

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

На правах рукописи

УДК: 661.8...22

504.75 +504.064.36 (575.3)



БАХРОНОВ Соджидхон Манонджонович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ
МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ РАЙОНОВ
ТАДЖИКИСТАНА**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

кандидата технических наук по специальностям

05.17.00 – Химическая технология (05.17.01 – технология неорганических
веществ) и 03.02.08 – Экология (03.02.08.04 – технические науки)

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор,

Илхом Мирсаидзода

Научные консультант:

доктор технических наук,

член-корр НАНТ, профессор

Хакдод Махмадшариф Махмуд

Душанбе – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Перечень сокращений и условных обозначений.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ	10
ГЛАВА 1. ПЕРЕРАБОТКА УРАНОВЫХ РУД И ОТХОДОВ, МОНИТОРИНГ РАДОНОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ (обзор литературы)	16
1.1. Урановые руды и минералы.....	16
1.2. Технологические основы производства урана.....	17
1.3. Переработка урановых руд Таджикистана.....	22
1.4. Переработка урановых отходов Таджикистана.....	30
1.5. Переработка урансодержащих технических и дренажных вод.....	34
1.6. Радоновый мониторинг на объектах уранового наследия.....	37
1.6.1. <i>Краткая характеристика радона и его действия на организм человека</i>	37
1.6.2. <i>Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах уранового наследия</i>	39
1.7. Радиационно-гигиенический и радоновый мониторинг территории Таджикистана.....	41
1.8. Заключение по литературному обзору и задачи настоящей работы.....	49
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ	52
2.1. Обращение с радиоактивными материалами природного происхождения в Республике Таджикистан.....	52
2.2. Особенности переработки урансодержащих руд и отходов.....	56
2.2.1. <i>Особенности переработки урансодержащих руд</i>	56
2.2.2. <i>Особенности переработки отходов уранового производства</i>	60

2.2.3. Термодинамическая оценка сернокислотного выщелачивания отходов хвостохранилища "Карта 1-9"	63
2.2.4. Расчёт материального баланса сернокислотного разложения на 1 кг хвостов хвостохранилища "Карта 1-9"	66
2.2.5. Термодинамический анализ протекающих процессов при сернокислотном выщелачивании руд месторождения "Танзим"	67
2.2.6. Расчёт материального баланса сернокислотного разложения на 1 кг руды месторождения "Танзим"	72
2.3. Радиационно-гигиенический мониторинг и пути обеспечения радиационной безопасности населения	72
2.4. Радиоэкологический мониторинг минеральных руд Таджикистана	75
2.5. Радионуклиды в строительных материалах Таджикистана	78
2.6. Естественные и искусственные радионуклиды в биосфере Таджикистана и возможности использования строительных материалов для жилья	87
ГЛАВА 3. РАДОНОВЫЙ МОНИТОРИНГ НА РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ТАДЖИКИСТАНА, ИХ РАДИАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ И РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ	93
3.1. Методологическое и аппаратное обеспечение измерений объёмной активности радона	93
3.2. Динамика объёмной активности радона в воздухе жилых помещений г. Бустон	97
3.3. Показатели объёмной активности радона в воздухе зданий образовательных учреждений г. Истиклол	100
3.4. Радиологический мониторинг хвостохранилища посёлка Адрасман Республики Таджикистан	103
3.5. Радоновый мониторинг на территории Дж. Расуловского района Республики Таджикистан	108
3.6. Исследования содержания радона в атмосферном воздухе и в жилых помещениях города Душанбе	113

3.7. Общий радиационный фон бассейна реки Сырдарьи в пределах Республики Таджикистан.....	118
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Основные результаты исследования).....	135
Рекомендации по практическому использованию результатов.....	136
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137
Список публикаций автора по теме диссертации.....	152
Приложение.....	158

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГРН	Государственный регистрационный номер
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
РРА	Радиометр радона
ОА	Объёмная активность
МЭД	Мощность экспозиционной дозы
ИИИ	Источники ионизирующего излучения
ЖКХ	Жилищно-коммунальное хозяйство
СССР	Союз Советских Социалистических Республик
ГП	Государственное предприятие
ГУП	Государственное унитарное предприятие
АЭС	Атомная электростанция
ЭРОА	Эквивалентная равновесная объёмная активность
НРБ	Норма радиационной безопасности
ПРН	Природные радионуклиды
ГОСТ	Государственный стандарт
ПОУ	Пробоотборное устройство
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
ЕРН	Естественные радионуклиды
ДПР	Дочерние продукты распада
ФБР	Фабрика бедных руд
ПОРБ	Правила обеспечения радиационной безопасности
РГМ	Радиационно-гигиенический мониторинг

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и необходимость проведения исследований по данной проблеме. Промышленные предприятия, в особенности предприятия горнодобывающей промышленности, являются локомотивом развития страны. В 20 веке Таджикистан был одним из главных производителей уранового концентрата, вследствие чего, как наследие Советского Союза, на территории Таджикистана имеется более 55 тыс. тонн отходов. В решении проблемы защиты окружающей среды особую важную роль принадлежит химии и химической технологии. Поиск путей утилизации урановых отходов является актуальной задачей нашего времени. Кроме того, проблема повышения степени использования вторичных ресурсов в настоящее время стала одной из важных задач горнодобывающей промышленности.

В условиях истощения минеральных ресурсов, роста населения и ухудшения состояния окружающей среды особое значение имеет охрана объектов и населения от радиационных загрязнений.

Решение этой задачи требует постановки научно-исследовательских работ по проблемам переработки отходов урана и проведения мониторинга радиационных территорий Таджикистана.

Поэтому переработка ураносодержащих материалов и оценка радиационной опасности являются актуальной задачей.

Необходимость проведения исследований, касающихся переработки ураносодержащих руд и отходов исходит из решения проблем охраны окружающей среды.

В последние годы ряд исследователей – Мирсаидов У., Хакимов Н., Баротов Б.Б. и другие провели работы по переработке ураносодержащих руд и отходов урановой промышленности, в основе работ лежал комплексный подход к этим рудам и отходам. В этих работах решены отдельные проблемы по переработке урановых отходов. Однако оценка радиационной опасности при переработке урановых руд не проводилась.

В настоящей работе использован новый подход по переработке руд и отходов урановой промышленности наряду с другими методами. Особое внимание уделено вопросам радонового мониторинга.

Степень научной разработанности изучаемой проблемы. В Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана исследуются вопросы, направленные на изучение технологические основы переработки урансодержащих руд различных месторождений Таджикистана и оценка радиационной опасности при их переработке, а также из отходов урановой промышленности, супесчаных урансодержащих почв, шахтных и дренажных вод с получением оксид урана. Для переработки урансодержащих руд разработаны различные методы – перспективными среди которых можно назвать сернокислотные методы с использованием окислителей и сорбционные, данные методы имеют много преимуществ, однако имеют и некоторые недостатки. Сырье для нужд ураноперерабатывающей промышленности нашей страны является достаточно и предложен гидрометаллургический метод переработки сырья, так как из-за горной местности подземное и кучное выщелачивание трудно применяется.

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

Экологический часть работы представляет собой краткий обзор и обобщённый анализ имеющихся научных достижений в области радиационной экологии, в Республике Таджикистан методологические и теоретические основы данной проблемы являются не разработанными. Основой для нашего исследования послужили отечественные и иностранные научные труды авторов, которые работали по данному направлению, это научные труды учёных: И.В. Ярмошенко, А.А. Цапалова, С.М. Киселева, А.М. Маренного и др.

Из отечественных авторов, которые проводили работы по радиационному мониторингу территорий вокруг хвостохранилищ, исследовали миграцию цезия-137 в некоторых территориях Таджикистана, проводили радоновый мониторинг

северного Таджикистана и исследовали пылевые и газовые примеси в аридных зонах, нужно назвать Х. Муртазаева, А. Джураева, С.Ф. Абдуллаева, У. Мирсаидова, Н. Хакимова, И.У. Мирсаидова, Х.М. Назарова, Б.Б. Баротова, Дж.А. Саломова и др.

Связь работы с научными программами (проектами), темами:

Данное диссертационное исследование было выполнено в рамках проектов и программ регионального уровня:

– Физико-химические основы радиационной экологии, разработка региональных радиоэкологических карт и радиационный мониторинг биосферы Таджикистана (ГРН 01115TJ00471 - 2015-2019 гг.);

- Физико-химические основы выделения урановых концентратов из ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов (ГРН 0120TJ01030 - 2020-2024 гг.);

– Региональный проект технического сотрудничества МАГАТЭ RER9153 «Усиление регионального потенциала по контролю над долгосрочными рисками для населения за счёт радона в жилищах и на рабочих местах» (2018-2020 гг.);

– Закон Республики Таджикистан «Об охране окружающей среды» № 760. г. Душанбе, 2 августа 2011 года;

– Проведение радиоэкологических исследований на радиоактивных объектах (ГРН 0120TJ01031 – 2020-2024 гг.);

– Постановление Правительства РТ № 505 от 01.08.2014 г. "О Национальной Концепции РТ по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2014-2024 гг.";

– Постановление Правительства РТ № 329 от 27.07.2016 г. "О Программе реализации "Национальной концепции Республики Таджикистан по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2016-2024 годы".

Для определения концентрации радона (сюда также входит определение и дочерних продуктов его распада) было необходимо определить концентрацию радона (^{222}Rn), которая была накоплена – в течение определённого времени (например, в течение 20, 30 мин, или 1 час) внутри пробоотборника или в пробоотбор-

ной камере радиометра радона "РРА-01М-03". Разовые определения ОА радона также осуществляли радиометром радона "РРА-01М-03".

Измерения интегральным методом проводились с использованием детекторов типа «Radtrak» производства Швеции. Данные пластиковые детекторы использовались для измерений в течение периода от 2-х до 6-и месяцев, позволяли проводить измерения содержания радона в широком диапазоне от 15 до 25000 Бк/м³. Измерения интегральным методом проводились в течение 3-х месяцев, в разные периоды года – в тёплый и в отопительный. Затем детекторы были направлены в Швецию, г. Уппсала в компанию “Radonova Laboratories AB” для дальнейшей обработки и считывания данных на основании стандарта “ISO 11665-4”. В некоторых обследуемых помещениях кроме интегральных измерений объёмной активности радона также измеряли МЭД гамма-излучения с использованием специализированных дозиметров типа "ДКС-1123" белорусского производства "АТОМТЕХ", дозиметров "ДКС-96" российского производства "ДОЗА", дозиметров-радиометров "МКС-АТ6130" также белорусского производства "АТОМТЕХ", комплекса RackEye ("FHT-1377") германского производства "THERMO". В качестве индивидуальных дозиметров использовали термолюминесцентные детекторы ТЛД и анализатор "Harshaw-4500".

Отбор проб почвы непосредственно проводился по ГОСТ 17.4.3.01-2017, где рекомендовано отбирать пробы, начиная с поверхности почвы и на глубину не менее 25 см. Значения удельных активностей основных естественных радионуклидов – ториевых и урановых семейств (²³²Th, ²³⁸U) а также радиоактивного изотопа ⁴⁰K были определены на приборе - гамма-спектрометре марки "Canberra" (программное обеспечение Genie-2000, детектор на основе чистого германия).

Отбор проб воды осуществляли следующим образом: из водных источников отбирались пробы воды, консервировались на месте отбора, затем направлялись в лабораторию технических услуг Агентства по ХБРЯ безопасности НАНТ, где пробы воды анализировались с помощью прибора - низкофонового альфа-бета-радиометра с кремниевым детектором "УМФ-2000".

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования - изучение физических, химических и технологических основ переработки урансодержащих материалов и оценка радиационной опасности при переработке урановых руд и отходов, а также радиационный мониторинг на различных территориях Таджикистана, их радиационная ситуация и радиологические карты.

Задачами исследования данной работы являются:

- технологические основы переработки урансодержащих материалов;
- оценка радиационной опасности при переработке отходов урановой промышленности и урансодержащих руд;
- специфика и особенности переработки отходов урановой промышленности и урансодержащих руд;
- радиологический мониторинг урановых отходов;
- мониторинг содержания радона на отдельных территориях Республики Таджикистан;
- изучение концентраций ^{222}Rn в атмосферном воздухе и воздухе зданий и жилых помещений.

Научная новизна:

- разработаны технологические основы переработки урансодержащих материалов;
- дана оценка радиационной опасности при переработке урансодержащих материалов и радоноопасности некоторых территорий Таджикистана;
- изучена миграция радионуклидов в окружающей среде;
- установлено, что дозы облучения населения, проживающего на радоноопасных территориях, зависят от времени пребывания их в этих участках.

Теоретическая ценность работы - это переработка урансодержащих материалов и оценка воздействия радионуклидов в окружающей среде при переработке урановых руд и отходов, мониторинг радоноопасности территорий Таджикистана. Полученные данные по радионуклидному мониторингу различных зон Таджикистана можно использовать при расчётах и составлении моделей для оценки

доз облучения работников, работающих с ИИИ, и населения, подвергшегося радоновому облучению.

Практическая значимость Важное практическое значение имеет использование результатов данной диссертационной работы по исследованию урановых руд и отходов, и обоснованию проведения защитных мероприятий, которые направлены на снижение уровней облучения населения, которое проживает на территориях с техногенно изменённым радиационным фоном из-за образования радиоактивных хвостохранилищ при переработке урановых руд.

В практическую значимость работы также включён тот факт, что на основании проведённых исследований определены санитарные зоны при переработке отходов хвостохранилищ урана. Мониторинг радоноопасности территорий даёт возможность защитить население от воздействия радионуклидов.

Объектами исследования являются урановые руды, урансодержащие отходы и радоновый мониторинг близлежащих районов вокруг хвостохранилищ.

Предмет исследования - характеристики (химико-минералогические составы) урансодержащих руд и отходов, изучение их воздействия на окружающую среду, измерение радона в различных объектах, и составление радиологических карт.

Личный вклад автора - соискателя состоит в сборе литературных сведений по теме диссертации, проведении экспериментов по переработке ураносодержащих материалов, подготовке и проведении измерений индивидуальных доз облучения медперсонала и населения, проживающего на радоноопасных территориях, установке и сборе детекторов радона. Анализе и апробации научных и экспериментальных результатов и их публикации.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности (формуле и области исследования).

1. *Область исследования соответствует паспорту специальности 05.17.01* –Технология неорганических веществ по пунктам:

– Процесс получения минералогических продуктов, а именно получение уранового концентрата U_3O_8 .

- Технологическая процедура – разработки физико-химических основ для процессов переработки урановых отходов и урансодержащих руд.
- Способы и процедуры защиты окружающей среды – оценка радиационной безопасности.

2. ***Область исследования соответствует паспорту специальности 03.02.08. – Экология (по отраслям: в строительстве и ЖКХ, энергетика) по пунктам:***

2.3. Прикладная экология – разработка принципов и практических мер, направленных на охрану живой природы, как на видовом, так и экосистемном уровне; разработка принципов создания искусственных экосистем (строительные системы, урбосистемы, агроэкосистемы, объекты аквакультуры, ЖКХ и т.п.) и управления их функционированием. Исследование влияния антропогенных факторов на экосистемы различных уровней с целью разработки экологически обоснованных норм воздействия строительной, хозяйственной деятельности человека и эксплуатации ЖКХ на живую природу.

2.4. Экология человека – изучение общих законов взаимодействия человека и биосферы, исследование влияния условий среды обитания (в том числе созданной в результате строительной, хозяйственной деятельности и эксплуатации ЖКХ) на человека;

5.3. Комплексная оценка влияния объектов энергетики на природные и искусственные экосистемы, разработка методов и средств экологического мониторинга объектов энергетического комплекса, исследование и оценка воздействия энергетической отрасли на окружающую среду, в том числе на стадиях проектирования и строительства.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- переработка урановых руд и отходов и оценка их воздействия на окружающую среду;
- оценка радиационной опасности при переработке урансодержащих материалов;
- радон и его воздействие на окружающую среду;

- результаты радонового мониторинга некоторых территорий страны;
- разработка нормативно-правовой базы контроля радона;
- результаты измерений по оценке радоноопасности территорий Таджикистана.

Достоверность результатов диссертации подтверждается параллельными экспериментами и химическими анализами нескольких образцов, а также проведением измерений радона в помещениях, с применением новейших экспериментальных приборов.

Методы исследования данной работы заключаются в оценке воздействия радионуклидов при переработке урановых руд и отходов. Разработка методов мониторинга территорий с повышенным содержанием радионуклидов и вопросы радона и охраны окружающей среды.

Отрасль исследования. Относится к задачам технологии урансодержащих материалов, а именно 05.17.01 – Технология неорганических веществ и радиоэкологический мониторинг окружающей среды 03.02.08 – Экология (технические науки).

Этапы исследования: включают изучение литературных источников по теме комплексной переработки отходов урановой промышленности, разработку методов анализа состава отходов, постановку эксперимента по переработке урансодержащих материалов с использованием метода измерения радона вблизи размещения отходов и в помещениях. Разработку рекомендаций по снижению радона внутри жилых помещений.

Информационная база исследования охватывает поиск исследовательских работ через научные журналы с использованием международных информационных систем. Особое внимание уделено электронным научным материалам, использованию компьютерных сетей. Работа выполнена в основном на базе Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана. Экспериментальная база Агентства позволяет проводить исследования по анализу и изучению физико-химических свойств урановых отходов.

Разработаны эффективные методы переработки урансодержащих материалов.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы представлялись и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы развития производства фосфорсодержащих удобрений на основе фосфоритов центральных Кызылкумов и Каратау». (Ташкент, Республика Узбекистан, 2018); XIV Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2018)». (Уфа, 2018); Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан» (Душанбе, 2018); III Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий». (Душанбе, 2018); IV Международная научная конференция «Вопросы физической и координационной химии» (Душанбе, 2019); II Международный научный форум «Ядерная наука и технология». (Алматы, Республика Казахстан, 2019); Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии одиарных, комплексных и органо-минеральных удобрений». (Ташкент, Республика Узбекистан, 2022); Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы». (Гулистан, Таджикистан, 2023).

Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2017 -2020 годах: экологические проблемы XXI века» (Минск, Республика Беларусь, 2020); XV Нумановских чтениях «Академик И. У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане» (Душанбе, Таджикистан, 2019); Республиканская научно-практическая конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики», посвящённая 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. (Душанбе, Таджикистан, 2020); Материалы республиканской научно-практической конференции (III-годовая) ГОУ «Хатлонский государственный медицинский универ-

ситет», посвященная 30-летию XVI-ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан, 16 декабря, (Дангара, Таджикистан, 2022);

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 35 научных работ в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе 13 статей в изданиях, включённых в перечень рецензируемых научных журналов ВАК Республики Таджикистан, 21 тезис докладов в материалах международных и республиканских конференций, получены 2 Малых патента Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 160 страницах, содержит 30 таблиц, 25 рисунков. Состоит из введения, трёх глав основной части, заключения, выводов и списка использованных источников (124 наименования).

ГЛАВА 1. ПЕРЕРАБОТКА УРАНОВЫХ РУД И ОТХОДОВ, МОНИТОРИНГ РАДОНОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

(обзор литературы)

1.1. Урановые руды и минералы

В настоящее время в мире насчитывается урановых руд общим количеством более 200. Их состав различен и не все эти руды можно промышленно перерабатывать. Минералы, входящие в составы урановых руд также различны – это тантало-ниобаты, титанаты, силикаты и др. [1, 2].

Среди вторичных минералов урана преобладает отентит, который является гидратированным уранилфосфатом кальция с формулой $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \cdot (\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, по цвету имеющий жёлто-зелёную окраску.

Не все породы, содержащие уран, можно считать урансодержащими рудами. Основным принципом квалификации "руда - не руда" является процент содержания урана в породах. В 1980-1990 годах для переработки урансодержащих руд было достаточным содержание урана в них в пределах 0.1%, но в настоящее время извлечение урана выгодно и из более бедных руд с содержанием урана менее 0.1% [1-4].

Нередко уран в урансодержащих минералах соседствует с другими сопутствующими полезными элементами – танталом (Ta), титаном (Ti), редкоземельными элементами (РЗЭ). Уран является не типичным актиноидом, известно, что он может иметь пять валентных состояний - от (+2) до (+6).

Некоторым соединениям урана присущ характерный цвет. Например, раствор урана трёхвалентного - имеет красную окраску, урана четырёхвалентного – зелёную окраску, а уран шестивалентный существует в виде иона уранила $(\text{UO}_2)^{+2}$, в растворах имеет жёлтую окраску [3, 4].

Для шестивалентного урана характерно образование множества комплексных соединений, вследствие чего его достаточно широко используют в технологиях добычи урана. В зависимости от валентности урана в составе урансодержащих руд используют такие методы их переработки, как щелочное выщелачивание или кислотное разложение. Однако уран в четырёхвалентном состоянии не

растворяется в серной кислоте, поэтому для этих руд можно использовать только щелочную переработку.

Кислотное разложение урансодержащих руд также не используют, если в этих рудах содержатся минералы магнезита и доломита [1-4].

1.2. Технологические основы производства урана

В мировом масштабе природные месторождения урановых руд находятся в более чем 30 странах. В частности, на этих месторождениях в 20 веке добывался природный уран, и его добыча за этот период времени составила более 2.0 миллионов тонн. Но непосредственно природный уран, как топливо использовать нельзя, поэтому на ураноперерабатывающих производствах получают не чистый уран, а его концентрат - U_3O_8 . Ещё одно из его названий, отражающее его химический состав и строение - оксид урана(VI) - диуран(V), в составе этого соединения находится несколько изотопов урана, соответственно, при этом в его составе находится всего примерно 0.7 процентов ^{235}U .

В настоящее время стоимость урановых концентратов возросла значительно, в частности, например, на конец 2020 года цена составляла свыше \$150 за один килограмм. Исходя из постоянно повышающейся цены, добыча урановых концентратов является выгодной.

Согласно [5], самые значительные запасы урана в мире имеют следующие страны:

Австралия – 860 тысяч тонн - 23% мировых запасов;

Казахстан – 472 тысячи тонн - 13% мировых запасов;

Канада – 437 тысяч тонн - 12% мировых запасов;

Российская Федерация - 272 тысячи тонн - 7,3% мировых запасов;

Узбекистан – 180 тысяч тонн - 5,0% мировых запасов.

При добыче природного урана и производстве оксид урана (VI)-диуран (V) (U_3O_8) используются принципиально различные методы. В последние десятилетия во многих странах добыча урана производится методом подземного выщелачивания с использованием серной кислоты, с дальнейшим выделением оксида урана(VI) - диурана(V) - U_3O_8 в качестве конечного продукта из сернокислотного

раствора. В других странах, где осуществляется добыча и переработка урана, используют традиционный метод – ураносодержащие руды перерабатывают кислотно-содовой переработкой, сернокислотным разложением, используют метод кучного выщелачивания, различные сорбционные методы [1, 4].

Нами в таблице 1.1 обобщены данные, характеризующие имеющиеся в различных странах природные запасы урана и их добычу.

Таблица 1.1. – Данные по добыче природного урана и производству концентрата U_3O_8 в период 2019-2021 годов, тыс.тонн

Страна	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Казахстан	22,80	19,48	21,82
Намибия	5,48	5,41	5,75
Канада	6,94	3,89	4,69
Австралия	6,61	6,20	4,19
Узбекистан	3,50	3,50	3,50
Россия	2,91	2,85	2,64
Нигер	2,98	2,99	2,25
Китай	1,89	1,89	1,86
Индия	0,31	0,40	0,62
Украина	0,80	0,74	0,46
ЮАР	0,35	0,25	0,39
Иран	0,07	0,07	0,075
Пакистан	0,045	0,05	0,045
Бразилия	0	0,02	0,029
США	0,058	0,006	0,008
Всего в мире	54,74	47,73	48,33
Концентрат окиси- закиси урана	64,55	56,29	57,01

Как известно, природный уран является смесью 3-х изотопов урана, среди которых 99.21% составляет уран-238, далее следует уран-235 с содержанием 0,7% и 0.1% составляет содержание изотопа урана-234. Наиболее доступным среди трёх изотопов урана можно назвать ^{238}U , если на него воздействовать потоком

нейтронов, то происходит образование делящихся материалов, а сам уран-238 при этом является воспроизводящим материалом.

Высокообогащённый уран (ВОУ) – это уран, в котором содержание изотопа ^{235}U высокое, соответственно, не ниже 20%. Далее следует назвать оружейный уран, в котором содержание изотопа ^{235}U соответственно выше 90 процентов.

Использование высокообогащённого урана достаточно широко – основное его применение – это в качестве ядерного топлива (научно-исследовательские реакторы, реакторы на подводных атомных лодках и др.).

В связи с тем, что на различных месторождениях различных стран ураносодержащие руды представлены различными составами, то соответственно также различаются и методы и индивидуальные технологические основы их переработки в готовые урановые концентраты.

В основном добыча ураносодержащих руд осуществляется буровзрывными способами из горных массивов. Потом руда поступает на измельчение и сортировку. После измельчения руды получают порошок, который обрабатывают сернокислотными или карбонатными (карбонатом натрия) растворами. При использовании указанных растворов происходит растворение в них урана, а не растворившиеся твёрдые частицы удаляются фильтрацией из щелочных или кислотных растворов и далее направляются в специальные ёмкости для длительного хранения. Ёмкости по своей конструкции предназначены для обеспечения безопасного хранения радиоактивных веществ, содержащихся в руде, в частности, для хранения радия и др. Полученные ураносодержащие растворы концентрируют, проводят их очистку экстракцией органическими растворителями или сорбцией с использованием ионообменных смол. В результате получается жёлтый кек – осадок, имеющий ярко-жёлтую окраску.

Широко известен и применяется способ подземного выщелачивания (в литературе его также называют способом выщелачивания на месте или пластовым способом). С его помощью перерабатывают осадочные пористые ураносодержащие руды. Соответственно, основу данного способа составляет следующее: на месторождении ураносодержащих руд пробуриваются скважины, в которые

непрерывно под давлением происходит закачивание кислых или щелочных растворов, которые на выходе концентрируют, очищают, далее осаждением получают осадок - U_3O_8 - урановый концентрат. После высокотемпературного высушивания уранового концентрата он приобретает зелёную окраску. Соответственно, всегда места добычи уранового концентрата и производства по его переработке располагаются максимально близко друг к другу.

В Таджикистане в промышленных масштабах уран начали добывать, начиная с 1945 года, добыча производилась из урансодержащих руд Табошарского, Адрасманского и других месторождений [8].

Первое экспериментальное производство по переработке урана было создано в г. Табошар в 1936 г., и представляло собой цех, в котором получали бедные урановые концентраты (с содержанием урана 7-10%), а также соли радия.

В 1953 г. в Советском Союзе на заводах Комбината № 6 (ТаджССР) впервые разрабатывается и внедряется в промышленное серийное производство технология аммиачно-угольной очистки урановых концентратов с доведением их до 79,4% U_3O_8 [6-8]. В конце 1953 г. извлечение уранового концентрата из урансодержащих руд достигло 79,4%, когда ранее извлечение не превышало 40%. Этих показателей удалось добиться за счёт введения усовершенствованных и новых технологических приёмов, включая операции переработки сырья, его доведения до необходимой концентрации, контроль соотношения в растворах выщелачивания железа по валентностям (+2) и (+3), поддержание в растворах избыточной карбонатности и бикарбонатности, усовершенствование перемешивания пульпы при выщелачивании или кислотном разложении и др. Принципиальная блок-схема процесса, посредством которой была получена техническая закись-окись урана в её развёрнутом виде приводится на рисунке 1.1.

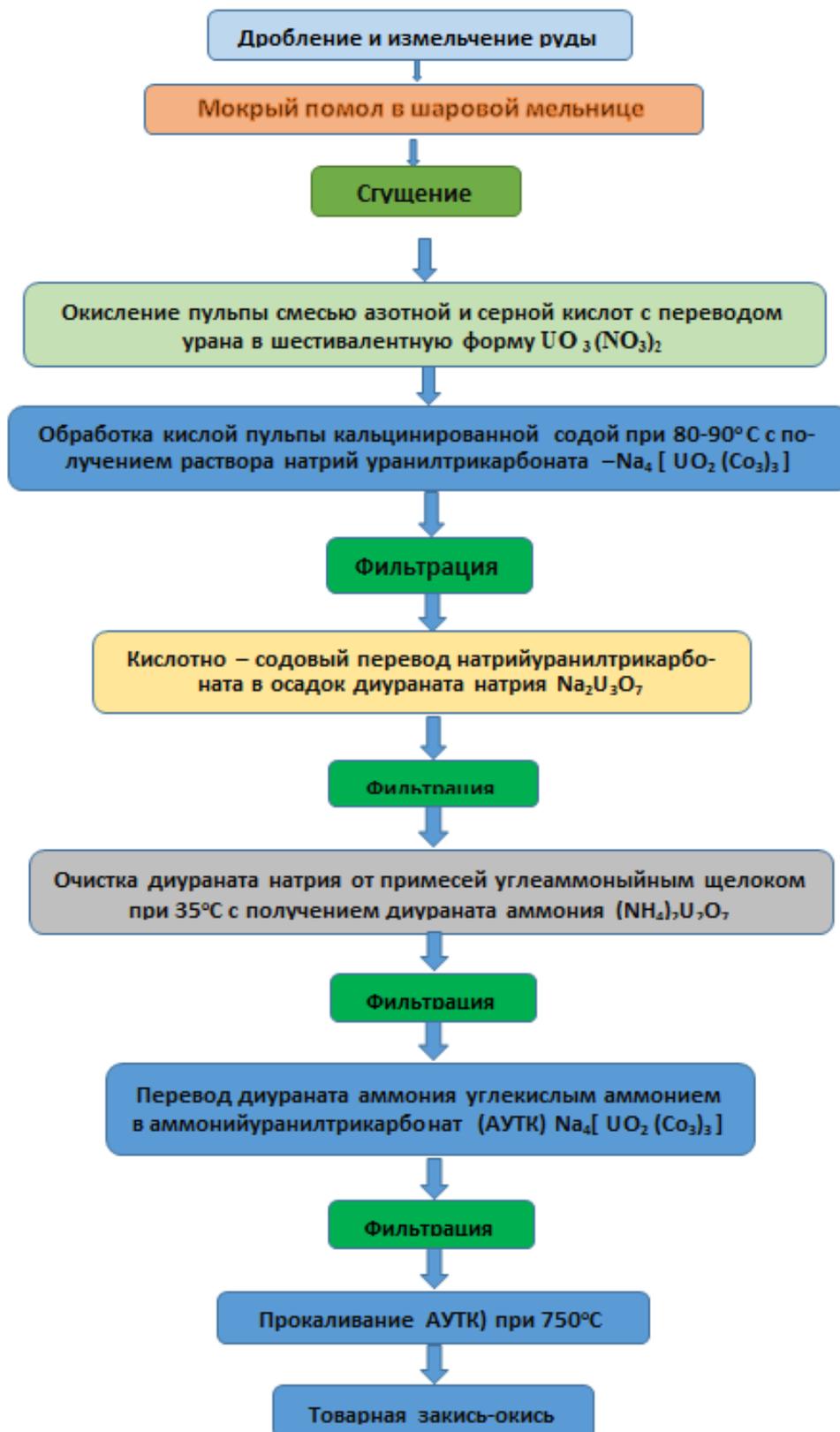


Рисунок 1.1 - Принципиальная блок-схема, характеризующая процесс кислотно-содовой переработки урановых сульфидных руд, с получением технической товарной закиси-оксида урана.

Даная технологическая схема являлась основной схемой процессов получения U_3O_8 до окончания работ по подземному выщелачиванию урансодержащих руд таджикских месторождений Октябрьское, Каракат, Тарыэкан, Адрасман и Табошар [8].

Атомная отрасль предъявляла все более высокие требования к чистоте U_3O_8 , которая являлась конечной продукцией, выпускаемой на заводах Комбината № 6 (в настоящее время ГП "Таджикские редкие металлы" – ГП "Таджредмет").

Для решения поставленных задач обеспечения атомной отрасли СССР качественными урановыми концентратами была необходимость в разработке новых методов извлечения урана из урановых руд и продуктивных урановых растворов, а также разработка эффективных и более усовершенствованных способов концентрирования урановых растворов. К таким способам относятся несколько способов, основными из которых можно назвать два – это экстракционное выделение урана экстракцией из десорбационных растворов и извлечение урана сорбцией из растворов после кислотного разложения урансодержащих руд.

Внедрение указанных новых способов в промышленное производство было совершено в течение 1960-1970 годов [4, 8]. На рисунке 1.2 приводится одна из первых технологических схем нового поколения, являющаяся по сути комплексной схемой, так как включает сернокислотное извлечение, сорбционную концентрацию и очистку урана экстракцией.

1.3. Переработка урановых руд Таджикистана

Авторы работ [7, 8] изучили переработку урансодержащих руд Таджикистана. Найдены оптимальные параметры разложения руд и предложены принципиальные технологические схемы их переработки.

В работах [9, 10] проведено исследование извлечения уранового концентрата из урансодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан" с изучением физических и химических особенностей и характеристик процесса извлечения.

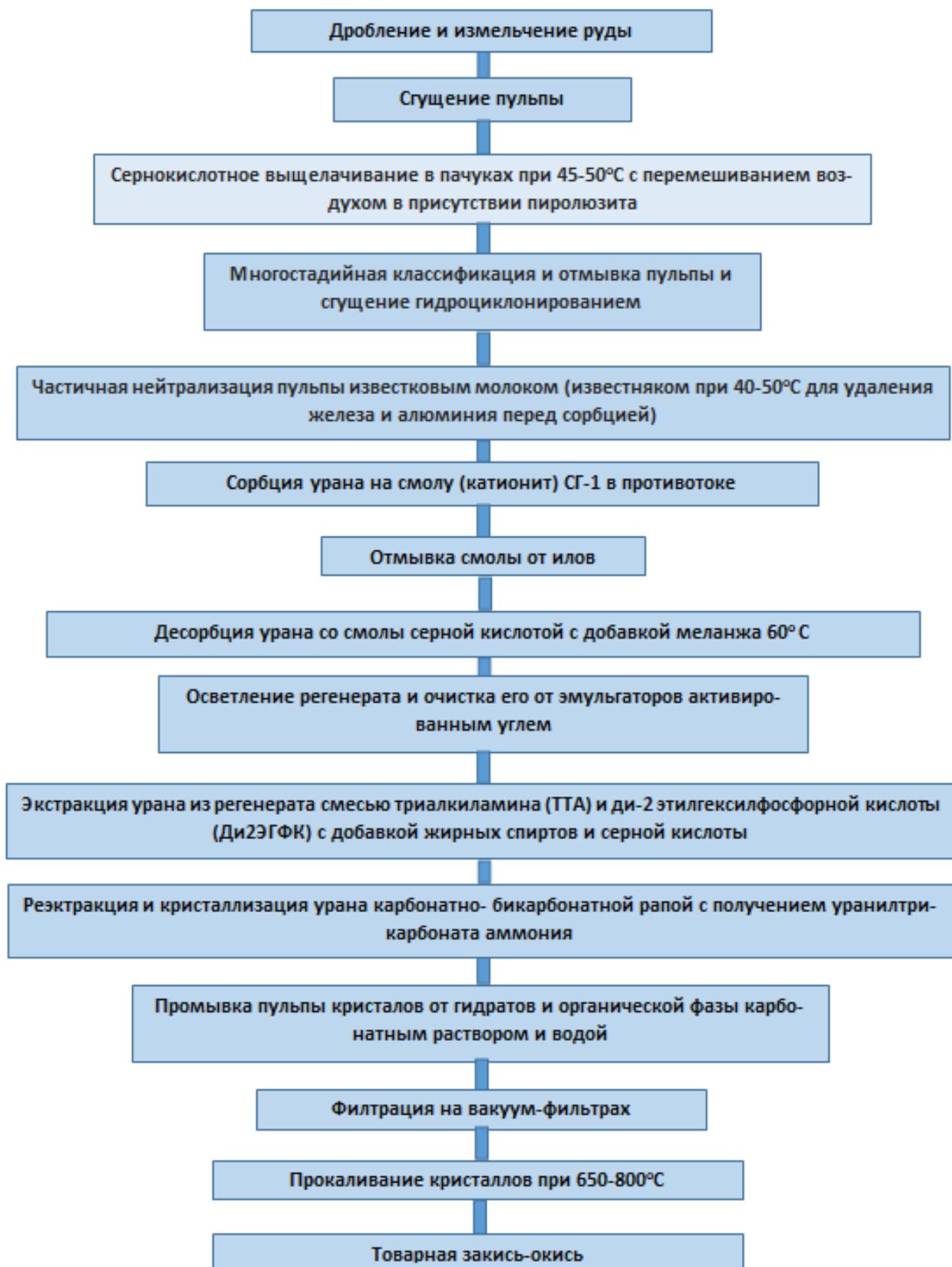


Рисунок 1.2 - Принципиальная блок-схема, характеризующая процесс сернокислотного извлечения, концентрации сорбцией и очистки урана экстракцией [8].

В [8, 9] исследованы минералы, являющиеся основными в рудах месторождения "Северный Таджикистан" и выявлены основные минералы – это в основном силикаты и титанаты урана, реже встречаются ураниниты и настураны. Помимо урановых минералов в рудах указанного месторождения выявлены титановые и марганцевые минералы, известняки, антимониты, галениты, пириты и др., которые идентифицированы и подтверждены рентгенофазовыми исследованиями (рисунок 1.3) и методами химического анализа.

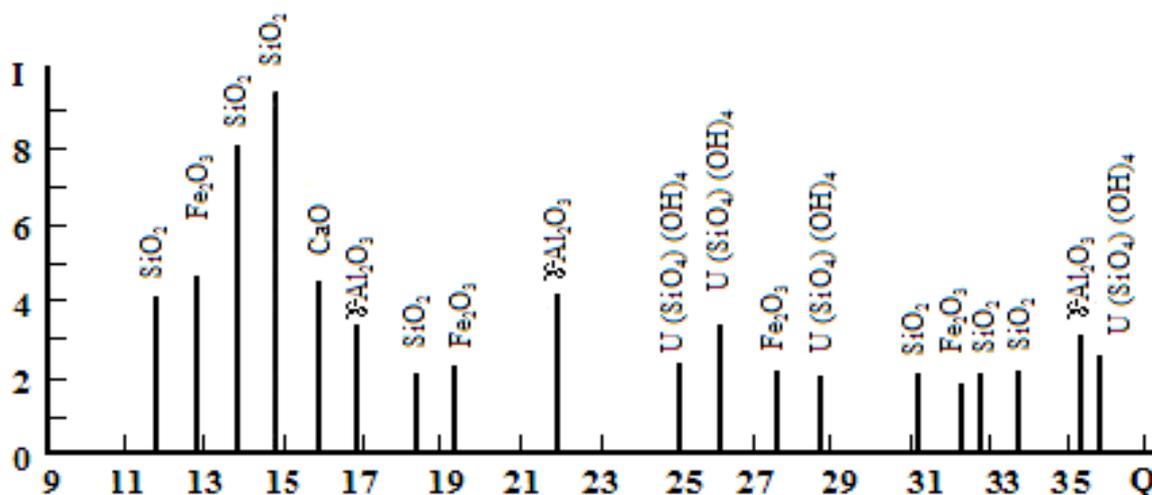


Рисунок 1.3 – Штрих-дифрактограмма пробы ураносодержащей руды из месторождения "Северный Таджикистан".

В работах [8, 9] исследовано выделение урана из ураносодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан".

Проведены установление и оценка оптимальных параметров сернокислотного разложения указанной руды: температура разложения 75°C ; время разложения не менее 6-и часов; расход H_2SO_4 - 600 килограмм на каждую тонну руды, при этих параметрах извлечение урана было достигнуто 93,27%. Экспериментальная энергия активации была определена в пределах от 3.4 до 5.6 кДж/моль, что указывало на то, что данный процесс протекал под диффузионным контролем. Такое значение энергии активации также свидетельствует, что увеличение скорости перемешивания пульпы в два и более раз не влияет на извлечение урана из руды [6, 9].

Авторами [6,7] изучен щелочной способ извлечения урана, определены фи-

зико-химические параметры, которые оказывают влияние на выделение урана данным способом. Показано максимальное извлечение урана из рассмотренной руды, которое составляет 72% и было достигнуто в следующих технологических условиях: щелочное выщелачивание в течение 6-и ч при тем-ре 80°C; с расходом соды, равным 200 килограмм на 1 тонну руды.

Для переработки ураносодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан" специалистами проведена разработка принципиальных блок-схем, характеризующая процесс извлечения урана из них. Отличительной особенностью данных схем является нейтрализация известняком некоторой части избыточной кислоты перед осаждением из десорбата диураната аммония. Данная технология позволяет экономить в несколько раз аммиачную воду, а степень осаждения урана в данной технологии равна 99%, что подтверждается исследованиями, проведенными в [6, 7, 9].

Имеются сведения о химическом и минералогическом составах ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" [7, 11], а также об изотопном составе руд указанного месторождения.

Также нами рассмотрены сведения, касающиеся исследований процесса выщелачивания урана сернокислыми растворами, где в качестве окислителей применяются такие соединения, как пиролюзит (диоксид марганца – MnO_2), HNO_3 , а также сильным окислителем является пероксид водорода (H_2O_2). Обнаружено, на извлечение урана значительное влияние оказывают водородные показатели сернокислых растворов (pH), а также указанные выше окислители.

В [12-17] изучены вопросы, касающиеся изменения степеней извлечения урана из ураносодержащих руд в сернокислотных растворах в зависимости от применения в процессе извлечения указанных выше окислителей (MnO_2 , HNO_3 , H_2O_2).

Кинетические кривые линии, характеризующие извлечение урана, исследованы в диапазоне температур 293-353 К, через каждые 20 К, и времени извлечения урана (1-6 ч). Для процесса выщелачивания урана из руд с применением каждого из указанных окислителей вычислены экспериментальные энергии акти-

вазии, составившие, соответственно, с использованием пиролюзита – 4.9 кДж/моль, с использованием азотной кислоты – 5.7 кДж/моль, с использованием пероксида водорода – 2.5 кДж/моль, в зависимости от расходов серной кислоты. Значения вычисленных энергий активации данного процесса указывают на то, что данные процессы протекали под диффузионным контролем [10, 15].

Выявлены механизмы сернокислотного разложения ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" и установлены основные максимальные параметры, при которых достигаются максимальные извлечения урана. В частности, согласно данным [7, 10], оптимальные параметры извлечения урана из указанных руд являются следующие: тем-ра 60°C, время разложения 4 ч, концентрация пероксида водорода ($C_{H_2O_2}$) 50 литров на одну тонну, концентрация серной кислоты ($C_{H_2SO_4}$) 150 килограмм на одну тонну, соотношение твёрдой и жидкой фаз (Т:Ж) равно 1:2.

Проведена разработка принципиальной блок-схемы, характеризующей процесс переработки ураносодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан", включающей стадии – дробления, промывку водой, разложение серной кислотой с участием различных окислителей, фильтрацию, сорбцию урана, процесс десорбирования, нейтрализацию, осаждение диураната, фильтрацию и конечную стадию - получение концентрата урана – жёлтый кек [6, 10].

В литературных источниках [18-28] описаны физико-химические и технологические основы, касающиеся переработки ураносодержащих руд Республики Таджикистан, а также проведена разработка принципиальной блок-схемы, характеризующей процесс переработки ураносодержащей руды месторождения "Западный Таджикистан" с получением U_3O_8 .

Использование сорбента на основе углей месторождения Фан-Ягноб является перспективным, так как уголь является местным материалом. Показано, что сорбент активно действует для технических ураносодержащих руд и для растворов при сернокислотном разложении руды [19, 20, 28].

Особое значение при разложении урановых руд имеет применение окислителя, как показали изменения степеней извлечения урана в сернокислых средах от рН растворов [10, 27].

В работах [10, 27] установлена эффективность действия пероксида водорода в зависимости от рН среды. Пероксид водорода в кислой среде в отношении урана обладает высокой окислительной способностью.

Исследовано сернокислотное разложение урансодержащих руд месторождения "Западный Таджикистан" [10, 22].

Найдены оптимальные параметры процесса разложения руды с применением окислителей в работах [10, 22, 23].

Разработан метод сорбции урана на основе углей Фан-Ягнобского месторождения путём термообработки, данный метод прошёл испытания и применяется для сорбции сернокислотных растворов урансодержащих руд и сорбции шахтных урансодержащих вод [10, 28].

Кинетические кривые линии, характеризующие извлечение урана указанным способом, исследованы в диапазоне температур 293-353 К, через каждые 20 К, на основании чего, соответственно, для процесса выделения урана из урансодержащей руды месторождения "Западный Таджикистан" проведено вычисление величины энергии активации, оказавшейся равной 14.11 кДж/моль. Также показано, что скорость извлечения урана из руды зависит от тем-ры процесса разложения и времени разложения. Значение вычисленной энергии активации данного процесса указывает на то, что данный процесс протекает под диффузионным контролем [22, 24].

Проведена разработка принципиальной блок-схемы, характеризующей процесс переработки урансодержащих руд различных месторождений Таджикистана, которая состоит из следующих основных стадий: дробление и измельчение сырья, окисление пульпы азотной и серной кислотами, разложение руды, фильтрация, сорбция, десорбция, процесс осаждения и получения концентрата U_3O_8 [19, 20, 22].

Проведённые исследования физико-химических основ, характеризующих переработку ураносодержащих руд Таджикистана разложением кислотами позволяют рекомендовать местное сырьё - ураносодержащие руды для получения из них урановых концентратов.

На рисунках 1.4 и 1.5 приводится анализ исследований по извлечению урана из трёх месторождений Таджикистана - "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан" и "Западный Таджикистан". Из рисунков 1.4 и 1.5 можно сделать заключение, что указанным методом из ураносодержащих руд можно извлечь более 90% урановых концентратов, при этом руда из месторождения "Западный Таджикистан" является более эффективной с максимальным извлечением из неё урана.

Результаты зависимости извлечения урана из ураносодержащих руд от концентрации H_2SO_4 , от тем-ры и времени процесса свидетельствует о том, что минералогические составы урановых руд месторождений Таджикистана являются близкими [6, 7, 10].

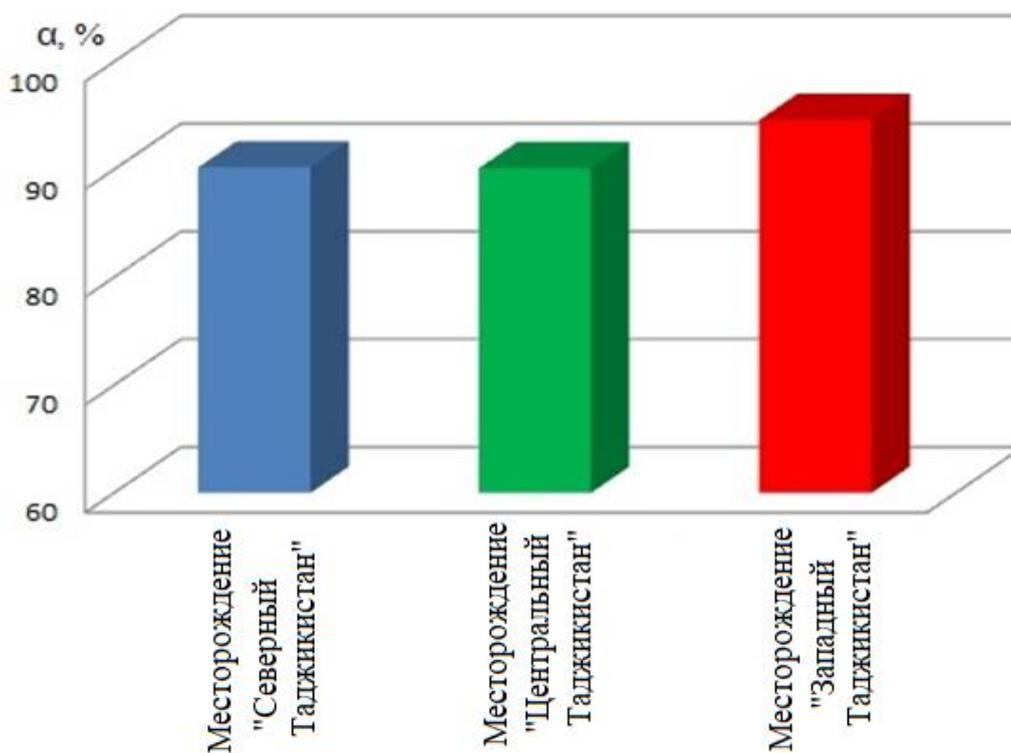


Рисунок 1.4 - Сравнительный анализ извлечения урана из различных месторождений Республики Таджикистан.

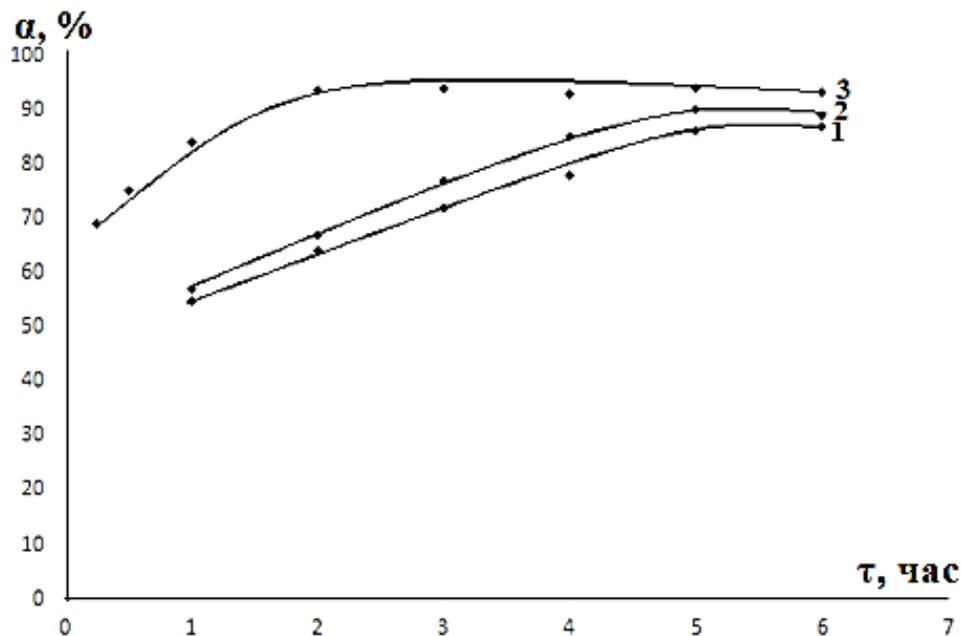


Рисунок 1.5 – Влияние времени выщелачивания на извлечение урана из ураносодержащих руд месторождений Таджикистана: 1 – “Северный Таджикистан”; 2 – “Центральный Таджикистан”; 3 – “Западный Таджикистан”.

Подробно разработаны технологические и физико-химические основы, охватывающие процессы переработки ураносодержащих руд различных месторождений Таджикистана, которые широко освещены в литературе [6, 7, 9, 10], кроме того, авторы приводят сведения по разработке основных принципиальных блок-схем для эффективной переработки указанных руд с получением целевого продукта – закиси-оксида урана (U_3O_8).

Так, авторами [28] с целью максимальных извлечений урана использован сорбент на основе углей месторождения Фан-Ягноб, который показал перспективность использования, так как угольные месторождения на территории страны представлены широко и в них находятся значительные запасы угля. Показано, что применение угля как сорбента оказывает положительное действие на разложение технических ураносодержащих руд, а также на растворы при сернокислотной переработке руд.

Сорбент на основе угля также представляется перспективным при переработке техногенного и гидроминерального сырья с целью извлечения из его состава урана.

1.4. Переработка урановых отходов Таджикистана

В связи с тем, что на территории северного Таджикистана в течение 1945-1990 гг. интенсивно перерабатывались урансодержащие руды и добывался советский уран, на этой территории накоплены значительные количества ураносодержащих отходов, в составе которых находятся радионуклиды с высокими содержаниями (преимущественно это радионуклиды уран-ториевого ряда). В таблице 1.2 нами проведено обобщение имеющихся сведений о хвостохранилищах северного Таджикистана) [6-8].

Таблица 1.2. – Данные по хвостохранилищам уранового наследия в Согдийской области, согласно материалам ГУП "Таджредмет"

№ п/п	Географическое местоположение и названия хвостохранилищ	Время эксплуатации	Хранящиеся отходы, млн. тонн/кКюри	МЭД мкЗв/ч	ППР Бк/(м ² .с)
1.	Хвостохранилища Гафуровского района	с 1945 г. до 1950 гг.	0.4/ 0.16	0.2	0.8
2.	Хвостохранилища I – II очереди г. Истиклол,	с 1945 г. до 1959 г.	1.69/ 0.22	0.68	3.65
3.	Хвостохранилища III очереди г. Истиклол	с 1947 г. до 1963 г.	1.8/ 0.23	0.76	3.56
4.	Хвостохранилища IV очереди г. Истиклол	с 1949 г. до 1965 г.	4.13/ 0.51	0.77	5.90
5.	Хвостохранилища «Карты 1-9» г. Бустон	с 1949 г. до 1967 г.	3.03/ 0.78	0.6	1.2
6.	Хвостохранилища Цеха №3 г. Истиклол	с 1949 г. до 1965 г.	1.17/ 0.015	0.6	1.24
7.	Хранилища «Фабрики бедных руд» г. Истиклол	с 1950 г. до 1965 г.	2.03/ 0.25	1.0	1.38

8.	Дигмайское хвостохранилище, село Дегмай, Дж.Расуловский район	1963 г.	20.8 / 4.22	10.0	40.0
9.	Рудник №3 г. Худжанда	с 1976 г. до 1985 г.	3.5/ 0.011	0.7	2.5
10.	Хвостохранилище №2 г. Ад- расман	1991 г.	0.4/ 0.16	0.6	2.0

Из числа урановых хвостохранилищ, расположенных на территории Согдийской области, самым крупным является Дигмайское хвостохранилище. Данное хвостохранилище относится к категории действующих объектов гидрометаллургической переработки радиоактивных руд. Оно территориально расположено в Б. Гафуровском районе, занимает Дигмайскую возвышенность, находится от ближайшего населённого пункта - посёлка Гозиён на расстоянии 1.5 километров, и на расстоянии 10 километров от г. Худжанд. Дигмайское хвостохранилище находится приблизительно на расстоянии 20 км в северо-восточном направлении от центра Джаббор Расуловского района [29].

Ниже представляем краткую характеристику имеющихся хвостохранилищ, основанную на результатах долговременных измерений мощностей экспозиционных доз (МЭД) гамма-излучения на поверхностях этих хвостохранилищ, что характеризует их настоящее состояние.

Хвостохранилище "Дигмай". Отдельные точки на поверхности хвостохранилища характеризуются аномально высокими содержаниями радона, достигающими 800 Бк/м^3 и выше. Повышенные уровни радона необходимо считать одним из важных факторов, учитывающих дозовые нагрузки радона (при этих расчётах также учитываются радиоактивные короткоживущие продукты распада радона). Кроме того, существенное влияние на дозовые нагрузки радона оказывают и его долгоживущие дочерние продукты распада – это ^{210}Pb и ^{210}Po , находящиеся в пылевых частицах. Во время сильного ветра пылевые частицы могут перемещаться не только по самой территории хвостохранилища, но и за его пределы, попадая на территории населённых пунктов, расположенных вблизи хвостохра-

нилища. Величины МЭД гамма-излучения на территории Дигмая в среднем составляют от 1.5 до 2.0 мкЗв/час [6, 30].

Хвостохранилище I-II очереди. Для данного хвостохранилища вычислены величины МЭД, составившие: средняя величина МЭД - 0.68 мкЗв/час, максимальная величина МЭД - 0.78 мкЗв/час, для естественного радиационного фона на поверхности тела хвостохранилища МЭД равна ~0.20 мкЗв/час. Загрязнённые зоны прилегающих территорий соответствуют контуру хвостохранилища, но в восточном борту хвостохранилища за границы хвостохранилища радиоактивные материалы выносятся за его пределы, создавая дополнительное загрязнение. Данный факт объясняется тем, что ранее до консервации этого хвостохранилища здесь происходил вынос пылевых частиц.

Хвостохранилище III очереди. На данном хвостохранилище МЭД находятся в пределах не более 0.88 мкЗв/час. Однако на всей территории хвостохранилища измерены МЭД в пределах выше 0.70 мкЗв/час. С территории этого хвостохранилища также происходит выброс радиоактивных материалов за его границы, выбросы осуществляются за счёт природных климатических факторов – за счёт осадков в виде дождей или сильных ветров. Границы загрязнения прилегающих территорий были сформированы до консервации данного хвостохранилища [30].

Хвостохранилище IV очереди. Для данного хвостохранилища вычислены величины МЭД, составившие: средняя МЭД – 0.77 мкЗв/час, максимальная МЭД - 0.98 мкЗв/час, соответственно, величины МЭД на всей территории хвостохранилища выше 0.50 мкЗв/час. Выбросы радиоактивных материалов за пределы территории происходят со стороны восточного и западного бортов хвостохранилища, данный факт связан с выносом частиц пыли с поверхности, аналогично ситуации на хвостохранилище I-II очереди, что также происходило до консервации данного хвостохранилища.

Проведённый анализ результатов мониторинга показал, что величины среднего радиационного фона вокруг территорий хвостохранилищ и над их телами является высоким, превышая естественный фон в 6-8 раз и составляя 0.9-1.2

мкЗв/час. Несколько ниже величины среднего радиационного фона - 6.0 мкЗв/час имеют хвостохранилище "Фабрика бедных руд", являющееся открытым радиоактивным хвостохранилищем вблизи г. Истиклол, а также места смыва радиоактивного материала из хвостохранилищ Табошар и Адрасман [6, 29, 30].

Вторичная переработка урановых отходов была предложена Хакимовым Н. [6, 7, 31].

В работах [32-36] проведена паспортизация хвостохранилищ, и выявлены наиболее перспективные хвостохранилища для вторичной переработки хвостов. Проведены также исследования инженерно-геологического состояния и содержания различных радионуклидов в отходах хвостохранилища Гафуровского района Таджикистана. Установлено содержание урана в отходах, найдены оптимальные условия переработки отходов этого хвостохранилища и проведены разработки принципиальных блок-схем, характеризующих процессы переработки указанных радиоактивных отходов.

Мирсаидов И.У. подробно изучил вопросы, касающиеся вторичной переработки хвостового материала бывших урановых производств [6, 7]. Им подробно описаны и охарактеризованы все имеющиеся хвостохранилища на территории северного Таджикистана, разработаны и реализованы в практике технологические схемы для вторичной переработки хвостового радиоактивного материала, и изучена кинетика кислотного разложения отходов. Авторами работ [37-39] предложено для выделения урана из отходов в качестве сорбента использовать скорлупу урюка.

В работе [40] показана возможность переработки существующих отходов урановой промышленности Таджикистана и показаны перспективы переработки отходов [41, 42]. Экологические вопросы переработки отходов урановых производств и экологические риски и проблемы при переработке хвостохранилищ описаны в работах [43-45].

Хамидовым Ф.А. и Камаловым Д.Д. предложены свои подходы для перспективной переработки радиоактивных отходов урановых производств [46, 47].

В [48] на основании проведённых исследований процессов выделения урана из ураносодержащих отходов проводились радиоэкологические мониторинги хвостохранилищ Согдийской области РТ, в рамках исследований также рассматривались вопросы разложения хвостового материала серной кислотой хвостохранилищ городов Истиклол и Бустон. Были определены оптимальные параметры процессов разложения хвостового материала и получения из них концентратов урана.

Также для разложения хвостового материала г. Бустон были получены кинетические кривые, на основании которых определена величина экспериментальной энергии активации – 6.0 кДж/моль, что указывало на протекание данного процесса под диффузионным контролем [47, 49].

В [49] приводятся данные по разработке принципиальной блок-схемы, характеризующей переработку ураносодержащих отходов "Карта 1-9", представляющего собой хвостохранилище вблизи г. Бустон. Авторы в принципиальную блок-схему включили следующие основные стадии: репульпацию ураносодержащих песков, их выщелачивание с дальнейшим осаждением аммиаком, фильтрацию, прокачивание, получение конечного продукта - оксида урана (VI)-диурана (V) или жёлтого кека.

По данным [50], авторы исследовали процесс сорбции урана и подробно изучили скорлупу урюка в качестве сорбента, который проявил более высокие сорбционные характеристики для урана по сравнению с аналогичными свойствами плодов и семян урюка. Также авторы приводят данные по проведённым опытно-промышленным испытаниям сорбционных свойств скорлупы урюка.

1.5. Переработка ураносодержащих технических и дренажных вод

В работах [6, 7, 9, 51, 52] изучены свойства природных рассолов озера Сасык-Куль и предложено данные рассолы перерабатывать комплексно с включением в технологические схемы таких стадий, как: выпаривания рассолов, разложение с помощью H_2SO_4 при одновременном улавливании паров серной кислоты, с получением урановых концентратов известными традиционными способами. По-

казано, что данный способ является более продуктивным в сравнении с такими способами, как способ соосаждения и мембранный способ.

Цикл работ выполнен различными авторами по выделению урана из технических и дренажных вод [53-64]. Для выделения урана из шахтных вод разработан способ сорбции местными сырьевыми материалами [53-57].

Согласно данным, приводимым в [58-60], авторы изучили извлечение урана из дренажных вод хвостохранилищ и урансодержащих шахтных вод месторождения Киик-Тал. В [61] из дренажных и шахтных вод проводили сорбцию урана, сорбция проводилась в динамическом режиме, в качестве сорбента авторы использовали шишки арчи. В [62-64] описаны и решены экологические проблемы, которые возникали при выделении урана из шахтных вод, и даётся оценка радиологической опасности при выделении уранового концентрата.

На рисунке 1.6 отражены результаты по изучению выделения концентрата урана из некоторых сырьевых материалов и ресурсов Республики Таджикистан, согласно данным, которые приводятся в работах [6, 7, 47]. Из рисунка 1.6 можно сделать заключение, что выделение урана методом кислотного разложения из ураносодержащих отходов и ураносодержащих руд достигает более 94%.

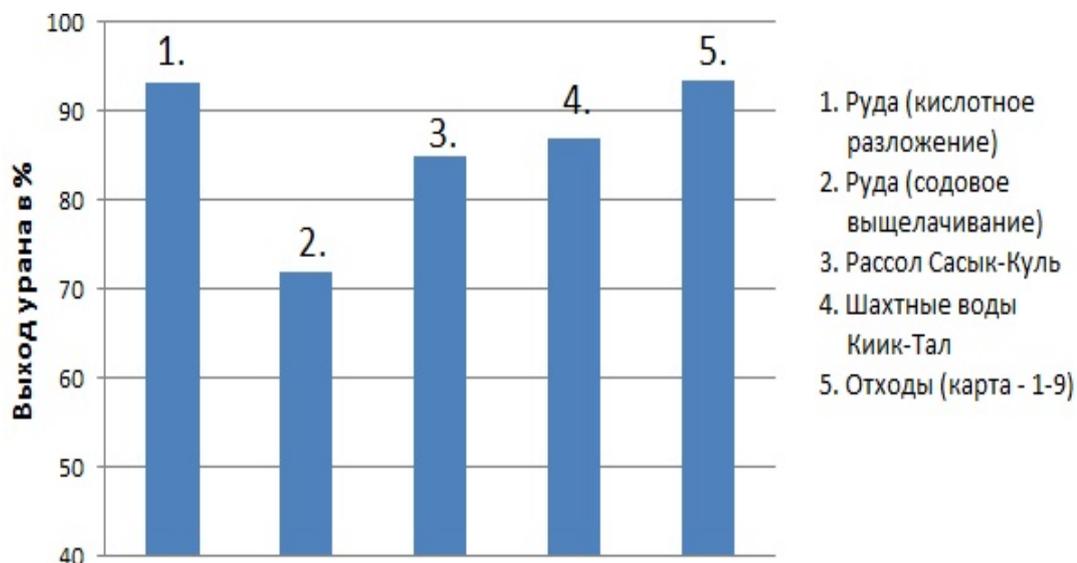


Рисунок 1.6 – Выделение урана из некоторых сырьевых материалов Республики Таджикистан.

Соответственно, можно заключить, что в рамках исследований [6, 7, 9] проведены разработки принципиальных блок-схем, характеризующих переработку ураносодержащих отходов из хвостохранилищ, разработаны схемы выделения концентратов урана из дренажных и шахтных вод отходов уранового производства, включающие основные стадии, как: подкисление, сорбцию, обжиг, разложение, осаждение, фильтрацию и сушку.

Рассмотрены вопросы, направленные на оптимизацию переработки отходов уранового производства, выделения урана из ураносодержащих руд Республики Таджикистан, кроме того, вопросы, касающиеся извлечения урана из ураносодержащих природных вод. На основе исследований и паспортизации хвостохранилищ Согдийской области РТ выявлено, что существующие техногенные отходы пригодны для их вторичной переработки, при этом наиболее целесообразно вторично перерабатывать отходы месторождения "Карта 1-9" [6, 7].

Переработка отходов базируется на её рентабельности, в которую включены такие факторы, как: стоимость урана на мировых рынках, транспортные расходы и возможность транспортировки, стоимость серной кислоты и её доступность, и ряд других факторов. Имеется значительное число методов переработки ураносодержащих отходов с получением урана, но в большинстве случаев эти способы являются экономически невыгодными и затратными. Исходя из этого, нами в исследовании была поставлена цель – получение уранового концентрата (U_3O_8) с использованием усовершенствованных технологий.

В рамках переработки отходов урановой промышленности нами также проведены работы по выделению из отходов редкоземельных металлов (РЗМ). Анализ состава отходов уранового производства свидетельствует об содержании некоторых количеств редкоземельных металлов: например, в отходах хвостохранилища "Карта 1-9" города Бустон содержание европия колеблется от 0,27% до 0,47%. В отходах хвостохранилищ города Истиклол содержание европия колеблется в пределах $0,1 \div 0,3\%$.

Решение данного вопроса осуществлено разработкой метода выделения из отходов урановых производств различных редкоземельных металлов, основанного на сернокислотном разложении указанных отходов.

Другим решением данной проблемы является десорбция редкоземельных металлов из насыщенного сорбента с концентрацией сульфата аммония 300-400 г/л. Из полученного десорбата путём осаждения получают оксиды редкоземельных металлов.

Суть предлагаемого метода выделения РЗМ из отходов урановых производств состоит в следующем:

- сернокислые растворы с содержаниями РЗМ от 0,025 до 0,030 г/л³ направляют на сорбцию, при которой сорбирование РЗМ на сорбент осуществляется со скоростью 5.0 оборотов в час;
- процесс сорбции по времени протекает в течение 20-40 ч, за это время из отходов извлекается максимальное содержание РЗМ - около 94-98%;
- в данном методе используют сорбент - микрогель [65].

1.6. Радоновый мониторинг на объектах уранового наследия

1.6.1. Краткая характеристика радона и его действия на организм человека

Газ радон (Rn) оказывает негативное воздействие на людей и их здоровье, в связи с чем является важным показателем радоноопасности территории.

Как известно, радон - это радиоактивный газ, бесцветный инертный, стабильных изотопов не имеет, это очень тяжёлый газ. Самый стабильный из всех изотопов радона – это изотоп Rn-222, с периодом полураспада, равным 3,8 дней [66-67].

Радон относится к радиоактивным рядам Th-232, U-232, U-235 и U-238. Ядра радона появляются в природе постоянно, когда происходит радиоактивный распад материнских ядер. Для радона определено его равновесное содержание в составе земной коры, которое составляет примерно по массе $7.0 \cdot 10^{-16}\%$. Благодаря своей химической инертности для радона свойственно достаточно легко покидать кристаллическую решётку "родительских" минералов и попадать в грунтовые воды, воздушную среду и природные газы. Известны четыре природ-

ных изотопа радона – это Rn-218, Rn-219, Rn-220 и Rn-222, из которых самый долгоживущий изотоп – это изотоп Rn-222, поэтому во всех указанных средах именно его содержание является самым высоким по сравнению с другими его изотопами. Содержание радона в различных воздушных бассейнах, во-первых характеризуется геологической обстановкой (например, активными источниками выделения радона являются минералы граниты с высокими содержаниями урана, но при этом содержания радона над поверхностью морей очень незначительны), во-вторых, погодными условиями (во время дождей происходит заполнение водой микротрещин, по которым происходит поступление радона на поверхность; попаданию радона в воздух препятствует также снежный покров, закрывая пути выхода радона на поверхность).

Согласно данным [12], увеличение содержания радона в воздухе происходит перед землетрясениями в результате сейсмоактивности. Выбросы радона на поверхность земли в эти моменты носит название эксхалация радона [68-70].

Радон вызывает вторую по распространённости причину рака лёгких после курения, в основном это наблюдается в территориях вблизи урановых хвостохранилищ. Особое значение имеет содержание радона в жилых помещениях, чем ниже содержание радона в помещениях, тем ниже риск заболеваемости раком [71].

Повышения заболеваемости раком лёгких отмечаются у работников урановых шахт и гидрOMETаллургических заводов, где перерабатываются урановые руды и в районах АЭС [72-76].

В основном радон оказывает негативное воздействие на людей в тех случаях, когда они находятся внутри жилых помещений. На содержание радона в жилых помещениях в большинстве случаев оказывают влияние такие факторы, как:

- содержание урана в почвах и породах, на которых находятся жилые дома;
- пути поступления радона в здания и помещения из почв и пород;
- скорость воздушного обмена (частота смены в помещениях воздушных масс), зависящая от таких факторов, как герметичность здания и/или помещения, конструкции здания, частоты проветривания помещения и др.

Для снижения содержания радона в воздухе уже построенных зданий необходимо выполнение следующих мер и условий:

- тщательно вентилировать подпольные пространства;
- создать систему радоноудаления в фундаменте зданий или под монолитными перекрытиями на грунтовом фундаменте;
- не допускать проникновение радона в жилые помещения из подвальных помещений;
- герметизировать в полу и/или стенах щели и трещины;
- улучшить в помещениях поток вентиляции.

Является известным фактом, что использование пассивной радоновой защиты снижает содержание радона в помещениях в два и более раз. Если к этой мере защиты добавить ещё и принудительную вентиляцию помещений, то защита от радона будет являться максимальной.

1.6.2. Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах уранового наследия

Во времена существования Советского Союза именно в среднеазиатских республиках (Таджикская, Узбекская, Киргизская и Казахская ССР) были сосредоточены основные предприятия, добывающие и перерабатывающие урановые руды. Однако после распада СССР эксплуатация большинства ураносодержащих месторождений на территориях этих республик частично или полностью была прекращена. В последние десятилетия большинство этих территорий и объектов, расположенных на бывших объектах добычи урана, получили статус - "площадки уранового наследия". Соответственно, в настоящее время на территориях уранового наследия среднеазиатских государств находятся следующие объекты: территории хвостохранилищ; открытые карьеры; территории вблизи самоизливающихся скважин; отвалы забалансовых руд; отвалы пустых горных пород, которые представляют угрозу, как населению, так и окружающей природной среде. Эти угрозы продиктованы наличием на указанных территориях радиоактивных загрязнений, урановыми хвостохранилищами и высокими содержаниями

в воздухе над ними радона, поскольку предприятия по добыче урана в основном создавались на урановых территориях с высокой радоноопасностью.

В работах [77-87] изучен радиационно-гигиенический мониторинг различных районов Российской Федерации и Таджикистана.

Авторами измерены величины мощностей доз гамма-излучения на объектах активности радона в зданиях (общественных и жилых), проведён отбор проб окружающей среды (почва, растительность).

В ходе выполнения работ в районах уранового наследия Таджикистана (г. Истиклол) проведён радиационно-гигиенический мониторинг (РГМ) и была выполнена работа параллельно в контрольных районах [92-94].

Цапалов А.А. и другие [87-92] исследовали такую важную проблему, как контроль содержания радона в различных зданиях, кроме того, они предложили точный и достоверный принцип контроля радона для зданий и помещений. Провели определение табличных величин коэффициентов временных изменений объёмных активностей (ОА) радона и величин эквивалентных равновесных объёмных активностей (ЭРОА) радона и определили, что эти величины ОА и ЭРОА радона зависят от режима и продолжительности измерений, а также от температурного режима. Выявлено [91, 92], что показатели ОА и ЭРОА радона в зданиях с закрытыми окнами и дверьми, при отсутствии людей примерно в 1.5-2.0 раза больше по сравнению со зданиями, которые эксплуатируются в нормальном режиме.

Соответственно, в [91, 92] отмечается, что средние значения ОА для радона только в рабочее время и круглосуточно в рабочие дни недели практически идентичны, но при этом значения ЭРОА для радона в 1.5 раза меньше только в рабочее время, чем круглосуточно в рабочие дни недели.

Также показано, что изменения ОА радона в основном на 20-60% меньше по сравнению с изменениями ЭРОА радона. Исходя из этого, измерения величин ЭРОА вместо измерения величин ОА радона, а также инструментальные оценки равновесного фактора не являются надёжными инструментами при контроле радона для помещений с естественным вентилированием воздуха [90-92].

В [95-100] исследована радоновая безопасность в современных многоэтажных зданиях с различными классами энергоэффективности. Например, по результатам радонового обследования в городе Екатеринбурге (Российская Федерация) было отмечено значительное увеличение величин ОА радона в помещениях зданий, которые имели высокие классы энергоэффективности (от В до В+ и до В++). Однако представленные в мировой практике рекомендации, которые рекомендуют использовать механическую вентиляцию при рекуперации части тепла, как основные сценарии, снижающие высокие значения ОА радона в энергоэффективных зданиях, не являются эффективными сценариями. В реальных ситуациях механические вентиляционные системы не используются в полную силу в ручном и автоматическом режимах в условиях сложного климата Среднего Урала.

1.7. Радиационно-гигиенический и радоновый мониторинг территории Таджикистана

Проблема радона предусматривает проведение целого комплекса обследований - санитарно-гигиенических, дозиметрических, геологических, геофизических, радиационно-экологических, медицинских, биологических, а также строительных обследований, разработку методических и инструментальных вопросов и систему мер и мероприятий по снижению воздействия облучения от радона на население и людей, имеющих непосредственные контакты с природными радионуклидами [92-94].

В мерах по решению проблемы радона планируется в первую очередь защитить группы риска, подвергающиеся воздействию чрезвычайно высоких уровней радиации. Выявление этих групп должно осуществляться на основе радиоэкологического районирования территории республики с учётом степеней опасности от естественных радионуклидов (ЕРН) и приоритетного радиологического обследования жилых домов и промышленных объектов в потенциально опасных зонах и территориях [93, 101-105].

Кроме того, высокие риски облучения от источников ионизирующих излучений имеют специалисты, проводящие геологоразведочные работы в межведомственных региональных центрах.

В работах [106-114] приведены результаты исследования миграции радона на территории Таджикистана. Описаны методы исследования и аппаратного обеспечения измерений объёмных активностей радона.

На основании результатов [93, 114] проведено радиогеохимическое районирование территории страны с определением степеней потенциальных радиационных обстановок в зависимости от содержания радона и естественных радионуклидов (ЕРН), что позволило определить территории с различными степенями радиологической опасности, определить приоритетные территории для экспресс-радиоэкологического и экспресс-радиобиологического обследования территорий.

В радоноопасных зонах рекомендуется проводить эманационные исследования территорий с высокими содержаниями радона в припочвенном воздухе перед началом строительства жилых и общественных зданий.

В [114] описывается необходимость проведения контроля радиационных характеристик в строительных изделиях и материалах, их регулирование, а также рекомендуется широко внедрять эффективные технические средства защиты от радона.

В настоящее время большое внимание уделяется радиационным рискам, которые связаны с концентрациями газа радона и другими природными излучателями в водных источниках. Исходя из этого, отбор проб воды производился в родниках и скважинах недалеко от хвостохранилищ. Результаты замеров ОА радона в воде обобщены в таблице 1.3 [101-110].

Результаты анализов показали, что ОА радона в водах больше в источниках, которые расположены близко к хвостохранилищам (родник 3 и скважина 1). Это может быть связано с просачиванием растворённого радона в подземные воды из самого хвостохранилища, что приводит к росту ОА радона в этих местах.

Выполнение работ по измерению содержания радона в воде и воздухе показывает, что:

- процессы измерений содержания радона в реально эксплуатируемых помещениях в течение реального времени не описывается с точки зрения квазистационарного состояния системы;

Таблица 1.3. - Объёмная активность ^{222}Rn в питьевой воде скважин и родников в Согдийской области

№ пробы	Место отбора пробы	pH	ОА радона, Бк/л
Территория Джаббор Расуловского района			
1	Джамоат Дигмай, источник Чашма (родник 1 на расстоянии 8 км от хвостохранилища)	7.0	11.1±4.0
2	Джамоат Дигмай, источник Чашма (родник 2 на расстоянии 8 км от хвостохранилища)	7.0	19.8±8.0
3	Джамоат Дигмай, источник Сассикблок (родник 3 на расстоянии 6 км от хвостохранилища)	7.2	24.9±10.0
4	Посёлок Гоziён (западная часть, скважина 1)	7.0	37.0±13.0
5	Посёлок Гоziён (западная часть, скважина 1)	7.0	36.3±14.0
6	Посёлок Гоziён (западная часть, скважина 1)	7.3	32.7±13.0
Территория Шахристана			
7	Посёлок Чашмасар (родник)	6.94	7.0±2.0
8	Посёлок Чашмасар (скважин)	7.13	13.0±5.0
9	Посёлок Темурмалик	7.27	10.0±3.0
10	Посёлок Истиклол	7.3	10.0±4.0
11	Посёлок Фирдавси	7.0	7.0±2.0
12	Посёлок Бустон	7.2	12.0
13	Посёлок Себзор (скважина)	7.69	12.0±2.0
14	Посёлок Чашма	7.54	10.0±2.0
15	Посёлок Вогат	7.6	10.0±2.0
Территория Истаравшана			
16	Посёлок Ниджоми	7.9	6.0±4.0
17	Посёлок Кунджоб	7.76	10.0±2.0
18	Посёлок Ширинчашма	7.55	6.0±2.0
19	Посёлок Калачаи баланд	7.7	15.0±2.0
20	Посёлок Чавкандак	7.9	13.0±2.0

- проведённый анализ концентраций радона в течение больших промежутков времени, анализ изменения тем-ры внутри помещений и контроль тем-ры окружающей среды позволяет оценивать параметры поступления в помещения газа радона, соответственно, также оценивать необходимость проветривания в зданиях и помещениях (воздушный обмен);

- кроме того, определение удельных активностей ^{226}Ra в составе строительных материалов – один из основных факторов, влияющих на высокие содержания в воздухе помещений и зданий газа радона, который является продуктом распада радия-226;

– повышенные концентрации радона в воздушной среде помещений в современных зданиях обуславливаются низкими скоростями воздушного обмена вследствие использования энергосберегающих технологий в процессе эксплуатации зданий и помещений, и отсутствием организованных притоков и циркуляции наружного воздуха [108-114].

Основной вклад в дополнительную дозу радиации, которую получает население, проживающее на территориях вблизи расположения карьера города Истиклол, отвалов и радиоактивных хвостохранилищ, принадлежит внешнему облучению, которое население получает за счёт нахождения на указанных радиоактивных территориях, а также внутреннему облучению, получаемому населением указанных территорий в результате использования воды, загрязнённой естественными радионуклидами.

Авторы работ [113-114] указывают, что величины годовых доз облучения населения для хвостохранилища Дигмай оценены в значительных рамках - от 0.4 до 17,0 мЗв/год. Максимальные вклады в облучение происходят от внешнего гамма-излучения на поверхности хвостохранилища. Если люди находятся на хвостохранилище, то они могут получить высокие дозы облучения, особенно внутреннего облучения, происходящего за счёт вдыхания воздуха, загрязнённого радионуклидами и радоном. Одним из вкладов облучения человека также можно назвать ингаляционное облучение, происходящего в результате вдыхания аэрозолей с поверхности хвостохранилища, особенно при нахождении на территории

хвостохранилища при сильных ветрах, которые поднимают пылевые массы с поверхности хвостохранилища [103, 105].

Изучение физико-химических характеристик дренажных вод, которые вытекают из-под тела хвостохранилища промышленных урансодержащих отходов обнаружило, что в течение всего периода изучения поверхностных вод не было отмечено превышения допустимых уровней содержания радионуклидов по их суммарным альфа- и бета-активностям. В технических водах, которые вытекают из штольни уранового месторождения города Истиклол со скоростью 40 м³/час, содержание урана составило 10.0 мг/л, а шахтные воды, вытекающие из-под тела месторождения Киик-Тал, имеют содержание урана в пределах от 25.0 до 30.0 мг/л [101-114].

По мнению [111, 112], в общем величины ОА радона в воздухе над хвостохранилищами невелики. При этом на всех обследованных хвостохранилищах экс-халиция радона из-под тела хвостохранилищ превышает безопасные нормы, рассчитанные для качественных покрытий хвостохранилищ (этот норматив равен 1.0 Бк·м⁻²·с⁻¹). То есть значения ОА радона на хвостохранилищах указывают на то, что покрытия их недостаточно качественные.

Анализ результатов исследования составов вод, отобранных из родников и скважин недалеко от хвостохранилищ, показал, что чем ближе к хвостохранилищу находится источник, тем выше в воде содержание ОА радона [101-102]. С целью уменьшения доз радиации, которые получает население, рекомендуется ограничить их проникновение на территории хвостохранилищ и радиоактивных отвалов хранилища "Фабрика бедных руд", обеспечить для жителей города Истиклол питьевую воду и техническую воду, которые бы не превышали нормы радиационной безопасности, установленные законодательством страны [114].

В работах [115-121] приведены данные по методам и средствам измерения радиоактивности, мониторинг индивидуальных доз облучения медперсонала, анализ внешнего облучения различных профессиональных групп медработников, дозы облучения персонала в радиационной диагностике.

В работе [117] на основе полученных величин индивидуального эквивалента дозы $pH(10)$ методом термолюминесцентной дозиметрии даётся сравнительный анализ по среднегодовым индивидуальным дозам облучения за пятилетний период (были взяты годы с 2014 по 2018). На контроль были взяты 70 медицинских работников из 15 медицинских учреждений города Душанбе, которые проводили флюорографию, рентгенографию, компьютерную томографию (КТ) и скопию. Соотношение в профессиональных группах медицинского персонала показало следующие показатели: больше всех оказалось специалистов, которые проводили рентгенографию – это 63%; проводили флюорографию 19% специалистов; 10% медицинских работников проводили компьютерную томографией и 8% - скопию. На основании анализа по среднегодовым дозам облучения в каждой из профессиональных групп сделано заключение, что медицинские работники, занимающиеся флюорографией, получают максимальные дозы облучения (максимальная доза облучения в этой группе составила 1.74 мЗв), а минимальные дозовые нагрузки имеют специалисты, которые проводят компьютерную томографию (в этой группе максимальная доза облучения была равна 1.34 мЗв), однако с течением времени во всех профессиональных группах происходит выравнивание значений среднегодовых доз, составляя в среднем 1.5 мЗв. Также установлено, что во всех профессиональных группах полученные величины эффективных годовых доз не превышают предельно-допустимых величин, которые установлены в "Нормах радиационной безопасности" (НРБ-06 СП 2.6.1.001-06).

Проведение вычислений осуществлялось без учёта фоновых значений, которые не вычитались из общих полученных доз облучения. На основе полученных экспериментальных результатов и их анализа выявлены профессиональные группы медработников, которые наиболее уязвимы к облучению, что позволит целенаправленному решению вопросов по обеспечению медработников радиационной безопасности.

В [116, 122] проведён сравнительный анализ по среднегодовым индивидуальным дозам облучения медицинских работников стоматологических клиник г. Душанбе в 2010-2014 гг. На основании полученных данных выявлено, что средне-

годовые значения индивидуального эквивалента дозы облучения $H_p(10)$ сотрудников этой профессиональной группы находятся в пределах от 0.7 до 1.03 мЗв/год, причём среднегодовые дозы облучения врачей-рентгенологов в среднем составили 0.19 мЗв/год, а рентгенолаборантов – 2.12 мЗв/год (рисунок 1.7).

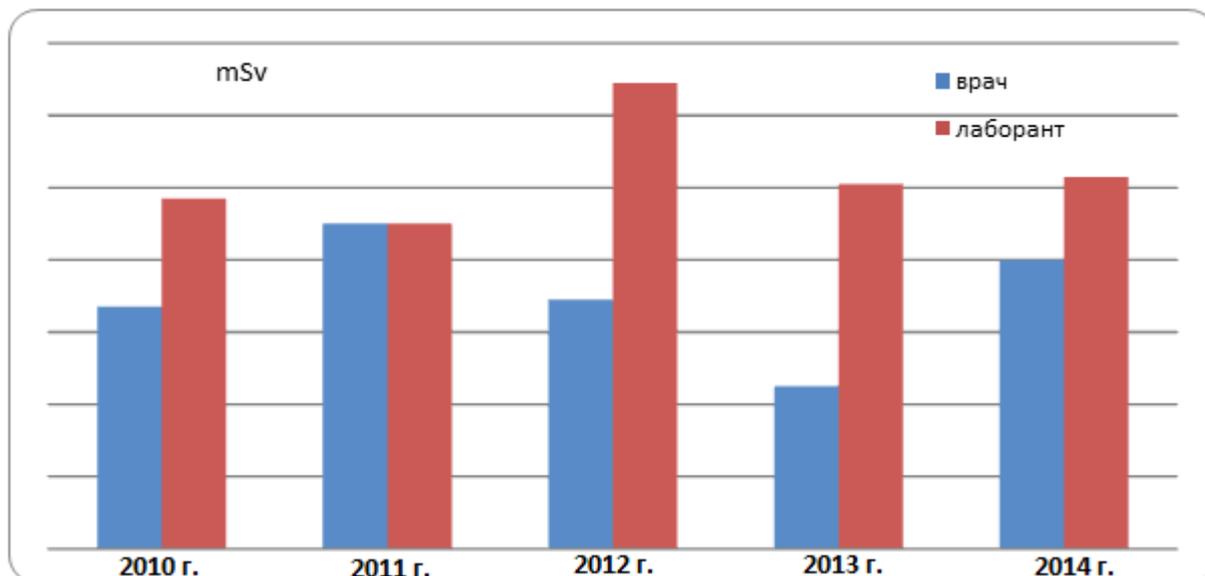


Рисунок 1.7 – Среднегодовые дозы облучения врачей-рентгенологов и рентгенолаборантов стоматологических поликлиник г. Душанбе за 2010-2014 гг.

То есть, среднегодовые дозы облучения рентгенолаборантов оказались несколько выше аналогичных значений для врачей-рентгенологов примерно на 23%. Полученные величины оказались существенно ниже предельно-допустимых величин, определённых в "Нормах радиационной безопасности" и в целом эти величины являются сравнимыми для других категорий медицинских работников рентгеноотделений при проведении рентгенологических исследований в рентгенодиагностике.

Анализ годовых доз, полученных при внешнем облучении, показал, что минимальные значения для всех профессиональных групп медработников равны ~1.1 мЗв/год (рисунок 1.8) [119, 121]. Наибольшая дозовая нагрузка была получена врачом рентгеноэндоваскулярного отделения ГУ "Оздоровительный комплекс Истиклол" - 7,53 мЗв/год, которая однако не превышает предельно допустимое значение 20 мЗв/год.

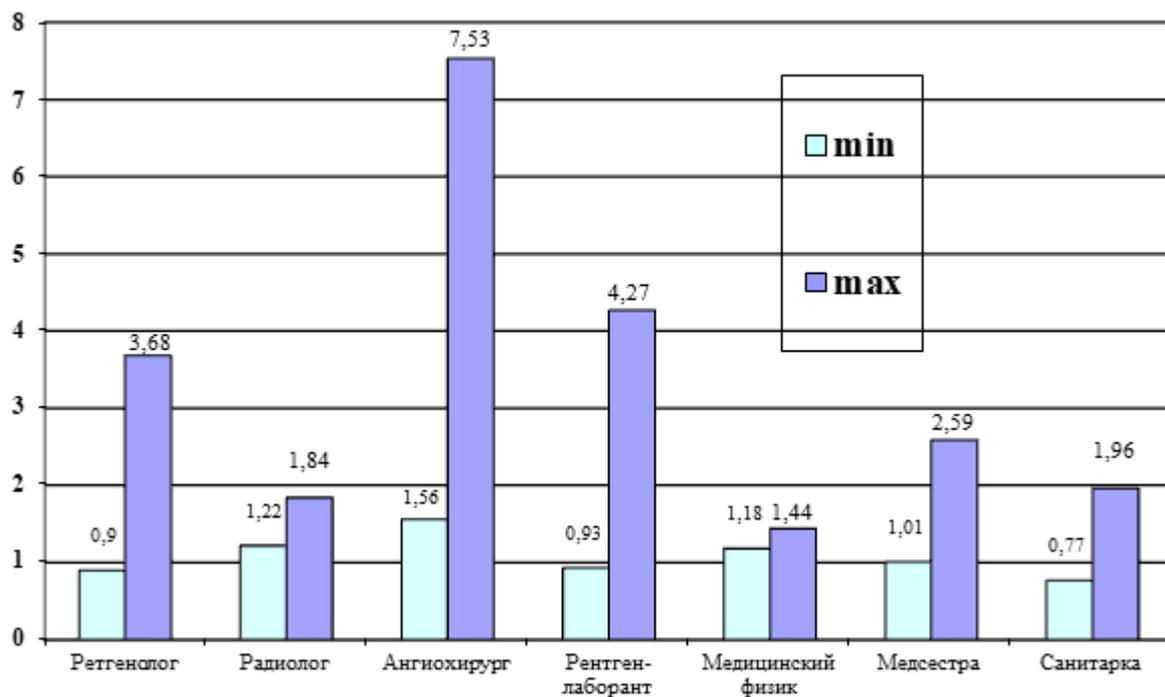


Рисунок 1.8 - Min и max значения годовых эффективных доз облучения, полученные медперсоналом в 2019 г.

При оценке внешнего облучения медицинских работников выявлены медработники группы "А", получающие максимальную дозовую нагрузку среди всех категорий медицинского персонала – это персонал, который проводит ангиографию. Но хотя эти дозы являются несколько выше по сравнению с другими профессиональными группами, однако они также находятся в пределах нормативов по предельно-допустимым дозам облучения. Показано, что персонал различных профессиональных групп в радионуклидной диагностике получает среднегодовые индивидуальные дозы облучения примерно 0.88 мЗв/год на специалиста и эти дозы колеблются в пределах 0.29-2.16 мЗв в зависимости от профессиональной группы. Но также нужно указать, что хотя эти дозы несколько выше по сравнению со средними показателями облучения медработников, но они значительно меньше предельно-допустимых величин, которые установлены в "Нормах радиационной безопасности" и составляют не более 20 мЗв/год [122].

В работах [118, 122] на основе полученных величин дозовых нагрузок проведён анализ профессионального облучения работников Таможенной службы при

Правительстве Республики Таджикистан, контроль получаемых доз различных сотрудников данной службы проводился с 2010 по 2013 годы. Авторы указывают, что среднегодовые индивидуальные дозы облучения на каждого из специалистов были равны около 1.15 мЗв/год, а диапазон дозовой нагрузки находился в пределах 0.73-1.21 мЗв/год. Анализ профессионального облучения сотрудников Таможенной службы показал уменьшение дозовых нагрузок работники группы "А", кроме этого, среднегодовые дозовые нагрузки значительно меньше предельно-допустимых величин, которые установлены в "Нормах радиационной безопасности".

1.8. Заключение по литературному обзору и задачи настоящей работы

Из представленного литературного обзора можно заключить, что переработка ураносодержащих руд и вторичная переработка ураносодержащих отходов урановых производств – это достаточно новые отрасли, которые возникли в 50-е-70-е годы 20 века.

Технологические основы, касающиеся переработки ураносодержащих руд, нашли отражение в работах [6-7], где приводятся принципиальные технологические схемы переработки урановых руд кислотно-содовым способом. В [8] подробно описаны урановые месторождения Таджикистана. Возможности переработки ураносодержащих руд Таджикистана даны в работах [9-14]. В этих работах также отражена кинетика выщелачивания ураносодержащих руд Таджикистана. В монографии [10] изложены особенности выделения урановых концентратов из руд и ураносодержащих вод Таджикистана.

По вопросам вторичной переработки урановых хвостохранилищ имеется большое количество публикаций сотрудников Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана [34-40], в которых авторы выносят на обсуждение результаты физико-химических основ, технологические разработки по переработке ураносодержащих отходов бывших производств урана на территории нашей страны, проводят анализ экологических рисков при вторичной переработке ураносодержащих отходов, рассматривают оптимальные направления повышения выделения из отходов урана, изучают по-

тенциальные возможности получения урана и его концентрата из технических и шахтных вод с внедрением этих технологий в производство.

Значительный практический и теоретический интерес представляют работы, касающиеся возможность выделения урана из рассола озера Сасык-Куль [51-52]. Разработанная технология выделения урана и рассолов озера Сасык-Куль основывается на удалении ионов хлора в виде HCl , затем сорбции урана сорбентом.

Особое внимание представляет извлечение урана из шахтных и технологических вод отходов урановой промышленности [55, 57-64]. В этих работах даны характеристики шахтных вод г. Истиклол, месторождений Киик-Тал, Дигмай и др. На хвостохранилище города Истиклол рассмотрены миграционные процессы урана в системе "дренажные воды-почва". С использованием местных сырьевых материалов в качестве сорбента разработана технологическая схема очистки ураносодержащих вод. Сорбция ионов из шахтных и дренажных вод показана в динамических режимах. Показан наиболее эффективный сорбент из числа местных материалов.

В литературном обзоре также рассмотрены вопросы динамики выделения из горных пород газа радона, что является важным аспектом в краткосрочном прогнозировании землетрясений [70]. Рассмотрены работы авторов [89], касающиеся оценке уровней ЭРОА радона в помещениях, изменения ОА радона в зависимости от внутренней температуры воздуха в помещении и наружной температуры воздуха, которые были проведены на основании краткосрочных измерений радиометром "Альфа-АЭРО". Радоновый мониторинг в некоторых районах Таджикистана описан в работах [94, 101, 102].

В литературном обзоре дана оценка радиационной опасности бывших урановых объектов Таджикистана [112].

В целом, литературный обзор диссертации охватывает переработку урановых руд и отходов, радоновый мониторинг, очистку ураносодержащих вод различными сорбентами, водную миграцию урана и радона на территории северного Таджикистана, а также анализ внешнего облучения медперсонала, дозиметрический контроль которого описывается в общей теме диссертации «Технологиче-

ские основы переработки урансодержащих материалов и оценка радиационной опасности районов Таджикистана». Исходя из анализа литературного обзора, в настоящей работе решены следующие задачи:

- переработка урансодержащих материалов (урансодержащие руды и урансодержащие отходы уранового производства;
- оценка радиационной опасности при переработке урансодержащих отходов и урансодержащих руд;
- радоновый мониторинг некоторых районов Таджикистана и воздействие радона на людей;
- разработка нормативно-правовой базы контроля радона и оценка радоноопасности территорий.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ

2.1. Обращение с радиоактивными материалами природного происхождения в Республике Таджикистан

Горнодобывающая промышленность является важной и фундаментальной отраслью экономики нашей страны. Соответственно, при деятельности горнодобывающих производств при добыче любого минерального сырья из глубоких подземных горизонтов-залелей также отмечаются выносы значительных содержаний природных радионуклидов (ПРН), которые в любом виде и типе минерального сырья присутствуют, как примесные составляющие. В частности, в последние десятилетия увеличивается актуальность таких вопросов, которые затрагивают вопросы контроля содержания природных радионуклидов в горнодобывающей отрасли, эти вопросы являются необходимыми для решения, которые широко дискутируются в документах МАГАТЭ, а также на национальном, региональном и международном уровнях.

С целью оценки воздействия бывших и функционирующих в настоящее время горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий на природную окружающую обстановку и содействия решению экологических проблем, в последние десятилетия Таджикистаном были инициированы различные международные проекты.

Сейчас на территории республики функционирует единственное предприятие – Государственное унитарное предприятие “Таджикские редкие металлы” (ГУП “Таджредмет”), сохранившее потенциал переработки ураносодержащих руд. Параллельно на этом предприятии перерабатываются кислотные растворы урановых концентратов, которые получают после их химического выщелачивания. В состав ГУП “Таджредмет” в настоящее время входят 10 хвостохранилищ и отвалов ураносодержащих пород, в которых содержатся ураносодержащие отходы бывшего уранового производства.

Так, Постановлением Правительства № 505 от 01.08.2014 года была принята концепция - "Национальная концепция по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2014-2024 годы", принятие которой явилось возможностью улучшить ситуацию, которая сложилась в области обращения с радиоактивными отходами. Принятая концепция позволила определить приоритетные хвостохранилища, на которых необходимо в первую очередь проводить реабилитационную деятельность. Было выявлено, что одним из самых приоритетных хвостохранилищ, которому необходима срочная реабилитация – это хвостохранилище в г. Истиклол, далее по снижению приоритетности можно расположить хвостохранилище Дигмай, а также забалансовые руды и шахтные воды в г. Худжанд на правом берегу реки Сырдарья.

В хвостохранилищах в основном техногенно повышенные концентрации создаются за счёт природных радионуклидов, в результате чего над хвостохранилищем природный радиационный фон повышен за счёт изотопов урана (U), радия (Ra) и тория (Th), а также большой вклад вносят продукты распада этих элементов.

Отходы с высокими содержаниями природных радионуклидов могут накапливаться не только на уранодобывающих и ураноперерабатывающих производствах, но и на производствах по переработке минерального сырья и минеральных материалов - это горнодобывающие, обогатительные и перерабатывающие производства, которые в процессах для охлаждения используют минеральные природные воды, а также соответственно производства по добыче/переработке угля, предприятия питьевого водоснабжения и т.д.

В каждой из отраслей промышленности на каждом из предприятий или в каждом производстве образуются различные количества различных отходов, имеющие характерные особенности. В этих отходах, как в добываемом сырье, используемых материалах, необходимо проводить контроль удельной активности естественных радионуклидов.

На многочисленных месторождениях различных строительных материалов, нерудных полезных ископаемых (данбуритов, фосфоритов, флюоритов и т.д.),

рудного золота, цветных и редких металлов и др. нами проводился радиоэкологический мониторинг широким комплексом радиометрических измерений. По распространению ПРН было сделано заключение, что на промышленных предприятиях и месторождениях руд природные радионуклиды являются примесными составляющими к основным полезным ископаемым, а также в виде самостоятельных индивидуальных элементов и их соединений. Химические элементы уранового и ториевого рядов находятся в качестве акцессорных минералов и россыпях в различных вмещающих породах, включая золотоносные породы.

Содержание ПРН измерялось гамма-спектрометрическим способом. Анализ полученных данных показал, что в пробах некоторых минеральных руд Таджикистана содержание ПРН низкое.

В течение последних лет в Таджикистане были разработаны ряд законов и регуляторных норм, которые позволили создать нормативно-правовую основу для управления радиоактивными отходами, регулировать и регламентировать обращение с источниками ионизирующего облучения (ИИИ) и снижать радиоактивное облучение от воздействия ПРН на различные группы населения.

Воздействие от природных источников ионизирующих излучений на работников и население регламентируется, соответственно, нормативно-правовыми документами, ограничивающими воздействие ИИИ, и контролируется на уровне государства. Среди этих документов основными в Республике Таджикистан являются "Нормы радиационной безопасности" ("НРБ-06") и "Правила обеспечения радиационной безопасности" ("ПОРБ-08").

Облучение людей, которые проживают и проводят деятельность на территориях размещения объектов уранового наследия, непосредственно отвалов и/или хвостохранилищ, которые образованы после добычи и извлечения полезных ископаемых, необходимо относить к облучению от природных источников.

В "Правилах обеспечения радиационной безопасности" ("ПОРБ-08") учреждено, что требования обеспечения радиационной безопасности населения должны регулировать и контролировать большой перечень природных источников ионизирующего излучения, в этот перечень входят такие природные ИИИ,

как: гамма-излучение минеральных удобрений от природных радионуклидов, гамма-излучение питьевых вод, стройматериалов, строительных изделий, а также гамма-излучение продукции, на изготовление которой использованы минеральное сырьё или минеральные материалы с высокими концентрациями ПРН; излучение населения от изотопов радона или от продуктов его радиоактивного распада, получаемое людьми через воздух помещений и зданий.

Соответственно, первоочередные меры, снижающие риски облучения от природных источников излучения, должны разрабатываться и применяться для тех групп населения, которые получают самые высокие дозы облучения – более 10.0 мЗв в год – перечень этих групп населения необходимо корректировать на регулярной основе.

В процессе переработки отходов производства в условиях производства - сюда относится сбор отходов, их временное хранение, переработка, транспортирование, не учитываются радиационные и радиологические факторы.

Также радиационные факторы не учитываются при захоронении в местах захоронения промышленных отходов, производственных отходов, удельная эффективная активность которых по природным радионуклидам составляет не выше 1500 Бк/кг. Промышленные отходы, имеющие удельную эффективную активность по природным радионуклидам в пределах 1500-10000 Бк/кг, необходимо захоранивать в специальных выделенных участках на специальных территориях – полигонах захоронения отходов промышленности. Дозовые нагрузки критических групп населения, получаемые ими при захоронении указанных радиоактивных отходов установлены в пределах ниже 0.1 мЗв в течение года. Для таких производственных отходов органами местной власти должны устанавливаться способы захоронения, условия захоронения и порядок захоронения, на основании законодательных документов об охране окружающей природной среды. При переработке отходов производств, в которых содержатся только природные радионуклиды, которые можно извлекать при их вторичной переработке, принято считать, что эти производства являются обращением с минеральными материалами и сырьём с повышенными содержаниями ПРН.

Также в Таджикистане разработаны такие нормативные документы, как "Нормы и правила НП 03.004-11" и "Требования к обеспечению радиационной безопасности при сборе (заготовке) лома и отходов черных и цветных металлов", эти документы являются актуальными, так как в настоящее время широко развивается импорт и транзит металлолома из отходов бывших производств и необходимо проведение регулярного радиационного контроля в связи с возможностью обнаружения металлолома с повышенным содержанием ЕРН.

Соответственно, перевозка отходов промышленных производств с высокими содержаниями в них ПРН, если удельная эффективная активность ПРН в них составляет $>10\ 000$ Беккерель/кг, происходит под контролем, который регламентируется "Правилами безопасности при транспортировке радиоактивных материалов", являющимся нормативным документом.

После тщательного анализа материалов и сведений из международных публикаций, а также законодательно-нормативных документов можно заключить, что в области защиты и сохранения здоровья населения и благоприятной окружающей среды важной задачей можно назвать уменьшение количества производственных отходов отраслей промышленности, содержащих природные радионуклиды, путём их утилизации или вторичного использования, а также их разбавления с целью снижения их уровня опасности.

2.2. Особенности переработки ураносодержащих руд и отходов

2.2.1. Особенности переработки ураносодержащих руд

В последние десятилетия в Республике Таджикистан значительно расширился поиск новых месторождений ураносодержащих руд, активизировав также исследования по извлечению из ураносодержащих руд урана. Ранее проводились исследования, в которых было изучено сернокислотное разложение ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов уранового производства, разработанное на основе местных сырьевых материалов страны. Авторами изучаются ураносодержащие руды других месторождений, в частности месторождения "Танзим", физико-химические характеристики этого месторождения. В таблице 2.1 обобще-

ны результаты изучения химического состава этого месторождения, который определялся различными независимыми методами химического анализа.

Таблица 2.1. - Химический состав ураносодержащей руды месторождения "Танзим"

Компонент	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	TiO ₂	Pb	U	As	Cr	V	Zn
%	13.7	69.4	8.13	0.08	0.53	0.10	0.11	0.07	0.01	0.05	0.027

Для ураносодержащего месторождения "Танзим" были определены минералогические составы его руд. Определения проводились методом РФА, использовался усовершенствованный дифрактометр "ДРОН-3" (фильтр никелевый, анод медный с характеристиками 20 мА и 35 кВ, обработка результатов цифровая). По результатам исследования показаны основные минералы ураносодержащей руды месторождения "Танзим", в состав которой входят урановая слюда, минералы кварца, альбита, мусковита, пирита, уранинита, что наглядно подтверждено рентгенограммой рисунка 2.1.

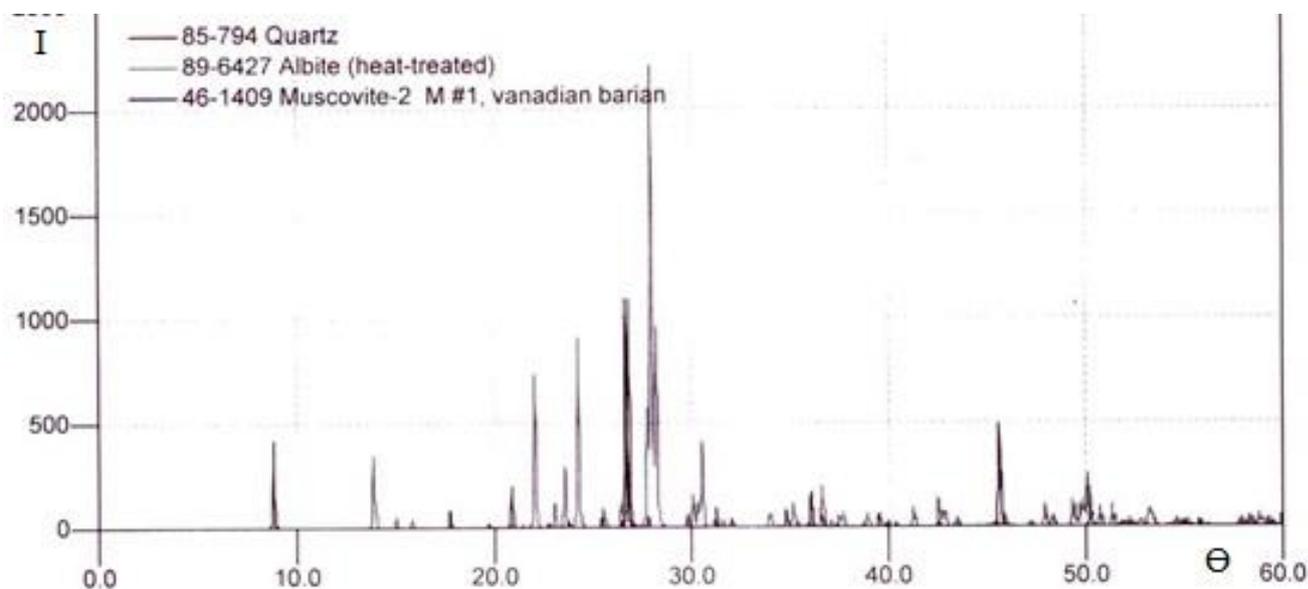


Рисунок 2.1 – РФА руды с содержанием урана из месторождения "Танзим".

Для определения радионуклидного состава ураносодержащей руды месторождения "Танзим" использовали гамма-спектрометрический метод анализа и

анализ проводили многоканальным гамма-спектрометром (изготовленным в “Канберра” США) (с использованием полупроводникового детектора, цифровую идентификацию спектров осуществили на программном обеспечении “Genie 2000”, результаты далее были обобщены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. – Радионуклидное содержание урановой руды из месторождения “Танзим”

Радионуклиды	Активность средневзвешенная, кБк /кг
^{40}K	4.687399E-001
^{212}Pb	4.273295E-002
^{214}Bi	1.591636E+001
^{214}Pb	1.369677E+001
^{226}Ra	3.269666E+001
^{228}Ac	5.077794E-002
^{235}U	6.201537E-001
^{238}U	2.109164E+000

Поскольку ураносодержащая руда из месторождения “Танзим” представляет собой руду силикатную, для её переработки был выбран наиболее оптимальный метод - это сернокислотный метод, при котором на первых стадиях разложения в качестве окислителя добавлялось некоторое количество азотной кислоты. При переработке указанным методом показано, что увеличение концентрации H_2SO_4 сначала положительно влияет на извлечение из руды урана, увеличивая процент извлечения (до 88.2%), а затем извлечение заметно снижается вследствие водного дефицита процесса. Увеличение тем-ры также увеличивает процент извлечения из руды урана, найдена оптимальная тем-ра процесса извлечения – 80°C, при которой происходит максимальное извлечение из ураносодержащей руды урана. Соответственно, показано влияние на процентное извлечение урана из ураносодержащей руды времени переработки, показано, что оптимальным време-

нем извлечения является 60 минутная переработка, которая даёт извлечение урана в максимальных количествах.

В рамках исследования для переработки ураносодержащей руды месторождения "Танзим" проведена разработка принципиальной блок-схемы, согласно которой конечным продуктом является оксид урана(VI) - диурана(V). Блок-схема включает такие основные стадии – дробление и выщелачивание, окисление и выщелачивание, фильтрация, сорбция урана в противотоке, десорбция, осаждение, фильтрация, прокаливание (рисунок 2.2).

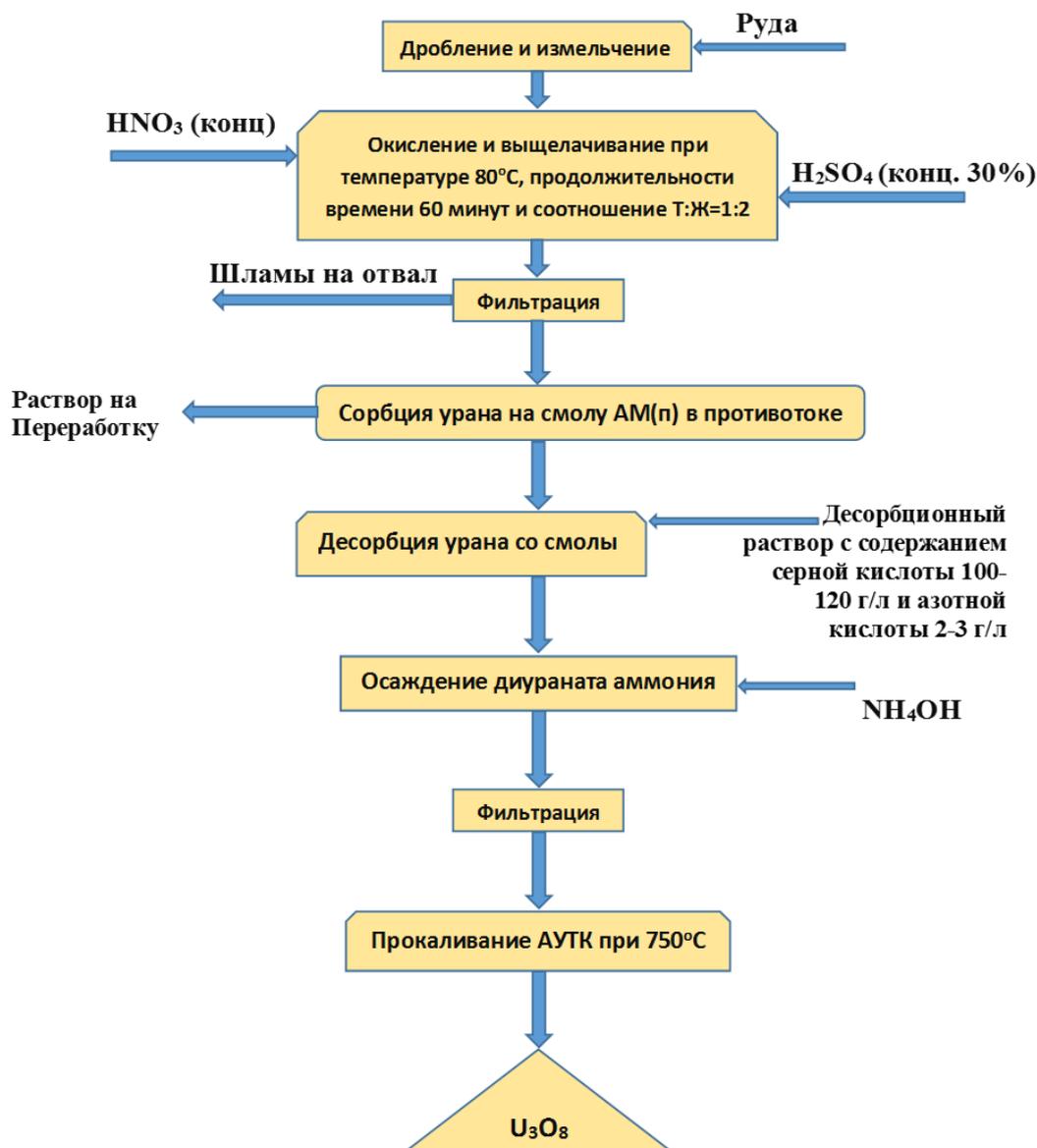


Рисунок 2.2 - Принципиальная блок-схема для извлечения урана при помощи H_2SO_4 из ураносодержащей руды месторождения "Танзим".

2.2.2. Особенности переработки отходов уранового производства

На основании литературных источников [31, 40-42, 45-49], в которых анализированы хвостохранилища Таджикистана, было определено, что наиболее перспективной является переработка ураносодержащих отходов на хвостохранилищах г. Бустона и "Карта 1-9".

Также показано [6, 31, 47], что ураносодержащие отходы Гафуровского хвостохранилища и хвостохранилища г. Истиклол возможно вторично перерабатывать. Используя эти данные, мы определили среднее содержание урана в отходах, которое составило 0,016% (хвостохранилище г. Бустона).

Минералогический состав хвостов установили методом РФА (рисунок 2.3, таблица 2.3).

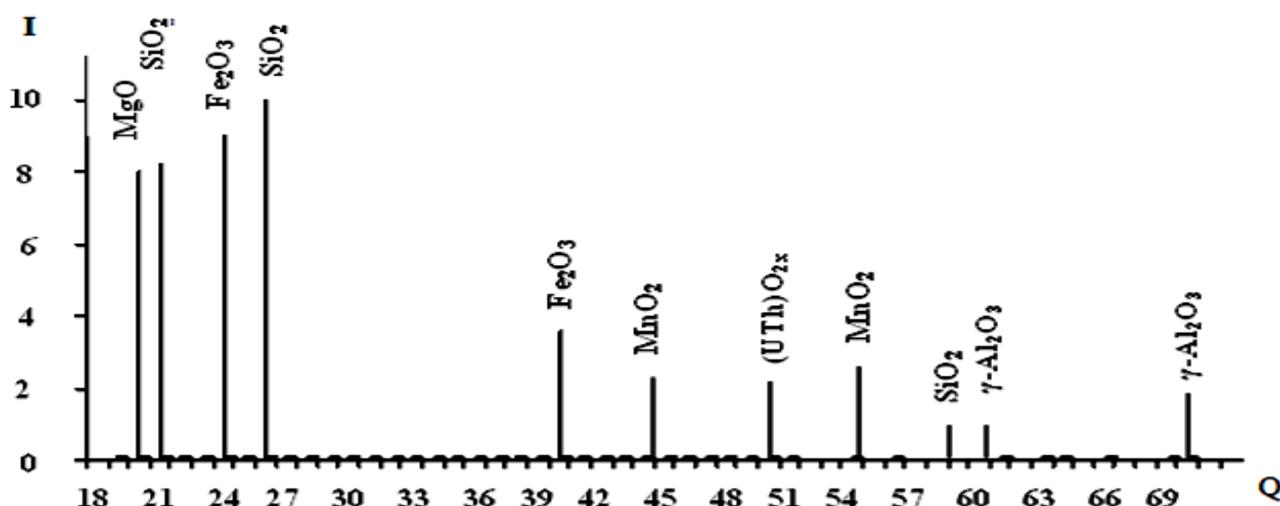


Рисунок 2.3 – Штрих-дифрактограммы проб, которые были отобраны на хвостохранилище города Бустон.

Таблица 2.3. - Химический состав ураносодержащих отходов их хвостохранилища города Бустон "Карта 1-9".

Наименование компонентов хвоста	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	U	Прочие
Содержание компонентов в хвосте, %	70.0	11.1	4.0	2.6	4.0	0.3	0.016	9.2

Хвостовые материалы из техногенного хвостохранилища города Бустон "Карта 1-9" на 70% состоят из кварца, поэтому рекомендовано перерабатывать их через кислотное разложение. Были проведены лабораторные исследования с целью определения оптимальных параметров кислотного разложения хвостовых ураносодержащих материалов и переходу урана в продуктивные растворы, результаты были обобщены в виде таблицы 2.4, из которой можно заключить, что разложение хвостового материала сернокислотным способом является перспективным, и извлечение урана в продуктивные растворы равно более 94%. Такой высокий процент извлечения урана, по-видимому, можно объяснить тем, что серная кислота оказывает сильное разлагающее действие на хвостовой материал.

Таблица 2.4. – Расходы серной кислоты, необходимые для извлечения урана из хвостов хвостохранилища города Бустон "Карта 1-9"

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

Исходя из изложенного, целесообразным представляется использовать высокотемпературное выщелачивание для разложения ураносодержащих хвостов, однако с увеличением тем-ры выщелачивания до 80-90°C в процессе выщелачивания возможны большие потери тепла, и необходимо специальное оборудование для продолжения процесса – для аппаратов разложения с целью сохранения тепла требуется теплоизоляция. Поэтому для разложения хвостовых материалов использовали тем-ру 65-70°C, процесс разложения проводили 6 часов, а соотно-

шение твёрдой к жидкой фазе составляло $J : T = 1 : 1$ (рисунок 2.4).

Для изучения кинетики разложения хвостового материала были созданы изотермические условия, при которых пульпа выдерживалась в термостатированном реакторе 10 часов, кинетические параметры фиксировались в температурном диапазоне 293-313-333-353 К, оптимальный расход H_2SO_4 поддерживался в 180 килограмм на одну тонну хвостового материала.

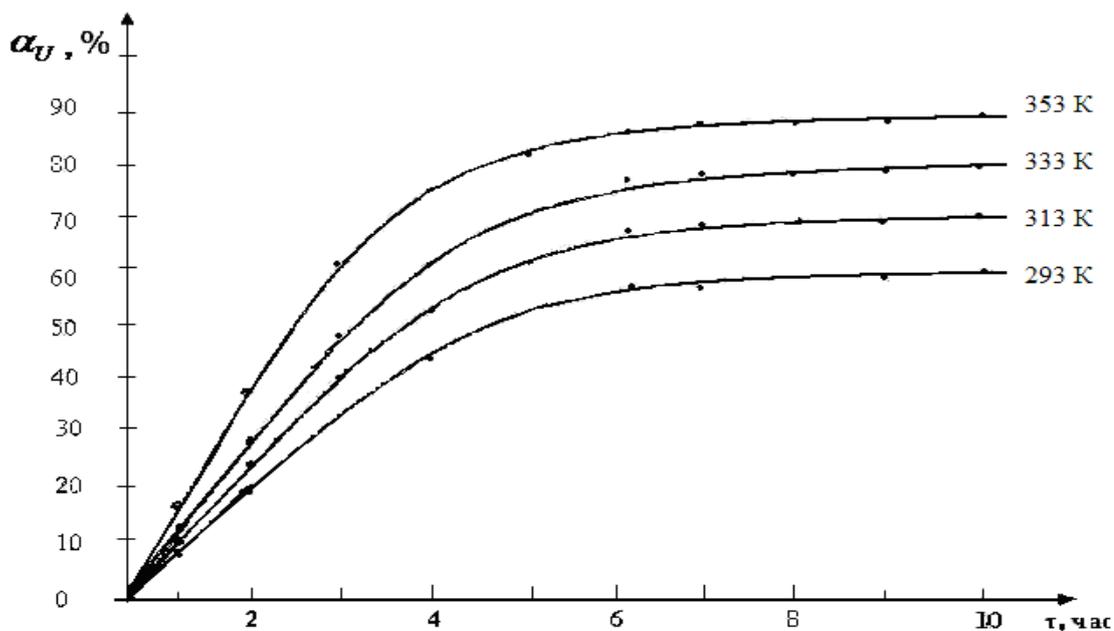


Рисунок 2.4 – Изменения извлечения урана от времени сернокислотного разложения хвостов хвостохранилища города Бустон "Карта 1-9".

В рассмотренном температурном диапазоне извлечение урана увеличивалось от 60% (при 293 К) до 90% (при 353 К). Были получены кинетические кривые линии, характеризующие кислотное разложение хвостового материала, соответственно в температурном диапазоне 293-313-333-353 К. Из рисунка 2.4 также видно, что разложение до 4-х часов происходит линейно, а затем скорость процесса резко снижается, и линии переходят в горизонтальные. Кинетические кривые данного процесса были обработаны и на основе их обработки экспериментально рассчитана энергия активации данного процесса, численное значение которой было равно 6.0 кДж/моль, соответственно, эта величина показывает, что данный процесс протекает под диффузионным контролем (таблица 2.5). Таким образом, полученные результаты раскрыли механизм, по которому происходит

процесс сернокислотного разложения хвостового материала из хвостохранилища города Бустон "Карта 1-9", а также позволили выбрать оптимальный режим, при котором извлечение урана достигается максимальным.

Таблица 2.5. - Кинетические характеристики разложения серной кислотой хвостов хвостохранилища города Бустон "Карта 1-9" (расходы кислоты при разложении были взяты в количестве 180 кг/тонну)

Темп-ра разложения, Кельвин	293	313	333	353
Скорость разложения, %/час	1.00	1.23	1.54	1.96
Энергия активации, кДж/моль	6,0			

2.2.3. Термодинамическая оценка сернокислотного выщелачивания отходов хвостохранилища "Карта 1-9"

В таблицах 2.6 и 2.7 приводятся минералогический состав отходов хвостохранилища "Карта 1-9", а также кинетические характеристики разложения хвостового материала указанного хвостохранилища.

Таблица 2.6. - Минералогический состав отходов хвостохранилища "Карта 1-9"

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO ₂	U	Прочие
Содержание, %	69.4	10.7	4.1	2.5	3.8	0.3	0.02	9.18

Были составлены химические реакции, характеризующие разложение хвостового материала хвостохранилища "Карта 1-9":



Таблица 2.7. – Величины термодинамических характеристик каждого из минералов хвостового материала хвостохранилища "Карта 1-9"

№	Вещество	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , кДж/моль·К
1	UO ₂ (тв)	-1081.23	0.08
2	HNO ₃ (ж)	-174.14	0.155
3	CaSO ₄ (р-р)	-1454.06	-0.04
4	MgSO ₄ (р-р)	-1379.1	-0.116
5	UO ₂ SO ₄ (р-р)	-1929.7	0.0812
6	NO ₂ (г)	33.5	0.24
7	H ₂ O ж	-285.8	0.07
8	Na ₂ SO ₄ (р-р)	-1395.9	0.136
9	Al ₂ (SO ₄) ₃ (р-р)	-3792.33	-0.055
10	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (р-р)	-2825.7	-0.564
11	Th(SO ₄) ₂ (р-р)	-2604.372	-0.382
12	Al ₂ O ₃ (т)	-1675.692	0.051
13	Fe ₂ O ₃ (т)	-822.16	0.0875
14	Mg(OH) ₂ (т)	-924.66	0.0632
15	O ₂ (г)	0	0.205
16	MnO ₂ (т)	-521.493	0.053
17	MnSO ₄ (р-р)	-1131.144	-0.044
18	ThO ₂ (т)	-1226.75	0.065
19	H ₂ SO ₄ (р-р)	-745.651	0.018

При разложении всех минералов хвостового материала, согласно полученным химическим реакциям (2.1)-(2.6) были соответственно рассчитаны величины термодинамических характеристик, обобщённые в таблице 2.8.

Рассчитанные числовые значения термодинамических характеристик предполагаемых химических реакций (2.1)-(2.6), протекающих при разложении хвостового материала хвостохранилища "Карта 1-9" (таблица 2.8) свидетельствуют

о протекании указанных реакций в стандартных условиях. Для рассматриваемого процесса разложения изучено изменение величин энергии Гиббса в зависимости от тем-ры, что показано на рисунке 2.5 и в таблице 2.9, из которых также можно заключить, что увеличение тем-ры также увеличивает скорость протекания предполагаемых химических реакций (2.1)-(2.6).

Таблица 2.8. – Значения термодинамических характеристик реакций (2.1)-(2.6) при разложении хвостового материала хвостохранилища "Карта 1-9"

№ реакции	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔG^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·К
(2.1)	-190.62	-192.41	0.006
(2.2)	-457.92	-356.3	-0.341
(2.3)	-737.1	-752	0.05
(2.4)	-280.39	-287.542	0.024
(2.5)	-299.6	-333.87	0.115
(2.6)	-623.99	-476.48	-0.495

Таблица 2.9. – Величины энергии Гиббса (ΔG , кДж/моль) в химических реакциях (2.1)-(2.6) в диапазоне тем-ры 298-373 К

№ реакции	ΔG^0_{298}	ΔG^0_{313}	ΔG^0_{333}	ΔG^0_{353}	ΔG^0_{373}
(2.1)	-192.41	-188.76	-188.64	-188.53	-188.41
(2.2)	-356.3	-351.2	-344.4	-337.5	-330.73
(2.3)	-752	-752.75	-753.75	-754.75	-755.75
(2.4)	-287.542	-287.9	-288.4	-288.9	-289.34
(2.5)	-333.87	-335.6	-337.9	-340.2	-342.5
(2.6)	-476.48	-469.06	-459.16	-449.25	-439.36

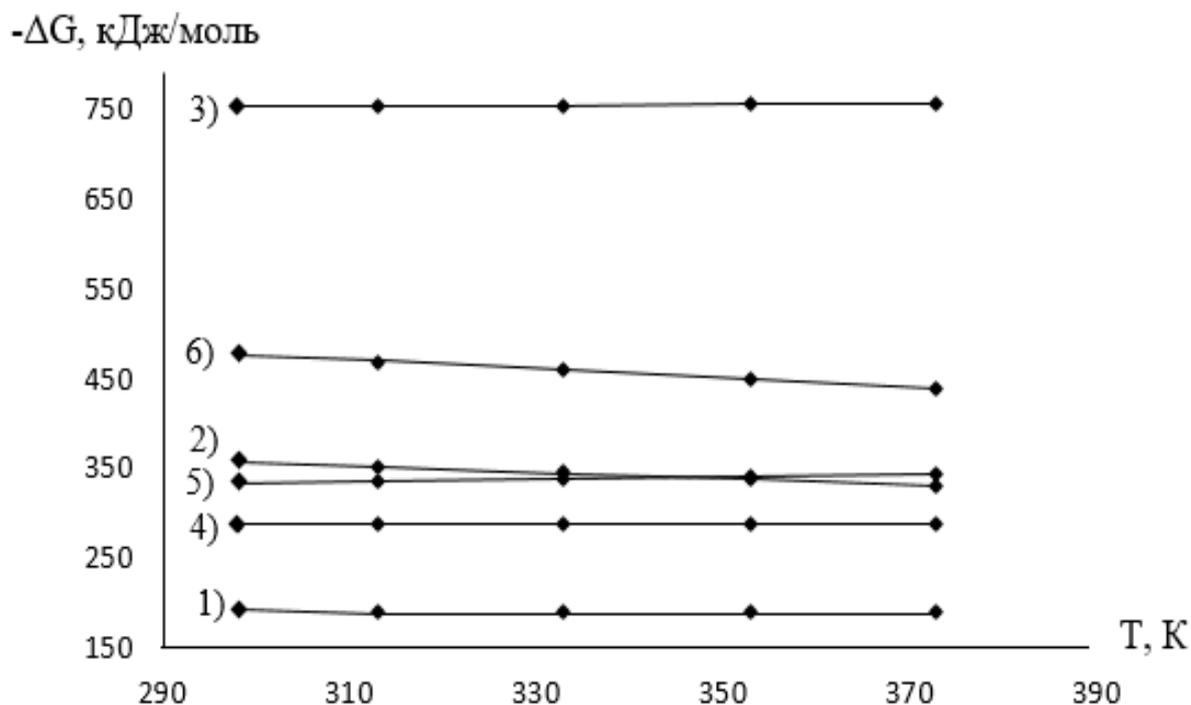


Рисунок 2.5 – Влияние тем-ры на величины численных значений энергии Гиббса при разложении хвостового материала хвостохранилища "Карта 1-9".

2.2.4. Расчёт материального баланса сернокислотного разложения на 1 кг хвостов хвостохранилища "Карта 1-9"

Был рассчитан материальный баланс хвостов хвостохранилища "Карта 1-9", расчёт проводили на 1 килограмм хвостового материала при разложении его 50% серной кислотой, соответственно, израсходовано 700 г 50% H_2SO_4 , проведён пересчёт на 100% H_2SO_4 и, таким образом, для разложения 1 килограмма хвостов необходимо 463 г серной кислоты (таблица 2.10).

Соответственно, после использования вышеприведённого количества кислоты, из хвостового ураносодержащего материала хвостохранилища "Карта 1-9" извлечение UO_2 было равно 61%, то есть в эксперименте получили 0,66 грамм UO_2SO_4 , при этом 39% хвостового материала с кислотой не прореагировало. В расходной части материального баланса показано, что 217.35 грамм серной кислоты оказалось в избытке.

Таблица 2.10. – Материальный баланс для вторичной сернокислотной обработки (расчёт для 1 кг хвостов хвостохранилища "Карта 1-9")

Приход	в кг	%	Расход	в кг	%
Al ₂ O ₃	0.107	6.3	Al ₂ (SO ₄) ₃	0.359	21.12
Fe ₂ O ₃	0.041	2.41	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.103	6.06
MnO ₂	0.0051	0.3	Mn(SO ₄) ₂	0.002	0.12
Mg(OH) ₂	0.055	3.24	MgSO ₄	0.114	6.7
UO ₂	0.00018	0.01	UO ₂ SO ₄	0.002	0,12
SiO ₂	0.694	40.8	SiO ₂ , в том числе непро- реагировавшие элементы	0.71	41.77
Кристаллиза- ционная вода	0.097	5.74	H ₂ O	0.19	11,17
H ₂ SO ₄ , 50%	0.700	41.2	H ₂ SO ₄ , избыток	0.22	12.94
Итого:	1.70	100	Итого:	1.70	100

2.2.5. Термодинамический анализ протекающих процессов при сернокислотном выщелачивании руд месторождения "Танзим"

В месторождении "Танзим" ураносодержащие руды представлены сложным составом. После проведения рентгенофазового анализа этих руд определены минералы состава данной ураносодержащей руды, которые приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11. – Минералы ураносодержащей руды месторождения "Танзим"

Уранинит	(UO ₂)
Пирит	(FeS ₂)
Каолинит	(Al ₂ Si ₂ O ₇ ·2H ₂ O)
Сфен	CaTiSiO ₄
Пирофиллит	Al ₂ [OH] ₂ {Si ₄ O ₁₀ }
Галенит	PbS

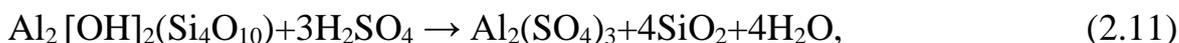
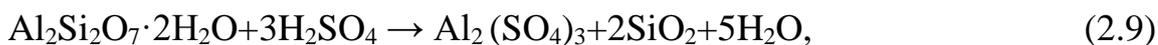
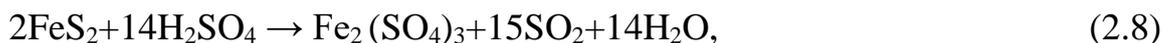
Минеральный состав ураносодержащей руды месторождения "Танзим" подтверждён справочными данными по изменению термодинамических характе-

ристик этих минералов – энтальпии и энтропии, которые обобщены в виде таблицы 2.12.

Таблица 2.12. – Значения термодинамических характеристик, вычисленные для минералов ураносодержащей руды месторождения “Танзим” и продуктов их разложения

№	Вещество	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·К
1.	UO ₂ (т)	-1081.23	80
2.	FeS ₂ (т)	-163.18	53
3.	H ₂ SO ₄ (ж)	-814.2	157
4.	Al ₂ Si ₂ O ₇ ·2H ₂ O (т)	-4098.65	203
5.	HNO ₃ (ж)	-174.14	155
6.	CaTiSiO ₄ (т)	-2600.56	173
7.	CaSO ₄ (р-р)	-1454.06	-40
8.	TiSO ₄ (р-р)	-1601.4	-173.3
9.	UO ₂ SO ₄ (р-р)	-1929.7	81.2
10.	NO ₂ (т)	33.5	240
11.	H ₂ O ж	-285.8	70
12.	Al ₂ (SO ₄) ₃ (р-р)	-3792.33	550
13.	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (р-р)	-2825.7	-564
14.	S (т)	1.68	167.7
15.	SO ₂ (т)	-296.9	248.1
16.	SiO ₂ (т)	-910.94	41.84
17.	PbS (т)	-100.42	91.21
18.	PbSO ₄ (т)	-911.9	31.01
19.	Al ₂ [OH] ₂ {Si ₄ O ₁₀ } (т)	42.342	236.8

Были составлены химические реакции, характеризующие сернокислотное разложение минералов ураносодержащей руды месторождения "Танзим":



При разложении всех минералов хвостового материала, согласно полученным химическим реакциям (2.7)-(2.12) были соответственно рассчитаны величины термодинамических характеристик, обобщённые в таблице 2.13.

Таблица 2.13. – Вычисленные термодинамические характеристики для реакций (2.7)-(2.12)

№ реакции	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , кДж/моль·К	ΔG^0_{298} , кДж/моль
(2.7)	-190.62	0.006	-192.41
(2.8)	482.63	1.84	-65.7
(2.9)	-502.11	0.79	-737.53
(2.10)	-309.1	0.1705	-359.91
(2.11)	-617.9	-0.061	-599.72
(2.12)	115.72	0.932	-162.02

В таблице 2.14 и на рисунке 2.6 обобщены результаты расчётов ещё одного важного термодинамического параметра – энергии Гиббса для каждой из возможных реакций разложения для ураносодержащей руды месторождения "Танзим". По полученным величинам можно утверждать, что процесс разложения происходит в стандартных условиях. Из результатов таблицы 2.14 и графического рисунка можно заключить, что с увеличением тем-ры скорости всех возможных реакций (2.7)-(2.12) также возрастают.

Таблица 2.14. – Величины энергии Гиббса химических реакций (2.7)-(2.12) при различных тем-рах (298-373 Кельвина)

№ реакции	ΔG^0_{298}	ΔG^0_{313}	ΔG^0_{333}	ΔG^0_{353}	ΔG^0_{373}
	ΔG , кДж/моль				
(2.7)	-192.41	-188.76	-188.64	-188.53	-188.41
(2.8)	-65.7	-93.3	-130.1	-166.9	-203.7
(2.9)	-737.53	-749.38	-765.18	-780.98	-796.8
(2.10)	-359.91	-362,47	-365.88	-369.28	372.7
(2.11)	-599.72	-598,81	-597.59	-596.37	-595.15
(2.12)	-162.02	-175.96	-194.94	-213.3	-231.9

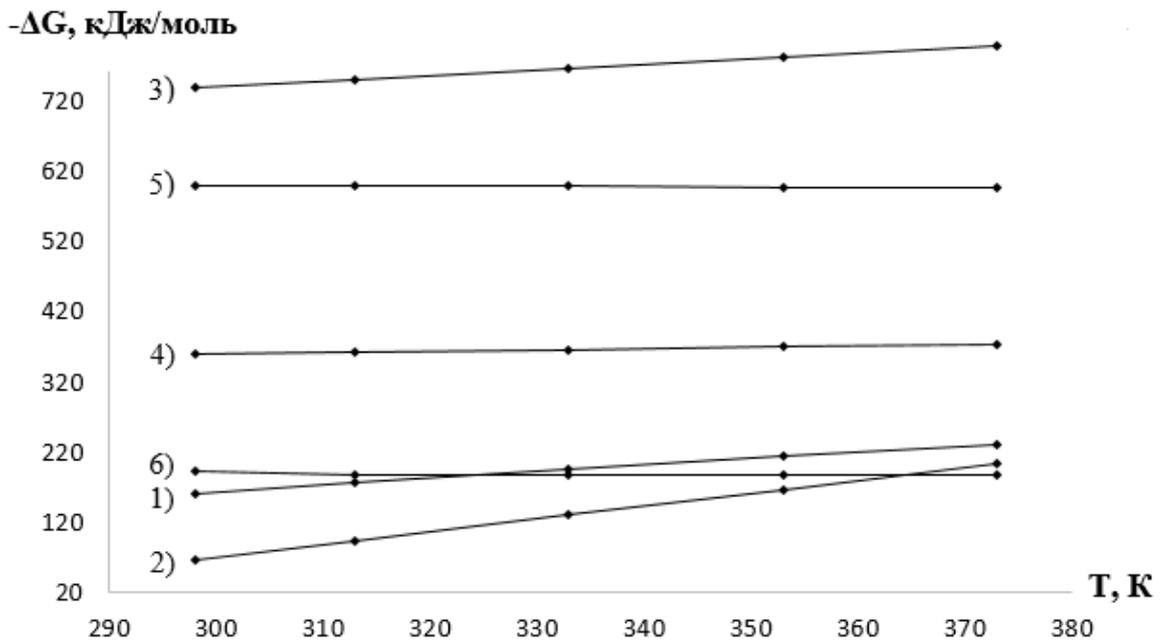


Рисунок 2.6 – Влияние тем-ры на изменение энергии Гиббса при разложении минералов руды месторождения “Танзим” (1 - уранинит, 2 - пирит, 3 - каолинит, 4 - сфен, 5 - пирофиллит, 6 – галенит).

Следовательно, для разложения ураносодержащих руд месторождения “Танзим” определён диапазон оптимальных температур (298-373 Кельвина), в этом диапазоне наблюдается максимальное разложение минералов и максимальное получение конечных продуктов.

**2.2.6. Расчёт материального баланса сернокислотного разложения
на 1 кг руды месторождения "Танзим"**

Соответственно, для разложения ураносодержащей руды месторождения "Танзим" рассчитан материальный баланс. Вычисления проводили, используя навеску руды 1.00 килограмм, которую разлагали серной кислотой концентрацией 30%, при этом H_2SO_4 (30%) было израсходовано 1224.4 грамм, после чего проводили перерасчёт на 100% H_2SO_4 и, таким образом, для разложения 1 килограмма руды необходимо 651,9 г серной кислоты (таблица 2.15).

Таблица 2.15. – Материальный баланс разложения руды месторождения "Танзим" серной кислотой (из расчёта на 1 кг руды)

Приход	В г	%	Расход	В г	%
Al_2O_3	169	7.6	$Al_2(SO_4)_3$	459.35	20.65
Fe_2O_3	190.4	8.56	$Fe_2(SO_4)_3$	203.25	9.14
PbO	1.3	0.06	$PbSO_4$	2.27	0.195
TiO_2	17.6	0.8	$Ti(SO_4)_2$	15.9	0.795
CaO	31	1.4	$CaSO_4$	53.43	2.4
SiO_2	498.19	22.42	SiO_2 , в том числе непрореагировавшие элементы	911.95	40.91
Кристаллиза- ционная вода	90.1	4.05	H_2O	195.7	8.8
UO_2	2.41	0.11	UO_2SO_4	1.49	0.07
H_2SO_4 , 30%	1224.4	55	H_2SO_4 , избыток	381.06	17.04
Итого:	2224.4	100	Итого:	2224.4	100

Соответственно, после использования вышеприведённого количества кислоты, из ураносодержащей руды месторождения "Танзим" извлечение UO_2 было равно 93.13%, то есть в эксперименте получили 2.24 грамм UO_2SO_4 , при этом

6.87% руды с кислотой не прореагировало. В расходной части материального баланса показано, что 381.06 грамм серной кислоты оказалось в избытке.

В работе дана термодинамическая оценка переработки ураносодержащих руд и урановых отходов.

Результаты расчётов термодинамических характеристик для каждой из возможных реакций разложения для ураносодержащей руды месторождения "Танзим" показали возможность проведения разложения в стандартных условиях. Также можно сделать заключение, что с увеличением тем-ры от 298 до 373 К скорости всех возможных реакций (2.7)-(2.12) также возрастают, то есть происходит максимальное разложение минералов и максимальное получение конечных продуктов.

2.3. Радиационно-гигиенический мониторинг и пути обеспечения радиационной безопасности населения

С начала основания Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ (АХБРЯБ НАНТ) (2003 г.) была намечена постановка совместных работ с ГУП "Таджредмет" и медицинскими учреждениями, связанных с проблемами радиационной безопасности. Одним из направлений деятельности АХБРЯБ НАНТ, наряду с регулированием, является обеспечение и научное обоснование мероприятий по радиационной безопасности и радиационной защите населения, которое проживает вблизи урановых хвостохранилищ. В этом направлении работы ведутся более 15 лет.

Нами разработана методология радиационно-гигиенического мониторинга (РГМ), используя опыт других стран.

Радиоактивность окружающей среды изучается множеством различных методов, нами были выбраны следующие методы – радиохимический, спектрометрический, радиометрический, натурный радиационно-гигиенический.

Состояние здоровья населения, которое проживает вблизи урановых хвостохранилищ, изучалось клиническими и статистическими методами. Анализ полученных результатов по изучению состояния окружающей среды и здоровья населения показал необходимость проведения соответствующих радиационно-

гигиенических мероприятий, а также усовершенствования нормативно-правового обеспечения в области регулирования системы санитарного и эпидемиологического контроля.

Установлено, что население Согдийской области получает эффективные суммарные среднегодовые дозы облучения населения, равные от 3.2 до 4.2 мЗв в год, при этом население, которое проживает вблизи урановых хвостохранилищ, получает более высокие дозы облучения, составляющие от 9.5 до 11.5 мЗв в год, что происходит за счёт радиоактивных отходов, накопленных в хвостохранилищах.

На территории Согдийской области осуществляется мониторинг концентраций радона и мощностей эквивалентных доз (МЭД), при проведении мониторинга получены повышенные значения МЭД, которые находятся в диапазоне 0.35-0.40 мкЗв/час. Соответственно по результатам проведённого мониторинга сделано заключение об увеличении значений МЭД, которые характеризуют территории, близко расположенные к ураносодержащим хвостохранилищам и географически расположенные вблизи этих хвостохранилищ.

В отдельных участках территорий Согдийской области отмечены превышения по радиационному фону. Данная тенденция наблюдается на территориях расположения радиоактивных хвостохранилищ и отвалов, образованных бывшими уранодобывающими производствами, функционирующими в период Советского Союза, соответственно также на территориях, которые прилегают к ним. Нужно указать, что большинство хвостохранилищ, которые территориально расположены на территории северного Таджикистана – это хвостохранилище Дигмай, Фабрика бедных руд – это открытые хвостохранилища, без защитных покрытий, они по характеристикам хранящихся в них отходов являются низко активными, однако эти территории для населения, проживающего вблизи них и проводившего на их территории различную деятельность (например, огороды, выпас домашних животных) являются опасными и несут реальную угрозу природной окружающей среде.

В северном Таджикистане радиологический мониторинг осуществлялся радиометрическими съёмками всех местностей, было проведено более 1000 радиологических измерений. Использовалось такое переносное оборудование, как дозиметр марки "ДКС-АТ 1123" (для гамма- и рентгеновских измерений), дозиметр-радиометр марки "ДКС-96" (с широким спектром радиологических измерений), дозиметрический комплекс "PackEye" (FHT 1377), спектрометр марки "Inspector-1000", для измерения содержания в воде и воздухе газа радона использовали радиометр радона "РРА-01М-03" (с пробоотборником "ПОУ-04"). Соотношение щелочно-кислотного баланса (рН) в водной среде определяли с помощью рН-метра марки "Eijkelkamp-18.28".

На территориях, прилегающих к Адрасманскому хвостохранилищу, дозы облучения населения, получаемые через ингаляционное поступление продуктов распада радона, были равны 3.99 мЗв в год (рисунок 2.7). Также из рисунка 2.7 можно заключить, что вблизи урановых хвостохранилищ значения годовой эффективной дозы облучения намного выше, чем в контрольном районе.



Рисунок 2.7 – Вклад различных источников в среднегодовые индивидуальные эффективные дозы облучения пос. Адрасман и Дж. Расуловского района (контрольный район) (1 – за счёт изотопов Rn, 2 – за счёт продуктов питания, 3 – внешнее облучение).

2.4. Радиозэкологический мониторинг минеральных руд Таджикистана

Таджикистан, как промышленно-аграрная республика, имеет потребность в переработке минеральных руд, поэтому вопрос их комплексной переработки имеет важное народнохозяйственное значение. Нами был проведён радиозэкологический мониторинг широким комплексом радиометрических измерений на различных объектах Республики Таджикистан – месторождениях нерудных полезных ископаемых (данбуриты, фосфориты, флюориты и др.), месторождениях рудного золота, цветных и редких металлов, в строительных материалах. В рудных месторождениях естественные радионуклиды (ЕРН) в основном находятся в виде примесных составляющих в основных полезных ископаемых, или же в виде са-

мостоятельных наложенных минерализаций. Элементы уранового и ториевого рядов широко представлены во многих вмещающих породах, как акцессорные минералы, встречаются в россыпных золотоносных породах [124].

В таблице 2.16 приведена удельная активность радионуклидов в пробах некоторых месторождений минеральных руд Таджикистана.

Таблица 2.16. – Величины удельной активности радионуклидов в пробах некоторых минеральных руд Таджикистана

Наименование проб	Величины удельной активности, Бк/кг			
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	²³⁸ U
Руда сурьмы и ртути, Айни	106.83±4.56	15.03±7.47	-	12.44±1.43
Золотоносная, «Дуоба»	786.44±32.8	59.74±5.37	30.59±0.65	14.40±3.49
Золотоносная, «Тарор»	108.36±4.6	32.42±2.59	-	12.48±1.03
Руда нефелин-сиенитовая	1649.30±68.4	63.00±5.87	33.74±0.73	21.06±2.5
Руда флюоритовая	30.46±4.30	92.16±8.07	34.22±0.98	-
Данбурит	3.23±1.12	14.37±1.32	2.98±0.35	-

Содержание ЕРН измерялось гамма-спектрометрическим способом. Анализ полученных данных показал, что в пробах некоторых минеральных руд Таджикистана содержание ЕРН очень низкое. Рудные скопления элементов уранового и ториевого встречаются в разновозрастных геологических комплексах, начиная от архейских кристаллических пород до современных россыпей, но содержания урановых и ториевых соединений в этих породах незначительные. Поэтому дальнейшие работы в этих месторождениях осуществляются без каких либо ограничений по радиационному фактору.

Наибольший интерес в свете вопросов, которым посвящена данная работа, представляют данные о степени радиоактивности различных фосфорсодержащих руд. Фосфорсодержащие минералы обладают радиоактивностью, уровень кото-

рой, как известно, различен даже в пределах одного и того же месторождения. Фосфориты известково-песчаного происхождения, залегающие пластами, обычно обогащены незначительными количествами урана. Поэтому их радиоактивность заметно выше фосфатов вулканического происхождения.

В Республике Таджикистан перспективными месторождениями являются два месторождения – Риват и Каратаг, их минералогический потенциал составляет в сумме около 30 млн. тонн [123]. Более крупным и разведанным является месторождение фосфоритов Риват, расположенное на правом берегу реки Зеравшан.

В таблице 2.17 приведена удельная активность ЕРН в пробах исходной и концентрированной фосфорсодержащей руды месторождений Риват и Каратаг. Как видно из таблицы 2.17, содержание ЕРН в концентрированной руде увеличивается, это обусловлено тем, что при флотационно-химическом обогащении руды радионуклиды не взаимодействуют с реагентами и остаются в обогащённой руде. При флотации в хвосты переходит значительная часть радионуклида К-40.

Нами были обследованы территории Риватского и Каратагского месторождений фосфоритов и произведён мониторинг их радиационного фона. Радиологические обследования этих месторождений осуществлялись пешим способом в шахматном порядке. Для мониторинга использовалось следующее оборудование: "INSPECTOR-1000", "АТ-6102", "МКС-АТ1117М". Использование сразу нескольких измерительных приборов было продиктовано тем, что в различные средства измерений различаются соответственно порогами измерений, погрешностями измерения и другими показателями при измерении радиационного фона, поэтому на основе значений, которые были получены различной измерительной аппаратурой, были определены точные значения радиационного фона для этих территорий.

Таблица 2.17. - Удельная активность радионуклидов в пробах фосфорсодержащей руды месторождений Риват и Каратаг

Наименование проб	Величины удельной активности, Бк/кг					
	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	²³² Th	²³⁵ U	²³⁸ U

Риват (исходная проба)	201.23	66.25	120.88	29.24	6.84	77.78
Риват (концентрат)	168.55	109.83	221.24	55.06	16.77	160.81
Каратаг (исходная проба)	262.82	244.97	435.34	18.90	25.20	319.55
Каратаг (концентрат)	80.82	566.97	1004,02	11.36	56.05	776.12

Для Риватского месторождения среднеарифметическая мощность экспозиционной дозы (МЭД) пунктов составляет: для северной части 0.252 мкЗв/ч, для южной части – 0.185 мкЗв/ч. Эти измерения указывают, что значения МЭД обследованных территорий находятся в пределах санитарно-допустимых норм. Некоторые превышения МЭД наблюдаются на поверхности месторождения и на локальных территориях.

Для Каратагского месторождения среднеарифметическая МЭД составляет: для северной части – 0.152 мкЗв/ч, для южной части – 0.142 мкЗв/ч, на поверхности месторождения – 0.186 мкЗв/ч.

2.5. Радионуклиды в строительных материалах Таджикистана

Большинство стройматериалов, а также импортное и местное сырьё, используемое в производстве стройматериалов (цементы, граниты, пигменты, огнеупорные эмали, огнеупоры, камни и др.), имеют пороговые значения содержания природных радионуклидов, которые отражены в нормативном законодательстве по радиационной защите страны.

В Таджикистан начато проведение радиационного мониторинга и контроля стройматериалов, формируется эффективная система по радиационному контролю, осуществляются меры и разрабатываются мероприятия, которые обеспечивают радиационную безопасность на всех этапах производства строительных материалов.

В связи с тем, что население в основном время проводит в помещениях, а не на открытом пространстве, соответственно, на дозы от естественных источников ионизирующего излучения, получаемые населением, оказывают основное влияние излучения от естественных радионуклидов (ЕРН), содержащихся в стройматериалах, кроме того, конструкции зданий и планировка помещений в

них. Все виды минерального ресурсов, которые находят применение в стройиндустрии, содержат различные содержания радиоактивных веществ. Это свойство минеральных ресурсов является природной или естественной радиоактивностью. Этой радиоактивностью обладает как исходное минеральное сырьё (цемент, песок, щебень и др.), так и готовая товарная продукция (облицовочные плиты, искусственные камни, готовые к употреблению бетоны и растворы, железобетонные конструкции, керамические плитки, кирпичи и др.).

В основном стройматериалы – это природные компоненты, присутствующие в различных экосистемах, обладающие при этом своими индивидуальными радиационными свойствами. Например, во всех минеральных стройматериалах находятся различные содержания различных радиоактивных химических элементов, оказывающих при этом влияние на радиоактивность стройматериалов. Более радиоактивными являются стройматериалы, изготовленные из натуральных камней или стройматериалы из минеральных вяжущих материалов. Несомненно, следует иметь в виду, что один и тот же материал может иметь различные показатели радиоактивности в зависимости от места нахождения месторождения, вследствие чего может наблюдаться некоторый разброс данных по сравнению со средними фоновыми значениями.

Строительные материалы имеют естественную радиоактивность за счёт содержания в них широкого спектра природных радионуклидов - ^{226}Ra (его продукты распада - ^{222}Rn и ^{210}Tl), ^{232}Th , ^{40}K .

Объектом исследования данного раздела являлась минерально-сырьевая база производства стройматериалов в Республике Таджикистан техногенного и природного происхождения. В данном разделе изучен комплекс радиоактивных излучений, который характеризует долгоживущие природные радионуклиды, проведено определение их удельных активностей и радиоизотопного состава.

Сущность радионуклидов, находящихся в стройматериалах, широко используемых в Республике Таджикистан, учитывается на основании требований ГОСТ и НРБ-06, исходя из чего происходит разработка необходимых мероприятий, направленных на усовершенствование производственных технологий произ-

водства стройматериалов, на снижение и смягчение радиационных рисков, обеспечение населения надёжной защиты от радиационных рисков.

Изучение радиационных характеристик стройматериалов помещений, разработка рекомендаций, средств и методов для снижения радиационных рисков являются своевременной и актуальной задачей, потому что радиационная экология и радиационная безопасность в системах "минеральное сырьё - материалы" и "продукция - население" при дальнейшем развитии промышленности будет ухудшаться. Это связано с отсутствием теоретических основ снижения мощности дозы в помещениях с учётом эффективной удельной активности строительных отделочных материалов.

Отбор и подготовка проб осуществлялись в соответствии с ГОСТ 30108-94 "Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности природных радионуклидов". Объёмы образцов отбирали по условиям помещения их в сосуд Маринелли, объём которого равен 1000 см^3 . Массу образцов определяли взвешиванием на электронных весах с точностью ± 5.0 г. Далее образцы герметично закупоривали для достижения равновесия ^{226}Ra с дочерними продуктами распада и оставляли в течение 30 суток для достижения этого баланса.

Исследования образцов минерального сырья и готовой продукции на его основе проводились в соответствии с нормативными документами - ГОСТ 30108-94 и "Нормы радиационной защиты (НРБ-06)". Согласно этому ГОСТу, ЕРН - это основные радиоактивные нуклиды природного происхождения, содержащиеся в строительных материалах: радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), калий (^{40}K).

Стандарт предписывает методы измерения удельных эффективных активностей по каждому радионуклиду и на основании этих полученных данных все стройматериалы по их радиоактивности подразделяют на классы радиоактивности.

Под понятием удельной эффективной активности ЕРН ($A_{\text{эфф.}}$) подразумевается величина суммарной удельной активности естественных радионуклидов в строительных материалах, причём расчёт данной величины учитывает биологиче-

ское воздействие этих строительных материалов на человеческие организмы. Соответственно, расчёт величины $A_{эфф.}$ проводили с использованием формулы:

$$A_{эфф.} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,085A_K,$$

где: A_{Ra} и A_{Th} – значения удельных активностей радия (^{226}Ra) и тория (^{232}Th), которые находятся в равновесном состоянии по отношению к другим химическим элементам рядов урана и тория;

A_K – удельная активность ^{40}K , Беккерель/кг.

Имеются стандартные методики экспресс-определений, а также лабораторных определений значений величины удельной эффективной активности естественных радионуклидов для строительных материалов и строительных изделий.

Соответственно, в исследованиях значения удельной активности естественных радионуклидов в образцах строительных материалов и изделий определяли на основании использования гамма-спектрометра “Канберра” (твёрдотельного, многоканального, с детектором из высокочистого германия, со свинцовой защитой). Энергетическая калибровка спектрометра и эффективности регистрации гамма-лучей с энергиями от 1836.030 кэВ (энергия ^{88}Y) до 59.540 кэВ (энергия ^{241}Am) проводились с использованием стандартного набора источников гамма-излучения типа "CBSS-2", включающего 10 изотопов.

Для удельной эффективной активности ЕРН ($A_{эфф.}$) использовали методику измерений для каждого образца и каждого радионуклида (ЕРН) с компьютерной обработкой полученных результатов и вычислением погрешности. Затем вычислялась величина абсолютной погрешности $A_{эфф.}$ по нижеприведённому уравнению:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{Ra}^2 + 1,7 \cdot \Delta_{Th}^2 + 0,007 \cdot \Delta_K^2},$$

в котором Δ_j – является погрешностью вычисления значения удельной активности j -го ЕРН в образце, вычисленная, соответственно, по методике измерений.

Значения удельных эффективных активностей естественных радионуклидов в изученных образцах строительных материалов, и установление их класса производится согласно выражению:

$$A_{\text{эфф.м}} = A_{\text{эфф}} + \Delta.$$

Соответственно, были изучены некоторые виды строительных материалов, изучение проведено выборочным радиометрическим анализом, и полученные результаты обобщены в виде таблицы 2.18. Из таблицы 2.18 можно заключить, что удельные активности ($A_{\text{эфф.}}$) различных строительных материалов колеблются в широком диапазоне значений, от 0.885; 1.066 и 1.408 Бк/кг для шпаклёвок, произведённых в г. Душанбе, до 319.04 и 321.13 Бк/кг для природных белых и красных гранитов Таджикистана.

Так, строительные материалы на основе гранитов, вулканических пород имеют более высокие удельные активности по сравнению со строительными материалами на основе карбонатных пород (гипс, известь и др.).

На основании статистической обработки результатов измерений удельной эффективной активности ЕРН ($A_{\text{эфф.}}$) показано, что минимальные величины $A_{\text{эфф.}}$ имеют (в Бк/кг): шпаклёвка - 0,88; кварцевый песок - 7,73; облицовочный гранит - 7,62; известь - 31,44; гипс - 39,90; красная глина - 79,58 и портландцемент - 77,13. Клеи для плитки (от 143,19 до 193,36 Бк/кг), кирпич керамический (116,85 Бк/кг), облицовочный камень (163,15 Бк/кг), строительный песок (213,45 Бк/кг), щебень (229,03 Бк/кг), глазурованная плитка керамическая (254,94 Бк/кг) и природный гранит (321 Бк/кг) имеют более высокие величины несколько более высокие значения удельной эффективной активности по ЕРН.

Таблица 2.18. – Величины средних удельных активностей ЕРН в строительных материалах Таджикистана

№	Наименование материала	Удельная активность, Бк/кг			A _{эфф} , Бк/кг	±Д, Бк/кг
		К-40	Ra-226	Th-232		
1.	Клей плиточный “Oelfin”, Душанбе, Таджикистан	514.74 ±21.46	65.46± 5.94	35.02± 0.74	154.09	6.28
2.	Клей плиточный, Душанбе, Таджикистан	544.45 ±22.69	56.96± 5.21	30.50± 0.65	143.19	5.61
3.	Клей плиточный “Laman”, Душанбе, Таджикистан	591.03 ±24.96	89.08± 8.36	41.25± 1.04	193.36	8.72
4.	Клей плиточный “Pufas”, Душанбе, Таджикистан	595.2± 25.26	77.15± 7.54	38.54± 1.05	178.23	7.95
5.	Шпаклёвка “NG”, Душанбе, Таджикистан	10.41± 1.31	-	-	0.885	0.11
6.	Шпаклёвка “Кристалл”, Душанбе, Таджикистан	12.54± 1.64	-	-	1.066	0.13
7.	Шпаклёвка “Арсенал”, Душанбе, Таджикистан	16.57± 1.50	-	-	1.408	0.12
8.	Природный гранит белый, Таджикистан	701.98 ±29.14	117.20 ±33.02	108.53 ±1.87	319.04	33.20
9.	Природный гранит красный, Таджикистан	587.57 ±24.41	170.17 ±14.92	77.11± 1.36	321.13	15.16
10.	Гранит облицовочный, Таджикистан	54.23± 2.44	-	2.30± 0.12	7.62	0.26
11.	Кварцевый песок	-	6.25± 3.33	1.13± 0.074	7.73	3.33
12.	Красная глина Ширкент, Таджикистан	373.30 ±21.51	“	36.53± 2.77	79.58	4.04
13.	Песок строительный, Душанбе,	839.80 ±34.95	80.44± 7.33	47.04± 1.02	213.45	8.00
14.	Щебень строительный, Душанбе, Таджикистан	739.22 ±31.62	100.47 ±10.06	50.17± 1.38	229.03	10.56

15.	Керамический кирпич, Душанбе, Таджикистан	580.13 ±24.30	5.54± 0.49	42.75± 0.89	110.85	2.39
16.	Керамический кирпич, Турсунзаде, Таджикистан	347.10 ±15.54	54.22± 9.8	25.29± 1.68	116.85	10.12
17.	Портландцемент М400, Таджикистан	155.21 ±6.58	43.70± 10.23	15.45± 0.34	77.13	10.25
18.	Цемент “Хуаксин-Яван” М500, Яван, Таджикистан	138.81 ±10.26	94.71± 8.52	-	106.51	8.56
19.	Известь, Кизилкала, Таджикистан	25.72± 1.86	29.25± 14.40	-	31.44	14.40
20.	Гипс	118.14 ±11.27	24.31± 9.54	4.24± 0.27	39.90	9.59
21.	Цемент “Укоб” М400, Согдийская область	127.84 ±5.51	49.20± 12.54	19.98± 0.48	86.24	12.56
22.	Камень природный облицовочный	520.78 ±21.90	68.99± 23.45	38.09± 0.85	163.15	23.55
23.	Плитка керамическая глазурованная	337.70 ±14.21	107.89 ±24.40	90.34± 1.61	254.94	24.52

Высокие величины $A_{эфф.}$ для плиточного клея объясняются тем, что в этом материале в основном находятся песок и цемент. Согласно полученным данным можно заключить, что значения удельных активностей для различных товарных марок различны между собой. Эти различия в величинах удельных активностей ЕРН обусловлены различным соотношением песка и цемента в составе различных плиточных клеев.

Как показано в таблице 2.18, минимальная величина ($A_{эфф.}$) ЕРН отмечена у шпаклёвки. Данный факт объясняется тем, что в составе шпаклёвки в основном содержится мел, который имеет очень низкие величины средней удельной активности.

Как видно из исследований магматических пород с целью определения в них радиоактивных загрязнений, удельная эффективная активность минералов гранита месторождения Шайдан значительно выше, чем удельные активности

($A_{\text{эфф.}}$) гранитов других месторождений республики. Значения удельной эффективной активности минералов сильно зависят от геохимических особенностей залегания магматических пород, от их генезиса, поэтому могут варьировать не только в зависимости от месторождения, но и в пределах различных партий сырья из одного месторождения, диапазон значения $A_{\text{эфф.}}$ Может находиться в пределах 66.0-445.0 Бк/кг и более.

Высокие содержания ^{226}Ra в цементе марки М-500, производимом на Яванском заводе, связаны с введением добавок при обжиге и помоле портландцементного клинкера, а также с обогащением сырья радием при высокотемпературной обработке вследствие диссоциации известняка и удаления из глинистых пород воды.

Низкие содержания ^{40}K в цементах по сравнению с большинством других строительных материалов связано с тем, что в их составе преобладает сырьевая известняковая шихта (80%), а сам обжиг является высокотемпературным, при котором из сырья улетучиваются щёлочи. В то же время, калий является более летучим элементом, поскольку имеет достаточно большой ионный радиус (0,133 нм).

Для производства строительных материалов с точки зрения радиологической гигиены более перспективными являются материалы, изготовленные из гипсовых камней и карбонатных пород, имеющих низкие удельные эффективные активности ЕРН. В эту группу входят основные минеральные вяжущие вещества - строительные извести, гипсы, цементы, изготовленные на основе природного сырья, а также материалы на их основе.

Проведён анализ удельных активностей ЕРН в природных цементах в некоторых зарубежных странах и показано, что величины $A_{\text{эфф.}}$ таджикских цементов являются средними (77.13 Бк/кг), по сравнению с очень низкими величинами $A_{\text{эфф.}}$ белорусских цементов (44.44 Бк/кг) и высокими величинами $A_{\text{эфф.}}$ цементов из Швеции (137.06 Бк/кг) (таблица 2.19).

Таблица 2.19. - Сравнение удельных активностей ЕРН для цементов стран мира

Страна	Удельная активность, Бк/кг			A _{эфф} , Бк/кг
	К-40	Ra-226	Th-232	
Таджикистан	155.21	43.70	15,45	77.13
Норвегия	241.00	30.00	18.00	74.07
Венгрия	149.01	26.00	18.00	62.25
Финляндия	241.02	44.00	26.04	98.54
Швеция	241.00	55.00	47.01	137.06
США	111.00	18.00	11.00	41.85
Великобритания	155.00	22.00	18.06	58.76
Россия	172.05	32.08	15.09	68.29
Украина	187.01	43.09	21.08	88.35
Белоруссия	147.00	15.07	12.04	44.44

На основании проведённых системных анализов радиационного качества сырьевого карьерного материала, а также готовой продукции из данных материалов позволяют заключить, что данные строительные материалы (по ГОСТу 30108-94 и НРБ-06) являются слаборадиоактивными объектами, они отнесены к I классу опасности, и их рекомендовано применять в строительстве без каких-либо ограничений.

Рост требований к экологически чистому строительству связан не только с созданием комфортных условий проживания в зданиях, а также с обеспечением полной безопасности зданий для здоровья людей. Установление классов строительных материалов по радиационной безопасности в настоящее время представляет собой только определение величин эффективных удельных активностей ЕРН. Но величины удельных активностей ЕРН не характеризуют опасность выделения радона в зданиях. Материалы, классифицированные по ЕРН, как безопасные, могут быть чрезвычайно опасны с точки зрения радоновыделения из-за высокой излучающей способности самого радона.

Значимость экологической оценки строительных материалов с точки зрения ослабления в них гамма-излучения связана с проблемами радиоактивного загрязнения отдельных территорий городов и, как следствие, с возможным увеличением радиационного фона в новых зданиях и реконструируемых зданиях.

Для строительных материалов и изделий радиологический контроль является многоуровневым, его проводят в местах добычи минерального сырья (карьеры), а также на предприятиях, производящих строительные материалы (производственный контроль). На основании законодательства, в данной сфере деятельности на администрацию предприятий-производителей строительных материалов возлагается полный контроль поступающего сырья и выборочный контроль готовой продукции.

В целом необходимо заключить, что строительное сырьё и строительные материалы имеют широкий спектр изменений активности естественных радионуклидов. Однако нормированные значения удельных эффективных активностей ($A_{эфф.}$) в строительных смесях можно легко вычислить по известным значениям $A_{эфф.}$ сырья, учитывая их массовые вклады и технологические особенности их производств. Это важное обстоятельство, указывающее на возможность контроля радиологического качества строительной продукции за счёт исключения или снижения доли высокорadioактивного сырья в строительных материалах и изделиях.

2.6. Естественные и искусственные радионуклиды в биосфере Таджикистана и возможности использования строительных материалов для жилья

Проблема защиты и охраны окружающей природной среды от различного рода загрязнения вызвана множеством негативных реакций на различных антропогенных территориях. В настоящее время растёт интерес к оценке таких загрязнителей, как радионуклидов, которые, в отличие от других загрязнителей, не включаются в процесс самоочищения, а накапливаются в биоэкологическом круговороте. Принимая участие в биологическом круговороте и во всех типах миграций, радионуклиды неизбежно загрязняют важнейшие жизненные природные среды – это продукты питания, воздушный и водный бассейны.

Одним из основных источников поступления радионуклидов и радиоактивных элементов в природную среду можно назвать месторождения полезных ископаемых и отвалы горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности. Территория Согдийской области имеет значительное количество месторождений руд тяжёлых металлов и радиоактивных элементов, а в сельскохозяйственных оборот вовлечены все возможные земли.

Поэтому имеется необходимость организации радиогеоэкологического мониторинга, выявления аномалий, составления карт распространённости естественных радионуклидов и определения содержания искусственных изотопов.

В ходе исследования спектральным методом определены содержания радия, тория и калия-40 в отобранных литохимических и биогеоботанических образцах. Величины суммарных эффективных активностей природных радионуклидов в образцах на основании требований стандарта НРБ-06 не должны превышать 5.0 мЗв в год.

Сравнение результатов анализов и расчётов друг с другом и с нормативными требованиями показало, что территорию Согдийской области можно разделить на три зоны (рисунок 2.8).

В первую зону – входят равнинные территории Согдийской области, со значительно развитым сельским хозяйством, редко встречаются участки с нарушенными природными ландшафтами. В первой зоне величина среднего фонового значения идеальной суммарной активности для естественных радионуклидов равна 130.0 Бк/кг, а фоновые колебания, которые были вычислены на основании разработанной нами методике, составляют не более не ± 30.0 Бк/кг, соответственно, величины максимальных экспозиционных доз внутри зоны колеблются в пределах 0.12-0.18 мЗв/ч.

На данной территории этой зоны находится много объектов, которые в радиационной отношении представляют потенциальную радиационную опасность. Это действующие и законсервированные хвостохранилища ГП "Гаджикредмет". В основном экологическая опасность хвостохранилищ вызывается ветровыми выбросами пыли с их поверхностей.

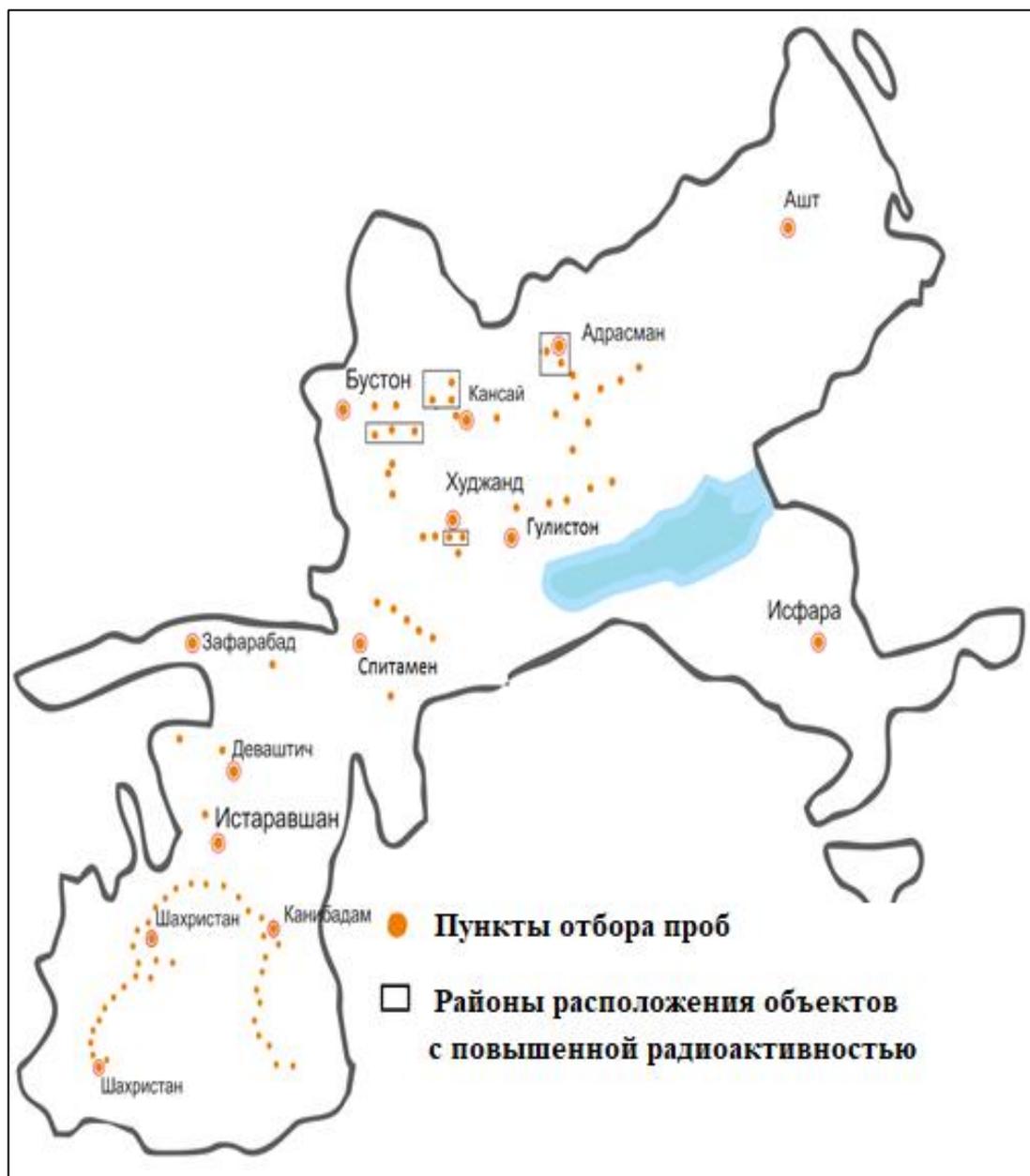


Рисунок 2.8 - Карта отбора проб для анализа естественной радиоактивности северного Таджикистана.

В санитарно-защитных зонах хвостохранилищ из-за распространения радиоактивных материалов в виде пыли удельные суммарные эффективные активности на поверхности почв высокие и достигают от 800 до 1200 Бк/кг, а мощности эквивалентных доз гамма-излучения увеличиваются до 1.5-2.0 мкЗв/ч. На законсервированных хвостохранилищах величины удельных активностей радионуклидов не превышают 120 Бк/кг.

Вторая зона – сюда включены предгорья склонов Туркестанского хребта, на которых величины средних фоновых значений удельных суммарных эффективных активностей природных радионуклидов составляют 180 Бк/кг, а изменения фона не превышают ± 32 Бк/кг, соответственно, максимальная величина фонового значения для территории второй зоны равна 212 Бк/кг.

Третья зона – территория правого берега реки Сырдарья. В состав третьей зоны входят склоны гор Моголтау, Мирзорафатская долина, предгорья Кураминского хребта и Карамазарские горы. Здесь имеется большое количество месторождений полезных ископаемых. Среди них Кони-Мансури-Калон - крупнейшее полиметаллическое месторождение и известное месторождение руд радиоактивных элементов, интенсивно разрабатывавшихся в 1940-1960-е годы.

Наличие минерализованных образований радиоактивных элементов приводит к более высокому содержанию радионуклидов в почвах этого региона по сравнению с остальной территорией исследований.

Средняя фоновая величина удельной суммарной эффективной активности природных радионуклидов в этой зоне равно 220 Бк/кг, а изменения фона составляют ± 50 Бк/кг, соответственно, максимальная величина фонового значения для территории третьей зоны составляет достигает ± 270 Бк/кг, что значительно выше, чем аналогичные показатели для первой и второй зон.

Также необходимо учесть факт, что оценка фоновых значений была получена на основании только результатов анализов проб, отобранных из ненарушенных природных ландшафтов, где исключена возможность техногенных загрязнений от миграции радионуклидов из шахтных отвалов или в процессе эрозии - размыва радиоактивных месторождений и рудопроявлений.

В третьей зоне выделено определенное количество территорий, где отмечается неблагоприятная радиационная обстановка. Прежде всего, сюда относится долина реки Уткен-су, которая пересекает Дальверзинскую степь и Мирзоравадскую долину. Долина реки Уткен-су характеризуется удельными активностями радионуклидов в почвах от 250 до 450 Бк/кг, в отдельных территориях эти величины достигают значений от 2400 до 3000 Бк/кг и выше.

Неблагополучная радиационная обстановка характеризует и долину реки Сарымсахлысай. В верховьях реки в некоторых естественных водных источниках концентрации урана достигают 1.9-2.1 мг, при нормативе предельно-допустимой концентрации для питьевых вод - 1,8 мг/л. В долине Кармазар-сая удельная активность радионуклидов возрастает до 300-600 Бк/кг.

Исходя из полученных результатов измерений, можно сделать следующие рекомендации и выводы.

В целом, исследуемые территории, кроме территорий с аномальными величинами, характеризуются нормальными удельными суммарными эффективными активностями по естественным радионуклидам, которые находятся в пределах предельно-допустимых значений, установленных для материалов первого класса, используемых во вновь строящихся жилых и общественных зданиях.

Величины максимальных фоновых значений соответствуют:

- в первой зоне - менее чем 50% от нормативного значения для материалов первого класса;
- во второй зоне - примерно 60% нормативного значения для материалов первого класса;
- в третьей зоне - составляет 73% нормативного значения для материалов первого класса.

В защитно-санитарных зонах хвостохранилищ удельные суммарные эффективные активности почвогрунтов превышают нормативы для материалов второго класса, что объясняется выносом пылевых радиоактивных частиц с поверхности хвостохранилищ.

В пределах второй зоны потенциально опасным в радиационном отношении являются природные объекты, связанные с выходами на дневную поверхность руд радиоактивных элементов, а также отвалами горных выработок, где может быть повышенное содержание радионуклидов. В настоящее время добыча радиоактивного сырья в данном районе не ведётся.

Материалы из долины реки Уткен-су практически нельзя использовать для строительства жилых и общественных зданий.

Также имеются некоторые риски при развитии на территории долинных участков третьей зоны сельскохозяйственных производств, поскольку высокие концентрации в почвах данной зоны радионуклидов способствуют их накоплению в продукции сельского хозяйства, и по пищевым цепочкам они в дальнейшем попадают в организм человека, вызывая дополнительное внутреннее облучение.

Повышенная удельная активность радионуклидов в пределах русла Карамазар-сая обуславливает ограничение применения песчано-гравийного материала, добываемого в русле реки, для использования в строительстве жилых и общественных зданий.

ГЛАВА 3. РАДОНОВЫЙ МОНИТОРИНГ НА РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ТАДЖИКИСТАНА, ИХ РАДИАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ И РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

3.1. Методологическое и аппаратное обеспечение измерений объёмной активности радона

Общий радиационный фон территорий определяли измерениями уровней радиации на каждой из местностей. Для измерений использовали такое переносное оборудование, как дозиметр марки "ДКС-АТ 1123" (для определения МЭД – мощностей эквивалентных доз) белорусского производства "АТОМТЕХ", дозиметр-радиометр марки "ДКС-96" (с широким спектром радиологических измерений) российского производства "ДОЗА", дозиметр-радиометр марки "МКС-АТ6130" белорусского производства "АТОМТЕХ", дозиметрический комплекс "PackEye" (FHT 1377) германского производства "THERMO".

Мониторинг проведён пешим способом на всей территории района. Комплекс PackEye имеет возможность измерять МЭД и записывать координаты данной точки замера в память прибора.

Проведение радиационных съёмок осуществлялось пешим способом, шагом через каждые 20 метров по основным магистралям и улицам городов и сёл, а также между домами микрорайонов. При измерении радиационного фона на улицах городов работу проводили между тротуаром и асфальтированной частью улицы, так как основной фон создаётся непокрытой частью естественного почвогрунта.

Метод измерений объёмных активностей (ОА) радона в воде. Для измерения объёмных активностей радона в воде использовали циркуляционный метод, сущность которого заключается в следующем. Вместе с воздушной массой радон из объёма пробы при барботировании переводился в рабочую камеру радиометра радона.

Радиометр радона в измерительной камере электростатически осаждает дочерние продукты распада радона, которые были ионизированы, осаждение осуществляется на поверхности полупроводникового детектора с одновременной ре-

гистрацией альфа-излучения RaA (то есть регистрация осуществляется на основании Po-218).

Условия пробоотбора и измерений. Пробы воды отбирались с осуществлением контроля широкого спектра условий природной среды:

- темп-ра воздуха в окружающей природной среды – диапазон от (-2°C) до (+50°C);

- относительная влажность в воздухе замерялась при тем-ре +25°C в диапазоне 0-100% влажности;

- атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст. (или от 84.0 до 106,7 кПа).

При проведении измерений проб воды также проводился контроль широкого спектра условий:

- темп-ра воздуха в окружающей природной среды – диапазон от (+5°C) до (+40°C);

- относительная влажность в воздухе замерялась при тем-ре +25°C в диапазоне 0-86% влажности;

- атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст. (или от 84.0 до 106,7 кПа).

Выполнение измерений. При проведении исследований объёмной активности (ОА) радона необходимо осуществление следующих действий:

- измерение объёмной фоновой активност (ОА) радона в камере радиометра радона;

- перенос радона из отобранной пробы в радиометр радона (его измерительную камеру);

- измерение в камере радиометра радона величины объёмной активности радона.

Фоновые величины ОА радона и их измерение. Измерение фоновых величин ОА радона осуществляют на основании инструкции по эксплуатации радиометра радона. Предварительно необходимо включить на не менее 5 минут встроенный вентилятор для замены в измерительной камере радиометра объёма воздуха. Эту операцию необходимо проводить на улице вне помещения, чтобы был использован наружный воздух.

Далее по инструкции по эксплуатации радиометра необходимо провести не менее пяти измерений фоновой ОА радона (Q_{ϕ}).

Усреднённую величину Q_{ϕ} (в Бк·м⁻³) вычисляют согласно выражению:

$$Q_{\phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{\phi i}, \quad (3.1)$$

где: $Q_{\phi i}$ - величина i -ого измерения, Бк·м⁻³;

N – количество измерений.

Среднее значение (Q_{ϕ}) должно быть ниже собственного фона, значение которого указывается в паспорте и инструкции по эксплуатации прибора.

Перевод радона из пробы воды в измерительную камеру РРА. Схема для перевода радона собирается следующим образом (рисунок 3.1):

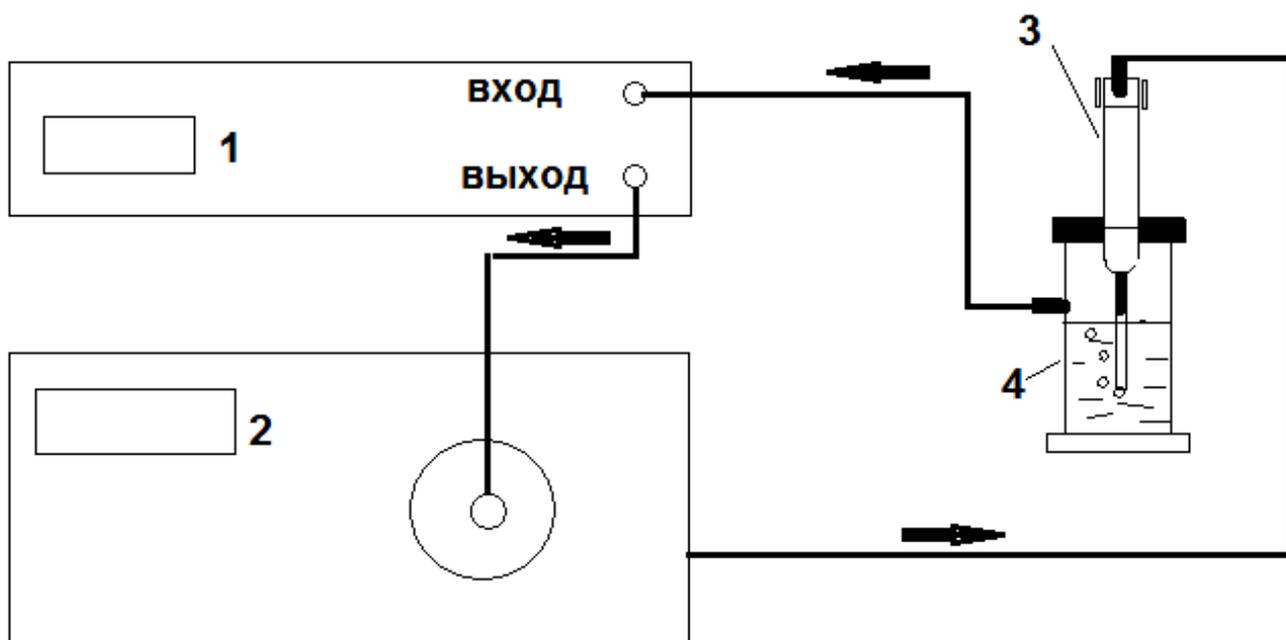


Рисунок 3.1 - Схема измерения проб: 1 – ПОУ; 2 – РРА; 3 – пробоотборник воды; 4 – барботёр с рассекателем.

- соединить между собой штуцер барботёра и штуцер “Вход” ПОУ;
- снять с прозрачной части пробоотборника (“верхней”) резиновую заглушку, заменить её на трубку с рассекателем из комплекта ПОУ, установить пробоотборник с трубкой в гнездо барботёра и загерметизировать его, повернув соединительную гайку;

- снять с пробоотборника оставшуюся крышку и подсоединить освобождённый разъем к выходному разъему РРА;
- входной штуцер РРА и разъем “Выход” ПОУ соединить между собой;
- включить вентилятор ПОУ последовательным нажатием кнопок “2” и “Пуск”, вентилятор должен работать не менее пяти минут.

После завершения смешивания в системе воздушных масс полученные результаты заносятся в протокол.

Определение ОА радона в камере РРА. Далее по инструкции по эксплуатации РРА необходимо провести не менее пяти измерений ОА радона.

Вычисление объёмной активности радона (ОАР) (в Бк·м⁻³) производили согласно выражению:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i, \quad (3.2)$$

где: Q_i – значение i -ого измерения (Бк·м⁻³);

N – число измерений.

Соответственно, полученные результаты измерений ОА радона заносятся в протокол.

Обработка результатов измерений. Величину объёмной активности радона в конкретной пробе (Q_n в единице измерения Бк·м⁻³) рассчитывают с использованием следующего выражения:

$$Q_n = \left(Q \cdot \left(\alpha + \frac{V_2}{V_1} \right) - Q_\phi \cdot \frac{V_2}{V_1} \right) \cdot \exp(\lambda \cdot t), \quad (3.3)$$

где: Q – объёмная активность радона (ОАР), рассчитанная по выражению (3.2) (Бк·м⁻³);

Q_ϕ – объёмная активность радона (ОАР), рассчитанная по выражению (3.1) (Бк·м⁻³);

V_2 – объём измерительной камеры радиометра, постоянная величина, равная 1.6 литра;

V_1 – объём пробы воды, отобранной в пробоотборник, в количестве 0.0046 литров;

t – время между окончанием отбора пробы до начала измерений, $t = t_2 - t_1$ (мин);

λ – const распада радона ($Rn-222$), равная $1,26 \cdot 10^{-4}$ мин $^{-1}$;

α – коэффициент растворимости в зависимости от тем-ры, в определённом диапазоне тем-р изменяет результат вычислений менее чем на 0,5%.

3.2. Динамика объёмной активности радона в воздухе жилых помещений г. Бустон

Данный раздел диссертационного исследования охватывает изучение и анализ в жилых помещениях г. Бустон Согдийской области Таджикистана таких параметров, как относительная влажность воздуха, давление, тем-ра, количество альфа-частиц и их влияние на динамику изменения объёмной активности (ОА) радона в этих помещениях города.

Для этих целей нами выбрано для исследований одно из зданий в г. Бустон (кирпичной постройки). Это однокомнатная квартира на первом этаже дома, без подвала. Жилая комната имеет размеры: длину 5.5 метров, ширину 3.5 м, высоту потолков 3.0 м. В комнате расположены два окна с герметичными деревянными рамами, размеры окон составляют – ширина 1.2 м, высота 1.5 м, в рамы вставлены два слоя стёкол. Измерения ОА радона были проведены радоновым радиометром марки РРА-01М-03 24, измерения осуществлены 24.09.2018 года согласно экспресс-методики измерения объёмной активности радона.

После анализа и обобщения полученных результатов сделано заключение, что величина ОА радона и количество альфа-частиц находятся в прямолинейной зависимости. При этом величины относительной влажности воздуха и тем-ры воздуха обратно пропорциональны друг другу. А снижение тем-ры воздуха в помещении также снижает давление воздуха в данном помещении, то есть между тем-рой воздуха и его давлением в помещении находятся в прямолинейной зависимости.

Соответственно, факторы, определяющие ОА радона, также сравнивались во времени в зависимости от количества альфа-частиц, давления воздуха, относительной влажности воздуха, тем-ры и в виде графика обобщены на рисунке 3.2.

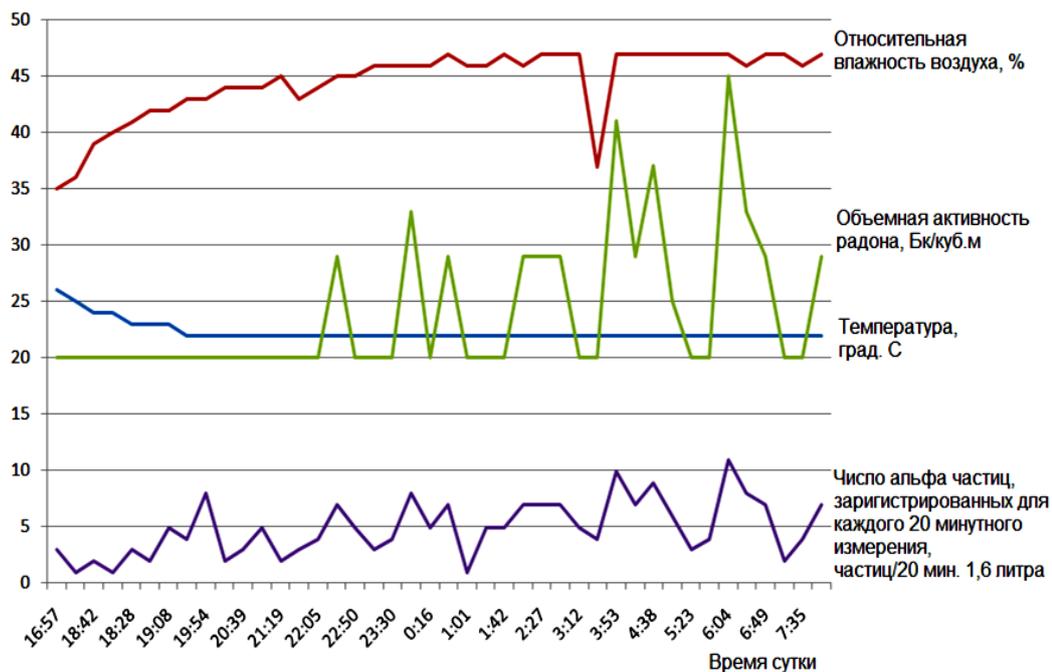


Рисунок 3.2 – Временная зависимость числа альфа-частиц, тем-ры, ОА радона и относительной влажности воздуха.

На рисунке 3.2 показано, что колебания относительной влажности воздуха влияют на изменение величин АО радона. Прямая ОА радона до 22 часов означает, что радоновый радиометр имеет порог чувствительности 20 Бк/м³. Первое достижение ОА радона до 20 Бк/м³ наблюдается после снижения температуры и повышения атмосферного давления. При относительной влажности воздуха более 45% первые заметные повышения содержания радона в ОА наблюдаются после 22:00. Относительная влажность выше 45% и достигает максимума в 47%. После 22:00 до 7:00 следующего дня среднее значение радона в ОА остаётся выше 26 Бк/м³. В этом исследовании относительная влажность воздуха мало повлияла на ОА радона, при этом оба параметра являлись прямо пропорциональными друг другу. Сравнивая динамику ОА радона и количества альфа-частиц, регистрируемых в камере радиометра радона, можно отметить, что ОА радона прямо пропорциональна количеству альфа-частиц. Пики и минимальные значения числа альфа-частиц и ОА радона заведомо совпадают друг с другом. Величина относительной влажности воздуха обратно пропорциональна температуре воздуха. Как видно на рисунке 3.2, при понижении температуры относительная влажность увеличивает-

ся. Напомним, что относительная влажность воздуха — это соотношение парциального (собственного) давления водяного пара и полного давления воздуха при данной температуре. Увеличение относительной влажности воздуха не означает поступления водяных паров извне. Понижение температуры приводит к заметному снижению давления воздуха (кроме водяного пара) в помещении. Парциальное давление водяного пара практически не меняется при понижении температуры. Следовательно, отношение парциального давления водяного пара к полному давлению воздуха при данной температуре увеличивается. Абсолютное количество (масса) водяного пара в помещении остаётся постоянным.

В помещениях с хорошей вентиляцией ОА радона не достигает опасных для здоровья величин. Но активная вентиляция помещения возможна только в странах с умеренным климатом. Но активное проветривание помещения возможно только в странах с умеренным климатом. В жарких регионах, где необходимо минимально проветривать помещения, применяют кондиционеры. В регионах, где погода требует отопления, необходимо также минимально проветривать помещения. Коэффициент вентиляции, который помогает снизить уровень радона ОА, недостаточен для помещений, где очень жарко или очень холодно.

В странах с умеренным климатом помещения зимой также следует проветривать. Для сравнения с нормами радиационной защиты («НРБ-06») «СП-2.6.1.001-06» рассчитывали эквивалентную радиационную объёмную активность (ЭРОА) радона (на основании МУ 2.6.1.2838-11 использовали значение коэффициента $F=0,5$). Полученные расчётные значения по ЭРОА радона приводятся в таблице 3.1.

Поскольку мониторинг концентраций радона был проведён в сентябре месяце, за счёт вентиляции помещения ОА радона была достаточно невысокой (ниже 24 Бк/м^3). Результаты соответствия ЭРОА радона с НРБ-06 СП 2.6.1.001-06 только за короткий промежуток времени (15 ч) недостаточно точные. Чтобы положительно оценить СЭРОА радона, необходимо использование более подходящего метода измерения – с установкой на один год трековых детекторов.

Таблица 3.1. – Сравнение ЭРОА радона с НРБ-06 СП 2.6.1.001-06

СЭРОА* дочерних продуктов радона (Rn) и торона (Th) в воздухе помещений $\text{ЭРОА}_{\text{Rn}}+4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{Th}}$	Среднее значение ОА радона в 15 часов	Среднее значение ЭРОА радона в 15 часов	Соответствие к НРБ-06 СП 2.6.1.001-06
100 Бк/м ³	< 24 Бк/м ³	< 12 Бк/м ³	Соответствует
Примечание: *СЭРОА – Величина среднегодовой эквивалентной равновесной объёмной активности.			

Относительно зависимости ОА радона и относительной влажности воздуха в помещении отмечается, что в 22.00 относительная влажность воздуха превышает 45% и при этом отмечено первое заметное увеличение величины ОА радона. Кроме того, при этом значение относительной влажности воздуха становится выше отметки в 45%, достигая своего максимума в 47%. После 22.00 ч до 7.00 ч следующего дня среднее значение ОА радона является постоянным, составляя свыше 26 Бк/м³. В этом исследовании показано слабое влияние относительной влажности воздуха на величины ОА радона. При этом можно заключить, что ОА радона в помещении и относительная влажность воздуха в нём находятся в прямой зависимости друг от друга.

Пики температуры и атмосферного давления практически не влияют на пиковые или минимальные значения ОА радона и количество альфа-частиц, регистрируемых в камере радиометра радона.

3.3. Показатели объёмной активности радона в воздухе зданий образовательных учреждений г. Истиклол

Одними из показателей качества среды обитания детей в детских дошкольных и школьных учреждениях являются показатели радиационной безопасности, которые определяются эффективными дозами их облучения за счёт всех источников излучения. И хотя эти показатели безопасности не являются самыми главными, тем не менее, если говорить о комплексной безопасности жизнедеятельности обитателей этих учреждений, не принимать их во внимание нельзя.

Проведён мониторинг радона в воздухе зданий дошкольных и школьных образовательных учреждений города Истиклол, Таджикистан.

На начальном этапе этих работ, как правило, измерениями охватывалось небольшое число жилых и общественных зданий. По мере накопления данных, развития аппаратной базы, совершенствования методического обеспечения исследования становились более обширными и исследовались все здания дошкольных и школьных образовательных учреждений, находящихся в г. Истиклол. В качестве средства измерения использовался радиометр радона PPA-01M-03.

В целях определения существующей радиационной ситуации также были произведены замеры мощности эквивалентной дозы (МЭД) радиационного фона. Измерения значений МЭД проводились с использованием дозиметров АТОМТЕХ (Беларусь) ДКС-1123 и РаскEye (ФНТ 1377).

В ходе комплексного радиационного обследования зданий г. Истиклол было выявлено, что среднее значение объёмной активности (ОА) радона и МЭД в воздухе помещений в зданиях достигает 93 Бк/м^3 и $0,15 \text{ мкЗв/час}$, соответственно. Данные параметры не превышают установленных в "Нормах радиационной безопасности" ("НРБ-06 СП 2.6.1.001-06") нормативов в 200 Бк/м^3 (для ранее построенных зданий).

Значения эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона в воздухе помещений являются важной характеристикой радоноопасности территорий, учитываемой при проектировании и эксплуатации зданий различного назначения. Это связано, прежде всего, с тем, что ЭРОА является комплексной характеристикой, учитывающей объёмные активности дочерних продуктов распада, таких как ^{218}Po , ^{214}Pb и ^{214}Bi , причём два последних являются гамма-излучателями. Поступление радона в воздух помещений регламентируется наличием ^{226}Ra в подстилающей поверхности в строительных материалах, слагающих структуру того или иного здания. Результаты замеров обобщены в таблице 3.2.

Представленные в таблице 3.2 данные свидетельствуют о том, что проблема защиты будущего поколения от вредного воздействия ионизирующего излучения требует комплексного исследования и оценки. Известно, что на детский организм

воздействия радона оказывают значительно большее влияние, чем на взрослый организм, потому что доза облучения в бронхах от вдыхании продуктов распада сильно зависит от возраста, понижаясь с возрастом, а максимальная доза приходится на возраст около 6 лет.

Таблица 3.2. – Показатели объёмной активности радона в воздухе жилых помещений и в помещениях дошкольных и школьных образовательных учреждений г. Истиклол

№ п/п	Учреждение, адрес	Материалы зданий и год постройки	МЭД, мкЗв/час	ОА радона, Бк/м ³	ЭРОА радона, Бк/м ³
1	Средняя школа №1	бетон, 1951	0.16	43	17.2
2	Средняя школа №2	бетон	0.14	37	14.8
3	Средняя школа №3	кирпич	0.14	25	10.0
4	Средняя школа №4	кирпич, 1950	0.15	144	58
5	Средняя школа №5	камень, 1948	0.15	150	60
6	Средняя школа №6	кирпич,	0.15	52	20.8
7	Здание детского сада №3	кирпич, 1990	0.19	37	14.8
8	Гособручение проф.тех.училища	камень, 1946	0.13	259	103.6

В профилактических целях рекомендуется в дошкольных и школьных учреждениях обязательно периодически проветривать помещения.

3.4. Радиологический мониторинг хвостохранилища посёлка Адрасман Республики Таджикистан

Интенсивность естественного гамма-излучения в районе расположения хвостохранилища №2 закономерно убывает от 0,25-0,40 мкЗв/час для гранит-порфиров и других типов пород, до 0,24-0,28 мкЗв/час для андезитовых и андезитдацитовых порфиров. Среднее фоновое значение МЭД гамма-излучения, определённое по 80 замерам, составляет для района хвостохранилища $0,38 \pm 0,02$ мкЗв/час. Максимальное фоновое значение составляет 0,42 мкЗв/час. Предельное значение дозы гамма-излучения, по которому определяется ореол радиоактивного загрязнения, составляет 0,62 мкЗв/час.

МЭД гамма-излучения и её пространственное распределение на прилегающей территории показано на карте (рисунок. 3.3).

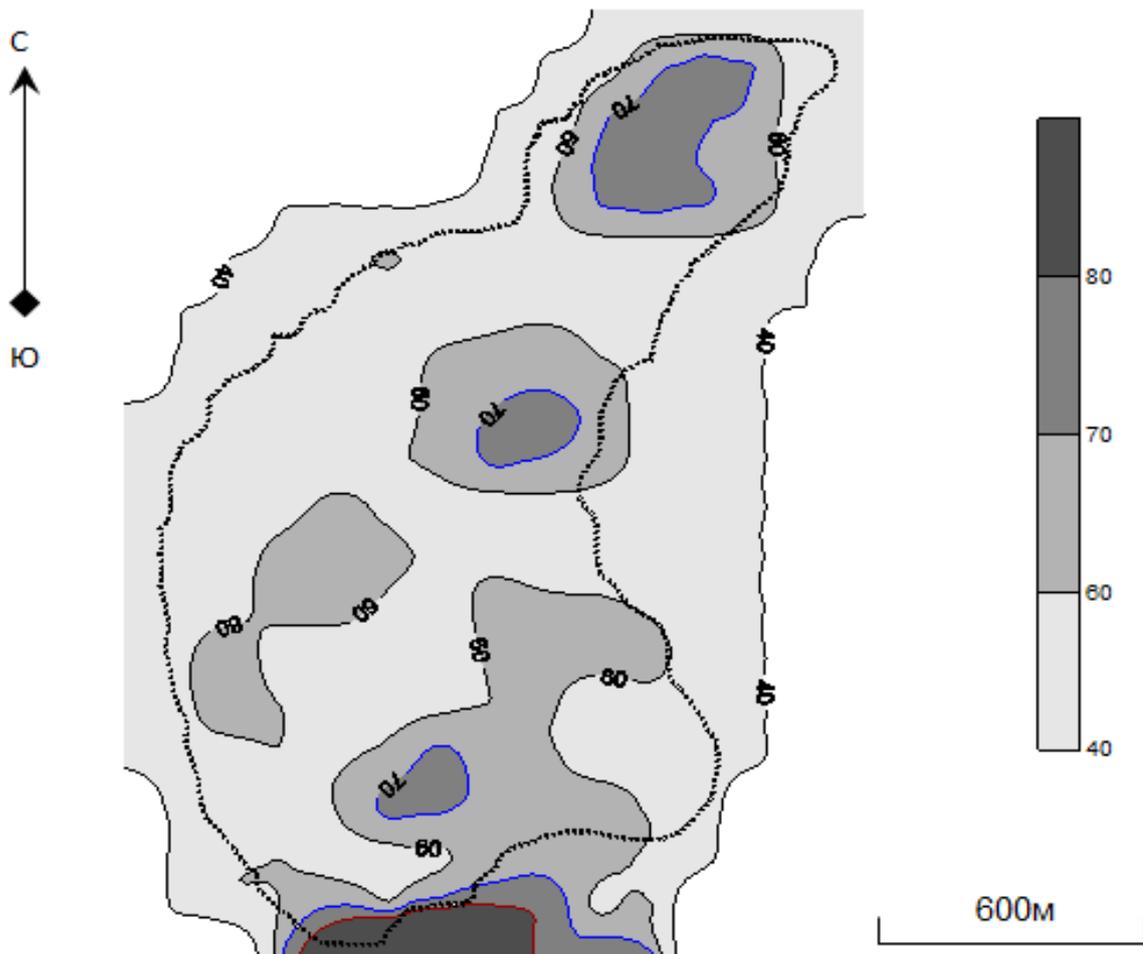


Рисунок 3.3 - Карта гамма-поля хвостохранилища №2 посёлка Адрасман.

На значительной части поверхности МЭД гамма-излучения превышает нормативы, установленные для законсервированных хвостохранилищ. Причина заключается в том, что для перекрытия радиоактивных отходов использовались отвалы вскрышных пород бывших шахт и штолен, которые отличаются повышенной радиоактивностью.

Гидрохимическая сеть хвостохранилища №2 представлена родниками и ручьями, входящими в область водосбора горной речки Кармазар-сай. На территории хвостохранилища отсутствуют наблюдательные скважины, а воздействие хвостохранилища на качество поверхностных и подземных вод оценивается по результатам отбора проб из ручьев и родников и ручьев, находящихся ниже по рельефу и расположенных рядом с хвостохранилищами.

В таблице 3.3 приведены результаты физико-химического анализа проб, отобранных из контролируемых водоисточников. Как известно, эксхалация радона на поверхности хвостохранилищ является важной характеристикой мониторинга объекта. В настоящей работе также изучены выделения радона из хвостохранилищ.

Результаты исследований по оценке параметров выброса радона в атмосферу с поверхности хвостохранилища, где радиоактивный материал хвостохранилища выносится временными водотоками и закрепляется и консолидируется в почвенном слое, а также концентрации радона в жилых помещениях и во дворе ближайшего к хвостохранилищу жилого дома, обобщаются в таблице 3.4.

Средние величины плотности потока радона (ППР) с поверхности хвостохранилища (пробы 1-6) составляют 0,37-0,38 Бк/м²·с. Суммарный выброс радона в течение одного года равен $3,0 \cdot 10^{11}$ Беккерель. Учитывая, что зона загрязнения в выведении радиоактивных материалов в результате размыва хвостохранилища оценивается примерно 1,5 га, а плотность потока радона при этом равна 0,57 Бк/м²·с, то выбросы радона с загрязнённой территории очень значительны и могут быть оценены в $2,7 \cdot 10^{11}$ Бк/год. Суммарный годовой выброс радона в атмосферу с хвостохранилища и загрязнённой территории вокруг него оценивается как значительный, составляя $5,7 \cdot 10^{11}$ Беккерель.

Таблица 3.3. - Результаты физико-химического анализа проб водопунктов п. Адрасман

№ пп	Наименование определений	Проба №1 родник из-под плотины		Проба №2 двор жилого дома		Проба №3 ручей		Проба №4 Ка-рамазар-сай		ПДК	
		в мг-экв/л	мг/л	в мг-экв/л	мг/л	в мг-экв/л	мг/л	в мг-экв/л	мг/л	в мг-экв/л	мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Жесткость	9.15		3.9		4.0		4.0			
2	Карбонатная жесткость	6.8		3.0		2.8		3.2			
3	Некарбонатная жесткость	1.35		0.9		1.2		0.8			
4	Запах										
5	рН	7,0-7,5		6,8-8,3		7,2-8,0		6,8-7,7		6-9	
6	Хлорид-ион (Cl ⁻)	1.97	70.0	0.28	10.0	0.33	11.7	0.33	11.7		350
7	Сульфат-ион (SO ₄ ⁻²)	5.0	240.0	1.7	82,1	1.7	82,3	1.8	86.4		500
8	Ca	6.04	120.8	3.6	72.0	3.64	72.8	3.6	72.0		
9	Mg	3.12	37.95	0.28	3.36	0.4	4.8	0.43			
10	Растворение кислорода		8.4		0.8		0.8		0.72		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	NO ₂ ⁻		0.05		сл		-		-		3.3
12	NO ₃ ⁻		0.3		23.2		24.0		19.3		45.0
13	NH ₃		4.69		-		-		-		2.0
14	Fe ³⁺		0.53		0.02		0.16		-		0.3
15	Общий сухой остаток		897.0		330.0		345.0		335.0		1000
16	CO ₃ ²⁻	0.2	6.0	0.1	3.0	0.1	3.0	0.1	3.0		
17	HCO ₃ ⁻	6.8	414.8	3.0	183.0	2.8	170.8	3.2	195.2		
18	Pb		0.009		0.001		0.092		Сл		0.03
19	Zn		-		-		-		-		5.0
20	Cu		0.004		0.023		0.002				1.0
21	As		-		-		-		-		0.05
22	K	0.5	19.5	0.13	5.0	0.12	4.5	0.13	5.0		
23	Na	4.3	100.0	1.09	25.0	0.6	14.0	0.75	17.0		200
24	U		0.03		0.039		0.059		0.03		1.8
25	Mn		0.054		0.017		0.52		0.003		0.1
26	Mo		-		-		-		-		0.25
27	Sr		0.45		0.14		0.14		0.14		7.0
28	Be		-		-		-		-		0.0002

Таблица 3.4. - Результаты исследований по оценке параметров выброса радона на хвостохранилище посёлка Адрасман и его окрестностях

Точки	ОАР, Бк/м ³	ППР, Бк/м ² ·с	ЭРОА ²²² Rn, Бк/м ³	Короткоживущие продукты распада ²²² Rn, Бк/м ³		
				RaA (²¹⁸ Po)	RaB (²¹⁴ Pb)	RaC (²¹⁴ Bi)
1	176	0.36	7.25	18.02	5.55	9.62
2	157	0.41	8.15	21.02	6.25	8.22
3	161	0.52	6.15	30.02	7.25	8.82
4	134	0.47	9.76	48.72	7.76	1.69
5	134	0.28	8.65	20.02	5.25	8.82
6	129	0.23	9.15	24.12	5.15	8.72
7	126	0.16	2.25	18.02	5.55	9.62
8	101	0.72	6.15	30.02	7.25	8.84
9	157	0.71	8.15	21.02	6.25	8.22
10	161	0.52	6.15	30.02	7.25	8.82
11	164	0.87	9.76	48.72	7.76	1.69
12	134	0.28	8.65	20.02	5.25	8.82

По данным замеров, содержания радона в воздухе помещений (пробы 9-11) превышают значения, зафиксированные на открытой местности, однако они укладываются в нормативы, которые закреплены в "Нормах радиационной безопасности" ("НРБ-06").

По значениям мощности дозы гамма-излучения на поверхности хвостохранилища порядка 0,70÷0,80 мкЗв/час и выбросам радона 0,38 Бк/м²·с, хвостохранилище не относится по радиационной опасности к первоочередным объектам по захоронению радиоактивных отходов, но требует контроля и поддержания в исправном инженерно-техническом состоянии.

Ситуация на данном хвостохранилище в целом не вызывает серьёзной обеспокоенности. При этом на этой территории необходимо продолжение полного комплекса исследований – контроль состояния покрытия хвостохранилища; кон-

троль загрязнения вод ручьев, вытекающих из-под тела хвостохранилища в зону посёлка; контроль атмосферного воздуха над поверхностью хвостохранилища, контроль эксхалации радона, проведение этих мероприятий позволит демонстрировать безопасность хвостохранилища и его нормального состояния, особенно в сезоны дождей.

3.5. Радоновый мониторинг на территории Дж. Расуловского района Республики Таджикистан

На территории Джаббор Расуловского района Таджикистана проведён мониторинг загрязнения питьевой воды и воздуха жилых помещений по параметру – величине объёмной активности радона.

По данным МКРЗ - Международной комиссии по радиационной защите, в помещениях люди проводят более 80% времени, а величины объёмных активностей (ОА) радона в воздухе вне помещений невысоки и составляют диапазон 10-40 Бк/м³, исходя из чего нужно указать, что основное облучение от радона люди получают в помещениях, а не на улице.

Замеры объёмных активностей (ОА) радона были сделаны радиометром радона марки "РРА-01М-03", замеры проводились в летний период в помещениях различных типов.

На рисунке 3.4 приводится гистограмма измерений объёмных активностей (ОА) радона в воздухе помещения (комната 1) – это зал, из которого дверь открывается непосредственно на улицу, помещение расположено на первом этаже.

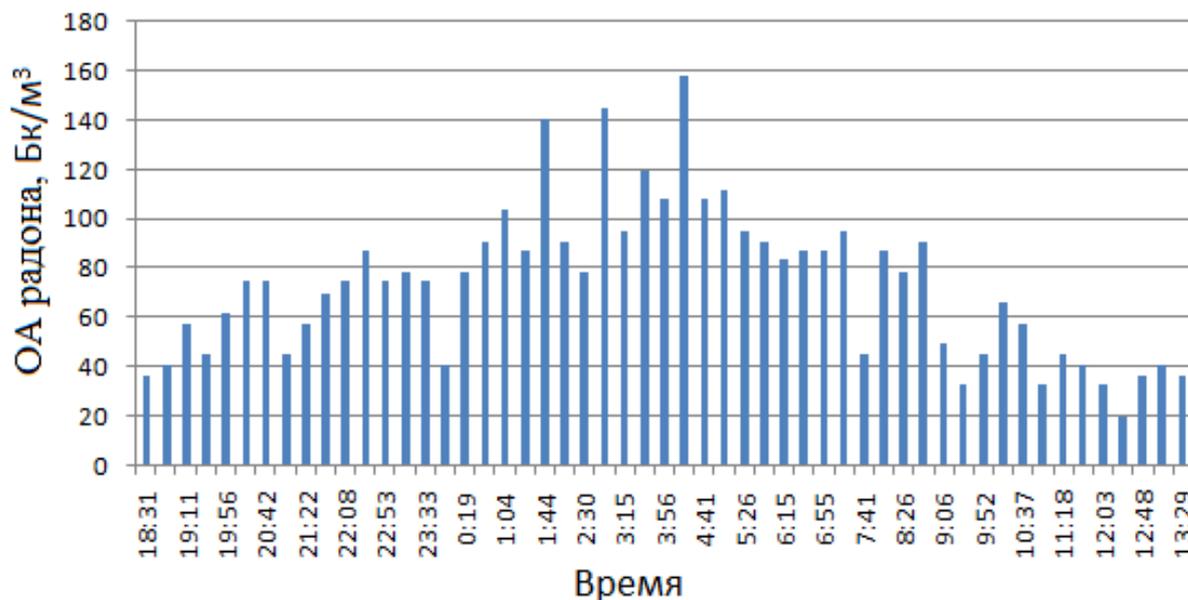


Рисунок-гистограмма 3.4 – Суточное изменение величин ОА радона в помещении (комната 1).

В воздушной среде комнаты 1 определено максимальное значение объёмной активности (ОА), которое оказалось равным 158.0 Бк/м^3 , при этом среднесуточное значение ОА радона, соответственно оказалось равным 73.5 Бк/м^3 . Этот фактор объясняется тем, что днём в комнате 1 открывалась достаточно часто, то есть соответственно происходило проветривание этой комнаты, при этом радон, накопление которого происходило в комнате, смешивался с внешним воздухом, который являлся чистым, без содержания радона, и при этом содержание радона в комнате 1 значительно уменьшалось.

На рисунке 3.5 приводится гистограмма измерений объёмных активностей (ОА) радона в воздушной среде помещения другого типа (комната 2) – это зал, имеющий выход через дверь в коридор. В этом помещении также определено максимальное значение объёмной активности (ОА), которое оказалось равным 58.0 Бк/м^3 , при этом среднесуточное значение ОА радона, соответственно оказалось равным 36.0 Бк/м^3 .

В комнате 2 пол был бетонным, толщина бетона составляла 10 см. Установлено, что бетонное покрытие толщиной 10 см снижает выделение радона в воздух примерно в два раза. Исходя из этого, величины ОА радона в дневной и

ночной периоды невысокие и близкие между собой. Стабильность величин ОА радона в комнате 2 объясняется тем фактом, что поступление радона в это помещение в основном происходит с внешним воздухом.



Рисунок-гистограмма 3.5 - Суточное изменение величин ОА радона в помещении (комната №2).

На территории Джаббор Расуловского района Таджикистана также нами определялись объёмные активности (ОА) радона в питьевых водах. Для определения были использованы методики [106]. Были получены результаты, которые обобщены в виде таблицы 3.5. Как видно из таблицы 3.5, минимальные величины (ОА) радона (6.0 ± 2.0 Бк/л) отмечены в питьевой воде села Янгикишлак, в водной скважине, расположенной в центре села, а максимальная величина ОА радона (37.0 ± 13.0 Бк/л) отмечены в питьевой воде посёлка Гозиён, в западной части, скважине 1.

Уровень воздействия радиационного фактора, при превышении которого необходимо принимать определённые меры защиты, для радона в питьевой воде равен 60.0 Бк/л. Нами на территории Джаббор Расуловского района величины ОА радона были получены значительно низкие, то есть в данном районе для радона в питьевой воде нет необходимости в проведении очистных мероприятий.

Таблица 3.5. - ОА радона в питьевой воде на территории Джаббор Расуловского района

Место отбора пробы	рН	ОА радона, Бк/л
Джамоат Дигмай, источник Чашма (родник 1 на расстоянии 8 км от хвостохранилища)	7.0	11.1±4
Джамоат Дигмай, источник Чашма (родник 2 на расстоянии 8 км от хвостохранилища)	7.0	19.8±8
Джамоат Дигмай, источник, Сассикбулок (родник 3 на расстоянии 6 км от хвостохранилища)	7.2	24.9±10
Посёлок Гозиён (западная часть, скважина 1)	7.0	37.0±13
Посёлок Гозиён (средняя часть, скважина 2)	7.0	36.3±14
Посёлок Гозиён (восточная часть, скважина 3)	7.3	32.7±13
Село Янгикишлак, скважина в центре	7.5	6.0±2
Село Янгикишлак, скважина 3 бригады	7.4	8.0±3
Село Янгикишлак, скважина 4 бригады	7.0	11.0±4
Посёлок Мехробод, центральный рынок	7.8	13.0±4

Кроме того, радон-222 имеет очень короткий период полураспада, который равен всего 3.82 суток. Это значит, что за период 3.82 суток (примерно за 92 часа) величина ОА радона снизится в два и более раз. Поскольку для радона-222 дочерними продуктами распада являются металлы, то они выпадают в осадок. Помимо распада радона-222 в воде, происходит его дегазация (испарение) из воды, если питьевая вода хранится в открытых ёмкостях.

Соответственно, результаты определения величин ОА радона в питьевых водах и воздухе жилых помещений на территории Джаббор Расуловского района Таджикистана обобщены графически на рисунке 3.6.

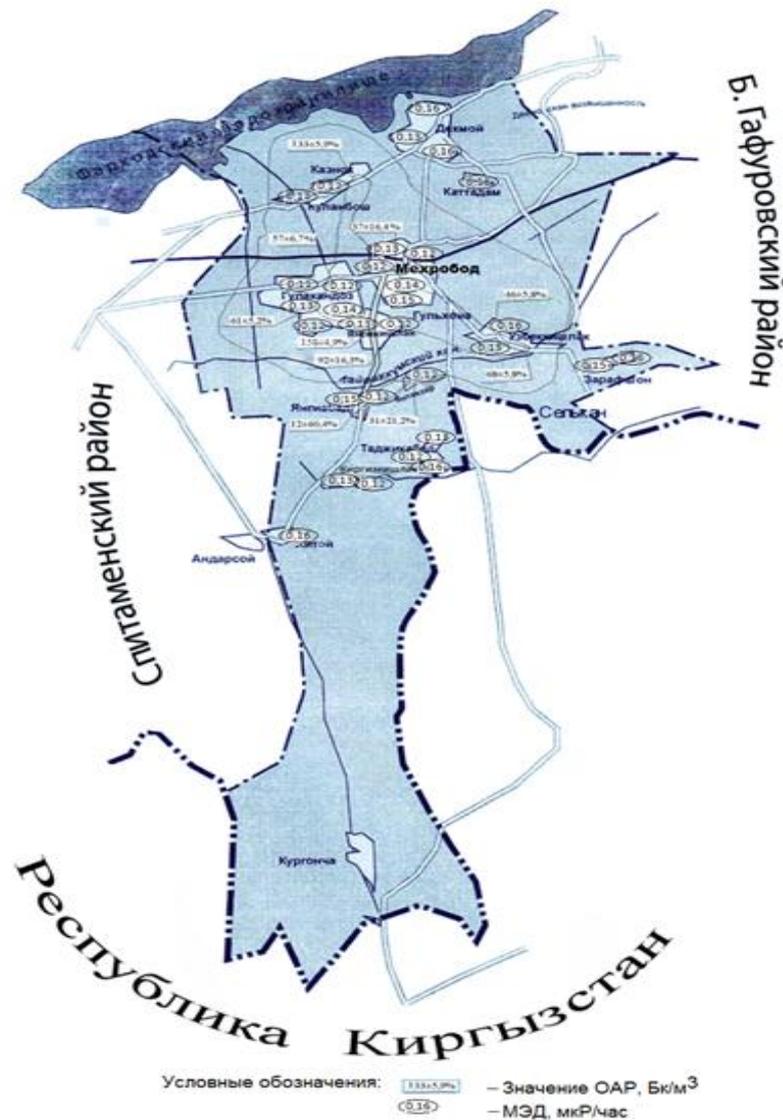


Рисунок 3.6 - ОА радона в воздухе и мощности эквивалентных доз (МЭД) на территории Дж. Расуловского района Таджикистана.

Таким образом, можно заключить, что величины ОА радона в воздухе обследованных помещений составляют 20-158 Бк/м³, то есть находятся ниже предельного значения, установленного для эксплуатируемых зданий (200 Бк/м³). Если поверхность под зданием покрыта бетоном толщиной 10 см, пути проникновения радона из земли в помещение перекрываются, что снижает концентрацию радона в воздухе этих зданий и помещений вдвое. В летний период ни в одной из обследованных точек измерений не наблюдалось превышения существующих нормативных значений эквивалентных равновесных объёмных активностей, установленных в 200 Бк/м³.

В целом, можно сделать заключение, что показатели радонового потенциала на территории района являются стабильными и не оказывают негативных влияний на здоровье людей, проживающих в регионе, что важно учитывать в дальнейшем экономическом и социальном развитии этого района.

3.6. Исследования содержания радона в атмосферном воздухе и в жилых помещениях города Душанбе

Все люди в течение всей своей жизни подвергаются воздействию ионизирующих излучений, в том числе природного происхождения. В годовой дозе радиации, которую каждый человек в усреднённом виде, доля ионизирующих излучений от медицинского лечения и медицинских обследований достаточно высока, составляет около 34%, остальные 66 процентов полученной людьми дозы ионизирующих излучений поступают в организм человека от природных источников, распределяясь следующим образом: от продуктов распада радона – 43% и от естественного радиационно фона – 22 процента.

Газ радон образуется в процессе распада таких радиоактивных элементов, как $^{238}\text{уран}$, $^{232}\text{тории}$ и $^{226}\text{радий}$, находящихся в составе земной коры, радон, как и его “родители” – это альфа-излучатель. Радиоактивные $^{238}\text{уран}$, $^{232}\text{торий}$ и $^{226}\text{радий}$ при распаде образуют целое семейство различных альфа-излучателей, исходя из чего они называются дочерними продуктами их распада (ДПР). Соответственно, ДПР в сравнении с радоном более вредны для здоровья людей, так как они являются твёрдыми веществами и их свойства, как альфа-излучателей проявляются более сильно. В настоящее время известны 39 изотопов радона, все они имеют достаточно быстрый период полураспада, и все радиоактивны. Из состава земной коры происходит регулярное поступление радона в атмосферу, в зависимости от территории это поступление различное. Пути поступления радона в атмосферный воздух помещений различны: выделение из земных недр, эманация из строительных материалов (из цемента, щебня, кирпичей, керамзитов др.), внесение с питьевой водой из водопроводных кранов, с бытовым газом и другими продуктами жизнеобеспечения. Проникновение в помещения радона также осуществляется через участки земной коры, легко проницаемые для этого газа. В воздухе поме-

щений концентрации радона зависят от множества природных и антропогенных факторов – климатических условий, содержания радона в подстилающих горных породах, в почвенном слое, их излучающих способностей, строительных конструкций зданий, устройства вентиляционных систем, а также частоты смены воздуха в помещениях. В зависимости от региона и типа зданий уровни и потоки радона значительно различаются и крайне неравномерны. Также вклад в содержание и потоки радона, поступающие в различные здания и помещения, вносит и его выделение из строительных материалов, из которых построено здание. Радон генерируется строительными материалами в случае, если в них присутствуют значительные содержания урана и тория. Особую опасность могут представлять некоторые разновидности цеолитовых цементов, применяемых в строительстве для бетонных конструкций, а также шлаки, керамзиты, глины и др.

Опасность, связанную со строительством зданий по содержанию радона, необходимо контролировать с помощью радонметров. Радон содержится во всех природных водах, так как он имеет хорошую растворимость в воде. Радон попадает в атмосферу зданий из воды при использовании больших водных масс через его эксхалацию и дегазацию, и далее выносится в атмосферный воздух. Уровни концентрации радона и дочерних продуктов его распада (ДПР) в атмосфере зданий и помещений в основном зависят от множества факторов – это частота проветривания помещений, тщательная герметичность оконных проёмов, стеновых швов, вертикальных каналов коммуникаций, возможность естественной и искусственной вентиляции помещений и др. Так, уровни концентрации радона в жилых помещениях являются более высокими по сравнению с тёплым периодом года, так как зимой традиционно устанавливают вторые рамы и заклеивают окна, закрывая возможность дополнительного воздухообмена. Более того, уровни содержания радона могут быть различными значительно в одном и том же доме и одинаковых условиях в квартирах, что зависит также от образа проживания в этих квартирах жильцов.

Но, как уже отмечалось выше, максимальные снижения уровней радона происходят в домах и квартирах при их хорошей вентиляции. По результатам

анализа объёмных равновесных активностей радона при усиленном воздухообмене можно констатировать, что даже один воздухообмен в течение одного часа снижает концентрацию радона на два порядка.

В Таджикистане согласно нормам радиационной безопасности (НРБ-06) уровни контроля радона установлены: во вновь построенных домах - не выше 100 Бк/м³ и в ранее построенных зданиях - не выше 200 Бк/м³.

Наиболее достоверные результаты по содержанию радона позволяет получить интегральный метод измерения содержания радона в помещениях, определяющий среднее содержание за длительный период (недели, месяцы), которые можно использовать для дальнейших расчётов доз радиации на человека.

Наиболее широко применяемым интегральным методом можно назвать метод измерения с использованием трековых детекторов. Его главным преимуществом является возможность одновременного экспонирования большого количества детекторов с последующей их централизованной обработкой.

С учётом вышеизложенного, для исследования помещений и атмосферного воздуха города Душанбе был использован комплекс приборов для измерения интегральных объёмных активностей радона (²²²Rn) в воздухе трековым методом. Измерения проводились с помощью экспонирующих трековых детекторов радона типа "LD" (для внутренних помещений) и "PD" (для атмосферного воздуха) и фирмы "Altrac - Messstelle zur Bestimmung der Radonkonzentration".

На территории города Душанбе обследовано 12 точек, методом экспонирования 18 детекторов, размещённых в общественных и жилых зданиях. Продолжительность экспозиции составила 3,5 месяца (в летнее время). После экспозиции детекторы были отправлены в лабораторию завода-производителя, где был проведён подсчёт накопленных треков и определены содержания радона. При измерениях и расчётах учитывались следующие параметры: почвы под зданиями, строительные материалы, частота вентилирования, типы помещений, размеры помещений, радиационный фон и другие параметры.

В таблицах 3.6 и 3.7 обобщены результаты определения объёмных активностей радона (ОАР) в различных точках города Душанбе.

Таблица 3.6. – Содержание (значения объёмной активности) радона в воздухе помещений города Душанбе

N трека	Место установления детектора		Радиацион- ный фон, мкЗв/ч	Дата уста- новки де- текторов	Дата сборки детекторов	Время экс- позиции, час	Средняя концентрация (объёмной активности) радона в воздухе поме- щений, Бк/м ³
	широта	долгота					
RN01	38.559124°	68.763947°	0,14	28.04.2016	15.08.2016	2616	74
RN02	38.557673°	68.857089°	0,16	28.04.2016	15.08.2016	2616	250
RN03	38.557673°	68.857089°	0,15	28.04.2016	15.08.2016	2616	270
RN04	38.579955°	68.737733°	0,14	28.04.2016	15.08.2016	2616	36
RN05	38.587521°	68.735428°	0,15	28.04.2016	15.08.2016	2616	44
RN06	38.508283°	68.731283°	0,15	28.04.2016	15.08.2016	2616	38
RN07	38.604710°	68.790630°	0,16	28.04.2016	15.08.2016	2616	110
RN08	38.597096°	68.782022°	0,15	28.04.2016	15.08.2016	2616	38
RN09	38.569592°	68.796984°	0,14	28.04.2016	15.08.2016	2616	41
RN10	38.552729°	68.748758°	0,12	28.04.2016	15.08.2016	2616	110
RN11	38.559330°	68.844913°	0,16	28.04.2016	15.08.2016	2616	110
RN12	38.563601°	68.800160°	0,14	28.04.2016	15.08.2016	2616	61

Таблица 3.7. - Содержание (значения объёмной активности) радона в атмосферном воздухе города Душанбе

Номер тре- ка	Точка установки детектора		Радиационный фон, мкЗв/ч	Дата установ- ки детекторов	Дата сбора детекторов	Время экспо- зиции, час	Средняя concentra- ция (объёмной ак- тивности) радона в воздухе, Бк/м ³
	широта	долгота					
RNO-01	38.559526°	68.764849°	150	28.04.2016	15.08.2016	2616	15
RNO-02	38.557463°	68.856932°	160	28.04.2016	15.08.2016	2616	27
RNO-03	38.604483°	68.790652°	150	28.04.2016	15.08.2016	2616	74
RNO-04	38.506446°	68.731859°	160	28.04.2016	15.08.2016	2616	50
RNO-05	38.596948°	68.782125°	150	28.04.2016	15.08.2016	2616	42
RNO-06	38.558897°	68.844904°	150	28.04.2016	15.08.2016	2616	58

По результаты измерений можно сделать заключение, что в исследованных помещениях не наблюдалось превышения действующего норматива ЭРОА (200 Бк/м³) для построенных ранее зданий, и содержания радона в них варьировали в пределах 36-270 Бк/м³, за исключением RNO₂ и RNO₃, которые были определены в не вентилируемых подвалах. То есть причина повышения содержания радона – отсутствие вентиляции в помещениях.

Исходя из значений таблицы 3.6, можно заключить, что среднее содержание радона в атмосферном воздухе Душанбе невысокое и равно 40-50 Бк/м³.

В летний период во всех без исключения хорошо вентилируемых помещениях не превышены действующие нормативные значения ЭОАР, которые для эксплуатируемых зданий составляют 200 Бк/м³.

Существует вероятность повышения содержания радона в воздухе помещений в отдельных помещениях и зданиях в осенне-зимний период из-за уменьшения частоты вентиляции. Исходя из этого, в профилактических целях рекомендуется обязательно периодически проветривать помещения.

В настоящее время проводится разработка нормативно-правовой базы контроля радона и проект «Государственная программа Радон».

3.7. Общий радиационный фон бассейна реки Сырдарья в пределах Республики Таджикистан

В Республике Таджикистан радиационная экология является важнейшей экологической проблемой, которая связана, во-первых, с горно-геологической и перерабатывающей промышленностью, во-вторых, с радиоактивно рудоносными породами гор Кураминского хребта. Кроме того, так как Согдийская область находится в горловине Ферганской долины и в ней много радиационных объектов, есть вероятность миграции радионуклидов по реке Сырдарья вниз по течению.

Для выяснения радиологической ситуации мы обследовали общий радиационный фон бассейна реки Сырдарья в пределах территории Таджикистана, обследования проводились, как переносными приборами, так и твёрдотельными трековыми детекторами.

Общий радиационный фон населённых пунктов в бассейне реки Сырдарья, расположенных между двумя хребтами - Кураминским и Туркестанским, в пределах районов Таджикистана проводился измерением данной величины на территории площадью более 25 тысяч квадратных километров в 10 районах, восьми городах и 110 населённых пунктах, в которых в общей сложности проживало более 1,5 миллионов человек.

Для измерения общего радиационного фона использовались: поисково-разведывательный прибор марки "СРП-68-01", радиометр "ИЗВ-5б" и дозиметр марки "РКСБ-104М", диапазон измерений которого составлял 1.0-200.0 Р/ч. Перед выездом на объекты работоспособность, чувствительность и эффективность приборов проверялись стандартными эталонными источниками. В связи с широким охватом территории исследования работа проводилась в несколько этапов в период 2019-2022 годов. Измерения радиационного фона были проведены на территориях населённых пунктов, расположенных от левобережья реки Сырдарья до северных склонов Туркестанских гор, от Исфаринского района до Бекабадской плотины. Кроме того, проведён радиологический мониторинг воздуха в населённых пунктах правобережья реки Сырдарья от восточной части Аштского района до западной окраины Матчинского района, включая Кураминские горы. Результаты измерений общего радиационного фона данных территорий обобщены в виде таблицы 3.8 и рисунка 3.7.

По результатам наших измерений, за исключением некоторых локальных мест, общий радиационный фон в бассейне реки Сырдарья в населённых пунктах северного Таджикистана находится в пределах допустимых санитарных норм и не представляет опасности для населения, проживающего на указанных территориях. Среднеарифметический радиационный фон для соответствующих зон составляет:

I – 0,12 мкЗв/час; II – 0,16 мкЗв/час; III – 0,13 мкЗв/час; IV – 0,24 мкЗв/час.

Таблица 3.8. – Величины радиационного фона на территориях северного Таджикистана

Места измерений	Радиационный фон, мкЗв/час
Правый берег р. Сырдарья: район Ашт	
Посёлок Шайдан	0.14-0.18
Посёлок Ашт	0.18-0.22
Кишлак Булак	0.14-0.16
Кишлак Камиш-Курган	0.13-0.14
Кишлак Гулшан	0.16-0.18
Кишлак Дусти	0.18-0.20
Кишлак Олма	0.20-0.22
Кишлак Кирк- Кудук	0.16-0.18
город Табашар	
Бесхозные трубы в северо- восточной части города	1.5-2.1
Железные конструкции в северо-восточной части	1.5-2.1
На краю хвостохранилища №1-4	0.8-1.0
У камнерезного цеха	0.25-0.5
На отходах бедных руд	3.0-6.0
У поликлиники	0.18-0.22
В торговом центре	0.22-0.25
Во дворе СЭС	0.22-0.27
Стены зданий Хукумата города	0.5-0.6
В центре города	0.20-0.22
Во дворе школы №1	0.24-0.28
В здание СМУ (бывшего)	0.55-1.20

Места измерений	Радиационный фон, мкЗв/час
Посёлок Кансай	
Въезд в посёлок	0.18-0.23
В центре посёлка	0.14-0.19
У камнедробильного цеха	0.15-0.2
Остановка автобуса	0.2-0.23
Во дворе школы	0.16-0.20
Посёлок Адрасман	
У больницы	0.16-0.22
Вход в штольню (при въезде в Адрасман)	0.30-0.34
У камнедробильного цеха	0.35-0.42
Во дворе школы №5	0.20-0.30
В гаражах камнедробильного цеха	0.33-0.37
У водостока комбината	0.43-0.56
Матчинский район	
Посёлок Бустон	0.18-0.20
Кишлак Етим-Чуки	0.20-0.23
Хозяйство Ч.Эргашева	0.15-0.23
Хозяйство Правда	0.15-0.20
Хозяйство Куйбышев	0.15-0.19
Город Худжанд (правый берег)	
3, 8 и 12 микрорайоны	0.20-0.24
13, 18, 19 и 20 микрорайоны	0.20-0.24
27 и 28 микрорайоны	0.21÷0.25
31, 32, 33, 34 микрорайоны	0.21-0.25
Областная больница	0.19-0.23

Места измерений	Радиационный фон, мкЗв/час
Горы Моголтау	
За 8 микрорайоны (выше по рельефу)	0.25-0.35
За 12 и 13 микрорайоны (выше по рельефу)	0.24-0.30
Заброшенная штольня в ущелье горы	0.70-0.76
На засыпанной штольне	0.28-0.32
Открытая штольня в ущелье горы	0.40-0.46
Хвостохранилище «Рудник №3»	0.43-0.76
Русло сая за 27 и 28 микрорайонами	0.27-0.40
Посёлок Чашма	0.24-0.29
На подъёме к горе (территория южная часть)	0.31-0.41
Левый берег р. Сырдарья: Исфаринский район	
Центр Исфары	0.10-0.14
Посёлок Ким	0.10-0.14
Посёлок Нефтеабд	0.10-0.13
Кишлак Матпари	0.09-0.12
Кишлак Навгилем	0.12-0.17
Кишлак Офтобруй	0.13-0.18
Кишлак Кулькент	0.12-0.16
Кишлак Чорку	0.13-0.17
Кишлак Ворух	0.13-0.18
Канибадамский район	
Центр Канибадама	0.11-0.16
Кишлаки: Лохути, Махрам, Кучкак и Маданият	0.08-0.12
Кишлаки: Патар, Равот, Шуркурган и Ниязбек	0.09-0.13

Места измерений	Радиационный фон, мкЗв/час
Город Бустон	
Центр города	0.13-0.14
У рынка, почты, школы, больницы, стадиона, парка, дома культуры	0.11-0.15
Вход в горно-металлургический завод	0.13-0.16
Шахристанский район	
Центр района	0.14÷0.18
Кишлаки: Янгикурган, Холдоркипчок, Сароби и Куш-Курган	0.15-0.20
Кишлаки: Карабчи и Увок	0.15-0.18
Кишлаки: Жар-Курган и Кимкул	0.17-0.21
Деваштичский район	
Центр района	0.17-0.20
Кишлаки: Зарнисор, Муджун, Калъаи Дуст, Ходжахо и Нуробод	0.17-0.20
Кишлаки: Калининабад, Дахкат и Метк	0.19-0.21
Город Гулистон	
Центр города	0.13-0.15
Ковровый комбинат, рынок, ресторан, ГАИ, улица Ленина	0.12-0.15
Улица Хукумата города	0.12-0.16
Б. Гафуровский район	
Кишлаки: Шоргул, Катаган, Аучи Калача и Кистакоз	0.12-0.18
Джамоаты: Кизил-Юлдуз и Куйбышев	0.15-0.18
Поселки: Ява и Гозиен	0.09-0.16

Продолжение таблицы 3.8

Места измерений	Радиационный фон, мкЗв/час
Истаравшанский район	
Центр города	0.16-0.20
Кишлаки: Яккатол, Богат, Дахкат, Варсак, Чорбог	0.15-0.16
Кишлаки: Ниджони, Хавутаг, Ободон, Сурхи, Суркат, Уяли, Парчаюз и Уяс	0.18-0.20
Зафарабадский район	
Центр района	0.18-0.20
У Хукумата, рынка, мечети, больница, стадиона	0.14-0.20
Совхозы: Ширин, Победа, Дусти, Айни и 40-летия Таджикистана	0.15-0.18
Спитаменский район	
Центр района	0.14-0.16
Кишлаки: Куркат, Лянгар, Мурык, Кургонча и Октепа	0.12-0.15
Кишлаки: Тагояк и Куш-Тегирмон, пост ГАИ	0.12-0.15
Дж. Расуловский район	
Центр района	0.12-0.14
Кишлаки: Узбеккишлак, Гулхона, Москва, Кургонча и Гулякандоз	0.12-0.14
Кишлаки: Янгиабод, Дигмай, Куланбош и Казнок	0.09-0.11

Соответственно, как показано в таблице 3.8 и на рисунке 3.7, величины общего радиационного фона на территории левого берега реки Сырдарья – это районы Исфаринский, Канибадамский, Шахристанский, Деваштичский, Б. Гафуровский, Истаравшанский, Зафарабадский, Спитаменский, Дж. Расуловский, и на территории городов Гулистон и Бустон находятся в пределах, составляя 0.09-0.21 мкЗв/час, минимальные величины радиационного фона (0.08-0.12 мкЗв/час) отмечены на территории Канибадамского района, в кишлаках Лохути, Махрам,

Кучкак и Маданият, а максимальный радиационный фон (0.21 мкЗв/ч) отмечен на территории Шахристанского (кишлаки Кимкул и Жар-Курган) и Деваштичского (кишлаки Метк, Дахкат и Калининабад) районов.

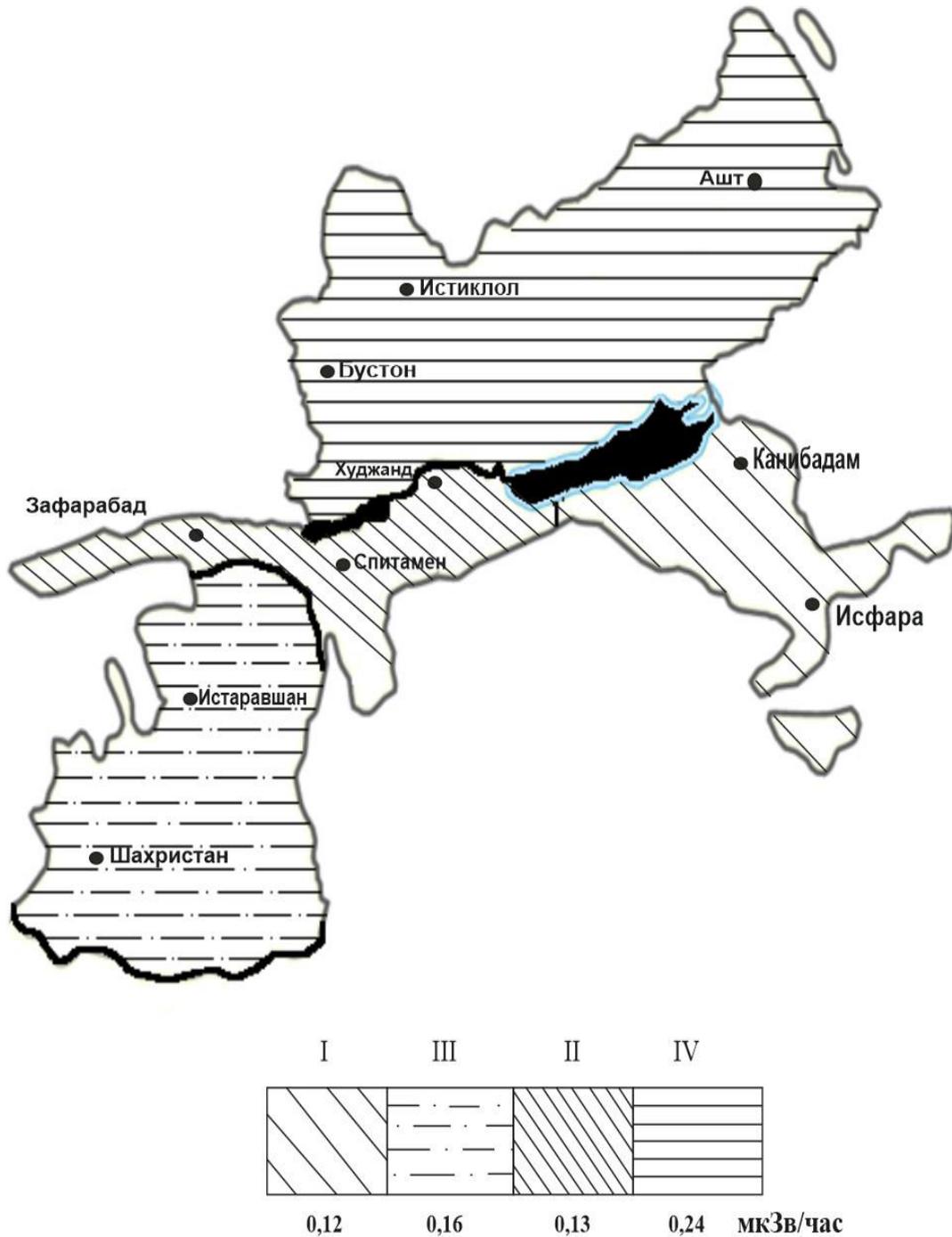


Рисунок 3.7 - Общая радиологическая карта северного Таджикистана.

На территориях правобережной части реки Сырдарья радиационный фон находится в пределах от 0,13 мкЗв/час (Аштский район, кишлак Камиш-Курган)

до 0,51 мкЗв/час (посёлок Адрасман, водосток комбината). В отдельных участках местностей отмечаются аномально повышенные значения радиационного фона, например, 2,1 мкЗв/час (над бесхозными трубами в северо-восточной части города Табошар), 6.0 мкЗв/час (на территории хвостохранилища Фабрика бедных руд), но это связано с локальными точками радиационных загрязнений. В целом в северном Таджикистане радиационный фон является низким.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств на территории северного Таджикистана изучены физико-химические и технологические основы их переработки, которые показали перспективность переработки, в первую очередь, ураносодержащих отходов Чкаловского хвостохранилища.

Для ураносодержащих хвостохранилищ исследованы их инженерно-геологические состояния, а также радионуклидный состав ураносодержащих отходов в них. Рассмотренные ураносодержащие отходы слабоактивны в плане радиоактивности и могут быть переработаны с получением оксида урана (VI) - диурана (V) (U_3O_8).

При переработке ураносодержащих отходов стадии дробления, измельчения, сгущения и др. сокращаются. Выход урана составляет более 90%. Для максимального извлечения урана из отходов уранодобывающих производств определены оптимальные параметры.

Изучены характеристики технических и шахтных вод отходов уранодобывающих производств. Характеристики технических и шахтных вод месторождения Киик-Тал и хвостохранилища города Табошар показали, что из них целесообразно выделять оксид урана (VI) - диурана (V) (U_3O_8).

Изучены причины недоизвлечения полезных компонентов на отвалах ГП "Таджикредмет" при классическом методе извлечения урана выщелачиванием.

Исследованы кинетические параметры сернокислотного разложения ураносодержащего материала из хвостохранилища "Карта 1-9" (г. Бустон). Раскрыт механизм сернокислотного разложения выщелачивания ураносодержащего материала и выбраны оптимальные режимы для извлечения урана в виде оксида урана (VI) - диурана (V) (U_3O_8).

Разработаны принципиальные блок-схемы для переработки ураносодержащих отходов, хранящихся в хвостохранилищах, а также схема выделения урана из технических и шахтных вод отходов бывших урановых производств, включающая стадии: подкисление серной кислотой, сорбцию урана на анионит, десорб-

цию, осаждение аммиачной водой, фильтрацию, получение U_3O_8 , приведённая на рисунке 4.1.

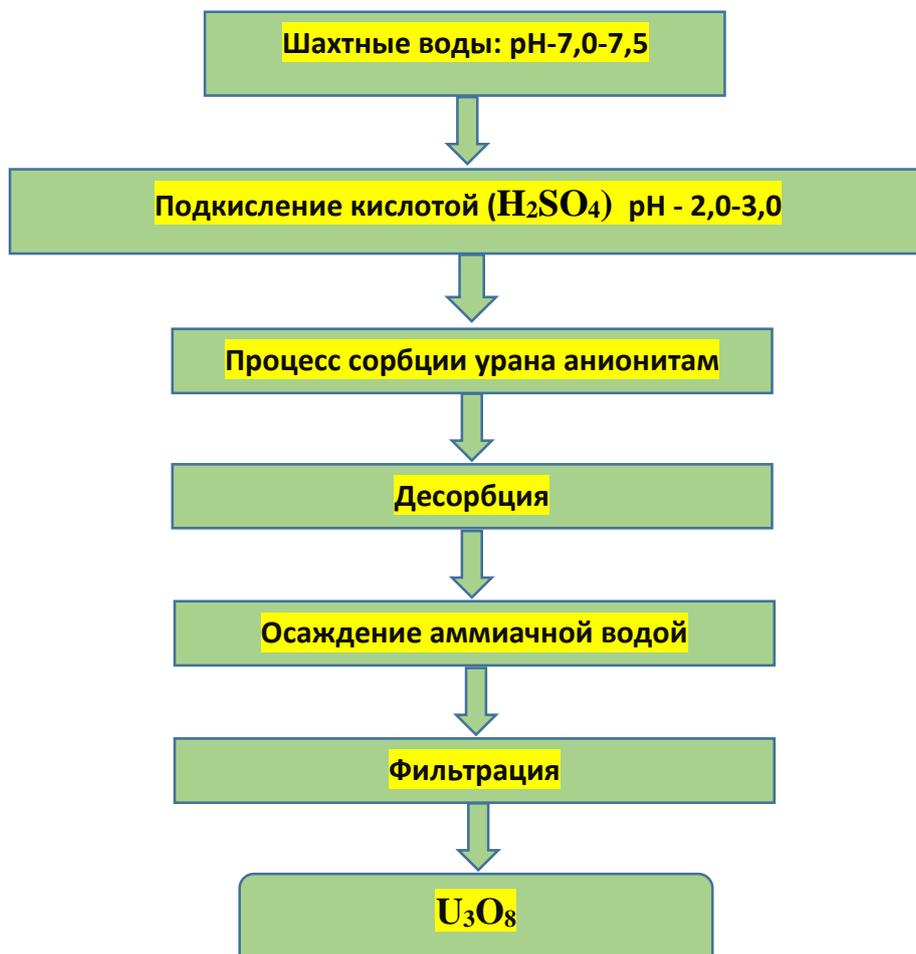


Рисунок 4.1 - Принципиальная блок-схема выделения U_3O_8 из шахтных вод (на сорбент анионит АМ(п)).

Нами в традиционную схему переработки ураносодержащих отходов внесены некоторые изменения, позволившие увеличить процентное извлечение из них урана, в частности, процессе до осаждения диураната аммония из десорбата мы нейтрализовали известняком часть избыточной кислоты (повышая водородный показатель процесса на этом этапе от 0 до 2.0). Далее десорбционный раствор после нейтрализации избытка кислоты проводили его фильтрацию с помощью фильтр-пресс, а полученный фильтрат нейтрализовали с помощью аммиачной воды до достижения водородного показателя значений 3.0-3.5, с целью выпадения в осадок гидратов железа. Далее полученный раствор снова отфильтровывали. Осаждение диураната аммония проводили следующим образом - раствор доводи-

ли до $\text{pH} = 4.0-5.0$, затем 30 минут выдерживали до формирования зародышей кристаллов диураната аммония, а из маточного раствора получали отработанный раствор осаждением – в растворы добавляли аммиачную воду, выдерживали 30 мину, поддерживая pH равный 8.0-8.5.

Использование такой технологической схемы переработки ураносодержащих руд экономит аммиачную воду в 2 раза. Извлечение урана на стадии осаждения составляет 99%.

Таким образом, после проведения цикла физико-химических исследований процессов извлечения урана из ураносодержащих отходов:

- исследовано разложение ураносодержащих отходов с использованием сернокислотного метода, для процесса определены оптимальные параметры: температура процесса $65-70^\circ\text{C}$; время сернокислотного разложения 6 часов; расход H_2SO_4 180 кг на 1 тонну, с соблюдением этих параметров из ураносодержащих отходов извлекается 93,85% содержащегося в них урана;

- для сернокислотного процесса извлечения урана построены кинетические кривые линии, по которым экспериментально вычислена энергия активации, величина которой оказалась равной 16.0 кДж/моль, то есть данный процесс протекал под диффузионным контролем.

Как показывают наши исследования, урановые руды Таджикистана в перспективе имеют определённый интерес для получения урановых концентратов. В 20 веке урановые месторождения, расположенные на территории Таджикистана, сыграли важную роль в практическом решении проблемы добычи радиоактивного сырья, появившейся в послевоенные годы в Советском Союзе. Пионером этой отрасли стал Комбинат № 6 (в настоящее время ГП "Таджикредмет"). Общие объёмы урана, выпущенного на заводах Таджикистана, составили более 100 000 тонн, и из этого урана создана первая атомная бомба СССР.

Нынешняя экологическая проблема нашей страны является наследием урановой промышленности СССР, которая интенсивно развивается в Таджикистане и все работы по получению уранового концентрата велись в закрытом режиме.

В настоящее время Таджикистан столкнулся с проблемой безопасного управления урановыми отходами и необходимого восстановления территорий, где ранее располагались урановые объекты.

Для стран среднеазиатского региона имеется одна общая типичная проблема – это недостаточный предыдущий опыт или его полное отсутствие по оценке безопасности и планированию реабилитационных мероприятий на объектах уранового наследия. Опыт Таджикистана в разработке стратегии, организации и проведении комплексного мониторинга окружающей среды в районах влияния бывших урановых производств также недостаточен. Методический опыт и аналитические возможности большинства лабораторий, которые должны проводить мониторинг окружающей среды, также весьма ограничены и не могут предоставить адекватный анализ экологической ситуации и рисков для населения, проживающего на загрязнённых территориях и вблизи урановых хвостохранилищ.

В настоящей работе приведено состояние хвостохранилищ Таджикистана. Предложены пути решения реабилитационных работ и возможности вторичной переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств.

Учитывая радиологическую обстановку северного Таджикистана, составлены радиологические карты некоторых районов Согдийской области и проведена оценка указанных территорий на степени радиологической опасности. Проведённые исследования радиологической обстановки территории северного Таджикистана, обобщённые на рисунке 4.2, позволяют заключить, что вблизи хвостохранилищ и прилегающих территорий имеются зоны повышенной радиоактивности, величины МЭД которых превышают 0.35-0.40 мкЗв/ч. Средние концентрации радиационного фона вокруг и над хвостохранилищами равны 0.9-1.2 мкЗв/час, эти показатели в 6-8 раз превышают нормальный радиационный фон. На поверхности открытого радиоактивного хвостохранилища г. Истиклол, а также на местах смыва радиоактивного материала из тел хвостохранилищ Табошар и Адрасман значения радиационного фона превышают 6.0 мкЗв/час. На территории левобережья реки Сырдарья, от Бекабадской плотины до города Канибадам, отмечены низкие значения радиационного фона, составившие примерно 0,12 мкЗв/час. Од-

наследии. Дана краткая характеристика радона и его действия на организм человека, а также приводятся результаты радиационно-гигиенического мониторинга, проводимого на объектах уранового наследия.

Во второй главе рассматриваются технологические основы переработки ураносодержащих материалов и оценка радиационной опасности при переработке ураносодержащих материалов. В этом разделе описано обращение с радиоактивными материалами природного происхождения в Республике Таджикистан (NORM), особенности переработки ураносодержащих отходов и ураносодержащих руд, радиационно-гигиенический мониторинг и пути обеспечения радиационной безопасности населения, радиозэкологический мониторинг минеральных руд Таджикистана, подробно изучены радионуклиды в строительных материалах Таджикистана.

В третьей главе приведены результаты радонового мониторинга в различных регионах Таджикистана, их радиационная ситуация и радиологические карты. Описаны методологическое и аппаратное обеспечение измерений объёмной активности радона, динамика объёмной активности радона в воздухе жилых помещений, показатели объёмной активности радона в воздухе зданий образовательных учреждений, радоновый мониторинг на некоторых территориях Республики Таджикистан, а также исследованы содержания радона в атмосферном воздухе и в жилых помещениях города Душанбе.

Данная работа является завершённой и соответствует специальностям «Технология неорганических веществ» и «Экология в промышленности». В работе намечены дальнейшие пути исследования в области вторичной переработки отходов и отвалов. Намечаются работы по радоновому мониторингу различных районов страны.

Особый интерес представляет изучение качества воды рек Таджикистана. Намечается изучение качества воды рек Вахш, Варзоб, Зеравшан и Сырдарья. Предварительные наблюдения показывают, что в осенний период в водах рек повышаются содержания кальция и магния, Содержания растворённого кислорода,

азота, хлора и некоторых других элементов остаются практически неизменными с незначительными колебаниями.

Будут разработаны методы удаления радионуклидов из дренажных и шахтных вод различными сорбентами. Проводятся предварительные опыты по использованию в качестве сорбента микрогеля на основе лужги подсолнечника, показавшего хорошие предварительные результаты при очистке ураносодержащих вод.

В настоящей работе использован новый подход по переработке урановых руд с использованием различных окислителей. Предложенный метод показал, что изучение физико-химических и технологических основ переработки ураносодержащих материалов и оценка радиационной опасности при переработке урановых руд и отходов является отдельной задачей.

Особый интерес представляет радоновый мониторинг ближайших районов вокруг хвостохранилищ. Намечается составление радоновых карт территорий вокруг хвостохранилищ. Разработаны методы химического анализа для характеристик химико-минералогических составов ураносодержащих руд и отходов, изучение их воздействия на окружающую среду, и измерения радона в различных объектах.

Предложены технологические основы переработки ураносодержащих материалов; дана оценка радиационной опасности при переработке ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов урановых производств, показаны особенности переработки ураносодержащих руд и отходов, описаны участки и территории с указанием на них опасных участков.

Изучено содержание радона в атмосферном воздухе и жилых помещениях в некоторых районах Таджикистана.

В данной работе приводится оценка воздействия радионуклидов при переработке урановых руд и отходов. Разработан метод мониторинга территорий с повышенными содержаниями радионуклидов.

Исследование относится к задачам технологии ураносодержащих материалов и экологии с применением современных методов измерения радионуклидов.

В литературном обзоре приведены результаты комплексной переработки отходов урановой промышленности, урановых руд, радоновый мониторинг и т.д.

Разработаны рекомендации по снижению уровней радона внутри жилых помещений нескольких районов страны.

Работа выполнена в основном на базе Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана в соответствии с государственным проектом «Физико-химический основы выделения урановых концентратов из руд и отходов» ГРН 0120ТJ 01030, и «Радиоэкологические исследования на объектах, содержащих радионуклиды» ГРН 0120 ТJ 01031 и Региональным проектом технического сотрудничества МАГАТЭ RER 9153 – «Усиление регионального потенциала по контролю над долгосрочными рисками для населения за счёт радона в жилищах и на рабочих местах (2018-2020 гг.)».

Экспериментальная работа проводилась параллельными опытами и химическими анализами нескольких образцов, а также проведением измерений радона в помещениях с применением новейших экспериментальных приборов: "РРА-01М", детектора "Radtrak", дозиметров "ДКС-АТ1123", "ДКС-91", ТЛД - "Harshav- 4500", дериватографа - "Labsys Evo-1600", пламенного фотометра "М-420" и других.

Таким образом, разработаны технологические основы переработки ураносодержащих материалов и отходов, и дана оценка радиационной опасности при переработке ураносодержащих материалов и радоноопасности некоторых территорий Таджикистана, изучена миграция радионуклидов в окружающей среде.

Значение работы заключается в использовании результатов для проведения опытных работ и получения образцов U_3O_8 с последующим созданием установки для получения U_3O_8 .

Данные, полученные в настоящей работе, использованы для определения санитарной зоны при переработке ураносодержащих отходов хвостохранилищ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследования

1. Дана оценка и анализ литературных источников состояния переработки урановых руд и отходов, радиационной безопасности и радоновому мониторингу на объектах уранового наследия [1-А, 6-А, 8-А, 13-А, 18-А, 20-А, 22-А, 24-А, 34-А].
2. Изучены особенности переработки ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов урановых производств. Дана термодинамическая оценка переработки отходов "Карта 1-9" г. Бустон [15-А, 21-А, 23-А, 28-А].
3. Изучены кинетические параметры кривые извлечения урана из ураносодержащих отходов уранового производства "Карта 1-9" г. Бустон в области температур 293-353 К. Вычислена энергия активации процесса и определены изменения скоростей реакций от тем-ры и продолжительности процесса. Численное значение $E_{ак.} = 6.0$ кДж/моль, что указывает на протекание процесса под диффузионным контролем [7-А, 11-А, 16-А, 17-А].
4. Изучены химико-минералогические составы ураносодержащей руды месторождения "Танзим" следующими методами: рентгенофазовым, дифференциально-термическим, альфа- и гамма-спектрометрическим, рентгеноспектрально-флуоресцентным, и найдены оптимальные параметры переработки ураносодержащей руды этого месторождения [10-А, 25-А].
5. Вычислены величины термодинамических характеристик и проведён расчёт материального баланса для сернокислотного разложения ураносодержащей руды месторождения "Танзим" [2-А, 10-А].
6. Показан вклад различных источников излучения в величины индивидуальных эффективных годовых доз облучения населения пос. Адрасман и контрольного района – Дж. Расуловского района. Показано, что за счёт изотопов радона, продуктов питания и внешнего облучения величины эффективных годовых доз облучения населения пос. Адрасман намного выше, чем в контрольном – Дж. Расуловском районе [12-А].

7. Проведён радиоэкологический мониторинг минеральных руд Таджикистана. Показано, что по радиоэкологическим показателям практически все минеральные руд страны находятся в пределах санитарной нормы. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) находится в пределах 0.14-10.25 мкЗв/час [19- А, 32-А].

8. Проведён радионуклидный мониторинг строительных материалов страны. Для строительных материалов характерен большой диапазон активности естественных радионуклидов (ЕРН). Показано исключение или сокращение доли высокоактивного сырья в строительных материалах и изделиях [9- А, 33-А].

9. Проведён радоновый мониторинг в различных регионах страны с составлением радиолого-гигиенических карт. Установлены средние значения радона в исследованных районах, которые находятся в пределах санитарной нормы и составляют от 40.0 до 120.0 Бк/м² [1-А, 3-А, 4- А, 5- А, 14- А, 22- А, 27- А, 29- А, 30-А, 31-А].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

- разработанная технология переработки ураносодержащих руд и отходов рекомендована к использованию для получения урановых концентратов и будет передана ГУ "Таджредмет";

- результаты работы по радоновому мониторингу будут переданы образовательным учреждениям соответствующих районов страны;

- результаты радиоэкологических измерений рекомендованы для хукуматов соответствующих районов страны при соответствующих работах;

- результаты содержания радионуклидов в минеральных рудах и строительных материалах будут переданы в Главное управление геологии при Правительстве Республики Таджикистан и Комитет по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Харингтон, Ч. Технология производства урана / Ч. Харингтон, А. Рюэл. - М.: Атомиздат, 1961. – 475 с.
- [2]. Цеборовский, Я. Основы процессов химической технологии / Я. Цеборовский. – Л.: Химия. 1967. – 318 с.
- [3]. Трифонов, Д. Н. Как были открыты химические элементы / Д. Н. Трифонов, В. Д. Трифонов. – М.: Просвещение, 1980. – 225 с.
- [4]. Громов, Б. В. Введение в химическую технологию урана / Б. В. Громов. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
- [5]. Ядерное оружие после «холодной войны» / Под ред. А. Арбатова и В. Дворкина; Моск. Центр Карнеги. — М.: «Российская политическая энциклопедия» (РОССПЭН), 2006. — 560 с.
- [6]. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов. - Душанбе: Дониш, 2011. - 125 с.
- [7]. Khakimov, N. Physico-Chemical and Manufacturing Basis for Uranium Concentratis Production from Wastes of Hydrometallurgical Plants and Technical Waters / N. Khakimov, Kh. M. Nazarov, I. U. Mirsaidov. - Dushanbe, 2012. - 210 p.
- [8]. Урановые месторождения Таджикистана / З. А. Разыков, Э. Г. Гусакон, А. А. Марущенко [и др.]. –Худжанд: ООО Хуросон, 2001. - 212 с.
- [9]. Баротов, Б. Б. Физико-химические и технологические основы получения урана из местных сырьевых материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Б. Баротов. – Душанбе, 2011. – 20 с.
- [10]. Особенности выделения урановых концентратов из руд и ураносодержащих вод Таджикистана: Монография / У. М. Мирсаидов, Х. М. Назаров, С. К. Ходжиев, Н. Н. Рахматов. – Душанбе: Дониш, 2019. – 250 с.
- [11]. Возможности переработки ураносодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С. К. Ходжиев, Х. М. Назаров, М. К. Хочиён [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. – Т. 60. - № 3-4. - С. 168-172.

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

[13]. Сернокислотное выщелачивание урана из руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С. К. Ходжиев, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. - 2017. – № 4 (169). –С.71-75.

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

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

[16]. Малый патент № TJ 927. Способ выщелачивания урановых руд / Х. М. Назаров, С. К. Ходжиев, М. К. Ходжиев, Б. Б. Баротов, У. М. Мирсаидов. – 13.10.2017.

[17]. Физико-химические и технологические основы переработки ураносодержащих руд месторождения «Центральной Таджикистан» / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, С. К. Ходжиев [и др.] // XVII Международная научная конференция «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века». - Минск, Республика Беларусь, 2018. - С. 225.

[18]. Физико-химические основы переработки ураносодержащих руд Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, С. К. Ходжиев [и др.] // XV Нумановские чтения. – Душанбе, 2019. - С. 154-155.

[19]. Phisico-Chemical Basis of processing of Uranium Containing Ores at the Western Tajikistan Deposit / I. U. Mirsaidov, B. B. Barotov, M. D. Boboyorov, U. M. Mirsaidov // J. Applied Solid State Chemistry. – 2019. - № 1. - P. 53-56.

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

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

[22]. Технология урана: Учебное пособие / А. А. Маслов, Г. В. Каляцкая, Г. Н. Амелина [и др.]. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 97 с.

[23]. Горбунов, В. А. Развитие технологии переработки урановых руд стрельцовой группы месторождений / В. А. Горбунов, В. Г. Литвиненко // Горный журнал. – 2018. - № 7. – С. 55-58.

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

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

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

[27]. 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 Республике Таджикистан», посвящённая 60-летию химического факультета и памяти д.х.н. Нуманова Ишанкула Усмановича: Сборник статей. - Душанбе, 2020. - С. 91-94.

[28]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1044. Способ извлечения урана из шахтных вод / М. Д. Бобоёров, Б. Б. Баротов, И. У. Мирсаидов [и др.]. - 05.07.2019 г.

[29]. Радиационный мониторинг хвостохранилища «Дигмай» / Х. М. Назаров, Дж. А. Саломов, Н. Хакимов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2015. - № 2 (159). – С. 78-82.

[30]. Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, Дж. А. Саломов, Н. Хакимов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2015. - № 2 (159). – С. 87-92.

[31]. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов уранодобывающей промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Хакимов. – Душанбе, 2006. – 22 с.

[32]. Хакимов, Н. Инженерно-геологическое состояние хвостохранилища г. Гафурова / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, Д. Д. Камалов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 15-20.

[33]. Хакимов, Н. Экологический риск при вторичной переработке урановых отвалов Гафуровского хвостохранилища / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, У. М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 43-48.

[34]. Переработка рентабельных отвалов ГП «Востокредмет» для добычи урана / У. М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров, Д. Д. Камалов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 55-61.

[35]. Пути повышения извлечения урана из Гафуровского и Чкаловского хвостохранилищ на стадии выщелачивания / У. М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х.

М. Назаров, Д. Д. Камалов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 103-109.

[36]. Мирсаидов, У. О возможности добычи урана из хвостохранилищ и шахтных вод месторождения Киик-Тал в Таджикистане / У. Мирсаидов, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. – Т. 48. - № 7. – С. 44-46.

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

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

[39]. Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из растительного сырья / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Н. Рахматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. - Т. 56. - № 8. - С. 634-638.

[40]. Поиск и возможности переработки отходов урановой промышленности / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. - Т. 54. - № 10. - С. 837-840.

[41]. Перспективы переработки урансодержащих отходов горной промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. - Т. 56. - № 3. - С. 222-227.

[42]. Мирсаидов, И. У. О возможности переработки отходов урановой промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Труды 6-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2007. - С. 530-531.

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

[44]. Мирсаидов, И. У. Экологические риск при переработке отходов урановой промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Труды 6-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2007. - С. 528-529.

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

[46]. Камалов, Д. Д. Извлечение урана из отходов урановой промышленности, термические и термодинамические характеристики полученных уранильных соединений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. Д. Камалов. – Душанбе, 2008. - 19 с.

[47]. Хамидов, Ф. А. Физико-химические основы выделения урановых концентратов из отходов и термодинамические характеристики торий-урановых соединений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф. А. Хамидов. – Душанбе, 2017. – 28 с.

[48]. Радиологический мониторинг хвостохранилищ Северного Таджикистана / Н. Хакимов, О. В. Войцехович, В. Я. Саидов [и др.] // VI Нумановские чтения «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан». – Душанбе, 2009. – С. 207-213.

[49]. Физико-химические и технологические основы переработки урансодержащих отходов / Ф. А. Хамидов, И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. - 2016. - № 3 (164). – С. 84-89.

[50]. Изучение сорбционных свойств скорлупы урюка на пилотной установке / И. У. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Н. Н. Рахматов, Н. Хакимов // Известия АН Республики Таджикистан. - 2015. - № 2 (159). – С. 59-62.

[51]. О возможности извлечения урана из рапы озера Сасык-Куль Таджикистана / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. – Т. 54. - № 9. – С. 769-771.

[52]. Технология извлечения урана из рассола с высоким содержанием хлор-иона / У. М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Б. Б. Баротов [и др.] // Сборник научных трудов сотрудников Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – С. 138-143.

[53]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 109. Способ извлечения урана из шахтных вод / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов. - 07.05.2007 г.

[54]. А.с. № ТЈ 0184. Природный сорбент и индикатор для урана / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов. – 11.09.2009 г.

[55]. Извлечение урана из шахтных и технических вод отходов урановой промышленности / Б. Б. Баротов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов, И. У. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2007. – Т. 50. - № 8. – С. 703-706.

[56]. Характеристика подпочвенных вод и радиационный фон на поверхности хвостохранилищ Северного Таджикистана / Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов, И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2009. – Т. 52. - № 2. – С. 105-106.

[57]. Извлечение урана из природных урансодержащих руд месторождений Северного Таджикистана / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, Н. Хакимов // VI Нумановские чтения «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан. – Душанбе, 2009. – С. 215-219.

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

[59]. Мирсаидов, И. У. Миграция урана в системе «Дренажные воды - почва» на территории хвостохранилища № 1-2 г. Табошара / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов, В. Миряхъяев // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2009. - Т. 52. - № 3. - С. 224-227.

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

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

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

[63]. Патент TJ 109. Способ извлечения урана из шахтных вод / Н. Хакимов, И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров. Заявка №0700104 от 04.05.2007 г.

[64]. Малый патент TJ 678. Способ очистки шахтных и дренажных вод от урана / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, Н. Н. Рахматов. – Заявка № 1400867. Заявл. 02.07.2014. Зарег. 13.03.2015.

[65]. Малый патент № TJ 1384 Республики Таджикистан, Способ извлечения редкоземельных металлов из отходов урановой промышленности / С. М. Бахронов, И. Мирсаидзода, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов, Ф. А. Назаров, М. Д. Бобоёров, А. М. Мирзоев, Д. Т. Исозода. – Заявка № 2201724. Заявл. 19.08.2022 г.

[66]. Marshall, J. L. Ernest Rutherford, the «true discoverer» of radon / J. L. Marshall, R. Virginia // J. Bulletin for the History of Chemistry. - 2003. - Vol. 28. - № 2. - P. 76-83.

[67]. Уткин, В. И. Радон как «детерминированный» индикатор природных и техногенных геодинамических процессов / В. И. Уткин, А. К. Юрков // Доклады РАН. - 2009. - Т. 426. - № 6. - С. 816-820.

[68]. Современное состояние химии радона / А. В. Леонтьев, О. А. Фомичева, М. В. Проскурнина, Н. С. Зефиоров // Успехи химии. - Российская академия наук. - 1982. - Т. 51. - № 1. - С. 23-39.

[69]. Sykes, A. G. Recent Advances in Noble-Gas Chemistry / A. G. Sykes // J. Advances in Inorganic Chemistry. - Academic Press. - 1998. - Т. 46. - С. 91-93.

[70]. Уткин, В. И. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения / В. И. Уткин, А. К. Юрков // Доклады РАН. - 1998. - Т. 358. - № 5. - С. 675-680.

[71]. Место и роль радиационно-гигиенического мониторинга в системе социально-гигиенического мониторинга / Л. А. Ильин, Н. К. Шандала, М. Н. Савкин [и др.] // Гигиена и санитария. - 2004. - № 5. - С. 9-15.

[72]. Шандала, Н. К. Методология и результаты проведения исследовательского социально-гигиенического мониторинга в районах АЭС / Н. К. Шандала, Е. В. Иванов, В. В. Романов // Медицина экстремальных ситуаций. - 2007. - № 2. - С. 21-34.

[73]. Шандала, Н. К. Состояние радиационно-гигиенической обстановки в районе размещения АЭС / Н. К. Шандала, И. П. Коренков, В. В. Романов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2015. - Т. 60. - № 2. - С. 15-21.

[74]. Комплексная оценка радиационно-гигиенической обстановки и состояния здоровья населения в районе размещения АЭС / А. С. Самойлов, Н. К. Шандала, И. П. Коренков [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. - 2015. - Т. 11. - № 4. - С. 633-637.

[75]. Состояние здоровья населения, проживающего вблизи Смоленской АЭС / А. М. Лягинская, В. В. Романов, И. М. Петоян [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2015. - Т. 60. - № 2. - С. 25-36.

[76]. Оценка состояния проблемы регулирования в области радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России. 10 лет ФМБА и NRPA сотрудничества 2004-2014 гг. / Н. К. Шандала, М. К. Сневе, С. М. Киселев [и др.]. – М., ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2015. - 23 с.

[77]. Radiation safety during remediation of the SevRAO facilities: 10 years of regulatory experience / M. K. Sneve, N. Shandala, S. Kiselev [et al.] // J. Radiol. Protect. - 2015. - Vol. 35. - № 3. - P. 571-596.

[78]. Обеспечение радиационной безопасности при реабилитации объектов СЗЦ «СевРАО» / Н. К. Шандала, С. М. Киселев, А. В. Титов [и др.] // Гигиена и санитария. - 2015. - Т. 94. - № 5. - С. 10-16.

[79]. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе размещения пункта временного хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева / Н. К. Шандала, А. А. Филонова, Е. С. Щелканова [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2014. - Т. 59. - № 2. - С. 5-12.

[80]. Оценка существующих уровней радиоактивного загрязнения территории и акватории пункта временного хранения ОЯТ и РАО в поселке Гремиха Мурманской области / Н. К. Шандала, М. К. Сневе, А. В. Титов [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. - 2007. - № 1. - С. 27-36.

[81]. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами (ДВЦ «ДальРАО» – филиал ФГУП «РосРАО») / С. М. Киселев, Н. К. Шандала, С. В. Ахромеев [и др.] // Гигиена и санитария. - 2015. - № 5. - С. 49.

[82]. Исследование радиационной обстановки на объектах ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / С. В. Ахромеев, С. М. Киселев, А. В. Титов [и др.] // АНРИ. - 2016. - № 1 (84). - С. 65-71.

[83]. Sneve, M. K. Radio-ecological characterization and radiological assessment in support of regulatory supervision of legacy sites in northwest Russia / M. K. Sneve, M. F. Kiselev, N. K. Shandala // J. Environ. Radioactiv. - 2014. - Vol. 131. - P. 110-118.

[84]. Проблемы безопасности населения на территориях с природными и техногенными факторами радиации на примере района влияния Приаргунского горно-химического комбината / В. В. Уйба, М. Ф. Киселев, В. В. Романов [и др.] // Биосфера. - 2009. - Т. 1. - № 1. - С. 101-105.

[85]. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н. К.

Шандала, А. В. Титов, С. М. Киселев [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. - 2013. - Т. 9. - № 4. - С. 824-827.

[86]. Радиозэкологическая обстановка в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н. К. Шандала, М. П. Семенова, Д. В. Исаев [и др.] // Гигиена и санитария. - 2014. - Т. 93. - № 4. - С. 14-18.

[87]. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля / А. А. Цапалов [и др.] // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - №1. - С. 53-63.

[88]. Tsapalov, A. Indoor radon regulation using tabulated 'values of temporal radon variation / A. Tsapalov, K. Kovler // Journal of Environmental Radioactivity. - 2018. - V. 183. - P. 59-72.

[89]. Цапалов, А. А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха / А. А. Цапалов, С. И. Кувшинников // АНРИ. - 2008. - № 2. - С. 37-43.

[90]. Цапалов, А. А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром «АльфаАЭРО» / А. А. Цапалов // АНРИ. - 2008. - № 3. - С. 49-58.

[91]. Цапалов, А. А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях московского региона / А. А. Цапалов // АНРИ. - 2011. - № 3 (66). - С. 52-64.

[92]. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 2. Экспериментальная оценка неопределенности временных вариаций радона / А. А. Цапалов, С. М. Киселев, А. М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 1. - С. 64-79.

[93]. Мирсаидов, У. М. Организационная и научная деятельность в области радиационной безопасности в Республике Таджикистан / У. М. Мирсаидов // Горный журнал. - 2016. - № 1. - С. 69-71.

[94]. Концентрация радона в воздухе некоторых жилых и рабочих помещений гг. Чкаловска и Кайраккума / Б. Д. Бобоев, Н. Хакимов, К. А. Эрматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. – Т. 56. - № 8. – С. 639-642.

[95]. Васильев, А. В. Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности / А. В. Васильев, И. В. Ярмошенко, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. - 2018. – Т. 11. - № 1. – С. 80-84.

[96]. Ярмошенко, И. В. Радон как фактор облучения населения России / И. В. Ярмошенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2017. - Т. 2 (81) . – С. 108-116.

[97]. Васильев, А. В. Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий / А. В. Васильев, И. В. Ярмошенко, М. В. Жуковский // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2014. - Т. 3 (7). - С. 19-25.

[98]. Vasilyev, A. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia / A. Vasilyev, I. Yarmoshenko // J. Rad. Prot. Dosim. - 2016. – V. 174. – P. 419-422.

[99]. Indoor radon problem in energy efficient multistorey buildings / I. Yarmoshenko, A. Vasilyev, A. Onishchenko [et al.] // J. Radiat. Prot. Dosim. - 2014. – V. 160. - P. 53-55.

[100]. Collignan, B. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings / B. Collignan, C. Lorkowski, R. Ameen // Buildina and Environ. - 2012. – V. 57. – P. 176-183.

[101]. Рекомендации по уменьшению концентрации радона в воде родников и скважин Джаббор Расуловского района / К. А. Эрматов, Б. Д. Бобоев, Х. М. Назаров, Дж. А. Саломов // Известия АН Республики Таджикистан. - 2015. - № 2 (159). - С. 83-86.

[102]. Радоновый мониторинг на территории Дж. Расуловского района Республики Таджикистан / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. - 2017. - № 1 (166). - С. 88-93.

[103]. Назаров, Х. М. Оценка радоноопасности территории Дигмайского хвостохранилища / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов // XXI век. Техносферная безопасность. - 2017. – Т. 2. - № 3. – С. 44-48.

[104]. Назаров, Х. М. Современная радиационная ситуация Джаббор Расуловского района / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов // Ученые записки ХГУ. Серия естественные и экономические науки. - 2019. - № 1 (48). – С. 68-73.

[105]. Временная динамика концентрации радона в жилых помещениях / Н. Н. Рахматов, Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, Б. Д. Бобоев // Материалы X Международной научно-практической конференции «Найновите постижения на европейската наука». - Т.8. Биологии. Экология. Здания и архитектура. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. - С. 82-85.

[106]. Назаров, Х. М. Пути уменьшения концентрации радона в воде родников и скважин Джаббор Расуловского района / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов // Республиканская научно-практическая конференция «Роль молодежи в развитии отечественной науки»: Сборник статей и тезисов. - Душанбе, АН РТ, 2015. - С. 116-119.

[107]. Концентрации радона в питьевой воде и её очищение от радона / К. А. Эрматов, Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев [и др.] // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы материаловедения в машиностроении Республики Таджикистан», посвящённая Дню химика и 80-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, академика Международной инженерной академии и Инженерной академии Республики Таджикистан А. В. Вахобова. – Душанбе, 2016. - С. 228-229.

[108]. Назаров, Х. М. Уменьшение содержания радона в воде с высокой концентрацией радона / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов // Научно-практическая конференция «Развитие естественных наук в период независимости Республики Таджикистан». – Бустон, Республика Таджикистан, 2017. – С. 22-24.

[109]. Назаров, Х. М. Автодегазация радонового газа из воды / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов // II Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий». – Душанбе, АН РТ, 2017. – С. 68-71.

[110]. Качество воды родников, расположенных вокруг горного массива Моголтау / Х. М. Назаров, Ф. И. Умарова, К. А. Эрматов [и др.] // XV Нумановские чтения «Академик И.У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». – Душанбе, ИХ АН РТ, 2019. – С. 160-162.

[111]. Радиологическая карта территорий, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. М. Бахронов [и др.] // XV Нумановские чтения «Академик И. У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». – Душанбе, ИХ АН РТ, 2019. – С. 164-165.

[112]. Оценка радиационной опасности бывших урановых объектов Таджикистана / Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, К. А. Эрматов [и др.] // XIX Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века». – Минск, 2019. – С. 89.

[113]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 835, МПК C02 F 1/28. Способ очистки урансодержащих вод / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, И. У. Мирсаидов [и др.]. № 1601080; заявл. 05.12.2016 г.; опубл. 03.05.2017 г.; бюл. 127. - 8 с.

[114]. Эрматов, К. А. Водная миграция урана и радона на территории северного Таджикистана: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. А. Эрматов. – Душанбе, 2021. - 23 с.

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

[116]. Мониторинг индивидуальных доз облучения сотрудников рентгенкабинетов стоматологических поликлиник г. Душанбе Республики Таджики-

стан / Н. У. Хакимова, Е. Ю. Малышева, Ш. Г. Шосафарова, У. М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 1. - С. 58-60.

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

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

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

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

[121]. Анализ индивидуального мониторинга внешнего облучения медперсонала в Республике Таджикистан / Ш. Г. Шосафарова, Н. У. Хакимова, Е. Ю. Малышева, У. М. Мирсаидов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики». – Душанбе, ТНУ, 2020. - С. 265-268.

[122]. Шосафарова, Ш. Г. Оценка доз облучения различных профессиональных групп медперсонала и населения, проживающего на радоноопасных территориях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ш. Г. Шосафарова. – Душанбе, 2021. - 25 с.

[123]. Радиоэкологический мониторинг минеральных руд Таджикистана / Ф. А. Хамидов, Б. Б. Баротов, Ш. Р. Муродов [и др.] // XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование её достижений в

народной хозяйстве Республики Таджикистан». - Душанбе, Институт химии им. В. И. Никитина АН РТ, 2019. - С. 169-171.

[124]. Бахронов, С. М. Радиоэкологический мониторинг фосфоритных руд Таджикистана / С. М. Бахронов, Б. Б. Баротов, У. М. Мирсаидов // Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы развития производства фосфорсодержащих удобрений на основе фосфоритов центральных Кызылкумов и Каратау». – Ташкент, Республика Узбекистан, 2018. – С. 13-14.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А]. **Бахронов, С. М.** Радоновый мониторинг на территории Дж. Расуловского района Республики Таджикистан / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов, А. Адхамов, М. З. Ахмедов, С. М. Бахронов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 1 (166). - С. 88-93.

[2-А]. **Бахронов, С. М.** Физико-химические основы переработки урановых руд сернокислотным разложением / С. К. Ходжиев, М. С. Пулатов, С. В. Муминов, С. М. Бахронов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 5-6. - С. 247-250.

[3-А]. **Бахронов, С. М.** Исследование содержания радона в атмосферном воздухе и в жилых помещениях города Душанбе Республики Таджикистан / И. У. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Б. Б. Баротов, С. В. Муминов, С. М. Бахронов, А. М. Баротов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 7-8. - С. 362-365.

[4-А]. **Бахронов, С. М.** Оценка радоноопасности Б. Гафуровского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. В. Муминов, С. М. Бахронов, И. У. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 9. – С. 452-455.

[5-А]. **Бахронов, С. М.** Содержание радона в воздухе Спитаменского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов,

С. М. Бахронов, С. В. Муминов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2018. - Т. 61. - № 3. – С. 293-295.

[6-А]. Бахронов, С. М. Оценка потенциальной радиационной опасности бывших урановых объектов для населения г. Истиклол Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, Дж. А. Саломов, С. М. Бахронов, У. М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. - 2018. – Т. 11. - № 2. – С. 83-89.

[7-А]. Бахронов, С. М. Кинетика выщелачивания урансодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С. К. Ходжиев, Х. М. Назаров, С. М. Бахронов, У. М. Мирсаидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. - № 4. – С. 388-391.

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

[9-А]. Бахронов, С. М. Радионуклиды в строительных материалах Таджикистана / С. М. Бахронов // Доклады НАН Таджикистан. – 2022. – Т. 65. - № 5-6. – С. 378-384.

[10-А]. Бахронов, С. М. Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении урансодержащих руд месторождения «Танзим» / С. М. Бахронов, М. Д. Бобоёров, Б. Б. Баротов, А. Мирзоев, И. Мирсаидзода // Доклады НАН Таджикистан. – 2022. – Т. 65. - № 9-10. – С. 653-657.

[11-А]. Бахронов, С. М. Термодинамический анализ сернокислотного разложения отходов урановой промышленности на территории «Карта 1-9» г. Бустон / С. М. Бахронов, М. З. Ахмедов, М. Д. Бобоёров, А. Мирзоев, И. Мирсаидзода // Доклады НАН Таджикистан. – 2023. – Т. 66. - № 1-2. – С. 97-102.

[12-А]. Бахронов, С. М. Радиологический мониторинг хвостохранилищ посёлка Адрасман Республики Таджикистан / М. М. Хакдодов, С. М. Бахронов, Ф. З. Шафиев, Ф. А. Хамидов // Водные ресурсы, энергетика и экология. - 2023. – Т. 3. - № 2. – С. 115-122.

*Публикации в материалах научных конференций и патенты
на изобретение*

[13-А]. Бахронов, С. М. Радиологический мониторинг хвостохранилищ Таджикистана и выделение уранового концентрата из отходов урановой промышленности / У. М. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, С. М. Бахронов, С. В. Муминов // Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века». - Минск, Республика Беларусь, 2017. - Ч. 2. – С. 96.

[14-А]. Бахронов, С. М. Радоновый мониторинг некоторых районов Таджикистана / К. А. Эрматов, С. М. Бахронов, С. В. Муминов // XIV Нумановские чтения «Вклад молодых учёных в развитие химической науки». – Душанбе, 2017. – С. 62-63.

[15-А]. Бахронов, С. М. Выделение урановых концентратов из сырьевых материалов Таджикистана / Ф. А. Хамидов, Б. Б. Баротов, С. М. Бахронов, У. М. Мирсаидов // II Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий». – Душанбе, 2017. – С. 71-72.

[16-А]. Бахронов, С. М. Термодинамические свойства актиноидов, полученных из урановых концентратов Таджикистана / Ф. А. Хамидов, С. В. Муминов, С. М. Бахронов, И. У. Мирсаидов // II Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий». - Душанбе, 2017. - С. 77-79.

[17-А]. Бахронов, С. М. Физико-химические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых материалов Таджикистана / У. М. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, С. М. Бахронов, С. В. Муминов, И. У. Мирсаидов // Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века». - Минск, Республика Беларусь, 2017. - С. 96-97

[18-А]. Бахронов, С. М. Мониторинг водной миграции урана и радона / К. А. Эрматов, И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, С. М. Бахронов, У. М. Мирсаидов

дов // Международная конференция «Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века». - Минск, Республика Беларусь, 2018. – Ч. 2. – С. 246.

[19-А]. Бахронов, С. М. Радиоэкологический мониторинг фосфоритных руд Таджикистана / С. М. Бахронов, Б. Б. Баротов, У. М. Мирсаидов // Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы развития производства фосфорсодержащих удобрений на основе фосфоритов центральных Кызылкумов и Каратау». - Ташкент, Республика Узбекистан, 2018. – С. 13-14.

[20-А]. Бахронов, С. М. Uranium legacy sites of the former soviet union in Tajikistan: problems and the way forward / U. Mirsaidov, S. Bahronov // Международная конференция URAM-2018. – Вена, Австрия, 25-29 июня 2018. PosterSession, Track11.Tailings and waste management.

[21-А]. Бахронов, С. М. Вторичная переработка отходов урановой промышленности Таджикистана / М. Д. Бобоёров, С. М. Бахронов, И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, У. М. Мирсаидов // XIV Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2018)». – Уфа, 2018. – Т. 1. – С. 14-17.

[22-А]. Бахронов, С.М. Общий анализ результатов проведения радонового мониторинга в северном Таджикистане / К. А. Эрматов, С. М. Бахронов, С. В. Муминов, Х. М. Назаров, У. М. Мирсаидов // XIV Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2018)». –Уфа, 2018. – Т. 1. – С. 259-263.

[23-А]. Бахронов, С. М. Отходы урановой промышленности Таджикистана - перспективное сырьё для получения уранового концентрата / М. Д. Бобоёров, С. М. Бахронов, С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, И. У. Мирсаидов // Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан», посвящённая Дню химика и 70-летию доктора химических наук, профессора, академика АН РТ Изатулло Наврузовича Ганиева. - Душанбе, 2018. - С. 230-231.

[24-А]. **Бахронов, С. М.** Миграция радионуклидов в некоторых районах Таджикистана / К. А. Эрматов, С. М. Бахронов, М. Д. Бобоёров // III Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий». - Душанбе, 2018. - С. 29-30.

[25-А]. **Бахронов, С. М.** Физико-химические основы переработки урансодержащих руд месторождения «Рафикон» / И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, М. Д. Бобоёров, С. М. Бахронов, У. М. Мирсаидов. // IV Международная научная конференция «Вопросы физической и координационной химии», посвящённая памяти докторов химических наук, профессоров Хаида Мухсиновича Якубова и Зухуриддина Нуриддиновича Юсуфова. - Душанбе, 2019. - С. 240-244.

[26-А]. **Бахронов, С. М.** Радиологическая карта территорий, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств / К. А. Эрматов, С. М. Бахронов, М. М. Махмудова, М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров // XV Нумановские чтения «Академик И.У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». - Душанбе, 2019. - С. 156-157.

[27-А]. **Бахронов, С. М.** 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 «Академик И.У. Нуманов и развитие химической науки в Таджикистане». - Душанбе, 2019. - С. 157-159.

[28-А]. **Бахронов, С. М.** Динамика объёмной активности радона в воздухе жилого помещения / Х. М. Назаров, Ш. Г. Шосафарова, М. З. Ахмедов, С. М. Бахронов, У. М. Мирсаидов // Республиканская научно-практическая конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики», посвящённая 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. - Душанбе, 2020. - С. 243-246.

[29-А]. **Бахронов, С. М.** Радиологическая карта населённых пунктов Республики Таджикистан / И. У. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Б. Б. Баротов, С. В.

Муминов, С. М. Бахронов // Республиканская научно-практическая конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики», посвящённая 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. - Душанбе, 2020. - С. 278-282.

[30-А]. Бахронов, С. М. Определение объёмной активности изотопов радона в воздухе жилых помещений южных регионов Республики Таджикистана / С. В. Муминов, С. М. Бахронов, М. М. Махмудова, У. М. Мирсаидов // Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. – Минск, Республика Беларусь, 2020. - С. 363-365.

[31-А]. Бахронов, С. М. Естественные радионуклиды в минеральных рудах Таджикистана, как потенциальное сырьё для получения комплексных удобрений / У. М. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, С. В. Муминов, С. М. Бахронов // Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии одианрных, комплексных и органоминеральных удобрений». - Ташкент, Республика Узбекистан, 2022. - С. 153-155.

[32-А]. Бахронов, С. М. Радионуклидный мониторинг строительных материалов в Таджикистане / Ф. А. Хамидов, М. Дж. Муминова, С. М. Бахронов // Материалы республиканской научно-практической конференции (III-годовая) ГОУ «Хатлонский государственный медицинский университет», посвященная 30-летию XVI-ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан. - Дангара, Таджикистан, 2022. – С. 462-463.

[33-А]. Бахронов, С. М. Радиационный мониторинг урановых хвостохранилищ Таджикистана / М. М. Хакдодов, М. З. Ахмедов, Е. Ю. Малышева, Х. М. Назаров, С. М. Бахронов // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы». – Гулистан, Таджикистан, 2023. – С. 93-96.

Патенты Республики Таджикистан

[34-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1277. Способ радиационного мониторинга урановых хвостохранилищ / **С. М. Бахронов**, Х. М. Назаров, Е. Ю. Малышева, М. З. Ахмедов, Б. Б. Баротов, С. В. Муминов, У. Мирсаидов. - № 2201627; заяв. 21.01.2022 г.

[35-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1384. Способ извлечения редкоземельных металлов из отходов урановой промышленности / **С. М. Бахронов**, И. Мирсаидзода, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов, Ф. А. Назаров, М. Д. Бобоёров, А. М. Мирзоев, Д. Т. Исозода. - № 2201724; заяв. 19.08.2022 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ҶУМҲУРИИ
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТӢ

ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Бахронов С.М.

муаллифи ихтирои *Тарзи мониторинги радиатсионӣ дар маҳфузгоҳҳои ураний*

Ба ихтироӣ нахустпатенти № ТҶ 1277 дода шудааст.

Дорандаи нахустпатент Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Назаров Х.М., Малишева Е.Ю., Ахмедов М.З., Баротов Б.Б., Муминов С.В., Мирсаидов У.

Аввалияти ихтироӣ 21.01.2022

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 21.01.2022

Аризаи № 2201627

Дар Феҳристи давлатии ихтироӣҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

28 июни с. 2022 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент эътибор дорад аз 21 январи с. 2022 то 21 январи с. 2032

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку имтиёзҳои, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории қарорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

ҶУМҲУРИИ
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТӢ

ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Бахронов Сочидхон Манонҷонович

муаллифи ихтирои *ТАРЗИ ИСТИХРОҶИ МЕТАЛЛҲОИ НОДИРЗАМИНӢ
АЗ ПАРТОВҲОИ САНОАТИ УРАНИӢ*

Ба ихтироъ
нахустпатенти № ТҶ 1384 дода шудааст.

Дорандаи
нахустпатент Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Мирсаидзода Илҳом, Назаров Холмурод Марипович, Баротов
Бахтиёр Бурхонович, Назаров Фаридун Абдулхамидович, Бобоёров Меҳровар
Диловарович, Мирзоев Амирҷон Махмадалиевич, Исозода Диловаршоҳ Тарик,

Аввалияти ихтироъ 19.08.2022

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 19.08.2022

Аризаи № 2201724

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

05 майи с. 2023 ба кайд гирифта шуд

Нахустпатент
эътибор дорад аз 19 августи с. 2022 то 19 августи с. 2032

Ин шаҳодатнома хангоми амали гардонидани ҳукуку
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.