъдани урани маҳаллӣ машғул гардид.

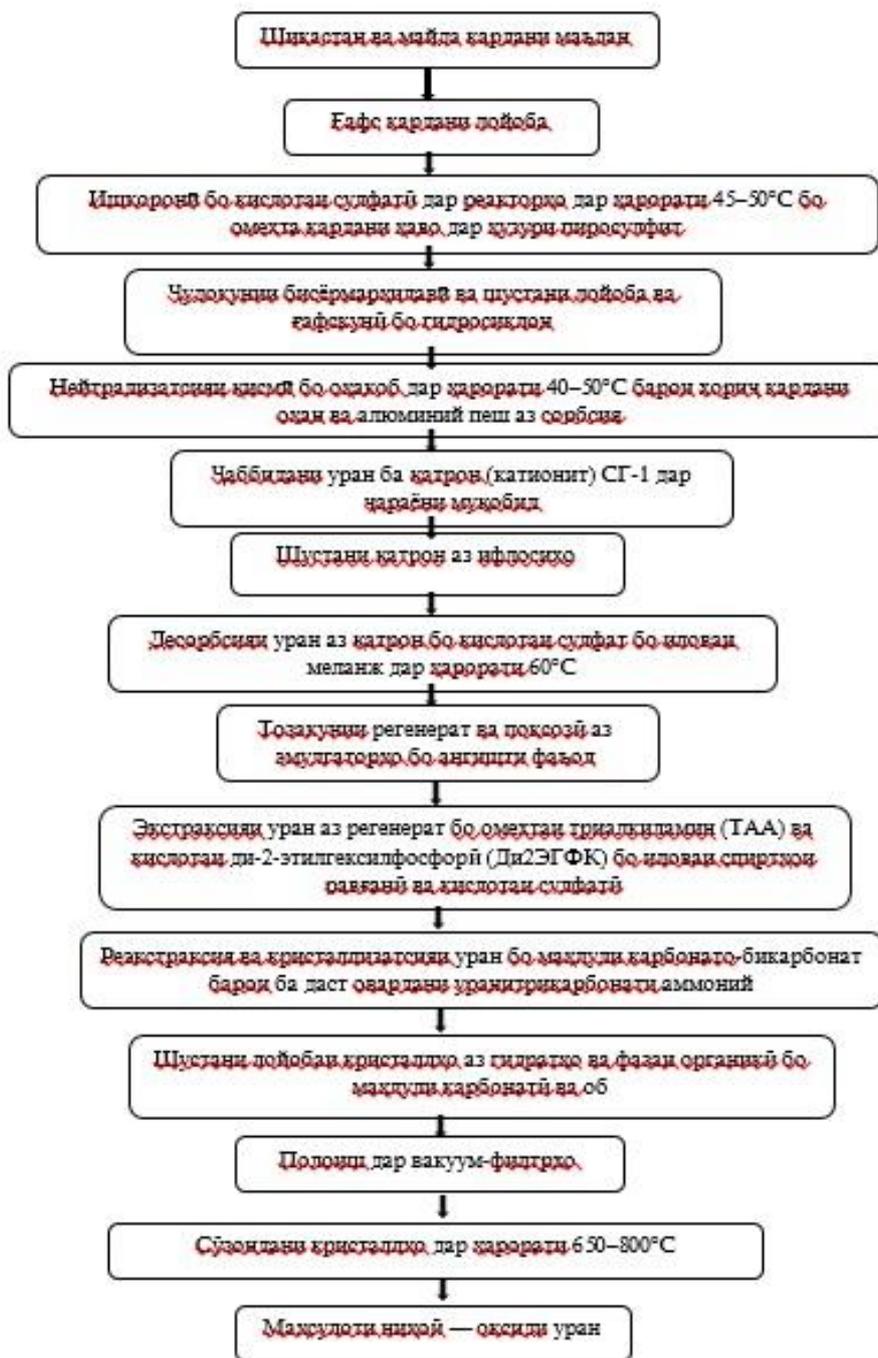
Рушди саноати ҳастаии ҷаҳонӣ мустақиман аз истихроҷи маъдани уран ва истеҳсоли маҳсулоти ниҳой — закис-окиси уран (UO_2) вобаста мебошад. Имрӯз тақрибан 500 блоки атомӣ дар 34 кишвари ҷаҳон фаъолият дошта, қариб 18% истеҳсоли ҷаҳонии нерӯи барқ-ро таъмин мекунанд. Ин нишондиҳанда аз соли 1986 то кунун қариб бетағйир мондааст, ки ин далели рушди устувори энергетикаи ҳастаӣ мувофиқи афзоиши ҷаҳонии талаботи энергетикӣ мебошад. Дар даҳсолаҳои охир афзоиши иқтисодии истеъмоли нерӯгоҳҳои атомӣ бештар бо баланд бардоштани самаранокии кории объектҳои мавҷуда таъмин гардид, на бо сохтмони корхонаҳои нав. Тибқи иттилои Ассотсиатсияи байналмилалӣ ҳастаӣ (WNA), айни замон дар ҷаҳон сохтмони тақрибан 30 блоки нави атомӣ идома дорад. Пешбинӣ мешавад, ки то соли 2030 иқтисоди умумии онҳо ба ҳудуди 570 ГВт расад.

Ҳангоми коркарди маъданҳои уран миқдори зиёди партовҳои радиоактивӣ ба вучуд меоянд. Дар таҳқиқоти олимони соҳа таърихи ташаккули хвостохранилишҳои уран дар Тоҷикистон, миқёси ифлосшавии радиоактивӣ, хусусиятҳо, вазъи кунунӣ ва дурнамои коркарди такрорӣ онҳо мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Ҳамзамон, ҷанбаҳои экологии таъсири хвостохранилишҳо ба муҳити зист таҳлил шудаанд. Муаллифон таркиби химиявӣ ва минералогии партовҳоро пешниҳод намуда, таҳқиқоти хок, об ва дигар минтақаҳои ифлосшударо ба анҷом расонидаанд. Дар асоси ин таҳқиқот асосҳои физикӣ-химиявӣ ва технологӣ барои ҷудо намудани концентратҳои уран аз партовҳои саноати уран таҳия карда шудаанд. Дар натиҷаи корҳои илмӣ як технологияи оптимизатсияшудаи схемавӣ барои коркарди ҷунин партовҳо пешниҳод гардид, ки он дар Расми 2 нишон дода шудааст.

Усули кӯҳӣ (шахтавӣ) низ паёмдари манфии экологӣ дорад. Дар натиҷаи тамос бо обҳои зеризаминӣ аз шахтаҳо ва штолнҳо (чоҳҳо) обҳои урандор хориҷ мешаванд. Ин гуна обҳои урандорро низ мумкин аст тоза ва коркард намуд. Масалан, обҳои шахтавӣ аз чоҳҳои кони Истиқлол (Тоҷикистон) ҳаҷми устувори ҷараёни $40 \text{ м}^3/\text{соат}$ доранд, ки концентратсияи уран дар онҳо аз 0,01 то 0,07 г/л тағйир меёбад. Ҳолати монанд дар обҳои чоҳҳои кони Киик-Тал (Тоҷикистон) низ мушоҳида мешавад: ҳаҷми ҷараён қариб монанд аст, вале миқдори уран ба маротиба баландтар буда, ба 0,025–0,03 г/л мерасад.

Илова бар ин, таҳқиқоти кинетикаи сорбсияи уран аз обҳои шахтаӣ (чоҳӣ) ва технологӣ бо истифодаи сорбентҳои маҳаллӣ, аз ҷумла сорбент дар асоси пӯстлохи донаки зардолу, анҷом дода шудааст. Натиҷаҳои таҷрибавӣ имкон доданд, ки параметрҳои оптималӣ барои ҷудокунии самаранокии уран муайян карда шаванд.

Технологияи ҷудокунии уран бо истифода аз сорбенти маҳаллӣ – пӯстлохи донаки зардолу аз марҳилаҳои зерин иборат аст: туршқунии муҳит бо илова намудани кислота, тозакунии сорбент, сӯзонидан, ишқоронӣ, такшонкунии пайвастагиҳо – ташаккули таҳшини намакҳои уран барои ҷудокунии минбаъда, полоиш – хориҷ намудани ифлосиҳо ва баланд бардоштани тозагии моддаи мақсаднок, хушккунии ниҳой – устуворсозии концентрати урани бадастомада.



Расми 1. – Нақшаи принсипиалии ҷудокунии бо кислотаи сульфат, концентратсияи сорбсионӣ ва тозакунии экстракционии уран

Дар маҷмӯъ, коркарди маъданҳои дорои уран бо мушкилоти ҷиддӣ рӯбарӯ мебошад. Ба онҳо дохил мешаванд: душвории ҷудо намудани уран аз намудҳои гуногуни маъданҳо, ҳароҷоти баланди марбут ба технологияи коркард ва безаргардонии партовҳо, таъсири манфии саноати истихроҷи уран ба муҳити зист.

Дар боби дуюми диссертатсия таҳти унвони «Методикаи таҷрибаҳо, таҳлили химиявӣ ва минералогӣ ва хосиятҳои физикӣ-химиявӣ маъданҳои урани Тоҷикистон»

натиҷаҳои таҳқиқоти мукамал оварда шудаанд. Онҳо ба омӯзиши методҳои коркарди маъданҳои дорои уран, таркиби химиявӣ ва минералогии конҳои урани Тоҷикистон, инчунин таҳлили хусусиятҳои физикӣ ва химиявӣ ин маъданҳо бахшида шудаанд. Дар ин бахш, методҳои интихоб ва омодагии намунаҳо, аз ҷумла таҳлили рентгенофазавӣ, гамма-спектрометрия, таҳлили рентгеноспектралӣ ва химиявӣ, инчунин таҳлили дифференциалӣ-термикӣ тавсиф шудаанд. Таҳқиқотҳо бо истифодаи таҷҳизоти муосири таҳлилий анҷом дода шудаанд, ки ба даст овардани маълумоти бозғаймод дар бораи таркиб ва хусусиятҳои минералҳои урандорро таъмин намуданд.



Расми 2. – Технологияи схемавии оптимизатсияшуда барои коркарди партовҳои саноати уран

Таҳқиқоти конҳои уран, воқеъ дар ҳудуди Тоҷикистон («Тоҷикистони Шимолӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ», «Тоҷикистони Шимолӣ -2», «Помири Шарқӣ») имкон доданд, ки минералҳои асосии дорои уран муайян карда шаванд, инчунин таркиби химиявӣ ва хусусиятҳои минералогии маъданҳои онҳо муайян гарданд.

Интихоби намунаҳои маъдани урандор мувофиқи методикаи қабулшуда, вобаста ба ҳадафи таҳлил, анҷом дода шуд. Барои омӯзиши сохтори фазаҳо аз дифрактометрҳои рентгенӣ истифода бурда шуд. Таркиби элементии намунаҳо бо усули таҳлили рентгеноспектралӣ, бо истифода аз спектрометри «Спектроскан МАКС-GVM» муайян карда шуд. Миқдори унсурҳои табиӣ-радиоактивӣ дар намунаҳои таҳқиқшаванда бо усули гамма-спектрометрия ва истифодаи спектрометри баланддақиқи «Canberra» муайян гардид. Дар ҷараёни ченакҳо фаъолиятҳои изотопҳои уран (^{235}U ва ^{238}U), радий

(^{226}Ra), торий (^{232}Th), инчунин маҳсулоти духтари вайроншавӣ — сурб (^{210}Pb) ва полоний (^{210}Po) сабт карда шуданд. Дар Чадвали 1 миқдори металлҳои асосӣ дар намунаҳои маъдани конҳои Танзим оварда шудааст.

Чадвали 1. – Натиҷаҳои таҳлили рентгеноспектралӣ аз намунаҳои маъдани кони Танзим (Шимоли Тоҷикистон)

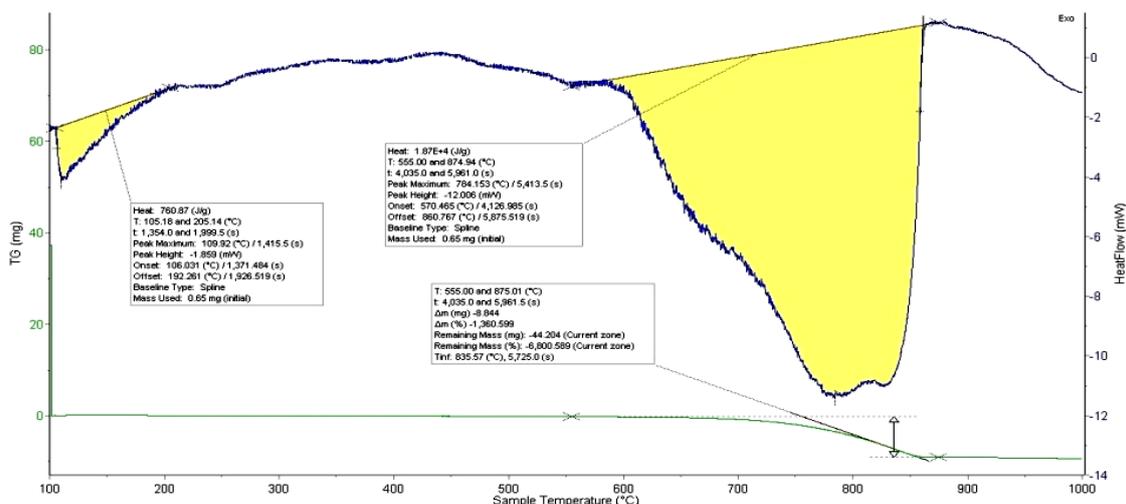
Элементи муайяншаванда	As	Zn	Ni	Co	Pb	Cu	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Th	U	Cr	V
Миқдор, %	0,0055	0,10	0,026	0,033	0,013	0,035	19,04	1,27	1,76	0,02	0,241	0,027	0,070

Таҳлили гамма-спектрометрии конҳои урандор имкон медиҳад, ки дигар унсурҳои радиоактивии таназзули силсилаи уран муайян карда шаванд, ки ба радиоактивии умумӣ таъсир мерасонанд (Чадвали 2).

Чадвали 2. – Концентрасияи радионуклидҳои гуногун дар маъданҳои урандори кони «Тоҷикистони Ғарбӣ»

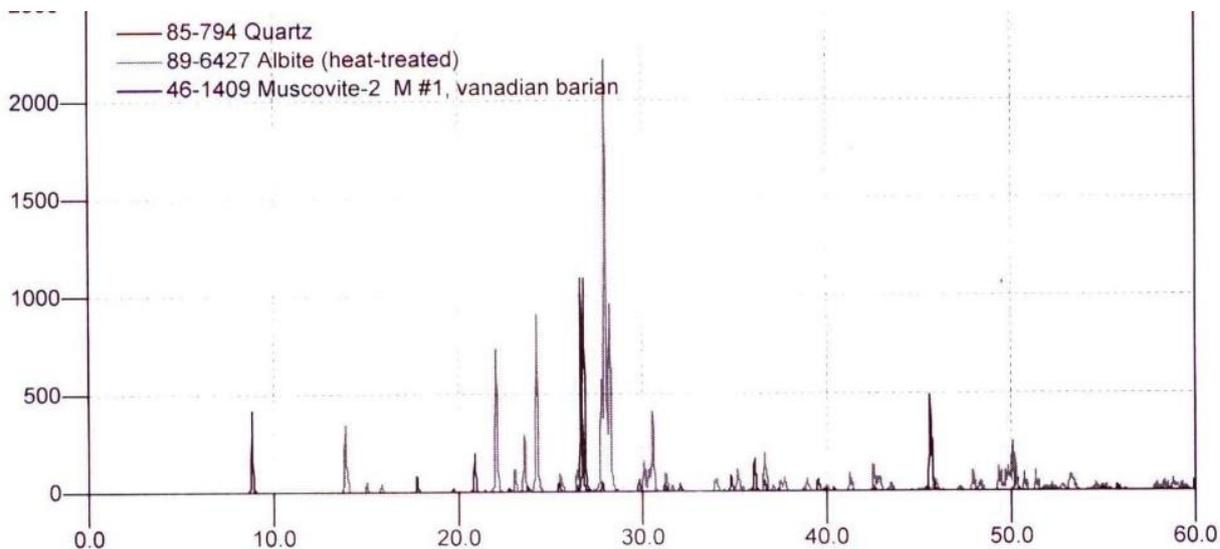
Радионуклидҳо	Қимати миёнаи ғаёлнокии хос (кБк / кг)
^{212}Pb	0.0427
^{231}Pa	0.4435
^{214}Pb	13.69687
^{40}K	0.4687
^{238}U	2.1092
^{226}Ra	32.6967
^{235}U	0.6202
^{214}Bi	15.9164
^{212}Bi	0.0323
^{227}Th	0.7211
^{228}Ac	0.0508

Натиҷаҳои таҳлили дифференциалӣ-термикии намунаҳои маъдани урандори кони «Помири Шарқӣ» дар расми 3 оварда шудаанд. Дар асоси таҳлили термограммаҳо муайян карда шуд, ки ҷузъҳои асосии минералогии маъдани таҳқиқшуда аз калсит, доломит ва минералҳои гурӯҳи слюда иборат мебошанд.



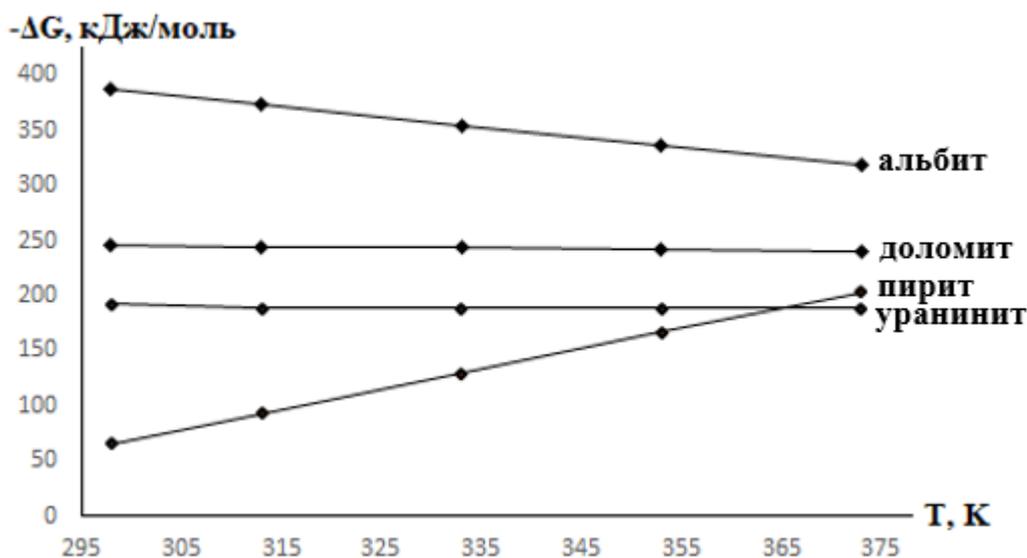
Расми 3. – Дериватограммаи намунаи кони «Помири Шарқӣ» (гармкунӣ то 1000°C, бо суръати 10 К/дақ дар давоми 1 соат 30 дақиқа, массаи намуна 0,65 мг)

Таркиби фазавии намунаҳои таҳқиқшуда бо усули таҳлили рентгенофазавӣ омӯхта шуданд, ки бо истифода аз дифрактометри рентгении XRDinamic бо сабти рақамии маълумот анҷом дода шуд. Асбоб дар аноди мисӣ (бо шиддати 35 кВ ва ҷараёни 20 мА) ва филтри никелӣ кор мекунад. Мувофиқи натиҷаҳои бадастомада, минералҳои асосии маъдани урани кони «Тоҷикистони Ғарбӣ» инҳоянд: кварц, албит, мусковит, пирит, уранинит ва слюдаи ураний (расми 4).



Расми 4. – Рентгенограммаи маъдани кони «Тоҷикистони Ғарбӣ»

Дар доираи тадқиқот вазифа гузошта шуд, ки таъсири низоми ҳароратӣ ба сатҳи энергияи Гиббс дар равандҳои таҳлилшаванда омӯзиш дода шавад. Тавре ки аз график дар расми 5 бармеояд, зиёдшавии ҳарорат шароити мусоидро барои ҷараёни аксари реаксияҳо, ки бо иштироки кислотаи сулфатӣ мегузаранд, фароҳам меорад. Таҳлили ҳисобҳои термодинамикӣ имконияти воқеии ҷараёни реаксияҳои номбурдаро дар шароити стандартӣ нишон медиҳад. Аз ин рӯ, вайроншавии маъдани урандори кони «Помири Шарқӣ» бо истифодаи кислотаи сулфат метавонад дар ҳароратҳои 298 то 373 К сураат гирад ва он бо ташаккули компонентҳои мақсаднок ҳамроҳӣ мешавад.



Расми 5. – Таъсири ҳарорат ба вайроншавии минералҳои маъдани кони «Помири Шарқӣ» ба энергияи Гиббс дар раванди химиявӣ

В большинстве руд вышеуказанных месторождений установлено наличие минералов, среди которых коффинит, уранинит, настуран, уранофан, а также значительное содержание кварца, карбонатов и силикатов. На основании полученных

данных были предложены оптимальные методы переработки руд, в зависимости от их химико-минералогического состава. Так, для силикатных руд целесообразно использовать сернокислотное выщелачивание, тогда как для карбонатных руд рекомендован карбонатный метод переработки. Кроме того, проведённый термодинамический анализ процессов сернокислотного выщелачивания позволил оценить эффективность различных реакций взаимодействия урана с серной кислотой, определить основные факторы, влияющие на процесс извлечения урана, а также выявить возможные пути оптимизации данного процесса. Экспериментальные данные подтвердили, что для переработки урановых руд, содержащих значительные примеси кальция, магния и железа, необходимы дополнительные стадии очистки и сепарации.

Дар аксари маъданҳои конҳои зикршуда мавҷудияти минералҳо, аз ҷумла коффинит, уранинит, настурани, уранофан, инчунин миқдори назарраси кварц, карбонатҳо ва силикатҳо муайян карда шудааст. Бо назардошти маълумоти бадастомада, усулҳои оптималии коркарди рудҳо вобаста ба таркиби химиявӣ-минералогии онҳо пешниҳод гардиданд. Аз ҷумла барои маъданҳои силикатӣ истифодаи усули ишқоронии кислотагӣ мувофиқ доништа мешавад, барои маъданҳои карбонатӣ бошад, тавсия дода мешавад, ки усули коркарди карбонатӣ ба роҳ монда шавад. Илова бар ин, таҳлили термодинамикии равандҳои таҷзияи кислотагӣ имкон дод, ки самаранокии реаксияҳои гуногуни ҳамкориҳои уран бо кислотаи сульфатӣ арзёбӣ шавад, омилҳои асосии таъсиррасон ба раванд муайян гарданд ва роҳҳои эҳтимолии оптимизатсияи истихроҷи уран пешниҳод шаванд. Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки барои коркарди маъданҳои уранӣ, ки миқдори зиёди калсий, магний ва оҳан доранд, гузаронидани марҳилаҳои иловагии тозакунии ва ҷудокунии компонентҳо (сепаратсия) зарур мешавад.

В третьей главе «Особенности выщелачивания урановых руд и ураносодержащих отходов Таджикистана» представлен детальный анализ особенностей процесса выщелачивания ураносодержащих руд и отходов, с использованием месторождений и хвостохранилищ республики в качестве наглядных примеров. Показана перспективность сернокислотного метода и метода карбонатного выщелачивания, рассмотрены технологические параметры, влияющие на повышение эффективности выделения урановых соединений из ураносодержащих руд и отходов бывших урановых производств.

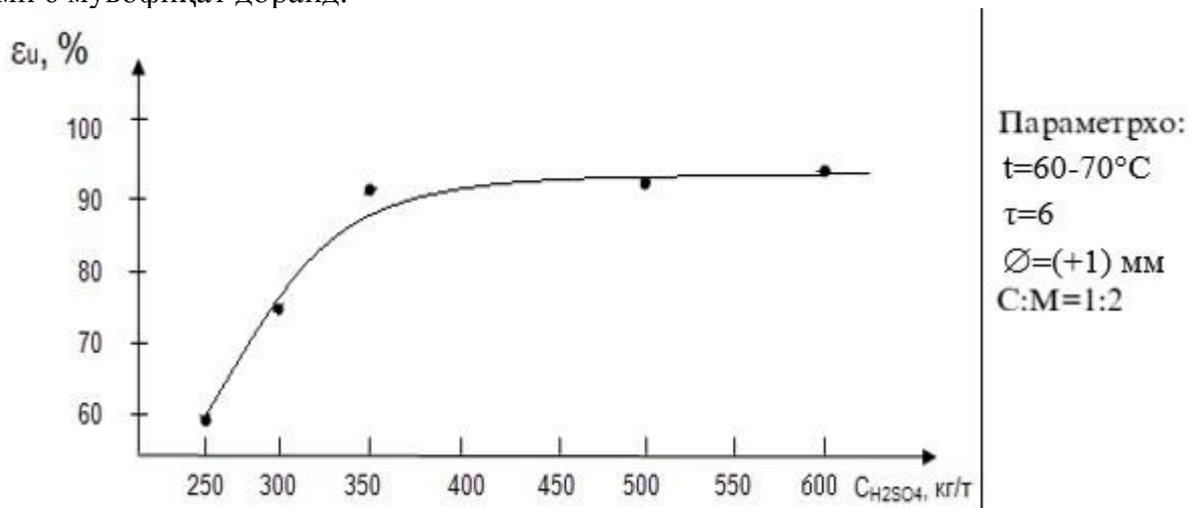
Дар боби сеюм «Хусусиятҳои таҷзияи маъданҳои урандор ва партовҳои урандори Тоҷикистон» таҳлили муфассали хусусиятҳои раванди вайронсозии рудаҳои дорои уран ва партовҳо пешниҳод карда мешавад. Ҳамчун намунаи равшан, конҳо ва захираҳои партовҳои уранӣ дар ҳудуди ҷумҳури баррасӣ шудаанд. Дар таҳқиқ нишон дода шудааст, ки усули кислотагӣ ва усули карбонатии таҷзияи маъдан имкониятҳои хуби оянда доранд. Ҳамчунин, параметрҳои асосии технологӣ мавриди таҳлил қарор дода шудаанд, ки ба баланд бардоштани самаранокии ҷудо намудани пайвастрҳои уран аз маъданҳои урандор ва партовҳои собиқ истеҳсоли уран нигаронда шудаанд.

Ишқоронии маъдани кони «Танзим» (Тоҷикистони Шимолӣ).

Ҳангоми гузаронидани ишқоронии сульфатии маъдани урани кони «Танзим» ба назар гирифта шуд, ки маводи мазкур ба навъи карбонатӣ мансуб аст. Аз ин рӯ, пеш аз марҳилаи асосии коркард шустани пешакии обӣ дар ҳарорати 20 °С анҷом дода шуд. Дар ин раванди тайёрсозӣ таносуби массаи фазаи сахт ба моеъ 1:10 риоя гардид, ки ба хориҷ намудани ифлоскунандаҳои осонҳалшаванда мусоидат намуда, сатҳи кислотаи муҳитро дар марҳилаҳои минбаъдаи ишқоронӣ паст мегардонад.

Дар марҳилаи баъдӣ раванди ишқоронӣ бо истифода аз кислотаи сульфат (H_2SO_4) дар миқдори 100–600 кг/т, инчунин бо илова намудани оксидунадагон — HNO_3 ва MnO_2 анҷом дода шуд. Коркарди суспензия дар ҳарорати 60–75 °С ва таносуби сахт/моеъ (Т:Ж=1:2) дар давоми 6 соат гузаронида шуд. Пас аз анҷоми коркард таҳшини сахт ду маротиба бо об бо таносуби Т:Ж = 1:1 шуста гардид. Ин усул имкон медиҳад, ки қисми муайяни уран пеш аз ворид кардани маъдан ба нақшаи пурраи технологӣ аз маҳлулҳои истеҳсоли ҷудо карда шавад, ки дар натиҷа ҳаҷми реагентҳо ва хароҷоти умумии истифодабарӣ ба таври назаррас коҳиш меёбад.

Таҳқиқот нишон дод, ки дараҷаи истихроҷи уран ба таври мустақим аз миқдори кислотаи сулфат вобаста мебошад. Дар доираи таҷрибаҳо диапазони воридшавии $H_2SO_4 = 100-600$ кг/т санҷида шуд. Ҳадди ниҳоии ҷудокунӣ — 93,27% дар шароити истифодаи 600 кг/т кислотаи сулфат дар якҷоягӣ бо иловаи 26 кг/т кислотаи нитрат (HNO_3) ба даст оварда шуд. Натиҷаҳои бадастомада бо маълумоти пешниҳодшуда дар расми 6 мувофиқат доранд.

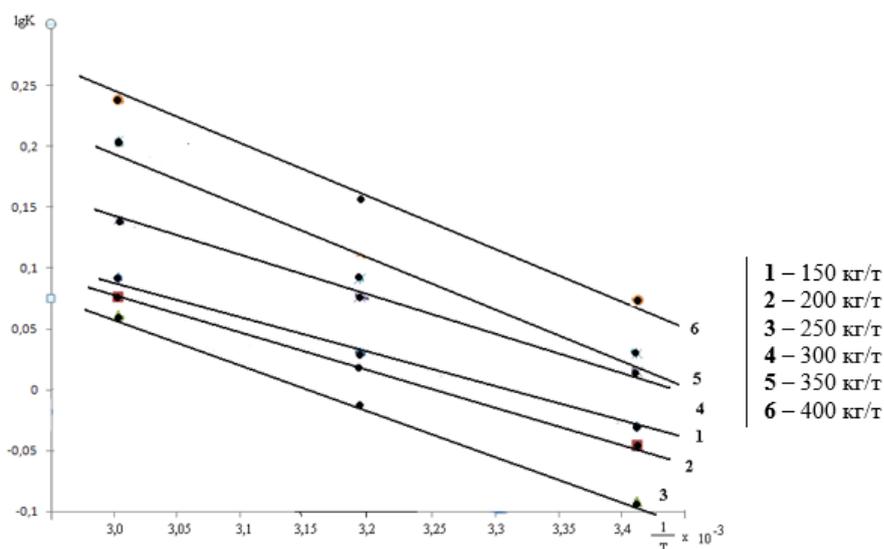


Расми 6. – Таҳқиқоти таъсири миқдори H_2SO_4 ба самаранокии ҷудокунии уран аз маъдан

Оптимальным режимом выщелачивания урана установлена комбинация расхода серной кислоты в количестве 350 кг/т и азотной кислоты - 30 кг/т. При данных параметрах достигается максимальная эффективность извлечения урана, составляющая 93,13%, при этом обеспечивается рациональный баланс между технологической результативностью и экономическими затратами на реагенты.

Ҳолати оптималии ишқоронии уран муайян карда шуд: он аз комбинатсияи харҷи кислотаи сулфат дар миқдори 350 кг/т ва кислотаи нитрат – 30 кг/т иборат мебошад. Дар чунин параметрҳо ба самаранокии ниҳоии ҷудокунӣ 93,13% ноил мегарданд, ки ҳамзамон тавозуни оқилонаи байни натиҷанокии технологӣ ва хароҷоти иқтисодӣ барои реагентҳоро таъмин менамояд.

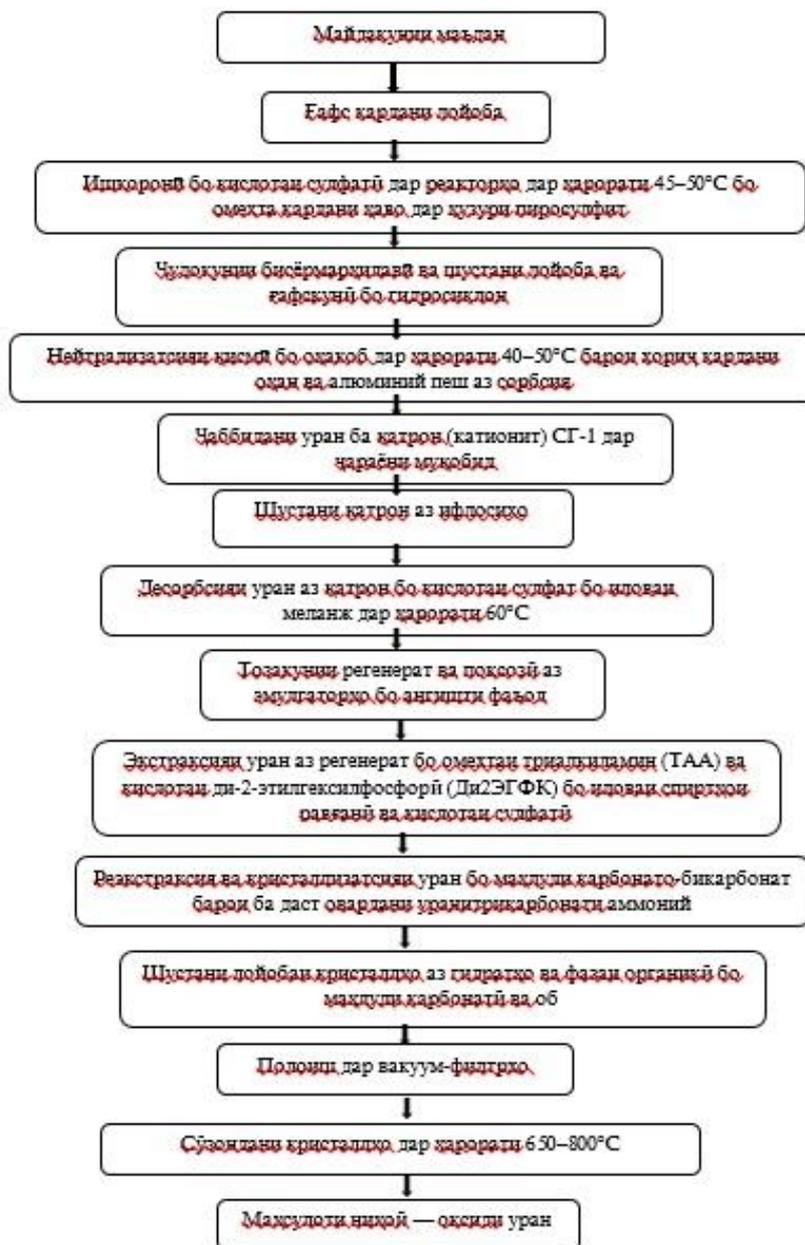
Илова бар ин, нишондиҳандаҳои кинетикӣ барои истихроҷи уран вобаста ба ҳарорат ва давомнокии коркард дар шароити хароҷоти гуногуни кислотаи сулфат (150 кг/т, 200 кг/т, 250 кг/т, 300 кг/т, 350 кг/т, 400 кг/т) муайян карда шуданд.



Расми 7. – Графики Аррениус барои динамикаи ишқоронии маъдан дар шароити миқдорҳои гуногуни H_2SO_4 .

Ҳангоми таҳлили вобастагии логарифми қимматҳои миёнаи константаҳои суръат аз ҳарорати баръакс мушоҳида мешавад, ки нуқтаҳо дар график хати ростро ташкил медиҳанд. Ин қонуният маълумотҳо дар расми 7 равшан ба назар мерасад.

Омӯзиши равандҳои ишқоронии кислотагии маъданҳои урани кони «Танзим», инчунин механизмҳои ишқоронӣ имконият доданд, ки динамикаи ин равандҳо муфассал таҳқиқ карда шавад, омилҳои асосӣ, ки ба самаранокии истихроҷ таъсир мерасонанд, муайян гарданд ва шароити оптималӣ барои ҷудокунии ҳадди аксари пайвастиҳои уран ба даст оварда шаванд. Дар расми 8 марҳилаҳои асосии равандҳои истихроҷи уран аз маъданҳои кони «Танзим» тавассути ишқоронии сернокислотӣ оварда шудаанд.

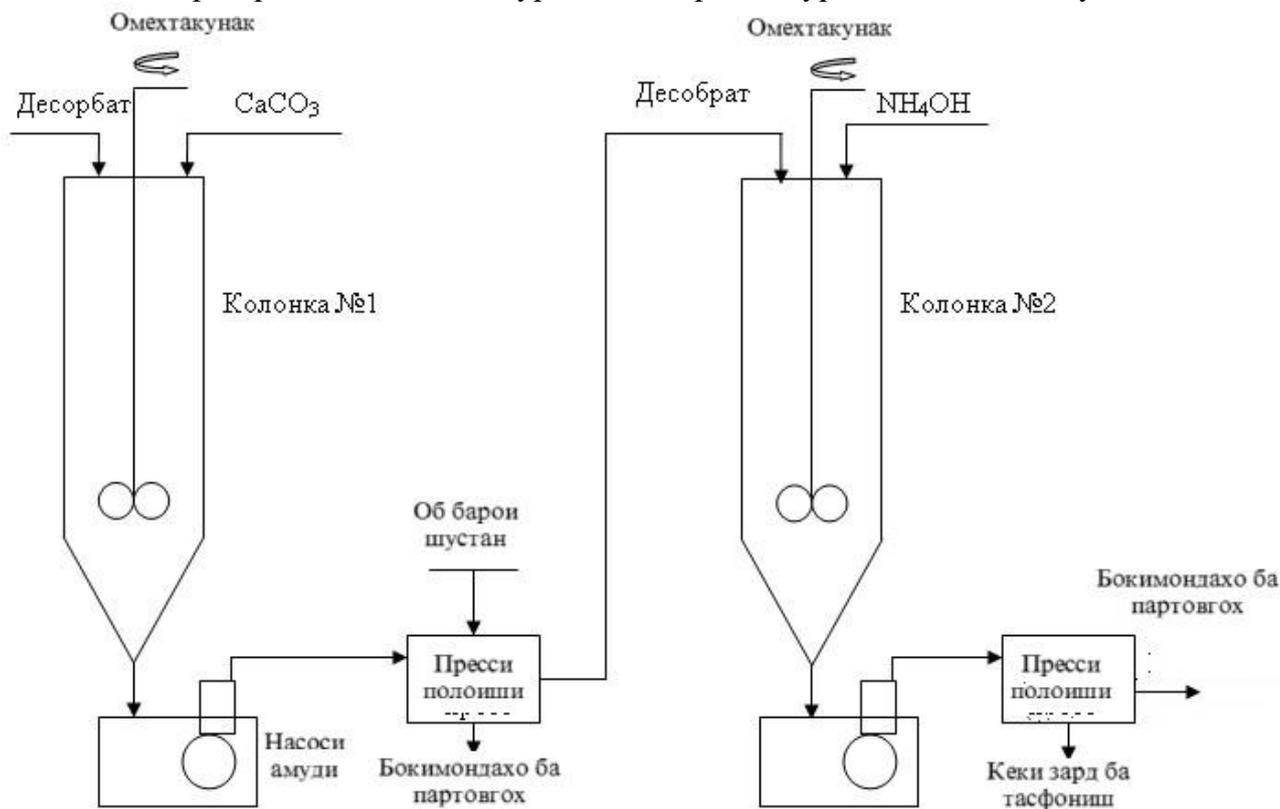


Расми 8. – Нақшаи технологияи раванди оптимизатсияшудаи ҷудокунии уран аз маъдани кони «Танзим» бо роҳи ишқоронии кислотӣ

В процессе осаждения урана из кислого десорбата присутствующие примеси, такие как алюминийсодержащие, железосодержащие элементы и другие, осаждаются с ураном одновременно, в связи с чем жёлтый кек загрязняется, качество его ухудшается и усложняется его дальнейшая переработка. С целью снижения расхода аммиачной воды и улучшения качества осадка, предлагается внедрение предварительного этапа

нейтрализации серной кислоты в десорбате с использованием природного карбоната кальция (CaCO_3). Проведение такой нейтрализации позволяет эффективно снизить кислотность среды, способствует удалению вторичных ионов (например, сульфатов и магния), а также осаждению сопутствующих примесей в виде гипса и других малорастворимых соединений. Для эффективного удаления примесей из десорбата и сокращения расхода аммиачной воды предлагается использовать природный карбонат кальция (CaCO_3), содержащий 72-75% CaCO_3 . На рисунке 9 приведена технологическая схема процесса осаждения урана из кислого десорбата.

Дар раванди таҳшин кардани уран аз десорбати кислота ҳамзамон бо уран як қатор ифлоскунандаҳо низ таҳшин мешаванд, аз ҷумла элементҳои дорои алюминий, оҳан ва дигарҳо. Ин ҳолат боиси ифлосшавии «кеки зард» мегардад, ки сифати онро паст карда, минбаъд коркарди онро душвор месозад. Бо мақсади коҳиш додани истифодаи аммиакоб ва баланд бардоштани сифати таҳшин, пешниҳод мешавад, ки марҳилаи иловагии нейтрализатсияи пешакӣ гузаронида шавад. Дар ин марҳила кислотаи сульфати дар десорбатбуда бо истифода аз карбонати калсийи табиӣ (CaCO_3) нейтаризатсия карда мешавад. Ин раванд имкон медиҳад, ки туршии муҳит самаранок паст гардад, ионҳои дуюмдараҷа (масалан, сульфатҳо ва магний) аз байн бурда шаванд, ифлоскунандаҳои ҳамроҳ дар шакли гипс ва дигар пайвастиҳои камҳалшаванда таҳшин гарданд. Барои самаранок анҷом додани ин марҳила тавсия дода мешавад, ки карбонати калсийи табиӣ 72–75% CaCO_3 истифода гардад. Дар расми 9 нақшаи технологӣ барои раванди таҳшини уран аз десорбати турш нишон дода шудааст.



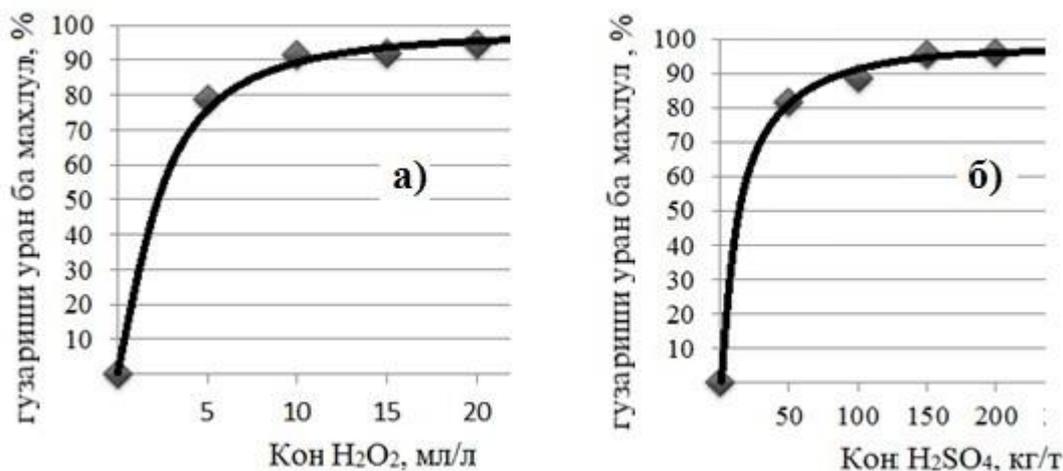
Расми 9. – Раванди такмилёфтаи ҳосил кардани «кеки зард» бо истифода аз карбонати калсий

Ишқоронии маъдани кони «Тоҷикистони Марказӣ».

Натиҷаҳои таҳлили минералогии маъданҳои кони «Тоҷикистони Марказӣ» нишон доданд, ки уран асосан дар шакли минералҳои экзогенӣ, ба монанди коффинит ва уранофан, мавҷуд мебошад, ки қобилияти муҳочират доранд. Бо дарназардошти он, ки уран дар ҷунин минералҳо асосан дар шаклҳои чор- ва шашвалентӣ вучуд дорад, маъданҳо ҳам барои усули ишқоронии кислотагӣ ва ҳам барои усули ишқоронии карбонатӣ мувофиқ мебошанд. Дар айни замон, усули ишқоронии кислотагӣ нисбат ба усули ишқоронии карбонатӣ коэффисиенти баландтари истихроҷи уранро нишон

медихад.

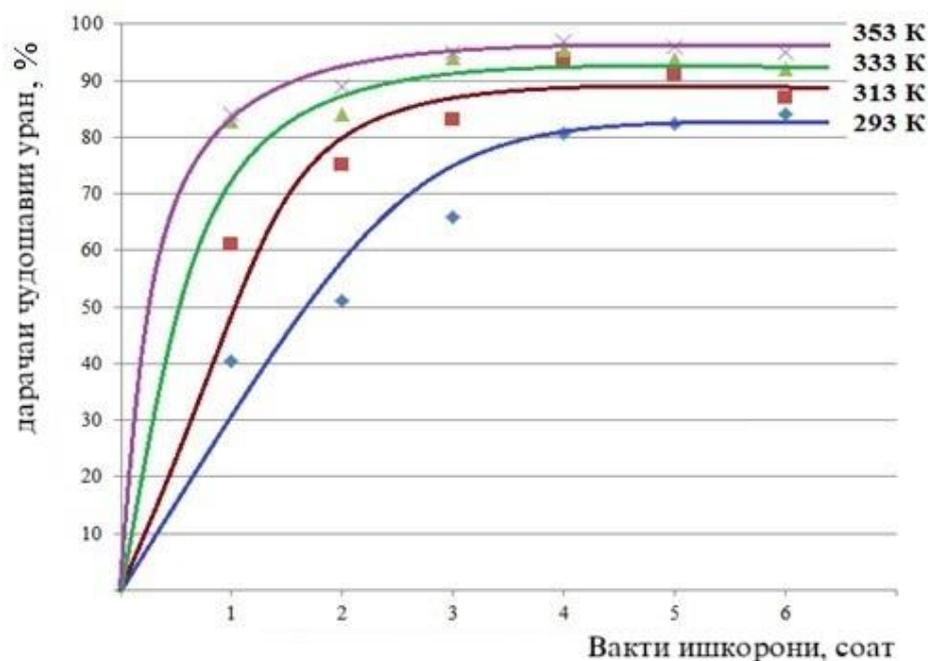
Баъзе аз нишондиҳандаҳои калидии раванди ишқоронии уран дар маҳлулҳои кислотӣ дар расми 10 оварда шудаанд, ки таъсири параметрҳои кимиёвиро ба самаранокии ҷудокунии металл инъикос менамоянд.



Расми 10. – Вобастагии раванди ишқоронӣ: а) аз ҳарҷоти оксидкунанда ($25\% H_2O_2$) дар шароити: $T=60^\circ C$; $\tau=4$ соат; $C(H_2SO_4)=150$ кг/т; $C:M=1:2-5$. б) аз концентратсияи кислотаи сулфат дар шароити: $T=60^\circ C$; $C(H_2O_2)=25$ мл/л; $\tau=4$ соат; $C:M=1:2-5$

Кинетические особенности процесса сернокислотного выщелачивания урансодержащих руд исследовались при использовании различных окислительных агентов. В рамках эксперимента были выбраны три типа окислителей, что позволило проанализировать их влияние на интенсивность и степень извлечения урана: азотная кислота (50 л/тонну), пиролюзит (50 кг/т), перекись водорода (50 л/тонну). Эксперименты проводились при параметрах - температурный диапазон 293–353 К, длительность 6 часов, соотношение твёрдых и жидких компонентов (Т:Ж) 1:2, количество серной кислоты 150 кг/тонну.

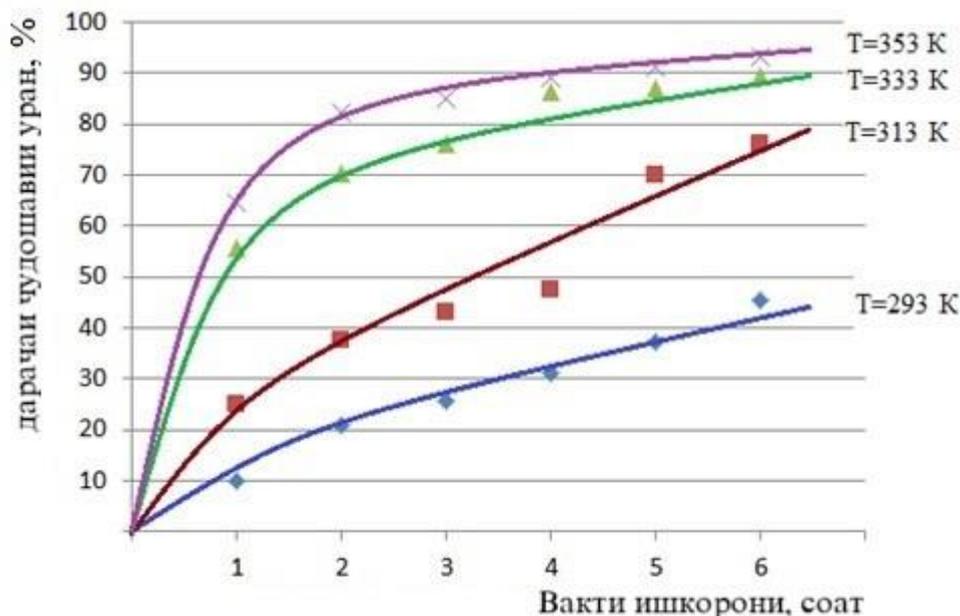
Кинетикаи ҳоси раванди ишқоронии кислотагӣ барои маъданҳои урандор бо истифодаи агентҳои гуногуни оксидкунанда мавриди таҳқиқ қарор гирифт. Дар доираи таҷриба се навъи оксидкунанда интихоб гардиданд, ки имконият доданд таъсири онҳоро ба шиддатнокӣ ва дараҷаи ҷудошавии уран таҳлил намоем: кислотаи нитрат (50 л/т), пиролюзит (50 кг/т), пероксиди гидроген (50 л/т).



Расми 11. – Давомнокии ишқоронии уран дар ҳузури H_2O_2 : таъсири низоми ҳароратӣ

Тадқиқотҳо дар шароити зерин гузаронида шуданд: диапазони ҳароратӣ 293–353К, давомнокии раванд 6 соат, таносуби ҷузъҳои саҳт ва моеъ (С:М) 1:2, миқдори кислотаи сулфат 150 кг/тонна.

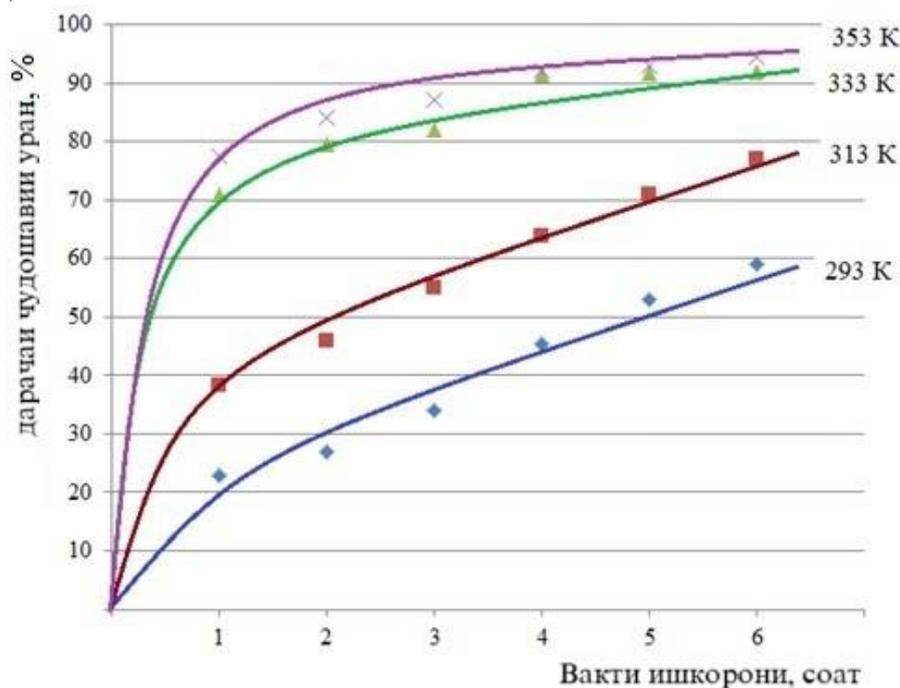
Натиҷаҳои бадастомада дар ин таҷрибаҳо дар расмҳои 11–13 ҷамъбаст шудаанд. Аз таҳлили онҳо бармеояд, ки бо зиёд шудани давомнокии раванди ишқоронӣ ва баланд шудани ҳарорат дараҷаи ҷудошавии уран меафзояд. Нишон дода шуд, ки интенсивияти баланди ҷудошавии уран асосан дар соатҳои аввали раванди реаксия (1–2 соат) ҳангоми омехтаи реаксионӣ то 60–80 °С гарм кардан ба қайд гирифта мешавад.



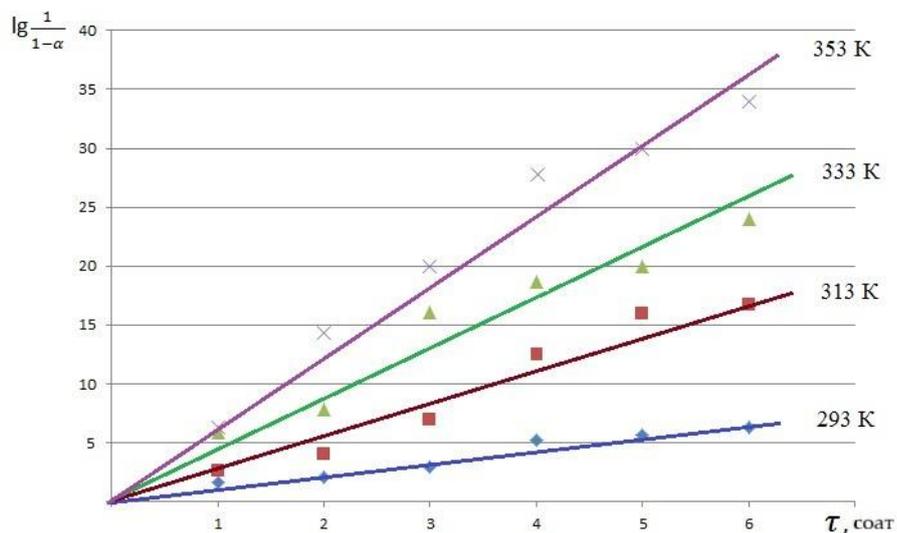
Расми 12. – Давомнокии ишқоронии уран дар ҳузури HNO₃: таъсири низоми ҳароратӣ

Бо зиёд шудани давомнокии ишқоронӣ то 4 соат ва бештар, дараҷаи ҷудошавии уран дигар тағйир намеёбад ё дар ҳадди ночиз тағйир меёбад. Аз ин рӯ, тамлиди минбаъдаи вақти реаксия барои самаранокии раванд беҳуда ба ҳисоб меравад.

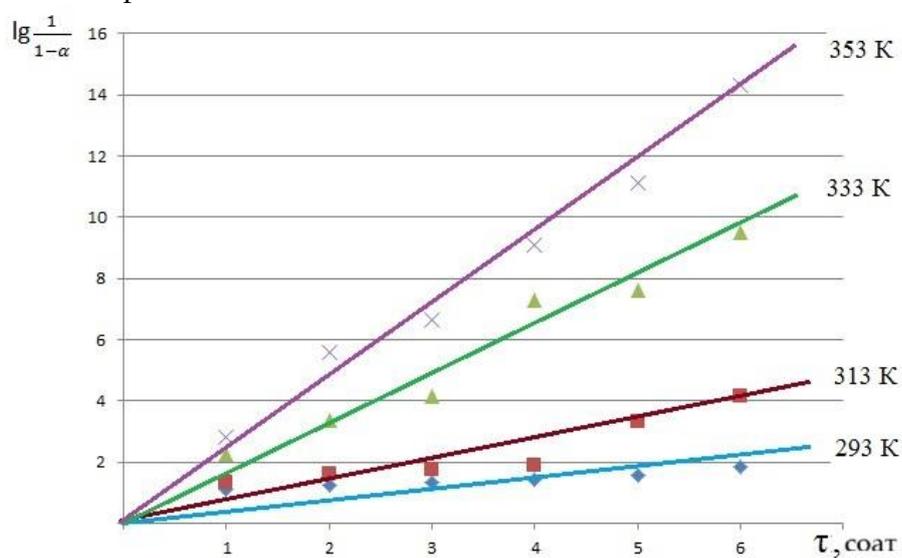
Дар асоси вобастагии графикаи вақти таҷзия (τ) аз $\lg(1/(1-\alpha))$, ки дар расмҳои 14–16 инъикос ёфтааст, ҳисобҳо оид ба муайян кардани коэффисиентҳои суръати реаксия иҷро гардиданд.



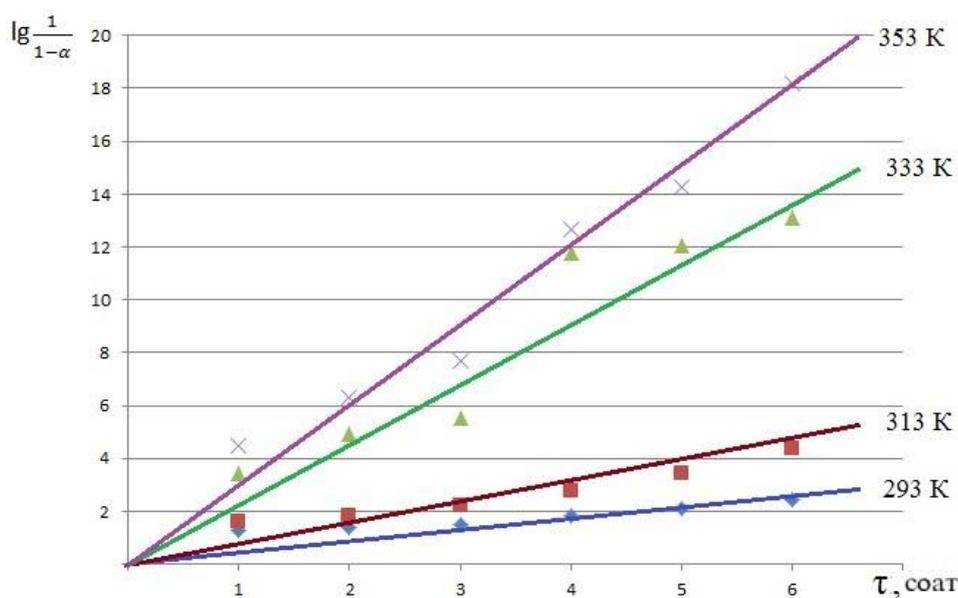
Расми 13. – Давомнокии ишқоронии уран дар ҳузури диоксидаи марганец (MnO₂): таъсири низоми ҳароратӣ



Расми 14. – Таъсири давомнокии ишқоронӣ ба кинетикаи ҷудокунии уран: вобастагии $\lg(1/(1-\alpha))$ ҳангоми истифодаи H_2O_2

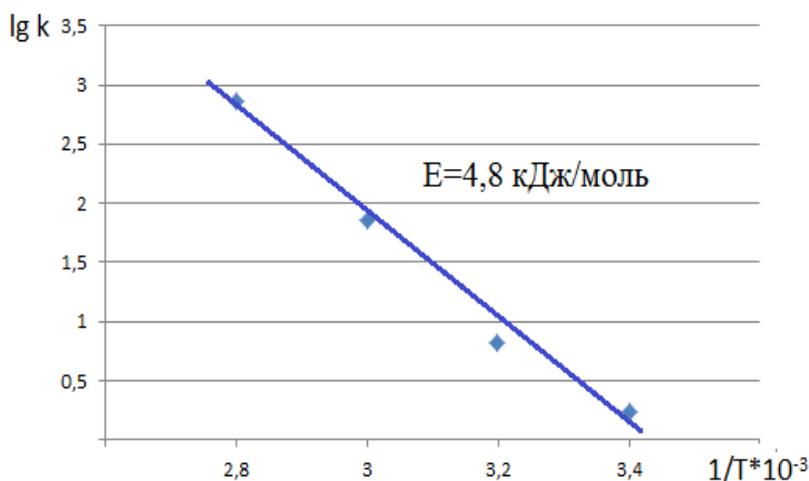


Расми 15. – Таъсири давомнокии ишқоронӣ ба кинетикаи ҷудокунии уран: вобастагии $\lg(1/(1-\alpha))$ ҳангоми истифодаи HNO_3



Расми 16. – Таъсири давомнокии ишқоронӣ ба кинетикаи ҷудокунии уран: вобастагии $\lg(1/(1-\alpha))$ ҳангоми истифодаи MnO_2

Таҳлили вобастагии $\lg k$ аз $1/T$ (расми 17) нишон медиҳад, ки ҳамаи маълумоти таҷрибавии бадастомада аз қонунияти ростхатӣ пайравӣ менамоянд. Ин ҳолат дурустии истифодаи модели Аррениусро барои тавсифи кинетикаи равандҳои мавриди баррасӣ тасдиқ мекунад.



Расми 17. – Таъсири ҳарорат ба кинетикаи ишқоронии уран: вобастагии $\lg k$ аз $1/T$ ҳангоми истифодаи оксидкунандаи MnO_2

Дар асоси маълумоти таҷрибавии бадастомада нақшаи технологияи ишқоронии маъдани урандори кони «Тоҷикистони Марказӣ» бо усули кислотаи сулфат таҳия карда шуд (расми 18).

Асосҳои физикию химиявии коркарди маъдани урандори кони «Тоҷикистони Ғарбӣ»

Омӯзиши хусусиятҳои физикию химиявии маъданҳо дар конҳои гуногуни Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла дар кони «Тоҷикистон Ғарбӣ» истихроҷшаванда, ҷанбаҳои муҳими илмӣ ба ҳисоб меравад, ки барои асоснок кардани технологияҳои самараноки коркарди онҳо мусоидат менамояд. Барои маъдани ин кон таркиби химиявӣ тавассути усулҳои гуногуни таҳлилий муайян карда шуд.

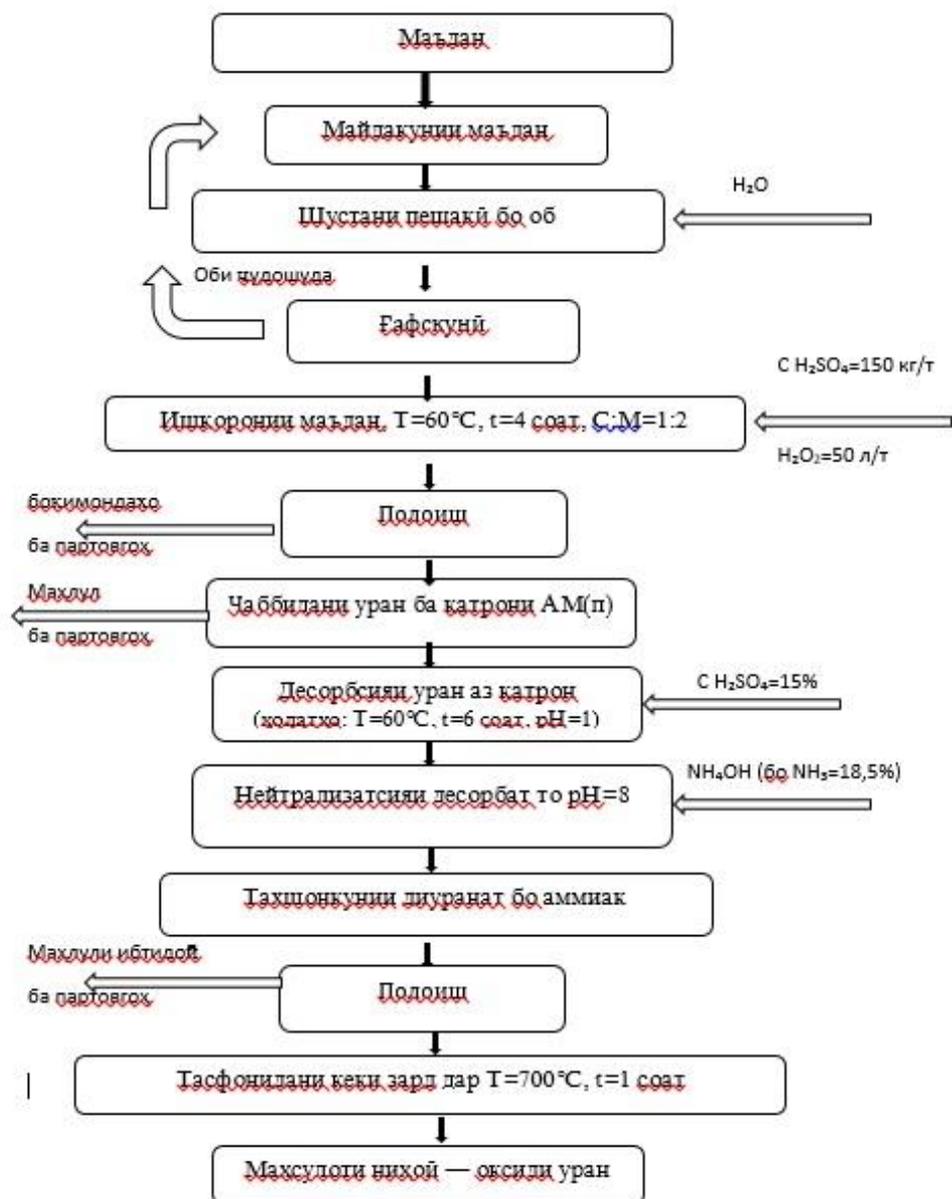
Бо дарназардошти табиати силикати маъдан, барои раванди ишқоронӣ усули кислотаи сулфат истифода гардид, ки дар ҷараёни он оксидкунанда низ ворид карда шуд. Дар ин таҳқиқот ҳамчун оксидкунанда HNO_3 ба кор бурда шуд.

Дар раванди гузаронидани таҷрибаҳо оид ба баҳодихии самаранокии ишқоронии кислотагии уран, намунаҳои таҳқиқшаванда пешакӣ дар осеби лабораторӣ майда карда шуда, то андозаи 0,1–0,16 мм омода гардиданд. Баъдан коркарди химиявӣ бо кислотаи сулфат амалӣ карда шуд, ки ҳадафи он фаъолгардонии реаксияҳои ишқоронӣ буда, шароити мусоидро барои баланд бардоштани дараҷаи ҷудошавии уран аз маводи урандор таъмин намуд.

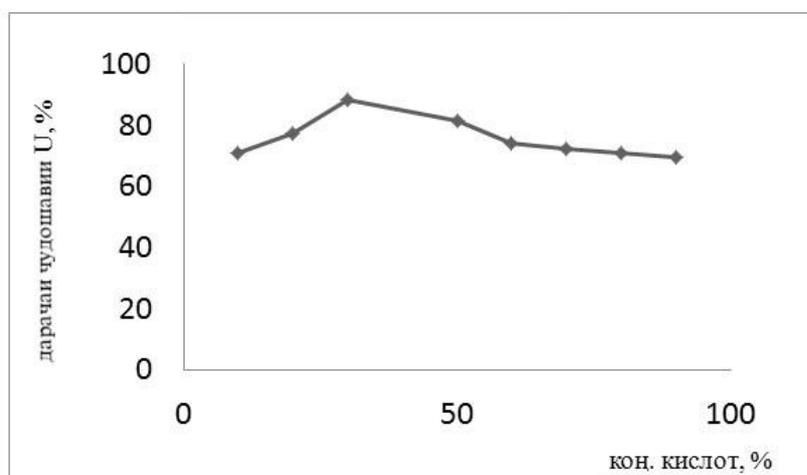
Таҳқиқотҳои гузаронидашуда (расмҳои 19–21) тасдиқ намуданд, ки зиёд намудани консентратсияи кислотаи сулфат то 30% ба болоравии дараҷаи ҷудошавии уран то 88,2% мусоидат мекунад, ки ин натиҷа аз ҳисоби афзоиши суръати реаксияи ҳалшавии минералҳои уранӣ ба даст омадааст. Бо вучуди ин, зиёд намудани консентратсия аз ҳадди 30% самаранокии равандро паст мегардонад, ки сабаби он кам будани об барои пурра ҷараён гирифтани реаксияҳо мебошад. Болоравии ҳарорат низ ба афзоиши дараҷаи ҷудошавии уран мусоидат мекунад; қимати максималӣ дар ҳарорати $80^\circ C$ ба даст омадааст. Давомнокии раванд нақши муҳиме дорад: вақти оптималии ишқоронӣ 60 дақиқа буда, он натиҷаҳои беҳтаринро таъмин менамояд.

Кинетикаи раванди ишқоронии маъдани урандор дар интервали ҳароратҳои 293–363 K ва дар давомнокии раванд аз 15 то 90 дақиқа таҳқиқ гардид.

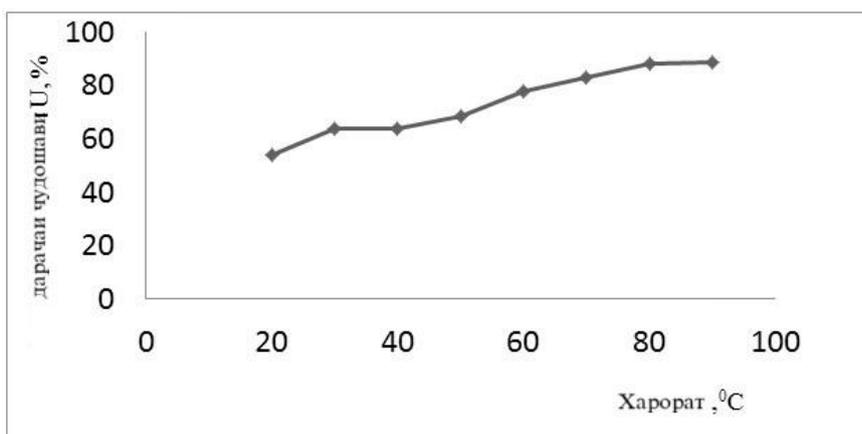
Бар асоси натиҷаҳои бадастомада қачхаттаи кинетикӣ сохта шуд (расми 22). Бо зиёд гардидани ҳарорат ва дарозшавии давомнокии ҷараёни ишқоронӣ, дараҷаи ҷудошавии уран аз маъдан ба таври назаррас меафзояд. Қиммати максималӣ ҳангоми давомнокии ишқоронӣ 60 дақиқа мушоҳида мешавад.



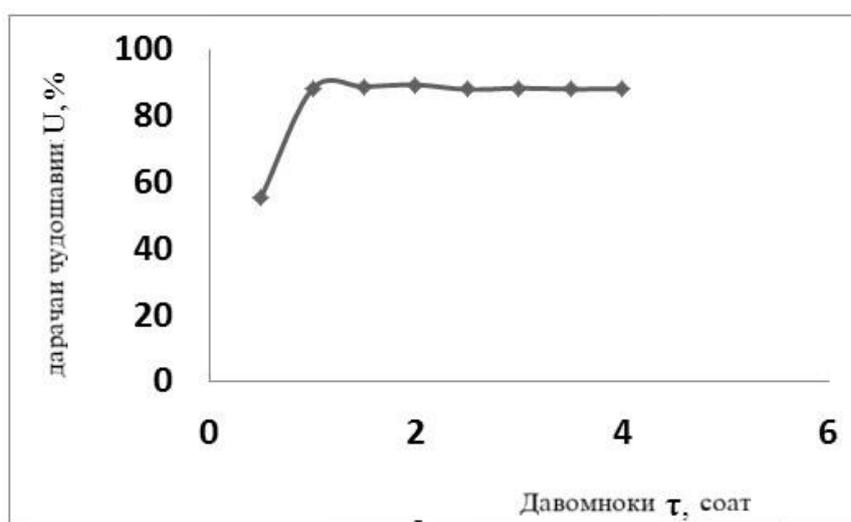
Расми 18. – Нақшаи технологияи ишқоронии маъдани урандори кони «Тоҷикистони Марказӣ» бо кислотаи сулфат



Расми 19. – Вобастагии ҷудошавии уран аз масрафи H_2SO_4 ҳангоми $t = 80^\circ C$, $\tau = 1$ соат, $C:M = 1:2$



Расми 20. – Нақши ҳарорат дар ҷараёни ишқоронии сулфатии уран аз маъдани ашёи хом



Расми 21. – Таъсири давомнокии ишқоронии сулфатӣ ба ҷудошавии уран аз маъдан

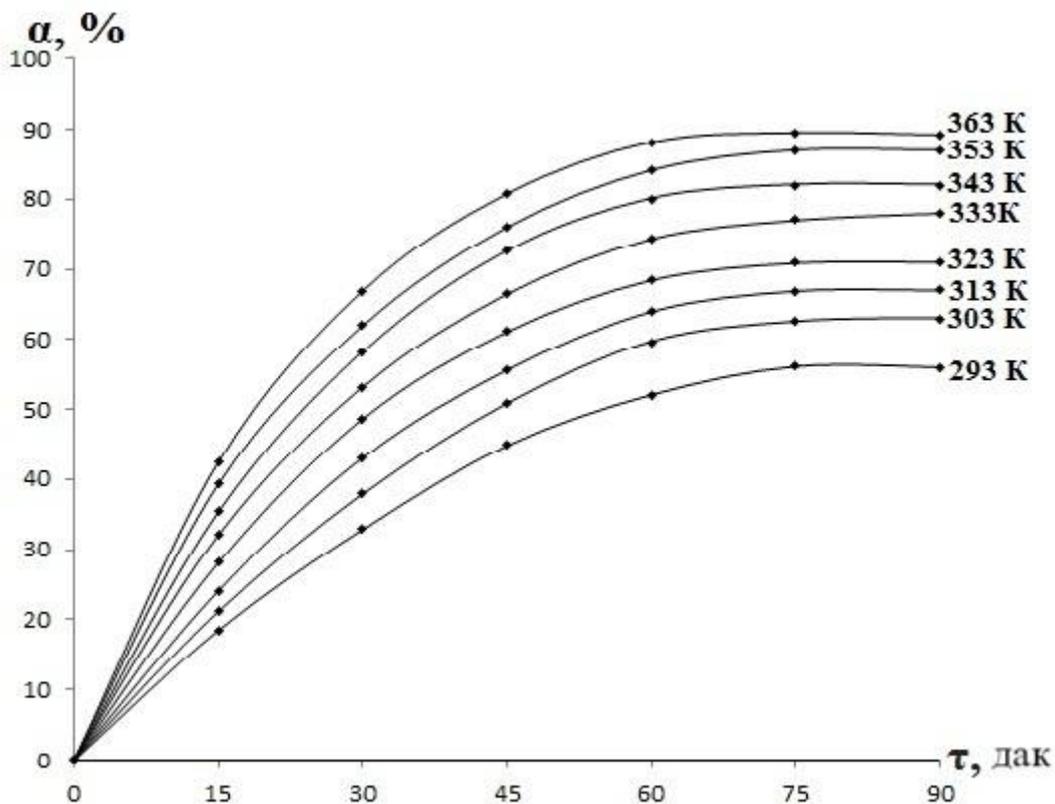
Барои муайян намудани энергияи активатсия ва дақиқтар муайян намудани минтақаи ҷараёни ишқоронӣ графики вобастагии логарифми миёнаи қиматҳои константаҳои суръати реаксия аз ҳарорати мутлақӣ баръакс тартиб дода шуд, ки он хатти рост медиҳад.

Барои таҳлил вобастагии графикаи дараҷаи ҷудошавии уран аз логарифми қимати $\lg(1/(1-\alpha))$ ва вақт тартиб дода шуд, ки имконият фароҳам овард кинетикаи ҷараёни ишқоронӣ таҳлил карда шавад ва мутобиқати он ба модели интиҳобшудаи реаксия муайян гардад (расми 23).

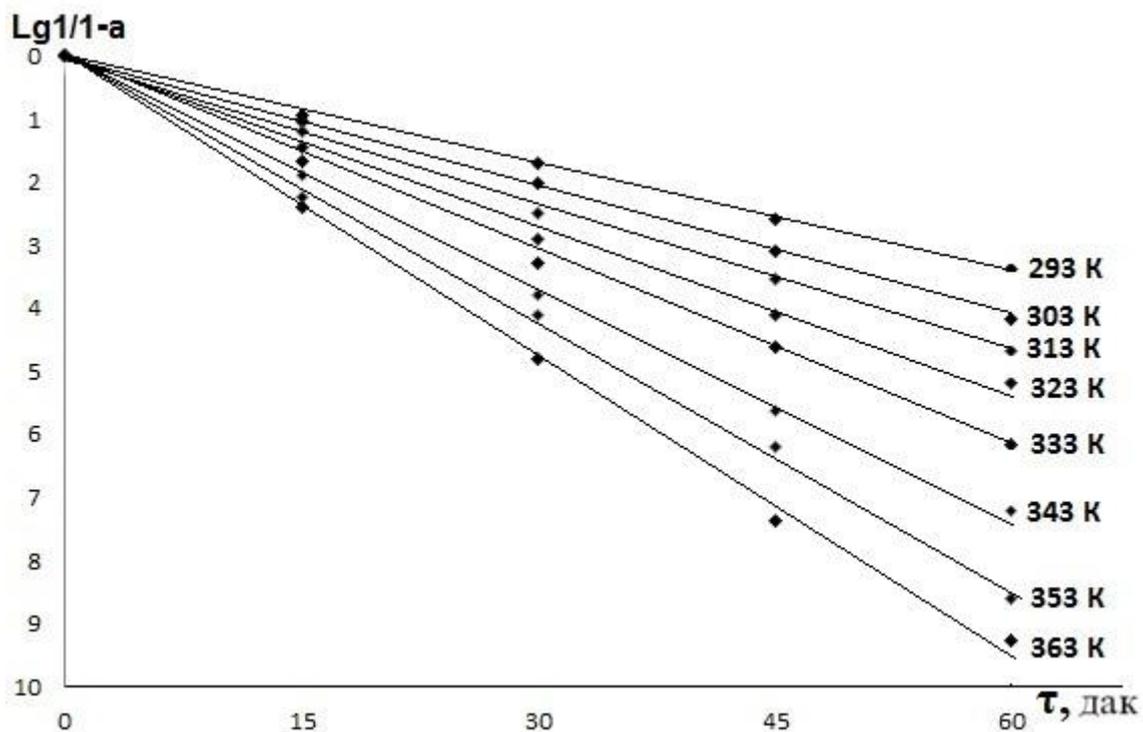
Қиматҳои адабии энергияи фаъолшавӣ ва вобастагии суръати реаксия аз ҳарорат ва давомнокии ҷараёни ишқоронӣ шаҳодат медиҳанд, ки он дар минтақаи диффузионӣ ба амал меояд. Тадқиқотҳои гузаронидашуда ва қиматҳои ҳисобшудаи хусусиятҳои кинетикӣ имконият медиҳанд, ки речаи оқилонаи анҷом додани ҷараёни ишқоронӣ интиҳоб карда шавад.

Аз рӯи тангенс кунҷи нишебӣ қимати энергияи фаъолшавии раванд ҳисоб карда шуд (расми 24).

Тавре ки аз расми 24 дида мешавад, нуқтаҳо қаноатбахш ба хатти рост мувофиқат мекунанд, ки аз рӯи нишебии он қимати энергияи фаъолшавӣ муайян карда шудааст ва он ба 14,11 кҶ/моль баробар мебошад.

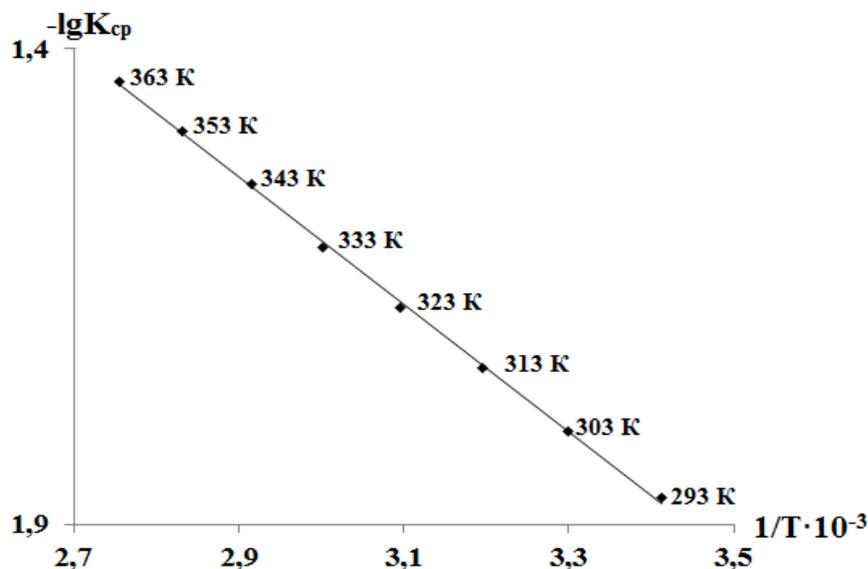


Расми 22. – Таъсири ҳарорат ва давомнокии раванд ба дараҷаи ҷудошавии уран



Расми 23. – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии уран аз $\lg(1/(1-\alpha))$ ва вақт

Бо таъя ба натиҷаҳои таҷрибавии бадастомада, нақшаи технологияи ишқоронии маъданҳои урандори кони «Тоҷикистони Ғарбӣ» бо усули кислотаи сулфат таҳия карда шуд (расми 25). Ин нақшаи технологӣ марҳилаҳои калидиро дар бар мегирад, ки барои самаранокии баланди ҷудокунии уран оптимизатсия шудаанд. Дар раванд хусусиятҳои кинетикии реаксия ба ҳисоб гирифта шуда, параметрҳои беҳтарин, ки дар рафти таҳқиқот муайян шудаанд, татбиқ гардиданд.



Расми 24. – Вобастагии $\lg K$ аз ҳарорати мутлақи баръакс

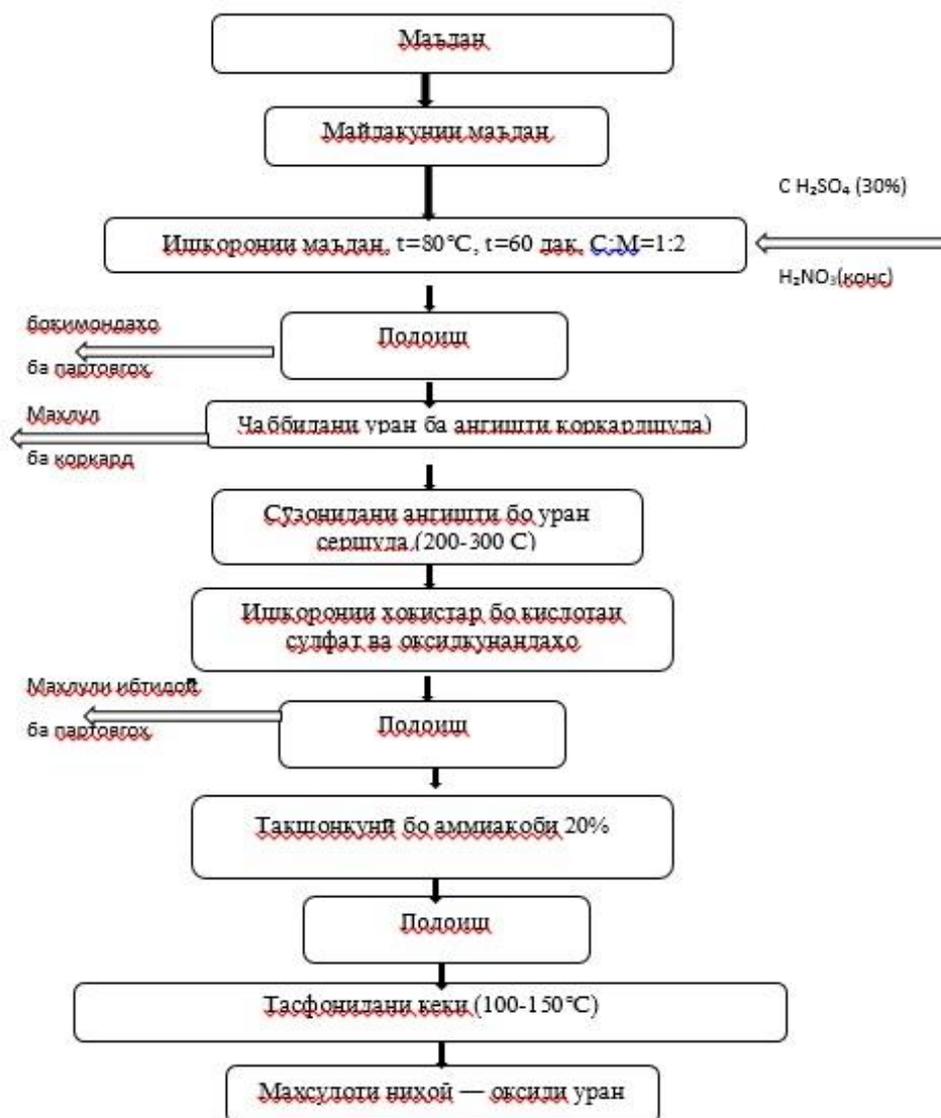
Марҳилаҳои асосии раванд чунинанд: Омодасозии ибтидоии ашёи хом, майдашавии механикӣ ва тайёр кардани маъдан ба коркарди кимиёвӣ. Таҷзияи чузъҳо бо таъсири реактивҳои кимиёвӣ, аз ҷумла кислотаи сулфат, ки ҷудо шудани уранро таъмин мекунад. Поксозии маҳлулҳо барои хориҷ кардани ифлосиҳо ва устувор намудани таркиб пеш аз марҳилаи сорбсия. Адсорбсияи уран бо истифода аз сорбенти карбонии тағйирёфта, ки ҷудокунии самаранокӣ унсури мақсаднокро таъмин мекунад. Коркарди гармии сорбенти сершуда барои ҷудокунии уран, баъдан ҳалшавии боқимондаҳо барои баланд бардоштани самаранокӣ. Полоиши иловагӣ барои хориҷ кардани чузъҳои номатлуб ва омода соختани маҳлул ба марҳилаи такшонкунӣ. Такшонкунии пайвастиҳои мақсаднок ташаккули маҳсулоти ниҳой бо консентратсияи баланди уранро таъмин менамояд. Хушккунии иловагӣ барои хориҷ кардани намӣ ва сӯзонидан дар ҳарорати баланд барои ба даст овардани маҳсулоти устувори U_3O_8 .

Асосҳои физикию химиявии ишқоронии кислотагии маъдани урандори кони «Тоҷикистони Шимолӣ – 2»

Ин бахш ба таҳлили муфассали равандҳои ишқоронии маъданҳои урандор, ки аз кони «Тоҷикистони Шимолӣ – 2» (қаблан бо номи «Октябрское» маъруф буд) гирифта шудаанд, бахшида шудааст.

Хусусиятҳои минералогии маъданҳо мутобиқ ба хусусиятҳои маъданҳои маъмулии уран дар ҷумҳуриёи мебошанд. Натиҷаҳои таҳлили рентгенофазаӣ (РФА) ҳузури чунин минералҳоро дар намунаҳо ошкор карданд: кварц, уранофан, каолинит, сфен, альбит, уранинит, пирит.

Таҳлили минералогӣ нишон дод, ки минералҳои асосии уран дар маъдани мазкур уранофан ва уранинит мебошанд. Дар ҳамин ҳол, уран дар таркиби ин минералҳо дар ду ҳолати валентии гуногун — чорвалентӣ ва шашвалентӣ воমেҳӯрад, ки ин имконият медиҳад ҳам усули ишқоронии кислотай ва ҳам усули ишқоронии карбонатӣ барои ҷудокунии он истифода бурда шаванд. Аммо, миқдори зиёди кварц дар таркиби санг таъсири назаррас ба интихоби технология мерасонад ва ишқоронии кислотаиро нисбатан мувофиқтар мегардонад. Ин бо он вобаста аст, ки дар мавҷудияти кварц усули карбонатӣ самаранокӣ пасттар нишон медиҳад, дар ҳоле ки усули кислотай коэффисиенти баландтари ҷудокуниро таъмин менамояд. Истифодаи кислотаи сулфат дар ҷараёни ҷудокунии уран на танҳо ба баланд гардидани дараҷаи ҷудокунии уран мусоидат мекунад, балки аз ҷиҳати иқтисодӣ низ судманд мебошад, зеро арзиши кислотаи сулфат нисбат ба реактивҳои карбонатӣ хеле пасттар аст. Ҳамин тариқ, татбиқи усули ишқоронии кислотай на танҳо дараҷаи ҷудокунии уранро зиёд мекунад, балки инчунин хароҷоти марбут ба коркарди кимиёвии маъданро оптимизатсия менамояд.



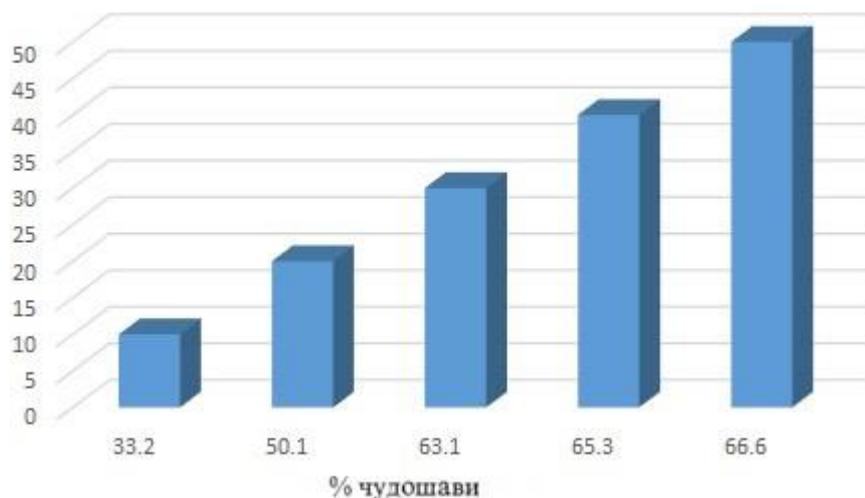
Расми 25. – Методикаи коркарди гидрометаллургии маъданҳои урандори кони «Тоҷикистони Ғарбӣ» бо усули кислотагӣ

Дар Расми 26 натиҷаҳои таҷрибавӣ оварда шудаанд, ки вобастагии дараҷаи ҷудокунии уранро аз консентратсияи кислотаи сулфат ҳангоми коркарди маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ – 2» инъикос менамояд. Дар ин тадқиқот параметрҳои раванди технологӣ тағйир дода нашуданд: ҳарорати реаксия дар сатҳи 60°C нигоҳ дошта шуд, давомнокии коркард 60 дақиқа ва таносуби фазаҳои саҳт ва моеъ устувор боқӣ монд — 1:2.

Таҳлили раванди ишқоронии кислотаи маъдани урандор нишон дод, ки истифодаи маҳлули 30%-и H_2SO_4 дараҷаи максималии истихроҷи концентрати уранро таъмин менамояд. Бо зиёд кардани консентратсияи кислота аз 30% боло, тағйироти назаррас дар самаранокии ҷудокунии уран ба назар намерасад, ки ин аз расидан ба ҳадди ҳалшавӣ шаҳодат медиҳад.

Ҳамин тариқ, барои таъмин намудани ҷудокунии оптималии уран тавсия дода мешавад, ки маҳлули 30%-и кислотаи сулфат бо иловаи кислотаи нитрат дар раванди технологӣ истифода бурда шавад. Дар ин шароит, давомнокии ишқоронӣ 60 дақиқа мебошад. Риояи чунин параметрҳо имкон медиҳад, ки коэффитсиенти ҷудокунии уран дар сатҳи 66,6% ба даст оварда шавад, ки самаранокии усули интиҳобшударо тасдиқ менамояд.

Концентрацияи кислота, %



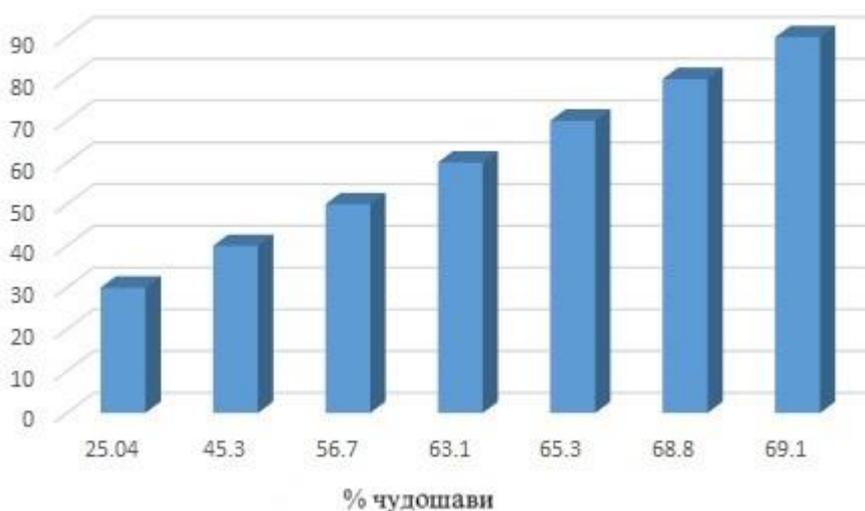
Расми 26. – Вобастагии чудокунии уран аз концентрацияи H_2SO_4 ҳангоми коркарди маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ – 2» ($t=60^{\circ}C$, $\tau=60$ дақ, $C:M=1:2$)

Дар расми 27 натиҷаҳои таҷрибавие оварда шудаанд, ки таъсири ҳарорати раванди технологиро ба ҷараёни чудокунии уран нишон медиҳанд. Ҳамаи дигар параметрҳо собит нигоҳ дошта шуданд: давомнокии ишқоронӣ 60 дақиқа, концентрацияи кислотаи сулфат (H_2SO_4) 30% ва таносуби ҷисми саҳт ва моеъ ($C:M$) 1:2.

Таҳлили натиҷаҳо нишон медиҳад, ки баланд бардоштани ҳарорат таъсири мусбат ба коэффитсиенти чудокунии уран мерасонад. Дар диапазони $60-80^{\circ}C$ афзоиши нишондиҳандаҳо то сатҳи 63–69% ба қайд гирифта шуд, ки ин гувоҳи қобилияти баланди реаксионӣ дар чунин шароит мебошад. Бо вуҷуди ин, афзоиши минбаъдаи ҳарорат ба тағйироти назаррас дар самаранокии раванди ишқоронӣ намеорад, ки ин аз расидан ба сатҳи ҳаддии ҳалшавии уран дар шароити додасуда шаҳодат медиҳад.

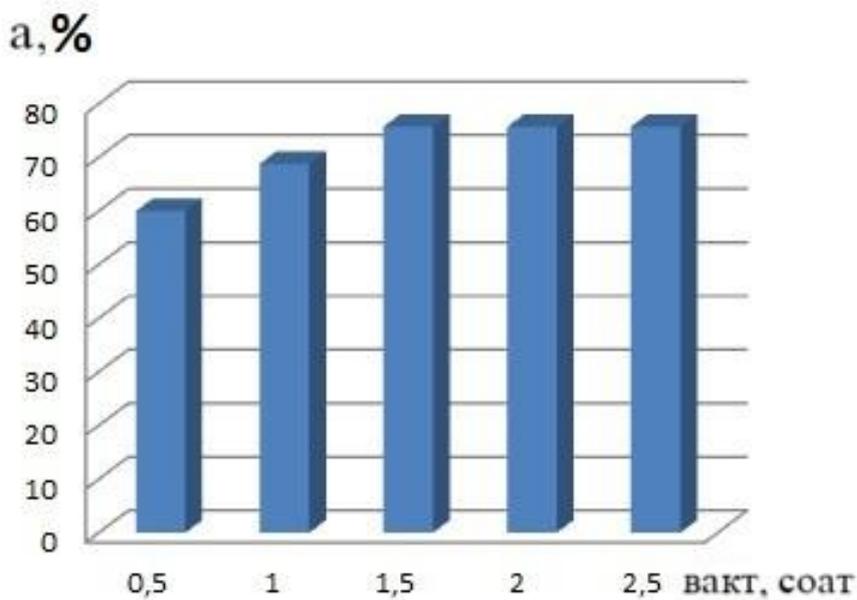
Дар доираи таҳқиқоти мазкур ба таъсири давомнокии ишқоронӣ ба раванди чудокунии уран баҳо дода шуд, ки бо параметрҳои технологияи собит анҷом дода шуд: ҳарорати $80^{\circ}C$, концентрацияи H_2SO_4 – 30% ва таносуби ҷисми саҳт ба моеъ ($C:M$) = 1:2 (Расми 28).

Ҳарорат, $^{\circ}C$



Расми 27. – Омили ҳарорат дар ишқоронии кислотагӣ чудокунии уран аз маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ–2»: таҳлили вобастагӣ ($C(H_2SO_4)=30\%$, $\tau=60$ дақ, $C:M=1:2$)

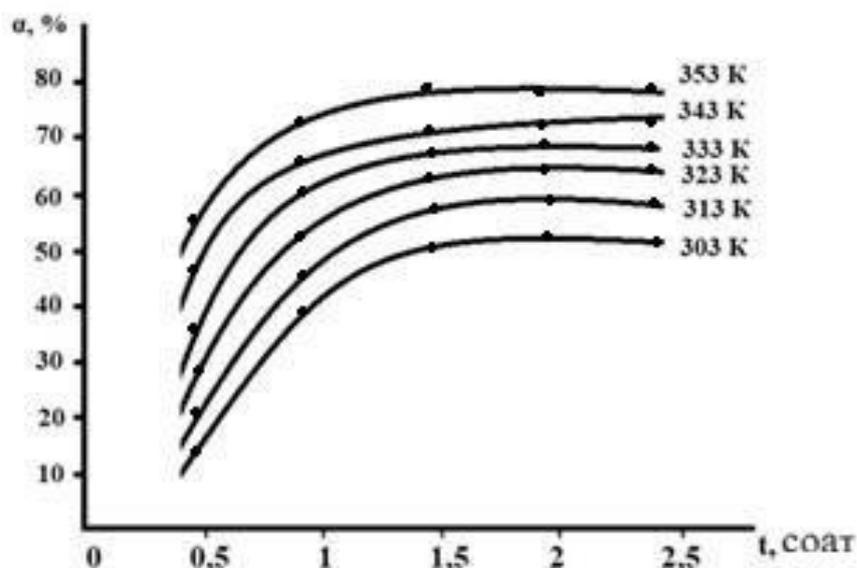
Натиҷаи таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки ҳангоми ишқоронӣ дар давоми 90-дақиқа, сатҳи максималии ҷудокунии уран ба 75,5% мерасад. Аммо идомаи вақти таҷриба аз ин ҳад зиёд дигар ба афзоиши назарраси самаранокии раванд намеорад, ки ин далели расидан ба сатҳи ҳаддии ҳалшавии пайвастиҳои уран мебошад.



Расми 28 – Вобастагии дараҷаи ҷудокунии уран аз давомнокии ишқоронӣ ҳангоми коркарди маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ-2» ($C(H_2SO_4)=30\%$, $t=80^\circ C$, $C:M=1:2$)

Таҳқиқи параметрҳои кинетикии ишқоронии маъдани урандори кони «Тоҷикистони Шимолӣ-2» дар шароити изотермӣ имконият дод, ки параметрҳои самаранокии технологӣ барои равандҳои ишқоронӣ бо кислотаи сулфат муайян карда шаванд. Диапазони оптималии ҳарорат 303–353 К муайян гардид, ки мувофиқ ба таҷрибаҳо, самараноктарин концентратсияи H_2SO_4 — 30% мебошад.

Мутобиқи натиҷаҳои таҷрибавӣ, сатҳи баландтарини ҷудокунии уран ҳангоми ҳарорати $80^\circ C$ ва давомнокии ишқоронӣ 1,5 соат ба даст меояд, ки ба 75,7% баробар мебошад.



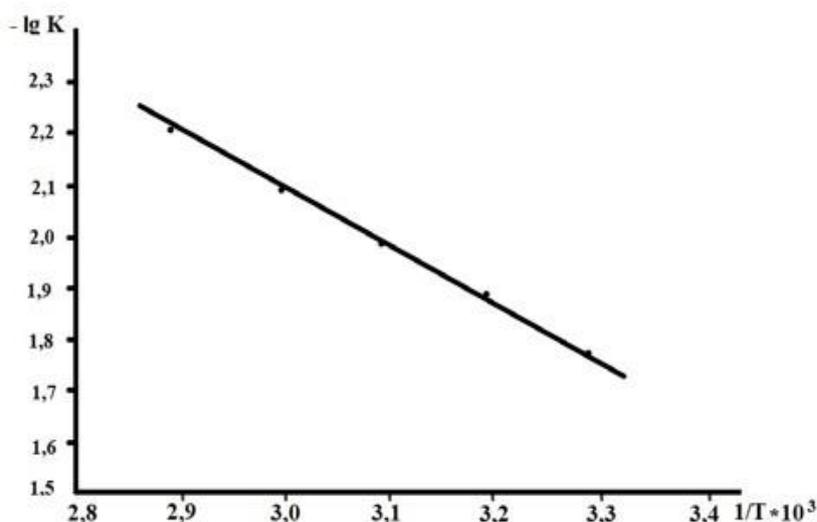
Расми 29. – Вобастагии ҳарорат ва давомнокии ишқоронии маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ-2»: таҳлили қачқатгаҳои кинетикӣ

Дар асоси маълумоти гирифташуда график сохта шуд (расми 29), ки динамикаи ҷудокунии уранро вобаста ба ҳарорат ва давомнокии раванди ишқоронӣ инъикос

менамояд. Таҳлили график нишон медиҳад, ки бо баландшавии ҳарорат аз 303 то 353 К ва зиёд шудани вақти ишқоронӣ аз 30 дақиқа (0,5 соат) то 150 дақиқа (2,5 соат) фоизи чудокунии уран тадриҷан меафзояд. Бо вуҷуди ин, пас аз 150 дақиқа нишондиҳанда устувор мегардад ва афзоиши минбаъдаи давомнокии коркард таъсири назаррас ба самаранокии раванд намегузорад.

Таҳлили графикӣ, ки дар расми 30 оварда шудааст, қонуниятҳои байни логарифми суръати реаксия ($\lg K$) ва ҳарорати мутлақии баръакс ($1/T$) дар раванди ишқоронӣ бо усули кислотагии маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ–2»-ро инъикос менамояд.

Нуқтаҳои таҷрибавӣ мувофиқати хуб бо вобастагии хаттӣ нишон доданд, ки имкон дод энергияи фаълсозӣ ҳисоб карда шавад. Қимати он 15,37 кҶ/моль муайян гардид. Таҳлили гузаронидашудаи таъсири ҳарорат ва давомнокии ишқоронӣ ба суръати реаксияи химиявӣ тасдиқ намуд, ки раванди мазкур дар шароите ҷараён мегирад, ки ба қонуниятҳои диффузионӣ итоат менамояд.



Расми 30. – Вобастагии ҳароратии суръати реаксияи ишқоронии маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ–2»: таҳлили логарифмии константаи k

Дар ҷараёни таҳқиқот механизмҳои коркарди маъдани урандори кони «Тоҷикистони Шимолӣ–2» бо усули ишқоронии кислотагӣ муфассал баррасӣ гардида, раванди технологӣ оптимизатсия карда шуд. Таҳлили ҳамаҷонибаи хусусиятҳои кинетикӣ имкон дод, ки омилҳои калидӣ, ки ба самаранокии чудокунии уран таъсир мерасонанд, муайян карда шаванд. Ба ин омилҳо ҳарорат, давомнокии раванд ва консентратсияи кислотаи сулфат дохил мешаванд. Шароити оптималии чудокунии чунинанд: ҳарорат 80°C, давомнокии коркард 1,5 соат, консентратсияи $H_2SO_4 = 30\%$, таносуби саҳт ба моеъ (С:М) = 1:2. Дар чунин параметрҳо сатҳи баландтарини чудокунии уран таъмин мегардад, ки 75,7%-ро ташкил медиҳад.

Таҳқиқотҳо тасдиқ намуданд, ки раванди ишқоронии маъдани урандори кони «Тоҷикистони Шимолӣ – 2» бо усули кислотагӣ дар шароити изотермӣ мегузарад. Барои омӯзиши муфассали механизм қачхатҳои кинетикӣ сохта шуданд, ки вобастагии параметрҳои ишқорониро аз ҳарорат, давомнокии коркард ва консентратсияи кислота нишон медиҳанд. Дар ҷараёни таҷрибаҳо шароити гуногуни технологӣ баррасӣ гардиданд: диапазони ҳароратӣ 303–353 К, давомнокии реаксия аз 30 то 150 дақиқа, консентратсияи H_2SO_4 аз 10 то 50%.

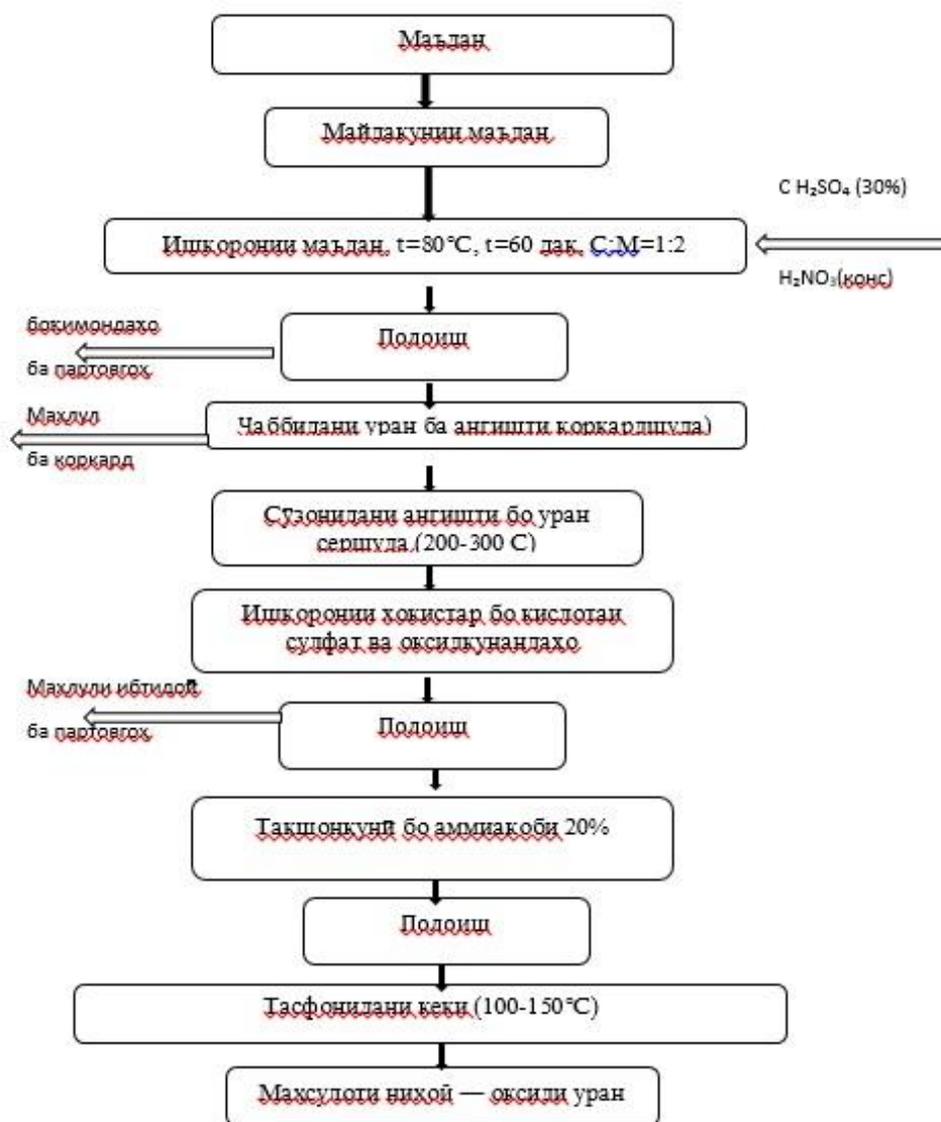
Муайян карда шуд, ки энергияи фаълсозии раванди ишқоронӣ 15,37 кҶ/молро ташкил медиҳад. Натиҷаҳои таҳлили вобастагии ҳароратӣ ва давомноқӣ аз суръати ишқоронӣ нишон доданд, ки раванди мазкур тибқи қонуниятҳои кинетикии хоси реаксияҳои фазаи саҳт ҷараён мегирад. Тарҳи технологӣ барои ба даст овардани уран аз маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ–2» дар расми 31 оварда шудааст.

Характеристикаҳои кинетикии бадастовардашуда ба мо имконият доданд, ки механизмҳои равандро муфассал омӯзем ва параметрҳои раванди технологиро

оптимизатсия кунем. Таҳлили ин омилҳо имкон медиҳад, ки усули коркарди самараноктарин интихоб карда шавад.

Бо мақсади гузаронидани таҳлили муқоисавӣ маълумот оид ба таркиби химиявии маъданҳои урандори як қатор конҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла конҳои «Тоҷикистони Марказӣ» ва «Тоҷикистони Ғарбӣ» оварда шудаанд. Хусусиятҳои бадастомада бо параметрҳои маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ-2» муқоиса гардида, натиҷаҳо дар шакли диаграмма дар расми 32 намоиш дода шудаанд.

Барои намунаи маъдани кони «Тоҷикистони Шимолӣ-2» дифрактограммаи формати хаттӣ гирифта шуд. Тибқи маълумоти таҳлили рентгенофазавӣ (РФА), ин намуна дорои уранинит, ураносиликатҳо ва уранотитанатҳо, ҷинсҳои оҳаксангӣ, инчунин пайвастагиҳои манган ва титан мебошад. Аксари маъданҳои уранӣ, ки дар ҳудуди Тоҷикистон кашф шудаанд, дорои таркиби силикатӣ мебошанд ва бо миқдори зиёди SiO_2 (дар ҳудуди 53,1–69,4%) тавсиф меёбанд.



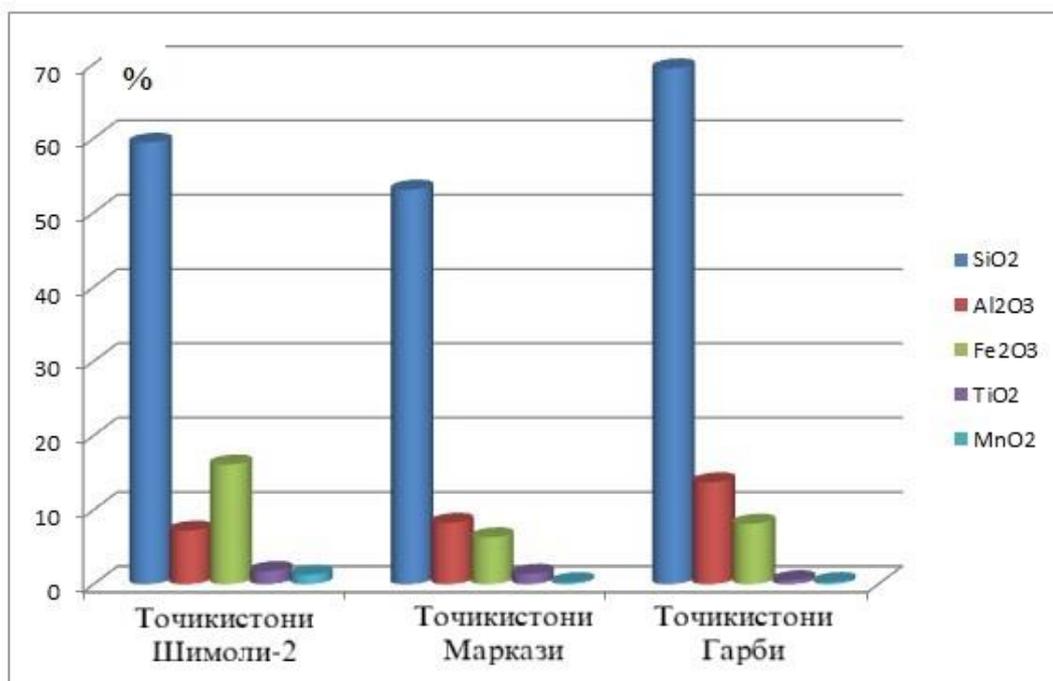
Расми 31. – Нақшаи технологиҳои ҷудокунии уран аз маъдани кони «Шимолӣ Тоҷикистон – 2» бо усули ишқоронии кислотагӣ

Тағйироти консентратсияи уран дар намунаҳои таҳқиқшуда, ки аз 0,11 то 0,24%-ро ташкил медиҳад, зарурати интихоби дақиқи усули оптималии коркарди маъданро ба миён меорад.

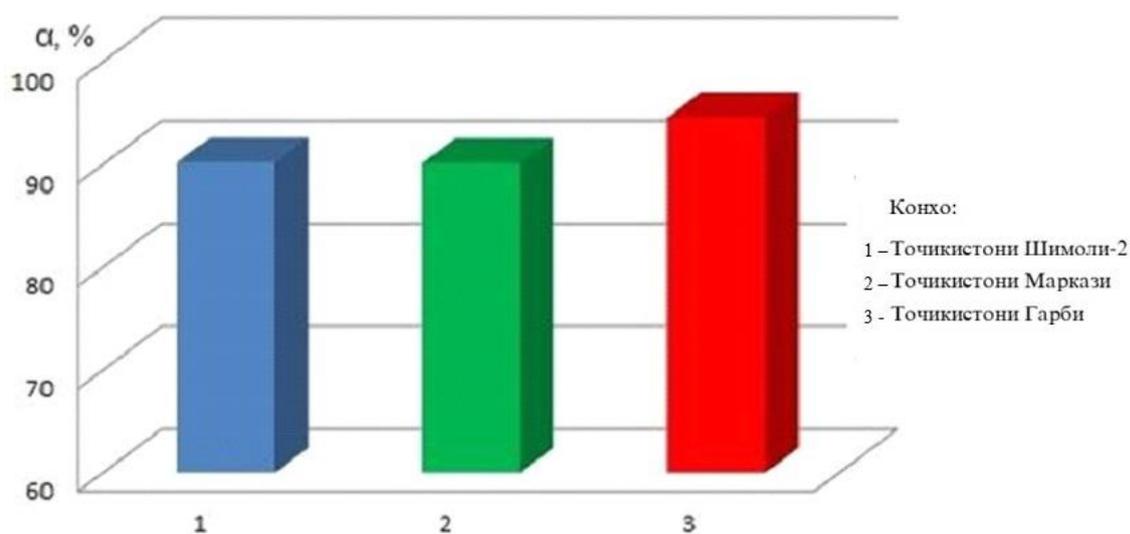
Бо дарназардошти хусусиятҳои ин маъдан, самараноктарин усули коркарди он бо усули ишқоронии кислотагӣ бо истифодаи оксидкунандаҳо мебошад, ки имкони ҳадди

аксар чудо намудани уран ва дигар унсурҳоро фароҳам меорад. Пас аз анҷоми раванди ишқоронӣ, бақияи маъдан метавонад ба коркарди мукамал дучор гардад, ки он имкон медиҳад маводи саноатии иловагии арзишманд, ба мисли оксидҳои алюминий ва оксидҳои оҳан, низ чудо карда шаванд. Ин на танҳо самаранокии иқтисодии раванди коркардро меафзояд, балки ба истифодаи оқилонаи ашёи хом мусоидат намуда, партовҳоро коҳиш медиҳад ва доираи компонентҳои муфидро, ки аз маъданҳои уранӣ ба даст оварда мешаванд, васеъ менамояд.

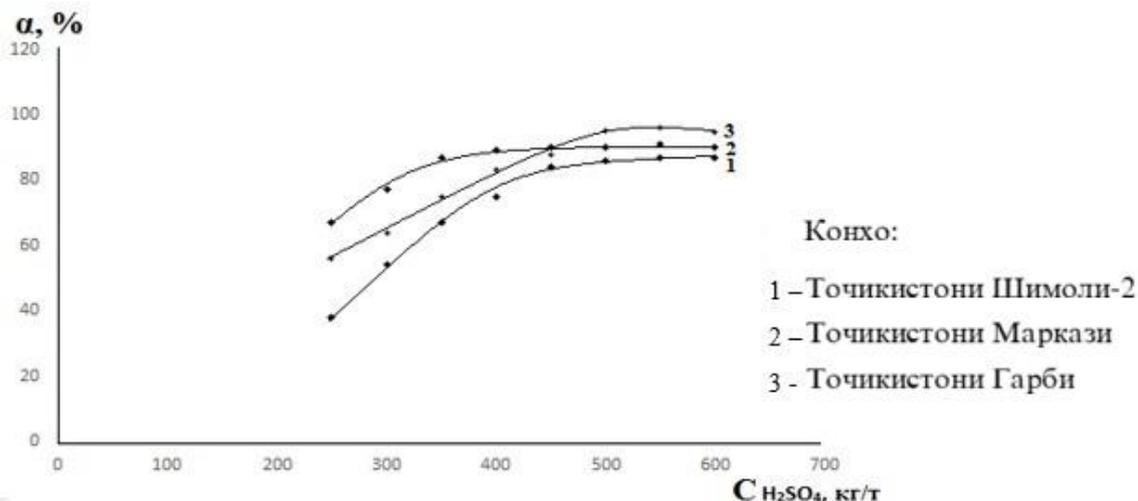
Дар доираи таҳқиқот равандҳои ишқоронии кислотагии ҷинсҳои маъданӣ бо истифода аз кислотаи сулфат (H_2SO_4) мавриди омӯзиш қарор гирифтанд. Ҳамзамон, тағйирёбандаҳои асосии технологӣ, аз ҷумла андозаи зарраҳо пас аз майдашавӣ, консентратсияи реагент (H_2SO_4), давомнокии коркард, истифодаи оксидкунандаҳо ва дигар омилҳо мавриди таҳлил қарор дода шуданд.



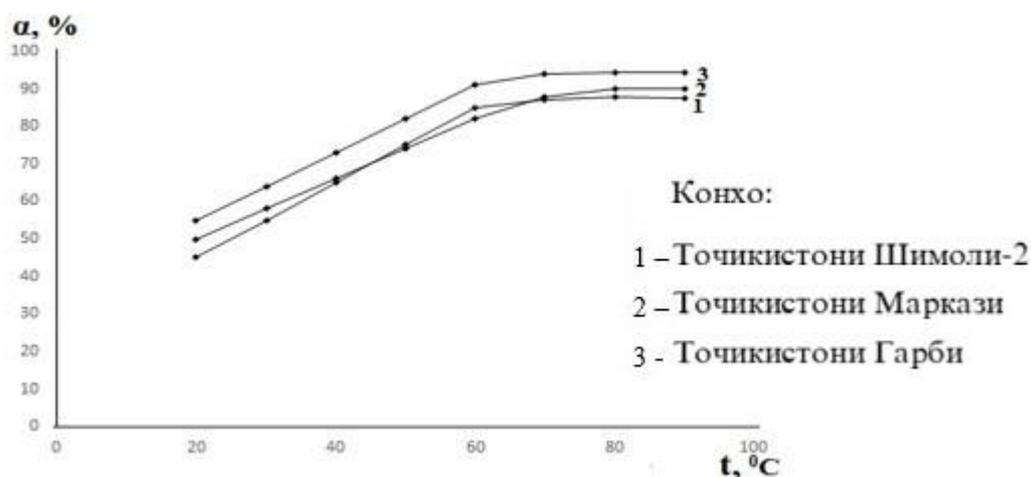
Расми 32. – Муқоисаи таркиби химиявии маъданҳои уранӣ аз қонҳои гуногуни Тоҷикистон: унсурҳои асосӣ ва консентратсияи онҳо (%)



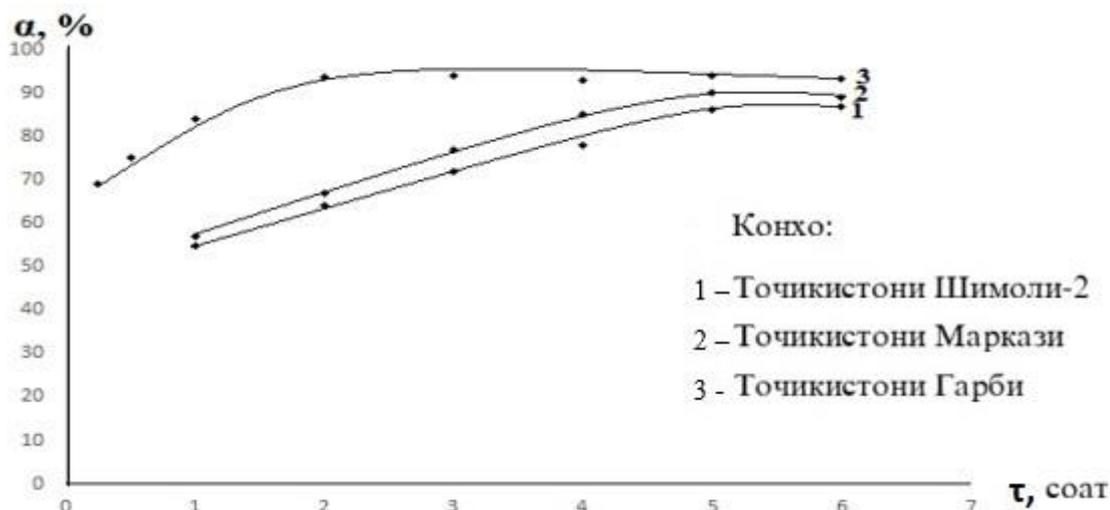
Расми 33. – Таҳқиқоти муқоисавии технологияҳои ҷудокунии уран аз қонҳои Тоҷикистон: таҳлили самаранокӣ



Расми 34. – Таъсири ишқоронии кислотагӣ (бо H_2SO_4) ба коэффитсиенти ҷудокунии уран аз маъданҳои конҳои Тоҷикистон: таҳлили муқоисавӣ



Расми 35. – Таъсири тағйири ҳарорат ба коэффитсиенти ҷудокунии уран аз маъданҳои урандор дар Тоҷикистон: таҳлили муқоисавӣ



Расми 36. – Таъсири давомнокии коркарди кислотагӣ ба дараҷаи ҷудокунии уран аз маъданҳои конҳои Тоҷикистон: таҳлили муқоисавӣ

Дар расми 33 вобастагҳои графикӣ оварда шудаанд, ки равандҳои ҷудо намудани уранро аз маъданҳои конҳои гуногун нишон медиҳанд. Таҳқиқотҳо нишон медиҳанд, ки сатҳи ҷудокунии уран байни конҳо фарқияти калон надорад ва ба ҳисоби миёна

тақрибан 90 фоизро ташкил медиҳад. Бо вучуди ин, намунаҳои маъдан аз кони «Тоҷикистони Ғарбӣ» сатҳи баландтари ҷудокуниро нишон медиҳанд, ки аз 90 фоиз ҳам зиёдтар аст.

Расмҳои 34–36 равшан нишон медиҳанд, ки таъсири параметрҳои калидии технологӣ — вақти ишқоронӣ, низоми ҳароратӣ ва концентратсияи кислотаи сулфат — ба раванди ҷудо намудани уран аз маъданҳои конҳои гуногуни ҷумҳури ҷи гуна аст.

Таҳлили маълумоти графикӣ монандии шакли қачхаттахоро барои ҳамаи конҳои омӯхташуда нишон медиҳад, ки ин аз наздикии таркиби минералогии онҳо шаҳодат медиҳад. Ин далелро тасдиқ мекунад, ки маъданҳои уран, ки дар Тоҷикистон истихроҷ карда мешаванд, дорои хусусиятҳои якхелаи физико-химиявӣ мебошанд.

Технологияи коркарди маъданҳои урандори кони «Помири Шарқӣ»

Дар доираи ин бахш таҳлили мукаммали таркиби химиявӣ ва минералогии маъдани урандори кони «Помири Шарқӣ» анҷом дода шуд, инчунин моделсозии термодинамикии равандҳое, ки дар шароити ишқоронии карбонатӣ ба амал меоянд, гузаронида шуд. Илова бар ин, механизми ишқоронӣ бо истифодаи усули карбонатӣ ба таври муфассал таҳқиқ гардид.

Таваҷҷуҳи асосӣ ба таҳлили параметрҳои кинетикии таҷзияи минералҳо равона карда шуд, ки имконият медиҳад шароити ҷудокунии уран оптимизатсия карда шавад.

Барои арзёбии самаранокии таҷзияи карбонатии маъдани кони мазкур намунаҳо пешакӣ дар осеби лабораторӣ то андозаи зарраҳои 0,1–0,16 мм майда карда шуданд. Пас аз ин, коркард бо маҳлули карбонати натрий гузаронида шуд. Дар натиҷаи тадқиқот параметрҳои оптималии раванди таҷзия муайян гардиданд, ки дар он дараҷаи ҷудокунии уран ба ҳадди баланд мерасад. Муайян карда шуд, ки параметрҳои оптимизатсияшудаи таҷзияи маъдан чунинанд: $t=70^{\circ}\text{C}$, вақти ҳамтаъсиршавӣ бо карбонати натрий 90 дақиқа ва концентратсияи $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 5\%$. Дар ҳолати риояи ин параметрҳо дараҷаи ҷудокунии уран ба 94,14% мерасад.

Илова бар ин, кинетикаи таҷзияи минералҳои уран бо усули ишқоронӣ дар шароити ҳароратии 303–343 К ва бо тағйир додани давомнокии коркард аз 15 то 120 дақиқа омӯхта шуд. Маълумоти бадастомада дар ҷадвалҳои 3 ва 4 ҷамъбаст карда шудаанд.

Ҷадвали 3. – Таъсири давомнокии ишқоронии карбонатӣ ба ҷудокунии уран аз маъдани кони «Помири Шарқӣ»

$C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$, %	С:М	Вақт, дақ	Т, К	Ҷудокунии U, %
5	1:2	15	343	32,82
—«—	—«—	30	—«—	51,34
—«—	—«—	60	—«—	81,81
—«—	—«—	90	—«—	94,14
—«—	—«—	120	—«—	95,84

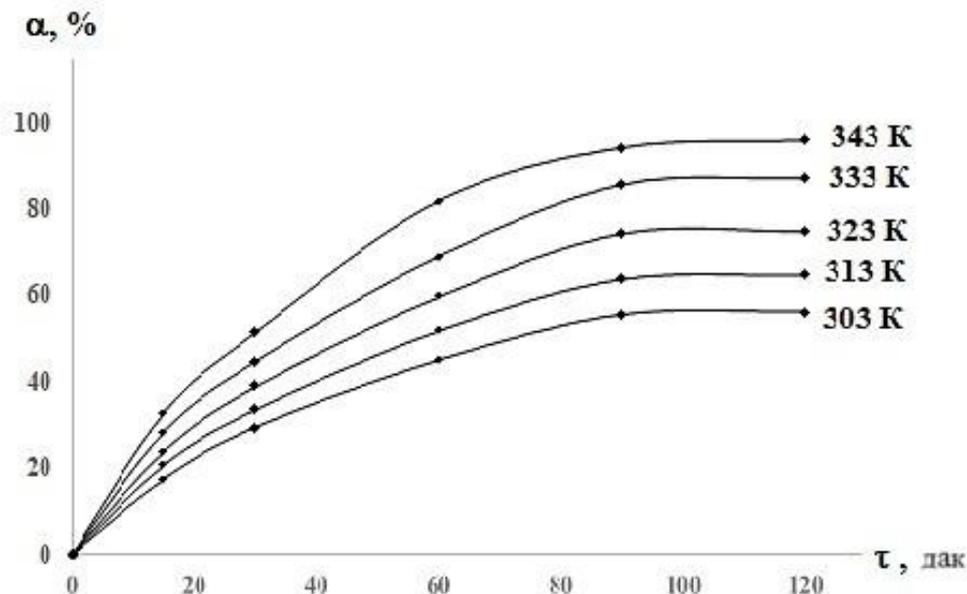
Дар асоси натиҷаҳои бадастомада қачхаттаҳои кинетикӣ сохта шуданд (расмҳои 37 ва 38). Баланд шудани ҳарорат ва дароз гардидани вақти ишқоронӣ ба зиёдшавии назарраси дараҷаи ҷудокунии уран аз маводи маъданӣ мусоидат менамояд. Хусусияти қачхаттаҳои кинетикии бадастомада ба вобастагии параболавӣ ишора мекунад. Арзиши максималии дараҷаи ҷудокунии уран дар вақти давомнокии раванд ба 90 дақиқа ба қайд гирифта шуд.

Ҷадвали 4. – Таъсири давомнокии ишқоронии карбонатӣ ба дараҷаи ҷудокунии уран аз маъдани кони «Помири Шарқӣ»

$C_{Na_2CO_3}$, %	С:М	Вақт, дақ	Т, К	Ҷудокунӣ U, %
5	1:2	90	303	55,4
—«—	—«—	—«—	313	63,71
—«—	—«—	—«—	323	74,35
—«—	—«—	—«—	333	85,5
—«—	—«—	—«—	343	94,14

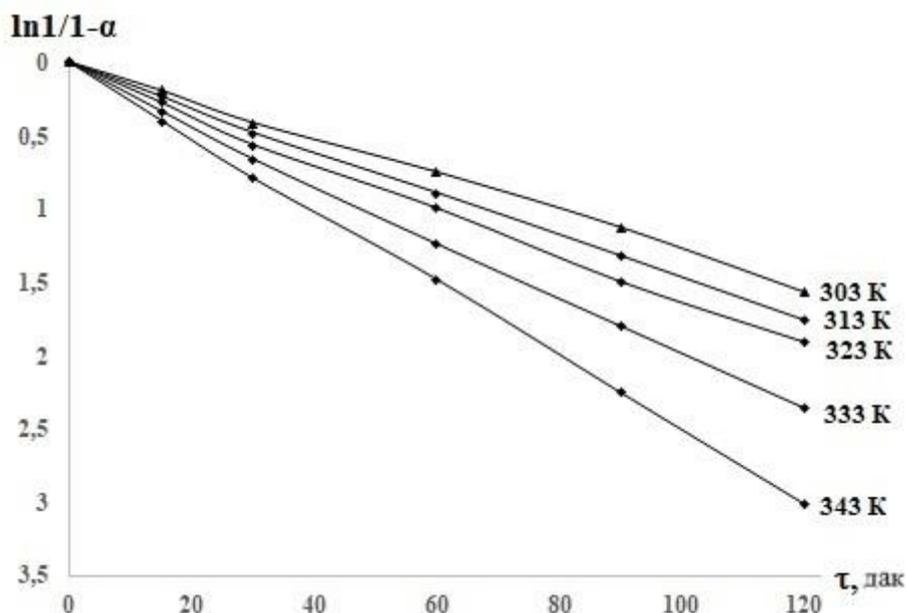
Бо мақсади муайян намудани энергияи фаъолсозӣ ва дақиқ кардани минтақаи ҳароратии ҷараёни ишқоронӣ, графики вобастагии логарифми қиматҳои миёнаи константаҳои суръати реаксия аз андозаи баръақси ҳарорати мутлақ тартиб дода шуд. Хатти вобастагии ҳосилшудаи рост ба он шаҳодат медиҳад, ки раванд ба қонунмандии кинетикӣ мувофиқ аст. Арзиши энергияи фаъолсозӣ мувофиқи тангенс кунҷи нишеби хатти рост ҳисоб карда шуд (расми 39).

Тавре ки аз маълумоти овардашуда дар расми 39 бармеояд, нуқтаҳои таҷрибавӣ қаноатбахш дар канори хатти рост ҷой гирифтаанд. Нишеби хат имкон дод, ки қимати энергияи фаъолсозии зоҳирӣ, ки баробар ба 22,04 кҶ/моль аст, муайян карда шавад. Қимати ҳосилшуда, инчунин хусусияти вобастагии суръати реаксия аз ҳарорат ва вақти раванд нишон медиҳад, ки ишқоронӣ асосан дар минтақаи диффузионӣ ҷараён мегирад.



Расми 37. – Вобастагии дараҷаи ҷудокунии уран аз давомнокии ишқоронӣ дар ҳароратҳои гуногун

Дар натиҷаи муайян намудани шароити оптималии таъзияи маъдан, ҳисоб кардани энергияи фаъолсозӣ ва муайян кардани механизми асосии раванд (дар ин ҳолат, итоат ба қонунмандии диффузионӣ), имкон фароҳам омад, ки самараноктарин низоми коркарди маъдани урандор аз кони «Помири Шарқӣ» интихоб карда шавад, ки ҷудокунии максималии уранро таъмин менамояд.

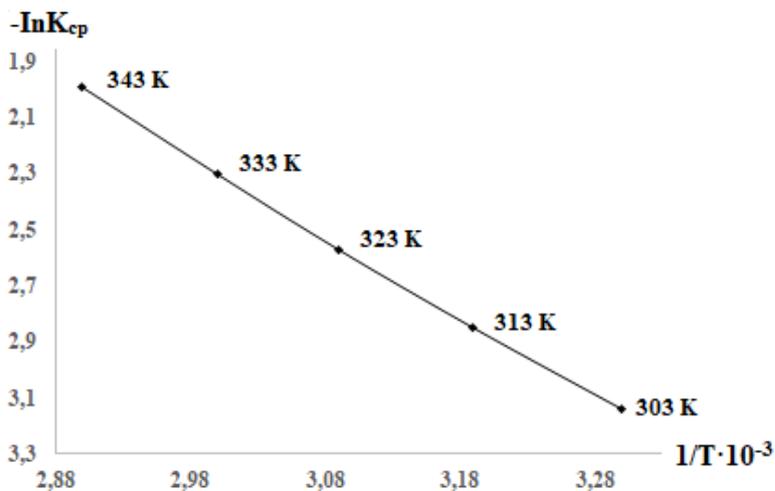


Расми 38. – Вобастагии дараҷаи ҷудокунии уран аз $\ln(1/1-\alpha)$ ва вақт

Ишқоронии кислотагии (бо кислотаи сулфат) партовҳои маҳфузгоҳи «Харита 1-9»

Бо назардошти он ки партовҳои техногении ин маҳфузгоҳ асосан аз квартс (69,4%) иборат мебошанд, онҳо ба ишқоронии кислотагӣ дучор карда шуданд.

Натиҷаҳои тадқиқотҳои лабораторӣ оид ба дараҷаи кушодашавӣ ва гузариши уран ба маҳлул ҷамъбаст гардида, дар ҷадвали 5 оварда шудаанд.



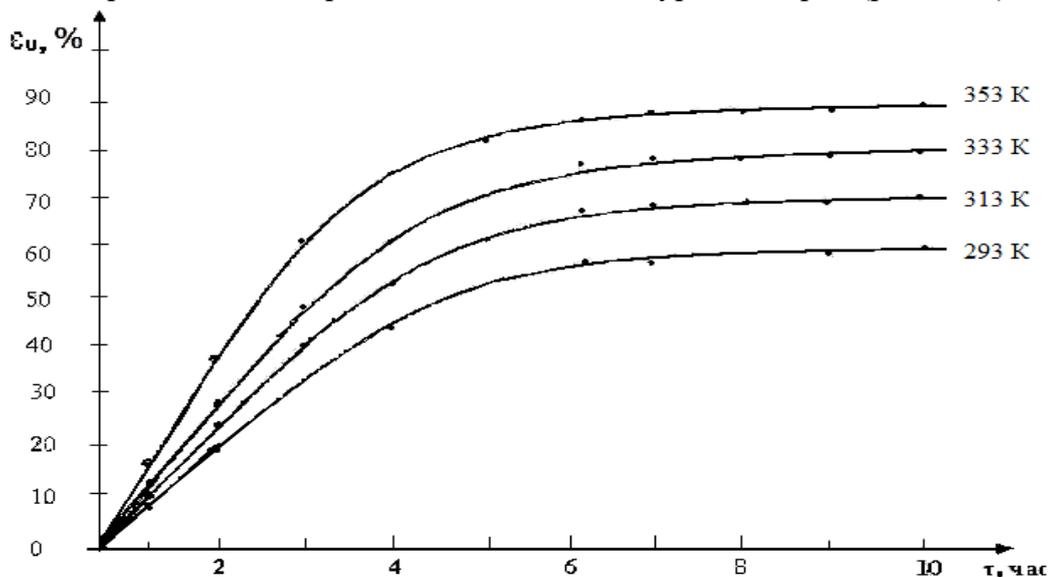
Расми 39. – Вобастагии $\lg K$ аз ҳарорати мутлақи баръакс

Таҳлили маълумот аз ҷадвали 5 нишон медиҳад, ки қорқарди партовҳо бо миқдори уран 0,008–0,021% бо истифодаи кислотаи сулфатӣ ба гузариши он ба маҳлул бо самаранокии 93,85% мусоидат менамояд. Чунин нишондиҳандаи баланд бо қобилияти баланди реаксионии маводи партовӣ нисбат ба таъсири кислотӣ шарҳ дода мешавад. Дар диапазони ҳароратии 80–90°C талафоти назарраси гармӣ мушоҳида мегардад, ки зарурати андешидани чораҳои иловагии гармӣ-изолятсионӣ барои таҷҳизотро ба миён меорад, то сарфи зиёди энергия коҳиш дода шавад. Мутаносибан, дар ҷараёни таҷриба низоми ҳароратии 65–70°C интиҳоб карда шуд, ки дар он тавозуни оптималӣ байни сатҳи ҷудокунии уран ва самаранокии энергетикӣ таъмин мегардад. Давомнокии раванди таҷрибавӣ 6 соат ва таносуби моеъ–саҳт (М:С) 1:1 буд, ки дар расми 40 нишон дода шудааст.

Ҷадвали 5. – Таъсири миқдори масрафи кислотаи сулфат ба дараҷаи ҷудокунии уран ҳангоми ишқоронӣ ($U=0,018\%$, $t=20^\circ\text{C}$, $\tau=10$ соат)

Таносуби С:М=1:1		Таносуби С:М=1:2	
Масрафи кислотаи сулфат, кг/т партов	Гузариши (ҷудокунии) уран ба маҳлул, %	Масрафи кислотаи сулфат, кг/т партов	Гузариши (ҷудокунии) уран ба маҳлул, %
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

Таҳлили қачхатҳои кинетикӣ имкон дод, ки арзиши эмпирикии энергияи фаълосозӣ муайян карда шавад, ки он 6 кҶ/молро ташкил медиҳад. Ин нишон медиҳад, ки раванди ишқоронӣ асосан дар минтақаи кинетикӣ сурат мегирад (расми 41).



Расми 40. – Қачхатҳои кинетикӣ ишқоронии партовҳо (миқдори уран 0,018%) ҳангоми таносуби С:М = 1:2

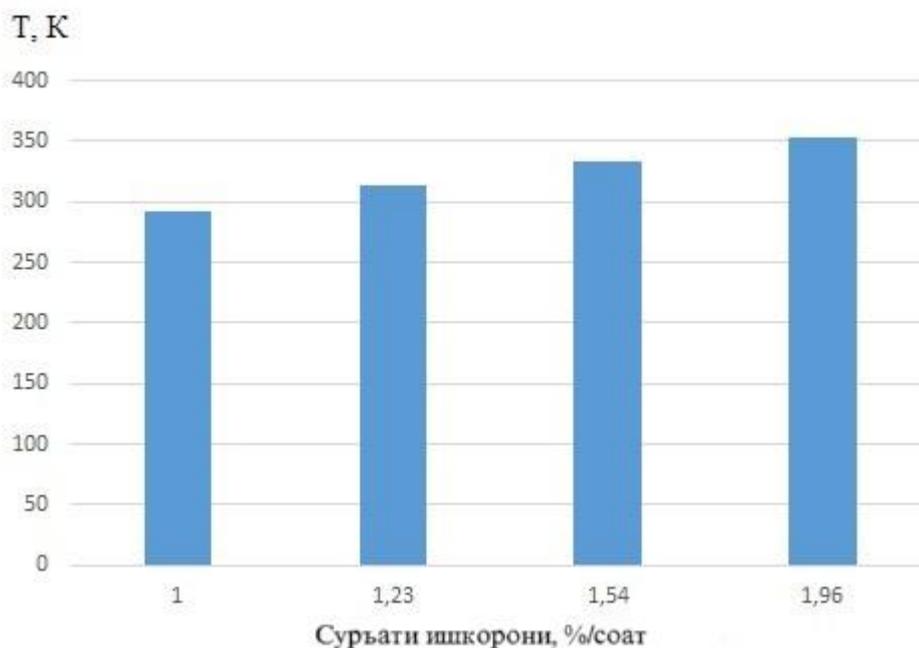
Тадқиқоти гузаронидашудаи равандҳои ишқоронии кислотагии партовҳо имкон дод, ки шароити самараноки ҷудокунии уран муайян карда шуда, параметрҳои равандҳои технологӣ оптимизатсия карда шаванд. Бо мақсади ҷудо кардани оксиди уран (U_3O_8) аз маводи партовӣ, нақшаи такмилёфтаи технологии ишқоронии партовҳои маҳфузгоҳи «Харита 1–9» таҳия гардид (расми 42).

Боби чоруми рисола «Усулҳои сорбсионии ҷудокунии уран аз маҳлулҳо ва обҳои урандори Тоҷикистон» усулҳои гуногуни сорбсионии ҷудокунии уран аз маҳлулҳо ва обҳои урандори Ҷумҳурии Тоҷикистон мавриди баррасӣ қарор дода шудаанд.

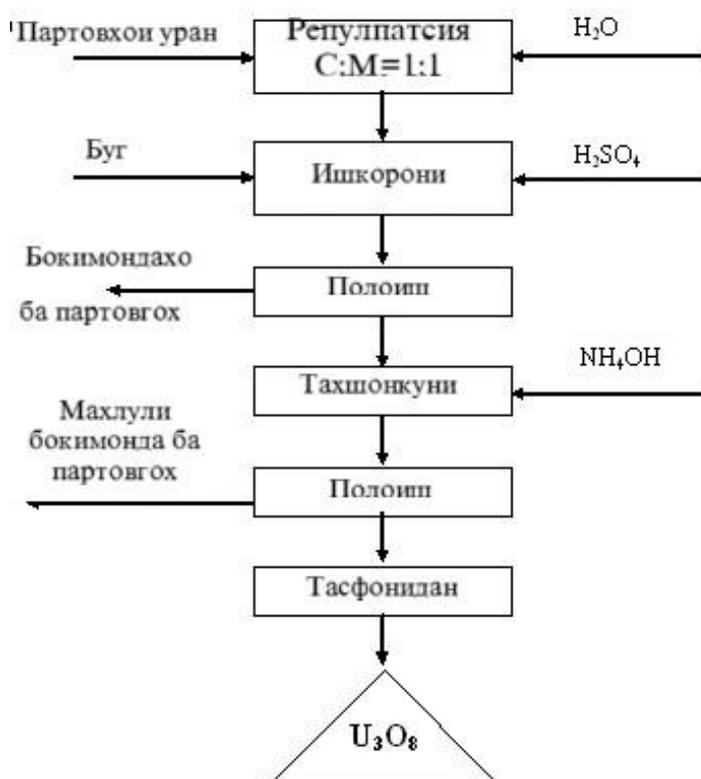
Сорбсияи уран аз маҳлули ишқоронӣ бо истифодаи сорбенти навъи АМ(п)

Аз маъдани кони «Тоҷикистони Марказӣ» уран бо роҳи ишқоронӣ ҷудо карда шуд, ки дар натиҷа маҳлулҳои маҳсулӣ бо таркиби муайяни уран ҳосил гардиданд. Ин

маҳлулҳо минбаъд ба раванди сорбсия гузаронида шуданд, ки дар он анионити навъи АМ(п) истифода ёфт.



Расми 41. – Хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣи ҷудокунии уран аз партовҳои маҳфузгоҳи «Харита 1–9» бо усули ишқоронӣ (бо хароҷоти $H_2SO_4 = 180$ кг/т, энергияҳои фаъолсозӣ = $6,0$ кҶ/моль)



Расми 42. – Нақшаи технологии коркарди партовҳои саноати уранӣ

Истифодаи усули мубодилаи ионӣ, ки дар асоси сорбентҳои махсус таҳия шудааст, бо он вобаста мебошад, ки пас аз коркарди кислотагӣ уран дар маҳлул дар шакли

анионҳои комплекси уранил-сулфатӣ боқӣ мемонад, аз ҷумла: $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$, ки дорои ду гурӯҳи сулфати координационӣ мебошад ва $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$ - ки дорои чор гурӯҳи сулфати координационӣ мебошад. Ҳузури чунин шаклҳои комплекси имкон медиҳад, ки онҳо ба осонӣ ба сорбент пайваست шаванд ва бо ин роҳ ҷудокунии уран аз маҳлул самаранок ба даст оварда шавад.

Ҷудокунии уран аз маҳлули маҳсулӣ (концентратсия = 0,515 г/л) бо истифодаи усули сорбсионӣ гузаронида шуд, ки дар асоси ҷаббиши динамикии пайваستҳои уран тавассути сорбенти навъи АМ(п) асос ёфтааст. Ин усул имкон дод, ки раванди сорбсия ба таври пайваста амалӣ карда шавад, ки дар навбати худ самаранокии ҷудокунии ҷузъи мақсаднокро ба таври назаррас баланд бардошт. Тадқиқот дар шароити стандартӣ — ҳарорати хона ва фишори муқаррарии атмосферӣ — анҷом дода шуданд. Пас аз анҷоми марҳилаи сорбсия, маҳлули боқимонда ба таҳлили химиявӣ дучор карда шуд, ки ин ба арзёбии сатҳи самаранокии раванди ҷалби уран имконият фароҳам овард.

Адсорбсия дар колонкаи таҷрибавии баландии 18 см ва диаметри 2,4 см гузаронида шуд, ки дар он ҳаҷм 45 см^3 сорбент байни ду қабати пахтаи тиббӣ баробар тақсим карда шуд. Ин тарҳ имконияти гузариши якхела ва самараноки маҳлулро таъмин менамуд. Маҳлули маҳсулӣ аз поён ба боло бо суръати 30 мл/дақ дода мешуд, ки ба ҷаббиши уран мусоидат намуда, сатҳи сорбсияро то 47,6% таъмин намуд.

Бо вучуди ин, таҳқиқоти иловагӣ нишон доданд, ки суръати оптималии додани маҳлул 12,3 мл/дақ мебошад. Дар ин шароит самаранокии максималии сорбсия ба даст оварда шуда, ба 99% баробар гардид.

Пас аз сер шудани сорбент бо уран, АМ(п) ба раванди десорбсия дучор карда шуд. Анъанавӣ, барои ин марҳила маҳлули кислотаи сулфат (H_2SO_4) истифода мешавад.

Сорбенти АМ(п) бо ҳаҷми 45 см^3 бо истифодаи маҳлули 15%-и кислотаи сулфат (H_2SO_4) дар шароити динамикӣ дар ҳарорати 50–60°C, сатҳи рН = 1 ва давомнокии 6 соат таҳти коркард қарор гирифт. Дар натиҷа, сатҳи десорбсияи уран ба 99,4% ($\epsilon U_{\text{десорб.}}$) расид, ки нишондиҳандаи хеле баланд мебошад.

Ҳосили бадастомада (десорбат) баъдан бо маҳлули аммиак то сатҳи рН = 8 нейтралізатсия карда шуд. Пас аз ҷудо кардани уран, маҳлул боз бо маҳлули аммиак коркард карда шуд, ки қисми зиёди он барои аз байн бурдани боқимондаи кислота истифода гардид.

Барои тақшонкунии уран маҳлули аммиак бо концентратсияи 18,5% NH_3 истифода шуд, ки раванди он дар давоми 6 соат идома ёфт. Дар натиҷа уран дар шакли «кеки зард» таҳшин шуд ва дараҷаи таҳшиншавӣ ба 97,8% баробар гардид.

Бо мақсади ба даст овардани маҳсулоти ниҳонии савдой, таҳшини «чоки зард» дар ҳарорати 700°C дар давоми 1 соат зери коркарди гармӣ қарор гирифт. Дар натиҷа маҳсулоти ниҳонӣ ба даст оварда шуд, ки таркиби он аз рӯи U_3O_8 ба 74,7% баробар буд.

Сорбсияи уран бо истифодаи ангишти бо ҳарорат коркардашуда

Дар ин таҳқиқот масъалаи сорбсионии ҷудокунии уран бо истифодаи сорбенте, ки дар натиҷаи коркарди ҳароратии ангишти кони Фон-Яғноб ҳосил шудааст, баррасӣ гардид.

Дар боби якуми диссертатсия ишора шуда буд, ки сорбсияи уран марҳилаи муҳими технологияи ба даст овардани уран дар шакли U_3O_8 ба ҳисоб меравад. Дар Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИТ таҳқиқоти васеъ оид ба сорбентҳои гуногун, ки аз ашёи хоми растани маҳаллӣ истеҳсол карда шудаанд, анҷом дода мешавад.

Муайян карда шуд, ки пӯсти донаки зардолу нисбат ба дигар маводи растани, ки дар таҷриба ҳамчун сорбент истифода шуда буданд, хусусиятҳои сорбсионии ба маротиб беҳтар дорад.

Илова бар ин, таҳлили кинетикаи сорбсияи уран аз обҳои конӣ ва дренажӣ, ки дар партовҳои саноати уран ташаккул меёбанд, анҷом дода шуд. Качхатҳои кинетикии ҷудокунии уран дар ҳарорати гуногун (293, 313, 333 К) ва дар интервалҳои вақт аз 1 то 10 соат сохта шуданд. Бо роҳи таҷрибавӣ тасдиқ гардид, ки энергияи фаъолсозӣ 6,0 кДж/моль-ро ташкил медиҳад, ки ин аз ҷараён гирифтани раванд дар шароите шаҳодат

медиҳад, ки ба қонуниятҳои диффузионӣ итоат мекунад.

Бо дарназардошти дастрасии ангиштиҳои конҳои Фан-Яғноб, сорбенте таҳия гардид, ки бо роҳи термикӣ бе дастрасии оксиген коркард кардан ба даст оварда мешавад. Аввалин самти истифодаи ин сорбент ҷаббиши пайвастиҳои уран аз таркиби обҳои конӣ буд.

Раванди сорбсияи уран як қатор марҳилаҳои пайдарпайро дар бар мегирад. Аввалан, ангишти коркардшуда (3–5 г) то андозаҳои зарраҳои 0,25 мм майда карда шуда, ба колонкаи сорбсионӣ ҷойгир карда мешавад. Сипас ба он оби конии урандор илова гардида, система барои 4 соат дар ҳолати оромӣ нигоҳ дошта мешавад, то ки марҳилаи ибтидоии таъсири мутақобила амалӣ гардад. Дар марҳилаи навбатӣ, оби урандор бо суръати 10 мл/дақ тавассути колонкаи сорбсионӣ пайваста гузаронида мешавад. Концентрацияи ибтидоии уран дар маҳлул 0,044–0,051 г/л-ро ташкил меод, ки баъди сорбсия то 0,0039–0,0063 г/л паст шуд. Пас аз анҷоми марҳилаи сорбсия, маҳлули тозашуда ба зарфҳои алоҳида интиқол дода мешавад, дар ҳоле ки ангишти коркардшудаи бо уран пуршуда ба коркарди иловагии термикӣ дар ҳарорати 200–350°C дучор мегардад, ки ин ба сӯхтани комили мавод мусоидат мекунад.

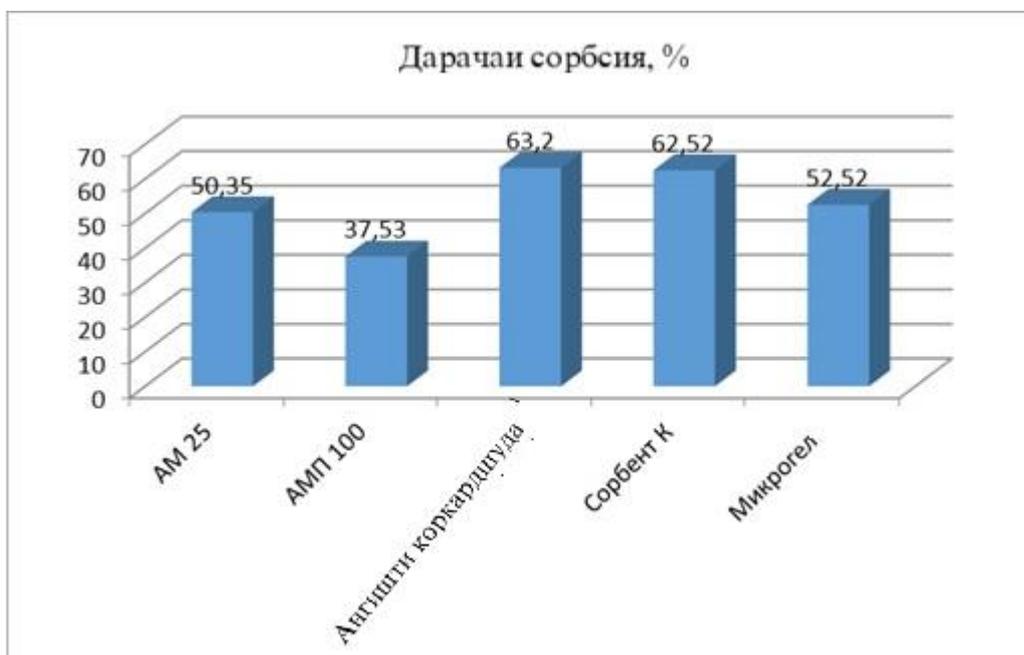
Раванди коркарди хокистари урансодоста якҷанд марҳилаи пайдарпайро дар бар мегирад. Дар марҳилаи ибтидоӣ хокистар бо истифодаи маҳлули кислотаи сулфат дар якҷоягӣ бо оксидкунандаҳо (кислотаи сулфат ва оҳани севалента) коркард мегардад. Ин реагентҳо ба ҳадди максималӣ ҳал шудани пайвастиҳои уран мусоидат мекунад. Маҳлул пас аз ишқоронӣ полоиш карда мешавад ва дар натиҷа маҳлул бо уранилсулфат ҳосил мешавад. Маҳлули тозашуда бо маҳлули аммиак коркард мегардад, ки дар натиҷа уран ба шакли оксиди U_3O_8 тақсон мешавад. Марҳилаи ниҳонии маҳсули ҳосилшуда дар шароити вакуумӣ дар ҳарорати 100–150°C хушк карда мешавад. Иҷрои ин технологияи марҳилавӣ имкон медиҳад, ки маҳсулоти ниҳонӣ бо самаранокии 90–95% ва тозагии баланд ҳосил гардад.

Ҷадвал 6. – Параметрҳои оптимизатсияшудаи ҷудокунии уран аз обҳои ҷохӣ бо усули сорбсия (сорбент – ангишти бо ҳарораткоркардшуда)

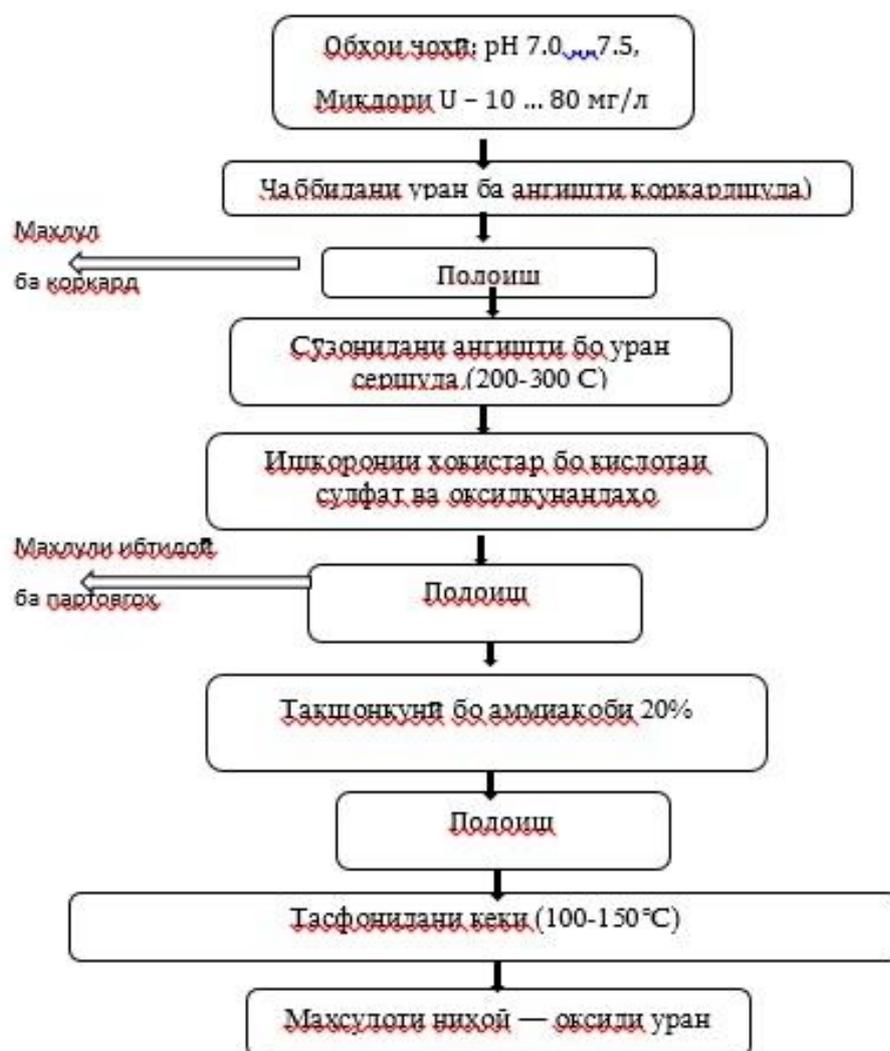
Параметрҳои сорбсия	Қиммат
Ҳарорат дар хучра	298.15 К
Массаи сорбент дар колонаи сорбсионӣ	5 г
Балансии қабати сорбент дар колонна	25-30 мм
Андозаи қисмати сорбент	до 0.25 мм
Ҳаҷми обе, ки аз дохили колона гузаронида шуд	10 литров
Миқдори уран дар оби ибтидоӣ	0,044–0,051 г/л
Ҷоизи ҷудошавии уран аз обҳои ҷохӣ	90-95 %

Барои таҳлили васеъ иловатан таҳқиқотҳои раванди сорбсияи уран гузаронида шуданд, ки дар онҳо маводҳои сорбсионии алтернативӣ истифода шуданд. Таҷрибаҳо дар низоми статикӣ анҷом дода шуданд, ки ин имкон дод, ки хосиятҳои сорбсионӣ ва самаранокии онҳо дар муқоиса бо микрогел арзёбӣ карда шавад. Натиҷаҳои ниҳонии таҳлил дар расми 43 оварда шудаанд.

Дар асоси параметрҳои оптимизатсияшудаи ҷараёни ҷудокунии пайвастиҳои уран аз обҳои ҷохӣ бо истифода аз усули сорбсия дар сорбент – ангишти бо ҳарорат коркардшуда, як нақша-технологияи такмилёфтаи ин раванд таҳия гардид (расми 44).



Расми 43. – Хусусиятҳои муқоисавии сорбентҳои гуногун (массаи сорбент – 3 г, ҳаҷми маҳлул – 20 мл, вақти сорбсия – 24 соат, низом – статикӣ)



Расми 44. – Оптимизатсияи раванди сорбсияи уран: истифодаи сорбенти ангишти бо ҳарорат коркардула аз конҳои Фон-Яғноб

Дар боби панҷуми диссертатсия бо унвони «Таъсир ба муҳити зисти истеҳсоли концентратҳои уран аз маъданҳо» масъалаҳои таъсири радионуклидҳо ба муҳити зист ҳангоми истеҳсоли концентратҳои уран мавриди баррасӣ қарор дода шудаанд. Дар маркази таваҷҷуҳ вазъияти радиологӣ дар маҳфузгоҳҳои уран ва таъсири онҳо ба маҳалҳои аҳолинишини Ҷумҳурии Тоҷикистон қарор дорад.

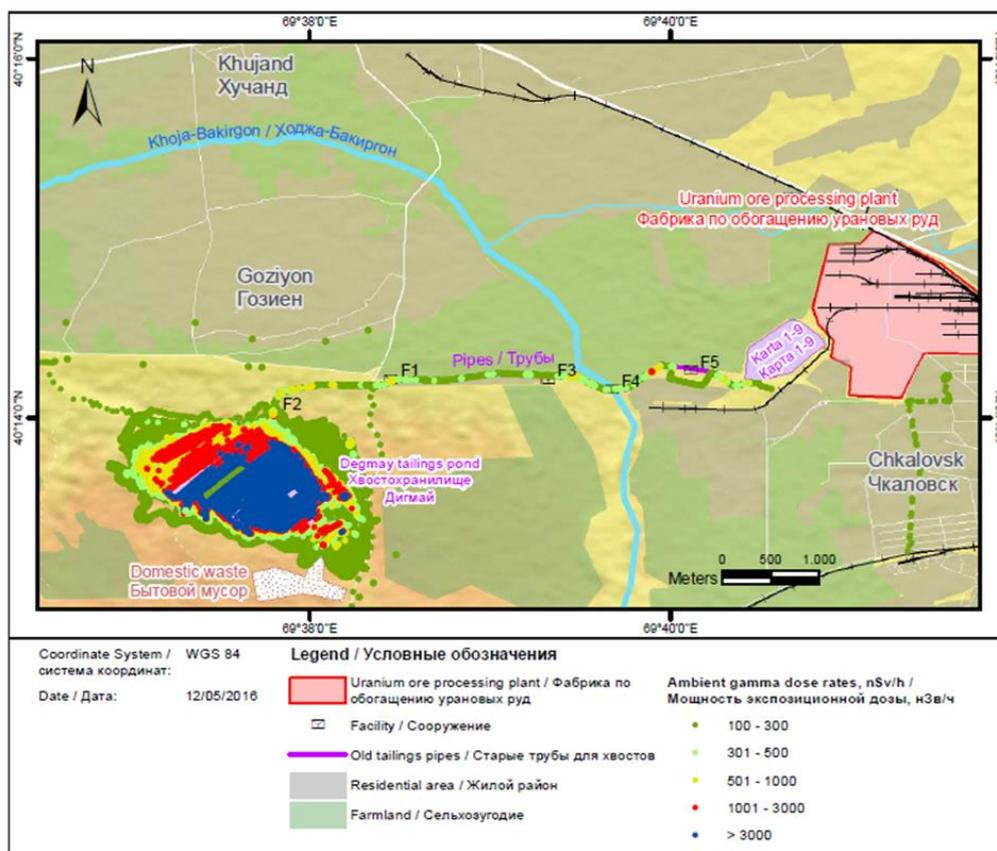
Дар кори мазкур вазъияти радиатсионӣ дар маҳфузгоҳи Дегмой омӯхта шудааст. Тадқиқотҳо хусусиятҳои шароити саҳроӣ, геосферӣ ва биосферии объектҳои меросиро дар бар гирифта, ҳамзамон мониторинг ва ченкуниҳои параметрҳои зерин гузаронида шуданд:

Тавоноии дозаи эквиваленти амбиентӣ (ТДЭА –гамма фон);

концентратсияи радон дар ҳавои атмосфера;

концентратсияи радон дар дохили биноҳо.

Меъёрҳои ТДЭА дар ҳудуди маҳфузгоҳи Дегмой дар расми 45 оварда шудаанд.



Расми 45. – ТДЭА дар маҳфузгоҳи Дегмой

Мониторинги тавоноии дозаи эквиваленти амбиентӣ (ТДЭА) дар тамоми ҳудуди маҳфузгоҳи Дегмой ва қитъаҳои ҳамсоя то расидан ба сатҳи табиӣ радиатсия (150–200 нЗв/соат) анҷом дода шуд.

Натиҷаҳои ченкуниҳо нишон доданд, ки баландтарин сатҳҳои радиатсионӣ (то 12 000 нЗв/соат) дар қисмҳои марказии маҳфузгоҳи Дегмой ба қайд гирифта шуданд.

Омилҳои, ки ба болоравии сатҳи радиатсия таъсир мерасонанд:

- нишастани ғубор дар нишебҳои табиӣ боиси баландшавии маҳаллии ТДЭА то 1 000 нЗв/соат гардид, махсусан дар қисматҳои шимолу шарқӣ ва ҷанубу ғарбии маҳфузгоҳ (қитъаҳо бо таҳшинҳои регӣ ва лойии ранги зарду сурхи қаҳваранг);

- партови маъданӣ ва маъданҳои каммаҳсул низ ба баландшавии заминаи радиатсионӣ мусоидат намуданд, ки дар баъзе ҷойҳо аз 1 000 нЗв/соат ҳам зиёд буд;

- тақрибан 15% ҳамаи ченкуниҳо сатҳи махсусан баланди радиатсияро (>3 000 нЗв/соат) нишон доданд.

Илова бар ин, ТДЭА дар канори қубурҳои партовбар низ чен карда шуд. Дар қубурҳои № 1, 2 ва 3 сатҳҳои баландтар (>500 нЗв/соат) мушоҳида шуданд, ки бо таҳшинҳо ва маводи партови дохили онҳо вобаста буд.

Барои муайян кардани таркиби радионуклидҳо 8 ҷоҳ парма карда шуд. Дар кернҳои пармакорӣ чунин параметрҳо таҳлил гардиданд:

- параметрҳои лабораторӣ – миқдори металлҳо (мг/кг) U, As, Ni, Cr, Fe, Sr, Sb, Se, Sc, Zn, Co дар 11 намуна;
- муайян кардани радионуклиди Ra-226 – дар 7 намунаи кернӣ;
- таҳлили пурраи изотопӣ – дар як намунаи кернӣ;
- санҷишҳои геотехникӣ – барои 40 намуна иҷро шуданд.

Натиҷаҳои таҳлили радионуклидҳо дар намунаҳое, ки ҳангоми корҳои пармакорӣ гирифта шудаанд, дар ҷадвали 7 оварда шудаанд.

Илова бар ин, вазъияти радиатсионӣ дар минтақаи партовҳои урании шаҳри Истиклол низ таҳқиқ шуд. Фони табиӣ гамма-радиатсия дар шаҳри Истиклол 140–150 нЗв/соатро ташкил медиҳад. Дар минтақаи конҳои Табошар сатҳи фони радиатсионӣ назар ба меъёр ба маротиб баландтар буда, ба ҳисоби миёна 239 нЗв/соатро ташкил дод (бо тақия ба 33 ченкуниҳо дар нуқтаҳои гуногун).

Ҷадвали 7. – Натиҷаҳои таҳлили маводи партовӣ аз рӯи баъзе радионуклидҳо, Деҳмӯй

№ намуна	Мавод / чуқурӣ	U-238	Ra-226	Pb-210	U-235	Ra-228	Th-228	K-40
		Бк/кг						
DB2_R2	Маводи партов (керн) / 19.0-19.2 м	912	3900	4230	42	67	68	1080
DB3_R2	Маводи партов (керн) / 18.3-18.5 м	789	4950	5060	36	70	77	1160
DB4_R3	Маводи партов (керн) / 30.6-30.75 м	574	9640	9790	26	64	64	994
DB5_R1	Маводи партов (керн) / 5.0-6.0 м	550	9290	9570	25	50	45	672
DB5_R2	Маводи партов (керн) / 19.2-19.3 м	1100	31100	30200	51	136	140	667
DB5_R3	Маводи партов (керн) / 25.5-25.6 м	985	33700	33000	45	115	125	711
DB6_R2	Маводи партов (керн) / 28-28.8 м	610	6000	6110	28	66	65	1030
DB7_R3	Маводи партов (керн) / 29.2-29.35 м	582	6290	6160	27	55	55	955

Дар нуқтаҳои муайяншуда, ки берун аз минтақаҳои ифлосшавӣ, вобаста ба истихроҷ ва ғанисозии уран ҷойгиранд, қиматҳои таъвоноии дозаи эквиваленти амбиентӣ (ТДЭА) чунин тағйир ёфтанд: 153 нЗв/соат (дар қитъаҳои боғдорӣ) ва 467 нЗв/соат (дар баромадҳои ҷинсҳои асли дар Табошари Кӯҳна).

Мониторинги ТДЭА дар ҳамаи объектҳои минтақаи кони маъдан ва ҳудудҳои ҳамсарҳад то ба сатҳи фони табиӣ расидан гузаронида шуд.

Баландтарин сатҳҳои радиатсия дар қисмҳои марказии маҳфузгоҳ ва дар тепаҳои партови маъданҳои уран ба қайд гирифта шуданд. Омилҳои асосии ифлосшавӣ — радон, ғубор аз маҳфузгоҳҳо ва шусташавии уран ба обҳои зеризаминӣ мебошанд.

Ҳамин тавр, таҳқиқоти анҷомшуда нишон медиҳанд, ки вазъияти радиатсионӣ дар минтақаҳои истихроҷи уран ниёз ба назорати доимӣ ва андешидани ҷораҳо барои қоҳиш додани таъсир ба муҳити зист ва саломатии аҳоли дорад.

Дар боби шашум «Муҳокимаи натиҷаҳо» муҳокимаи ин кори диссертатсионӣ оварда шудааст. Ин тадқиқот натиҷаи ҷамъбасти фаъолияти илмӣ мебошад, ки дар доираи самтҳои зерин аз тарафи Агентии амнияти ХБРЯ амалӣ карда шудааст:

- «Таҳқиқи асосҳои технологӣ оид ба коркарди маъданҳои урандор ва партовҳои

саноати уран» (Рақами бақайдгирии давлатӣ: ҚД № 102 ТД 843, давраи иҷро: 2010–2014);

- «Асосҳои физикӣ-кимиёвӣ ҷудо намудани уран аз маъданҳо ва обҳои ҷой ва техникаи дорои уран» (Рақами бақайдгирии давлатӣ: ҚД № 00470 ТД 0115, давраи иҷро: 2015–2019);

- «Асосҳои физикӣ-кимиёвӣ экологияи радиатсионӣ, таҳияи харитаҳои радиоэкологӣ ва мониторинги радиатсионии биосфераи Тоҷикистон» (Рақами бақайдгирии давлатӣ: ҚД № 00471 ТД 0115, давраи иҷро: 2015–2019);

- «Асосҳои физикӣ-кимиёвӣ ҷудо намудани концентратҳои уран аз маъданҳо ва партовҳо» (Рақами бақайдгирии давлатӣ: ҚД № 0120 ТД 01030, давраи иҷро: 2020–2024);

- «Тадқиқоти радиоэкологӣ дар объектҳои, ки радионуклидҳо доранд» (Рақами бақайдгирии давлатӣ: ҚД № 0120 ТД 01031, давраи иҷро: 2020–2024).

Дар доираи таҳқиқот таҳлили ҳамаҷонибаи адабиёти илмӣ, ки ба коркарди маъданҳои уран ва партовҳои техногенӣ дорои уран бахшида шудааст, анҷом дода шуд. Баррасии анҷомдодашуда доираи васеи усулҳои технологиро оид ба коркарди ашёи хоми урандор дар бар гирифта, ба хусусиятҳои қандан ва коркарди қонҳои, ки дар қаламрави Тоҷикистон ҷойгиранд, диққати махсус дода шудааст.

Дар ин тадқиқоти диссертатсионӣ равандҳои ҷудо ва коркарди захираҳои уран аз қонҳои «Тоҷикистони Шимолӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ», «Тоҷикистони Шимолӣ – 2», «Помири Шарқӣ» ва «Танзим» омӯхта шудаанд.

Дар доираи таҳқиқот таҳлили муфассали таркиби химиявӣ минералогии маъданҳои урандори қони «Тоҷикистони Марказӣ» гузаронида шуда, инчунин таркиби изотопии ашёи хоми маъдани қони «Танзим» ба таври муфассал омӯхта шудааст. Равандҳои ҷудо намудани уран бо усули ишқорӣ сернокислотӣ бо истифодаи оксидкунандаҳои гуногун, аз ҷумла пероксидаи гидроген (H_2O_2), диоксидаи манган (MnO_2 , пиролюзит) ва кислотаи нитрат (HNO_3) таҷрибавӣ омӯхта шуданд. Муайян гардид, ки баландтарин дараҷаи ҷудо шудани уран ҳангоми истифодаи пероксидаи гидроген ба даст меояд. Илова бар ин, таъсири дараҷаи ишқорӣ муҳит ба самаранокии ҷудо намудани уран дар маҳлули кислотаи сулфат таҳлил карда шуд.

Таҳлили комплекси хусусиятҳои кинетикии раванди ишқоронӣ гузаронида шуд, ки дар натиҷа вобастагии графикаи суръати ҷудо шудани уран дар интервали ҳароратии 293–353 К бо давомнокии ишқоронӣ аз 1 то 6 соат сохта шуданд. Қимматҳои энергияи фаълшавӣ барои оксидкунандаҳои гуногун муайян карда шуданд: 2,5 кДж/мол барои H_2O_2 , 4,8 кДж/мол барои MnO_2 (пиролюзит) ва 5,7 кДж/мол барои HNO_3 ҳангоми тағйир додани концентратсияи маҳлули кислотаи сулфат. Натиҷаҳои бадастомада нишон медиҳанд, ки раванди ҷудо намудани уран аз ашёи маъданӣ асосан дар минтақаи диффузионӣ сурат гирифта, ба қонунмандии интиқоли масса итоат мекунад.

Тадқиқоти муфассал оид ба механизмҳои таъзияи маъдани урани қони «Тоҷикистони Марказӣ» таҳти таъсири кислотаи сулфат бо концентратсияҳои гуногун анҷом дода шуда, параметрҳои раванд оптимизатсия гардиданд. Шароити оптималӣ чунин муайян шуданд: дараҷаи ниҳии ҷудокунии уран 96% ҳангоми $t = 60^\circ C$, давомнокии коркард = 4 соат, миқдори оксидкунанда — пероксидаи гидроген (H_2O_2) 50 л/т, сарфи кислотаи сулфат — 150 кг/т, ва таносуби сахт:моеъ (С:М) = 1:2.

Таҳқиқи хусусиятҳои физикӣ-кимиёвӣ маъданҳои урандори қонҳои Тоҷикистон инчунин имкон дод, ки технологияҳои коркард барои ба даст овардани концентрати уран аз ашёи хоми маҳаллӣ оптимизатсия шаванд, то ҳосили маҳсулоти ниҳой дар шакли U_3O_8 ба ҳадди аксар расад.

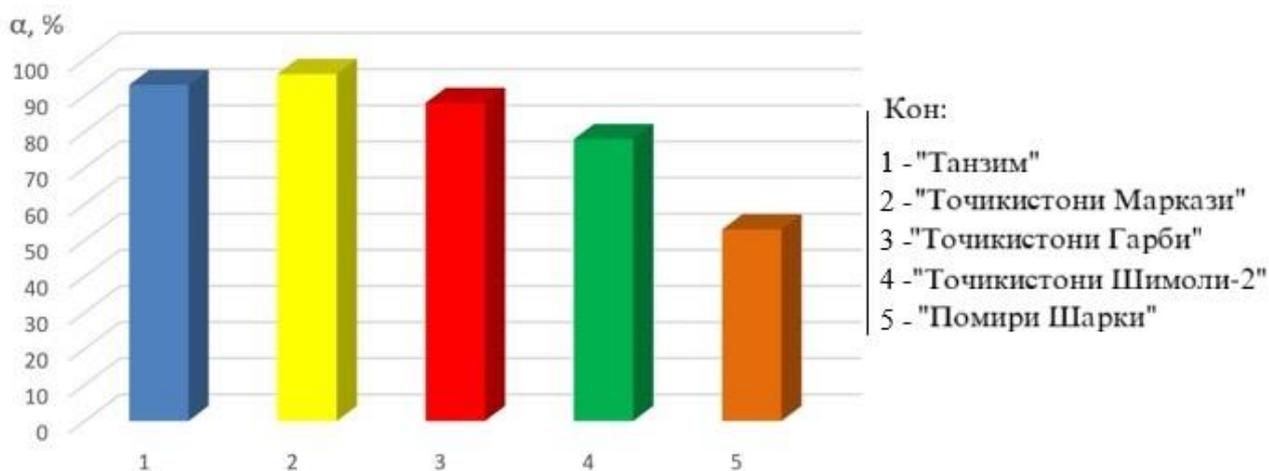
Бо назардошти он ки барои ҳамаи қонҳои баррасишуда раванди таъзияи маъдан бо усули ишқоронӣ кислотӣ омӯхта шудааст, дар расми 46 диаграммаи ҷудокунии уран аз маъданҳои қонҳо оварда мешавад; дар он қони «Тоҷикистони Ғарбӣ» истихроҷи максималӣ ($\geq 90\%$)-ро нишон медиҳад.

Илова бар ин, имкониятҳои сорбсионӣ сорбентҳои табиӣ низ омӯхта шуданд. Хусусан, таҳқиқот ба сорбенти аз пӯсти донаки зардолу бахшида шудааст. Ин усул сармоғузори зиёди амалиётро талаб намекунад ва метавонад дар минтақаҳои

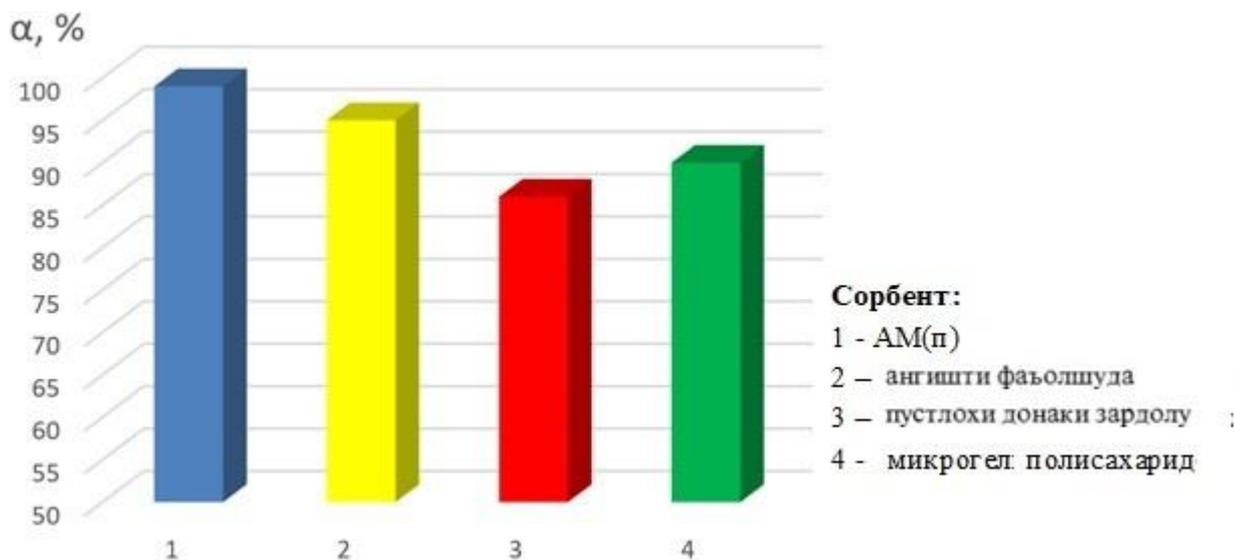
дурдасти кишвар истифода шавад. Усул имкон медиҳад, ки ҳангоми $pH = 8,0$, дараҷаи истихроҷи уран то 86,9% расонида шавад.

Имкониятҳои коркарди пусти донаҳои бо уран ғанигардондашуда чунинанд: сӯзонидан бо ҳалқунии минбаъдаи уран, десорбсия бо маҳлулҳои кислотаи сулфат.

Арзёбии муқоисавии дараҷаи ҷудокунии уран аз обҳои ҷохӣ ва техникаи Тоҷикистон бо истифода аз сорбентҳои гуногун дар расми 47 нишон дода шудааст.



Расми 46. – Самаранокии усули ишқоронии кислотӣ барои маъданҳои урани дар конҳои Тоҷикистон



Расми 47. – Таҳлили муқоисавии хусусиятҳои сорбсионии сорбентҳои гуногун (1–4), ки барои ҷудокунии уран аз обҳои ҷохӣ ва техникаи Тоҷикистон истифода шудаанд

Таҳлили муқоисавии вазъи радиологӣ дар маҳфузгоҳҳои Дехмой ва Истиклол нишон медиҳад, ки сатҳи ифлосшавӣ вобаста ба объект ба таври назаррас фарқ мекунад. Дар Дехмой, баландтарин қимати ТДЭА дар қисмҳои марказии маҳфузгоҳ ба қайд гирифта шуданд, дар ҳоле ки дар объектҳои шаҳри Истиклол ифлосшавии асосӣ ба партовҳои маъданӣ ва нигоҳдории масолеҳи партовӣ вобаста мебошад.

Барои коҳиш додани таъсири радиатсионӣ зарур аст, ки тадбирҳои фаврии солимгардонӣ, инчунин мониторинги доимӣ ва назорати сатҳи ифлосшавӣ дар муҳити зист анҷом дода шаванд.

ХУЛОСАҲО

1. Натиҷаҳои асосии илмӣ рисола

1.1. Истифодаи маҷмӯи усулҳои муосири таҳлилӣ – таҳлили химиявӣ, таҳлили дифференциалӣ-термикӣ (ДТА) ва таҳлили рентгенофазавӣ (РФА) – имконият дод, ки таркиби химиявӣ минералогии маъданҳои уранӣ аз кони «Танзим», «Помири Шарқӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ» ва «Тоҷикистони Шимолӣ-2», воқеъ дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон, ҳамаҷониба тавсиф карда шавад [2-М, 12-М, 15-М, 16-М, 18-М, 23-М, 26-М, 29-М, 36-М, 39-М, 40-М, 42-М, 45-М, 47-М].

1.2. Самаранокии коркарди саноатии маъданҳои уранӣ аз конҳои номбаршуда тасдиқ карда шуд. Концентратсияҳои оптималии кислотаи сулфат ва карбонати натрий муайян гардиданд, ки ба раванди самараноки ишқоронӣ мусоидат мекунанд. Хусусиятҳои кинетикӣ ва параметрҳои термодинамикии реаксияҳо муайян карда шуданд, ки ҷудошавии максималии уранро таъмин менамоянд [2-А, 12-А, 15-А, 16-А, 17-М, 18-М, 23-М, 38-М, 40-М, 42-М, 45-М, 48-М, 49-М, 54-М, 59-М].

1.3. Дар доираи тадқиқот таҳлили кинетикаи ишқоронии уран дар ҳарорати гуногун (293, 313 ва 333 К) ва дар фосилаҳои вақт аз 1 то 10 соат гузаронида шуд. Қимматҳои ҳисобшудаи энергияи ғаёлсозӣ имкон доданд, ки механизми ҷараёни раванд равшан карда шавад ва шароити самараноктари технологӣ муайян карда шаванд, ки ба ҷудошавии максималии уран аз ашёи хоми урандор мусоидат менамоянд [2-М, 12-М, 16-М, 18-М, 23-М, 46-М].

1.4. Нақшаҳои асосии технологӣ барои коркарди маъданҳои уранӣ, ки барои конҳои «Танзим», «Помири Шарқӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ» ва «Тоҷикистони Шимолӣ – 2» хос мебошанд, таҳия карда шуданд. Ҳаллу роҳҳои технологӣ пешниҳод ва асоснок карда шуданд, ки ҷудокунии самараноки уранро аз маъданҳои мазкур таъмин мекунанд. Афзалияти равандҳои таҳияшуда бо он тасдиқ мешавад, ки дараҷаи ҷудошавии уран дар марҳилаи таҳшиншавӣ то ба 99% мерасад [2-М, 9-М, 16-М, 17-М, 18-М, 23-М, 28-М, 47-М].

1.5. Хусусиятҳои термодинамикии равандҳо ҳангоми ишқоронии маъданҳои уранӣ аз конҳои Тоҷикистон бо кислотаи сулфат муайян карда шуданд [20-М, 25-М, 27-М, 28-М, 31-М].

1.6. Имконияти ҷудо кардани уран аз партовҳои маҳфузгоҳҳои уранӣ дар Тоҷикистон нишон дода шуд. Барои ҷудо кардани уран аз партовҳои маҳфузгоҳҳои уранӣ дар Тоҷикистон нақшаҳои технологӣ таҳия карда шуданд [5-М, 11-М, 12-М, 13-М, 14-М, 24-М, 30-М, 35-М, 41-М, 43-М, 50-М, 51-М, 56-М].

1.7. Нақшаи умумии технологӣ барои ҷудокунии пайвастагиҳои урандор аз обҳои шӯри кӯли Сасик-Кӯл таҳия карда шуд. нақша аз якҷанд марҳила иборат мебошад: бухоркунӣ, ишқоронӣ, ҷазби газҳои хлориди гидроген, сорбсия, десорбсия, таҳшинкунӣ, хушккунӣ ва тасфони пайвастагии тайёр. Самаранокии ҷудокунии уран аз обҳои шӯр бо миқдори ионҳои хлорид тасдиқ карда шуд [10-М, 12-М, 22-М, 45-М].

1.8. Усулҳои сорбсионии ҷудокунии уран таҳқиқ карда шуданд. Усулҳои сорбсия бо истифодаи сорбентҳои ионивазкунанда, ангиштҳо ва сорбентҳои табиӣ баррасӣ гардиданд. Самаранокии ангишти бо ҳарорат коркардшудаи кони Фон-Яғноб ва микрогелҳо, ки дар асоси полисахаридҳои пектин сохта шудаанд, омӯхта шуд [3-М, 4-М, 6-М, 7-М, 8-М, 19-М, 21-М, 22-М, 44-М, 52-М, 58-М, 60-М, 62-М].

1.9. Нақшаи технологӣ барои тозакунии сорбсионии обҳои урандор бо истифода аз сорбентҳое, ки дар асоси пӯсти донаҳои зардолу ва микрогел таҳия шудаанд, омода карда шуд. Самаранокии баланди истифодаи сорбентҳое, ки аз ашёи хоми маҳаллӣ гирифта шудаанд, барои бартарафсозии уран аз маҳлулҳои обӣ исбот карда шуд [3-М, 6-М, 19-М, 21-М, 22-М].

1.10. Таҳлили амиқи имкониятҳои ҷудокунии уран аз обҳои табиӣ ва партовҳои истеҳсолоти саноатии уран анҷом дода шуд, инчунин хосиятҳои раванди сорбсионӣ барои баланд бардоштани самаранокии он оптимизатсия гардиданд. Нақшаи технологӣ барои ҷудокунии уран аз обҳои ҷохӣ ва техникаи партовҳои истеҳсолоти уран таҳия шуд, ки марҳилаҳои асосиро дар бар мегирад: туршкунӣ, сорбсия, коркарди

гармӣ, ишқоронӣ, таҳшинкунӣ, полоиш ва хушккунии пайвастагии ҳосилшуда [3-М, 4-М, 6-М].

1.11. Хусусиятҳои радиатсионии маҳфузгоҳҳои уран омӯхта шуданд, минтақаҳои дорои сатҳи баланди радиатсия муайян гардиданд. Концентратсияҳои радон дар ҳавои атмосфера ва таъсири онҳо ба маҳалҳои аҳолинишин таҳлил шуданд. Мониторинги ифлосшавии хок, об ва ҳаво дар минтақаҳои истихроҷи уран гузаронида шуд. Тавсияҳо оид ба солимгардонии заминҳои ифлосшуда таҳия шуданд, ки паст кардани ифлосшавии чангӣ ва чазби радонро дар бар мегиранд [1-М, 32-М, 33-М, 34-М, 37-М, 53-М, 55-М, 57-М, 61-М].

2. Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо.

2.1. Технологияҳои таҳияшудаи коркарди маъданҳои урандори Тоҷикистон барои ба даст овардани пайвастагиҳои уран, ки ҳамчун ашёи хоми ибтидоӣ барои истеҳсоли сӯзишвории ҳастай дар саноати истихроҷ ва коркарди уран хизмат мекунанд, тавсия карда мешаванд.

2.2. Нақшаҳои таҳияшуда бо мақсади баланд бардоштани дараҷаи ҷудокунии уран аз намудҳои гуногуни ашёи хом метавонанд дар корхонаҳои гидрометаллургӣ ҷорӣ карда шаванд.

2.3. Технологияи таҳияшудаи коркарди партовҳои урандор барои ба даст овардани пайвастагиҳои уран ва дигар металлҳо ҳангоми истифодаи конҳои техногенӣ тавсия дода мешавад.

2.4. Ҷорӣ кардани нақшаҳои коркарди дуҷумбораи партовҳои урандор ба истифодаи пурраи захираҳои маъданӣ мусоидат мекунад, ҳаҷми партовҳои хатарнокро кам намуда, принципҳои истеҳсоли бе партовро таъмин менамояд.

2.5. Усуле, ки барои ҷудокунии уран аз обҳои техникаю ҷохӣ таҳия ва тавсия шудааст, метавонад ҳамчун манбаи иловагии ба даст овардани уран истифода шавад.

2.6. Усул барои тозакунии обҳои урандор таҳия ва тавсия шудааст, ки ҳамзамон пешниҳодҳо барои аз байн бурдани мушкилоти экологӣ, ки бо саноати истихроҷи уран вобастаанд, оварда шудаанд. Ин усул метавонад дар технологияҳои безараргардонӣ ва коркарди партовҳои техногенӣ истифода шавад. Нақшаҳои сорбсионӣ, ки дар доираи тадқиқот таҳия шудаанд, барои тоза кардани обҳои техникӣ, ҷохӣ ва дренажӣ аз металлҳои вазнин ва радионуклидҳо — на танҳо дар корхонаҳои уранӣ, балки дар дигар объектҳои истихроҷи маъдан низ қобили мутобиқсозӣ ҳастанд.

2.7. Истифодаи усулҳои пешниҳодшудаи ишқоронии кислотагӣ ва карбонати таҷзия маъданҳои урандор, инчунин ҳисобҳои термодинамикӣ дар ҳатҳои технологӣ, ки бо ашёи хоми ғайриорганикӣ вобастаанд, мувофиқ аст. Истифодаи сорбентҳои маҳаллӣ дар равандҳои тозакунии маҳлулҳо аз радионуклидҳо дар саноати химиявӣ ва радиохимиявӣ тавсия дода мешавад.

2.8. Натиҷаҳои таҳқиқот оид ба мониторинги радиатсионӣ, таҳлили заминаи радон ва тадбирҳои кам кардани ҳавфи радиатсионӣ дар маҳалҳои аҳолинишин метавонанд дар соҳаҳои амнияти экологӣ ва экологияи радиатсионӣ истифода шаванд.

2.9. Тавсия дода мешавад, ки маълумот оид ба ишқоронӣ, термодинамика ва кинетика ба бонки маълумотҳо ворид карда шавад, то барои ҳисобу лоиҳакашии технологияҳои пайвастагиҳои ғайриорганикӣ истифода гардад.

2.10. Тавсия дода мешаванд, ки маводҳои диссертатсия ҳамчун маводи таълимӣ барои омӯзиши донишҷӯёни муассасаҳои таҳсилоти олии касбӣ аз рӯи фанҳои «Технологияи химиявӣ», «Технологияи пайвастагиҳои ғайриорганикӣ», «Химияи физикӣ», «Радиохимия» ва дигар самтҳои вобаста истифода шаванд.

РҶҶҲАТИ ИНТИШОРОТИ МУАЛЛИФ АЗ РҶҶИ МАВЗҶИ ДИССЕРТАТСИЯ -монография

1-М. **Баротов, Б.Б.** Радиоэкологическая ситуация в Республики Таджикистан. / И. Мирсаидзода, М.З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов**, Х.М. Назаров, Ф.А. Хамидов. – Душанбе: Дониш, 2021. – 114 с.

- 2-М. **Баротов, Б.Б.** Технологические особенности переработки ураносодержащих сырья Таджикистана / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, Х.М. Назаров, М.Д. Бобоёров. – Душанбе: Дониш, 2024. – 123 с.
- мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои тақризшавандаи илми аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда нашр шудаанд:*
- 3-М. **Баротов, Б.Б.** Кинетика процесса сорбции урана скорлупой урюка / Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 50. - № 6. – С. 532-535.
- 4-М. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из шахтных и технических вод отходов урановой промышленности / Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 50. - № 8. – С. 703-706.
- 5-М. **Баротов, Б.Б.** Скорлупа урюка как индикатор урана / И.У. Мирсаидов, О.В. Бобошина, Н. Хакимов, **Б.Б. Баротов** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 51. - № 12. – С. 824-825.
- 6-М. **Баротов, Б.Б.** Осаждение диураната аммония из десорбата / Х.М. Назаров, Н. Хакимов, **Б.Б. Баротов** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. - Т. 54. - № 8. - С. 657-660.
- 7-М. **Баротов, Б.Б.** О возможностях извлечения урана из рапы озера Сасык-куль Таджикистана / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, У. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. –Т.54. -№9. –С. 769-773.
- 8-М. **Баротов, Б.Б.** Поиск и возможности переработки отходов урановой промышленности / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, М. З. Ахмедов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54. - № 10. – С. 837-839.
- 9-М. **Баротов, Б.Б.** Перспективы переработки ураносодержащих отходов горной промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, У. Мирсаидов // Известия АН Республики Таджикистан. – 2013. - Т. 56. - № 3. – С. 222-227.
- 10-М. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические и технологические основы переработки ураносодержащих отходов / Ф.А. Хамидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. – 2016. - № 3. – С. 84-89.
- 11-М. **Баротов, Б.Б.** Возможности переработки ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" / С.К. Ходжиев, Х.М. Назаров, **Б.Б. Баротов** [и др.] / Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 3-4. - С. 168-172.
- 12-М. **Баротов, Б.Б.** Сернокислотная добыча урана из рудного месторождения «Центральный Таджикистан» / С. К. Ходжиев, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, М. Д. Бобоеров, У.М. Мирсаидов / Известия АН РТ. – 2017. - Т. 60. - № 4. - С. 71-75.
- 13-М. **Barotov, V.V.** Phisico-Chemical basics of processing of uranium-containing ores of the «Western Tajikistan» deposit / I. U. Mirsaidov, **V.V. Barotov**, M. D. Boboyorov, U. M. Mirsaidov / Applied Solid State Chemistry. – 2019. - № 1. – P. 53-56.
- 14-М. **Баротов, Б.Б.** Термодинамический анализ протекающих процессов при сернокислотном выщелачивании руд месторождений «Западный Таджикистан» и «Центральный Таджикистан» / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, Ш. Р. Муродов, У.М. Мирсаидов / Известия НАН Таджикистана. - 2020. - № 1 (178). - С. 84-88.
- 15-М. **Баротов, Б.Б.** Выделение урановых концентратов из рассолов, дренажных и технических вод / У.М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, К. О. Бобоев, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов), Дж. Н. Эшов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2021. - Т. 64. - № 3-4. – С. 219-223.
- 16-М. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы сернокислотного разложения ураносодержащих руд Таджикистана / М.Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов), К. О. Бобоев, У. М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2021. - Т. 64. - № 1-2. – С. 92-96.
- 17-М. **Баротов, Б.Б.** 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. - 2020. - № 2 (182). - С. 84-89.
- 18-М. **Баротов, Б.Б.** Дифференциально-термический анализ урановых руд Таджикистана / М. Д. Бобоёров, К. О. Бобоев, **Б.Б. Баротов** [и др.] / Доклады НАН Таджикистана. - 2022. - Т. 65. - № 9-10. - С. 643-646.
- 19-М. **Баротов, Б.Б.** Характерные особенности урановых руд ме-сторождений Таджикистана / М. Д. Бобоёров, К. О. Бобоев, **Б.Б. Баротов** [и др.] / Известия НАН Таджикистана. - 2022. - № 4 (189). - С. 90-96.
- 20-М. **Баротов, Б.Б.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд серной кислотой / К. О. Бобоев, М. Д. Бобоёров, Дж.Н. Эшов, **Б.Б. Баротов, У. М. Мирсаидов** / Известия НАН Таджикистана. - 2022. - № 1 (186). - С. 88-92.
- 21-М. **Баротов, Б.Б.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд месторождения «Танзим» / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, Ш. Р. Муродов, У. М. Мирсаидов** // Доклады НАН Таджикистана. - 2022. - Т. 65. - № 9-10. - С. 653-657.
- 22-М. **Баротов, Б.Б.** Особенности анализа урана в урансодержащих рудах и отходах / К. О. Бобоев, М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов, И. Мирсаид-зода** // Доклады НАН Таджикистана. - 2022. - Т. 66. - № 3-4. - С. 218-222.
- 23-М. **Баротов, Б.Б.** Таҳлили термодинамикии равандҳои хими-явӣ ҳангоми таҷзияи кислотагии маъдани урандори қони «Помири Шарқӣ» / А. Ш. Насруллоев, С.С. Рахматшоев, **Б.Б. Баротов, И. Мирсаидзода** // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. - 2024. - № 2/3 (126). - С. 70-73.
- 24-М. **Баротов, Б.Б.** Исследование радиологической ситуации ура-нового хвостохранилища Дегмай, Республики Таджикистан / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, М. А. Зоитова, В. А. Умаров** / Вестник Бо-хтарского государственного университета имени Носира Хусрава. - 2024. - № 2/3 (126). - С. 43-47.
- 25-М. **Баротов, Б.Б.** Радиологической мониторинг хвостохрани-лица Дегмай, Республики Таджикистан с определением мощности амбиент-ного эквивалента дозы и тяжёлых металлов в почве и воде / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, М.А. Зоитова, Ш. Б. Каримова** / Вестник Бо-хтарского государственного университета имени Носира Хусрава. - 2024. - № 2/3 (126). - С. 48-53.
- 26-М. **Баротов, Б.Б.** Исследование радиологической ситуации ура-новых отходов г. Истиклол, Республики Таджикистан / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, Ф.З. Шафиев, Ф. С. Мухиддинова, В. Я. Саидов** / Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. - 2024. - № 2/3 (126). - С. 6-13.
- 27-М. **Баротов, Б.Б.** Получение уранового концентрата из отхо-дов «Фабрики бедных руд» г. Истиклола / С. С. Рахматшоев, **Б.Б. Баротов, Х. М. Назаров, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов), А. С. Курбонов, Т. Г. Хайров** / Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. - 2024. - № 2/3 (126). - С. 63-66.
- 28-М. **Баротов, Б.Б.** Характерные особенности урансодержащих руд месторождения «Восточный Памир» / А. Ш. Насруллоев, С. С. Рах-матшоев, Дж. Н. Эшов, **Б.Б. Баротов, М. Д. Бобоёров, У. М. Мирсаидов** // Доклады НАН Таджикистана. - 2024. - Т.12. - № 3-4. - С. 34-35.
- 29-М. **Баротов, Б.Б.** Радиологический мониторинг на некоторых исторических и туристических объектах Таджикистана / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов, Ш. Р. Муродов, Ф. Мухиддинова, У. М. Мирсаидов** // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2024. - № 2 (195). - С. 93-99.
- 30-М. **Баротов, Б.Б.** Кинетика процесса выщелачивания урансо-держащих руд месторождения «Восточный Памир» / А. Ш. Шарифзода (А. Ш. Насруллоев), С.

С. Рахматшоев, М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, У. М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. - 2025. - Т. 65. - № 9-10. - С. 653-657.

- насприяхо дар маҷаллаҳои конфронси илмӣ ва патентҳо барои ихтироот:

- 31-М. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из природных урансодержащих руд месторождений Северного Таджикистана / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // Материалы VI Нумановских чтений. – Душанбе, 2009. - С. 228-231.
- 32-М. **Баротов, Б.Б.** Uranium extraction from natural uranic ores deposits of Northern Tajikistan / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов // VII Международная конференция «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2009. - С. 235.
- 33-М. **Баротов, Б.Б.** Карбонатное выщелачивание урановых руд месторождения «Танзим» / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Хакимов, М. З. Ахмедов // Материалы семинаров «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». – Душанбе, 2011. - С. 27-29.
- 34-М. **Баротов, Б.Б.** О возможности переработки отходов урановой промышленности Таджикистана / Н. Хакимов, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов, А. М. Баротов, М. З. Ахмедов // Международный семинар «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». - Душанбе, 2012. - С. 43-47.
- 35-М. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых материалов Таджикистана / Б. Б. Баротов, К. А. Эрматов // Республиканская конференция по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических, химических и медицинских объектов. - Душанбе, Таджикистан, 2014. - С. 93-94.
- 36-М. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы выделения урановых концентратов из отходов урановой промышленности / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Ф. А. Хамидов, Ж. А. Мисратов // Международная научно-практическая конференция, посвящённая 1150-летию учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази. – Душанбе, 2015. - С. 16-17.
- 37-М. **Баротов, Б.Б.** Контроль радиационной обстановки окружающей среды Таджикистана автоматизированными системами / О.А. Азизов, Дж.К. Камолзода (Дж. Камалов), **Б.Б. Баротов** // Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования ядерной технологии и проблемы радиационной безопасности в государствах Центральной Азии. - С. 136-142.
- 38-М. **Баротов, Б.Б.** Извлечение уранового концентрата из различных сырьевых ресурсов Таджикистана / И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Н. Н. Рахматов, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов // Международная научная конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», посвящённая 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. - С. 84-87.
- 39-М. **Баротов, Б.Б.** Кинетика процесса разложения урановых руд месторождения «Западный Таджикистан» / М. Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов, С. М. Бахронов, Ш. Р. Муродов // XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». - Душанбе, 2019. - С. 165-167.
- 40-М. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана / И. У. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, М. Д. Бобоёров, С. К. Ходжиев, У. М. Мирсаидов // XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». - Душанбе, 2019. - С. 155-156.
- 41-М. **Баротов, Б.Б.** Эффективность действия окислителя при окислении урана в зависимости от pH среды / М. Д. Бобоёров, С. К. Ходжиев, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов // Республиканская научно-теоретическая конференция «Основы развития и перспективы химической науки в Республики Таджикистан»,

- посвящённая 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика АН РТ И. У. Нуманова. - Душанбе, 2020. - С. 91-94.
- 42-М. **Баротов, Б.Б.** Технологические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана / И. Мирсаидзода, **Б.Б. Баротов**, М. Д. Бо-боёров, К. О. Бобоев, У. М. Мирсаидов // Республиканская научно-практическая конференция «Инновационное развитие науки» с участием международных организации. – Душанбе, 2020. - С. 101-102.
- 43-М. **Баротов, Б.Б.** 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 // XXI Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2021 года: Экологические проблемы XXI века». - Минск, Беларусь, 2021. – С. 279-282. <https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-279-282>.
- 44-М. **Баротов, Б.Б.** Выделение редкоземельных металлов из отходов урановой промышленности Таджикистана / Д.Т. Исозода, Ф.А. Назаров, Х.М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы». – Душанбе, 2023. - С. 48-52.
- 45-М. **Баротов, Б.Б.** Нормативно-правовые сопровождения надзора за проведением реабилитационных работ загрязненных территорий от добычи урана в Республики Таджикистан / У. М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, Ф.А. Хамидов, М. З. Ахмедов, И. Мирсаидзода // XXIII Международная конференция «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века». – Минск, 2023. – Ч. 2. - С. 151-153
- 46-М. **Баротов, Б.Б.** Сравнительная оценка сорбционных свойств сорбентов на основе местных сырьевых материалов Таджикистана / А. Ш. Насруллоев, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода, М. Д. Бобоёров // Маҷмуаи мақолаҳои Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Нақши химия ва саноати химиявӣ дар саноатикунонии босуръати кишвар” бахшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми миллӣ – саноатикунонии босуръати кишвар ва Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф”. - Душанбе, 2024. - С. 141-143.
- 47-М. **Баротов, Б.Б.** Экологическое воздействие урановых отходов на окружающую среду Таджикистана / У.М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода, Ф.А. Хамидов // Маҷмуаи мақолаҳои Конференсияи бай-налмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Саноатикунонии рақамӣ ва рушди энер-гетикӣ аз нигоҳи олимону муҳаққиқон”. – Бохтар, 2024. - С. 150-155.
- 48-М. **Баротов, Б.Б.** Физико-химические основы переработки урансо-держащих руд Таджикистана / К.О. Бобоев, М.М. Шокиров, А.Ш. Насрул-лоев, **Б.Б. Баротов** // Маҷмуаи мақолаҳои конференсияи илмӣ-амалии оли-мони ҷавон «Илм аз дидгоҳи олимони ҷавон» бахшида ба эълон гардидани соли 2024 “Соли маърифати ҳуқуқӣ”. - Душанбе, 2024. - С. 386-389.
- 49-М. **Баротов, Б.Б.** Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными установками / У.М. Мирсаидов, **Б.Б. Баротов**, И. Мирсаидзода, Ф.А. Хамидов // X Международная конференция «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века». – Минск, Республика Беларусь, 2024. - С. 26-32.
- 50-М. **Баротов, Б.Б.** Радиоэкологические проблемы Дигмайского хвостохранилища Таджикистана / Х.М. Назаров, Х.И. Тиллобоев, Б.Д. Бобоев, М.З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов** // Международная научно-практическая конференция «Цифровая индустрия и энергетическое развитие глазами учёных и исследователей». – Бохтар, ГОУ Институт энергетике Таджикистана, 2024. – С. 172.
- 51-М. **Баротов, Б.Б.** Получение уранового концентрата из отходов урановых хвостохранилищ г. Истиклола / М.М. Исмадинов, Х.М. Назаров, А.Ш.

- Насруллоев, Ф.З. Шафиев, **Б.Б. Баротов** // III Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие науки» (ИРН -2024).
- 52-М. **Баротов, Б.Б.** Гидрогеологические особенности загрязнения водной среды на основе системы мониторинга / Х.И. Тиллобоев, Х.М. Назаров, Б.Д. Бобоев, М.З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов** // Международная научно-практическая конференция «Современное состояние обеспечения качества и экологической безопасности продовольственных продуктов в Центральной Азии». – Худжанд, Политехнический институт, Таджикский технический университет им. М.С. Осими, 2024. – С. 192-195.
- 53-А. **Баротов, Б.Б.** Выделение урана из ураносодержащих вод Таджикистана / Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров, Ш.Н. Ишратов, С.С. Рахматуллоев // Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования ядерной технологии и проблемы радиационной безопасности в государствах Центральной Азии». – Душанбе, 2025. - С. 62-64.
- 54-М. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из отходов урановой промышленности Таджикистана / Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, М.А. Зоитова, У.М. Мирсаидов // Там же. - С. 65-70.
- 55-М. **Баротов, Б.Б.** Извлечение урана из ураносодержащих руд Таджикистана / Б.Б. Баротов, М.Д. Бобоёров, М. Шодмонова, А.Ш. Шарифзода // Там же. - С. 70-73.
- патенты Республики Таджикистан:*
- 56-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 108. Способ переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, **Б. Б. Баротов**. – Выдан 04.05.2007.
- 57-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 109. Способ извлечения урана из шахтных вод / Н. Хакимов, И.У. Мирсаидов, О.В. Бобошина, Х. М. Назаров, **Б.Б. Баротов**. – Выдан 07.05.2007.
- 58-М. **Баротов, Б.Б.** Шаҳодатномаи муаллифии Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 0184. Природный сорбент и индикатор для урана / Н. Хакимов, И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, **Б.Б. Баротов**. – Выдано 11.09.2009.
- 59-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 927. Способ выщелачивания урановых руд / У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, С.К. Ходжиев, М.К. Ходжиён, **Б.Б. Баротов**. – Выдан 27.08.2018.
- 60-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 1044. Способ извлечения урана из шахтных вод / М.Д. Бобоёров, **Б.Б. Баротов**, И. У. Мирсаидов, Ф.А. Хамидов [и др.]. - Выдан 05.07.2019.
- 61-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 1277. Как контролировать уровни радиации в урановых хвостохранилищах / С.М. Бахронов, Е.Ю. Малышева, М.З. Ахмедов, **Б.Б. Баротов**, С. В. Муминов, У. Мирсаидов. – Выдан 21.01.2022.
- 62-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 1223. Способ извлечения урана из шахтных вод / И. Мирсаидова, Дж. Х. Халиков, Д. С. Мухиддинов, **Б.Б. Баротов**, Ф.А. Хамидов, М.Д. Бобоёров, К.О. Бобоев. - Выдан 21.10.2020.
- 63-М. **Баротов, Б.Б.** Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ № 1384. Способ извлечение редкоземельных металлов из отходов урановой промышленности / И. Мирсаидова, Х.М. Назаров, **Б.Б. Баротов**, Ф.А. Назаров [и др.]. - Выдан 05.05.2023.

АННОТАЦИЯ

диссертации Баротова Бахтиёра Бурхоновича на тему: «Технологические основы переработки урансодержащих материалов из местных сырьевых материалов Таджикистана», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.17.00 – Химическая технология (05.17.01 – Технология неорганических веществ).

Ключевые слова: Урансодержащие материалы, переработка урана, химическая технология, технология переработки, местное сырьё, минеральное сырьё Таджикистана, гидрометаллургия, радиационная безопасность, экстракция урана, урановые руды, техногенное сырьё, экологические аспекты переработки, методы извлечения урана.

Целью исследования является разработка физико-химических основ переработки урансодержащих руд, характерных для месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан – 2", "Восточный Памир", а также отходов, накопленных в хвостохранилищах Адрасман и города Бустон.

Объект исследования: выступают урановые руды, извлекаемые из вышеуказанных месторождений, а также техногенные отходы, накапливаемые в хвостохранилищах Адрасман и Бустон.

Методы исследования и использованная аппаратура: Лабораторные образцы были взяты на различных уровнях и участках месторождения посредством бурения мелких скважин и рытья шурфов. Минералогические характеристики образцов определялись с применением рентгеновской дифрактометрии и рентгенофлуоресцентной спектрометрии на специализированном лабораторном оборудовании. В ходе исследований использовались современные приборы и аппараты.

Полученные результаты и их новизна: Разработаны базовые технологические схемы переработки урановых руд, характерных для месторождений «Танзим», «Восточный Памир», «Центральный Таджикистан», «Западный Таджикистан» и «Северный Таджикистан – 2». Предложены и обоснованы технологические решения, обеспечивающие высокоэффективное извлечение урана из руд указанного происхождения. Экспериментально обосновано возможность извлечения урана из урансодержащих руд месторождений "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан – 2", "Восточный Памир", а также из отходов хвостохранилищ Адрасман и города Бустон с применением сернокислотного и щелочного методов разложения.

Теоретическая и научно-практическая значимость работы. Обоснованы и оптимизированы параметры процессов разложения урановых руд и отходов, накопленных в хвостохранилищах, что обеспечивает повышение эффективности их последующей переработки. Проведена термодинамическая оценка сернокислотного разложения уранового сырья, а также изучены механизмы выделения из технических, шахтных и дренажных вод урана в виде UO_8 .

Разработаны оптимизированные технологические схемы, ориентированных на получение урановых концентратов.

Область применения: Разработанные технологии переработки урансодержащих руд Таджикистана рекомендовано использовать для получения соединений урана, как исходное сырьё для ядерного топлива в уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности. Разработанные схемы могут внедряться на гидрометаллургических заводах для повышения извлечения урана из различных типов сырья.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Бартов Бахтиёр Бурҳонович дар мавзӯи: «Асосҳои технологӣ оид ба коркарди маводи урандор аз ашёи хоми маҳаллии Ҷумҳурии Тоҷикистон», ки барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисосҳои 05.17.00 – Технологияи химиявӣ (05.17.01 – Технологияи пайвастагиҳои ғайриорганикӣ) пешниҳод гардидааст.

Калидвожаҳо: Маводи урандор, коркарди уран, технологияи химиявӣ, технологияҳои коркард, ашёи хоми маҳаллӣ, ашёи маъдани Тоҷикистон, гидрометаллургия, бехатарии радиатсионӣ, экстраксияи уран, маъданҳои уран, ашёи техногенӣ, ҷанбаҳои экологӣ дар коркард, усулҳои ҷудо намудани уран.

Ҳадафи таҳқиқот: Таҳияи асосҳои физико-химиявии коркарди маъданҳои урандор, ки барои конҳои «Тоҷикистон Шимолӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ», «Тоҷикистони Шимолӣ – 2», «Помири Шарқӣ», инчунин партовҳои ҷамъшуда дар маҳфузгоҳҳои Адрасмон ва шаҳри Бӯстон хос мебошанд.

Объекти таҳқиқот: Маъданҳои уран, ки аз конҳои зикршуда истихроҷ мешаванд, инчунин партовҳои техногенӣ, ки дар маҳфузгоҳҳои Адрасмон ва Бӯстон ҷамъ шудаанд.

Усулҳои таҳқиқот ва таҷҳизоти истифодашуда: Намунаҳои озмоишӣ аз сатҳҳо ва қитъаҳои гуногуни кон тавассути парма кардан ва кандани шурфҳо гирифта шудаанд. Хусусиятҳои минералогии намунаҳо бо истифодаи дифрактометрияи рентгенӣ ва спектрометрияи рентгенофлуоресентӣ дар таҷҳизоти махсуси лабораторӣ муайян карда шуданд. Дар ҷараёни таҳқиқот таҷҳизот ва дастгоҳҳои замонавӣ истифода шуданд.

Натиҷаҳои бадастомада ва навоариҳои онҳо: Барои маъданҳои уран, ки ба конҳои «Танзим», «Помири Шарқӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ» ва «Тоҷикистони Шимолӣ – 2» хос мебошанд, нақшаҳои асосии технологияи коркард таҳия гардиданд. Ҳалли технологӣ, ки истихроҷи баландсамараи уранро аз маъданҳои номбаршуда таъмин менамоянд, пешниҳод ва асоснок карда шуданд.

Ба таври таҷрибавӣ исбот карда шуд, ки имконияти ҷудо кардани уран аз маъданҳои урандори конҳои «Тоҷикистони Шимолӣ», «Тоҷикистони Марказӣ», «Тоҷикистони Ғарбӣ» ва «Тоҷикистони Шимолӣ – 2», «Помири Шарқӣ», инчунин аз партовҳои маҳфузгоҳҳои Адрасмон ва шаҳри Бӯстон, бо истифодаи усулҳои кислотӣ ва карбонатӣ мавҷуд аст.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ-амалии таҳқиқот: Параметрҳои равандҳои таҷзияи маъданҳои уран ва партовҳои дар маҳфузгоҳҳо ҷамъшуда асоснок ва оптимизатсия карда шуданд, ки самаранокии коркарди минбаъдари таъмин менамояд.

Таҳлили термодинамикии таҷзияи кислотагии ашёи урандор гузаронида шуд, инчунин механизмҳои ҷудо шудани уран аз обҳои техникӣ, ҷохӣ ва дренажӣ ба шакли U_3O_8 омӯхта шуданд.

Нақшаҳои технологӣ таҳия гардидаанд, ки ба истеҳсоли концентратҳои уран нигаронида шудаанд ва метавонанд дар корхонаҳои гидрометаллургӣ ҷорӣ гарданд, то самаранокии истихроҷи уран аз маводи гуногуни урандор баланд бардошта шавад.

Соҳаи истифода: Технологияҳои таҳиягардидаи коркарди маъданҳои уран аз конҳои Тоҷикистон барои ба даст овардани пайвастагиҳои уран ҳамчун ашёи хом барои сӯзишвории ҳастай дар соҳаи истихроҷ ва коркарди уран тавсия мешаванд.

Нақшаҳои таҳияшуда метавонанд дар корхонаҳои гидрометаллургӣ барои баланд бардоштани сатҳи истихроҷи уран аз намудҳои гуногуни ашёи хом истифода шаванд.

Истифодаи усулҳои пешниҳодшудаи ишқоронии кислотагӣ ва асосноккунии термодинамикӣ дар ҳатҳои технологӣ, ки бо ашёи ғайриорганикӣ алоқаманданд, мувофиқ аст.

Истифодаи сорбентҳои маҳаллӣ дар раванди тозакунии маҳлулҳо аз радионуклидҳо дар саноати химиявӣ ва радиохимиявӣ низ самаранок мебошад.

ABSTRACT

of the dissertation by Barotov Bakhtiyor Burkhonovich on the topic: “Technological foundations for processing uranium-containing materials from local raw resources of Tajikistan”, submitted for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.17.00 – Chemical technology (05.17.01 – Technology of inorganic substances).

Keywords: Uranium-containing materials, uranium processing, chemical technology, processing technology, local raw materials, mineral resources of Tajikistan, hydrometallurgy, radiation safety, uranium extraction, uranium ores, technogenic raw materials, environmental aspects of processing, uranium extraction methods, integrated use of raw materials, resources of Tajikistan, uranium dissolution, kinetics, thermodynamics, technological processing schemes, waste disposal, uranium recovery efficiency, uranium sources.

Research Objective: The aim of the research is the development of physical and chemical foundations for the processing of uranium-containing ores typical of the deposits “Northern Tajikistan”, “Central Tajikistan”, “Western Tajikistan”, “Northern Tajikistan – 2”, “Eastern Pamir”, as well as wastes accumulated in the Adrasman and Buston tailings storage facilities.

Object of Research: The research focuses on uranium ores extracted from the above-mentioned deposits, as well as technogenic wastes accumulated in the Adrasman and Buston tailings storage sites.

Methods and Equipment Used: Laboratory samples were collected at various levels and sections of deposits through shallow borehole drilling and trenching. Mineralogical characteristics of the samples were determined using X-ray diffraction analysis (XRD) and X-ray fluorescence spectrometry (XRF) with specialized laboratory equipment. The modern instruments and apparatus were employed during the research.

Results Obtained and Their Novelty: Basic technological schemes for processing uranium ores characteristic of the “Tanzim”, “Eastern Pamir”, “Central Tajikistan”, “Western Tajikistan”, and “Northern Tajikistan – 2” deposits were developed. Technological solutions ensuring highly efficient uranium extraction from these ores were proposed and substantiated.

It was experimentally validated that uranium can be extracted from ores of the Northern, Central, Western, Northern – 2, and Eastern Pamir deposits, as well as from wastes of the Adrasman and Buston tailings storage sites, using sulfuric acid and alkaline decomposition methods.

Theoretical and Practical Significance: Parameters of uranium ore and waste decomposition processes were substantiated and optimized, ensuring increased efficiency of subsequent processing.

A thermodynamic evaluation of sulfuric acid decomposition of uranium feedstock was carried out.

Mechanisms of uranium recovery from technical, mine, and drainage waters in the form of U_3O_8 were studied.

Optimized technological schemes were developed, aimed at producing uranium concentrates suitable for industrial application in hydrometallurgical enterprises to improve the efficiency of uranium recovery from diverse uranium-containing materials.

Application Scope: The developed technologies for processing uranium-containing ores of Tajikistan are recommended for obtaining uranium compounds as raw materials for nuclear fuel in uranium mining and processing industries.

The developed schemes may be implemented at hydrometallurgical plants to improve uranium recovery from various ore types.

The proposed methods of leaching, acidic and alkaline decomposition, as well as thermodynamic calculations, can be applied in technological lines associated with inorganic raw materials.

The use of local sorbents in solution purification processes from radionuclides is recommended for application in the chemical and radiochemical industries.

Подписано в печать .10.2025. Формат 60x841/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman Tj.
Усл. печ. л. 6,7. Тираж 100 экз. Заказ № 8.
ООО “ЭР-граф”.

734036, г. Душанбе, ул. Р. Набиева, 218.
Тел.: (+992 37) 227-39-92. E-mail: rgraph.tj@gmail.com