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

На правах рукописи

УДК 546.791:66.02+574 (575.3)
ББК 24.126+30.6+081 (2 Тадж)
А – 95

АХМЕДОВ МАТИН ЗАФАРДЖОНОВИЧ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ И РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ТАДЖИКИСТАНЕ

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальностям: 05.17.01 – Технология неорганических веществ
и 03.02.08 – Экология (03.02.08.04 – технические науки)

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор
Мирсаидзода Илхом

Душанбе-2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

		Стр.
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ……		6
ВВЕДЕНИЕ …….…...….....		7
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ …….……..……		13
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ (обзор литературы) ……..		21
1.1.	Переработка урансодержащих материалов …….	21
1.1.1.	*Способы переработки урановых руд* ……..……	21
1.1.2.	*Переработка ураносодержащих руд Республики Таджикистан* ……..…….	24
1.1.3.	*Физико-химическеи основы получения концентрата урана из супесчаных почв Таджикистана* ……..	34
1.2.	Переработка отходов урановой промышленности Таджикистана..	34
1.2.1.	*Переработка отходов урановой промышленности Гафуровского хвостохранилища* …….	34
1.2.2.	*Переработка отходов хвостохранилища «Карта 1-9», расположенного в г. Бустон* ……..	36
1.2.3.	*Переработка отходов урановой промышленности города Истиклол*……	37
1.2.4.	*Переработка отходов урановой промышленности Дигмайского хвостохранилища* …….	38
1.3.	Физико-химические принципы извлечения урановых концентратов из технических и дренажных вод Таджикистана…	40
1.3.1.	*Извлечение урана из технических вод месторождения Киик-Тал* …….…….	40
1.3.2.	*Извлечение урана из шахтных и технических вод г. Истиклол* …..	42
1.3.3.	*Извлечение урановых соединений из рапы озера Сасык-Куль*….	44
1.4.	Радиационно-экологическая ситуация в регионе Центральной Азии …….....	46
1.4.1.	*Радиоэкологическая ситуация в Таджикистане*……	46
1.4.2.	*Радиоэкологическая ситуация на урановых объектах*	

Таджикистана……. 47
1.4.3 Трансграничные проблемы региона, связанные с проблемами бывших урановых объектов……. 51
1.4.4. Радиационная обстановка территорий стран Центральной Азии…… 54
1.4.5. Проблемы радона и экологии…….. 63
1.4.6. Мониторинг радионуклида цезия- 137…… 70
1.5. Заключение по литературному обзору и задачи настоящей работы…… 73
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ…… 77
2.1. Методология и методика эксперимента при переработке урансодержащих материалов……. 77
2.1.1. Методика эксперимента..... 77
2.1.2. Химико-минералогический состав урансодержащих материалов…….. 79
2.1.3. Технологические особенности извлечения урана из руды месторождения «Танзим»……. 85
2.2. Карбонатная переработка ураносодержащей руды месторождения «Танзим»…… 91
2.3. Переработка урансодержащей руды «Центральный Таджикистан» методом сернокислотного выщелачивания……. 97
2.4. Вторичная переработка отходов урановой промышленности… 106
2.4.1. Термодинамическая оценка разложения отходов урановой промышленности……. 106
2.4.2. Переработка отходов урановой промышленности сернокислотным методом…… 112
2.5. Заключение по второй главе…….. 116
ГЛАВА 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОД ОТ РАДИОНУКЛИДОВ……. 120
3.1. Очистка воды коагулянтами и сорбция радионуклидов местными сырьевыми сорбентами ……..……..… 120

3.2. Умягчение жесткости вод с применением активированных бентонитовых глин……. 126
3.3. Качество воды реки Зеравшан на территории Таджикистана…. 132
3.4. Радиационный контроль питьевых вод методом измерения суммарной альфа- и бета-активности……. 135
3.5 Очистка урансодержащих вод сорбентами…… 140
3.5.1. Очистка урансодержащих шахтных вод от ионов урана микрогелем……. 140
3.5.2. Очистка урансодержащих вод синтетическими сорбентами….. 145
3.6. Заключение по третьей главе…….. 149
ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА …… 151
4.1. Радиоэкологическая оценка урановых хвостохранилищ Таджикистана.…… 151
4.2. Сравнительная оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилищ Согдийской области Таджикистана…….. 156
4.3. Общий радиационный фон бассейна реки Сырдарьи Таджикистана……. 167
4.4. Радиационный мониторинг урановых хвостохранилищ Таджикистана……..…. 171
4.5. Естественные радионуклиды в почвах на территории ареала хвостохранилища Адрасман…… 176
4.6. Разработка способа радиоэкологического мониторинга урановых хвостохранилищ……. 180
4.7. Заключение по четвертой главе……. 187
ГЛАВА 5. МОНИТОРИНГ РАДОНА И ТЕХНОГЕННОГО ЦЕЗИЯ-137 В РЕГИОНАХ ТАДЖИКИСТАНА…….. 188
5.1. Мониторинг радона регионов Таджикистана..... 188
5.1.1. Общий анализ современных средств проведения радонового мониторинга…… 188

5.1.2. Факторы, определяющие накопление радона в жилищах…….. 190
5.1.3. Радоновый мониторинг районов Таджикистана, расположенных вблизи хвостохранилищ…….. 193
5.2. Мониторинг техногенного изотопа цезия-137 в Таджикистане.. 201
5.2.1 Методы исследования …… 201
5.2.2. Содержание изотопа цезия-137 в почвах центрального и южного Таджикистана ……. 204
5.2.3. Сравнительный анализ распределения цезия-137 в почвах на территории Таджикистана ……. 209
5.3. Основные подходы к мониторингу радона и цезия-137…… 213
5.4. Выводы по пятой главе…… 2180
ГЛАВА 6. ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТАДЖИКИСТАНА……. 221
6.1. Радиоэкологическая ситуация Северного Таджикистана..... 221
6.2. Радиоэкологическая ситуация Центрального Таджикистана..... 254
6.3. Радиоэкологическая ситуация Южного Таджикистана..... 261
6.4. Радиоэкологическая ситуация Восточного Таджикистана..... 263
6.5. Выводы по шестой главе…….. 263
ГЛАВА 7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ……. 265
ВЫВОДЫ…….. 271
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……..…… 274
Список использованных источников 274
Список публикаций соискателя по теме диссертации 315
ПРИЛОЖЕНИЕ …….. 328

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

СССР	Союз Советских Социалистических Республик
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
ДПР	Дочерние продукты распада
РТ	Республика Таджикистан
НАНТ	Национальная академия наук Таджикистана
США	Соединенные Штаты Америки
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
ГУП «Таджред-мет»	Государственное унитарное предприятие «Таджикские редкие металлы»
МЭД	Мощность экспозиционной дозы
ГМЗ	Гидрометаллургических завод
ППР	Плотность потока радона
ФБР	Фабрика бедных руд
СНГ	Содружество Независимых Государств
ЭРОА	Эквивалентная равновесная объемная активность
НКДАР ООН	Научный комитет ООН по действию атомной радиации
ОА	Объёмная активность
МАЭД	Мощность амбиентной эквивалентной дозы
АЭС	Атомная электростанция
ЕРН	Естественные радионуклиды
НРБ	Нормы радиационной безопасности
РБ	Радиационная безопасность
П.г.т.	Посёлок городского типа

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы и необходимость проведения исследования по данной проблеме. Внедрение в промышленный и экономический сектор республики переработки местных сырьевых материалов для удовлетворения потребностей в развитии народнохозяйственного комплекса, перспектив на будущее отраслей народного хозяйства представляется актуальной задачей и данная задача продиктована проблемами экономического характера, имеющимися в Таджикистане, которые были вызваны темпами развития промышленного комплекса страны на период 2022-2026 гг., также имеющимися трудностями в различных отраслях промышленности в вопросах обеспечения местными сырьевыми материалами различных производственных мощностей. Для активизации усилий в решении данной проблемы является необходимым условием расширение фронта исследовательских работ (прикладных и фундаментальныхисследовательских работ), направлять которые необходимо на разработку и внедрение инновационных технологий.

В целом, в мировом масштабе развитие атомной отрасли происходит высокими темпами, чтобы это развитие было ещё более эффективным, необходимо решить следующие задачи и проблемы атомной отрасли, среди которых, во-первых, это решение проблемы поиска новых ураносодержащих месторождений, во-вторых, проблемы разработки новых технологий по переработке ураносодержащих руд, а также усовершенствование уже имеющихся технологий, направлять на переработку бедных ураносодержащих руд и отходов, образующихся после призводств урана, где содержания урана низкие. Кроме указанных проблем, в технологиях по переработке урансодержащих руд важным моментом является разработка инновационных подходов, упрощение технологий и использование их с включением различных сорбентов, которые эффективны для сорбции на них урана.

В данный момент гидрометаллургический завод, расположенный в городе Бустон, не работает. Это связано с тем, что в Таджикистане нет подходящих месторождений урана. Следует отметить, что работа завода "Таджикредмет"

должна направляться на развитие экономики республики, а урановая продукция (в виде оксида урана), занимала бы значимое место в национальном экономическом развитии. Поэтому, актуальной является разработка физико-химических принципов, которые будут поддерживать и стимулировать переработку ураносодержащих руд и урановых отходов, что является также одной из основных задач решения экологических проблем в условиях современности.

Необходимо указать, что на территории страны в результате активной деятельности ГУП "Востокредмет" (в настоящее время ГУП "Таджредмет") в советский период произошло образование значительного количества радиоактивных хвостохранилищ и радиоактивных отвалов. Чтобы решать задачи их негативного действия на окружающую природную среду, важным фактором является решение проблем по управлению радиоактивными отходами. Зачастую их места нахождения располагаются в непосредственной близости от важных водных артерий (река Сырдрья) и населённых пунктов. На хвостохранилищах в основном отсутствует необходимая защита, позволяющая ограничить вредное влияние радионуклидов на природную окружающую среду. Хвостохранилища отходов урановой промышленности и отвалы являются опасными объектами, они загрязняют подземные воды, атмосферу, растительный мир и почвенные покровы.

Важным в этом направлении является определение целесообразности вторичной переработки радиоактивных отходов, формирование которых произошло в процессе деятельности уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности, а также в процессах их рекультивации. Благодаря усилиям Правительства Республики Таджикистан и Росатома Российской Федерации, на основании выполнения межгосударственной целевой программы "Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств", в течение 2022-2023 гг. были проведены восстановительные работы (рекультивация) в окрестностях г. Истиклол на некоторых бывших объектах уранодобывающих и ураноперерабатывающих производств.

Одновременно к указанному нужно добавить, что в последние десятилетия ширится научно-иссдовательская деятельность по разработке, апробированию и внедрению инновационных способов, направленных на переработку ураносодержащих отходов и руд с целью извлечения из них урановых концентратов. Необходимым фактором представляется проведение широкого фронта исследований, в которые будут включены изучение экономической целесообразности и возможностей переработки ураносодержащих отходов, складированных в урановых хвостохранилищах, которые были накоплены при переработке ураносодержащих руд. Особое внимание здесь необходимо уделить вопросам безопасному извлечению этих ураносодержащих отходов из территоририй хвостохранилищ с целью их дальнейшей переработки.

Интересной исследовательской темой также представляется исследование выделения ураносодержащих концентратов из хвостов, расположенных в хвостохранилищах города Бустон Таджикистана. Использование эффективных технологий переработки этих отходов и сорбции урана показало, что имеются возможности получения из них урановых концентратов в виде оксида урана (U_3O_8 - жёлтого кека).

Соответственно, в городе Бустон (хвостохранилище "Карта 1-9") накоплены определенные объёмы уранового наследия СССР, что позволяет осуществлять ряд исследовательских проектов. Многообразие объектов уранового наследия, среди которых хвостохранилища, забалансовые руды, отвалы, шахтные воды и дренажи обязывают нас принимать срочные усилия, чтобы решить на территории Таджикистана экологические проблемы, связанные с радиационным загрязнением.

Ранее были предприняты попытки со стороны Агентства по химической, биологической, радиологической и ядерной безопасности (АХБРЯБ) Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ) по изучению состояния хвостохранилищ отходов урановой промышленности, располагающихся на территории страны. Эти вопросы изучались сотрудниками АХБРЯБ НАНТ – Мирсаидовым

У. М., Хакимовым Н., Мирсаидзода И. Частично отдельные исследования проблем хвостохранилищ города Бустон проводились со стороны сотрудников АХБРЯБ НАНТ – Мирсаидзода И., Баротова Б. Б. и других. Поэтому интересна степень научной освоенности этого хвостохранилища, а также переработка уранносодержащей руды месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан", которые исследованы только частично и фрагментарно.

Развитие указанных исследований инициировалось разработкой, принятием и осуществлением Национальной программы приоритетных исследований, направленных на переработку минеральных ресурсов Республики Таджикистан.

Исходя из обозначенных проблем, в Агентстве по химической, биологической, радиологической и ядерной безопасности (АХБРЯБ) Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ) широко представлена и продолжает расширяться исследовательская деятельность, касающаяся проблем разработки и внедрения способов извлечения урана из различных материалов, содержащих уран. Требуется тщательное изучение данной проблемы, так как возможности переработки уранносодержащих руд и экономическая целесообразность разработки новых месторождений находятся в центре внимания исследователей, перед которыми ставится задача не только непосредственного извлечения урана и его соединений, но также и вопросы, относящиеся к безопасной разработке уранносодержащих месторождений.

В соответствии с указанным, настоящее исследование формирует важную исследовательскую задачу - это извлечение урана из соответствующих руд и отходов с привлечением перспективных способов, включая сорбционные способы на основе местных сорбционных материалов.

В диссертационном исследовании получены и обсуждаются следующие научные результаты:

- анализ химического и минералогического составов урановых руд и урансодержащих отходов месторождения "Танзим";

- физико-химические особенности и характеристика урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан", полученные с помощью методов РФА и ДТА;

- проведение термодинамической оценки разложения ураносодержащей руды с помощью серной кислоты;

- переработка ураносодержащих отходов, хранящихся в хвостохранилище города Бустон;

- изучение физико-химических закономерностей переработки урановой руды месторождения "Танзим", разработка и проверка технологий по извлечению из этой руды уранового концентрата;

- переработка ураносодержащих вод с выделением из них уранового концентрата;

- формирование радиоэкологической ситуации в Таджикистане;

- мониторинг радона и изотопа Cs-137 в Таджикистане;

- оценка радиоэкологической обстановки в Таджикистане.

Проведенная работа по переработке урановых руд и отходов требует связи с радиоэкологическими проблемами. Исходя из этого, в работе также решены проблемы радиационно-экологической ситуации страны, в том числе основы очистки вод от радионуклидов коагулянтами и разработанными нами местными сырьевыми сорбентами.

В работе оценено качество воды рек Зеравшан и Сырдарья. Проведена радиоэкологическая оценка урановых хвостохранилищ Таджикистана. Разработан способ радиоэкологического мониторинга, так как радиационно-экологическая ситуация также является актуальной проблемой и требует своего решения.

Степень научной разработанности изучаемой проблемы. В Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана исследуются вопросы, направленные на изучение физико-химических основ переработки урансодержащих руд различных месторождений Таджикистана, а также из отходов урановой промышленности, супесчаных урансодержащих почв, шахтных и дренажных вод с получением U_3O_8. Для переработки

урансодержащих руд разработаны различные методы – перспективным среди которых можно назвать сернокислотный метод выделения урана. Сернокислотный метод разложения урансодержащих руд позволяет получить урановый концентрат и раскрыть механизм кислотного разложения руд.

Сырьевая база для нужд уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности Таджикистана в перспективе может быть достаточной с разработкой и нахождением новых месторождений, так как подземное и кучное выщелачивание из-за горной местности трудно применяется.

Урансодержащие руды месторождений Таджикистана могут быть перспективными для получения из них урановых концентратов, и для их переработки должны быть разработаны обобщённые и упрощённые технологические схемы, так как степень изученности переработки урановых руд и отходов является недостаточной. Кроме того, недостаточная изученность проблемы радиационно-экологической ситуации в стране требует проведения дополнительных научно-исследовательских работ.

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Данное диссертационное исследование выполнено в рамках научных тем Агентства по ХБРЯ безопасности: "Физико-химические основы выделения урановых концентратов из руд и отходов" (2020-2024 гг., ГР №0120 TJ 01030), "Физико-химические основы извлечения урана из руд и урансодержащих шахтных и технических вод" (2015-2019 гг., ГР № 00470 TJ 0115), "Радиоэкологические исследования на объектах, содержащих радионуклиды" (2020-2024 гг., ГР № 0120 TJ 01031 и "Физико-химические основы радиационной экологии, разработка радиоэкологических карт регионов и радиационный мониторинг биосферы Таджикистана" (2015-2019 гг., ГР №00471 TJ 0115).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью исследования является интенсификация процессов переработки техногенных и природных видов ураносодержащего сырья страны и разработка физико-химических механизмов, направленных на переработку руд отдельных урановых месторождений Таджикистана, отходов уранопереработывающей промышленности, которые складированы в хвостохранилище, расположенном вблизи города Бустон, а также изучение радиоэкологической ситуации в Таджикистане.

Задачи исследования. Для достижения поставленных в диссертационном исследовании целей было необходимо решение следующих задач:

1. Анализ и обобщение имеющихся научных публикаций, касающихся вопросов переработки ураносодержащих руд, ураносодержащих отходов, извлечения концентратов урана из состава урановых шахтных вод и дренажей, сравнительная оценка радиоэкологической ситуации в отдельных государствах СНГ.

2. Исследование физических и химических характеристик ураносодержащих руд месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан" с использованием таких физико-химических методов анализа, как рентгенофазового анализа (РФА) и дифференциально-термического анализа (ДТА).

3. Исследование физико-химических особенностей извлечения урана и его соединений из некоторых видов урансодержащих материалов Таджикистана.

4. Разработка обобщённых схематических технологий, направленных на переработку ураносодержащих руд, урансодержащих отходов и получение из них урановых концентратов.

5. Исследование физико-химических принципов очистки воды от различных содержаний радионуклидов.

6. Проведение на территории ураносодержащих хвостохранилищ Таджикистана радиоэкологической оценки.

7. Оценка результатов замеров общего радиационного фона в бассейнах рек Зеравшан и Сырдарья.

8. Разработка и апробация метода радиоэкологического мониторинга.

9. Изучение проблемы радона в Таджикистане.

10. Мониторинг распространения техногенного изотопа цезий-137 на территории Таджикистана.

11. Проведение радиоэкологического мониторинга по Таджикистану и разработка радиоэкологической карты страны.

Объектом исследования являются руды из урановых месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан" и отходов хвостохранилища г. Бустон, которые требуют всестороннего изучения химико-минералогического состава, изучения исходных веществ, полупродуктов и конечного продукта (U_3O_8). Изучение основ очистки вод от радионуклидов, радиационный контроль, разработка радиоэкологического мониторинга.

Предмет исследования – изучение физико-химических и технологических основ по извлечению уранового концентрата из руд и отходов. Радиоэкологическая оценка урановых хвостохранилищ Таджикистана, радоновый мониторинг, распространение техногенного изотопа цезий-137 на территории страны и составлены радиоэкологические карты районов Таджикистана.

Научная новизна работы:

1. Установлено, что эффективными методами извлечения урана и его соединений из ураносодержащих руд месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан" являются щелочные и кислотные способы;

2. Выявлены механизмы, согласно которым происходит разложение указанных руд;

3. Выявлено, что из технических вод и дренажей также возможно извлекать уран и его соединения;

4. Разработаны методы, позволяющие очищать воду от содержащихся в ней радионуклидов;

5. Проведена разработка метода радионуклидного мониторинга;

6. Разработаны и составлены радиоэкологические карты различных территорий и районов Республики Таджикистан.

Теоретическая и научно-практическая ценность работы заключается в нахождении оптимальных параметров процесса разложения урановых руд месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан" и отходов.

Установлен механизм разложения руд и отходов, проведена и представлена термодинамическая оценка разложения руды. Разработан метод радиоэкологического мониторинга и радоновой оценки районов Таджикистана.

Проведена оценка распределения радиоизотопа цезий-137 в почвенном покрове на территории Таджикистана.

Положения, выносимые на защиту:

- минералого-химический анализ ураносодержащих руд месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан", физико-химические характеристики и особенности этих руд, которые были определены различными методами, включая альфа- и гамма-спектрометрию, РФА и ДТА;

- минералого-химический состав отходов уранового производства, складированных в хвостохранилище города Бустон;

- исследование разложения ураносодержащих руд месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан" способами щелочного и кислотного их разложения, разложение отходов уранового производства, складированных в хвостохранилище города Бустон и нахождение оптимальных характеристик получения конечного продукта - желтого кека (оксида урана – U_3O_8);

- определение технологических особенностей и характеристик для процесса переработки ураносодержащих руд Таджикистана с целью получения урана и его соединений;

- установление оптимальных характеристик для технологических процессов извлечения концентратов урана в зависимости от изменения технологических параметров - pH среды (водородного показателя), температуры разложения и концентрации ураносодержащих растворов;

- результаты исследования воздействия ураносодержащих отходов, хранящихся в хвостохранилищах северного Таджикистана, на природную окружающую среду;

- данные, полученные при проведении в отдельных территориях и районах Таджикистана мониторинга радона;

- данные, полученные в ходе проведения мониторинга распространения техногенного изотопа цезия-137 в почвенном покрове на территории Таджикистана и сравнительной оценки распространения радиоактивного изотопа 137Cs в различных типах почв на территории Таджикистана;

- формирование радиоэкологических карт территорий страны.

Обоснованность и достоверность научных исследований, выводов и рекомендаций основаны на результатах, полученных на аттестованном и сертифицированном лабораторном оборудовании с использованием различных физико-химических методов исследования – спектральных, α- и γ-спектроскопии, методов ДТА и РФА. Теоретическая часть диссертации опирается на дисциплины физической химии, технологии неорганических веществ, экологию (технические науки).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Настоящая работа соответствует паспорту специальности 05.07.01 – Технология неорганических веществ по следующим пунктам:

*п.*1. Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты (*технологические процессы извлечения урана из урансадержащих руд и отходов*).

*п.*2. Явления переноса тепла в веществах в связи с химическими превращениями в технологических процессах. Кинетика и термодинамика химических и межфазных превращений (проведена термодинамическая оценка разложения ураносодержащей руды с помощью серной кислоты).

*п.*4. Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические

продукты (переработка ураносодержащих отходов, хранящихся в хвостохранилище города Бустон, а также переработка ураносодержащих вод с выделением из них уранового концентрата).

п.5. Экологические проблемы создания неорганических материалов и изделий на их основе. Способы и последовательность технологических операций и процессов защиты окружающей среды от выбросов неорганических веществ (решена экологическая проблема путем переработки ураносодержащих отходов, а также переработки ураносодержащих вод с выделением из них уранового концентрата).

*п.*6. Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами (разработаны обобщённые технологические схемы для переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств города Бустон и урансодержащих руд месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан", основными стадиями переработки которых являются: дробление исходной руды, разложение пульпы, фильтрация, сорбция, десорбция, осаждение и получение запланированного продукта - U3O8.)

п.12. Создание теоретических основ и разработка методов организации производства неорганических материалов (найдены оптимальные условия получения смешанных железо-алюминиевых коагулянтов из местных цеолитов. Показана коагулирующая способность смешанных коагулянтов, полученных из цеолитов, с последующей очисткой урансодержащих вод местными сорбентами).

Диссертация соответствует также паспорту специальности 03.02.08 – Экология (технические науки) по следующим пунктам:

п.1. Общие закономерности функционирования биологических систем в пространстве и во времени в зависимости от естественных и антропогенных факторов (проведенные радиоэкологические исследования представляют основу для

получения информации о негативном влиянии радиоактивных отходов уранового производства на окружающую среду. Показаны истоки формирования радиоэкологической ситуации в Таджикистане после формирования на некоторых территориях урансодержащих хвостохранилищ. Проведены оценка общего радиационного фона бассейна р. Сырдарья, а также радиоэкологический мониторинг некоторых территорий).

п.7. Раскрытие механизмов взаимодействий с целью совершенствования методов их использования в народном хозяйстве, снижения отрицательных последствий межвидовых взаимодействий для человека и биоты (проведён радоновый мониторинг для хвостохранилищ, близлежащих к ним территорий, а также жилых зданий и помещений в различных территориях Таджикистана с определением факторов, оказывающих влияние на выделение радиоактивного газа радона с поверхностей хвостохранилищ, пути миграции и поступление его в жилые помещения. Показаны пути уменьшения действия продуктов распада радона на организм человека).

п.11. Теоретические основы, модели и методы рационального и экологически безопасного природопользования, а также экологическое обоснование норм воздействия человека на живую природу (разработан способ радиоэкологического мониторинга урановых хвостохранилищ и проведена оценка радиоэкологической ситуации по Таджикистану).

п.13. Методы биологического мониторинга изменений состояния популяций, сообществ, экосистем под воздействием факторов среды различной природы, обоснование выбора видов-индикаторов негативного воздействия факторов среды и тест-критериев его оценки на разных уровнях биологической организации (проведены мониторинг распространения техногенного изотопа цезия-137 в почвенном покрове на территории Таджикистана, а также сравнительная оценка распределения радиоактивного изотопа ^{137}Cs в различных типах почв на территории Таджикистана).

п.15. Методы восстановления природно-территориальных комплексов, очистка загрязнённых территорий и водной среды на основе биоремедиации

(очистка воды коагулянтами и сорбция радионуклидов местными сырьевыми сорбентами).

п.21. Рекомендации по применению методов анализа и технологических решений, обеспечивающих предотвращение загрязнения природной среды и минимизацию воздействия на окружающую экосистему (безопасное обращение с радиоактивными отходами в районе исследования указывает на необходимость проведения рекультивационных работ и покрытие поверхности хвостохранилища с нейтральными грунтами местного происхождения).

Личный вклад соискателя ученой степени в исследовании заключается в анализе литературных данных, постановке и решении задач исследований, подготовке и проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях, анализе полученных результатов, формулировке основных положений и выводов диссертации.

Апробация и реализация результатов диссертации. Основные положения диссертации обсуждались на следующих научных конференциях, симпозиумах и семинарах:

- *на международных:* Международной конференции "Вопросы потенциального терроризма и борьба с распространением оружия массового уничтожения в Центральной Азии" (Душанбе, 2010); на семинарах "2011 год – Международный год химии" и "Радиационная безопасность Таджикистана" (Душанбе, 2011); Международном семинаре "Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения" (Душанбе, 2012); Международной научно-практической конференции "Сахаровские чтения, 2019: Экологические проблемы 21 века" (Минск, 2019); III Международной научно-практической конференции "Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий" (Гулистан, 2022); Международной научно-практической конференции "Водная безопасность – основа устойчивого развития" (Душанбе, 2022); Международной научно-практической конференции "Ядерная и радиационная безопасность: возможности и перспективы" (Гулистан, 2023);

- *на республиканских:* научно-практической конференции "Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии" (Душанбе, 2009); VI Нумановских чтениях (Душанбе, 2009); Республиканской конференции по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических, химических и медицинских объектов (Душанбе, 2014); конференции молодых учёных АН РТ (Душанбе, 2014); IX годичной научно-практической конференции молодых учёных и студентов ТГМУ им Абуали ибн Сино с международным участием (Душанбе, 2014); XV Нумановских чтениях (Душанбе, 2019); Республиканской конференции "Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики" (Душанбе, 2020); XVII Нумановских чтениях "Результаты инновационных исследований в области химических и технологических наук в 21 веке" (Душанбе, 2022).

Публикации по теме диссертации. По результатам проведённых исследований опубликовано 79 научных работ, из которых 2 монографии и 2 учебно-методических пособия, 25 статей в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан (в том числе 3 в журналах, входящих в перечень SCOPUS, а также 6 индивидуальных статей автора), 43 статьи и тезисы в публикациях представлены на республиканских и международных конференциях, получено 7 малых патентов Республики Таджикистан на изобретение.

Структура диссертации и объем. Диссертация изложена на 329 страницах, содержит 66 таблиц и 67 рисунков. Состоит из введения, семи глав, выводов и списка использованных источников (382 наименования).

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ТАДЖИКИСТАНЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Переработка урансодержащих материалов

1.1.1. Способы переработки урановых руд

На настоящее время переработка ураносодержащих руд осуществляется различными методами, которые были разработаны конкретно под выделение урана и его соединений – это кислотные методы (с применением различных кислот), щелочные, метод фторирования и метод микробиологический [1-5].

Классический метод – кислотное разложение - является основным и часто используемым методом, с помощью которого осуществляется разложение ураносодержащих руд. Сущностью метода является разложение мелко измельчённых руд растворами кислот – серной или азотной. Наиболее часто используемым в промышленных масштабах методом можно назвать сернокислотный метод, так как серная кислота по сравнению с другими кислотами является более дешёвой. Если уран, содержащийся в руде, присутствует со степенью окисления, равной (+4), то в процесс кислотной переработки необходимо вводить различные окислители. В процессе, например, сернокислотного разложения ураносодержащей руды получают уран в виде его сульфата – уранилсульфата.

При введении гидроксида натрия в процесс разложения урановой руды происходит образование диураната натрия, который осаждается в виде соединения $Na_2U_2O_7 \cdot 6H_2O$, но также достаточно часто осаждение урана происходит в виде уранилгидроксида или аммония диураната.

После извлечения урана остаток руды представляет собой мелкие твёрдые частицы, которые извлекаются из процесса разложения и направляются в хвостохранилище, как ненужные остатки.

Следующий шаг – селективное извлечение непосредственно урана из продуктивных растворов. Для осуществления этого шага используют ионный обмен и экстракцию, так как в продуктивных растворах помимо уранильных соединений содержатся различные катионы. Эти катионы, если позволяют определённые условия, проявляют свойства, характерные урану – в аналогичных условиях могут выпадать в осадок, осаждаться на тех же ионообменных смолах, экстрагироваться аналогичными органическими растворителями. Однако используемые в настоящее время ионообменные смолы позволяют извлекать уран достаточно избирательно [1-3].

Осаждение урана из кислых продуктивных растворов после их нейтрализации оксидами магния, оксидами кальция, аммиаком или раствором щёлочи осуществляется в виде уранилгидроксидов. Например, при введении в продуктивный раствор гидроксида натрия происходит осаждение урана в виде натрия диураната ($Na_2U_2O_7 \cdot 6H_2O$). Уран часто осаждается в виде уранилгидроксида или аммония диураната.

Карбонатный метод – при использовании данного метода разложения уранодержащих руд происходит взаимодействие карбонат-ионов с комплексным соединением урана (VI), которое в воде растворяется достаточно легко по следующей формуле:

$$UO_3 + 3Na_2CO_3 + H_2O \leftrightarrow Na_4[UO_2(CO_3)_3] + 2NaOH.$$

Чтобы исключить возможность образования в процессе разложения натрия диураната, используется смесь, включающая в своём составе карбонат и бикарбонат натрия. Однако для переработки уранодержащих руд сложных составов или труднорастворимых руд карбонатный метод не эффективен, так как в этих рудах содержится значительное количество оксидов – это оксиды ниобия, тантала, титана, тория, оксиды элементов лантанидной группы.

Для уранодержащих руд с содержаниями урана (IV) эффективно использовать разложение с введением в процесс различных окислителей, в качестве окислителей для данных целей принято использовать перманганат калия, кислород и др., процесс осуществляется в соответствии с формулой:

$$UO_2 + 0{,}5H_2O + 3CO_3^{2-} + H_2O \rightarrow [UO_2(CO_3)_3]^{4-} + 2OH^-.$$

В процессе карбонатного метода образуются содовые растворы с содержаниями урана, уран из указанных растворов осаждается гидроксидом натрия с получением натриевых солей диураната или хроматографической сорбцией с использованием в качестве сорбентов различные аниониты.

Метод прямого фторирования. Использование данного метода широко применимо в переработке ураносодержащих руд с высокими содержаниями урана. Метод прямого фторирования осуществляют следующим образом: руда обрабатывается при T=600˚C последовательно двумя реагентами – во-первых, фтористым водородом, во-вторых, используя в качестве реагента бром трёхфтористый. Первоначально образуется в результате химреакций ураносодержащее соединение – уран тетрафторид, с последующим превращением его в гексафторид урана, который является легко летучим соединением. Параллельно с указанным процессом образования гексафторида урана осуществляется процесс фторирования диоксида кремния и соединений состава руды, но на этот параллельный процесс также расходуются фторирующие реагенты, что является не эффективным и финансово затратным.

Микробиологический метод – данный метод в основном показал свою эффективность при переработке ураносодержащих руд, которые являются бедными рудами. В данном методе используется жизнедеятельность микроорганизмов, что значительно сокращает финансовые затраты метода, так как специфические бактерии по своей сущности представляют собой «поставщиков» реагентов, что позволяет перерабатывать этим методом бедные ураносодержащие руды с высокими показателями эффективности. Микробиологический метод основан на следующих технологических принципах: руду закладывают в отвалы, под которыми расположены непроницаемые породы, далее над рудой производят распыление водного раствора сульфида железа, в которые предварительно помещают популяции сульфидредуцирующих бактерий Thiobacillus Ferrooxidans, этот вид бактерий является грамотрицательным видом. Бактерии Thioba-

cillus Ferrooxidans в процессе жизнедеятельности имеют способность к образованию железистого сульфат-реагента, который отличается способностью окислять уран четырёхвалентный до его пятивалентного состояния. Конечным продуктом микробиологического метода являются урансодержащие соединения, легкорастворимые в минеральных кислотах.

1.1.2. Переработка урансодержащих руд Республики Таджикистан

В 1942 г. советское правительство приняло решение использовать урансодержащие месторождения республик Средней Азии с целью получения из этих руд урановых концентратов, так как в 1941-1942 гг. были проведены поиск и разведка на указанных территориях и выявлены несколько перспективных месторождений, в которых урановые руды были достаточно богаты по содержанию урана [6-8].

На территории Таджикской ССР в г. Чкаловске (в настоящее время переименован в г. Бустон) 15.05.1945 года по рекомендации НКВД СССР произошло создание Горно-химического комбината № 6, основная деятельность комбината была направлена на переработку урановых руд. Комбинат № 6 в 1976 г. получил новое название и стал называться Ленинабадским горно-химическим комбинатом, который в 1990 г. снова переименовался в ГП "Востокредмет ", а с 2016 г. это предприятие было переименовано в ГУП "Таджикские редкие металлы" (ГП "Таджикредмет"). В период 1945-1949 годов в г. Табошар осуществлено строительство четырёх заводов, в г. Адрасман - одного завода, на территории Б. Гафуровского района начал функционировать опытный завод, и в г. Чкаловск был построен и введён в эксплуатацию самый большой завод по переработке урановой руды. Соответственно, непосредственно около этих предприятий были образованы первые хвостохранилища (гг. Табошар, Адрасман, Чкаловск), в которых содержание урановых хвостов было высоким, составляя от 0.03 до 0.1%, поскольку технологические циклы извлечения урана на этих заводах предусматривали извлечение урана не более 51-60%.

В общей сложности в течение 1945 года на указанных заводах было переработано 5392 т ураносодержащих руд, среди которых на завод № 3 приходилось 3593 тонны руды со средним содержанием в ней урана около 0.218%, а завод № 4 переработал за указанный период 1800 тонн руды со средним содержанием в ней урана около 0.34%. Соответственно, было получено готовой продукции – урана - примерно 7.0 тонн, так как из руды извлекалось только около 40% находившегося в ней урана. Технология извлечения урана на заводах № 3 и 4 была идентичной, вначале осуществляли сухой помол в шаровых мельницах, частицы руды не классифицировали по фракциям, далее размолотую руду загружали вручную в реакторы, где она подогревалась до 70-80°С и обрабатывалась содовыми растворами (для карбонатных ураносодержащих руд) или растворами меланжа, если руда перемешивалась вручную. Ураносодержащие растворы отделяли от хвостов (твёрдой фазы) в периодически действующих отстойниках-ямах. Готовый продукт высушивали над открытым огнём на противнях [9-12].

Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ на систематической основе проводит изучение фундаментальных физико-химических принципов, на которых была основана переработка ураносодержащих руд. Для максимального извлечения из этих руд уранового концентрата (U_3O_8) были определены оптимальные параметры. Были разработаны и прошли лабораторные испытания ряд обобщённых технологических схем, которые были разработаны с учётом характеристик руды отдельных месторождений – для исследований были выбраны в качестве эксперимертальных урановые руды месторождений "Западный Таджикистан", "Северный Таджикистан", "Центральный Таджикистан", "Октябрьское" и некоторых других месторождений [13-20].

Далее нами были изучены физико-химические принципы, на которых основывается переработка отдельных ураносодержащих руд Республики Таджикистан.

Месторождение ураносодержащих руд "Северный Таджикистан". Месторождение в основном предствлено рудными минералами – силикатными и титанатными. В качестве сопутствующих минералов здесь выделяются минералы настураны (урановая смолка) и ураниниты. Для этого месторождения помимо ураносодержащих минералов характерны и не урановые минералы, среди которых выделяются по значимости галениты, рутилы, пириты, антимониты, титановые и марганцевые минералы [21, 22].

Для месторождения основными нерудными минералами являются кварцевые минералы и карбонатные минералы. Имеются в составе также ураносиликаты в форме таблитчатых метакристаллов, часто сохраняющих только внешнюю огранку; внутри которых имеются различные нерудные минералы. Скопления минералов по своим размерам различны, колеблются от сотых доле миллиметра до тысячных долей миллиметра. В скоплениях минералов лазерный спектральный анализ качественно и количественно выявил следующие химические элементы: содержания урана и кремния (до десятых долей процента), содержания кальция, титана, железа (до сотых долей процента).

В месторождении минерал уранинит является одним из основных рудных минералов, структура уранинита кристаллическая, размер кристаллов составляет примерно 0.1 мм. В месторождении уранинит представлен двумя кристаллическими формами - кубической и призматической. Уранинит имеет характерное свойство образовывать с сопутствующим минералом браннеритом небольшие по размерам кулисные линзы, которые располагаются по слоистости и оболочке минерализованных пород.

Физико-химические характеристики ураносодержащих руд месторождения "Северный Таджикистан" исследовались в [13, 19, 20]. В указанных работах для переработки руды данного месторождения проведено определение оптимальных параметров переработки ураносодержащей руды. Руда перерабатывалась сернокислотным способом, пульпа выщелачивалась с использованием H_2SO_4, температура процесса поддерживалась в пределах 60-75°С, а соотношение Т:Ж составляло 1:2, сернокислотное разложение осуществляли в течение 6

часов. После процесса выщелачивания был получен твёрдый остаток, который дважды промывался водой, оптимальное соотношение фаз Т:Ж поддерживалось равным 1:1. Были получены продуктивные растворы, из которых либо экстракцией, либо сорбцией, либо осаждением получали уран. Было определено (рисунок 1.1), что при увеличении расхода H_2SO_4 одновременно увеличивается процентное извлечение урана, с максимумом извлечения 93.13%.

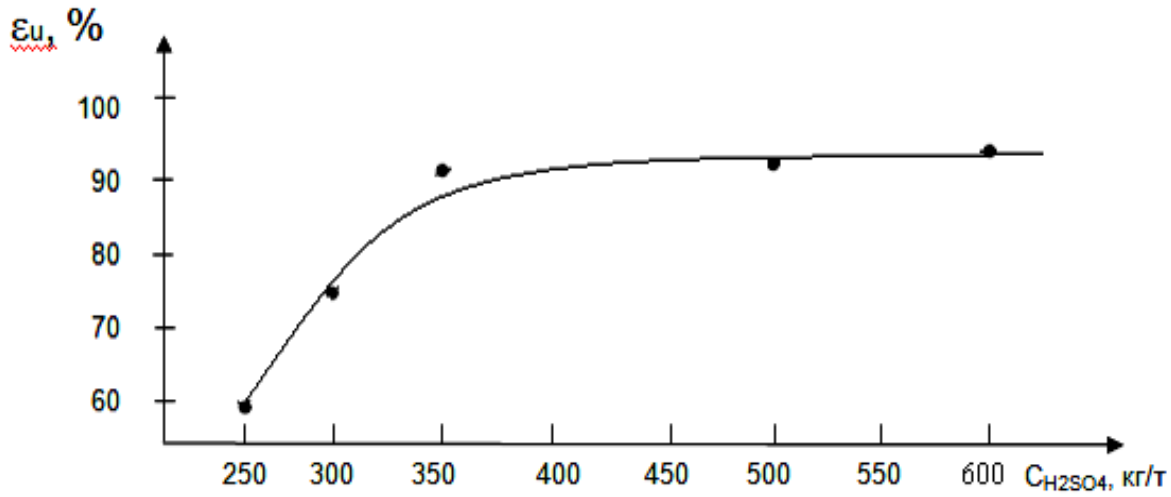

Рисунок 1.1. – Влияние расхода серной кислоты на извлечение урана из урановых руд месторождения "Северный Таджикистан"

Максимум извлечения урана (93.13%) получен разложением урановой руды смесью кислот – серная+азотная, оптимальное сотношение кислот было следующим: 350 кг/тонну серной кислоты и 30 кг/т азотной кислоты, данная смесь является оптимальной, так как при этом использование кислот минимально.

Месторождение "Центральный Таджикистан". Авторы работ [21-26] указали, что ими исследованы химические и минералогические составы уранодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан". Авторы перерабатывали руды данного месторождения методом сернокислотного разложения и исследовано влияние на процесс разложения влияние некоторых реагентов-окислителей. Также определено, что водородный показатель (pH) оказывает значительное влияние на извлечение из указанных руд концентратов урана.

Для уранодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" был изучен состав их минералов, и выявлены значительные содержания кварца (с содержанием 34.5%), несколько меньше здесь содержание минерала альбита (30.7%), содержание иллита около 21.0%, кроме основных минералов присутствуют минералы, содержание которых очень низкое, среди них минералы кальцит (3%), плагиоклаз (2.95) и магнетит (1.7%), содержания некоторых минералов менее 1%, поэтому они не учитываются при изучении данного вида руды.

В составе урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан" присутствуют также минералы экзогенные (представленные уранофаном и коффинититом), которым характерна способность мигрировать. Уранофан и коффинитит в руде содержатся в двух формах, в четырёх- и шестивалентной формах; учитывая их изменяющуюся валентность, руду данного месторождения можно перерабатывать щелочным или кислотным разложением. Однако по свидетельству лабораторных опытов, кислотное разложение этих руд более эффективно, так как при кислотной переработке достигаются извлечения урановых соединенрий более высокие, чем при карбонатной переработке. Таким образом, эффективней использовать для руды данного месторождения кислотную переработку. Кислотная переработка данных руд по сравнению со щелочной более перспективная, потому что в процессе используется H_2SO_4, представляющая собой реагент более дешёвый сравнительно с другими реагентами [24].

Для получения урановых концентратов, полученных сернокислотной переработкой уранодержащих руд, нами изучено влияние различных факторов на степени извлечения концентрата (рисунок 1.2).

Как можно видеть на рисунке 1.2а, максимальное извлечение урана достигается равным 96.6% при использовании следующего технологического режима: Т:Ж (1:2), C_{H2SO4} (150 кг/т), τ (4 ч), Т (60°С), в этом случае расход H_2O_2, который является в процессе реагентом-окислителем, составлял около 50 л/тонну, концентрация H_2O_2 бралась 25-процентная. Исходя из полученных результатов,

опыты по разложению были продолжены с получением кека, который из продуктивных растворов выделялся фильтрацией, далее кек промывали водой, придерживаясь оптимального соотношения Ж:Т (3:1) [24].

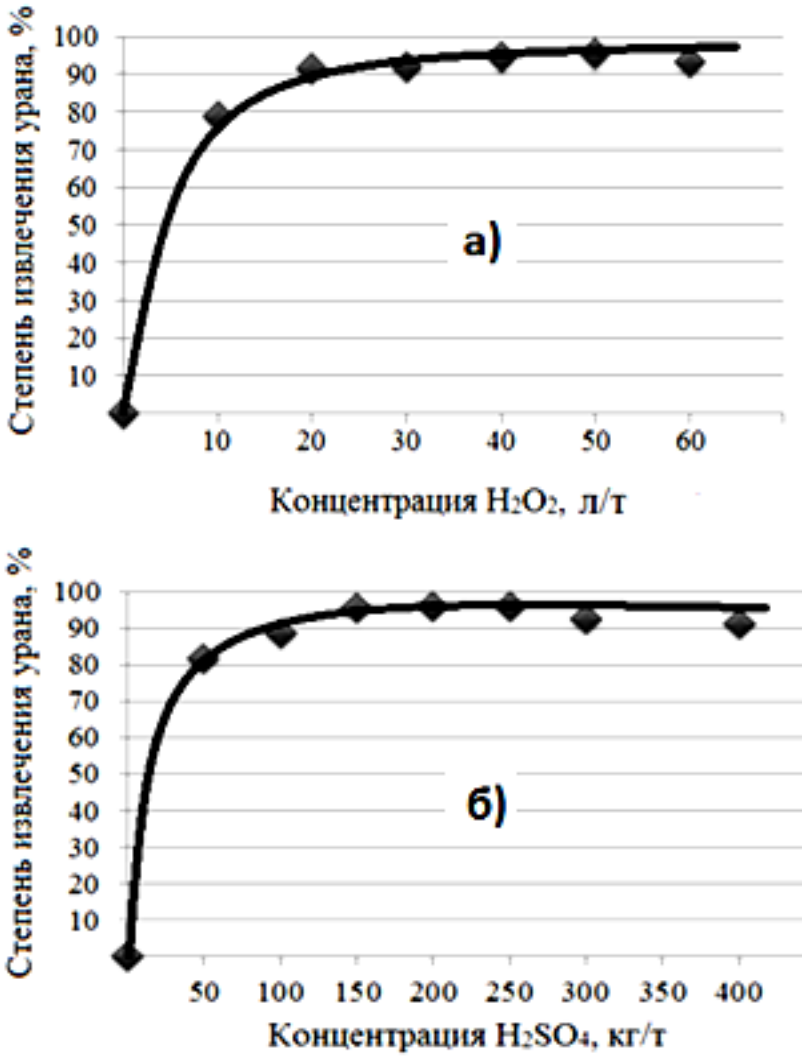

Рисунок 1.2. – Извлечение из руд месторождения "Центральный Таджикистан" концентратов урана в зависимости от: а) расхода реагента-окислителя H_2O_2 - 25%, при Т:Ж (1:2), C_{H2SO4} (150 кг/т), τ (4 ч), Т (60°С), б) от концентрации кислоты (H_2SO_4), при Т:Ж (1:2), C_{H2O2} (50 л/т), τ (4 ч), Т (60°С)

По результатам опытов сернокислотной переработки урановой руды с получением концентрата урана (рисунок 1.2б) сделано заключение, что максимум извлечения уранового концентрата приходится на использование 150 кг/тонну серной кислоты. Показано также, что повышение количества H_2SO_4 свыше 150

кг/тонну при переработке ураносодержащих руд не дает положительного эффекта, и оптимальное количество H_2SO_4 составляет 150 кг на тонну руды.

Серию экспериментов осуществили, чтобы выявить оптимальную длительность переработки руды для максимума извлечения концентрата урана. Обнаружено, что максимум извлечения уранового концентрата (96%) может быть достигнут при четырёхчасовой обработке руды сернокислотными растворами при использовании в процессе реагента-активатора - H_2O_2. Показано также, что повышение времени разложения и взаимодействия руды с H_2SO_4 и H_2O_2 при переработке ураносодержащих руд не дает положительного эффекта, процесс замедляется и через 5-6 часов заканчивается полностью и продолжение процесса не рекомендуется [24, 25].

Проведена серия экспериментов для сравнения эффективности используемого сравнительно других известных и часто применяемых окислителей (пиролюзит, азотная кислота, оксид марганца) в растворах H_2SO_4 от 50 до 450 кг/тонну (рисунок 1.3) [24, 25].

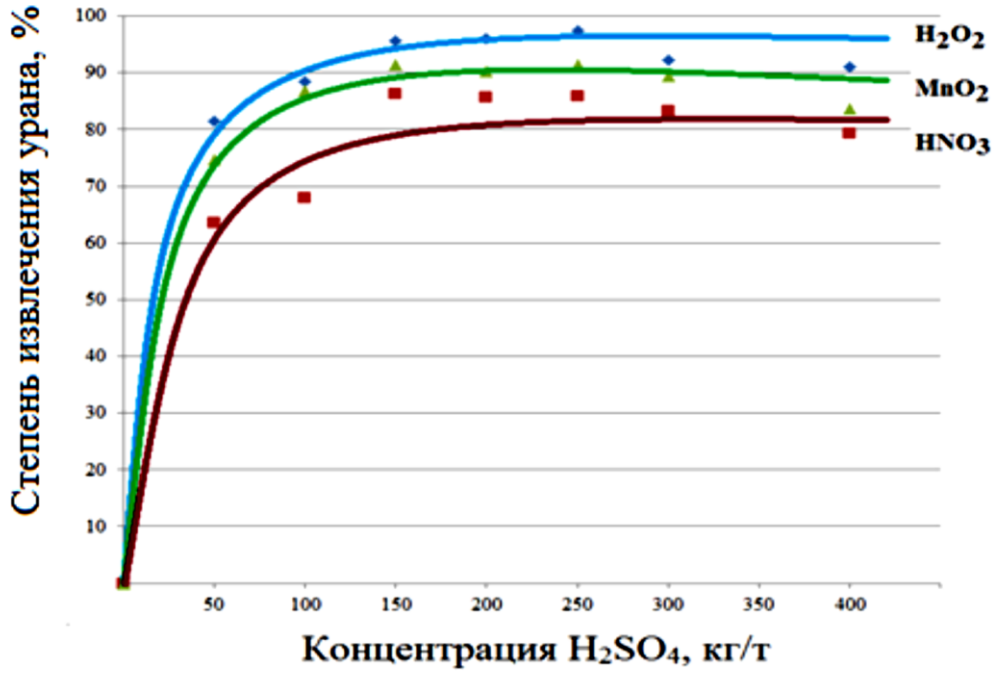

Рисунок 1.3. – Влияние концентрации H_2SO_4 и некоторых окислителей-реагентов на извлечение уранового концентрата из руд месторождения "Центральный Таджикистан" при следующих условиях протекания процесса: C_{HNO3} (50 л/т), C_{MnO2} (50 кг/т), C_{MnO2} (50 кг/т), C_{H2O2} (50 л/т), τ (4 ч), Т (60°С)

Также была проведена серия экспериментов, в которой изучались кинетические параметры сернокислотной переработки руды месторождения "Центральный Таджикистан" в присутствии реагента-окислителя H_2O_2. Основные изучаемые параметры процесса в данном исследовании были следующими – Ж:Т (2:1), C_{H2O2} (50 л/т), C_{H2SO4} (150 кг/т), время переработки (τ=6 часов), Т (293-353 К), результаты данной серии экспериментов обобщаются на рисунке 1.4.

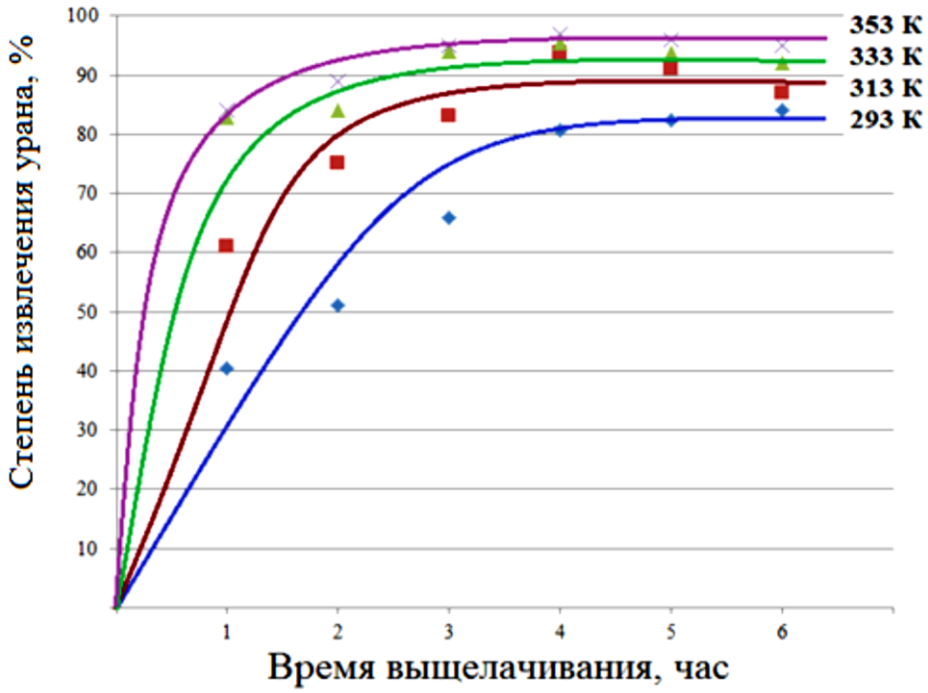

Рисунок 1.4. – Влияние времени разложения (τ) и Т (температуры) на процентное извлечение урановых концентратов из руд месторождения "Центральный Таджикистан"

Было определено, что увеличение температуры (Т) в диапазоне 293→353 К и изменение времени разложения (τ) в диапазоне 1→6 ч увеличивает извлечение уранового концентрата из руды. На протяжении 6-часового промежутка разложения извлечение урана не равномерное, определено, что в первые 1-2 часа уран извлекается значительно и максимально, далее в течение ещё 2-х часов ураносодержащие соединения извлекаются равномерно и незначительно, а после 6-часового разложения полностью заканчивается извлечение, то есть проводить процесс свыше 6 часов не является эффективным и целесообразным [24-26].

По полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка технологической блок-схемы для переработки урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан" сернокислотным способом. Разработанная технологическая блок-схема состоит из следующих самостоятельных блоков: дробление и измельчение руды, предварительная отмывка водой, разложение с помощью H_2SO_4, сорбция на анионит АМ(п) урана, десорбция урана с анионита АМ(п), нейтрализация десорбата до pH=8, осаждение $(NH_4)_2U_2O_7$ - диураната аммония, фильтрация с отправкой маточных растворов в хвостохранилище, получение готового жёлтого кека - U_3O_8 в качестве конечного продукта (рисунок 1.5).

Сернокислотное разложение урановой руды месторождения "Западный Таджикистан" изучалось в [27-31]. Авторы рекомендовали следующие условия сернокислотного разложения руды, которые были показаны, как оптимальные – Т (80°С), время разложения τ (1 ч), серная кислота концентрацией 30%. Указанные оптимальные условия переработки позволили авторам достичь извлечения урана, составившего 88.2%. Также по полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка технологической блок-схемы для переработки урановой руды месторождения "Западный Таджикистан" сернокислотным способом. Разработанная блок-схема состоит из следующих самостоятельных блоков: рудоподготовка, включая дробление и размельчение, предварительная отмывка водой, разложение с помощью H_2SO_4, фильтрация для разделения твёрдой фазы от раствора, осаждение $(NH_4)_2U_2O_7$ - диураната аммония, высушивание и прокаливание готового жёлтого кека - U_3O_8 в качестве конечного продукта.

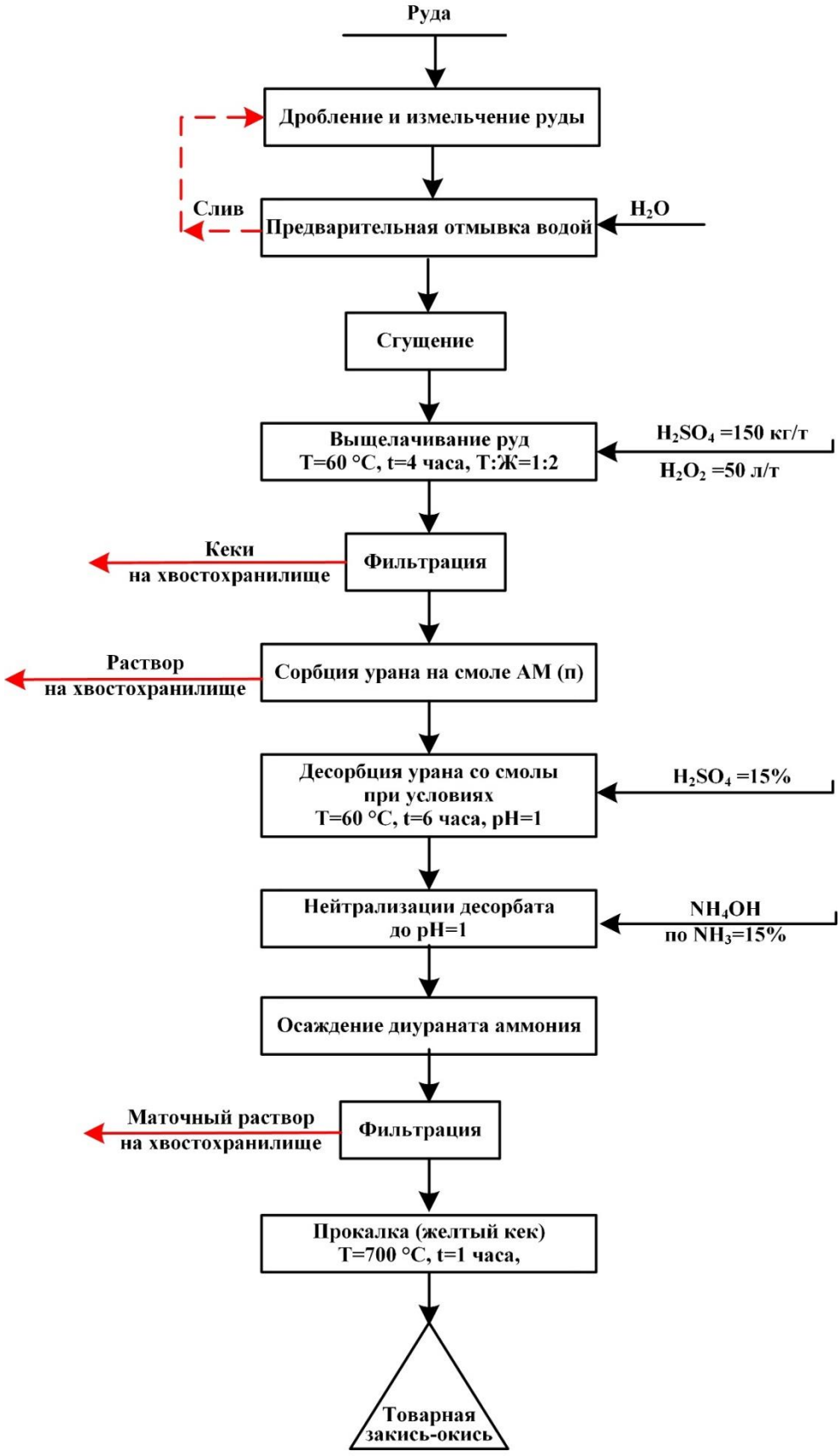

Рисунок 1.5. – Усреднённая технологическая блок-схема для переработки урановых руд месторождения "Центральный Таджикистан" сернокислотным способом с получением уранодержащего продукта U_3O_8

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

Как указывают авторы в работах [32-37], ими изучены физико-химические принципы, по которым были сформированы супесчаные почвы и определено, что слагающие супесчаные почвы минералы непосредственно влияют на перемещение и накоплении ураносодержащих соединений в составе урансодержащих месторождений. Установлено, что распределение урана в донных отложениях, почвенных покровах и геохимических фракциях подчиняется определённым закономерностям. По утверждению авторов, уранил-ионы UO_2^{+2} имеют сильно выраженную миграционную способность в большинстве наземных экологических систем.

По утверждению авторов работы [32], ими исследованы характеристики супесчаных почв с целью извлечения из них урана, для данного процесса исследована кинетика, по построенным кинетическим кривым линиям графически определены величины кинетических параметров, включая энергию активации (E), которая оказалась равной 16 кДж/моль, это значение также подтверждено экспериментальными расчётами, т.е. разложение супесчаных почв с извлечением из их состава урановых соединений осуществляется в диффузной области. По полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка усреднённой схематической технологии для сернокислотного разложения супесчаных почв сорбционным способом, где сорбентом являлся анионит АМ(п), представляющий собой анионообменную макропористую смолу на основе сополимеров (рисунок 1.6) [32].

1.2. Переработка отходов урановой промышленности Таджикистана

1.2.1. Переработка отходов Гафуровского хвостохранилища

По утверждению авторов работ [38-45], они изучили отходы бывших урановых производств, которые складированы в Гафуровском хвостохранилище, определили в указанных ураносодержащих отходах содержания различных ра-

дионуклидов, предложены и лабораторно опробованы возможные способы переработки указанных отходов с целью получения из них U_3O_8 в качестве конечного продукта.

В [43, 44] проводили опыты с двумя различными типами ураносодержащих отходов – во-первых, это "богатые" отходы, в которых высокие содержания урана, находящиеся в диапазоне от 0.016 до 0.516 процентов, во-вторых, "бедные" отходы, в которых низкие содержания урана, находящиеся в диапазоне от 0.009 до 0.031 процентов, для которых проведена разработка усреднённой схематической технологии [46].

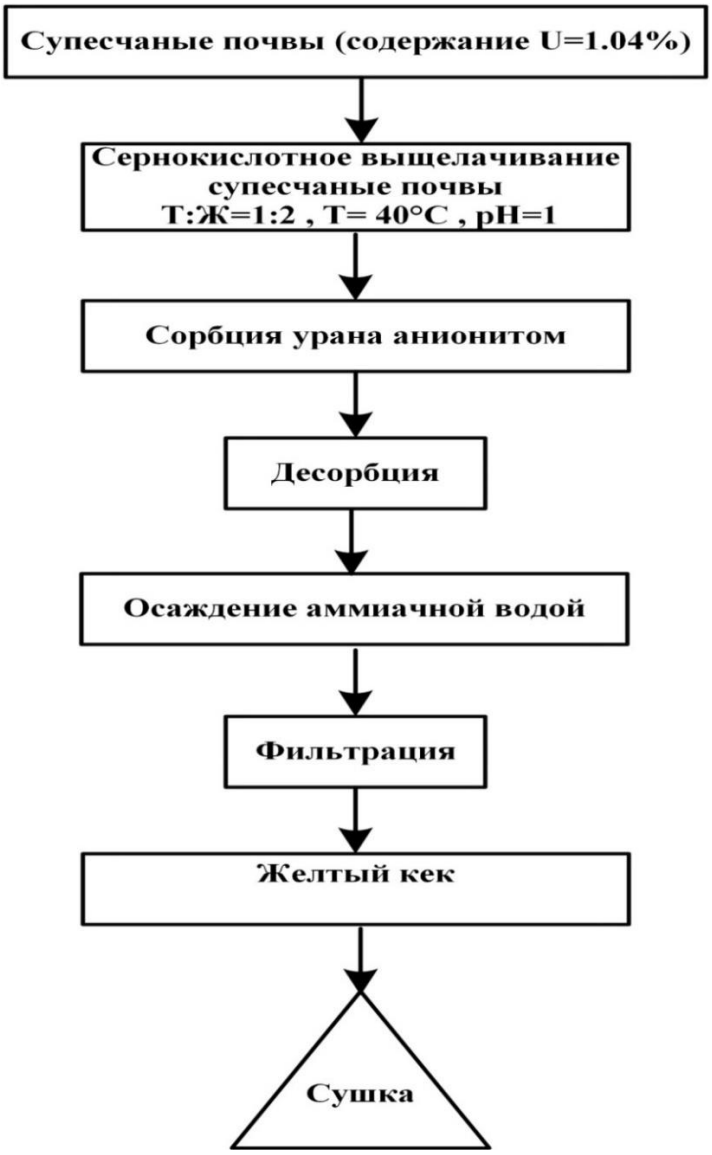

Рисунок 1.6. - Усреднённая схематическая технология для переработки ураносодержащих супесчаных почв с целью получения из них U_3O_8 в качестве конечного продукта

Как утверждается в [46], авторами исследованы и паспортизированы все хвостохранилища Согдийской области Таджикистана с целью выявления хвостохранилищ, из отходов которых возможны максимальные извлечения урана и ураносодержащих соединений. Исследования показали, что более эффективной представляется вторичная переработка ураносодержащих отходов, хранящихся в Гафуровском хвостохранилище. Показана возможность переработки "богатых" отходов с содержаниями в них урана в диапазоне от 0.03 до 0.518 процентов, При переработке указанного типа отходов значительно сокращаются технологические стадии переработки, исключаются из технологического процесса следующие – дробление-измельчение, классификация, сгущение, сорбция и десорбция. Из указанных отходов извлечение достигает 90 процентов и более. Кроме того, для данного технологического процесса извлечения урансодержащих соединений определены оптимальные характеристики.

1.2.2. Переработка отходов хвостохранилища "Карта 1-9", расположенного в городе Бустон

По утверждению авторов работ [47-52], они изучили отходы бывших урановых производств, которые складированы в хвостохранилище "Карта 1-9", расположенном в городе Бустон. На основании изучения химико-минералогического составов отходов этого хвостохранилища авторами сделано заключение, что отходы, содержащиеся в хвостохранилище "Карта 1-9" для вторичной переработки с целью получения из них ураносодержащих соединений являются перспективными. Определено, что одним из основных минералов в составе хвостов является кварц, его содержание составляет 69.0 процентов и выше, исходя из чего для переработки указанных хвостов рекомендован сернокислотный метод.

Была проведена серия лабораторных исследований, в которой определялись степени вскрытия ураносодержащих отходов и перехода в продуктивные растворы ураносодержащих соединений, также было определено, что при сернокислотной переработке указанных отходов достигаются значительные извлечения урана, примерно 20-60%, в основном зависящие от расхода H_2SO_4.

Как свидетельствуют авторы [48, 49], для переработки отходов данного хвостохранилища проведено определение оптимальных параметров сернокислотной переработки ураносодержащих отходов, так как кинетические процессы и их изучение играют важную роль при кислотной переработке хвостовых материалов отходов. В результате для кислотного разложения определённого вида сырья и материалов необходимо определить оптимальные условия разложения, на которые оказывают влияние ряд физико-химических характеристик, в основном это Т (температура) и τ (время разложения). Были проведены серии экспериментов, на основании которых выявлены оптимальные параметры проведения кислотного разложения отходов хвостохранилища "Карта 1-9", это Ж:Т (1:1), τ (6 часов), Т (65-70°С).

1.2.3. Переработка отходов урановой промышленности города Истиклол

Как показывает изучение данного вопроса, на территории города Истиклол (ранее назывался город Табошар) складированы различные виды ураносодержащих отходов, среди которых имеются ураносодержащие отвалы, образованные в процессе деятельности гидрометаллургического завода, называемые "Фабрика бедных руд" (далее ФБР), имеются несколько хвостохранилищ, из-под которых также вытекают дренажные и техногенные воды, в которых содержания определяются повышенными.

По утверждению авторов [53-57], ими изучены вопросы, касающиеся извлечения урановых соединений из ураносодержащих хвостохранилищ, расположенных на территории города Истиклол.

Как свидетельствуют авторы [55], для переработки отходов "Фабрики бедных руд" с целью извлечения из них соединений урана проведено определение оптимальных параметров переработки указанных ураносодержащих отходов способом выщелачивания.

1.2.4. Переработка отходов урановой промышленности Дигмайского хвостохранилища

Как известно [58-60], на территории Среднеазиатского региона хвостохранилище Дигмай является самым крупным хвостохранилищем остатков бывших урановых производств, имеющихся в указанном регионе. По площади своего расположения Дигмайское хвостохранилище занимает более 90 гектаров, где были складированы различные виды ураносодержащих отходов, в частности, это отработанные урановые руды, их содержание в Дигмае составляет ~35 млн. тонн. Также на территории хвостохранилища хранится примерно 500 тыс. тонн урановых забалансовых руд, и здесь было складировано примерно 5.7 млн. тонн отработанных ванадийсодержащих руд в виде отходов ванадиевого производства. Общая активность всех указанных отходов на территории хвостохранилища Дигмай определена в значение ~16000 ГБк. На поверхности Дигмая хранящиеся отходы только на 83% являются закрытыми в процессе проведения рекультивационных работ, остальная поверхность хвостохранилища не имеет защитного покрытия и ураносодержащие отходы открыты [58-60].

Проведено определение областей, имеющих повышенные уровни радиоактивных загрязнений сравнительно естественного радиоактивного фона, на основании этих исследований территория Дигмайского хвостохранилища разграничена по зонам опасности [58]. Высокие уровни радиоактивного загрязнения представляют собой определённые радиологические и радиационные риски для проживающих вблизи хвостохранилища людей, кроме того, население, проживающее рядом с хвостохранилищем, использует различные виды ресурсов с территории хвостохранилища, как природных (сбор строительных материалов, сена и др.), так и техногенных (сбор металлолома), что отрицательно сказывается на населении, приводя к дополнительным облучениям.

На основании проведённых исследований проводилось выявление факторов, повышающих радиационный и радиологический риски Дигмайского хвостохранилища, среди которых нужно назвать следующие:

- радиоактивное загрязнение населённых пунктов, которые располагаются поблизости от дислокации хвостохранилища. Необходимо было учитывать только индивидуальные средние показатели по радиационому загрязнению указанной территории (почвенного покрова) и атмосферного воздуха, не учитывая вклад в радиационное загрязнение жилых домов и помещений, располагающихся на исследованной территории;

- в ураносодержащих материалах хвостохранилища Дигмай присутствуют значительные содержания естественных радионуклидов, кроме того, обнаружены значительные выделения (выбросы) радона по всей территории хвостохранилища;

- из тела хвостохранилища постоянно выделяются радиоактивные нуклиды, которые соответственно являются источниками загрязнения подземных вод [58-60].

По данным, приведённым в [60], составлена таблица 1.1, в которой обобщены различные физико-химические характеристики компонентов, слагающих Дигмайское хвостохранилище (на примере жидкой фазы пульпы) сравнительно с аналогичными данными, полученными по другим гидрометаллургическим заводам.

По результатам данных, приведённых в таблице 1.1, сделано заключение, что в общем показатели, характеризующие жидкую фазу пульпы, которая был сброшена в хвостохранилище, близки к средним статистическим показателям, которые приведены в литературных источниках [60]. Что касается содержания радионуклидов, то они превышают нормы, которые были определены для уровня вмешательства [59].

По мнению авторов [58-60], ураносодержащие отходы, хранящиеся в Дигмайском хвостохранилище, по сравнению с хвостохранилищами, например, городов Истиклол или Бустон, менее перспективны в плане извлечения из них урановых соединений.

Таблица 1.1. – Сравнительный анализ химических характеристик компонентов слагающих Дигмайское хвостохранилище (на примере жидкой фазы пульпы) и ГМЗ

Компоненты	Концентрации компонентов	
	Средние для ГМЗ	Хвостохранилище Дигмай
pH	7.8-8.0	5.6-7.0
Сухой остаток	8000-10000 мг/л	9800-12000 мг/л
Сульфаты	2000-5500 мг/л	3200-4200 мг/л
Нитраты	500-3000 мг/л	600-800 мг/л
Натрий+калий	200-400 мг/л	230-320 мг/л
Оксид марганца	50-100 мг/л	60-70 мг/л
Оксид магния	100 200 мг/л	180-250 мг/л
Оксид железа	700-800 мг/л	800-850 мг/л
Полоний-210	1.85-55.5 Бк/л	2.0-2.6 Бк/л
Радий-226	9.9-29.6 Бк/л	10-12 Бк/л
Природный уран	0.5-5.0 мг/л	0.35-0.5 мг/л

1.3. Физико-химические принципы извлечения урановых концентратов из технических и дренажных вод Таджикистана

1.3.1. Извлечение урана из технических вод месторождения Киик-Тал

Как указывается авторами [61-71], ими проведены исследования, касающиеся извлечения урана из техногенных вод, которые вытекают из-под тела месторождения Киик-Тал. Определены перспективные способы извлечения урана из дренажных и технических вод, одним из которых назван сорбционный способ извлечения с участием некоторых местных природных сорбентов. В качестве сорбентов исследованы скорлупа абрикоса, шишки сосны, скорлупа грецких орехов и некоторые другие виды природных растительных сорбентов.

Как указывается в работе [62], авторы изучили процесс извлечения уранового соединения (U_3O_8) из шахтных вод месторождения Киик − Тал, с использованием в качестве сорбента скорлупы урюка, этот сорбент проявил высокие сорбционные свойства при извлечении урана.

В [64] авторами проведены исследования, касающихся определения кинетических процессов, происходящих в процессе извлечения урановых соединений способом сорбции и показана эффективность скорлупы урюка в качестве сорбента.

По мнению авторов [70], которые изучили сорбционные свойства растительных сорбентов применительно к процессу извлечения урана, максимальную сорбционную ёмкость проявил сорбент из шишек арчи, то есть данный сорбент также является эффективным для извлечения урана.

Был проведён сравнительный анализ сорбционных способностей природных сорбентов на основе растительного местного сырья, результаты которого показали, что более эффективными сорбционными свойствами обладает сорбент из скорлупы урюка, который в течение определённого времени 90 дней для всех сорбентов показал наилучшие сорбционные результаты (таблица 1.2).

Таблица 1.2. – Сравнительные сорбционные характеристики местных растительных материалов

Сорбент	Количество урана при 90-дневном насыщении (кг/т)	Время насыщения ураном (сут)	Сорбционные ёмкости материалов (кг/т)
Скорлупа урюка	12.9	12	1.72
Скорлупа грецкого ореха	11.5	25	3.20
Шишки сосны	11.7	50	6.50
Шишки арчи	10.0	90	10.0

Авторами [70] по полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка усреднённой схематической технологии извлечения урановых соединений из шахтных вод месторождения Киик – Тал, которая была осуществлена методом сорбции на сорбенте – скорлупе урюка (рисунок 1.7).

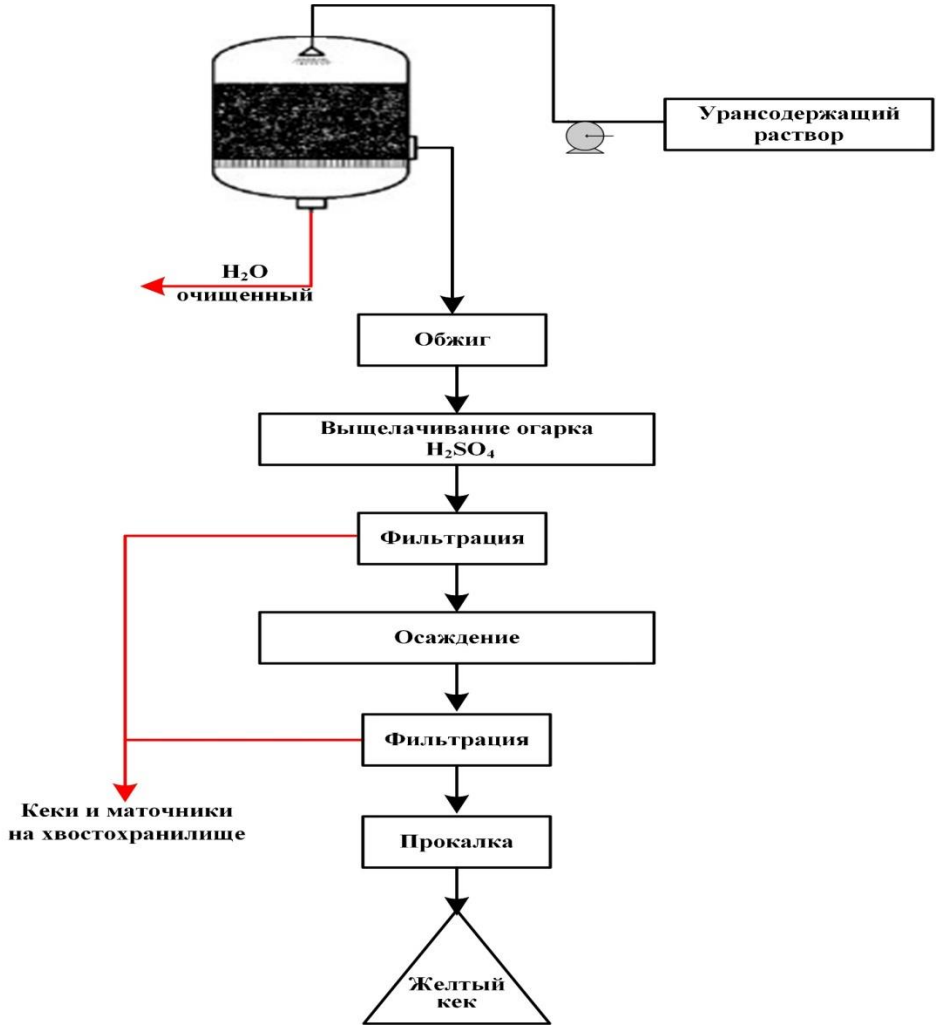

Рисунок 1.7. - Усреднённая схематическая технология для переработки урано-содержащих шахтных вод с целью получения из них U_3O_8 в качестве конечного продукта

1.3.2. Извлечение урана из шахтных и технических вод города Истиклол

Хвостохранилища, находящиеся поблизости от города Истиклол, представляют существенную проблему, так как они дренируют из-под тела хвостохранилища остаточные растворы, дренажи представляют собой множественные родники, вытекающие из-под этих хвостохранилищ или другие водные источники. В дренажных водных источниках, вытекающих из-под хвостохранилищ I-

II очереди, выявлены очень значительные концентрации карбонатных соединений, в частности, гидрокарбонаты с содержаниями до 1800 мг/л, исключительно высокие концентрации сульфат-ионов, достигающие 9200-9600 мг/л, кроме того, указанные дренажи имеют в своём составе различные радионуклиды уран-ториевой группы, включая растворённый уран, что подтверждается данными рисунка 1.8 [14, 15].

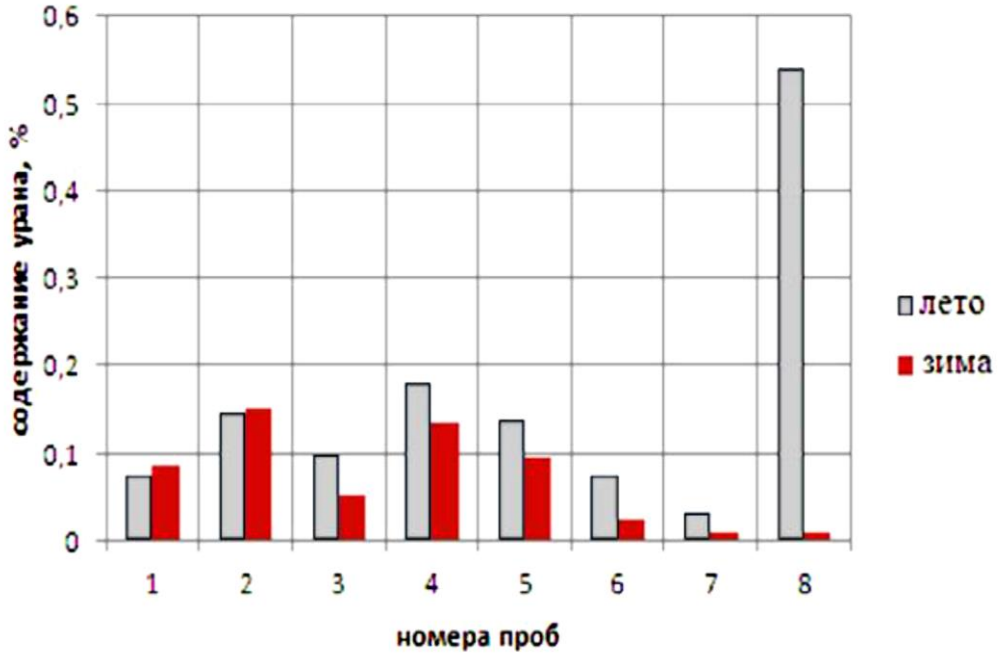

Рисунок 1.8. – Влияние времени года на динамику миграции ^{238}U в различных почвенных слоях

Кроме того, дренажные воды города Истиклол были исследованы на содержания α-активности. Показано, что содержания общей α-активности в дренажных водах достаточно высоки и составляют 1200-1500 Бк/л. Одновременно проведены эксперименты по определению в указанных ураносодержащих дренажных водах концентраций активности по суммарной активности двух изотопов урана – суммы $U-238+U-234$. Суммарная активность была определена с использованием пяти независимых методов, которые показали совместимые результаты, примерно равные 1110-1450 Бк/л, и можно констатировать, что эти данные соответствуют суммарной активности для ураносодержащих растворов, получаемых промышленными способами.

В зонах с засушливым климатом распространение дренажей происходит через водные артерии – речки, родники, мелкие саи, где по их берегам при испарении дренажей происходит накопление желтоватых корок, в составе которых определены уранилсульфаты и уранилкарбонаты в виде комплексов, которые в воде растворяются слабо, но содержат очень высокие концентрации различных природных радиоактивных нуклидов. Таким образом, на берегах водотоков образуются участки с ярко выраженными жёлтыми кристаллами, состав которых представляет собой концентрированные сернокислые комплексы урана с концентрациями, достигающими 12000-15000 Бк/кг.

1.3.3. Извлечение урановых соединений из рапы озера Сасык-Куль

В [71] указывается на разработку технологии, направленной на извлечение урансодержащих соединений из природных рассолов озера Сасык-Куль (рапы), предложен эффективный метод соосождения урана на гидроксиде титана и гидроксиде железа.

В [14, 19, 72] предложено выделение урана из раствора озера Сасык-Куль методам удаления хлорид-ионов путём выпаривания раствора, добавления H_2SO_4 и улавливания HCl.

В таблице 1.3 приведены результаты сорбции урана на анионит АМ(п) из продуктивного раствора после их очистки от хлор-ионов.

Таблица 1.3. - Результаты сорбции урана на анионит АМ(п) из продуктивного раствора после их очистки от хлор-ионов

№	Вход		Выход		Объём пропущенного раствора, мл	Извлечение урана, %
	pH	г/л	pH	г/л		
1.	3.05	0.018	2.93	0.005	170	72.2
2.	3.3	0.013	2.75	0.002	350	84.6

По мнению авторов [14, 19, 72], имеется возможность извлекать концентраты урана из рассолов с содержаниями хлор-ионов при параллельном получении из этих рассолов слабоконцентророванной соляной кислоты (10-12 процентной).

По полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка технологической блок-схемы для извлечения урановых соединений из ураносодержащих рассолов озера Сасык-Куль. Разработанная технологическая блок-схема состоит из следующих самостоятельных блоков: выпаривание рассолов, разложение сернокислотным способом, улавливание газообразного хлороводорода, сорбция урана на анионит АМ(п), десорбция, осаждение аммиачной водой, фильтрация, получение жёлтого кека и его прокаливание (рисунок 1.9).

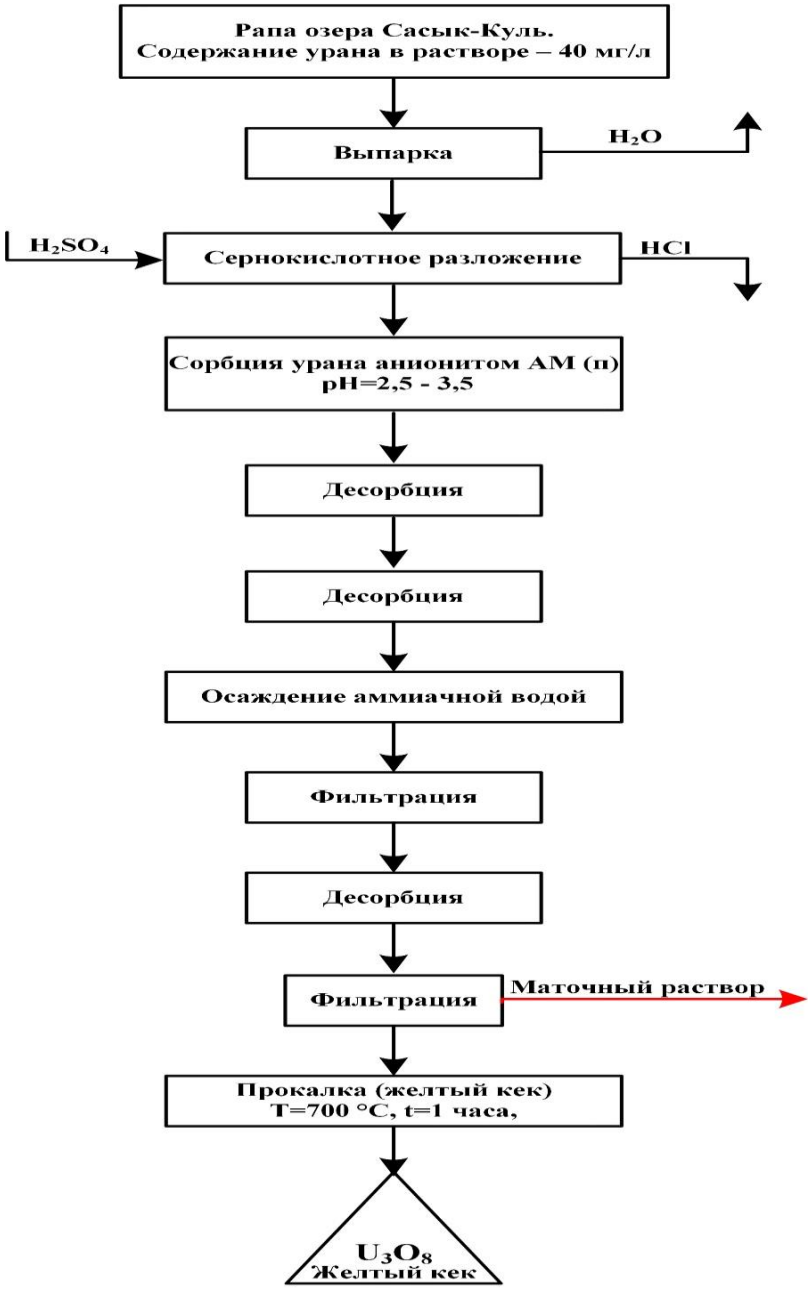

Рисунок 1.9. - Усреднённая схематическая технология для переработки рапы озера Сасык – Куль с целью получения U_3O_8 в качестве конечного продукта

1.4. Радиационно-экологическая ситуация в регионе Центральной Азии

1.4.1. Радиоэкологическая ситуация в Таджикистане

Радиационная безопасность (РБ) является важнейшим условием страны к устойчивому развитию, позволяющим проводить сбалансированное решение задач социально-экономического развития и создания благополучных условий окружающей среды для настоящих и будущих поколений. Исследование процесса формулирования и развития системы РБ в Таджикистане было начато во второй половине XX века в связи с переработкой урановых руд на севере страны. В связи с этим в 2003 году было организовано Агентство по ядерной и радиационной безопасности АН РТ, переименованное 05.11.2021 года в Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ, которое в качестве регулирующего органа расширило свою деятельность по РБ [73-77].

Развитие урановой горнорудной промышленности в Таджикистане в 40-50 годы прошлого века породило многие проблемы. Привело к возникновению социально-экономических проблем, в результате которых нанесён ущерб окружающей среде. Согласно данным [78-80], общие объёмы урана, произведённого на уранодобывающих предприятиях Таджикистана, достигали 100 тыс. т. Соответственно, на территории севера Таджикистана за период 1945-1991 гг. сформировались значительные объёмы урановых отходов, образовавшихся в процессе деятельности урановых производств, количество этих отходов суммарно равно около 55 млн. т. Из них около 170 млн. тонн складировались в отвалах урановых производств и хвостохранилищах.

Одной из проблем радиационной безопасности Таджикистана является использование источников ионизирующего излучения (ИИИ) в различных сферах народного хозяйства. Для решения этих проблем необходимо было создание в стране регулирующего органа. Первым шагом было решение вопроса о вступлении Республики Таджикистан в члены МАГАТЭ. Правительство Республики Та-

джикистан приняло Постановление № 338 от 04.08.1999 г. «Об образовании Комиссии по взаимодействию с МАГАТЭ». Комиссии было поручено подготовить обоснованные предложения по взаимодействию с МАГАТЭ и с 01 ноября 2001 года Таджикистан стал членом этой организации. Возникла необходимость создания структуры в области радиационной безопасности, что повлекло за собой создание на базе Академии наук республики Агентства по ядерной и радиационной безопасности в 2003 г.

В научной литературе [81-95] имеется много источников о радиационной ситуации в различных регионах СНГ.

Как известно, Советский Союз имел большой потенциал использования ядерной энергии, было развито применение атомной энергии в мирных целях и, соответственно, изучались социально-экологические аспекты радиационных последствий [96-105].

В связи с аварией, произошедшей на Чернобыльской атомной станции, Кыштымской аварией на ПО "Маяк", вызвавшей радиационную чрезвычайную ситуацию техногенного характера, некоторых других чрезвычайных ситуациях, произошедших в на территории Российской Федерации, в научных публикациях [106-122] радиационные ситуации исследованы с различных точек зрения.

В работах [119-122] обозначены радиоэкологические последствия, которые произошли и продолжают происходить после радиационной аварии на Чернобыльской атомной станции. Исследованы особенности формирования радиоактивного загрязнения территории, динамика изменения радиационной ситуации. Рассмотрены особенности загрязнения почвенно-растительного покрова надземных экосистем, действия аварийных выбросов на биоту, миграция радионуклидов в иных биогеоценозах и другие.

1.4.2. Радиоэкологическая ситуация на урановых объектах Таджикистана

Проведение работ в Таджикистане и последующие анализы данных позволили судить о радиационной, экологических ситуациях и прогнозировать радиоэкологическую обстановку в стране [14, 19 123-131].

Сотрудники Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана исследовали состояние радиационной обстановки окружающей среды севера Таджикистана и изучали миграцию радионуклидов в грунтах, атмосфере, водах, донных отложениях, в системе почва-растения на прилегающих к хвостохранилищам территориях [132-138].

В течение второй половины 20 в. в среднеазиатских республиках в основном была сосредоточена основная сырьевая база по добыче и переработке уранносодержащих руд бывшего Советского Союза, такая тенденция явилась причиной того, что в этих странах появились экологические проблемы, до сих пор многие из которых не нашли решения. Для обоснования направлений решения проблем, вызванных наследием уранодобычи и ураноперерабо тки в странах Центральноазиатского региона, демонтажем ещё функционирующих производств урана, было необходимо учитывать исторические особенности, согласно которым в каждой из стран региона были сформированы производства урана, принимать во внимание условия, которые оказались сформированными в странах бывшего СССР, начиная с того периода, когда эти страны приобрели государственную независимость, то есть, начиная с 1991 года [139].

Производство урана в бывшем Советском Союзе находилось под контролем централизованного государственного управления. Каждый информационный поток, касающийся добычи/переработки урана, имел строгий контроль по вертикали, который находился в ведении соответствующих структур Министерства среднего машиностроения СССР. Каждое предприятие по добыче/переработке урана являлось режимным, архивная информация о технологиях добычи/переработки не хранилась на уровне добывающих или перерабатывающих производств, не осуществлялся горизонтальный обмен данными между различными добывающими/перерабатывающими предприятиями.

После распада СССР каждая из республик бывшего Союза оказалась обособленной от других государственными границами, информация о добыче/переработке урана оказалась недоступной в странах Центральноазиатского

региона, и все данные, документация, касающиеся прошлых урановых производств, оказались на хранении в архивах преемника бывшего Министерства среднего машиностроения в Российской Федерации [139].

В 1970-1980-е годы на долю Среднеазиатских республик приходилось более 30 процентов урана, добываемого в Советском Союзе. Разработка технологических линий добычи/переработки ураносодержащих руд осуществлялась Министерством среднего машиностроения СССР, в составе которого находилось соответствующие специализированные проектные и научно-исследовательские организации. Поэтому особенности наследия урановых производств в странах Центральноазиатского региона – Узбекистане, Кыргызстане, Казахстане и Таджикистане идентичны, кроме того, идентичными являются и урановые наследия Восточноевропейских стран, Украины и Российской Федерации [139].

Урановая промышленность в Советском Союзе полностью контролировалась со стороны Министерства среднего машиностроения, при этом регулирующий орган подчинялся указанному министерству, входил в его состав, то есть не являлся самостоятельным подразделением. Для контроля воздействия ионизирующего излучения, радиоактивного загрязнения на объектах добычи и переработки урановой руды применялись одинаковые для всей отрасли нормативные регуляторные стандарты (нормы безопасности), что в значительной степени облегчало их администрирование. Стандарты радиационной защиты и безопасности были аналогичны стандартами, действовавшими в Европе и США в 1960-1970-х годах. Однако, поскольку Министерство среднего машиностроения СССР преследовало двойные цели, задачам повышения производительности горных работ зачастую уделялось гораздо больше внимания, чем вопросам экологии, охраны труда и техники безопасности. Показатели эффективности производства добычи урана активно поддерживались премиальными системами, а вопросам охраны труда, экологической безопасности отводилось второстепенное внимание, а достижения и улучшения в этой области не поощрялись, даже не учитывались. Как указывают авторы [140], не было необходимости оценивать основные

характеристики исходного состояния окружающей среды при введении в эксплуатацию новых предприятий по добыче/переработке ураносодержащих руд, соответственно, в настоящее время отсутствуют данные, позволяющие сравнивать состояние наследия на современном этапе с состоянием в местах функционирования бывших урановых производств. В бывших республиках СССР - Узбекистане, Кыргызстане, Казахстане и Таджикистане было открыто и разрабатывалось большое количество урановых рудников и урановых месторождений. Однако период 1961-1995 гг. характеризуется прекращением добычи урана на многих рудодобывающих производствах, но меры по их восстановлению были приняты лишь на небольшом количестве предприятий, которые в основном были расположены в районах со значительной густонаселённостью. В частности, в Республике Таджикистан отвалы переработки урановой руды в городе Гафуров, располагающиеся в густонаселённом районе города Чкаловск (в настоящее время переименован в город Бустон) были засыпаны устойчивыми трёхметровыми грунтовыми покрытиями, эти меры значительно снижают радиационные нагрузки отвалов – снижается эксхаляция радона и дозы γ-излучения на их поверхности. Но тем не менее ураносодержащие отвалы представляют значительные риски, поскольку их расположение близко от жилого многоквартирного сектора, который отделяется от радиоактивных отвалов расстоянием всего около 40-50 метров. Что касается радиоактивного Дигмайского хвостохранилища, то его поверхность не защищена нейтральными грунтами, а само хвостохранилище располагается на расстоянии 2 км от ближайших населённых пунктов [141].

Отметим, что для всех хвостохранилищ необходимы реабилитационные мероприятия, если таковые и проводились, то на отдельных локальных участках или не проводились совсем, так как отсутствуют материальная, техническая, методическая и методологическая, нормаьивно-правовая базы, в функционал которых входит восстановление радиационной безопасности. Аналогичные ситуации отмечались во всех четырёх Центральноазиатских странах. Однако дальнейшая судьбы бывших урановых промышленных объектов в этих странах значительно изменилась, изменения начали происходить, начиная с 1995 года. В

частности, Казахстан и Узбекистан продолжает развивать урановые производства и в настоящее время, однако Кыргызстан и Таджикистан практически прекратили добычу и переработку урановых руд. Кроме того, Казахстан стал ведущей страной-производителем урана в мировом масштабе. Для Казахстана увеличение уранодобычи сопровождалось значительными объёмами рекультивационных работ, проводимых преимущественно на севере страны. Большая часть работ включала стабилизацию покрытий отвалов шахт, закрытие шахт и рекультивацию площадей добычи, но в качестве первоочередных задач перед Казахстаном стоят задачи по проведению реабилитационных мероприятий на хвостохранилищах и основных площадях горноперерабатывающих предприятий по переработке ураносодержащих руд [142].

Казахстан и Узбекистан в настоящее время для добычи урана используют в качестве основного метода - метод подземного выщелачивания, поэтому количество образующихся отходов очень невелико по сравнению с теми временами, когда добыча велась рудным способом. Действующие в настоящее время уранодобывающие производства вопросы экологии и охраны природной среды ставят достаточно высоко, в основном берут на себя определенные обязательства по экологическому мониторингу и мониторингу состояния старых урановых площадок с целью обоснования и планирования природоохранных и реабилитационных мероприятий, способствующие решению проблем уранового наследия. Для большинства стран центральноазиатского региона проблемами для проведения реабилитационных мероприятий является недостаточность финансовых возможностей, которые могли бы решить эти проблемы [143].

1.4.3. Трансграничные проблемы региона, связанные с проблемами бывших урановых объектов

Для Центральноазиатского региона остро стоят проблемы, связанные с трансграничными переносами радиоактивных загрязнений. В рамках данной работы необходимо учитывать близость расположения площадок уранового наследия к государственным границам соседних стран, имеющиеся факторы или

условия, позволяющих решать те или иные вопросы контроля над этими площадками, которые являются трансграничными площадками. Учитывая большое число факторов, среди которых можно выделить основными – засушливый континентальный климат, ограниченность техногенных и воздушных потоков, расположение объектов наследия внутри стран, пространственную протяженность территорий, проблемы переноса водными потоками загрязненных веществ становятся актуальными в условиях трансграничных проблем площадок уранового наследия. Для трансграничного сотрудничества в регионе специфическим объектом можно назвать такую проблему, как исследование состояния и источников потенциальных загрязнений реки Сырдарья, формирующихся под воздействием хвостохранилищ и бывших отвалов урановых производств. Истоки реки Сырдарья находятся в горных местностях Кыргызстана, затем река протекает по территории всей Ферганской долины и фактически образует дренаж крупных водоразделов с территорий, где находится значительное количество предприятий по добыче урана (рисунок 1.10).

Рисунок 1.10. - Сеть пунктов наблюдений на реках в странах Центральной Азии

Соответственно, возникает проблема формирования качественных речных вод реки Сырдарья, качество которых является важным для всех стран и всего населения, проживающего на территории Ферганской долины. Следовательно,

комплексный мониторинг загрязнения вод реки радионуклидами и химическими элементами, связанными с расположением бывших уран добывающих предприятий и хвостохранилищ в бассейне, является актуальной проблемой международного значения. Качество воды реки Сырдарья должно быть в сфере внимания мониторинговых программ региона, где обязательным компонентом должны стать наблюдения изменениями химического и радиоактивного составов воды – необходимо проводить мониторинг уран-ториевых радионуклидов в воде, включая изотопы урана, отдельных характерных микроэлементов, например мышьяка и др., содержания карбонатов, нитратов, сульфатов, общей минерализации и др.

Такие наблюдения на реке Сырдарья важно расширять, поскольку вода реки также интенсивно используется для целей орошения. Этот факт делает актуальным изучение возможных экологических рисков для населения, которые формируются по водному пути, расширяя влияние мест локализации отходов в хвостохранилищах на соседние страны, в первую очередь на Узбекистан.

На территории Согдийской области Республики Таджикистан расположено одно из крупнейших в регионе водохранилищ – Кайраккумское. В водохранилище поступают воды р. Сырдарья после дренирования территории Кыргызской Республики и Узбекистана, где также расположены ряд объектов бывшей урандобывающей и горноперерабатывающей промышленности. Регулярные наблюдения на водохранилище и пограничных створах течения реки позволят снять социальное напряжение в данном регионе и сделать открытой информацию о состоянии природной среды. Поскольку большая часть токсических элементов, в том числе природных радионуклидов в повышенных концентрациях переносится рекой в сорбированном виде на частичках глинистых минералов, они осаждаются в Кайраккумском водохранилище. По данным анализа вертикальной структуры загрязнения донных отложений можно реконструировать хронологию поступления урана и радия в водохранилище с территорий стран, расположенных выше по течению реки (р. Майлуу-Суу в Кыргызстане). Вклад техногенных источников загрязнения и природных уровней загрязнения можно проследить по результатам анализа изотопных соотношений урана (^{234}U и ^{238}U),

а также между изотопами ^{226}Ra, ^{228}U, ^{210}Pb.

Поскольку места добычи и переработки урана размещены на водосборах двух главных рек региона, загрязнения от такого наследия имеют тенденцию к широкому распространению. Это подчеркивает необходимость усовершенствования мониторинга в регионе в соответствии с целями МАГАТЭ по развитию региональной программы мониторинга. В этой связи оценки характеристик трансграничного переноса радионуклидов уран-ториевого ряда и других токсических элементов со стоком рек становятся особо актуальными для рек Сырдарья и Амударья [8].

1.4.4. Радиационная обстановка территорий стран Центральной Азии

В экономике Таджикистана особое место занимает горнодобывающая промышленность, являясь одной из основных фундаментальных направлений экономики республики. Её развитие в конце прошлого столетия привело к тому, что на площадках бывшего уранового наследия сформированы значительные количества отходов, главным образом от деятельности заводов по переработке урана, в этих отходах содержатся радионуклиды в высоких концентрациях (преимущественно уран-ториевой группы) и другие вредные вещества. Площадки наследия часто территориально расположены в районах проживания населения, или в верхних течениях и истоках основных рек региона – Сырдарья и Амударья [9].

Общие объёмы ураносодержащих отходов, складированных в хвостохранилищах бывших производств урана, на территории Таджикистана, по оценкам экспертов оцениваются, как примерно 55.0 миллионов тонн. Общая активность этих отходов, по разным оценкам, оценивается в 240-285 ТБк (таблица 1.4) [139].

Таблица 1.4. – Характеристики хвостохранилищ радиоактивных отходов на территории северного Таджикистана

Название	Местоположение	Период работы	Площадь, га	Объём отходов, млн. тонн	Количество отходов, млн. тонн	Толщина грунтового покрытия	Суммарная активность, ТБк	МЭД на поверхности почвы, мкЗв/ч
Гафуровское	Г. Гафуров, 0.5 км	1942-1955 гг.	5.0	240	0.4	2.4-2.5	6.9	0.15-0.20
Адрасман	Пос. Адрасман, 1.0 км	1941-1957 гг.	2.5	240	0.4	0.5-0.7	5.3	0.4-1.3
Дигмай	Пос. Гозиён	1963-1991 гг.	90	19400	33.9	Нет	6.9	5.0-15.0
Фабрика бедных руд (ФБР)	Г. Истиклол, 4.0 км	1950-1965 гг.	7.9	1128	2.0	Нет	9,4	0.4-1.3
Рудник № 3	Г. Худжанд, 2.0 км	1976-1985 гг.	5.9	207	0.4	0.5-0.7	0.4	0.3-0.6
Карта 1-9	Г. Бустон, 2.0 км	1945-1960 гг.	18	2600	4.0	0.5-0.7	28.8	0.4-2.8
Хвостохранилища I-II очереди	Г. Истиклол, 2.0 км	1945-1959 гг.	24.7	1680	2.8	0.7-1.0	8.1	0.4-1.0
Хвостохранилище III очереди	Г. Истиклол, 0.5 км	1947-1963 гг.	11.1	1802	3.0	0.7-1.0	8.6	0.4-0.6
Хвостохранилище IV очереди	Г. Истиклол, 1.0 км	1949-1965 гг.	18.7	4131	7.0	0.7-1.0	18.9	0.4-0.6
Хвостохранилище цеха № 3	Г. Истиклол, 1949-1965 гг.	1949-1965 гг.	2.9	676	1.2	0.7-1.0	0.6	0.5-0.6

Хвостохранилища и ураносодержащие отвалы во многих территориях страны, в частности, Дигмаское хвостохранилище, хвостохранилища гг. Адрасман, Табошар, не покрыты защитными покрытиями, их поверхности в любое время года подвергаются эрозионным процессам, разрушению со стороны роющих животных, которые роют норы, нарушая тем самым целостность поверхностей. Большая часть этих территорий подвергается воздействию пыли, поднимаемой ветрами.

Имеющиеся на отдельных хвостохранилищах защитные покрытия не в состоянии полноценно выполнять свои функции, сквозь них в глубь тел хвостохранилищ легко приникают дождевые воды, материалы отвалов и хвостохранилищ могут уноситься селями и разноситься ветрами, что вызывает высокие загрязнения в дренажных водах, соответственно, далее поступающих в подземные и поверхностные водотоки, которые далее вливаются в большие водные объекты. Некоторые оценки современного состояния бывших урановых объектов в Таджикистане представлены ниже.

Хвостохранилище Гафуровское – его эксплуатация начата в 1942 г., в него складировались отходы опытного завода по добычи радия, находящегося на балансе Министерства цветной металлургии Советского Союза. Работа опытного завода в основном осуществлялась на привозном сырье, добываемом старателями в горных районах Майлису (Киргизская ССР) и Табошара (Таджикская ССР).

Технология переработки данного сырья заключалась применении метода сухого измельчения и содового выщелачивания богатых ураносодержащих карбонатных руд с получением из них урана. В 1945 г. был организован и вступил в эксплуатацию специализированный завод по переработке урана, поэтому на Гафуровском опытном заводе увеличились объёмы переработки сырья, этот завод функционировал до 1955 г.

Соответственно, вблизи с заводом было образовано Гафуровское хвостохранилище, в которое было складировано около 400 тысяч тонн ураносодержащих отходов. В 1945-1955 гг. вокруг хвостохранилища население стало строить жилые дома, были построены государственные учреждения [13, 14, 78-80, 140].

В 1958 году деятельность завода была остановлена. В 1963-1964 годах завод был взорван и захоронен в теле хвостохранилища. При рекультивации Гафуровского хвостохранилища мощность суммарного слоя нейтральных грунтов составляла до 2.5 метров. Площадь хвостохранилища – примерно 5.0 гектаров, высота отходов – около 13 метров. В основном на данном хвостохранилище хранятся радиоактивные отходы с содержаниями таких радионуклидов, как уран-238, торий-232, радий-226. На хвостохранилище суммарная активность оценивается, как 6,9 ТБк. Мощности экспозиционных доз на теле хвостохранилища находятся в пределах от 0.15 до 0.20 мкЗв/ч.

Хвостохранилище Адрасманское. Представляет собой 6 хвостохранилищ, образованных в 1941-1957 годы во время функционирования гидрометаллургического предприятия по переработке урана. Расположено на территории пос. Адрасман. В 1955 году предприятие испытывало недостаточность исходного сырья и было перепрофилировано, на нём с 955 года начали получать свинцовые концентраты из свинцово-цинковых руд. Строительство гидрометаллургического завода осуществлено на самой высокой точке посёлка Адрасман, с целью того, чтобы хвостовой материал мог спускаться в хвостохранилище по деревянным желобам самотёком. Горный сай, расположенный ниже ГМЗ, использовался в качестве пруда-отстойника на хвостохранилище, на территории сая была построжена пионерская дамба, через которую просачивались хвосты. Так, в посёлке Адрасман произошло образование шести урановых хвостохранилищ, каждое из которых содержало примерно 60000-100000 тонн ураносодержащих отходов [78-80].

Второе хвостохранилище находилось в сае с объёмом 100 тыс. тонн. В нём можно было складировать примерно 300 тысяч тонн ураносодержащих отходов. Исходя из этого было принято решение о переносе оставшихся хвостохранилищ

(1, 3, 4, 5, 6), расположенных в радиусе 10 км, в хвостохранилище 2. Сложность заключалась в том, что на хвостохранилище 5 в основном складировались загрязнённые радионуклидами металлические металлоконструкции и металлические ёмкости. В связи с чем было принято решение захоронить металлоконструкции хвостохранилища 5 первоочерёдно под хвостохранилищем 2 на глубине 14-15 метров. Однако в горном массиве хвостохранилища 2 отсутствовали глинистые материалы, применяемые для рекультивации, поэтому тело хвостохранилища 2 было покрыто защитным слоем 0.5-0.7 м, в составе которого в основном находились забалансовые руды функционирующей в то время обогатительной фабрики по производству свинцово-цинковых концентратов. Площадь 2,5 га, количество отходов 400 тыс. тонн. МЭД на поверхности хвостохранилища составляет 0,4-0,6 мкЗв/час [78-80, 141].

Хвостохранилище Чкаловское. В г. Чкаловск (в настоящее время переименован в г. Бустон), являющимся пригородом города Худжанд - центра Согдийской области Таджикистана имеются горнодобывающие предприятий, ранее добывающие и перерабатывающие ураносодержащие руды, одним из таких предприятий являлся ГП "Востокредмет", который в настоящее время переименован в ГУП "Таджикредмет". В советское время на это предприятие урановая руда привозилась из среднеазиатских республик – Киргизии, Узбекистана, Казахстана. Нужно отметить, что из Казахстана в последние годы работы данного предприятия привозилось исходное сырьё, полученное подземным или кучным выщелачиванием, как кислотный экстракт с концентрацией около 200 г/л. На ГП "Востокредмет" происходила переработка концентратов до товарного продукта - оксида урана(VI)-диурана(V), которые далее снова отправлялись в Казахстан.

После кислотного извлечения урана получали измельченную рудную массу, которая являлась производственными остатками после нейтрализации, это были песчаные крупнозернистые фракции или пастообразные фракции, которые были складированы в специально спроектированных участках или в понижениях рельефа. Ураносодержащие остатки перекачивались в хранилища с использованием пульпопровода. На территориях, расположенных поблизости от

города Бустон, расположены три площадки складирования хвостов, являющихся достаточно крупными хвостохранилищами – это Дигмай, Гафурова, "Карта 1-9". Хвостохранилище "Карта 1-9" рас полагается ближе всего к гидрометаллургическому заводу. В г. Чкаловск в 1945 году начал функционировать Чкаловский гидрометаллургический завод, на нём сухим методом начали перерабатывать богатые ураносодержащие карбонатные руды. После фильтрации хвостовые остатки перевозились на автомашине на хвостохранилище, которое располагалось рядом с Чкаловским ГМЗ. В 1947 г. этот ГМЗ был реконструирован, расширен и стал использовать технологию кислотного выщелачивания, чтобы повысить извлечения урана. С этой целью за пределами территории ГМЗ было сформировано хвостохранилище, получившее название "карточный намыв". Период эксплуатации Чкаловского хвостохранилища составил 15 лет, в течение которых ураносодержащие отходы складировались на площади 18 га, включающей 9 карт, в которых было накоплено 4.0 миллионов тонн отходов. По мере заполнения хвостохранилищ они покрывались защитным грунтовым слоем 0.5-0.7 метров. Общая активность ураносодержащих отходов, хранящихся в Чкаловском хвостохранилище, оценивается в 29.0 ТБк. На поверхности хвостохранилища мощности экспозиционной дозы не высокие, близки к естественному фону, составляя 0.2-0.6 мкЗв/час. Эксхаляция радона в точках максимального выделения радона определена в 1.0 Бк/(м^2·сек) [78-80, 142].

Хвостохранилище Дигмайское. В начале 1960 гг. Чкаловский гидрометаллургический завод вышел на свои максимальные мощности по переработке ураносодержащих руд. Однако площади хвостохранилища "Карта 1-9" были недостаточно большие и полностью заполнены отходами, поэтому возникла необходимость строительства нового хвостохранилища на новой территории и большими объёмами, по сравнению с хвостохранилищем "Карта 1-9" новое хранилище требовало больших объёмов и площадей, в десятки раз превышающих имеющееся хвостохранилище. Территорию под новое хранилище выделили на высокогорье Дигмай, где расстояние до завода составило всего 6 километров,

здесь находился естественный сай который перекрыли пионерской дамбой [78-80, 143].

Дигмайское хвостохранилище было сдано в эксплуатацию в 1963 году, на котором при помощи трёх ступеней подъёма насосных станций для гидроудалённых хвостов, пульпы поднимались до высот 50-60 метров – самых высоких точек Дигмайского высокогорья. На дамбе хранилища была установлена система дренажей, по которой дренажные воды отводились, регулировались и контролировались, также дренажами поддерживалась правильная регулировка кривых спада для безопасного и устойчивого функционирования наземной дамбы. Параллельно пульпопроводов построена автомобильная дорога, для инспектирования, оперативного контроля утечек трубопроводов. Но всегда работал только один пульпопровод, три остальных являлись резервными. Состояние пульпопроводов, как действующего, так и резервных, осуществлялось круглосуточно. В обязанности дежурного насосчика входило осматривать участки от первой насосной станции до самой высокой точки, осмотр проводился на автомобиле и осуществлялся каждые два часа. В случае протечки из-за сноса работающего пульпопровода в обязанности дежурного насосчика входило отключить аварийный пульпопровод и переключиться на резервный. В 1987 году в связи с увеличением объёмов переработки руды высота дамбы была поднята до 35 метров, поэтому со стороны, противоположной основной плотине, была построена новая система дренажей и заграждающая дамба, что позволило увеличить объёмы хвостохранилища для дополнительных 30 миллионов тонн отходов. По периметру хвостохранилища был построен бетонный забор, однако которым было огорожено только 50% периметра. Однако эти дополнительные объёмы захоронения хвостов не были использованы до сих пор, поскольку в 1990 году переработка ураносодержащих руд практически была прекращена [124].

Хвостохранилище простирается на 90 га и содержит около 34 млн. тонн хвостов, общая активность отходов в хвостохранилище составляет порядка 156,06 ТБк. Слои с максимальной толщиной размещённых хвостов находятся примерно в 40 м позади главной плотины хвостохранилища. Около 500 тыс. тонн

не переработанной бедной урановой руды были также сброшены в хвостохранилище, вместе с технологической жидкостью, которая содержит ионы сульфата с концентрациями 0.5-20.0 г/л, что, безусловно, вносит значительный вклад в содержание растворимого урана и радия в хвостохранилище. МЭД гамма-излучения на открытой поверхности хвостохранилища варьируются от 5 до 15 мкЗв/час. Усреднённые величины плотностей потоков радона (ППР) оценены в пределах 10-65 Бк/(м^2·сек), годовые поступления радона из тела хвостохранилища в атмосферу достигают 30.0 ТБк и выше. С 1963 года хвостохранилище было заполнено примерно на 82-90% от своей мощности. Хвостохранилище до сих пор не было выведено из эксплуатации [13, 14, 78-80].

Урановые хвостохранилища г. Истиклол. На территории бывшей промплощадки горнодобывающего предприятия близ г. Истиклол сосредоточены радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате деятельности предприятия: здесь находятся руины зданий, хранилища отвалов, отвалы ФБР и кучного выщелачивания, отвалы горных пород и др., отвалы кучного выщелачивания и фабрики бедных руд (ФБР), хвостохранилища, развалины зданий. Соответственно, в Истиклоле отвалы забалансовых руд хвостохранилища хранятся на общей площади, равной 63 гектара.

По течению ручья в 3 км выше центра г. Истиклол находится хвостохранилище цеха № 3 гидрометаллургического завода, в нём складировано примерно 1,2 миллионов тонн хвостового материала. На отвалах хвостохранилища значения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения оцениваются в 0.4-0.7 мкЗв/ч, но в точках локализации отвалов забалансовых руд повышаются на порядок, составляя от 1 до 3 мкЗв/ч. Среднегодовые выбросы радона с поверхности этого хвостохранилища оценены, как 0.39 ТБк/год [78-80, 144].

Отвалы и дренажи шахтных вод в окрестностях г. Худжанд. Поисково-разведывательная и геолого-съемочная деятельность на данных территориях была начата в начале 1940-х годов и за этот период накоплены значительные объёмы данных по содержанию радиоактивных элементов, в частности, урана, находящихся в подземных трещинных водах хребта Могол-Тау, особенно на его

южных склонах, обращённых к г. Худжанд и реке Сырдарья, являющихся значительными [78-80].

Содержания урана, находящегося в трещинных водах горного массива, в составе месторождения, в родниках, горных выработках, геологоразведочных скважинах равно 4.0-18.0 мг/л, повышаясь непосредственно залежах руд до 70-80 мг/л и выше [78-80, 145].

В 1973-1978 годах месторождение Киик-Тал эксплуатировалось методом подземного выщелачивания. За этот период количество закаченных растворов составило примерно 8.6 миллионов кубометров, в которых содержания H_2SO_4 составляли в среднем 4.6 г/л. В течение указанного периода на сорбционной установке обрабатывались обогащенные шахтные воды, в которых содержания урана составляли в среднем 33 мг/л и продуктивные растворы – примерно 11,6 миллионов кубометров. После остановки данного производства все виды оборудования, на которых осуществлялись десорбция и экстракционное извлечение урана, были полностью демонтированы, за исключением одного узла сорбционной установки, поскольку продолжалась подача растворов с содержания ми урана. В течение этого периода уран-насыщенный ионит периодически сливался из колонны, заменялся частью ненасыщенного ионита, а насыщенный ионит направлялся на ГМЗ, где из него извлекался уран. Из штольни постоянно отмечалась утечка шахтной воды, в которой находились повышенные концентрации радиоактивных нуклидов уран-ториевой группы. Шахтные воды непосредственно очищались в специальном седиментационном отстойнике, в конце 1990 гг. очищение также осуществляли с помощью ионообменных колонн.

На бывшем Руднике № 3 отвалы бывших шахт расположены в 4-5 километрах от жилых районов города Худжанда, который непосредственно расположен на предгорных склонах Могол-Тау. Эксплуатация шахт осуществлялась начиная с 1976 года и была окончательно закончена в 1985 году. Отвалы здесь занимают площадь примерно 6.0 гектаров. Отвалы засыпаны защитным грунтовым покрытием высотой 0.5-0.7 метров. МЭД на поверхности защитных покрытий 0.3-0.6 мкЗв/ч [78-80, 145].

1.4.5. Проблемы радона и экологии

В проблеме радона остаётся много нерешённых вопросов. С одной стороны, они имеют чисто научный интерес, а с другой без их решения сложно проводить какую-либо практическую работу [146-161].

В [162-174] авторы делятся результатами исследований помещений и зданий на содержание в них радона. В настоящей диссертации данная проблематика обсуждается в 5 главе, в которой автором приводятся собственные результаты по изучению радоновой проблемы, как в практическом, так и в теоретическом плане.

Уровни радона исследованы в жилых зданиях и помещениях города Истиклол, и в [165] автором приводится объективный анализ этих исследований и приводится оценка уровней радона. Также были проведены исследования жилых помещений г. Истиклол и хвостохранилищ, в которых был осуществлён мониторинг объёмных активностей радона (ОА радона) в воздухе помещений и атмосферном воздухе над хвостохранилищами, результаты мониторинга показали низкие, не превышающие фоновые значения определяемых величин (ОА радона). Эксхаляция радона с поверхностей хвостохранилищ, в которых хранятся отвалы урановых производств, является основной причиной выделения радона, эксхаляция радона с поверхностей хвостохранилищ достаточно высока сравнительно норм безопасности по радону (норма составляет 1.0 Бк/м^2·с), данный факт связан с тем, что поверхности хвостохранилищ не имеют качественных защитных грунтовых покрытий.

Как указали в своих трудах авторы [162, 174], после проведения радонового мониторинга определены локальные точки, в которых значения ЭРОА радона максимальные - это здания государственного образовательного профтехучилища с ЭРОА радона 259 Бк/м^3 и территории общеобразовательных школ № 4 и 6 г. Истиклол, с величиной ЭРОА радона, равной 52 Бк/м^3.

В производственных зданиях бывшего гидрометаллургического завода также выявлены высокие уровни ЭРОА радона (Rn-222). Параллельно с данными исследования пробы хвостового материала отбирались из смывов отвалов

и непосредственно из хвостохранилища ФБР (всего 3 пробы), отбирались пробы хвостового материала с целью определения в них содержания естественных радиоактивных нуклидов, определение которых проводили α- и γ- спектрометрическими методами.

По мнению авторов работ [164, 167, 174], выполненные исследования в рамках проблем радона и экологических проблем подтверждают, что приоритетными должны быть вопросы, касающиеся контроля воздействия хранения уранносодержащих отвалов бывших производств урана и хвостохранилищ отходов урана на людей и природную среду. Снизить негативное влияние отходов бывших урановых производств и хвостохранилищ на природную среду (включая воздух, воды, почву, продукты питания и др.) и здоровье людей возможно после разработки и внедрения стратегических планов мероприятий, в которых в обязательном порядке будут учитываться предполагаемые действия, мероприятия и их последовательность.

Имеются литературные источники [163, 170, 172], посвящённые изучению ОА радона в питьевых водах и разработке методов очистки этих вод от радиоактивных загрязнений. Проблема радона остро стоит перед исследователями в местах дислокации хвостохранилищ и в этом контексте также важным является исследование дозовых нагрузок, которые получает или может получить население при контактировании с водой, содержащей высокие концентрации самого радона, а также дочерних продуктов распада радона (ДПР) [175-179]. Авторами сделано заключение о том, что при приближении водного источника к хвостохранилищу ОА радона соответственно увеличивается (на примере скважины 1 и родника 3). Данная закономерность объясняется просачиванием подземных вод из тела хвостохранилища, что также влечёт увеличение ОА радона в локальных участках.

На территории Истиклола исследовались величины МЭД γ-излучения, которые определялись как на теле хвостохранилища, так и вне зоны его непосредственного влияния, сравнительный анализ показал, что на самом хвостохранилище дозы МЭД γ-излучения являются выше, чем вне зоны него воздействия,

где эти показатели равны 0.14-0,16 мкЗв/ч. Значения МЭД γ-излучения в зданиях и помещениях определялись выше естественного фона, превышая его в среднем на 0.05 мкЗв/час.

Территория хвостохранилища подвергается сильным ветрам и, соответственно, территория хвостохранилища достаточно вентилируется со сменой воздушных масс, величины объёмной активности радона здесь не превышают нормы, определяемые для радиационной безопасности и радиационной защиты. Но отмечаются несколько повышенные величины ППР, сверх установленных нормативов по этому показателю (норма ППР 1.0 Бк/($м^2$с)).

Авторы [175-180] представляют результаты анализа, который был проведён для оценки воздействия радона на население отдельных регионов Российской Федерации, описывают практику регулирования облучения, практические подходы оценки воздействия. В [178] рассматривается, как изменялись подходы МКРЗ относительно регулирования защиты населения от радоновых опасностей, в [179] на основании публикаций МКРЗ рассматривались ситуации и риски возникновения рака лёгких от радона и продуктов его распада, когда они попадают в организм человека через дыхательные пути, авторами [180] исследованы актуальные проблемы, связанные с радоном и его влиянием на организм человека.

В ряде научных работ [175-180] обсуждаются ситуации, которые могут приводить к накоплению содержаний радона, опасных для здоровья человека. Рассматриваются возможности, мероприятия и меры, которые могут снижать радоновую опасность, включая ряд эффективных практических рекомендаций

В литературе приводится большой объём публикаций, касающихся проблем радона и его негативного влияния на человека, в частности, в [181-185] авторами подробно исследованы содержания радона в помещениях различных зданий, определены методы снижения радоновых нагрузок, где рассматривается радиационный фон помещений, методы измерения, защита от радона и т.д.

В работах [187, 188] описаны воздействия ионизирующих излучений, действия радиации на живой организм, в том числе действие радиации на организм человека.

Атмосферный воздух служит непосредственным источником поступления радона внутрь помещений. Перемешивание воздушных масс (воздухообмен) может происходить по многим причинам, это естественная вентиляция через открытыеокна-двери, принудительное вентилирование и фильтрование воздушных масс в помещениях, неконтролируемые утечки воздуха через перекрытия зданий. Низкая герметичность зданий является причиной поступления радона из наружной воздушной среды в помещения, которая может с течением времени увеличиваться и может достигать высоких показателей. Скорость поступления радона за счёт фильтрации наружного воздуха пропорциональна кратности воздухообмена [185, 186].

Как указывается в публикациях [189-191], авторы проводили мониторинг радоновых нагрузок на население, проживающее в Алтайском крае Российской Федерации. В результате данной работы были выявлены закономерности, согласно которых население, проживающее в Алтайском крае, облучается от природных радиационных источников. Осуществлены комплексные радиационно-гигиенические исследования в этом регионе, которыми было охвачено самое большое число различных муниципальных зданий, и по результатам анализа этого исследования были выделены модульные территории. Также проводился анализ индивидуальных годовых доз облучения, получаемых населением, проживающим в Алтайском крае, от природных источников радиации, а также выявлен ряд тенденций облучения населения в зависимости от географического и экологического типов локальных территорий.

В литературных источниках [182, 183] авторы оценили риски, возникающие при воздействии радона на население отдельных областей Российской Федерации, разработав для каждой исследуемой территории радиационно-гигиеническую паспортизацию. В [185] авторами представлена оценка облучения населения от естественных источников ионизирующих излучений (ИИИ) в зданиях, оценка опиралась на данные проекта новых норм безопасности, разработанных МАГАТЭ. В [194] представлена радиологическая оценка отдельных природных ИИИ, включая радоновую оценку, на примере образовательных учреждений и

общественных зданий Новгородской области России.

Отдельные литературные источники [196-200] посвящены вопросам радиологической и гигиенической оценки, которая проводилась для питьевых вод в различных регионах России – исследованиями были охвачены Северо-Западный регион РФ, Ленинградская область, Республика Хакассия и ряд других. В рамках данных исследований осуществлена комплексная радиологическая и гигиеническая оценка источников питьевого и хозяйственного водоснабжения населения территорий, в которой также учитывался вклад в облучение населения растворённого в воде радона. Были определены показатели удельной активности радона, которые варьировали в широких диапазонах в зависимости от региона в пределах 6.0-170.0 Бк/л^3.

Отдельные работы исследователей [201-206] посвящены таким важным направлениям, как вопросы безопасности населения на загрязнённых радиоактивными нуклидами территориях. Данное направление получило своё широкое развитие в Республике Беларусь, Украине, Российской Федерации в связи с аварией на Чернобыльской атомной станции, данные вопросы являются актуальными для Центральноазиатских стран, на территориях которых имеются большие площади хвостохранилищ – уранового наследия.

Самыми высокими дозами облучения населения за счёт всех природных источников ионизирующего излучения являются дозы внутреннего облучения, которые население получает ингаляционными путями внутри зданий и помещений. Важным основанием высоких содержаний радона и его изотопов в воздухе помещений и зданий является проникновение радона из-под земли под зданиями [207-209].

Достаточно исследованы вопросы контроля уровней радона в помещениях и зданиях, разработаны надёжные принципы контроля и снижения уровней радона в помещениях и зданиях [210-215].

В [216-221] проведены радоновые обследования локальных территорий, в частности, городов Среднего Урала России, где определены высокие показатели

ОА радона в помещениях и зданиях, соответствующие высокому классу энергоэффективности.

В [222-231] авторы провели анализ литературы касательно радоновой проблемы и сделали заключение, что реконструкция зданий высоким классом энергоэффективности увеличивает показатели ОА радона в воздухе этих зданий и помещений. Сравнительный анализ накопления радона в зданиях различного класса энергоэффективности ряда городов РФ приведён в работах [232-234].

Выбор строительной площадки, а также используемых строительных материалов особенно важен для оценки риска, связанного с радоном. Во многих странах анализ почвы, её состава, радиологические и экологические измерения проводятся до начала строительства. В литературных источниках приводятся данные, касающиеся оценки населённых пунктов с радоновым риском, и оценивается этот риск показателями ППР, замеры которых производят на поверхности почвенного покрова [235-241].

Отдельные литературные источники [240-242] посвящены измерению ППР локальных территорий с различными видами грунтов, исследованы территории, представленные андезито-базальтовыми порфиритами и кварцитами, скальными и глинистыми известняками, лёссовидными суглинками, белыми глинистыми сланцами, гравийно-песчаными отложениями и другими грунтами. Значения ППР получены при использовании измерительного комплекса Альфарад Плюс с накопительной камерой. Проведены измерения удельной активности ^{226}Ra и влажности грунта. В исследовании показано, что в зависимости от вида грунта количество выделяющегося с его поверхности радона отличается более чем на порядок. Максимальные показатели ППР показали грунты, представленные андезито-базальтовыми порфиритами и кварцитами, в которых ППР составила 800 мБк/(м^2·с), минимальные показатели ППР показали грунты, состоящие из лёссовидных суглинков и глинистых сланцев, в которых показатель ППР был равен около 40 мБк/(м^2·с), для грунтов, представляющих собой мелкие глинистые и песчаные частицы, определена зависимость плотности потока радона от

влажности. Как показали результаты исследований, для грунтов с низкой влажностью (2-6%) отсутствует зависимость между величинами удельной активности радона и концентрациями радона, который эксхалирует из-под поверхности почвы. Соответственно, при строительстве зданий строительные площадки необходимо классифицировать по по степени радоновой опасности, в квалификацию необходимовключать такие показатели, как тип грунтового материала, который является "активной" прослойкой в фундаменте зданий, физические характеристики грунтов и другие показатели. Соответствующая информация должна поступать от организаций, которые проводят изыскательскую и проектную деятельность для объектов застройки.

В [243] исследованы вопросы формирования радоновых полей в геологических структурах с учётом тектонических разрезов, в [244] рассматриваются методы и задачи радиационного контроля, измерений содержаний радона в строительных материалах и при строительстве зданий, работы [245-247] посвящены изучению воздействия радона и радоноопасности для строительства новых зданий.

Авторами [248] проведены инженерно-экологические исследования, включая радоноопасность при строительстве новых зданий, в [249] приведено зонирование территории по степеням радоновой опасности. Особо актуальными являются работы [250, 251], в которых приводятся результаты исследований помещений детских садов и школьных учреждений по их радоноопасности.

Проблема радона всесторонне изучается в рамках Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Радоновая проблема освящается во многих публикациях МКРЗ, в частности, работы [251, 252] показывают развитие подходов и направлений МКРЗ, касающихся регулирования защиты населения от радоновых нагрузок, а также инновационные подходы к разработке методологии по регулированию защиты населения от радоновых нагрузок.

В [253] авторами приводятся результаты изучения радоновой опасности на территории Челябинской области России. Для исследования использованы твердотельные трековые детекторы, позволяющие проводить в воздушной

среде различных помещений и зданий интегральные измерения объёмных активностей. Данные исследования были инициированы и проведены на базе Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, данные были введены в программу "Радон", разработанную в указанной организации.

1.4.6. Проблемы цезия-137

На основании оценки, приведённой в [375-382], по уровням содержания радиоактивных нуклидов в различных объектах окружающей среды, сделано заключение, что данные проблемы являются актуальными для решения задач радиационной экологии, кроме того, важное значение и необходимость дальнейших исследований приобретают вопросы, касающиеся содержания техногенных и природных радионуклидов в различных пробах.

В [379] изучались пробы почвы, отобранные в ущелье р. Варзоб, в частности в ущелье р. Сиама. В пробах присутствуют радиоактивные изотопы цезия-137, имеющие техногенное происхождение, содержание которых оказалось равным около 140 Бк/кг, этот показатель ниже допустимых уровней, но выше в 70 и более раз среднего рассеянного фона (норматив которого установлен как 2.0 Бк/кг).

Также в [379] исследованы дикорастущие съедобные растения, произрастающие в ущелье р. Сиама (ревень и лук Розенталя) на наличие в них техногенного радионуклида цезий-137. Как показали исследования, концентрации цезия-137 в пробах указанных растений в 30 и более раз выше среднего рассеянного фона.

Как известно, грибы и мох являются одними из наиболее активных и представительных образцов окружающей среды, хорошо поглощающих радионуклиды. Однако грибы - растения специфические и растут не на всех территориях, а мох - произрастает практически повсеместно и может являться хорошим индикатором процесса как перемещения естественных радионуклидов на данной

территории, так и индикатором осаждения техногенных радионуклидов, поставляемых в воздушных потоках в виде аэрозолей [382].

Авторамы были проведены исследования [382], в которых отбирались образцы молодых мхов (1-2-летних) и взрослых (4-5-летних) мхов, образцы различных сопутствующих материалов. Все образцы были отобраны в горных ущельях Гиссарского хребта (ущелья рек Ромит, Варзоб (ущелье р. Сиама), Алмасы, Каратаг) на разных высотах – 1000-2550 м над уровнем моря. Каждый образец был упакован, маркирован и направлен в лабораторию, где он подвергался дальнейшей пробоподготовке и далее исследовался спектроскопическим и радиометрическим методами.

Спектрометрические исследования полученных образцов осуществляли с использованием современного полупроводникового γ-детектора из сверхчистого германия производства фирмы "Canberra", модель "CANBERRA-GX1020". Детектор имеет высокое разрешение и широкий диапазон чувствительности в области низких энергий (от 3.0 кэВ и ниже). Спектрометрический путь имеет разрешение 0.9 кэВ (полную ширину на полувысоте FWHM или ПШПВ) для энергетического диапазона от 40 до 120 кэВ и для энергии 1330 кэВ - примерно 2.0 кэВ [40]. На рисунке 1.11 для наглядности приводим для одного из исследуемых образцов мха его энергетический полный спектр.

На диаграмме (рисунок 1.12) для образцов мха, отобранных в горных ущельях Гиссарского хребта, приводятся максимальные концентрации техногенного радионуклида цезий-137, которые определялись методом спектрометрического исследования.

Максимальные содержания техногенного радионуклида цезий-137 были определены в образцах мхов, которые являлись 4-5 летними растениями и произрастали в ущелье реки Варзоб (локально на склонах ущелья р. Сиама). Эти результаты по накоплению цезия-137 объясняются геологическими особенностями ущелья, которое по сущности является закрытым, не проветриваемым, окружённым высокими горными хребтами, имеющим замкнутую форму, с един-

ственным узким проходом. Длина ущелья более 15 км. Эти условия способствуют тому, что цезий-137, мигрируя с пыльными бурями или воздушными потоками, практически полностью выпадает в ущелье реки Сиама на объекты природной среды, по сравнению с другими горными ущельями, в которых происходит вентиляция воздушных масс и возможны переносы радиоактивных элементов.

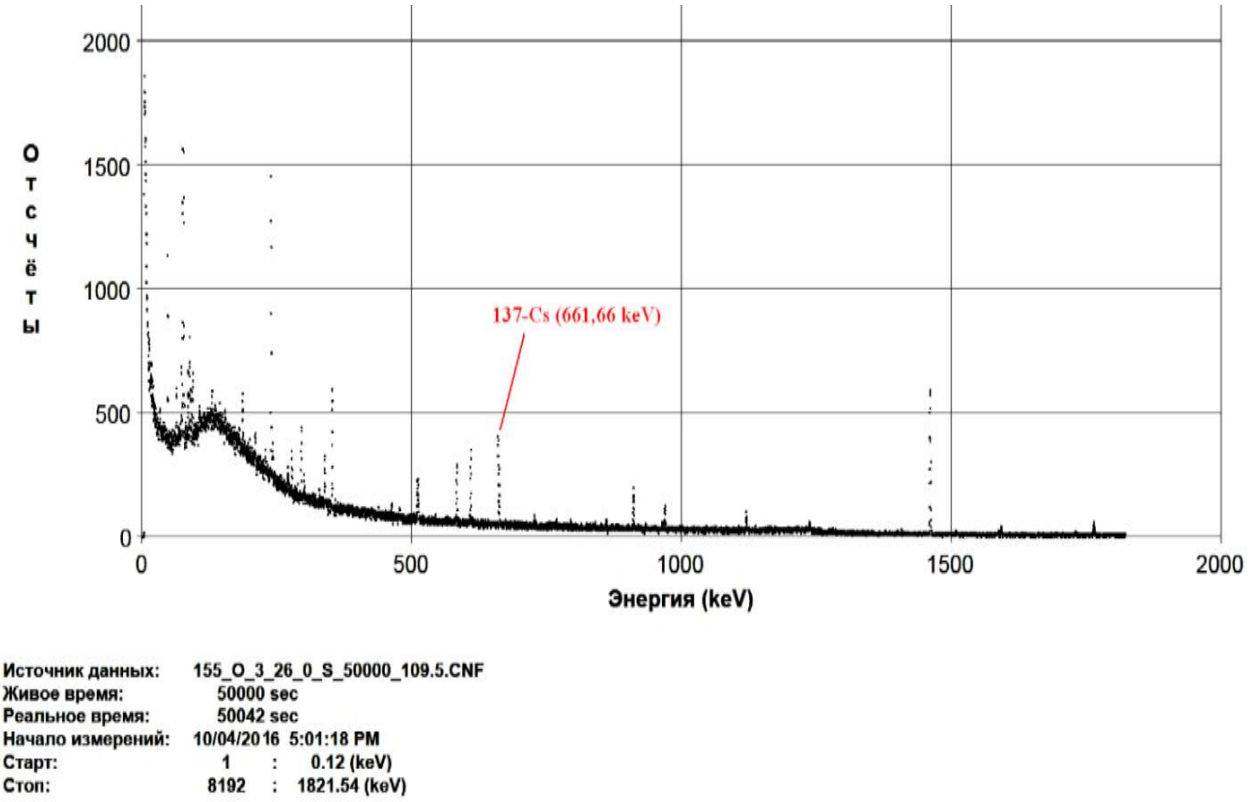

Рисунок 1.11. – Энергетический полный спектр одного из исследуемых образцов мха, произрастающего в горных ущельях Гиссарского хребта

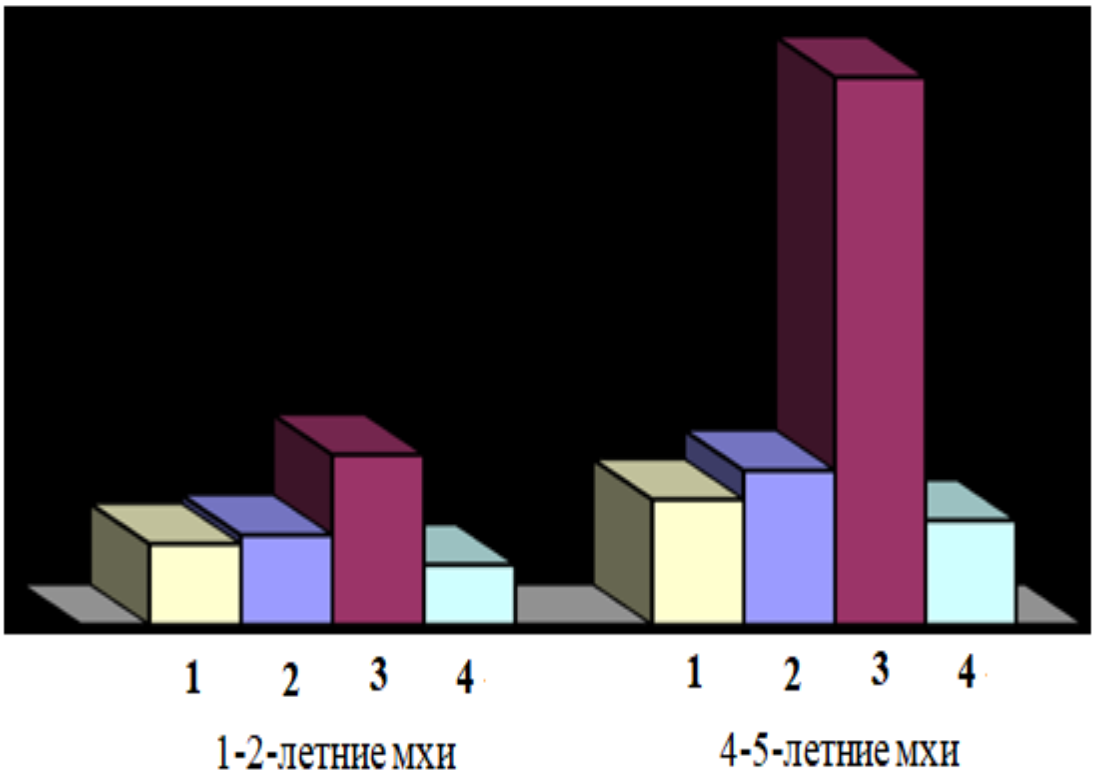

Рисунок 1.12. – Распределение содержания техногенного радионуклида цезий-137 в образцах мхов в горных ущельях Гиссарского хребта (Бк/кг) (1 - Каратаг, 2 – Алмасы, 3 – Варзоб (Сиама), 4 – Ромит)

1.5. Заключение по литературному обзору и задачи настоящей работы

Представленный обзор литературы позволяет провести объективную оценку проблем, касающихся переработки урансодержащих материалов и радиоэкологической ситуации различных регионов Центральной Азии.

Как показывает анализ литературных источников, в них подробно освещаются физико-химические принципы переработки ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов, способы их эффективной переработки, что является актуальным для Таджикистана, имеющего значительные количества отходов урановых производств. В литературе описываются технологические основы по переработке ураносодержащих материалов – дренажных, шахтных, технических вод, техногенных хвостов и отходов бывших урановых производств Таджикистана с выделением из них урана.

В обзоре литературы представлены результаты переработки рапы озера Сасык-Куль, шахтно-технических вод Истиклола, промышленных вод месторождения Киик-Тал с выделением из них урановых соединений в виде U_3O_8.

В обзоре обобщены радиационно-экологическая ситуация в некоторых регионах СНГ, радиоэкологическая ситуация урановых объектов Таджикистана, проблемы радона и мониторинга цезия-137.

Количественная оценка воздействия радона и его продуктов распада на здоровье людей представлена во многих научных публикациях. В частности, приводятся результаты рака лёгких для населения, возникающего на фоне влияния радона, которые на 100 Бк/м^3 составляют 16% заболеваемости, что является дополнительными рисками здоровью. Согласно рекомендаций, представленных в Публикации 115 МКРЗ по дополнительным пожизненным абсолютным рискам, рабочий уровень за месяц (РУМ) не должен превышать $5 \cdot 10^{-4}$, что почти в два раза выше РУМ ($2.8 \cdot 10^{-4}$), который рекомендуется в Публикации 65 МКРЗ.

Во многих странах проводится большое количество исследований, по которым выявлена тенденция, что в суммарных дозы облучения, которые получает население, большой вклад вносится от радона и дочерних продуктов его распада [256].

Показано, что дозы облучения, получаемые населением от ингаляции радона и дочерних продуктов его распада значительно выше доз, получаемых от других источников ионизирующих излучений, включая ИИИ в здравоохранении и поступающие в окружающую среду посредством деятельности предприятий ядерных топливных циклов. Так, при развитии лёгочных онкопатологий важным фактором заболеваемости является внутреннее облучение организма от доз облучения, вызванных влиянием дочерних продуктов распада радона. На основании результатов, полученных международными эпидемиологическими исследованиями по оценке рисков заболеваемости раком лёгких при воздействии радона в воздухе жилых помещений, в настоящее время возникла насущная необходимость усовершенствовать подходы в регулировании этой проблемы. Со сто-

роны международных организаций предложена разработанная стратегия, обеспечивающая радиационную защиту населения от радона, которая адаптирована к современным условиям. Разработаны усовершенствованные рекомендации, в которых не только проведена коррекция нормируемых уровней объёмных активностей радона в зданиях и помещениях, но изменен статус этих уровней, то есть необходимость перехода от уровней действий к референтным уровням. Разработанные усовершенствованные рекомендации свидетельствуют о пересмотре стратегии, которую необходимо направить на снижение рисков облучения населения от этого естественного облучения на национальном уровне и разработать долгосрочные планы действий по минимизации этих рисков.

Опираясь на приведённое выше, основной регулирующий документ в области радиационной безопасности Таджикистана, действующий в настоящее время - Нормы радиационной безопасности (НРБ-06), очевидно, требует необходимой переработки, которая должна осуществляться в соответствии с установившейся общемировой практикой и характеризоваться следующими этапами:

- получение фундаментальных (научных) рекомендаций Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и их освоение;
- адаптация к таджикским условиям базовых стандартов безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ);
- разработка на этих основах таджикских национальных норм радиационной безопасности.

Из литературного обзора возникли задачи настоящей работы, которые заключаются в следующем:

- выделение урановых концентратов из урансодержащих материалов;

- разработка технологических принципов, направленных на повышение эффективности переработки ураносодержащих руд и ураносодержащих отходов, и сорбции урана из дренажных и технических вод;

- состояние радиационной ситуации вокруг хвостохранилищ отходов урановой промышленности Таджикистана;

- влияние отходов урановой промышленности на окружающую среду;

- радоновый мониторинг в Таджикистане;

- распространение изотопа цезия-137 в Таджикистане;

- контроль и оценка радиационной ситуации всех территорий Таджикистана.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Методология и методика эксперимента при переработке урансодержащих материалов

2.1.1. Методика эксперимента

Известно, что все известные ураносодержащие материалы отличаются своими технологческими особенностями, исходя из чего для различных урановых руд, отходов переработки руд, ураносодержащих вод применяются различные технологии переработки.

Предварительным этапом настоящего исследования явилось изучение выбранных объектов – это урановая руда различных месторождений страны и отходы бывших урановых производств (урановое наследие). Для исследований выбирались объекты, которые были менее изученными на настоящий момент – урановое сырьё и отходы. Имеющиеся литературные данные сравнивались с новыми объектами, которыми были выбраны ураносодержащие руды месторождений "Центральный Таджикистан" и "Танзим", ураносодержащие отходы отдельных хвостохранилищ Таджикистана. Начальный этап исследования включал проведение предварительного теоретического анализ возможности переработки указанных материалов сернокислотными способами в присутствии некоторых реагентов-окислителей.

Каждый из известных экспериментальных методов заключается, во-первых, в проверке определённых гипотез, подтверждение которых имеет важное практическое значение. Анализированная информация, касающаяся переработки урановых руд и отходов свидетельствует, что перспективным и целесообразным является переработка следующих объектов - ураносодержащих руд месторождений "Центральный Таджикистан" и "Танзим" и отходов Бустонского хвостохранилища "Карта 1-9".

Для экспериментальных методик разложения минерального сырья особенно важно в первую очередь установить химический состав и минералогические характеристики, выявить закономерности миграции урана.

Для постановки задач в настоящем исследовании по переработке руд и отходов предварительно был проведён анализ технических отчётов и научных трудов всех институтов, разрабатывающих данную проблематику – это Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ, Институт химии им. В. И. Никитина НАНТ, ГУП "Таджикредмет", Главное управление геологии при Правительстве РТ и другие.

Разработаны основные принципы, касающиеся планирования экспериментов и проведения анализа параллельных образцов в объектах. Для проведения экспериментов установлены области их чистоты и области эффективности.

Каждый этап исследования проводился в соответствии с предварительно разработанными календарными планами и программами экспериментов, по окончании каждого этапа проводились обобщение и анализ полученных результатов, были сформрованы выводы по каждой главе диссертации. В конце эксперимента проводились обобщения результатов в виде общего заключения и общих выводов.

В диссертационном исследовании в качестве предмета исследования выбрано определение физико-химических параметров, которые являются оптимальными в переработке ураносодержащих материалов, в частности, выбраны температура - (Т), время процесса - (τ), концентрация используемых для разложения кислот – (С) и некоторые другие. Указанные параметры широко варьировались в процессе переработки материалов на всех этапах – в начале процесса, промежуточном этапе и в конце процесса.

Для экспериментальных работ с ураносодержащими объектами использовались традиционные и классические методики, а также соблюдались меры и правила безопасности работ с радиоактивными веществами. Также для выполнения отдельных этапов работы были разработаны требования обеспечения ра-

диационной безопасности (РБ), применялись правила и стандарты по процедурам работы с радиоактивными веществами, с соблюдением инструкций по технике безопасности. Требования НРБ-06 строго соблюдались на каждом исследовательском этапе.

При проведении экспериментальных работ были использованы средства индивидуальной защиты и средства индивидуального радиационного дозиметрического контроля. Образцы радиоактивных материалов отбирались при соблюдении правил и мер безопасности, образцы анализировались в лаборатории в металлических радиационно-защитных боксах с перчатками или манипуляторами и с защитным плексигласовым экраном (ГОСТ 23309-78). Для защиты от радиоактивных воздействий использовался также универсальный метод, который полностью применим ко всем видам работ, связанным с радиоактивными материалами – это влияние расстояния, времени и количества радиоактивного материала.

2.1.2. Химико-минералогический состав ураносодержащих материалов

Химические и минералогические характеристики ураносодержащих материалов определены такими методами химанализа, как:

- метод пламенной атомной абсорбции AAS с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Perkin Elmer – определяли содержания тяжёлых металлов;

- спектроскопический метод;

- весовой метод;

- комплексонометрический метод – определяли содержания алюминия;

- метод пламенной фотометрии – оптический метод элементного количественного анализа – определяли содержания щелочных и щёлочноземельных металлов.

Определение минералогических характеристик проб. Для определения минералогического состава проб использовали переносной спектрометр нового поколения - Фурье-спектрометр HAZMAT-ID производства USA.

Для проведения рентгенофазового анализа подготавливали пробы в виде порошка, предварительно растирая пробы в агатовой ступке. После подготовки порошка в агатовой ступке её промывали по два раза сначала ацетоном, затем этанолом для удаления загрязнений от предыдущего образца. Порошок насыпался на поверхность каретки устройства равномерным тонким слоем, чтобы покрыть им центральную и активную область каретки. Стабильной адгезии (прилипания) порошков к поверхности обеспечивалась нанесением на неё 3-5 капель этилового спирта пипеткой, после испарения этилового спирта каретка с образцом помещалась в спектрометр для снятия дифрактограмм. Диапазон снятия дифрактограмм составлял 10-80 градусов и устанавливался в зависимости от счётчика.

Рентгенофазовый анализ радиоактивных образцов проводили на дифрактометре рентгеновского излучения "ДРОН-1.5" (K_α-излучение медное), где линии каждой фазы имели различную интенсивность и фиксировались в виде дифрактограмм.

Рентгеноспектральный методи использовался для определения в образцах их химических составов, использовалось оборудование - спектрометр СПЕКТРОСКАН-МАКС-GF2E.

Гамма-съёмка - проводилась пешком с непрерывным прослушиванием между измерительными точками. Расстояние между каждым профилем и точкой измерения было выбрано на основе общей площади исследуемых хвостохранилищ и их расположения относительно населённых пунктов. Замеры осуществляли с помощью портативного переносного цифрового спектрометра "INSPECTOR-1000" американской фирмы CANBERRA INDUSTRIES, Inc.

Определение естественных природных радионуклидов. В исследуемых образцах природные естественные радиоактивные нуклиды определяли спектральным методом с использованием спектрометрического устройства детектирования γ-излучения с встроенным анализатором импульсов "NOKIAJ". В образцах определялись активности радионуклидов – ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{210}Pb, ^{210}Po.

При проведении анализов радиоактивных материалов были использованы весы SARTORIUS-LA-230P – электронные аналитические и pH-метр со стеклянным электродом марки Multi-parameter analyser Eijkelkamp 18.28. Калибровку pH-метра буферными растворами pH МЕТТЕР ТОЛЕДО осуществляли перед каждой серией опытов.

Объёмный метод определения урана. Образцы радиоактивных материалов отбирались объёмом 0.1-10 мл в зависимости от содержания в них урана. Если объём образца составлял <10.0 мл, то к образцу приливали дистиллированную воду, доводя до 10.0 мл. В подкисленный образец приливали аммиак 25-процентный (1 каплю), мочевину 30-процентрую (1 каплю), H_3PO_4 плотностью 1.61 (15 мл), и смесь нагревали до кипения. В горячий раствор добавляли 2-процентный перманганат калия по каплям до сохранения устойчивого окрашивания, добавляли 10-процентную соль Мора ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) в количестве 5 мл. Полученную смесь охлаждали до 15-20°C, далее окисляли 5-процентным натрием азотнокислым в количестве 5 мл, раствор перемешивали интенсивным встряхиванием до прозрачности и ещё 30 секунд, добавляли 30-процентный диамид угольной кислоты (мочевину) в количестве 10 мл, раствор снова перемешивали встряхиванием до полного удаления пузырьков воздуха. Полученный таким образом образец отстаивали в течение 10 минут и титровали 0.001-0,003н ванадатом аммония с добавлением трёх капелью полуокисленного индикатора дифениламина до изменения окрашивания раствора от жёлтого до ярко-фиолетового. Для определения количества урана (в мг) в подготовленном таким образом образце использовали выражение:

$$m(U) = 0{,}119 \cdot V$$

где, V – объём исрасходованного ванадата аммония.

Характеристики образцов, отобранных для исследований. Образцы для исследования отбирались из руды месторождения "Танзим", предварительно все образцы измельчали с использованием дискового истирателя ИД-175 (НПО "Техноком"), и с помощью ситового анализатора А-20 рассеивался по классам. Полученные результаты по размерам частиц обобщаются в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Распределение урана во фракциях образцов месторождения "Танзим"

Фракции руды по размерам частиц, мм	- 0,1	-0,16 +0,1	-0,2 +0,16	-0,315 +0,2	+0,315	∑
Выход фракций по весу, %	22,92	41,25	1,66	33,54	0,63	100
Выход фракций по весу, г	220	396	16	322	6	960
Содержание $CaCO_3$	-	13,98	-	14,48	-	
Содержание урана, %	0,238	0,215	0,250	0,254	0,258	

Образцы руды также исследованы методом рентгеноспектрального анализа (рисунок 2.1).

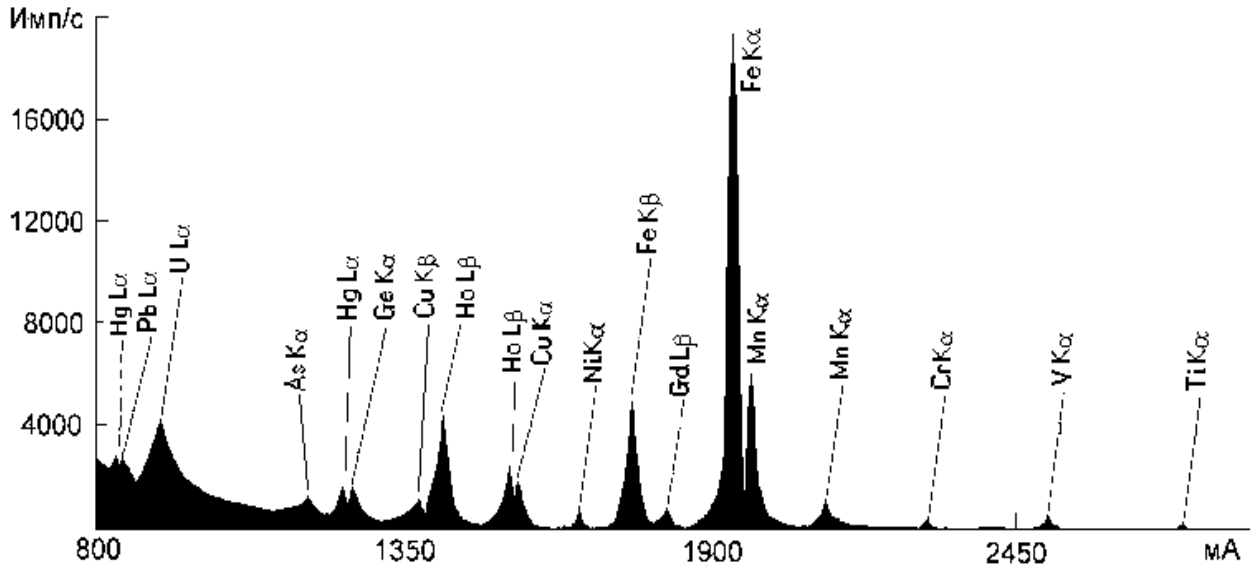

Рисунок 2.1. – Результаты рентгеноспектрального анализа образцов руды месторождения "Танзим"

При исследовании образцов методом рентгеноспектрального анализа было использовано современное оборудование спектрометра "SPECTROSCAN-MAKS-GF2E" (трубка рентгеновская: Ag, БХ-7. Трубка с параметрами: сила электрическоготока 100 мкА, напряжение 40 кВ. Напряжение в детекторе 1586 В). Химический состав образцов, исследованных методом рентгеноспектрального анализа, приводится в таблице 2.2.

Таблица 2.2. – Химический состав образцов руды месторождения "Танзим" по данным рентгеноспектрального анализа

Химический элемент	Fe_2O_3	U	Sr	MnO	Pb	Cr	As	V	Zn	TiO_2	Cu	Th	Ni	Co
Содержание, %	19,04	0,241	0,062	1,27	0,013	0,027	0,0055	0,070	0,10	1,76	0,035	0,02	0,026	0,033

По данным ИГЕМ РАН (Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук) в урановых рудах присутствуют следующие ураносодержащие минералы – ураносиликаты, уранотитанаты, реже минералы уранинит и настуран.

В урановых рудах кроме ураносодержащих минералов имеются минералы: рутил, антимонит, галенит, пирит, титан- и марганецсодержащие минералы. В урановых рудах в качестве нерудных минералов более распространёнными являются кварц и карбонаты. Указанные минералы также подтверждены рентгеноструктурным анализом (рисунок 2.2) и химанализом.

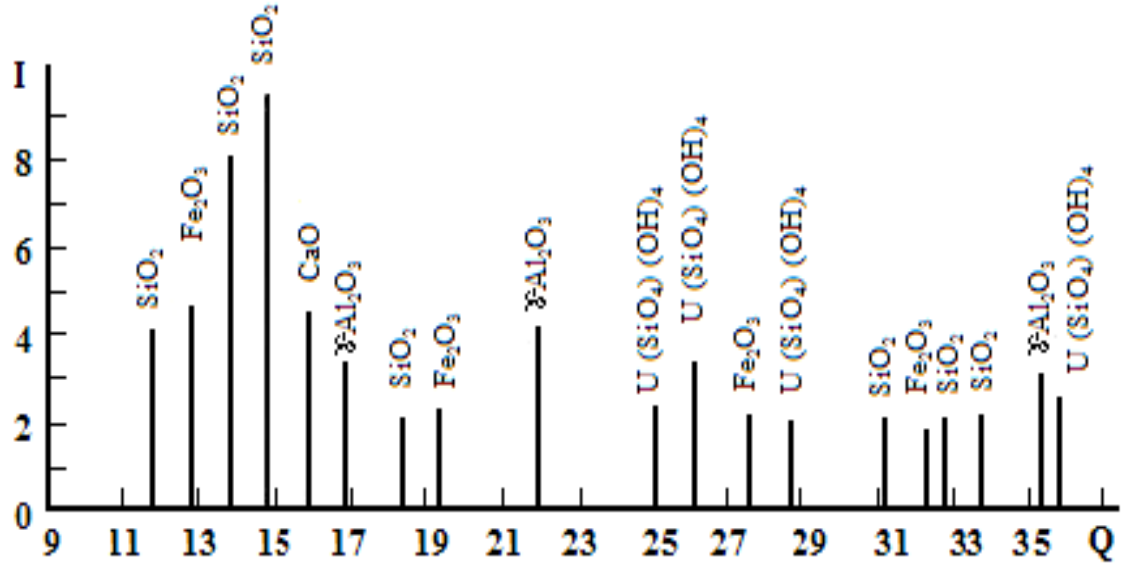

Рисунок 2.2. – Результаты рентгеноструктурного анализа образца руды месторождения "Танзим"

Для определения химико-минералогического состава проб использовали переносной спектрометр нового поколения - Фурье-спектрометр HAZMAT-ID производства USA. Исследования проводились в два этапа. На первом этапе были выявлены минералы состава руды, а на втором – в каждом из минералов дополнительно определялся их химический состав, а также их содержание (таблица 2.3).

Таблица 2.3. - Химико-минералогический состав образцов руды месторождения "Танзим"

Минералы и химические соединения в пробах	Химическая формула
Калиевый бентонит	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot K_2O$
Бейделлит	$(Na,Ca_{0,5})_{0,3}Al_2(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$
Монтмориллонит (бентонитовая глина, слоистый водный силикат магния и алюминия)	$m\{Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot p\{(Al,Fe^{3+})_2[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot nH_2O$. Состав, %: MgO - 4-9; Al_2O_3 - 11-22; Fe_2O_3 >5, H_2O - 12-24%; незначиельные содержания (до 3.5%) K_2O, Na_2O и CaO
Иллит	$(Al(OH)_2((Si,Al)_2O_5)) \cdot K(H_2O)$
Коффинит	$U(SiO_4)(OH)_4$
Каолинит	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ Содеражание оксидов, в %: SiO_2 - 46,5; Al_2O_3 - 39,5; H_2O - 14
Пирофиллит	$Al_2[OH]_2\{Si_4O_{10}\}$. Состав, %: SiO_2 – 64,58; MgO – 0,48; Al_2O_3 – 29,38; Fe_2O_3 – 0,17; CaO – 0,38; Na_2O – 0,14
Сапонит	$(OH)_4(Si_{7,34}Al_{0,66}\{Na_{0,66}\})Mg_6O_{20}$

2.1.3. Технологические особенности извлечения урана из руды месторождения "Танзим"

Залежи ураносодержащих руд месторождения "Танзим" представлены в основном ураносиликатами и уранотитанатами. Локальными участками преставлены уранинит и настуран. Кроме ураносодержащих минералов имеются минералы: рутил, антимонит, галенит, пирит, титан- и марганецсодержащие минералы. В урановых рудах в качестве нерудных минералов более распространёнными являются кварц и карбонаты.

Титанаты урана представляют кристаллы в виде удлинённых призм, в основном пластинчатые или в форме игл. Часто они образуют скопления псевдожилок, срастаясь в виде узких лент в удлинённые агрегаты. По размерам кристаллы уранотитанатов составляют от десятых до сотых долей миллиметра. По данным спектрального лазерного анализа (диаметр кратера 30-55 микрон) выявлен химический состав уранотитанатов – это химические элементы хром (Cr), никель (Ni), иттрий (Y), ванадий (V), стронций (Sr), свинец (Pb), магний (Mg), кальций (Ca), алюминий (Al), кремний (Si), уран (U), титан (Ti). Так как практически во всех минералах уранатотитанов присутствуют количества кремния, то предположительно в их составе присутствуют минералы сложного состава - урано-силикато-титатаны.

Силикаты урана в нсновном представлены метакристаллами таблитчатых форм, часто с сохранением только внешнего размера, их внутренняя часть представлена нерудными минералами. Кристаллы ураносиликатов имеют широкий диапазон размеров от сотых до тысячных долей миллиметра. Согласно спектральному лазерному анализу был идентифицирован химсостав минералов ураносиликатов, который представлен ураном, кремнием (десятые доли процента), железом, титаном, кальцием (сотые доли процента).

Кристаллы минерала уранинита имеют размеры ~0.1 мм и кристаллы также имеют кубическую или призматическую формы. Этот минерал может образовывать совместно с минералом браннеритом кулисные линзы небольших размеров, которые располагаются вдоль слоёв других минералов. Минерал

настуран присутствует в руде пересекающимися микрожилками; его локальные вкрапления имеют зональную почковидную структуру.

Авторы [14] определили в руде указанного месторождения также сеть мелких кальцит-хлорит-пиритовых и альбит-гематитовых прожилков.

В результате большинство минералов, слагающих ураносодержащие эйзитовые (альбититовые) лтложения, были сформированы на карбонатной, альбитной и кварцевой стадиях образования минералов. Кроме того, минералы карбонатной стадии являются преобладающими на альбито-кварцами. Также в руде одними из основных рудообразующих минералов называют браннериты и коффиниты [14].

Минералы состава урановых руд в основном по своим формам представляют минеральный тип уран-титановых минералов. Руды рассматриваемого месторождения "Танзим" содержат в основном обычный уран, хотя богатые другими минералами зоны также встречаются хздесь в локальных участках.

Руду выщелачивали из расчёта добавок H_2SO_4 от 100 до 600 кг/тонну, в качестве реагентов-окислителей использовали оксид марганца (IV) или азотную кислоту. Пульпа выщелачивалась серной кислотой при оптимальных параметрах (τ=6 ч, Т=60-75°С, Ж:Т=2:1). Затем после выщелачивания получали твёрдый остаток, промывали его дважды в соотношении Ж:Т=1:1 [19]. Уран выделяли из выщелачивающих растворов методами сорбции, экстракции и саждения.

При добыче ураносодержащей руды из шахт в промышленных масштабах практикуется её предварительное орошение водой в целях безопасности перевозки (чтобы сократить пыление руды), в воду добавляют некоторые количества карбонатных ураниловых солей (0.018-0.025 г/литр). Эти воды также можно использовать для дополнительного получения урана, для этого на площадке шахты осуществляют сорбцию урана на анионитной смоле АМ(п), что позволяет без дополнительных вложений извлекать определённые количества урана перед основным технологическим процессом.

Увеличение содержания H_2SO_4 от 100 до 600 кг/тонну способствует увеличению извлечения урана, максимум составляет при 600 кг/тонну H_2SO_4

93.27% при оптимальных добавках кислоты - $H_2SO_4 + H_3PO_3 = 600 + 26$ кг/ тонну [19].

Извлечение урана из ураносодержащей руды месторождения "Танзим" имеет ряд технологических особенностей. Чтобы сэкономить аммиачную воду и получить чистый без примесей жёлтый кек, нами рекомендуется для удаления примесей и предварительной нейтрализации серной кислоты в десорбат вводить оксид кальция CaO. Схематично получение жёлтого кека с использованием оксида кальция представлено на рисунке 2.3.

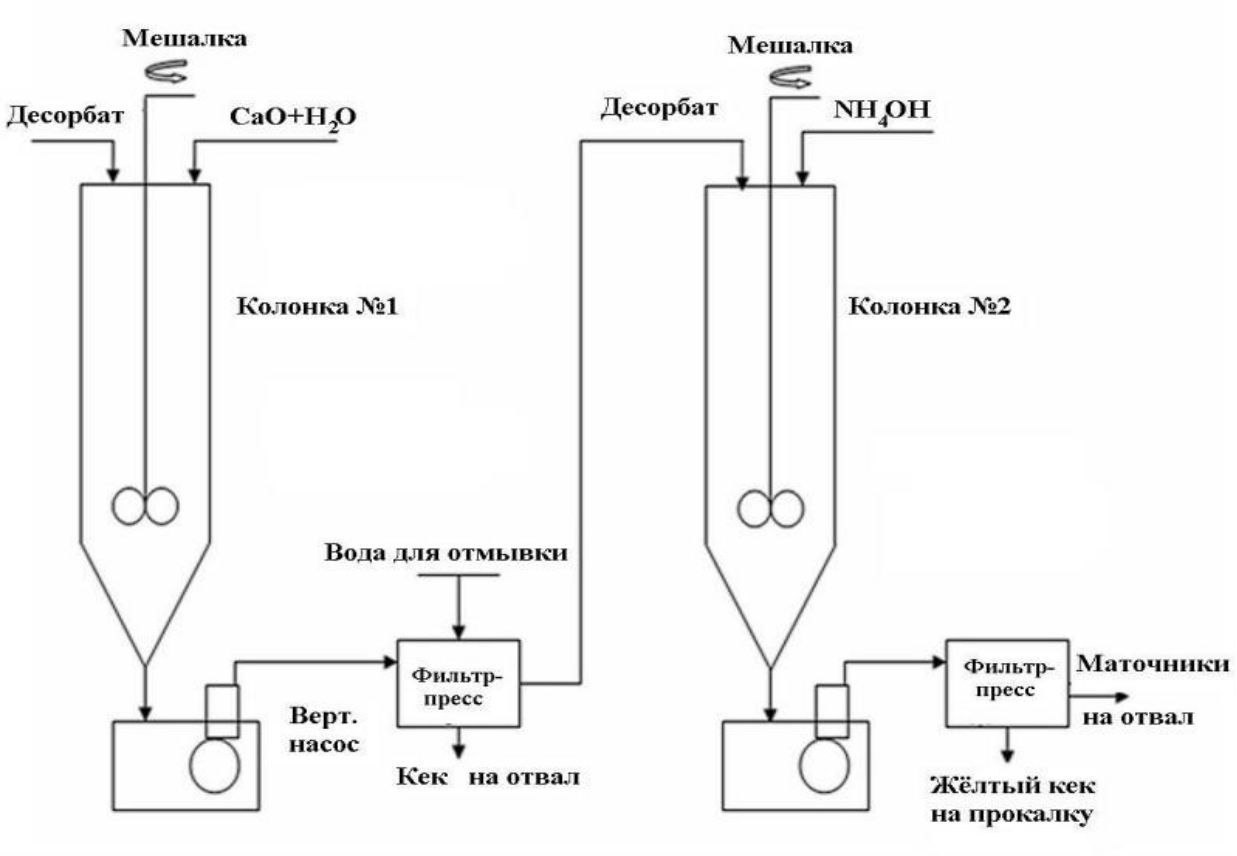

Рисунок 2.3. – Получение ураносодержащих соединений с использованием оксида кальция

Принцип разработанной технологии заключается в следующем. В первую колонну загружают исходный десорбат, заполняя 2/3 объёма колонны. В колонну порционно при перемешивании добавляют предварительно измельчённый оксид кальция, с pH=2.5-3. Этот процесс сопровождается выпадением в осадок различных примесных соединений, в том числе сернокислого железа.

Затем весь объём раствора фильтруется с помощью фильтровального пресса и закачивается в колонку №2. Твёрдые примеси, скопившиеся в фильтровальном прессе и гипс промывают водой для удаления из них остатков ураносодержащих соединений, получают таким образом кеки, в которых содержание ураносодержащих минимально, которые складируются в хвостохранилище.

Соответственно, в колонке №2 находится очищенный от примесей и отфильтрованный десорбат, и добавляют определённый объём аммиачной воды, доводя водородный показатель в колонне №2 до pH=7-8, при этом в колонке №2 уран полностью выпадает в осадок из раствора в виде диураната аммония.

Данная технология является эффективной, позволяя методом осаждения извлекать уран до 99%. Результаты лабораторного исследования этой технологии обобщаются в виде таблицы 2.4.

Таблица 2.4. – Результаты лабораторных исследований по осаждению из десорбата диураната аммония (pH=0.5, кислотность 184 г/литр)

№ опыта	pH	Т:Ж	Расход CaO, г	pH раствора	Расход NH_4OH, мл	Объём десорбата, мл	Маточник осаждения U, г/л	U_3O_8, %	
								U	Fe
1	1.15	2:1	33	8.0	16.0	250	0.010	59	1.50
2	1.52	2:1	35	8.5	9.0	250	0.004	61	2.00
3	1.15	2:1	1353	8.0	33.0	200	0.004	62	1.60
4	2.05	2:1	467	8.6	3.5	200	0.004	66	0.26

Этот процесс сопровождается выпадением в осадок различных примесных соединений, в том числе сернокислого железа.

Затем весь объём раствора фильтруется на фильтровальном прессе и перекачивается в колонку №2. Твёрдые примеси и гипс, осадившиеся на фильтровальном прессе, промываются водой для удаления из них остатков ураносодержащих соединений, и кеки с минимальными содержаниями ураносодержащих соединений вывозятся на хвостохранилище.

Оксид кальция является эффективным поглотителем воды с образованием $Ca(OH)_2$, и при этом в растворе концентрируется основной продукт. Полученные осадки после промывания добавляются к раствору, доводя его до исходного объёма. Затем из второй колонны весь её объём переносится на для фильтрации на фильтр-пресс. Маточные растворы, содержащие минимальные концентрации урана, сбрасываются в хвостохранилище, а из фильтр-пресса извлекается U_3O_8 в виде жёлтого кека и далее высушивается с получением высушенного конечного продукта (рисунок 2.4).

Технология получения желтого кека с использованием оксида кальция имеет отличия от классических схем извлечения U_3O_8. В данной технологии предварительно нейтрализуют оксидом кальция избыточную кислоту, в результате чего pH=2.5-3.0 доводится до pH=1.0, эта операция осуществляется перед осаждением диураната аммония аммиачной водой. После нейтрализации избытка кислоты десорбционные растворы фильтруются на фильтровальном прессе, фильтраты собираются отдельно и дополнительно нейтрализуются аммиачной водой до pH=7-8, при этом происходит выделение U_3O_8.

Полученный раствор отфильтовывают ещё раз для извлечения из него диураната аммония, pH раствора следует повысить с pH=1.0 до pH=4-5, затем раствор выдерживают в течение 30 минут для вытравливания зародышевых кристаллов диураната аммония, а маточные растворы направляют в отработанные растворы, доводя до pH=8-8.5 аммиачной водой с выдержкой в течение 30 минут.

Используя технологию переработки урановых руд месторождения "Танзим" методом осаждения с введением в процесс оксида кальция достигается значительная, в несколько раз превышающая экономию аммиачной воды, которая является дорогостоящим реагентом.

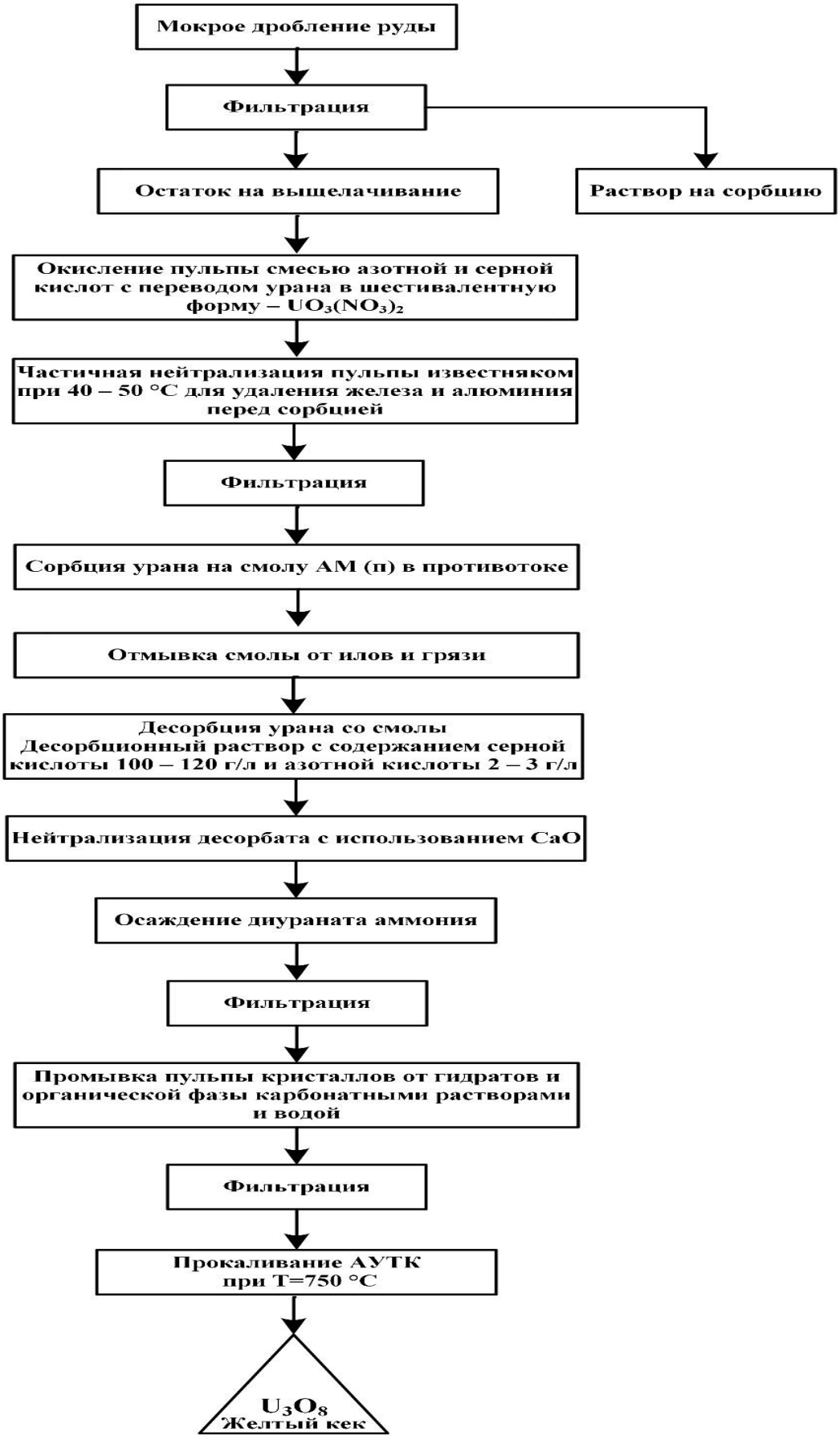

Рисунок 2.4. - Усреднённая блок-схема технология переработки урановых руд месторождения "Танзим" методом осаждения

После определения оптимальных характеристики переработки уранодержащих руд месторождения "Танзим" сернокислотным выщелачиванием с дополнительным осаждением урана оксидом кальция, разработана усреднённая блок-схема переработки урановых руд месторождения "Танзим". Использование на стадии осаждения оксида кальция экономит дорогостоящую аммиачную воду; при использовании CaO вода поглощается с образованием гидроксида кальция, а в растворе происходит образование урановых соединений, кроме того, введение в десорбат оксида кальция устраняет примеси, переводя их в твёрдые соединения, далее выпадающие в осадок и легко удаляемые из технологического процесса.

2.2. Карбонатная переработка уранодержащей руды месторождения "Танзим"

Кроме кислотной переработки уранодержащих руд широко применяется и находится на втором месте по распространённости содовое (карбонатное) выщелачивание руды. Это связано с тем, что кислотное разложение зачастую для указанных руд не является эффективным, так как в уранодержащих рудах помимо урановых соединений имеют место карбонаты магния и карбонаты кальция, которые затрудняют кислотную переработку. Для этих руд перспективным является карбонатное выщелачивание карбонатными растворами щелочных металлов. Сущность карбонатного разложения урановых руд можно описать следующей химической реакцией:

$$UO_3 + 3Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow Na_4[UO_2(CO_3)_3] + 2NaOH.$$

При протекании указанной химической реакции происходит переход урана в комплексное соединение, которое хорошо растворимо в воде с образованием урансодержащего соединения - трикарбонатоуранилата натрия. Указанная реакция на основе содовых растворов позволяет вскрываться достаточно легко всем уранодержащим осадочным породам, в том числе триоксидным и моноуранатным породам [2, 4].

При карбонатном выщелачивании урановых руд примесными минералами, затрудняющими процесс разложения, являются гипс и минералы, содержащие сульфаты магния. Указанные примесные минералы затрудняют разложение, т.к. для их разложения необходимы значительные объёмы соды, согласно следующим реакциям:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4,$$

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow MgCO_3 + Na_2SO_4.$$

Кремнезём очень слабо разлагается при воздействии содовых растворов даже с повышением температуры процесса; в технологических растворах концентрации кремнезёма очень низкое, соатвляет менее 0.4 г/литр; минералы гематита и глинозём также очень слабо разлагаются содовыми растворами; содержания гематита и глинозёма очень низкие, составляя сотые и десятые доли грамма на литр. Карбонаты магния и карбонаты кальция вообще не реагируют с содовыми растворами, поэтому выщелачивание содой применяется к карбонатным ураносодержащим рудам.

Как и урановых соединений, в процессе содового выщелачивания происходит разложение ванадий- и фосфорсодержащих соединений (в виде V_2O_5 и P_4O_{10} – пятиокисей), при этом образуются фосфаты и ванадаты урана:

$$P_2O_5 + 3Na_2CO_3 \rightarrow 2Na_3PO_4 + 3CO_2,$$

$$V_2O_5 + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaVO_3 + CO_2.$$

Содовые растворы также хорошо вскрывают мышьяк- и молибденсодержащие соединения, если они присутствуют в руде, как оксиды мышьяка или молибдена.

Одним из эффективных методов добычи карбонатных ураносодержащих руд является мокрое дробление непосредственно на территориях этих месторождений, что представляется выгодным с точки зрения экологии, потому что использоване этого метода позволяет не распространять радионуклиды при перевозке руд на гидрометаллургические комбинаты для их переработки.

Кроме того, при использовании метода мокрого дробления некоторые природные карбонатные соли урана растворяются в воде и остаются в продуктивных растворах. В продуктивных растворах концентрации урана могут значительно варьироваться и зависят от соотношения твёрдой фазы к жидкой в диапазоне от 100 мг/литр при Ж:Т=10:1 до 300 мг/литр при Ж:Т=1:1. Из продуктивных растворов при добавлении в них анионитной смолы АМ(п) непосредственно на участках добычи можно сорбировать уран, что позволяет извлекать некоторые количества урана перед химической переработкой без дополнительных финансовых затрат.

Влажная руда после мокрого дробления перевозится на гидрометаллургический завод для кислотному выщелачивания. Использование этого метода перспективно, так как снижаются финансовые затраты на переработку урана и исключается распространения радионуклидов, так как при транспортировке мокрой руды благодаря отсутствию её пыления не загрязняется окружающая среда радионуклидами, в основном α-частицами.

В настоящее время переработка ураносодержащих руд содовым методом повсеместно распространена. При переработке ураносодержащих руд содовым методом происходит образование малорастворимых гидроксидов металлов (уран с валентностью (+6) образует диуранаты) (таблица 2.5).

Таблица 2.5. - Растворимость гидроксидов отдельных металлов в воде (при Т=25°С)

Гидроксид металла	Растворимость, мг/л	Гидроксид металла	Растворимость, мг/л
$Na_2U_2O_7$	0,5	$Fe(OH)_2$	2
$Al(OH)_3$	0,0006	$Mg(OH)_2$	4
$(NH_4)_2U_2O_7$	0,5	$U(OH)_4$	0,0001
$Fe(OH)_3$	0,0002	$UO_2(OH)_2$	9
$Ca(OH)_2$	1200		

При содовом разложении ураносодержащих руд указанные металлы, кроме кальция, количественно переходят в осадки. Но гидроксиды металлов могут осаждаться только при определенных величинах pH растворов, что видно из таблицы 2.6.

Таблица 2.6. – pH осаждения некоторых гидроксидов металлов

Гидроксид металла	pH	Гидроксид металла	pH
$Mg(OH)_2$	>10.0	$UO_2(OH)_2$	3.8-6.0
$Ca(OH)_2$	>10.0	$Cr(OH)_3$	5.3
$Mn(OH)_2$	8.6-10.0	$Cu(OH)_2$	5.2-5.8
$Co(OH)_2$	8.0-9.0	$Al(OH)_3$	4.0-6.0
$Ni(OH)_2$	8.0-9.0	$Th(OH)_4$	3.2-3.5
$Fe(OH)_2$	8.0-9.0	$Fe(OH)_3$	2.5-3.5

При величинах, составляющих pH=6, уран начинает количественно осаждаться. Осаждение урана в основном проводится щелочными или аммиачными растворами с pH равным 6-7. С учётом этого карбонатное выщелачивание нужно проводить с объёмами Na_2CO_3 не менее 100-400 кг/тонну. Выщелачивание пульпы проводили при параметрах: τ=6 ч, T=80°C, Ж:Т=2:1. После выщелачивания выпадает осадок, его промывают тремя порциями воды с соотношением жидкой части к твёрдой (Ж:Т) 1:1. Извлечение урана увеличивается также, когда расход соды увеличивается со 100 до 400 кг/тонну, достигая при расходе соды 400 кг/тонну 82.0-процентного извлечения (рисунок 2.5). В среднем оптимальным извлечением является 72-процентное извлечение урана, достигаемое при расходе соды 200 кг/тонну, так как при этом расход соды сокращается примерно в два раза. Результаты данной серии экспериментов обобщаются в виде таблицы 2.7.

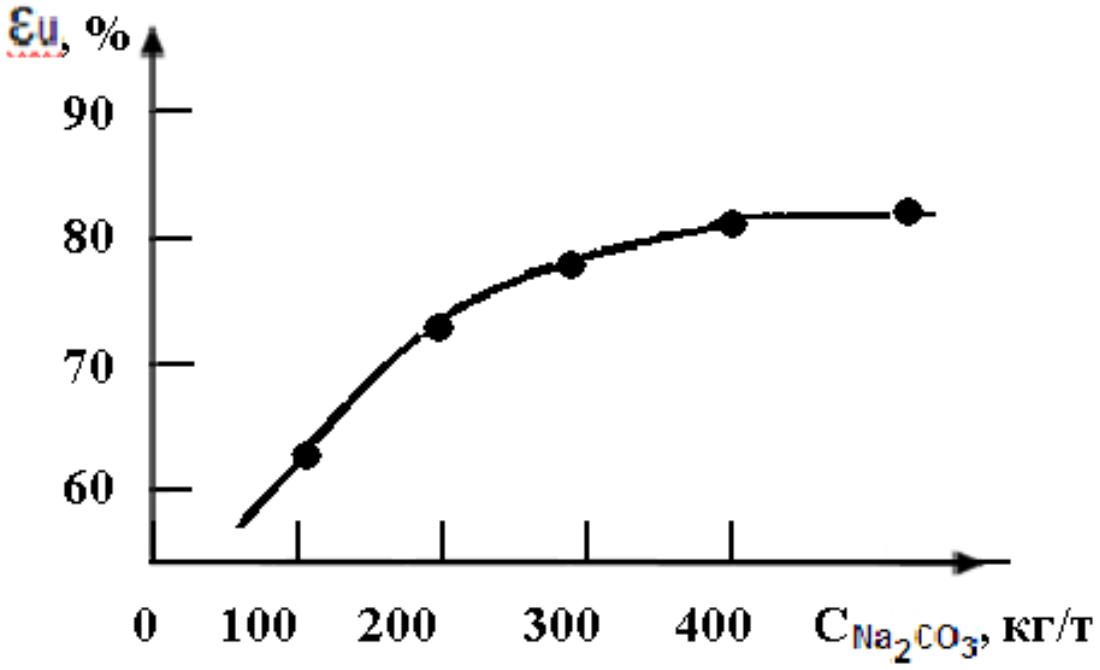

Рисунок 2.5. – Влияние количества соды на извлечение урана при параметрах: τ=6 ч, Т=80°С, Ж:Т=2:1

В этой работе показано следующее:

– Одним из основных методов переработки руды является мокрое дробление. При этом происходит снижение затрат на переработку урана, исключается распространение радионуклидов, т.е. при транспортировке не происходит пыление мокрой руды, соответственно на всём пути транспортировки окружающая среда не загрязняется радионуклидами, в основном α-частицами;

– Также мокрое дробление руды позволяет переходить некоторым количества урана в растворы, которые без выщелачивания непосредственно направляются в сорбционную колонну, снижая, таким образом, материальные затраты на получение урана.

Таблица 2.7. – Переработка ураносодержащей руды месторождения "Северный Таджикистан" методом содового выщелачивания ($CaCO_3 = 14.98\%$, среднее содержание в руде урана ȳ 0.55%)

№ опыта	Навеска, г		Расход Na_2CO_3, кг/т	Температура пульпы, °С	Время выщелачивания, час	Фильтрат после выщелачивания			Отмывка с водой (Т:Ж=1:1)									Остаток U в твёрдом виде, %	Извлечение U, %
									I			II			III				
	руда	Na_2CO_3				V, мл	U, г/л	pH	V, мл	U, г/л	pH	V, мл	U, г/л	pH	V, мл	U, г/л	pH		
1	20	2	100	20	6	22	2,67	9,8	37,5	1,575	10,0	42	0,317	9,8	48	0,0291	9,5	0,213	61
2	20	4	200	80	6	48	2,11	10,5	24	2,311	10,5	24	0,0167	10,0	24	0,0068	9,3	0,154	72
3	20	6	300	80	6	52	1,75	10,3	26	0,589	10,4	26	0,0346	10,2	26	0,0075	9,1	0,120	78
4	20	8	400	80	6	56	1,73	10,5	28	0,5	10,5	28	0,021	10,4	28	0,021	9,7	0,097	82

2.3. Переработка уранодержащей руды "Центральный Таджикистан" методом сернокислотного разложения

В предыдущих подразделах исследованы химические характеристики и минералогические параметры урановых руд месторождения "Центральный Таджикистан". Разработаны усреднённые технологии – блок-схемы по извлечению из руд этого месторождения урана.

В исследовании один этап посвящался изучению процесса выщелачивания урановых руд месторождения "Центральный Таджикистан", изучение было начато с определения химических характеристик и минералогических параметров образцов руд указанного месторождения, которые отбирались непосредственно из канав и карьеров.

Подготовка образцов. Объёмные образцы после отбора упаковывали в непрессующие кюветы с постоянным контролем качества поверхности для получения образцов, разориентированных максимально.

Условия анализа и оборудование. Образцы исследовали методом рентгенодифракционного анализа порошковых образцов (образец А), используя японский дифрактометр рентгеновский ULTIMA-IV – RIGAKU. Дифрактометр включал два режима – 40 мА и 40 кВ, излучение медное, фильтр никелевый, измерительный диапазон с шагом по углу сканирования 0.02°20 при общем шаге 3-65°20, система щелей с фиксированным фокусом (рисунок 2.6).

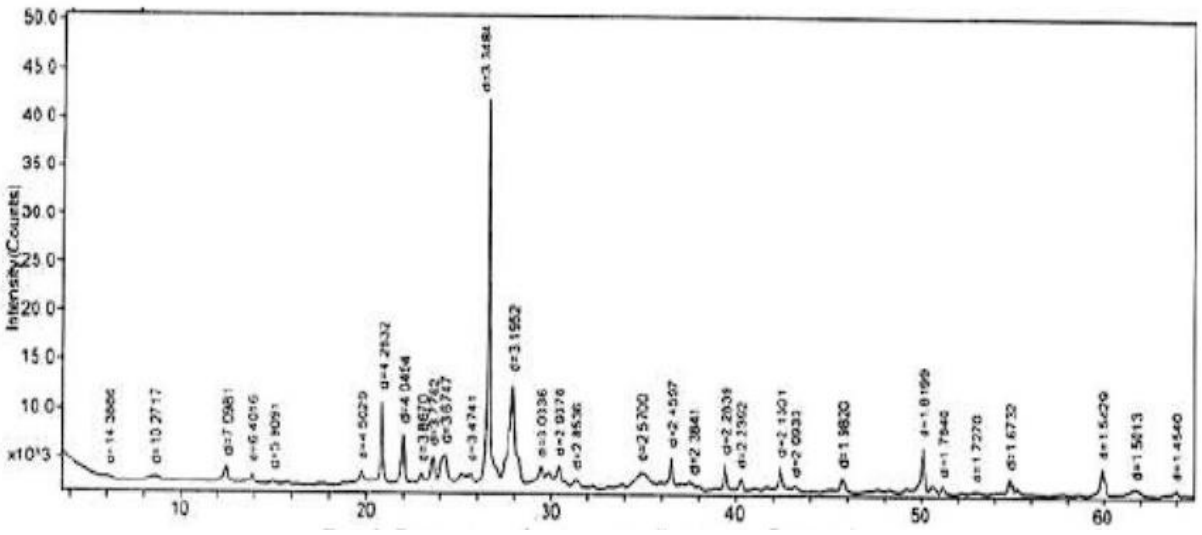

Рисунок 2.6. - Рентгенодифракционный анализ образца А

Диагностика, анализ. Минералогический состав диагностировали сравнением экспериментальных спектров с эталонными, которые приводились в базе данных PDF-2 программного комплекса Jade 6.5 производства компании MDI.

Проведение количественного анализа осуществляли комплексной полнопрофильной обработкой рентгенологических изображений неориентированных препаратов методом Ритвельда в программе BGMN. Для определения погрешностей использовали метод Ритвельда, позволяющий определять количественные погрешности, во всех случая погрешности принимались не более 2-3%. В общую ошибку определения входят расчётные ошибки каждой из фаз, она определяется в весовых процентах. Соответственно, для каждой отдельной фазы расчётная ошибка будет различной и находиться в диапазоне 0.5-3.0 процента.

Как показал количественный минералогический анализ образца А урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан", руда включает следующие минералы:

кварц – 34.5%; кальцит – 3.0%; плагиоклазы (альбит) – 30.7%; плагиоклазы (анортит) – 2.9%; магнетит – 1.7%; иллитсмектит (смешанослойный минерал с преобладанием иллитовых межслоёв) – 21.0%; хлорит - 6.3%.

В таблицах 2.8 и 2.9 приведён химический состав образца А, выполненный на основании рентгенофлуоресцентного анализа образца.

Таблица 2.8. - Химический состав образца А по данным рентгенофлуоресцентного анализа

Определяемые химические элементы (в %)											
U	Bi	Ti	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr
0.361	0.020	0.435	0.003	0.214	3.928	0.003	0.001	0.180	0.026	0.115	0.047

Таблица 2.9. – Общий химический состав образца А, выполненный на основании рентгенофлуоресцентного анализа

Химические элементы, %									
Sr	***Sb***	***Zr***	***Sc***	***Ti***	***Se***	***V***	***Zn***	***Si***	***Sn***
0.019	0.01	0.019	$8\cdot10^{-4}$	0.31	0.006	0.006	0.015	0.022	0.027
Bi	***Al***	***Cr***	***As***	***Co***	***B***	***Cd***	***Ba***	***Ca***	***Be***
$6\cdot10^{-4}$	8.2	0.016	0.007	0.002	0.011	$<5\cdot10^{-4}$	0.011	1.55	$3\cdot10^{-4}$
Tb	***U***	***Lu***	***Yb***	***Nd***	***Y***	***Pr***	***Tm***	***Sm***	***La***
$<5\cdot10^{-4}$	0.31	$2\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-4}$	0.004	0.003	$9\cdot10^{-4}$	$<5\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	0.003
Mo	***Cu***	***Re***	***Fe***	***Pb***	***K***	***Ni***	***Mg***	***Na***	***Mn***
0.001	0.04	<0.001	3.5	0.025	30.87	0.002	0.68	2.59	0.05
Dy	***Ga***	***Ho***	***Nb***	***Gd***	***Ta***	***Eu***	***W***	***Er***	***Ce***
$5\cdot10^{-4}$	0.004	$<5\cdot10^{-4}$	0.024	0.001	0.007	$2\cdot10^{-4}$	0.004	0.001	0.005

Термический анализ образца А. Два образца урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан" изучены методом ДСК - дифференциально-сканирующей калориметрии. При анализе образцов на оборудовании NETZSCH-STA-449 имелась возможность одновременной записи кривых линий термогравиметрии (ТГ) и кривых линий ДСК. Кривые линии ТГ и ДСК снимались при следующих параметрах – навеска образца 50 мг, скорость нагрева образца 10°С в мин, атмосфера воздуха или аргона, тигли из корунда с притёртыми крышками.

По результатам дифференциально-сканирующей калориметрии двух образцов было определено, что руда указанного месторождения представлена минералами – слюдистыми минералами, кварцем, каолинитом и доломитом.

Каолинит. Кривые ДСК, характеризующие каолинит, показали проявление трёх основных эффектов, среди которых два эффекта являлись эндотермиче-

скими (при 81 и 518°С) и один - экзотермическим, проявление которого произошло при 893°С. Первый эндотермический эффект (при 81°С) является свидетельством нестабильной структуры каолинита, его проявление происходит при удалении адсорбированной воды с поверхности каолинита. Также он свидетельствует о незначительной (около 0.65%) потере массы образца. Второй эндотермический эффект является свидетельством дегидросилизации каолинита. Его проявление сопровождается также незначительной (1.38%) потерей массы образца, соответствующей 9.9% каолинита в образце, что проявляется в температурном диапазоне 400-600°С. Экзотермический эффект проявляется слабо, имеет максимум при 893°С, его проявление свидетельствует дисперсию каолинита и его переход в фазу шпинели.

Кварц – в образце А урановой руды месторождения "Центральный Таджикистан" кварц был определён по характерному пику, максимум которого провился при температуре 571°С, этот пик является свидетельством перехода кварца из α-формы в β-форму.

Карбонат. Кривая ДСК, характеризующая карбонаты, в температурном диапазоне 650-800°С демонстрирует проявление эндотермического эффекта, который характеризует термическую диссоциацию присутствующего в образце минерала доломита. Этот эндоэффект проявляется при максимуме температуры 727°С. Также здесь имеется проявление незначительного эндотермического эффекта, проявляющегося при максимуме 775°С. Имея результаты термогравиметрического анализа, имеется возможность расчёта в образце количественных соотношений доломита (как примеси) и карбонатов по формуле:

$$\mathrm{C}_{(\text{доломита})} = \frac{\mathrm{M}_{Ca,Mg(CO)_3}}{n M_{CO_2}} d = \frac{46}{12} d = 4.18 \cdot 1.6 = 6.7\%.$$

Слюда. Показано проявление эндотермического эффекта при максимуме 1000°С, что является свидетельством разложения кристаллической решётки слюды и удаления конституциональной воды. Здесь проявился ещё один незначительный экзотермический эффект, имеющий максимум пика при 825°С, что является свидетельством окисления железа в слюде.

Альфа-спектрометрическое исследование образца А. Данным методом исследовались два образца почвы после её озоления с кодами ЭТ-14-05 (вес образца 201.6 грамм) и ЭТ-14-06 (вес образца 202.4 грамма). Анализ ураносодержащих образцов осуществлялся согласно Инструкции НСАМ № 433-ЯФ, рег. номер № 46-У-П/99-03. «Методика выполнения измерений удельной активности изотопов урана (234, 238) в почвах, грунтах, горных породах и строительных материалах на их основе альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой». Методика предназначена для количественного определения удельной активности изотопов урана (U-234, U-238) в пробах почв, грунтов, горных пород и строительных материалов на их основе.

Измеренный диапазон активности для каждого из изотопов находится в пределах 5-104 Бк/кг. В измерениях общая неопределенность результатов составила 30% и менее (при P = 0.95). Минимум измеряемых величин удельной активности изотопов урана составил 5 Бк/кг (масса образца по аналитической массе составляла $5.0 \cdot 10^{-3}$ кг).

Измерения удельной активности прводили специальным оборудованием - 12-канальным радиометром-спектрометром α-излучения ALPHA ANALYST (США, Canberra Industries, серийный номер 13000025) с детекторами α-излучения ALPHA PIPS и программным обеспечением Alpha Analyst Genie-2000.

В образцах удельная активность радионуклидов регистрировалась импульсами в энергетических диапазонах, которые приведены в таблице 2.10.

Для радионуклидов – U-234, U-235 U-238 были определены их удельные активности, которые приводятся в таблице 2.11.

Для изотопов урана, которые находились в составе образца ЕТ-14-06, были сняты α-спектры (масса навески 0.2530 г, время измерения 6 часов или 21600 сек) (рисунок 2.7).

Соответственно, α-спектрометрическое исследование образцов позволяет определить для ураносодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан" более эффективные методы переработки. На основании того, что руда

данного месторождения ураносиликатная с содержанием оксида кремния в пределах 34.5% и выше, рекомендовано для её переработки кислотное выщелачивание.

Таблица 2.10. - Импульсы в энергетических диапазонах для исследуемых радионуклидов урана

Нуклид	Правая граница зоны интересов, кэВ	Левая граница зоны интересов, кэВ	Энергии основных пиков, кэВ	Выход, %	Средневзвешенная энергия, кэВ
U-238	4260	4055	4196	77	4184
			4147	23	
U-235	4455	4345	4395	55	4388
			4370	6	
			4364	11	
U-234	4830	4630	4776	72	4761
			4723	27	
U-232	5395	5225	5320	68	5302
			5263	31	

Таблица 2.11. – Удельные активности изотопов урана в образцах, в Бк/кг

U-234	U-235	U-238
49.24 ± 14.77	2.05 ± 0.62	50.26 ± 15.08

На этом основании мы исследовали разложение ураносодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан" сернокислотным методом. Оптимальные условия сернокислотного разложения совпадают с данными работ [15].

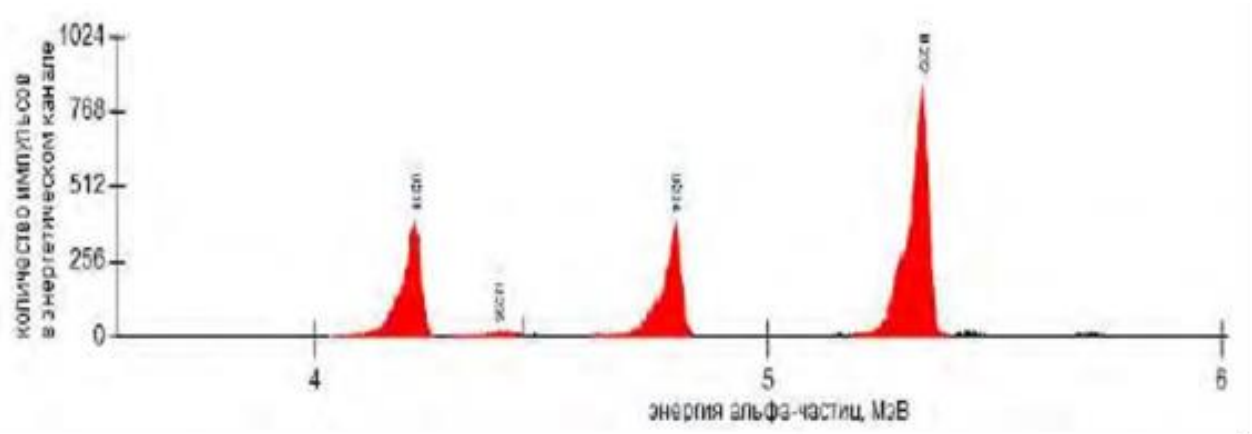

Рисунок 2.7. - α-Спектры изотопов урана образца ЕТ-14-06 (масса навески 0.2530 г, время измерения 6 часов или 21600 секунд)

При сернокислотном разложении руды остаточная кислотность десорбата находилась в границах 80-100 г/л, и было показано, что содержание железа в десорбате в качестве примесных соединений достигает до 1.0% и выше. Осаждение урана из десорбата осуществляется осаждают аммиачной водой 25-процентной, из десорбата ура осаждается в виде U_3O_8.

Процесс осаждения урана осуществляется в равновесных условиях. Диуранат аммония в виде осадка образуется очень быстро в течение нескольких секунд, но формирование структуры осадка в условиях установившегося химического равновесия протекает достаточно медленно. Поэтому ураносодержащие растворы необходимо выдерживать некоторое время после добавления очередных порций аммиачной воды. Время выдержки зависит от объёма аммиачной воды, введённой в процесс.

Важно указать, что природа катиона осадителя и аниона исходной соли уранила при осаждении полиуранатов не зависит от pH, но при этом на pH оказывает влияние равновесная концентрация урана в ураносодержащих растворах, что видно из рисунка 2.8.

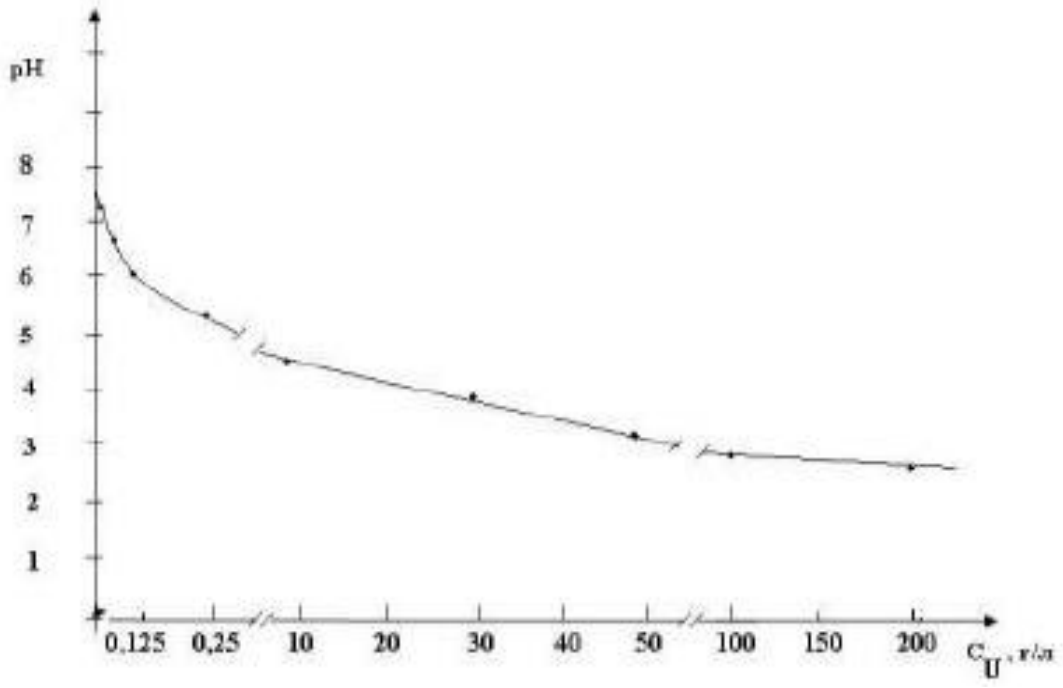

Рисунок 2.8. – Влияние концентрации урана в растворах на pH среды в процессе осаждения диуранатов

Согласно рисунку 2.8 можно заключить, что для полного осаждения из ураносодержащих растворов урана в конце осаждения значения pH растворов должны быть высокими. Следующей стадией является фильтрация диураната через фильтр-пресс, и отправка маточных растворов в хвостохранилище (с содержаниями урана $0.5 \cdot 10^{-2}$-$2.4 \cdot 10^{-2}$ г/литр).

С практической точки зрения получение диураната представляется интересным и имеет эффективное технологическое решение, поскольку из диураната после его прокаливания легко получают соединения урана в его оксидной форме - U_3O_8.

Определив оптимальные параметры разложения ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" сернокислотным выщелачиванием, была разработана усреднённая технология этого процесса в виде блок-схемы (рисунок 2.9).

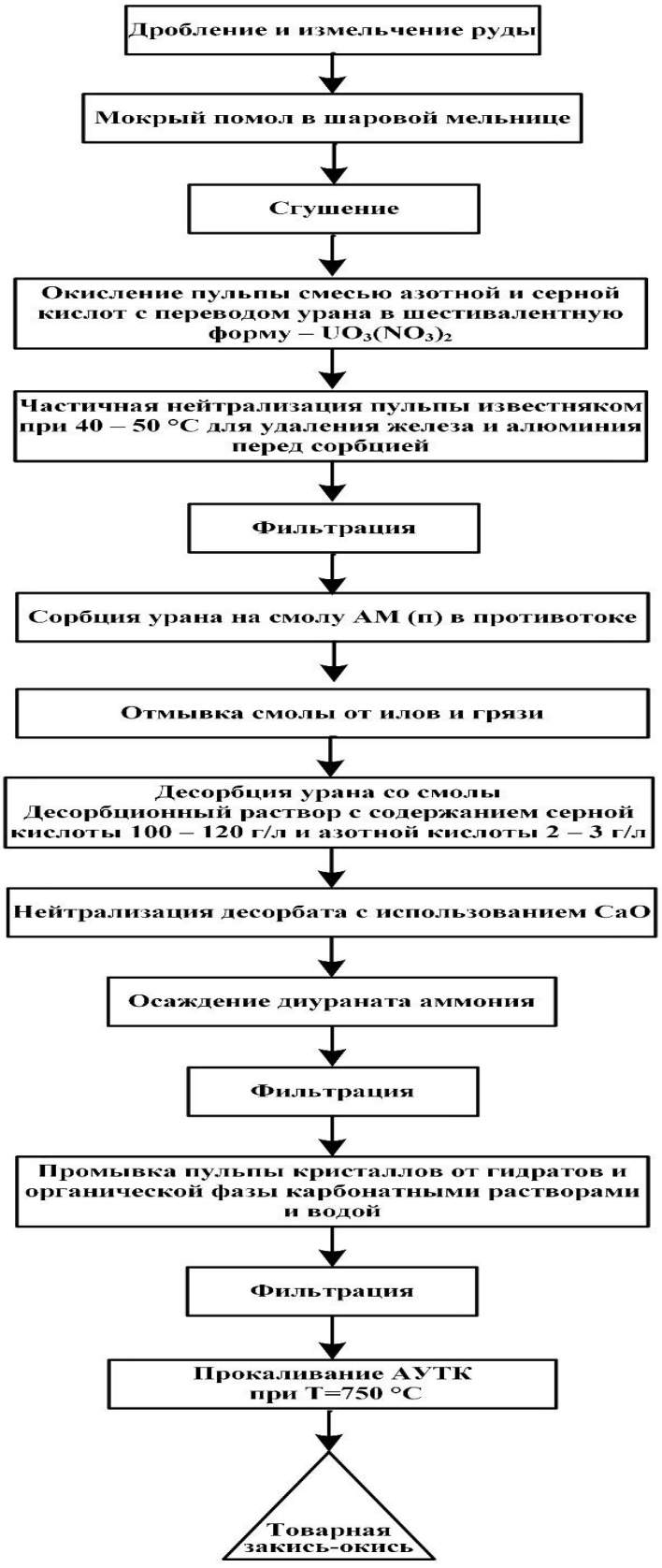

Рисунок 2.9. - Усреднённая технология – блок-схема по сернокислотному выщелачиванию ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан"

Как видно из рисунка 2.9, разработанная усреднённая технология – блок-схема по сернокислотному выщелачиванию ураносодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" состоит из следующих технологических ступеней: рудоподготовка, предварительная водная обработка, сгущение, выщелачивание, сорбция смолой АМ(п), десорбция, нейтрализация десорбата, осаждение диураната аммония, сушка и прокаливание конечного продукта в виде оксида урана - U_3O_8.

Разработанная усреднённая технология в виде блок-схемы по сернокислотному выщелачиванию руд месторождения "Центральный Таджикистан" от классических технологий имеет отличия в том, что в процессе известняк перед стадией осаждения из десорбата диураната аммония нейтрализует некоторые количества избыточной кислоты. Использование данной технологии значительно экономит расход аммиачной водв (в 2 и более раз), при этом извлечение урана по разработанной технологии осаждения достигает 99% и более.

2.4. Вторичная переработка отходов урановой промышленности

2.4.1. Термодинамическая оценка разложения отходов урановой промышленности

До настоящего времени были проведены исследования, направленные на разработку эффективных методов по выделению ураносодержащих соединений из хвостохранилищ. Исследование возможностей переработки отходов прошлых лет, так называемого уранового наследия Советского Союза, с точки зрения экономической целесообразности требует углублённого изучения как эффективного извлечения урана, так и безопасной переработки отходов, хранящихся в урановых хвостохранилищах. И прежде всего, требуется термодинамическая оценка по извлечению из ураносодержащих отходов урановых соединений.

Современные проблемы Таджикистана в области радиологии и экологии возникли и связаны с наследием ранее развивавшихся бурными темпами урано-добывающей и ураноперерабатывающей отраслей промышленности бывшего СССР. Разработка многих месторождений урановых руд Таджикистана была

полностью прекращена после распада СССР. Но после прекращения деятельности ураноперерабатывающих производств и закрытия уранодобывающих рудников в Таджикистане возникла проблема безопасного обращения с отходами, закрытия рудников и необходимости восстановления территорий, на которых ранее осуществлялась деятельность по добыче и переработке урановых руд.

Анализ химического и минералогического состава урановых хвостохранилищ на территории северного Таджикистана показал целесообразность вторичной переработки отходов г. Бустон. Для нахождения оптимальных параметров процесса вторичной переработки урановых отходов необходим термодинамический анализ разложения сырья серной кислотой.

Хвостохранилище города Бустон носит название "Карта 1-9", в его составе находится девять намывных локальных карт. Это хвостохранилище территориально располагается в промышленной зоне гидрометаллургического завода, на расстоянии всего 200 метров от ГМЗ. От города Худжанд находится в 5-и км. Площадь этого хвостохранилища значительная, по территории занимающая 18 гектаров. Вокруг хвостохранилища расположена санитарно-защитная зона, составляющая примерно 50 метров.

Эксплуатация хвостохранилища "Карта 1-9" осуществлялась в период 1945-1963 годов, в течение которых на территории было складировано в общей сложности более четырёх миллионов тонн радиоактивных отходов гидрометаллургической переработки ураносодержащей руды. Этому хвостохранилищу присвоена категория "частично законсервированного". На территории санитарной зоны протекают рукава Ферганского канала и находятся хлопковые плантации Б.Гафуровского района. Хвостохранилище расположено в зоне умеренного климата. Остатки являются кислыми, с pH 5-6; количество осадков среднегодовое не более 400 мм; температура воздуха среднегодовая равна (+20°С), ветер в основном западный до 10-15 метров в секунду.

На территории хвостохранилища проведены измерения мощности γ-излучения, составившие 150-275 мкР/час, величины суммарной активности на поверхности определены в 780 Кюри.

На поверхности хвостохранилища в 1975 были проведены защитные мероприятия, поверхность покрыта галечниковым слоем толщиной один метр. Имеет наблюдательные скважины в количестве 13 штук. Система отвода воды не предусмотрена и отсутствует.

Характеристики, которые определены нами для урансодержащих материалов хвостохранилища "Карта 1-9", обобщаются на рисунке 2.10 и в таблице 2.12.

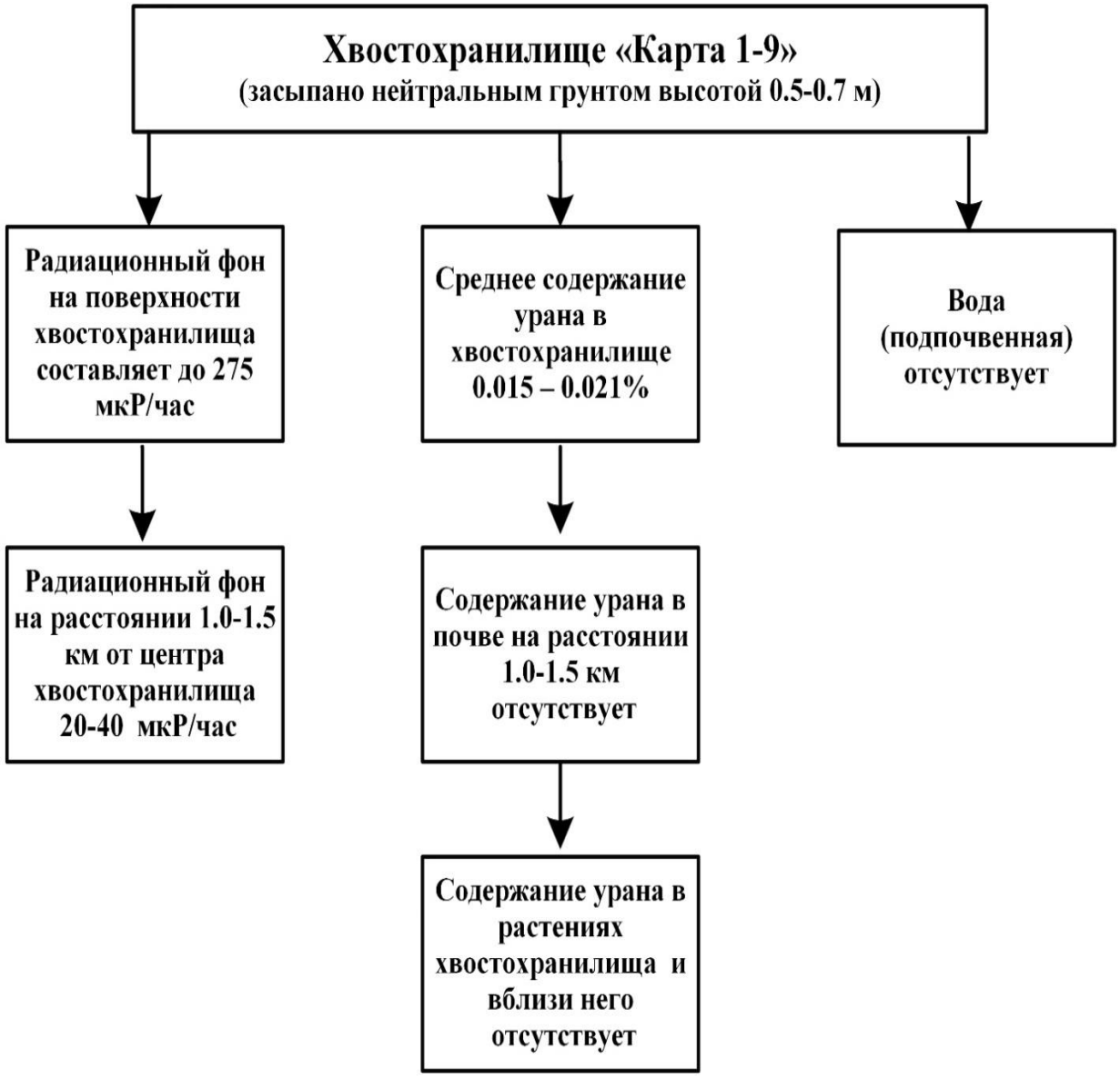

Рисунок 2.10. - Состояние уранового хвостохранилища "Карта 1-9" г. Бустон

Таблица 2.12. - Распределение долгоживущих радионуклидов на территории хвостохранилища "Карта 1-9" (Бк/кг)

Радионуклиды	max	min
^{40}K	6840	2660
^{232}Th	560	88
^{226}Ra	42760	2490

Химический состав урановых отходов хвостохранилища "Карта 1-9" города Бустон приведён в таблице 2.13. Для химического анализа ураносодержащих отходов использован метод комплексонометрии, весовой метод и метод пламенной фотометрии.

Таблица 2.13. – Химические характеристики ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9"

Компоненты	U	MgO	CaO	MnO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Прочие
Содержание в отходах (%)	0.02	3.8	2.5	0.3	4.1	10.7	69.4	9.18

Рентгенофазовый и дифференционно-термический анализ проводили с целью установления состава минералов в отходах урановой промышленности "Карта 1-9" г. Бустон (таблица 2.14).

Для всех возможных минералов хвостохранилища "Карта 1-9" были найдены энтальпия и энтропия веществ, используя справочные данные.

Возможность химических реакций разложения отходов хвостохранилища "Карта 1-9" с учётом окислителя (HNO_3) приведена ниже (реакции (2.1)-(2.6)).

$$UO_2+H_2SO_4+2HNO_3 \rightarrow UO_2SO_4+2NO_2+2H_2O, \quad (2.1)$$

$$ThO_2+2H_2SO_4 \rightarrow Th(SO_4)_2+2H_2O, \quad (2.2)$$

$$Al_2O_3+3H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3+3H_2O, \quad (2.3)$$

$$Mg(OH)_2+H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4+2H_2O, \quad (2.4)$$

$$2MnO_2+2H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4+O_2+2H_2O, \quad (2.5)$$

$$Fe_2O_3+3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3+3H_2O. \quad (2.6)$$

Для реакций (2.1)-(2.6) были произведены вычисления их термодинамических параметров ΔH^0_{298}, кДж/моль – энтальпии, ΔS^0_{298}, кДж/моль $\cdot K$ – энтропии, ΔG^0_{298}, кДж/моль – энергии Гиббса (таблица 2.15).

Таблица 2.14. - Термодинамические характеристики минералов хвостохранилища "Карта 1-9"

Вещество	ΔH^0_{298}, кДж/моль	ΔS^0_{298}, кДж/моль $\cdot K$
$UO_{2(\text{твёрдый})}$	-1081,23	0,08
$UO_2SO_{4\ (\text{раствор})}$	-1929,7	0,0812
$HNO_{3\ (\text{жидкость})}$	-174,14	0,155
$H_2SO_{4\ (\text{раствор})}$	-745,651	0,018
$O_{2\ (\text{газ})}$	0	0,205
$NO_{2\ (\text{газ})}$	33,5	0,24
$H_2O_{(\text{жидкость})}$	-285,8	0,07
$Fe_2O_{3\ (\text{твёрдый})}$	-822,16	0,0875
$Fe_2(SO_4)_{3\ (\text{раствор})}$	-2825,7	-0,564
$Al_2O_{3\ (\text{твёрдый})}$	-1675,692	0,051
$Al_2(SO_4)_{3\ (\text{раствор})}$	-3792,33	-0,055
$Th_2O_{2\ (\text{твёрдый})}$	-1226,75	0,065
$Th(SO_4)_{2\ (\text{раствор})}$	-2604,372	-0,382
$MnO_{2(\text{твёрдый})}$	-521,493	0,053
$MnSO_{4\ (\text{раствор})}$	-1131,144	-0,044
$Mg(OH)_{2\ (\text{твёрдый})}$	-924,66	0,0632
$MgSO_{4\ (\text{раствор})}$	-1379,1	-0,116
$Na_2SO_{4\ (\text{раствор})}$	-1395,9	0,136
$CaSO_{4\ (\text{раствор})}$	-1454,06	-0,04

Таблица 2.15. – Термодинамические критерии химических реакций взаимодействия компонентов хвостохранилища "Карта 1-9"

Реакция	ΔH^0_{298}, кДж/моль	ΔS^0_{298}, кДж/моль · K	ΔG^0_{298}, кДж/моль
(2.1)	-190,62	0,006	-192,41
(2.2)	-457,92	-0,341	-356,3
(2.3)	-737,1	0,05	-752
(2.4)	-280,39	0,024	-287,542
(2.5)	-299,6	0,115	-333,87
(2.6)	-623,99	-0,495	-476,48

Результаты расчёта термодинамических характеристик предполагаемых реакций (2.1)-(2.6) (таблица 2.15) указывают на вероятность протекания процесса в стандартных условиях.

В таблице 2.16 и на рисунке 2.11 приведены результаты влияния температуры на термодинамический параметр - энергию Гиббса в предполагаемых химических реакциях (2.1)-(2.6). Из таблицы 2.16 и рисунка 2.11 можно заключить, что протекание указанных реакций активируется с увеличением температуры процесса.

Таблица 2.16. – Изменение энергии Гиббса (ΔG, кДж/моль) для реакций (2.1)-(2.6) в зависимости от изменения температуры

№ 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

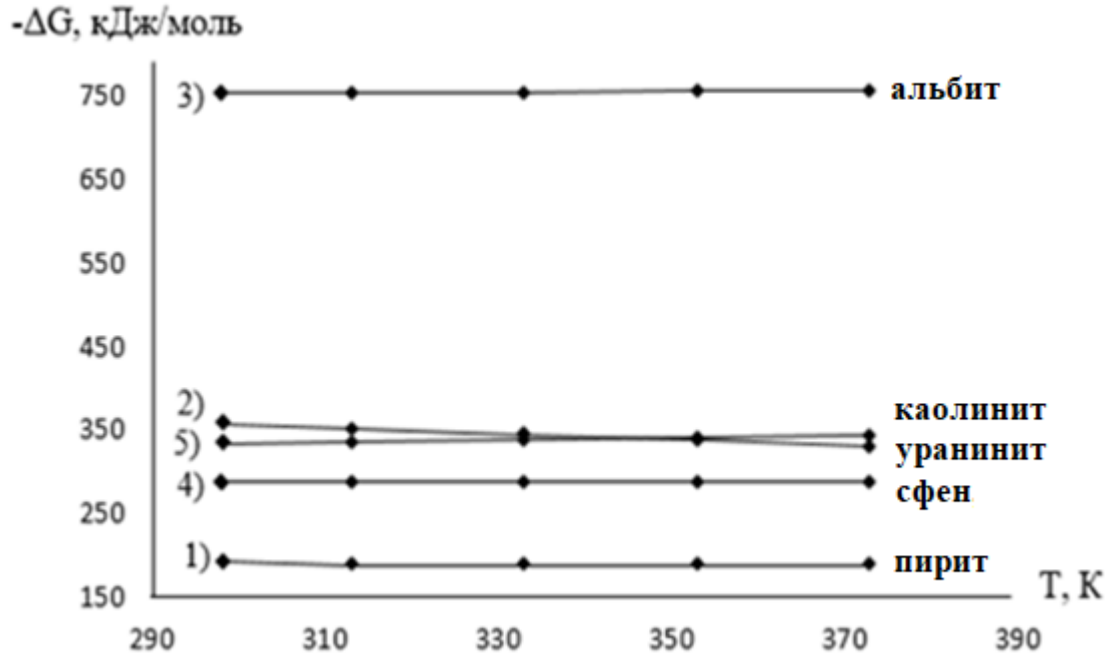

Рисунок 2.11. - Зависимость изменения ΔG от температуры выщелачивания минералов, содержащихся в хвостохранилище "Карта 1-9"

Таким образом, термодинамический анализ отходов урановой промышленности показывает вероятность протекании реакций (2.1)-(2.6) при разложении минеральными кислотами.

2.4.2. Переработка отходов урановой промышленности сернокислотным методом

Деятельность по переработке ураносодержащих отходов, образованных в процессе добычи урана широко освещается в литературных источниках. Например, в хвостах техногенного хвостохранилища "Карта 1-9" города Бустон широко представлен кварц, его содержание в хвостах достигает до 70%, исходя из чего для переработки указанных хвостов целесообразно проводить их кислотную переработку. В данном подразделе приводятся результаты лабораторных исследований по переработке ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9", извлечению урана в продуктивные растворы при сернокислотной переработке (таблица 2.17). На основании результатов из таблицы 2.17 сделано заклю-

чение, что хвосты, содержащие уран в количестве 0.008-0.021%, достаточно хорошо разлагаются серной кислотой с выходом ураносодержащих растворов с содержаниями урана 61% и выше. Данный факт объясняется тем, что H_2SO_4 способна хорошо разлагать хвосты. Кроме того, хвостовой материал длительное время находится в щелочной среде, что позволяет извлекать из них уран без дополнительного измельчения.

Таблица 2.17. – Зависимости извлечения урана от расходов H_2SO_4 при условиях τ=10 ч, Т=20°С, U=0,018%

Соотношение Ж:Т=2:1		Соотношение Ж:Т=1:1	
Расходы H_2SO_4, кг/тонну хвостов	Извлечение U в раствор (%)	Расходы H_2SO_4, кг/тонну хвостов	Извлечение U в раствор (%)
60	23	60	20
90	26	90	24
100	35	100	31
110	40	110	37
120	43	120	39
130	48	130	41
180	54	180	46
350	61	350	55

Для оптимального разложения ураносодержащих отходов определены следующие критерии: соотношение Ж:Т=1:1, τ=6 ч, Т варьировали от 293 К до 353 К (рисунок 2.12).

Для ураносодержащих отходов были изучены кинетические показатели, изучение которых осуществлялось в изотермических условиях, пульпу выдерживали в термостатированном реакторе в течение 10 часов при поддержании Т=293-353 К, с добавлением серной кислоты в количестве 180 кг на тонну отходов. Были построены кинетические кривые разложения ураносодержащих отхо-

дов, по которым сделано заключение о повышении скорости разложения и увеличении извлечения урана при увеличении времени разложения до 10 ч (max) и температуры до 353 K (max).

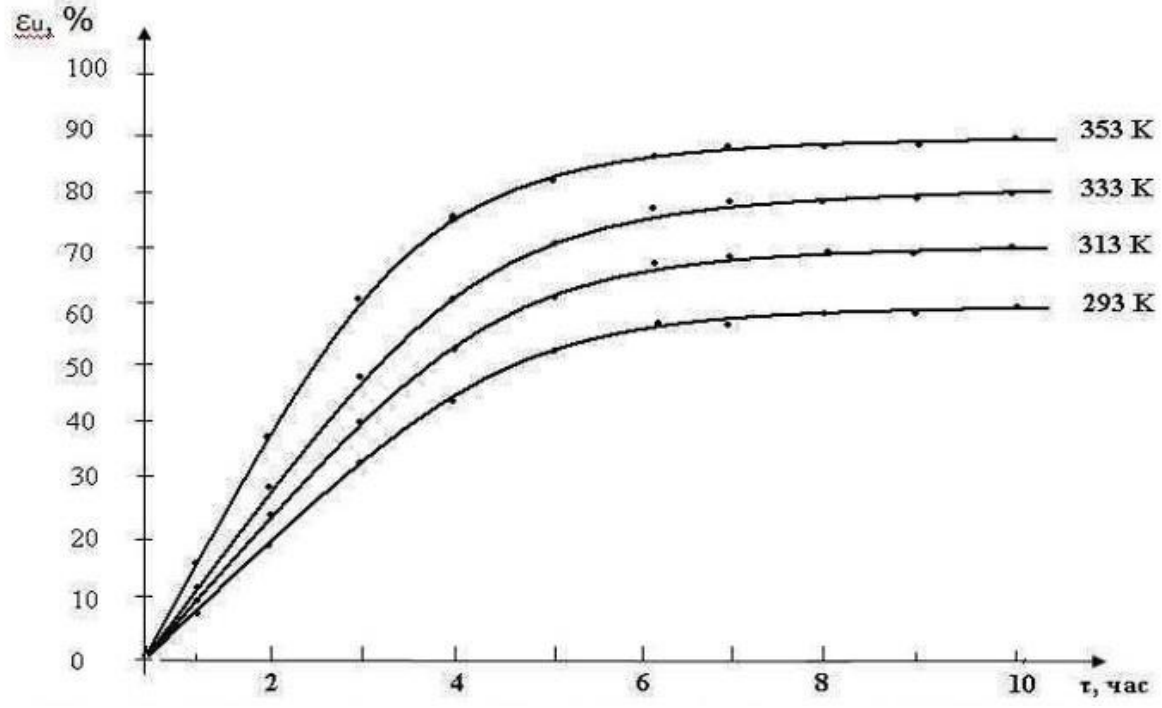

Рисунок 2.12. – Кинетика разложения ураносодержащих отходов (содержание U=0.018%, Ж:Т=2:1

В исследуемом температурном диапазоне 293-313-333-353 K извлечение урана также соответственно увеличивается в пределах 60-90%. Как видно из рисунка 2.12, разложения ураносодержащих отходов до трёх часов является линейным, в интервале 3-5 часов – параболическим, и свыше 6 часов - практически прекращается.

Построен график зависимости извлечения урана в координатах (ось x - $1/T \cdot 10^{-3}$, ось y – LgK (рисунок 2.13). Все экспериментально вычисленные точки раполагаются на графике, представляя собой почти прямую линию, эта зависимость подчиняется уравнению Аррениуса. Одной из определяемых нами кинетических характеристик данного процесса являлась энергия активации (E), её определили на основе tg α (угол наклона) полученной прямой линии и её наклона

относительно оси у. Для указанного процесса получили веичину энергия активации (Е), составившую 6.0 кДж/моль, то есть разложение ураносодержащих отходов является кинетическим процессом (таблица 2.18).

Таблица 2.18. – Кинетико-энергетические величины разложения ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9"

Температура разложения (градус К)	Расход H_2SO_4 на разложение, кг/т	Энергия активации, кДж/моль	Истинная скорость разложения (% в час)
293	180	60	1.00
313	180		1.23
333	180		1.54
353	180		1.96

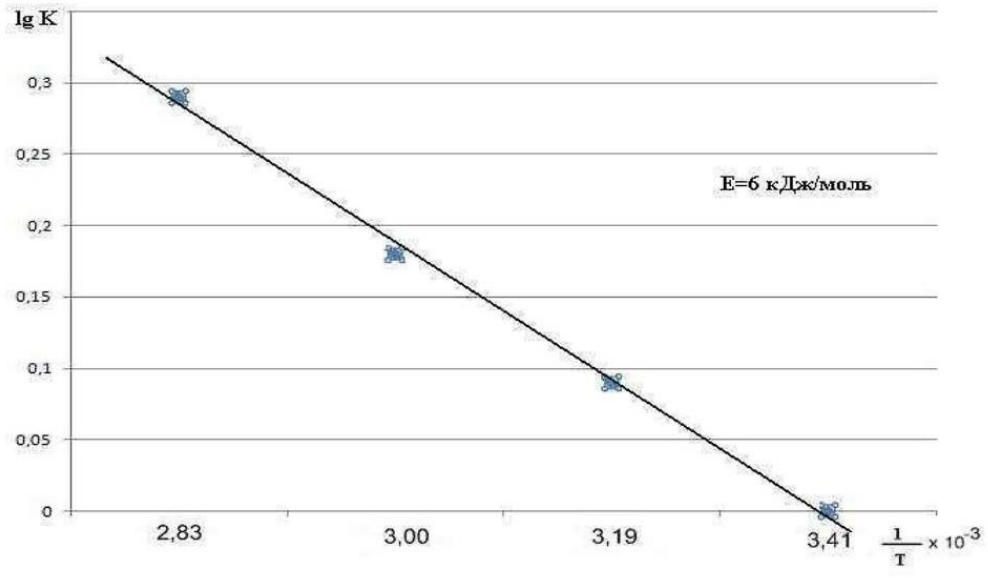

Рисунок 2.13. – График зависимости извлечения урана в координатах $(1/T \cdot 10^{-3})$ / LgK

Следовательно, проведённая серия опытов позволяет заключить, что вторичная переработка ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9"

представляется перспективной, если для переработки использовать сернокислотный способ. С учётом кинетических критериев для указанных ураносодержащих отходов разработана авторская усреднённая обобщённая технология их переработки (рисунок 2.14).

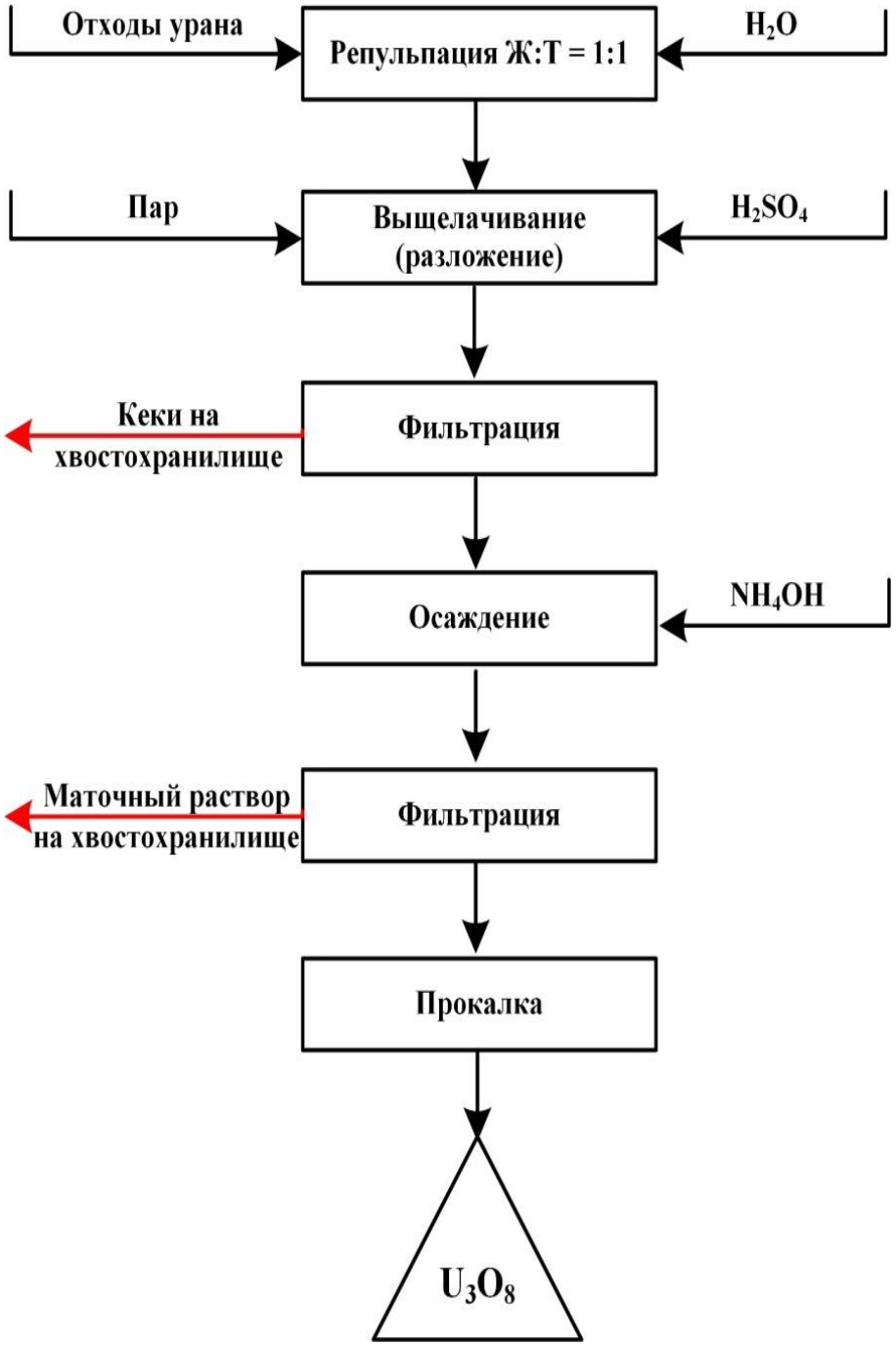

Рисунок 2.14. - Усреднённая обобщённая технология переработки ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9"

2.5. Заключение по второй главе

Вторая глава диссертации посвящена методологии и экспериментальным методикам и техникам обращения с радиоактивными веществами. Для ураносодержащих материалов хвостохранилищ проведено определение их химико-минералогических характеристик. Приводятся отличительные характеристики технологий по извлечению ураносодержащих соединенрий из руд двух месторождений Таджикистана – месторождений <<Центральный Таджикистан>> и <<Танзим>>. Для руд месторождения <<Танзим>> показана эффективность её разложения методом карбонатного выщелачивания, что связано с особенностями минералогического строения руды этого месторождения. Во второй главе также рассматриваются вопросы переработки ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9", расположенного в городе Бустон.

Переработка уранового сырья представляется важной проблемой, остро стоящей перед горноперерабатывающей отраслью промышленности страны, так как в настоящее время на севере республики располагаются десять хвостохранилищ - свалок радиоактивных отходов, являющихся урановым наследием бывшего СССР. По общей площади они занимают территорию свыше 180 гектаров, где складировано более 55 млн. тонн отходов уранодобывающих и перерабатывающих предприятий. Хвостохранилища находятся в районах с высокой населённостью, а также в верховьях притоков реки Сырдарья. Состояние большинства из них представляет серьёзную опасность для окружающей среды и здоровья людей.

Во всех радиоактивных хвостохранилищах основными загрязняющими биосферу естественными радионуклидами являются уран, радий, торий, полоний.

Ранее Хакимов Н. с соавт. [40] провели физико-химические исследования извлечения урана из отходов различных хвостохранилищ, ими были проведены исследования разложения отходов с использованием H_2SO_4. Показана возможность извлечения урана до 93.85-94.0% при оптимальных величинах процесса разложения (τ=6 ч, Т=65-70°С, расход H_2SO_4 = 180 кг/тонну отходов). Получены

и изучены кинетические кривые линии, характеризующие энергию активацию (16.0 кДж/моль), согласно которой определили, что протекание разложения является диффузионным процессом.

Принимая во внимание проведённые ранее исследования, относящиеся ко вторичной переработке отходов бывшей уранодобывающей и ураноперерабатывающей деятельности, мы уделили внимание вопросам, касающимся вторичной переработки ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9", расположенного в городе Бустон.

Хвостохранилище ураносодержащих отходов "Карта 1-9", расположенное в городе Бустон, для вторичной переработки представляется перспективным. Из отходов этого хвостохранилища имеется возможность при разработке соответствующих технологий эффективно извлекать определённые содержания ураносодержащих соединений, в частности, уран в виде U_3O_8. Представлена сравнительная оценка получения урана из отдельных ураносодержащих хвостохранилищ, расположенных на севере страны.

Во второй главе изучены физико-химические основные принципы разложения руд месторождений "Центральный Таджикистан" и "Танзим". Характеристики ураносодержащих руд были подробно изучены, для чего использовалось новейшее оборудование и современных методы анализа – рентгеноструктурный анализ и ДТА. Ураносодержащие материалы хвостохранилища "Карта 1-9" также были исследованы с термодинамической точки зрения проведением термодинамического анализа процессов, которые происходят при разложении указанных материалов, исследованы кинетико-энергетические параметры, характеризующие данное разложение.

Итак, во второй главе рассмотрены и решены следующие вопросы.

Химический и минералогический состав ураносодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9", расположенного в городе Бустон, руд "Центральный Таджикистан" и "Танзим" изучен современными методами анализа, включая рентгенофазовый, дифференциально-термический, химический и др.

На основании проведённого термодинамического анализ процессов, происходящих при разложении урансодержащих материалов, показана возможность разложения отдельных руд и отдельных рудных минералов.

Показана перспективность вторичной переработки уранодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9", если для переработки использовать сернокислотный способ. С учётом кинетических критериев для указанных уранодержащих отходов разработана авторская усреднённая обобщённая технология их переработки.

Установлены оптимальные характеристики переработки уранодержащей руды месторождения "Танзим" методом сернокислотного выщелачивания с дальнейшим осаждением урана оксидом кальция, разработана усреднённая схематическая технология переработки урановой руды месторождения "Танзим". Использование на стадии осаждения оксида кальция экономит дорогостоящую аммиачную воду.

Показана перспективность карбонатной переработка уранодержащей руды месторождения "Танзим" со средним оптимальным извлечением урана 72%, достигаемым при расходе соды 200 кг/тонну.

Разработаны усреднённые схематические технологии разложения уранодержащих руд месторождения "Центральный Таджикистан" и "Танзим", уранодержащих отходов хвостохранилища "Карта 1-9", которые состояли из следующих технологических ступеней: рудоподготовка, разложение, сорбция смолой АМ(п), десорбция, осаждение диураната аммония, сушка и прокаливание конечного продукта в виде оксида урана - U_3O_8.

ГЛАВА 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОД ОТ РАДИОНУКЛИДОВ

3.1. Очистка воды коагулянтами и сорбция радионуклидов местными сырьевыми сорбентами

Природные воды могут содержать радиоактивные вещества (РВ) за счёт пород, содержащих радиоактивные элементы (уран, радий, торий и др.). Воды также загрязняются РВ при попадании в них стоков от промышленных, исследовательских предприятий и медицинских учреждений, использующих радиоактивные препараты.

Радиоактивному загрязнению подвергаются также различные водные ресурсы, которые являются наиболее уязвимыми звеньями биосферы.

Наиболее эффективное удаление РВ из вод осуществляется аэрацией, сорбцией, мембранной фильтрацией. Наибольшая эффективность при очистке вод от РВ и продуктов их распада достигается при особом комбинировании методов и оборудования в различных вариантах. Достаточно высокую эффективность снижения концентрации РВ в воде показала аэрация (продувание воздухом) воды.

В настоящем подразделе проведено исследование некоторых сорбентов на основе сырьевых местных материалов с целью очистки вод от радионуклидов, а также показана эффективность полученных коагулянтов для удаления из воды радиоактивной взвеси.

Для исследования выбран коагулянт, полученный из цеолитовых руд разложением соляной кислотой.

Цеолиты являются нетрадиционным видом минерального сырья, и в крупных скоплениях не наблюдаются на территории нашей страны. Распространение цеолитовых пород широко выявлено на Северном Памире и Дарвазе. Мы для исследования использовали образец цеолитового сырья, который был отобран в Дарвазском месторождении, определён его химический состав, и образец цеолита показал наличие следующих оксидов: $SiO_2 - 58.3\%, Al_2O_3 -$

$17.9\%, Fe_2O_3 - 4.7\%, Na_2O - 4.7\%, CaO - 3.6\%, Fe_2O - 1.6\%, K_2O - 1.1\%$, некоторые другие оксиды были обнаружены в минимальных количествах.

В рамках этой работы также изучалось влияние различных факторов на солянокислотное извлечение из цеолитов полезных материалов, при варьировании таких факторов, как (Т) – температуры, (τ) – времени солянокислотного разложения, концентрации HCl, класса размола сырья.

Извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 в температурном диапазоне выглядят следующим образом: степень извлечения Al_2O_3 возрастает от 14.0 до 34.0%, а извлечение оксида железа изменяется в пределах от 19.5 до 65.1%.

Показано, что разложение цеолита в течение 120 мин позволяет извлекать Al_2O_3 в количестве 35.2%, оксида железа Fe_2O_3 – 62.3% при параметрах (Т) 80°С, $C_{HCl} = 20\%$, класс размола сырья 0.1 мм. Указанная концентрация HCl является оптимальной концентрацией.

Соответственно, после проведения исследований по разложению цеолитового сырья были определены и рекомендованы для полупромышленных и промышленных испытаний следующие оптимальные критерии солянокислотного разложения: (Т) =70-80°С, (τ) = 90 минут, $C_{HCl} = 20\%$, класс размола сырья 0.1 мм. Поддерживая данные критерии разложения, достигается извлечение Al_2O_3 равное 35.2%, Fe_2O_3 – 62.3%.

Проведены опыты по влиянию предварительного обжига цеолитового сырья на процент извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3, показано, что предварительный обжиг не оказывает влияния на процент извлечения оксидов.

По полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка усреднённой схематической технологии для солянокислотного разложения цеолитового сырья (рисунок 3.1).

Как известно, более широко применяется в практике водоочистки и эффективно снижает содержания примесных соединений в виде коллоидных образований метод осаждения, сущность которого заключается в осаждении коллоидных образований под воздействием силы тяжести. Но мутность природных вод в основном обуславливают примесные частицы малых размеров, поэтому их

осаждение представляется длительным процессом, поскольку диффузные процессы преобладают над силой тяжести. Ввиду того, что примеси в воде в основном являются коллоидными, процесс осаждения ещё более замедляется. Усилить скорости осаждения коллоидных примесных частиц можно коагуляцией примесных соединений из воды. Нами изучена коагулирующая способность полученного смешанного коагулянта из цеолитов.

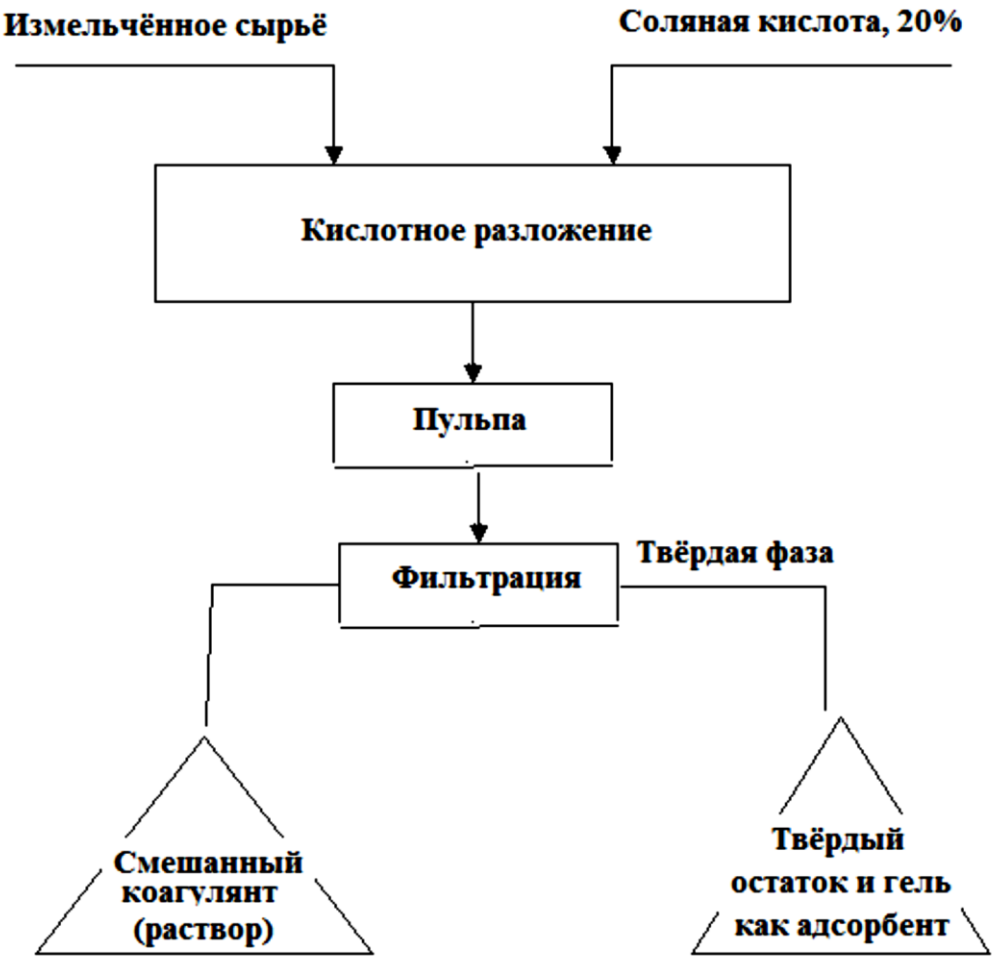

Рисунок 3.1. - Усреднённая схематическая технологии для солянокислотного разложения цеолитового сырья

Коагуляция и её скорость зависят от многих факторов – это содержание в воде естественных примесей, температура коагулянта и воды, точные расчёты доз коагулянтов, условия смешивания коагулянта и воды, скорости смешивания коагулянта и воды и др.

Исходя из изложенного, методом коагуляционного теста определяли дозу коагулянта для вод, которые имели мутность, равную 1005 мг/литр.

Были проведены опыты по сравнению коагуляционной способности стандартных сульфаталюминиевых коагулянтов и смешанных коагулянтов, содержащих в своём составе алюминий и железо (рисунок 3.2).

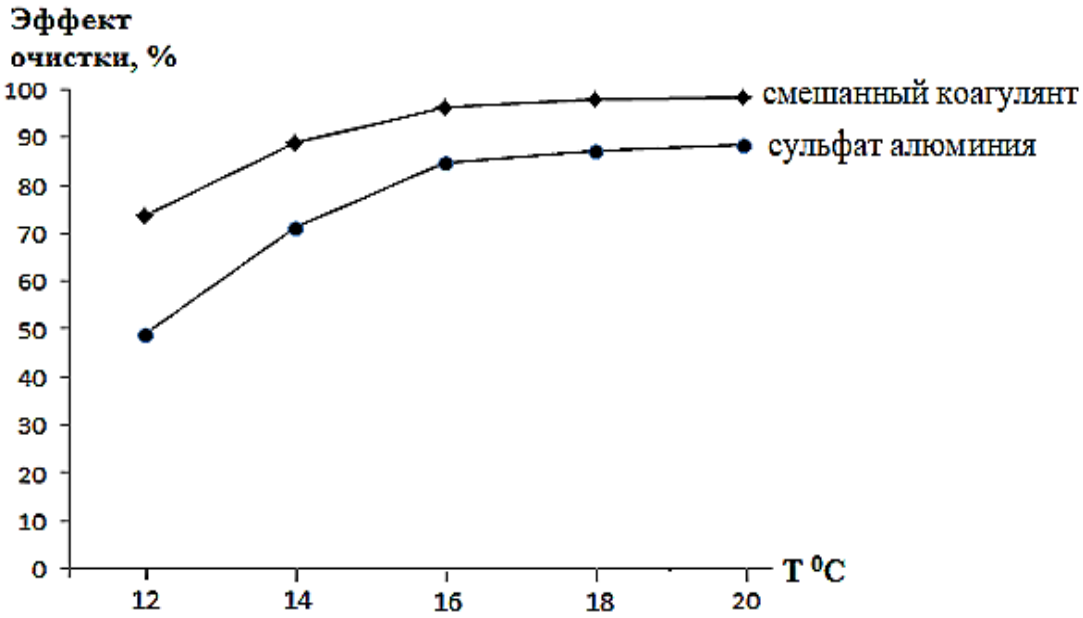

Рисунок 3.2. – Влияние температуры на эффективность коагуляции для различных коагулянтов

Коагулирующая способность коагулянтов в основном зависит от таких основных характеристик процесса коагуляции, как доза коагулянта и время его взаимодействия с водой.

Так, максимальные показатели коагулирования достигаются при увеличении времени коагулирования и увеличении дозы коагулянта. При этом остаточные концентрации взвесей в воде после коагуляции сохраняются в пределах 4.0 мг/литр при следующих коагулирующих параметрах – доза коагулянта 5.0 мг/литр в течение 30 минут.

Смешанный коагулянт, содержащих в своём составе алюминий и железо, полученный нами, эффективно проявляет свои коагулирующие свойства в водах с высокой мутностью и обеспечивает эффект очистки до 98%.

Из рисунка 3.2 можно заключить, что при низких температурах воды в пределах 10-20°С смешанный коагулянт проявляет более сильные коагулирующие характеристики сравнительно стандартного сульфаталюминиевого коагулянта.

Как определено при исследовании, использование для обработки питьевых вод смешанного коагулянта на основе цеолитов в концентрациях не выше 15 мг/литр не вредно для здоровья человека, так как остаточные содержания ионов алюминия и железа очень низкие, значительно ниже предельно допустимых концентраций.

Соответственно, после исследования применения смешанного коагулянта на основе цеолитов для очистки вод от примесных соединений исследовался процесс сорбции радиоактивных нуклидов из воды питьевого и хозяйственного назначения с использованием различных местных сорбционных материалов. После процесса коагуляции определялись содержания урана в воде, которые составляли в среднем 20-50 мг/литр.

Нами предложен способ выделения урана из шахтных вод, где в качестве сорбента используют абрикосовую скорлупу, с последующей десорбацией уранового концентрата. Необходимое количество скорлупы (в количестве 2.0 кг) было загружено в сорбционную колонну, через которую постоянно пропускали шахтные ураносодержащие воды, подкисленные слабой серной кислотой, со скоростью пропускания 1 л в минуту. Однако указанный способ менее эффективен и ограничивается только абрикосовой скорлупой.

В настоящей работе предложен эффективный сорбент, проявивший высокие сорбционные свойства, на основе различного местного сырья – это комплекс (шишки арчи + шишки сосны + скорлупа грецкого ореха), взятых в равных соотношениях.

Эффективность этого природного сорбента достигается тем, что уран сорбировали в адсорбционной колонне не абрикосовой скорлупой, а новым сорбентным комплексом (шишки арчи + шишки сосны + скорлупа грецкого ореха), компоненты которого предварительно измельчали до класса размола 1.0-2.0 мм,

составляющие сорбентного комплекса брались в соотношении 1:1:1, вес сорбентного комплекса составил 2100 г, соответственно, по 700 г каждого.

Смесь сорбционного материала помещают в колонну и через неё пропускают определённый объём подкисленного серной кислотой ураносодержащего раствора, в котором концентрация урана находится от 20 до 50 мг на один литр.

Процесс сорбции протекает непосредственно в сорбционной колонне, на выходе из которой в смеси определяется содержание урана. Продолжительность сорбции урана в колонне – от 12 до 14 часов. Затем сорбент, насыщенный ураном, после после окончания сорбционного процесса сжигается в печи при (T) равной 250-400°С до полного сграния органических составляющих. Золу, содержащую уран, выщелачивают с помощью H_2SO_4 и реагентов-окислителей. Полученная сернокислая масса фильтруется и в фильтрат переходит уранилсульфат. Далее аммиачной водой из раствора осаждают уран в виде U_3O_8, высушивают в вакууме при (T) равной 100-150°С, по этой методике из ураносодержащих шахтных вод извлечение урана достигается до 90-97%.

Таким образом, предлагаемый способ переработки шахтных и дренажных урансодержащих вод позволяет использовать смесь доступных местных сырьевых материалов и выделить ценный продукт U_3O_8, и тем самым предотвратить загрязнение водного бассейна радионуклидами.

По полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка усреднённой схематической технологии очистки от радионуклидов вод реки Сарым-Сахлы-Сай города Истиклол с выделением ценного продукта U_3O_8 (рисунок 3.3).

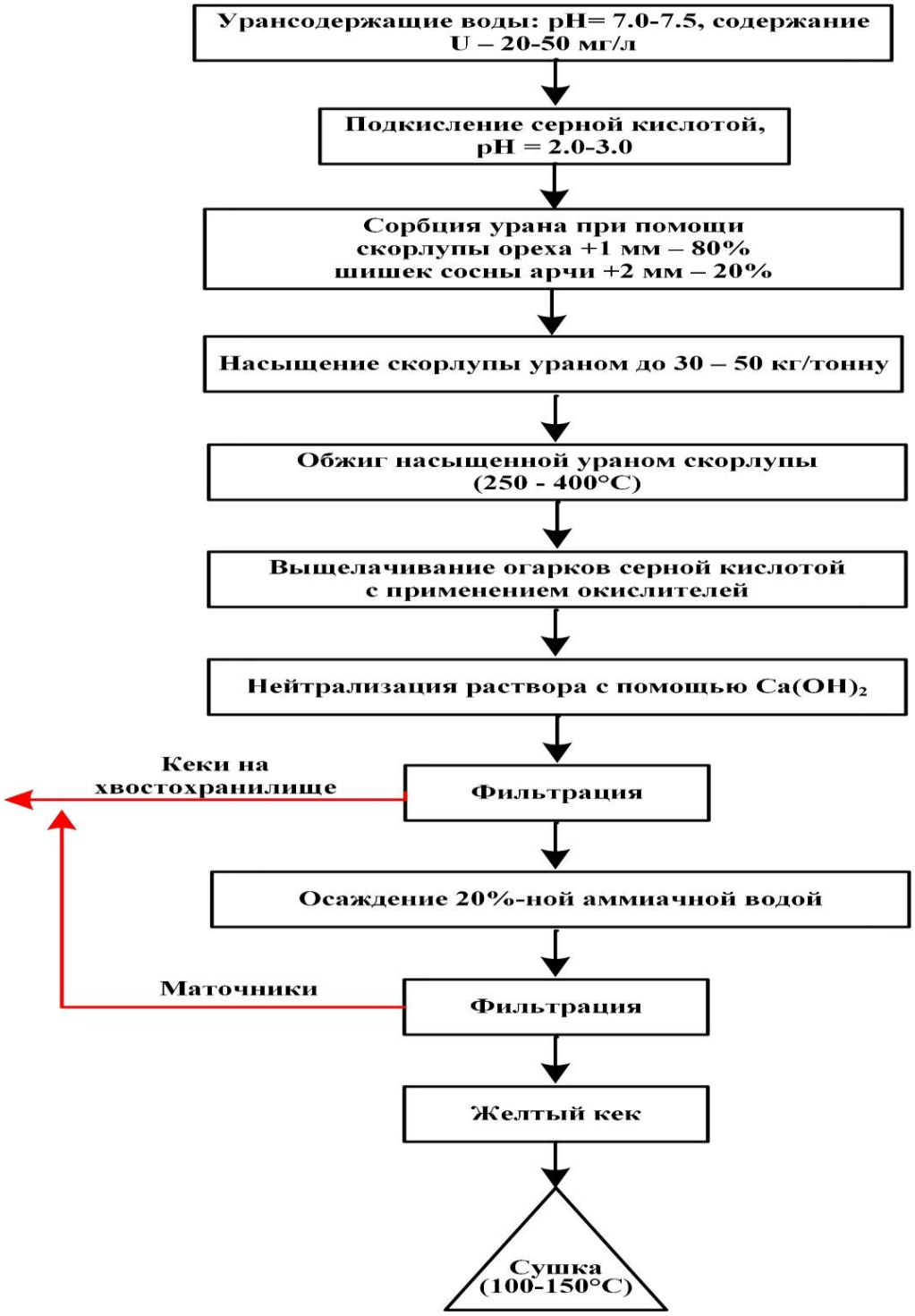

Рисунок 3.3. - Усреднённая схематическая технология очистки от радионуклидов вод реки Сарым-Сахлы-Сай города Истиклол

3.2. Умягчение жёсткости вод с применением активированных бентонитовых глин

Умягчением воды является процесс, в котором из воды удаляются катионы магния и кальция, которые ответственны за жёсткость воды. По ГОСТ 2874-82

"Вода питьевая", в воде жёсткость должна находится в пределах не выше 7.0 мг-экв/л. Некоторые производственные процессы требуют более глубокого умягчения технологических вод, в пределах 0.05-0.07 мг-экв/л. Для умягчения вод разработано большое количество эффективных способов – это, например, реагентные способы, при которых присутствующие в воде ионы Mg^{2+} и Ca^{2+} связывают в малорастворимые соединения под действием различных реагентов, или термический способ, сущность которого заключается в последовательных процессах нагревания и дистилляции (через вымораживание) воды.

Но распад Советского Союза, разрушение между бывшими республиками экономического взаимодействия, отсутствие централизованного снабжения вызвал необходимость строгого учёта местных запасов сырья при разработке и внедрении тех или иных технологий.

В Таджикистане имеются значительные запасы алюмосиликатного сырья, в частности, бентонитовых глин, из которых после их соответствующей переработки можно получать эффективные сорбенты.

Как показал анализ кислотных методов активации алюмосиликатных руд, для бентонитовой глины лучшим реагентом является соляная кислота и метод разложения – солянокислотный. Азотная кислота не представляет интереса при активации бентонитов, она слабый реагент, серная кислота для данной активации занимает промежуточное положение между HCl и H_2SO_4. Учитывая данный факт, мы осуществляли активацию бентонитовой глины с использованием HCl 5-процентной. Активация длилась 45 часов, что позволило наблюдать резкое увеличение сорбционных свойств бентонитовой глины и, соответственно, увеличение их обменной ёмкости.

Для бентонитовой глины, активированной соляной кислотой, изучались её сорбционные свойства для применения в различных видах водоснабжения, а также механизмы протекания реакций в процессе сорбции. В качестве объекта исследования были три вида вод: 1- воды бассейна р. Сырдарья в Согдийской области (питьевая вода и вода хозяйственного назначения), 2 - шахтные воды месторождения Киик-Тал, 3 - дренажные воды города Табошар. Для всех типов

воды были проведены физико-химические исследования, результаты которых обобщены в виде таблиц 3.1-3.3.

Таблица 3.1. - Физико-химические характеристики воды р. Сырдарья в городе Канибадам (мг-экв/л)

Характеристики	Исходные воды	Исходная бентонитовая глина	Бентонитовая глина (активированная)
Водородный показатель pH	7.0	7.0	7.1
Жёсткость	$15.7-0.97$	$10.64-0.66$	$1.63-0.10$
Нитраты	$2.5-0.04$	$1.62-0.02$	$0.25-0.004$
Сульфаты	$564.0-11.75$	$328.41-6.84$	$46.64-0.97$
Хлориды	$102.64-2.89$	$73.131-2.06$	$10.11-0.285$
Магний	$94.8-7.8$	$61.62-5.07$	$9.40-0.77$
Кальций	$158.0-7.9$	$102.7-5.13$	$15.70-0.78$
Сухой остаток	$1400-39.86$	$670-19.07$	$99.12-2.82$

Из данных, приведённых в таблицах 3.1-3.3 можно заключить, что жёсткость вод этих источников несколько снижается при использовании исходной бентонитовой глины в качестве сорбента. Данный факт объясняется минералогическими характеристиками исходной бентонитовой глины, в составе которой в основном преобладает минерал монтмориллонит, который является слабым сорбентом и имеет низкую сорбционную ёмкость. Активированные бентонитовые глины в качестве сорбента примерно в 8-10 раз могут понижать жёсткость сравнительно с не активированной бентонитовой глиной, что, возможно можно объяснить следствием большого увеличения сорбционной способности активированной бентонитовой глины.

Таблица 3.2. - Физико-химические характеристики шахтных вод, вытекающих из тела месторождения Киик-Тал (мг-экв/л)

Характеристики	Исходные воды	Исходная бентонитовая глина	Бентонитовая глина (активированная)
Нитраты	$58 - 0.96$	$38.28 - 0.64$	$6.38 - 0.10$
Сульфаты	$703 - 14.64$	$467.5 - 9.74$	$78.73 - 1.64$
Хлориды	$163 - 4.6$	$102.36 - 2.88$	$15.92 - 0.45$

Таблица 3.3. - Физико-химические характеристики дренажных вод города Табошар (мг-экв/л)

Характеристики	Исходные воды	Исходная бентонитовая глина	Бентонитовая глина (активированная)
Сульфаты	$9200 - 191.66$	$5915.6 - 123.24$	$996.36 - 20.75$
Карбонаты	$1800 - 60$	$1170 - 19.5$	$171 - 2.85$
Хлориды	$170 - 4.78$	$112.2 - 3.16$	$15.94 - 0.45$

Проведены опыты по влиянию таких характеристик, как расход бентонита и объёмы воды на активацию бентонитовой глины с помощью HCl для трёх типов вод: 1- воды р. Сырдарья в г. Канибадам (воды питьевого, хозяйственного водоснабжения), 2 - шахтные воды месторождения Киик-Тал, 3 - дренажные воды города Табошар. Показатель – расход воды оставался во всех трёх вариантов опытах неизменным (рисунки 3.4-3.6). Из рисунков 3.4а, 3.5а и 3.6а видно, что обработка воды активированной бентонитовой глиной увеличивает степень умягчения вод от 31.5% (при расходе бентонита 2 грамма) до 90.4% (при расходе бентонита 15 грамм). Введение в воду активированного бентонита свыше 15 г не показало положительного результата. Рисунки 3.4б, 3.5б и 3.6б характеризуют зависимость степени умягчения воды от расхода объёмов воды.

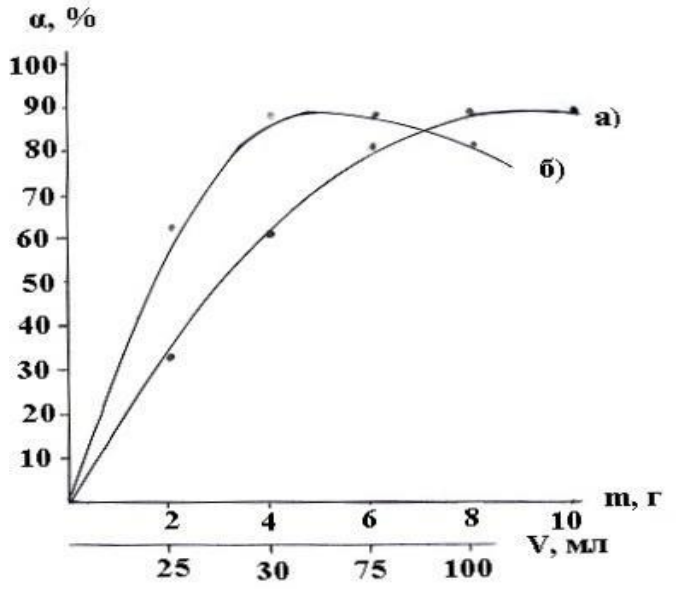

Рисунок 3.4. – Изменение умягчения вод р. Сырдарья в г. Канибадам при расходах: а) солянокислой активированной бентонитовой глины; б) объёма воды

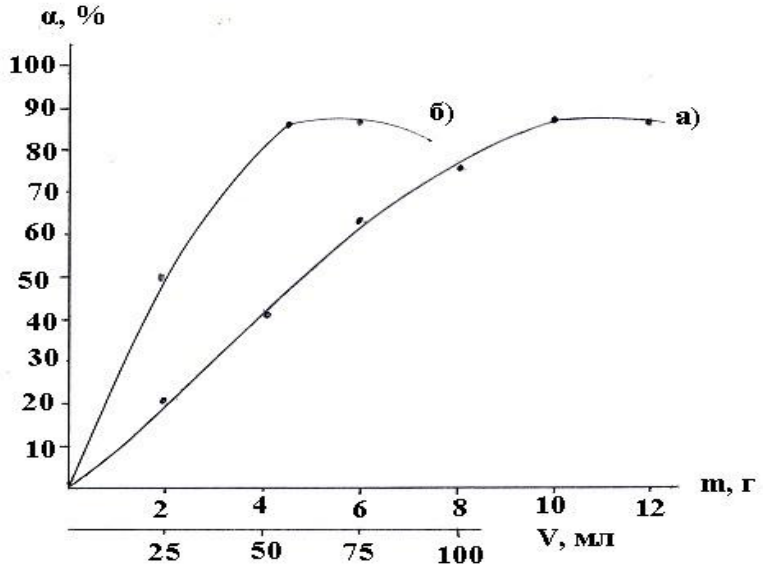

Рисунок 3.5. – Изменение умягчения шахтных вод месторождения Киик-Тал при расходах: а) бентонитовой глины после активации соляной кислотой; б) объёма воды

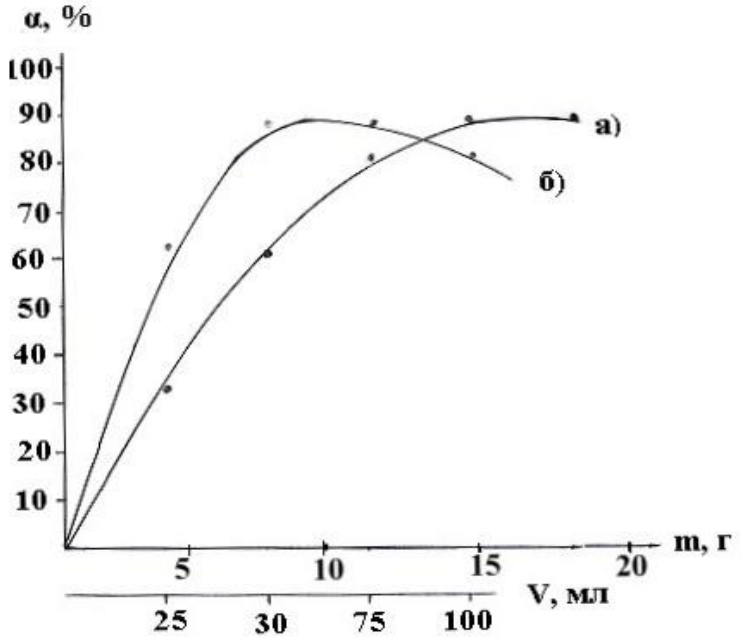

Рисунок 3.6. – Изменение умягчения дренажных вод г. Табошар при расходах: а) солянокислой активированной бентонитовой глины; б) объёма воды

Для процесса умягчения вод с помощью солянокислой активированной бентонитовой глины определены оптимальные характеристики данного процесса:

- вода р. Сырдарья в г. Канибадам – при объёме воды 50 мл и расходе бентонитовой глины 8.0 грамм достигается max степени умягчения, составивший 89.8%;

- шахтная вода месторождения Киик-Тал - при объёме воды 50 миллилитров и расходе бентонитовой глины 10.0 грамм достигается максимальная степень умягчения 88.9%;

- дренажные воды города Табошар - при объёме воды 50 мл и расходе бентонитовой глины 15.0 грамм достигается максимальная степень умягчения 90.4%.

При увеличении расходов бентонитовой глины выше указанных количеств для трёх вариантов вод умягчение воды не увеличивается, напротив, возникает тенденция к снижению этого показателя. Возможно, эта тенденция зависит от полного заполнения ионами магния и кальция активных центров сорбции на поверхности сорбентов, из-за чего степень умягчения вод начинает снижаться.

3.3. Качество воды реки Зеравшан на территории Таджикистана

Исток реки Зеравшан находится на высоте 2775 м над уровнем моря, в Зеравшанском леднике, в узле Коксу, который образуется в точке слияния Зеравшанского и Туркестанского хребтов. Верхний участок реки имеет длину примерно 300 километров, протекает по узкой и глубокой долине, верхние 200 км которой река называется Матча. Реку Матча с юга ограничивает Зеравшанский хребет, с севера - Туркестанский хребет, водосборная площадь реки Матча составляет 4 650 квадратных километров. На левом южном берегу в нее впадают крупные притоки – Кштут, Фандарья и Могияндарья, являющаяся по величине третьим крупным притоком реки Зеравшан.

Данный участок реки Зеравшан имеет среднегодовой расход воды, составляющий в среднем 58-108 $м^3/с$. Многоводность реки Матча приходится на месяцы июль-август, в которые происходит увеличение расходов воды до 479 $м^3/с$, в период маловодья, приходящегося на апрель месяц, расходы воды снижаются, составляя всего 10-12 $м^3/с$.

Для замеров физических характеристик воды р. Зеравшан использовали современное оборудование - pH-метр лабораторный Multi-parameter analyser Eijkelkamp 18.28 с термодатчиком, комбинированным электродом сравнения (3 в 1) и стеклянным pH-электродом. pH-Метр калибровали буферными растворами Mettler Toledo, что обеспечивало высокую точность измерений.

В воде р. Зеравшан былипроведены замеры объёмных активностей (ОА) радона. Суть измерений объёмной активности (ОА) заключается в применении метода передаточной циркуляции с окружающим воздухом радонового газа, когда радон скапливается переходом из воздуха в рабочую камеру радиометра радона (РРА-01М-01) с помощью барботажа. Функця радиометра радона включает электростатическое осаждение в измерительной камере ионизированных дочерних продуктов распада радона, когда они осаждаются на поверхности полупроводникового детектора, и регистрацию α-излучения, происходящего от испускания α-частиц с образованием изотопа полония - ^{218}Po (RaA). Результаты

изучения физических характеристик образцов воды, отобранных из различных водных источников, обобщены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. - Физические характеристики образцов воды, отобранных из различных водных источников

Населённый пункт	Rn, Бк/л	pH	−мВ	μS/см	TDS, мг/л	SAL	T, °C
Район Горная Матча							
с. Оббурдон (родник)	<10	7,7	40	514	319	0,3	16
с. Ревомутк (сай)	<10	6,8	2	476	281	0,3	19
с. Табушн (родник Гулуг)	<10	7,0	10	522	307	0,3	17
с. Ярм (родник Лоик)	<10	7,0	10	516	305	0,3	16
с. Ярм (сай)	<10	6,9	0	478	282	0,3	19
с.Х удгифи Боло (сай)	<10	7,6	499	550	318	0,3	15
Пенджикентский район							
джамоат Шинг	16	10	8,0	63	167	100	19
с. Абдусамат	10	7,6	46	332	198	0,2	20
джамоат Саразм	15	7,4	32	328	195	0,2	20
с. Шурча	6	7,6	46	223	133	0,1	20
с. Рашнаи поён	9	8,1	79	280	165	0,2	20

Для образцов воды реки Зеравшан, отобранных в разных точках течения, определены химические составы, полученные результаты обобщаются в виде таблицы 3.5.

Как видно из данных таблицы 3.5, в районе г. Пенджикент отмечаются максимальные значения общей жёсткости воды (3.9 мг-экв/л), минимальные значения приходятся на Горную Матчу (2.85 мг-экв/л). Также для воды р. Зеравшан в городе Пенджикент отмечается максимальное значение сухого остатка (241.5 мг-экв/л), минимальные значения приходятся также на Горную Матчу (180.0 мг-

экв/л). Среди изучаемых радионуклидов в воде идентифицирован только уран, его содержание варьируется от 0.014 мг/л (Горная Матча) до 0.05 мг/л (г. Пенджикент). Исследована динамика изменения концентраций урана, растворённого в образцах воды, которые отбирались в различных точках по течению р. Зеравшан (рисунок 3.7).

Таблица 3.5. - Результаты химических анализов талых вод реки Зеравшан

Наименование определений	Результаты химического анализа (мг-экв/л / мг/л)				
	Горная Матча	Айни (к. Зоосун)	Айни (Фандарья)	Айни (к. Хушекат)	Пенджикент
Жёсткость общая	2,85/-	3,6/-	3,0/-	3,3/-	3,9/-
pH	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Cl^-	11,6	9,9	9,9	10,9	13,6
SO_4^{2-}	43,5	69,5	19,3	36,0	50,5
Ca^{2+}	35,4	41,3	37,5	36,1	43,2
Mg^{2+}	10,44	13,8	11,8	13,8	15,6
O_2	0,68	1,04	0,69	1,12	1,0
NO_2^-	не обн.	–	–	–	–
NO_3^-	1,5	1,97	1,9	2,2	3,6
Fe^{3+}	0,1	0,05	0,06	0,06	0,04
Сухой остаток	180,0	199,0	185,3	192,7	241,5
CO_3^{2-}	2,7	3,3	3,0	3,3	4,5
HCO_3^-	113,5	122,0	156,6	134,2	152,5
K^+	1,5	1,5	3,2	1,3	1,5
Na^+	0,68	2,9	1,4	2,2	5,8
U	-/0,014	-/0,02	-/0,033	-/0,03	-/0,05

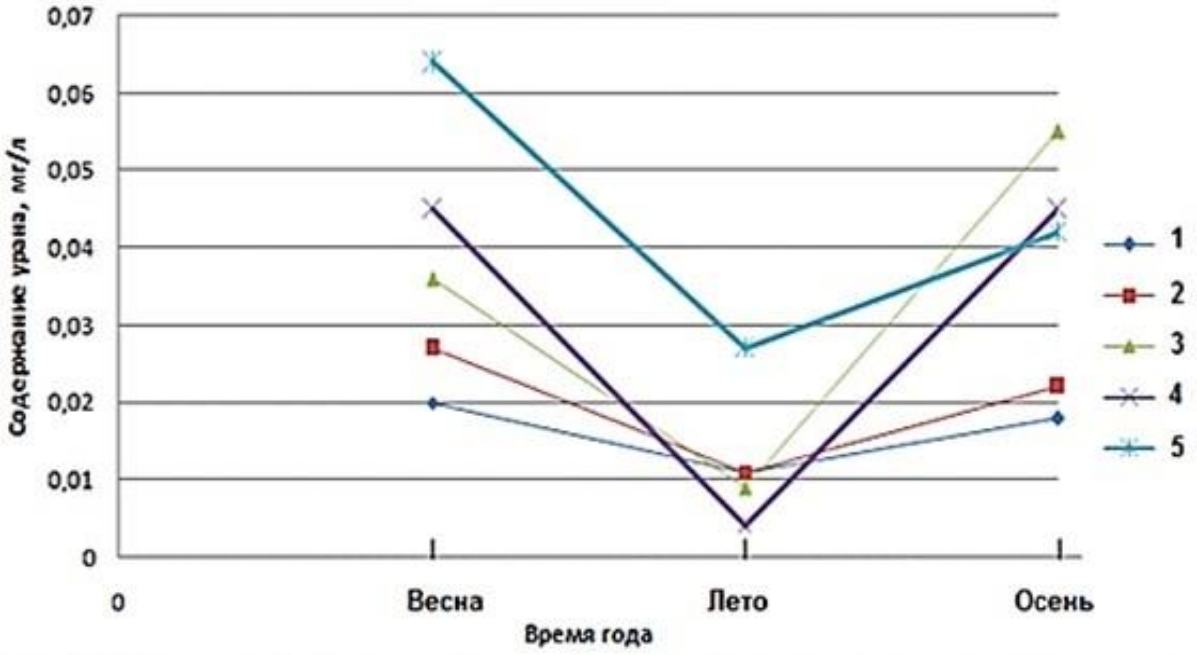

Рисунок 3.7. - Динамика изменения концентраций урана, растворённого в образцах воды, которые отбирались в различных точках по течению р. Зеравшан в течение года: 1 – Горная Матча; 2 – Айни (к. Зоосун); 3 – Айни (Фандарья); 4 – Айни (к. Хушекат); 5 - Пенджикент

На рисунке 3.7 наглядно можно увидеть, что концентрация урана в воде весной и осенью выше, чем в летний период. Данный факт объясняется тем, что уран привносится в воду с сезонными весенне-осенними осадками.

В осенний период также отмечается увеличение концентраций магния и кальция относительно весенне-летнего периода, что происходит вследствие снижения расходов воды и, соответственно, при этом растут показатели общей жёсткости. Концентрации калия, натрия, железа, азота, хлора, растворённого кислорода в течение всех сезонов года не изменяются.

3.4. Радиационный контроль питьевых вод методом измерения суммарной альфа- и бета-активности

Содержание естественных радионуклидов в пресной и речной воде зависит от состава воды. Кроме того, в водах рек и озёр радиоактивность зависит от ис-

точника питания этих вод. В ледниковых, снеговых и дождевых водах концентрации солей незначительные, поэтому водные источники, расположенные в горных местностях, питающиеся водами от таяния снегов и ледников, расположенных в высоких широтах, являются практически стерильными по содержанию естественных природных радионуклидов.

Внесение природных естественных радионуклидов в наземные открытые водоемы осуществляется преимущественно с подземными водами. Питающие озера и реки подземные и пластовые воды определяют в этих водоёмах естественную радиоактивность вод. Исходя из этого, в речных и озёрных водах величины радиоактивности изменяются в широких диапазонах. На величины радиоактивности оказывают влияние множество факторов, среди которых минералогический и химический состав горных пород, в которых расположены речные водосборы или озёрные бассейны. Ещё одним важным фактором, оказывающим влияние на величины радиоактивности воды в открытых водоёмах, являются климатические условия территорий, определяющие химическое выветривание горных пород, которые представляют собой основной источник природных естественных радионуклидов.

Природные радионуклиды, присутствующие в питьевой воде, обычно имеют более высокие мощности дозы, чем искусственные радионуклиды, и поэтому их контролю в водах необходимо уделять пристальное внимание. При контроле радиологических рисков эффективен метод превентивного управления рисками, осуществляемый согласно планов обеспечения водной безопасности и концепций безопасности питьевых вод. В частности, общая сумма альфа-активности в водах зависит от концентраций в них природных естественных радионуклидов (^{226}Ra, ^{224}Ra, ^{228}Ra, ^{238}U, ^{234}U, ^{210}Bi, ^{210}Po, ^{40}K, ^{232}Th, ^{228}Th, ^{230}Th), а общая сумма бета-активности в водах зависит в основном от концентраций таких радионуклидов техногенного происхождения, как ^{137}Cs ^{90}Sr.

Отдельные системы питьевой воды, особенно те, которые используют грунтовые воды для питьевого водоснабжения, могут содержать различные ко-

личества радиоактивного газа – радон (Rn). Поступление радона в воздух помещений может происходить из различных источников, среди которых вода из водопроводного крана или приём душа, однако наибольший вклад поступления радона в воздух помещений вносит естественное накопление радона в окружающей среде и его перенос в воздух помещений. Согласно аналитическим данным UNSCEAR, 2000, в среднем 90% дозы облучения, приписываемой радону, присутствующему в питьевой воде, попадает в организм ингаляционным путем, а не от продуктов питания. Поэтому, как правило, для ограничения дозы радиации, получаемой организмом при попадании радона из питьевой воды в пищеварительный тракт не имеется необходимость установки нормативных и скрининговых уровней. В измерениях для контроля общего уровня альфа- и бета-радиоактивности необходимо учитывать излучение, поступающее от продуктов распада радона, которые являются основными источниками доз радиации при попадании радона из источников питьевой воды в пищеварительный тракт.

Согласно данным исследований, проведённым Научным комитетом ООН по изучению действия атомной радиации (НКДАР ООН), вклад питьевых вод в общие дозы радиации, получаемые населением, не является преобладающим вкладом (исключения составили только отдельные регионы). Этот вклад в основном вносят природные радионуклиды, присутствующие в воде – элементы ураниевого ряда. Мах нагрузок, получаемый от доз радиации при использовании питьевой воды обусловлен изотопами урана – ^{238}U и ^{239}U, и изотопами радия – ^{226}Ra и ^{228}Ra, изотопы радона и полония $(Ra-222$ и $Po-210)$, меньшие вклады вносят изотопы тория $(Th-232$ и $TH-230)$ и изотоп свинца $(Pb-210)$.

Нами дана оценка соответствия питьевых вод некоторых источников водоснабжения Таджикистана требованиям радиационной безопасности.

Для анализа питьевой воды в основном используется метод определения общего уровня α- и β-радиоактивности (кроме определения радона), сущность которого заключается в выпаривании определённого объёма образцов и опреде-

лении в полученных твёрдых остатков уровней радиоактивности. Однако чувствительность и надёжность данного метода несколько снижена при его применении к образцам, содержащим высокие уровни общего содержания растворённых твёрдых веществ (ОСРТВ), так как даже тонкие слои твёрдых материалов легко поглощают альфа-излучение. Там, где это возможно, следует использовать стандартизированные методы для определения концентраций общей α- и β-радиоактивности.

При проведении данной серии исследований из различных источников питьевой воды отбирались 12 образцов воды, из которых четыре природных водных источника представляли собой бутилированную воду, предназначенную для продажи. Величины общих удельных α- и β-активностей природных радионуклидов были определены в Лаборатории технических услуг Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана.

Для измерения удельной суммарной альфа-активности и удельной суммарной бета-активности, пробы воды отбирались согласно ГОСТ 31861, ГОСТ 31862 и ГОСТ 17.1.5.05 в герметичные пластиковые бутыли объёмом 1,5 дм^3, которые предварительно ополаскивали отбираемой водой. Отобранные пробы воды были промаркированы и отправлены в Лабораторию технических услуг Агентства. Для определения удельной суммарной альфа- и бета-активности из пробы объёмом 1,5 дм^3 путём упаривания до сухого остатка, готовился опытный образец, активность которого определяли на альфа-бета-радиометре. Измерение в воде суммарной альфа-активности и бета-активности осуществляли с помощью низкофонового α- и β-радиометра "УМФ-2000" с кремниевым детектором для измерения малых активностей (производитель ООО НПП "Доза", Российская Федерация).

В пробах обследуемых вод наибольшие удельные суммарные α-, β-активности радионуклидов отмечались в образце воды «Сурхоб», в котором альфа-активность 0,01 Бк/л, а бета-активность 0,0047 Бк/л (рисунок 3.8).

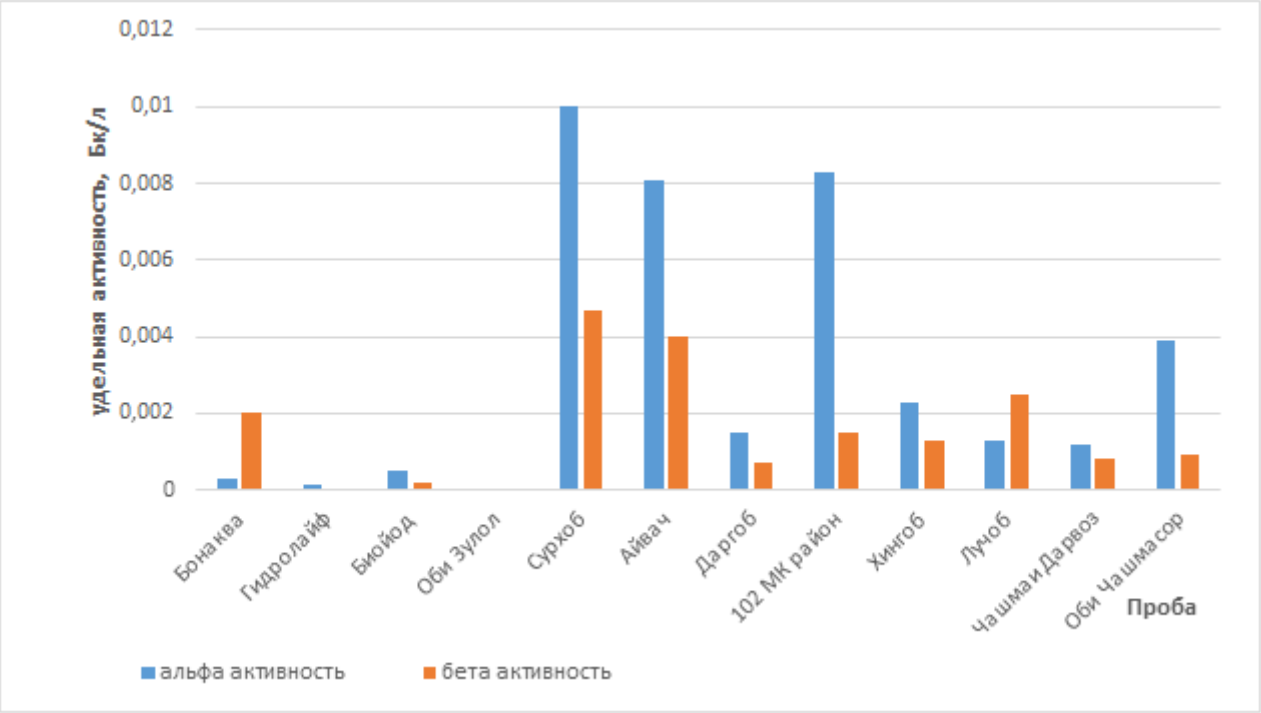

Рисунок 3.8. - Диаграмма удельной суммарной альфа- и бета-активности проб из источников воды отдельных районов Таджикистана

Как показано на рисунке 3.8, превышения удельной общей альфа-и бета-активности в пробах воды в этих случаях не наблюдается. В соответствии со стандартами радиационной безопасности Таджикистана (НРБ-06) общая альфа-активность в питьевой воде не должна превышать 0,1 Бк/л, а общая бета-активность - 1,0 Бк/л.

Самые низкие значения удельной суммарной альфа- и бета-активности радиоактивных нуклидов были выявлены в образцах воды "Оби Зулол".

Эта работа представляет собой начальный этап оценки соответствия водных ресурсов республики требованиям радиационной безопасности. В целом, в исследованных водных источниках не было зарегистрировано превышений по пределной допустимой концентрации альфа- и бета-активности. Необходим регулярный контроль радиологического состояния подземных вод Таджикистана, используемых для водоснабжения и бальнеологических целей.

3.5. Очистка урансодержащих вод сорбентами

3.5.1. Очистка урансодержащих шахтных вод от ионов урана микрогелем

В последние несколько лет внимание исследователей направлено на создание технологий по комплексному использованию отходов растениеводства, включая такие отходы растительного происхождения, как после производства и переработки подсолнечника, злаковых культур – овса, пшеницы, риса, гречихи и других.

Использование растительных отходов в очистке ураносодержащих вод от радиоактивных нуклидов одновременно решает две важных проблемы – во-первых, это утилизация многотонных растительных отходов, во-вторых, очистка вод различного назначения от радионуклидов.

В этой связи предлагается использовать в качестве основы для получения сорбента корзинки подсолнечника (необработанных – КПИ и обработанных корзинок подсолнечника – КПобр. без пектина и с пектиновым гелем) для очистки воды от урана. В качестве объекта исследований были выбраны урансодержащие шахтные воды с концентрацией ионов урана 0,025 г/л и pH=7,5.

Первоначально было определено время установления равновесия на корзинке подсолнечника, необработанных – КПИ, для чего была снята кинетическая кривая при комнатной температуре (25^{o}C). Результаты представлены на рисунке 3.9.

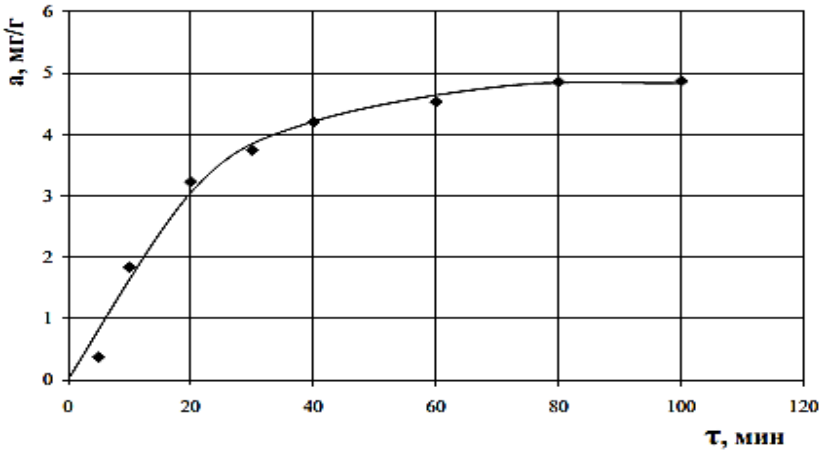

Рисунок 3.9. - Кинетическая кривая сорбции ионов урана сорбентом - корзинкой подсолнечника

Из рисунка 3.9 видно, что равновесие наступает примерно через 70 минут после начала сорбции, сорбционная ёмкость при этом достигает 4,8 мг/г. Для увеличения сорбционной емкости, корзинки подсолнечника подвергались различным модификациям.

Далее нами изучалась сорбционная способность корзинки подсолнечника по отношению к ионам урана. Результаты обобщен ы в таблице 3.6.

Уранодержащие шахтные воды очищали от ионов урана с помощью микрогеля, представляющего собой пектиновые полисахариды, полученные из корзинки подсолнечника, Частицы микрогеля имели размеры не более 0.4 мм. Микрогель был получен с использованием следующего способа. Корзинки подсолнечника высушивали, измельчали, помещали в стеклянный сосуд, в который приливали соляную кислоту, pH=1.2 в гидромодуле, соотношение корзинки подсолнечника к соляной кислоте поддерживали 1:10. Полученную смесь нагревали до 40-50°С, выдерживали до набухания смеси, и перемешивали смесь с помощью механической мешалки. Из смеси экстрагировали уранодержащие соединения выдерживанием в течение 30 минут в водяной бане с (Т)=85°С при скорости вращения мешалки 2500 об/минуту, общим гидромодулем и соотношением 1:20. Через 30 минут экстракции при указанных условиях проводили фильтрацию смеси через полиамидный фильтр. Чтобы полностью отделить от фильтра оставшиеся компоненты, твёрдую часть на фильтре промывали три раза прокипячённой дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре, чтобы определить выход конечного продукта. Растворы после фильтрации и трёхкратного промывания собирались и разделялись на три фракции: 1 – фракция с микрогелем, 2 – фракция с олигосахаридами, 3 – фракция с пектиновыми веществами. Полученные гидролизные растворы охлаждали, проводили далее нейтрализацию аммиаком до pH=3.5-4.0. При нейтрализации микрогель выпадал в осадок, осадок микрогеля в нейтральной и слабокислой средах не растворялся.

Таблица 3.6. - Сорбция урана сорбентом на основе корзинки подсолнечника (содержание урана в шахтной воде U = 0,025 г/л; pH=7,5; t=25ºC)

Наименование пробы	Навеска пробы, г	Объём, занимаемый навеской		Объём пропущенного раствора			Время сорбции, час	Навеска пробы после сорбции, г	Содержание U, %	Извлечение U, %
		сухой	набухший	V, мл	pH	U, г/л				
		мл								
Корзинки подсолнечника, не обработанные	20	48	198	V_1=750	4,95	0,019	12	12,0	0,34	26,92
				V_2= 96	5,05	0,023	6			11,53
				V_3=300	5,76	0,009	16			65,58
				V_4=390	6,7	0,003	65			88,46
				V_5 =245	7,08	0,0025	72			90,38
				V_6=266	7,39	0,001	96			96,15
				V_7=148	6,6	0,002	100			92,3
				V_8=134	7,11	0,003	95			88,46
				V_9=76	7,3	0,003	144			88,46
				V_{10}=288	7,45	0,016	168			38,46
				Всего пропущено V=2694 мл			774			
Корзинки подсолнечника без пектина	16	52	132	V_1=760	3,14	0,010	12	15,0	0,512	61,53
				V_2=130	3,16	0,007	6			73,07
				V_3 =250	3,0	0,006	16			76,92
				V_4=747	3,38	0,005	65			80,77
				V_5=900	6,04	0,006	72			76,92
				V_6=838	5,25	0,002	96			92,31
				V_7=228	6,9	0,002	100			92,3
				V_8=1050	7,0	0,024	68			8,3
				V_9=156	7,5	0,026	27			0,0
				Всего пропущено V=4918 мл			462			
Корзинки подсолнечника с пектиновым гелем	20	80	360	V_1=670	6,23	0,003	12	18,0	0,28	88,46
				V_2=332	6,76	0,008	6			69,23
				V_3=260	7,02	0,002	16			99,31
				V_4=845	7,46	0,003	65			88,46
				V_5=1040	7,27	0,019	72			26,92
				V_6=820	7,6	0,022	96			15,38
				V_7=247	7,6	0,023	100			11,54
				Всего пропущено V=4215 мл			367			

Из раствора осаждённый микрогель отделяли, центрифугируя его в течение 30 мин (при скорости вращения 5 000 оборотов в мин). После центрифугирования получали микрогель, который был загрязнён примесными соединениями. Для очистки микрогеля от них промывали трёхкратно этиловым спиртом, далее снова фильтровали и сушили готовый продукт.

Проевдение анализа: бралась навеска микрогеля-сорбент в количестве 1.0 грамм, фракции сорбента имели размер <0.4 мм, к навеске приливали воду для набухания микрогеля. Далее после набухания микрогель-сорбент переносили в в сорбционную колонну и через её объём пропускали ураносодержащие растворы со скоростью 0.2 мл/мин. Из растворов на выходе сорбционной колонны регулярно отбирались пробы объёмом по 5 мл для контроля концентрации урана.

Соответственно, в процессе сорбции при контроле концентраций урана в растворе происходило максимальное насыщение ураном сорбента. Затем сорбент, насыщенный ураном, после после окончания сорбционного процесса сжигается в печи при (T) равной 250-350°С до полного сграния органических составляющих. Таким образом была получена ураносодержащая зола, которая выщелачивалась с помощью H_2SO_4 и введением реагентов-окислителей, которыми были выбраны железо трёхвалентное и HNO_3.

По окончанию процесса выщелачивания получали смесь, которая фильтровалась и в жидкую часть переходил уранилсульфат. Уран из раствора осаждался аммиачной водой и имел форму оксида урана - U_3O_8, его высушивали без доступа воздуха в вакууме при (Т)=100-150ºС. Был получен готовый продукт U_3O_8 с выходом 90-95%. Характеристики процесса сорбции урана на микрогель отражены в таблице 3.7.

По полученным в результате экспериментов данным была проведена разработка усреднённой схематической технологии для сорбции урана на сорбент-микрогель из корзинок подсолнечника (рисунок 3.10).

Таким образом, лузга подсолнечника с предварительной модификацией может быть использована в качестве сорбента для очистки воды от ионов урана,

что одновременно позволит решить задачу утилизации данной категории отходов.

Рисунок 3.10. - Усреднённая схематическая технология для сорбции урана на сорбент-микрогель из корзинок подсолнечника

Таблица 3.7. – Сорбирование урана на микрогель-сорбенте в нейтральной и кислой средах

Характеристики сорбции	Показатели	
	pH=2-6	pH=7
Вес сорбента в колонне, г	1	1
Размер частиц сорбента, мм	<0.4	<0.4
Сорбционная емкость сорбента, мг/г	0,72	1,6
Высота слоя сорбента в колонне, мм	80	80
Объём раствора, пропущенного через колонну, мл	50	50
Концентрация U в исходном растворе, мг/л	20	35.7
Температура раствора, °C	20-25	20-25
Степень извлечения U из раствора, %	70-75	90-95

3.5.2. Очистка урансодержащих вод синтетическими сорбентами

Хвостохранилища I-II города Истиклол были образованы отходами, образовавшимися после содового выщелачивания ураносодержащих углеродистых руд на уранодобывающем предприятии ГУП " Таджикредмет" в течение 1945-1950 годов. В те годы извлечение урана из руд было низким, поэтому отмечалась тенденция, что в карбонатных средах при pH=8 и более не извлечённые содержания урана растворялись под влиянием атмосферных осадков и вытекали из-под хвостохранилища в водные объекты – мелкие речки и саи как дренажные воды хвостохранилища.

Исходя из этого, мы исследовали дренажные воды, вытекающие из тела хвостохранилищ I-II города Истиклол с целью очистки их от урана методом сорбции с использованием катионитного синтетического сорбента СГ-1.

Извлечение урана из дренажных вод осуществляли в динамическом режиме, pH дренажных вод составлял 8.0 ± 0.5, концентрация урана в водах находилась в диапазоне 0.027-0,060 г/литр.

Для обеспечения эффективной сорбции на катионите-сорбенте урана в сорбционной колонне фильтрование исходных растворов поддерживалось низким, всего около 100 мл/сутки, что значительно увеличивало сорбционные свойства сорбента.

В результате проведения опытов определено, что для технологических процессов извлечения урана из ураносодержащих растворов целесообразно использовать в качестве сорбента катионит СГ-1, поскольку этот сорбент проявил высокие сорбционные свойства по сорбции урана, особенно при приемлемых концентрациях урана в фильтрационных растворах (таблица 3.8).

Таблица 3.8. - Сорбция урана на сорбент-катионит СГ-1 (масса сорбента 10 г; скорость сорбции 100 мл/сут)

Объёмы ураносодержащей воды, пропущенные через сорбент (мл)	Концентрации урана на выходе (г/л)	Насыщенность сорбента ураном (%)
Содержание урана на входе $2.7 \cdot 10^{-2}$ г/л (pH=8)		
100	$4.0 \cdot 10^{-3}$	0,5
200	$7.0 \cdot 10^{-3}$	0,9
300	$4.0 \cdot 10^{-3}$	1,3
400	$5.5 \cdot 10^{-3}$	1,8
500	$4.0 \cdot 10^{-3}$	2,2
600	$4.0 \cdot 10^{-3}$	2,7
700	$2.0 \cdot 10^{-3}$	3,2
800	$3.0 \cdot 10^{-3}$	3,7
900	$2.5 \cdot 10^{-3}$	4,2
1000	$3.5 \cdot 10^{-3}$	4,7
1100	$2.5 \cdot 10^{-3}$	5,2
1200	$2.0 \cdot 10^{-3}$	5,7
1300	$3.5 \cdot 10^{-3}$	6,1
1400	$4.0 \cdot 10^{-3}$	6,6
1500	$1.0 \cdot 10^{-3}$	7,1

Продолжение таблицы 3.8

1600	$2.2 \cdot 10^{-3}$	7,6
1700	$4.0 \cdot 10^{-3}$	8,1
1800	$4.0 \cdot 10^{-3}$	8,5
1900	$6.5 \cdot 10^{-3}$	8,9
2000	$6.5 \cdot 10^{-3}$	9,4
Содержание урана на входе $6.5 \cdot 10^{-2}$ г/л (pH=9)		
2100	$1.1 \cdot 10^{-2}$	10,4
2200	$6.0 \cdot 10^{-3}$	11,6
2300	$9.0 \cdot 10^{-3}$	12,7
2400	$9.0 \cdot 10^{-3}$	13,8
2500	$9.0 \cdot 10^{-3}$	14,9
Содержание урана на входе $4.8 \cdot 10^{-2}$ г/л (pH=8)		
2600	$1.0 \cdot 10^{-2}$	15,6
2700	$7.0 \cdot 10^{-3}$	16,5
2800	$8.0 \cdot 10^{-3}$	17,3
Содержание урана на входе $6.0 \cdot 10^{-2}$ г/л (pH=7.9)		
3000	$2.3 \cdot 10^{-2}$	18,0
3300	$3.2 \cdot 10^{-2}$	18,6
3500	$2.9 \cdot 10^{-2}$	19,2
3700	$2.6 \cdot 10^{-2}$	19,9
4000	$2.4 \cdot 10^{-2}$	20,6
4200	$1.8 \cdot 10^{-2}$	21,4
4600	$2.1 \cdot 10^{-2}$	22,2
5100	$2.0 \cdot 10^{-2}$	23,0
5600	$2.0 \cdot 10^{-2}$	23,8
6500	$2.2 \cdot 10^{-2}$	24,6
6900	$3.5 \cdot 10^{-2}$	25,1
7500	$2.9 \cdot 10^{-2}$	25,7

Следовательно, опираясь на массив исследований, сорбент-катионит СГ-1 можно рекомендовать в качестве эффективного сорбента при переработке дренажных ураносодержащих вод хвостохранилищ I-II города Истиклол с целью извлечения из их состава урана.

При многостадийной очистке вод от ионов урана и тяжелых металлов успешно был применён п катионоактивный сорбент СГ-1 и сорбент АУ400, так как они хорошо сорбируют ионы металлов в ураносодержащих дренажных водах, являясь катионитными (рисунок 3.11).

Рисунок 3.11. - Усреднённая схематическая технология для сорбции урана из дренажных вод и удаления из них тяжёлых металлов

Насыщение сорбентов контролировали и когда они максимально наполнялись ионами металлов их удаляли из сорбционной колонны и подвергали процессу десорбции, а в сорбционную колонну перезагружался свежий сорбент. В данном процессе необходимо постоянное проведение химического анализа и

аналитического контроля, чтобы контролировать процесс извлечения урана из воды, и процесс дальнейшего очищения вод от содержаний твёрдых металлов.

Предлагаемый способ многоступенчатой очистки воды является перспективным в практике народнохозяйственного комплекса.

3.6. Заключение по третьей главе

В третьей главе диссертации приведены результаты очистки вод коагулянтом и сорбция радионуклидов сорбентом из местных сырьевых продуктов. Анализированы качество воды реки Зеравшан на территории Таджикистана.

Нами дана оценка соответствия питьевых вод некоторых источников водоснабжения Таджикистана требованиям радиационной безопасности. Особое внимание уделено очистки вод сорбентами. Нами получены коагулянты разложением цеолитов соляной кислотой. Найдены оптимальные условия получения смешанных железо-алюминиевых коагулянтов с разработкой усреднённой схематической технологии для переработки цеолитов.

Представлены результаты сравнения коагулирующей способности стандартных коагулянтов (сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ и смешанных коагулянтов полученных из цеолитов. После очистки вод коагулянтами изучена сорбция радионуклидов из воды местными сорбционными материалами.

Нами представлен способ выделения урана из шахтных вод, где в качестве сорбента использовали абрикосовую скорлупу, с последующей десорбцией уранового концентрата.

В третьей главе диссертации также описан способ по умягчению жёсткости вод на основе использования бентонитовой глины, предварительно активированной. Исследованы зависимости, характеризующие умягчение воды р. Сырдарья активированными бентонитами, от различных параметров.

В третьей главе обсуждены качество воды реки Зеравшан, приведены физические параметры воды, результаты химических анализов, радиационный контроль питьевых вод методом измерения суммарной альфа- и бета- активности.

В третьей главе особое внимание уделено очистке урансодержащих вод сорбентами на основе микрогеля. В качестве основы для получения сорбента использовали корзинки подсолнечника. Разработана технологическая схема очистки урансодержащих вод сорбентами на основе микрогеля. Кроме того, в третьей главе приведены результаты очистки урансодержащих вод синтетическими сорбентами.

ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА

4.1. Радиоэкологическая оценка урановых хвостохранилищ Таджикистана

В настоящем подразделе дана радиоэкологическая оценка урановых хвостохранилищ Таджикистана с определением средней значимой мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и эсхаляции радона над хвостохранилищами Таджикистана.

Материалы и методы исследования: Радиоэкологические исследования проведены на территории следующих хвостохранилищ: Гафуровское, Адрасман, г. Бустон ("Карта 1-9"), г. Истиклол, Дигмай. Для проведения гамма-съёмки хвостохранилищ использовали дозиметры ДКС 1123 АТ, комплект PackEye FHT-1377 в комплекте с нейтронными и γ-детекторами, измерительный комплекс "Альфарад Плюс - АР". Экспозиционные дозы γ-излучения измерялись на основании разработанных инструкций и методических рекомендаций.

Урановые месторождения Таджикистана позволили Советскому Союзу в короткие сроки эффективно решить проблему недостаточности радиоактивного сырья, возникшей в СССР после окончания Великой отечественной войны в 1945-1950-х гг. Первопроходцем урановой отрасли явился Комбинат №6 (переименованный в настоящее время в ГУП "Фулузоти нодири Тоҷикистон"). Руда, добытая на урановых месторождениях Таджикской ССР была использована для получения первого в Советском Союзе уранового концентрата. И затем в течение с 1945 по 1995 год в Таджикскую ССР со всех республик бывшего Советского Союза поступало урансодержащее сырье, которое перерабатывалось с получением U_3O_8, и вывозилось далее за пределы республики с целью его дальнейшего обогащения.

В течение более чем пятидесяти лет на уранодобывающих и ураноперерабатывающих заводах было добыто и переработано более 100 000 тонн урана. За этот период на территории Согдийской области, где были расположены заводы по переработке урана, в составе хвостохранилищ было складировано урановых

отходов > 55 миллионов тонн с общей суммарной активностью, в соответствии с различными литературными источниками, от 240 до 285 ТБк. Общие объёмы отходов в хвостохранилищах и отвалах добычи урана составляют чем 270 млн. тонн, эти объёмы в основном находятся на территориях рядом с гидрометаллургическими предприятиями и площадками кучного выщелачивания.

Гафуровское хвостохранилище эксплуатировалось с 1942 г. до 1955 г., в котором накоплено 400 тыс. тонн отходов. Площадь поверхности хвостохранилища составляет около 5 га. Захоронения хвостохранилища г. Гафурова проводилась в 1991-1992 годах. Территория Гафуровского хвостохранилища была засыпана защитным слоем из лёссовидных суглинков, в высоту защитный слой достигал до 2.5–3.0 метров. На поверхности этого хвостохранилища мониторинг радона показал, что на поверхности величины плотности потока радона (ППР) равны в среднем 0.1 Бк/(м^2·с). Одними из основных радиоактивных элементов в захоронении являются: ^{238}U, ^{232}Th и ^{226}Ra. Суммарная активность составляет 6,85 ТБк.

Адрасманское хвостохранилище образовалось в 1970-х годах в результате объединения 6 мелких хвостохранилищ, находящихся вокруг п. Адрасман. Площадь 2.5 га, количество отходов 400 тыс. тонн.

Чкаловское хвостохранилище "Карта 1-9" образовывалось на территории, равной 18 гектаров, включает 9 мелких хвостохранилищ (карт), в его объёме складировано отходов примерно 4 млн. тонн. Хвостохранилище заспано защитным слоем нейтральных грунтов, высота которых в разных участках хвостохранилища достигает 0.5-0.7 м. Значения суммарной активности ураносодержащих отходов, которые складированы в хвостохранилище "Карта 1-9", достигают 29 ТБк.

На территории города Истиклол (ранее назывался город Табошар) сосредоточены пять хвостохранилищ ураносодержащих отходов, образовавшихся в течение 1945-1965 годов, которые сбрасывались сюда двумя гидрометаллургическими заводами по переработке урановой руды. Из этих хвостохранилищ четыре были отнесены к категории "законсервированные". В 1973-1975 гг. они

были законсервированы путём засыпки поверхности и откосов карт слоем местного грунта мощностью до 1 м. Пятое хвостохранилище – ФБР "Фабрика бедных руд" в настоящее время находится в состоянии реабилитации.

Дигмайское хвостохранилище является действующим. В него складируются отходы радиоактивной руды после их переработки на гидрометаллургическом предприятии. Хвостохранилище было образовано в 1963 году, территория его занимает площадь 90 гектаров, где складирован хвостовой материал примерно 34 миллионов тонн. Значения суммарной активности ураносодержащих отходов на территории Дигмая, достигают 156 ТБк. На открытых площадках хвостохранилища величины мощностей эквивалентных доз (МЭД) γ-излучения находятся в диапазоне $5 - 15$ мкЗв/ч. На территории хвостохранилища с начала его эксплуатации отмечено высыхание хвостового материала, что вызывает эрозию на поверхности, образование глубоких (до 3-5 метров) и широких (до 20-50 см), из которых активно выделяется радон из тела хвостохранилища.

Величины плотности потока радона (ППР) в среднем варьируются в диапазоне 10-65 Бк/(м^2 · с), суммарный ежегодный вклад радона в атмосферу превышает 30 ТБк. Исследования, посвящённые объёмной активности радона в воздухе над территорией Дигмайского хвостохранилища показывают, что по величинам (ОА) радона здесь очень широкий разброс, примерно 200-800 Бк/м^3, в некоторых локальных участках достигая 1000 Бк/м^3. На открытых площадках хвостохранилища величины мощностей эквивалентных доз (МЭД) γ-излучения находятся в диапазоне $7 - 10$ мкЗв/ч. Данные по концентрациям радона и МЭД γ-излучения на открытых площадках хвостохранилища сведены в таблицу 4.1.

Хвостохранилище города Истиклол имеет на своей поверхности величины объёмных активностей радона в широких пределах 20-100 Бк/м^3, только в некоторых точках поверхности эти величины достигают 195 Бк/м^3. Можно констатировать, что на поверхности хвостохранилищ в атмосферном воздухе концентрации радона невысокие, поскольку эта зона характеризуется вентиляцией за счёт ветров. Но на поверхности плотности потока радона несколько повышенные, и превышают нормы (НРБ-06), где нормативом является 1.0 Бк/(м^2 · с).

Таблица 4.1. – Усреднённые данные концентрации радона и МЭД γ-излучения на поверхностях хвостохранилищ Республики Таджикистан

Хвостохранилище	ППР, Бк/(м^2·с)	ЭРОА радона*, Бк/м^3	ОА радона, Бк/м^3	МЭД, мкЗв/ч
Гафуровское хвостохранилище	0,05	33	55	0,18
Хвостохранилище Дигмай	40	360	600	10,0
Хвостохранилище Адрасман	2,4	90	150	0,50
Хвостохранилище I-II очереди	3,7	27	45	0,68
Хвостохранилище III очереди	3,6	21	35	0,76
Хвостохранилище IV очереди	5,9	15	25	0,77
Хвостохранилище "Карта 1-9"	1,0	25	42	0,40
Отвалы ФБР	0,9	10	17	1,78

На величины МЭД γ-излучения оказывают непосредственное влияние радионуклиды, присутствующие в ураносодержащих отходах, их удельные активности, радиологические свойства, геометрия излучения, защитные свойства излучающих материалов.

На поверхности хвостохранилища Адрасман показатель МЭД гамма-излучения составляет 0,4-1,25 мкЗв/ч. На склонах по рельефу вниз значения МЭД достигают 1,75 мкЗв/ч, что связано с воздействием атмосферных осадков и переносом радиоактивного хвостового материала с поверхности хвостохранилища. На нижней части территории Адрасманского хвостохранилища местами отмечается повышенное значение МЭД гамма-излучения до 3,7 мкЗв/ч. Ближе к населённому пункту уже на расстоянии от тела хвостохранилища 20-30 м МЭД γ-излучения снижается примерно в два раза, составляя 1.4 мкЗв/ч.

На поверхности Адрасманского хвостохранилища в воздушной среде средние значения ОА радона составляли 150 Бк/м^3, ЭРОА радона 90 Бк/м^3. Среднее значение ППР с поверхности хвостохранилища Адрасман оценивается в 2.4 Бк/(м^2·с).

При этом установлено, что потенциальный риск радона на территориях хранилищ радиоактивных отходов, поверхность которых покрыта защитным покрытием, значительно ниже, чем на открытых поверхностях. В частности, для территорий Гафуровского хвостохранилища, покрытых защитными грунтами в высоту составляющими 2.5-3 м, характерны малые величины ППР, ниже 0.1 Бк/(м^2 · с), с усреднёнными значениями ППР в диапазоне от 0.04 до 0.06 Бк/(м^2 · с), а в атмосферном воздухе величины ОА радона равны примерно 55 Бк/м^3.

При определении содержаний радона в воздухе над хвостохранилищами сделано заключение, что высокими величинами объёмных активностей радона характеризуются те территории северного Таджикистана, в которых имеют месторасположение хвостохранилища ураносодержащих отходов, это преимущественно, Дигмайское хвостохранилище и хвостохранилище города Истиклол. Этот факт, прежде всего, связан с тем, что поверхности хвостохранилищ не покрыты защитными прикрытиями и соединения урана могут свободно выделяться из тела хвостохранилищ в атмосферный воздух. Соответственно, эти территории являются радоноопасными.

Различные участки действующего Дигмайского хвостохранилища имеют различные величины объёмных активностей газа Ra в воздушном бассейне над хвостохранилищем, они колеблются в широком диапазоне от 200 до 1000 Бк/м^3, при этом ППР на поверхности хвостохранилища имеет значительно меньшие величины, всего в среднем 65 Бк/(м^2 · с). Изучение величин объёмных активностей газа Ra в воздушном бассейне над хвостохранилищем Истиклол показало их содержания от 20 до 195 Бк/м^3. Радоновую ситуацию на севере Таджикистана можно улучшить при реализации следующих мероприятий: учиты-

вать возможное расширение застроенной площади населенных пунктов, реализация комплекса мер и мероприятий, направленных на рекультивацию территорий ураносодержащих объектов, главным образом хвостохранилищ урановых отходов города Истиклол и Дигмайского.

4.2. Сравнительная оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилищ Согдийской области Таджикистана

Как известно во второй половине прошлого века Таджикистан стал одним из важнейших регионов бывшего СССР, на территории которого добывали и перерабатывали ураносодержащие руды и годе развивались уранодобывающая и ураноперерабатывающая отрасли промышленности. Соответственно, в Согдийской области было создано 10 хвостохранилищ радиоактивных отходов. Данное обстоятельство, в первую очередь, сформировало наследие урановой промышленности СССР, в частности, в течение 1945-1991 годов интенсивной переработки урановых руд в хвостохранилищах скопилось ~55 миллионов тонн урановых отходов, с общей активностью 240-285 ТБк.

В радиоэкологическом отношении три зоны расположения отвалов и хвостохранилищ находятся в неблагоприятном состоянии, а именно хвостохранилище Дигмай (Б. Гафуровский район Согдийской области), Адрасман (вблизи посёлка Адрасман) и в районе города Истиклол.

Среди этих хвостохранилищ наиболее уязвимыми являются Дигмай (Б. Гафуровский район) и ФБР ("Фабрика бедных руд"), не имеющие защитных покрытий, подверженные разрушительному воздействию природных факторов и представляющие собой высокие экологические риски, так как имеется возможность рассеивания материалов радиоактивных материалов хвостов и загрязняющих соединений за пределы их основной дислокации.

Хранилища радиоактивных остатков вносят в окружающую природную среду различные загрязнения, среди которых можно выделить основные – это загрязнение фильтрующихся растворов, пыление, радиоактивные аэрозоли, газовые пары. При выносе материала из хвостохранилищ происходит загрязнение

прилегающего к хвостохранилищам воздушного бассейна, слои почв и грунтов под хвостохранилищами, подземные и грунтовые воды.

Поэтому была поставлена задача провести сравнительную оценку потенциальных радиационных опасностей хвостохранилищ г. Истиклол, Адрасман и Дигмайского, а также потенциального радиационного риска этих хвостохранилищ радиоактивных отходов для проживающего поблизости населения, а также выявить негативное воздействие указанных объектов на состояние природной окружающей среды.

Территории хвостохранилищ были исследованы с целью определения на них уровней радиации. Для этого осуществлялись в локальных точках замеры общего радиационного фона, кроме того, на территории Согдийской области РТ проводился радиологический и экологический мониторинг.

Было проведено изучение мощностей амбиентных эквивалентных доз (МАЭД) γ-излучения с использованием следующего оборудования: дозиметры-радиометры "ДКС-96" российского производства "Доза", дозиметры-радиометры "МКС-АТ6130" и "ДКС-АТ1123" белорусского производства "Атомтех", германский комплекс PackEye FHT-1377 "THERMO".

Измерения величин МАЭД γ-излучения проводились нами в рамках данного исследования в течение пяти лет на поверхности хвостохранилищ и получены их следующие характеристики.

Город Истиклол - хвостохранилища I-II очереди, определены максимальные величины МАЭД, составившие 0.78 мкЗв/ч при средних значениях МАЭД 0.68 мкЗв/час, на поверхности указанных хвостохранилищ определён естественный радиационный фон, оказавшийся 0.20-0.22 мкЗв/ч. Территории с указанными загрязнениями прилегающих территорий соответствуют контурам хвостохранилищ, при этом восточная граница хвостохранилища характеризуется выбросами радиоактивных материалов за пределы хвостохранилища, что объясняется розой ветров, при которой ветром выносятся радиоактивные частицы пыли с поверхности хвостохранилищ. Имеется опасность загрязнения радионуклидами со стороны дренажных вод, протекающих под карьером и отвалом шахты,

в водах которых имеются содержания радионуклидов, что негативно отражается на окружающей среде как близлежащих территорий, так и региона в целом.

Город Истиклол - хвостохранилище III очереди. Приземные максимальные величины МАЭД равны 0.88 мкЗв/ч при средних МАЭД 0.76 мкЗв/час. Были выбраны локальные точки, на которых проводили замеры МАЭД и почти все они показали загрязнение свыше 0.7 мкЗв/ч. Определены причины выноса радиоактивных материалов за пределы хвостохранилища, это в основном природные климатические факторы – осадки, ветровые выносы и другие.

Город Истиклол - хвостохранилище IV очереди, максимум МАЭД здесь определён в 0.98 мкЗв/час при среднем значении МАЭД 0.77 мкЗв/час. Измерения, проведённые на большинстве точек, показали величины МАЭД свыше 0.50 мкЗв/час. Однако территории города Истиклол, расположенные далеко от зон непосредственного воздействия хвостохранилищ, имеют МАЭД около 0.15 мкЗв/час.

Город Истиклол – хвостохранилище цеха № 3. Общая площадь хвостохранилища забалансовых рудных отвалов оценено в 63 гектара, на которых складировано радиоактивных отходов ~1.17 миллионов тонн. МАЭД γ-излучения непосредственно в отвалах определялась величинами $0.4 - 0.7$ мкЗв/час, max МАЭД определён в 3.0ғ4.0 мкЗв/час, которые были выявлены в точках расположения рудных забалансовых отвалов.

Город Истиклол - отвалы "Фабрики бедных руд" (ФБР) – хвостохранилище конусовидной формы, груда отходов на площади 7.9 гектаров, высота конуса 60 метров. Объёмы складированных радиоактивных материалов 1 128,5 тысяч кубометров. Поверхность ФБР имеет фоновые значения γ-излучения 1.0-1.5 мкЗв/ч. Наблюдаются локальные территории с очень высоким фоном (более 10 мкЗв/ч).

Хвостохранилище Адрасман (посёлок Адрасман вблизи г. Гулистан). МАЭД гамма-излучения на поверхности покрытия хвостохранилища составляет от 0,05 до 0,10 мкЗв/ч. Состояние хвостохранилища соответствует нормам, но

есть вероятность подмыва его при сильных осадках. В нижней части горного ручья, вытекающего из тела хвостохранилища, обнаружен вынос радиоактивного материала за пределы зоны. В местах выноса радиоактивного материала величины МАЭД γ-излучения выше по сравнению с другими участками, и достигают 1.2-2.5 мкЗв/час.

Дигмайское хвостохранилище, размещено на территории Б. Гафуровского района. Средние величины МАЭД γ-излучения в участках, где были складированы низкорадиоактивные отходы, равны $0.13 - 0.15$ мкЗв/час. Основное радиоактивное загрязнение наблюдается на западных участках хвостохранилища, высокие величины МАЭД γ-излучения которых объясняются направлением преобладающих ветров и складками местности.

Уровни радионуклидного загрязнения на трёх рассматриваемых территориях хвостохранилищ пространственно неоднородны. На всех исследуемых хвостохранилищах высокие загрязнения выявляются локально – это так называемые "горячие точки", которые располагаются достаточно обширно по хвостохранилищам. Загрязнения подземных и поверхностных вод также различны на различных локальных участках этих хвостохранилищ. Таким образом, на всех указанных хвостохранилищах выявлены локальные участки, на которых необходим дополнительный радиационный контроль с стороны исследовательских программ и специальные наблюдения, среди которых можно выделить наблюдения за следующими параметрами:

- радионуклиды в водных источниках и продуктах питания (молоко, мясо);
- радионуклиды в отвалах бывших урановых производств, аэрозолях и почвах;
- радон в окружающей воздушной среде и воздухе зданий и помещений;
- мощности доз внешнего облучения населения, получаемые во внешней среде или в помещениях и зданиях.

Кроме указанных наблюдений, каждая площадка и территории, прилегающие к зоне влияния отвалов бывших урановых производств и хвостохранилищ

была охвачена наблюдениями за фоновыми содержаниями радиоактивных нуклидов.

Нами были определены зоны опасности – это зоны или территории, на которых уровни радиоактивных загрязнений превалировали над естественным радиационным фоном этих зон или территорий. Радиоактивное загрязнение этих зон и территорий является для населения, проживающего вблизи них, определённым радиационным риском, поскольку присутствие людей на загрязнённых радионуклидами территориях или использование природных ресурсов здесь приводит к дополнительным радиационным облучениям сверх фоновых доз облучения. Радиационные риски также возможны в связи с повышенными уровнями радионуклидов в воде и воздушном бассейне.

Радиологический риск хвостохранилища Дигмайского также заключается в его расположении в густонаселённой местности. Имеются значительные риски радиологического загрязнения природных вод, так в хвостохранилище накоплены большие объёмы радиоактивных отходов, эти отходы не защищены защитными покрытиями, дежат открыто. Учитывая засушлиый клима этой территории, с поверхности хвостохранилища происходит постоянное испарение воды, вследствие испарения поверхность хвостохранилища покрывается большим количеством срених и крупных трещин-такыров, через них в воздушную среду постоянно происходит значительная эксхаляция газа радона, составляющая 36-65 $Бк/(м^2 \cdot с)$.

В атмосферном воздухе над хвостохранилищем величины объёмных содержаний радона-222 в различных локальных точках колеблются от 200 до 1000 $Бк/м^3$. Данный факт объясняется значительными ветрами, которые переносят частицы радиоактивных материалов хвостохранилища на другие, не загрязнённые участки. Здесь можно выделить следующие радиологические риски - высокие уровни радона в воздухе над данными участками, вдыхание загрязнённых пылевых частиц при дыхании (ингаляция) и высокие содержания гамма-излучения во внешней среде.

Так, для территорий, окружающих хвостохранилища Дигмай и не затронутых радиоактивным загрязнением, мощности γ-излучения низкие и находятся в диапазоне ~ 0.15 мкЗв/час. В таблице 4.2 приводится сравнительный анализ фоновых концентраций различных естественных радионуклидов в воздушном бассейне, почвенном покрове и водах.

Величины max, nin и средние МАЭД для двух исследуемых участков (1-населённый пункт, 2 – непосредственно хвостохранилище Дигмай) обобщаются в таблице 4.3. Эти данные получены при использовании переносного комплекта оборудования PackEye FHT-1377 для обнаружения источника радиации в рюкзачном исполнении с гамма- и нейтронными детекторами, который позволяет проводить радиационный мониторинг, записывать значение МАЭД и координату точки измерения каждый 10 сек.

Отборы образцов больших объёмов осуществлялся с помощью установок фильтрации воздуха на высоте 0,5 метра от поверхности земли на склонах хвостохранилища, относительная отметка составляла примерно один метр над поверхностью. Образцы аэрозоля, собранные на фильтрах, анализировались гамма-спектрометрическим методом, и было определено присутствие в образцах следующих радионуклидов – $U-238, Th-228, Ra-226$ и $Pb-210$, другие радионуклиды обнаружить не удалось, видимо, содержание в образцах очень низкое.

Таблица 4.2. – Фоновое содержание нстественных радионуклидов (ЕРН) в покрове почв, воздушном бассейне и водах Дигмайского хвостохранилища

Радионуклиды	Покров почв, Бк/кг	Воздушный бассейн, Бк/м^3	Вода, Бк/м^3
210Pb	49	3,5·10-4	-
210Po	36	3,5·10-4	-
226Ra	32	3,1·10-5	7
228Th	12	8,0·10-6	-

Продолжение таблицы 4.2.

230Th	60	5,0·10-5	-
234U	13	3,2·10-5	28
238U	10	2,8·10-5	25
222Rn	-	20,0	-

Таблица 4.3. - Значения МАЭД (мкЗв/ч) для участков вокруг хвостохранилища Дигмай

Зона опасности	МАЭД, min	МАЭД, max	МАЭД, средняя
Населённый пункт	0,2	0,5	0,22
Хвостохранилище	4,0	20	5,24

В аэрозолях активности других радионуклидов уран-радиевого ряда и их изотопов определялась с использованием установленных региональных соотношений и предполагаемых равновесий $\text{уран} - 234/\text{уран} - 238$ и $\text{свинец} - 210/\text{полоний} - 210$. Действительно, в ряде случаев в аэрозолях соотношение $\text{свинец} - 210/\text{полоний} - 210$ может составлять значение значительно больше 1. Однако при отсутствии данных о содержании полоний-210 в аэрозолях это соотношение использовалось в качестве оценочного соотношения. Концентрации радона-222 в различных локальных точках хвостохранилища колебались в диапазоне 100-400 Бк/м^3.

Концентрации ^{222}Ra были определены в посёлке Гозиён, так его расположение наиболее близко к хвостохранилищу. Радон был определён в помещениях, которые периодически вентилировались открытием окон и дверей, содержание радона было определено в среднем ~50 Бк/м^3. Max и min активностей аэрозолей, отобранных на территории непосредственно хвостохранилища Дигмай, обобщены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. - Объёмная активность аэрозолей в районе расположения Дигмайского хвостохранилища, Бк/м^3

Радионуклиды	Посёлок Гозиён	Хвостохранилище	
		min	max
^{210}Pb	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$9{,}2\cdot10^{-4}$	$1{,}3\cdot10^{-3}$
^{210}Po	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$9{,}2\cdot10^{-4}$	$1{,}3\cdot10^{-3}$
^{226}Ra	$4{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}3\cdot10^{-4}$	$4{,}1\cdot10^{-4}$
^{228}Th	$2{,}6\cdot10^{-5}$	$4{,}6\cdot10^{-5}$	$5{,}8\cdot10^{-4}$
^{230}Th	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$2{,}3\cdot10^{-4}$	$2{,}9\cdot10^{-4}$
^{234}U	$2{,}8\cdot10^{-5}$	$3{,}6\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$
^{238}U	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$3{,}4\cdot10^{-5}$	$4{,}6\cdot10^{-5}$
^{222}Rn	50	100	400

Как показали исследования радионуклидов в подземных водах на территории посёлка Гозиён, в образцах, взятых из нескольких скважин, определены низкие содержания радионуклидов, можно сделать заключение о том, что загрязнение радионуклидами подземных вод под хвостохранилищем ещё не распространилось на территорию посёлка, и используемые здесь жителями вода питьевого водоснабжения и вода для орошения полей в настоящее время чистая.

Значения МАЭД гамма-излучения в г. Истиклол и на поверхности хвостохранилищ вокруг него определялись на открытых территориях и в зданиях и закрытых помещениях. Были определены max, min и средние значения МАЭД для трёх основных зон радиологических рисков, которые были выявлены в городе Истиклол, и представлены в таблице 4.5.

Указанные три зоны радиологических рисков, выявленные в городе Истиклол, обследовались на активности радиационных нуклидов а аэрозоле атмосферного воздуха, определялись max и min активности радиационных нуклидов, значения которых приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.5. - МАЭД на основных объектах радиационного риска в г. Истиклол

Объект или фактор опасности	МАЭД, min	МАЭД, max	МАЭД, средняя
	(мкЗв/час)		
Посёлок (вне помещений)	0,18	0,25	0,21
Посёлок (в помещениях)	0,10	0,15	0,13
Хвостохранилище	0,30	0,90	0,48
Урановый карьер	0,35	3,8	0,95

В таблице 4.7 обобщены данные, характеризующие содержание радионуклидов в различных водах города Истиклол – дренажных, шахтных, а также водах, использующихся населением для хозяйственных нужд (для водопоя скота или для орошения полей).

В оценку содержания радионуклидов от водных источников различного назначения вошли только следующие радионуклиды: радий-226 и два изотопа урана – уран-234 и уран-238, так как вклад указанных нуклидов в дозы облучения является максимальным, составляя 95-99%. Таким образом, вклады радионуклидов – тория-228 и тория-230, полония-210 и свинца 210 не определялись.

Таблица 4.6. – Содержание радионуклидов в воздушной среде радиоактивных объектов города Истиклол (Бк/м^3)

Радионуклиды	Карьер		Хвостохранилище		Посёлок Гозиён	
	min	max	min	max	min	max
Уран-238	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$1{,}8\cdot10^{-5}$	$1{,}9\cdot10^{-5}$	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$2{,}8\cdot10^{-5}$	$5{,}8\cdot10^{-5}$
Уран-234	$2{,}8\cdot10^{-5}$	$2{,}1\cdot10^{-5}$	$2{,}4\cdot10^{-5}$	$1{,}6\cdot10^{-4}$	$3{,}4\cdot10^{-5}$	$6{,}8\cdot10^{-5}$
Полоний-210	$1{,}3\cdot10^{-3}$	$1{,}1\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$3{,}9\cdot10^{-4}$	$7{,}0\cdot10^{-5}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$
Торий-230	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$8{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}6\cdot10^{-4}$	$6{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}0\cdot10^{-4}$
Торий-228	$2{,}6\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$7{,}2\cdot10^{-5}$	$8{,}0\cdot10^{-6}$	$6{,}1\cdot10^{-5}$
Свинец-210	$1{,}3\cdot10^{-3}$	$4{,}8\cdot10^{-4}$	$5{,}6\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$3{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}3\cdot10^{-3}$
Радий-226	$4{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}9\cdot10^{-5}$	$2{,}1\cdot10^{-5}$	$1{,}8\cdot10^{-4}$	$3{,}1\cdot10^{-5}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$
Радон-222	17	50	25	60	45	170

Таблица 4.7. - Содержание радионуклидов в водах радиоактивных объектов города Истиклол (Бк/м^3)

Нуклиды	Вода шахтная (для сельхоз угодия и т.д.)		Воды из-под хвостохранилища (для орошения и т.д.)		Карьерная вода (для сельхоз угодия и т.д.)	
	min	max	min	max	min	max
^{226}Ra	60	160	160	210	100	210
^{234}U	$1{,}6\cdot10^{4-}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$4{,}0\cdot10^{-5}$	$6{,}6\cdot10^{-5}$	$1{,}8\cdot10^{-4}$	$3{,}6\cdot10^{-4}$
^{238}U	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$2{,}2\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$5{,}3\cdot10^{-5}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$2{,}9\cdot10^{-4}$

В таблице 4.8 приведены результаты исследований, направленных на оценку величин радоновых эксхаляций с поверхностей хвостохранилища Адрасман и поверхности вокруг горного ручья (сая), в которые временными водотоками выносятся радиоактивные материалы, и происходит накопление радионуклидов в почве, а также концентрации радона, измеренные на территории жилого дома, который расположен ближе других к территории хвостохранилища (замеры проведены во дворе дома и в жилых помещениях).

Таблица 4.8. - Радиологическое загрязнение от эксхаляции радона в районе Адрасманского хвостохранилища

Короткоживущие продукты распада Rn-222, Бк/м^3			ЭРОА радона, Бк/м^3	ППР, Бк/(м^2·с)	ОА радона, Бк/м^3
RaC (^{214}Bi)	RaB (^{214}Pb)	RaA (^{218}Po)			
9,6	5,6	18,0	7,3	0,4	176
8,2	6,3	21,0	8,2	0,4	157
8,8	7,3	30,0	6,2	0,5	161
1,7	7,8	48,7	9,8	0,5	134
8,8	5,3	20,0	8,7	0,3	134
8,7	5,2	24,1	9,2	0,2	129

Продолжение таблицы 4.8.

9,6	5,6	18,0	2,3	0,2	126
8,8	7,3	30,0	6,2	0,7	101
8,2	6,3	21,0	8,2	0,7	157
8,8	7,3	30,0	6,2	0,5	161
1,7	7,8	48,7	9,8	0,9	164
8,8	5,3	20,0	8,7	0,3	134

В образцах 1-6, отобранных на поверхности хвостохранилища Адрасман, плотность потока радона (ППР) в среднем составила 0.38 $Бк/(м^2 \cdot с)$. Суммарная среднегодовая эксхаляция радона с поверхности Адрасмана определена как примерно $3.0 \cdot 10^{11}$ Бк. Учитывая факт, что площадь хвостохранилища в результате выноса радиоактивных материалов и эрозии поверхности составляет около 15 тыс. $м^2$, и с этой поверхности в целом ППР составляет 0.57 $Бк/(м^2 \cdot с)$, общий выброс радона из зоны, загрязнённой радиационными нуклидами, оценивается в $2.7 \cdot 10^{11}$ Бк/год, а общий годовой выброс радона для хвостохранилища Адрасман и прилегающих к нему территорий, также загрязнённых радионуклидами, оценивается в $5.7 \cdot 10^{11}$ Бк/год.

В образцах 9-12, отобранных на территории жилого дома, который расположен ближе других к территории хвостохранилища (в воздухе помещений), концентрации радона выше по сравнению с концентрациями радона на открытых площадках, но эти концентрации находятся в пределах норм, установленных в НРБ-06 Таджикистана для радона.

Таким образом, в соответствии с положениями пунктов 5.3.2 и 5.3.3 НРБ-06, при проектировании нового парка жилых и общественных зданий предусматривается, что среднегодовые значения содержания радона ЭРОА и его дочерних продуктов распада в воздухе помещений не должны быть выше 100 $Бк/м^3$, при этом для эксплуатируемых зданий среднегодовое значение ЭРОА по радону не должно превышать 200 $Бк/м^3$.

4.3. Общий радиационный фон бассейна реки Сырдарьи Таджикистана

Одной из характеристик экологической обстановки северной части Таджикистана является наличие в ней определённого количества радиоактивных захоронений, «хвостов», шахт и штолен. Кроме того, многие населённые пункты здесь расположены в сравнительно высокой географической зоне. В этой связи вполне возможно увеличение общего радиационного фона от искусственного вмешательства человека в природу и от космических лучей.

Исходя из этого, мы на примере районов, расположенных на севере страны, осуществили мониторинговые исследования воздушного бассейна реки Сырдарья с целью определения радиационного фона территорий. Замеры производились на территории 26 000 километров квадратных, общее количество проживающего населения 1.5 миллионов человек. Мониторинг осуществлён территориально в 120 посёлках, 8 городах , в 11 районах республики.

В левобережной части р. Сырдарья до ограничения Туркестанским хребтом замеры общего радиационного фона в посёлках определены в величинах $0.1 - 0.2$ мкЗв/час, а в правобережье р. Сырдарья до ограничения южными склонами Кураминского хребта эти показатели определялись как 0.13-0.35 мкЗв/час. Эта разница в величинах радиационного фона, по нашему мнению, связана с присутствием захоронений радиоактивных отходов, образовавшихся в результате переработки ураносодержащих руд с целью добычи урана. Более высоки показатели радиационного фона отмечены в территориях, на которых расположены отходы уранового производства и бывшие уранодобывающие карьеры, где эти показатели определялись как 0.4-0.5 до 3.0-6.0 мкЗв/час.

Мониторинг величин измерения общего радиационного фона осуществлён с использованием широкого спектра измерительного оборудования и приборов – малогабаритный рентгенометр-дозиметр "ИЗВ-56", поисково-разведочный профессиональный радиационный дозиметр "СРП-68-01", дозиметр-радиометр "РКСБ-104М", имеющие широкие измерительные диапазоны в пределах $0.01 - 2.0$ Зв/ч. Все измерительные приборы и оборудование перед выездом на объекты измерений тестировались с помощью эталонных стандартных источников,

проверялась их чувствительность и работоспособность. Так как территория исследований была выбрана достаточно большая, наша исследовательская группа была разделена на две подгруппы, одна из которых работала в левобережье р. Сырдарья, ограничиваясь территорией до северных склонов Туркестанского хребта и от плотины города Бекабад до границы Исфаринского района, проводя исследования общего радиационного фона в населённых пунктах. В задачи второй подгруппы входило исследование радиационного фона в правобережье р. Сырдарья, ограничиваясь территорией от восточных границ района Ашт до западной границы района Матча, в населённых пунктах 8 районов. Результаты мониторинга радиационного фона указанных территорий обобщаются в виде таблицы 4.9.

Таблица 4.9. – Общий радиационный фон территорий бассейна р. Сырдарья

Места измерений	Радиационный фон, мкЗв/час
Правобережье р. Сырдарья	
Аштский район	0,14 - 0,22
Г. Истиклол	0,20 – 6,00
Посёлок Кансай	0,14 – 0,22
Посёлок Адрасман	0,17 – 0,42
Матчинский район	0,15 – 0,22
г. Худжанд (правый берег)	0,20 – 0,25
Горы Моголтау, южная часть	0,23 – 0,75
Левобережье р. Сырдарья	
Исфаринский район	0,10 – 0,18
Канибадамский район	0,07 – 0,15
Г. Бустон	0,12 – 0,15
Шахристанский район	0,14 – 0,20
Ганчинский район	0,16 – 0,20
Г. Гулистан	0,11 – 0,14

Продолжение таблицы 4.9

Б. Гафуровский район	0,09 – 0,18
Истаравшанский район	0,14 – 0,20
Зафарабадский район	0,13 – 0,20
Спитаменский район	0,11 – 0,15
Дж.Расуловский район	0,09 – 0,14

Как видно из таблицы 4.9, общий радиационный фон в левобережной части реки Сырдарьи в районах: Дж. Расуловский, Спитаменский, Зафарабадский, Истаравшанский, Б. Гафуровский, Ганчинский, Шахристанский, Канибадамский Исфаринский, городах Гулистан и Бустон находится в пределах величин 0.07-0.20 мкЗв/час. На правом берегу р. Сырдарья на территориях городов Худжанд и Истиклол, посёлков Адрасман и Кансай, в Аштском и Матчинском районах, а также в южных территориях горного массива Моголтау величины общего радиационного фона составили 0.13-0.35 мкЗв/час, что на 40-50% выше аналогичных показателей левобережья р. Сырдарья. Данная радиационная аномалия, по нашему мнению, зависит от радиоактивных рудных месторождений, расположенных на территории Кураминского хребта.

На рисунке 4.1 нами в качестве примера приводится схематическая карта гамма-поля отвалов № 7 ФБР, разработанная по полученным данным гамма-съёмки этой территории.

В отвалах всех хвостохранилищ отмечается сдвиг радиоактивного баланса между ураном и радием в сторону радия, что можно объяснить тем фактом, что в гидрометаллургической переработке рудных материалов все протекающие физико-химические процессы ориентированы на извлечение урана, а не на извлечение радия.

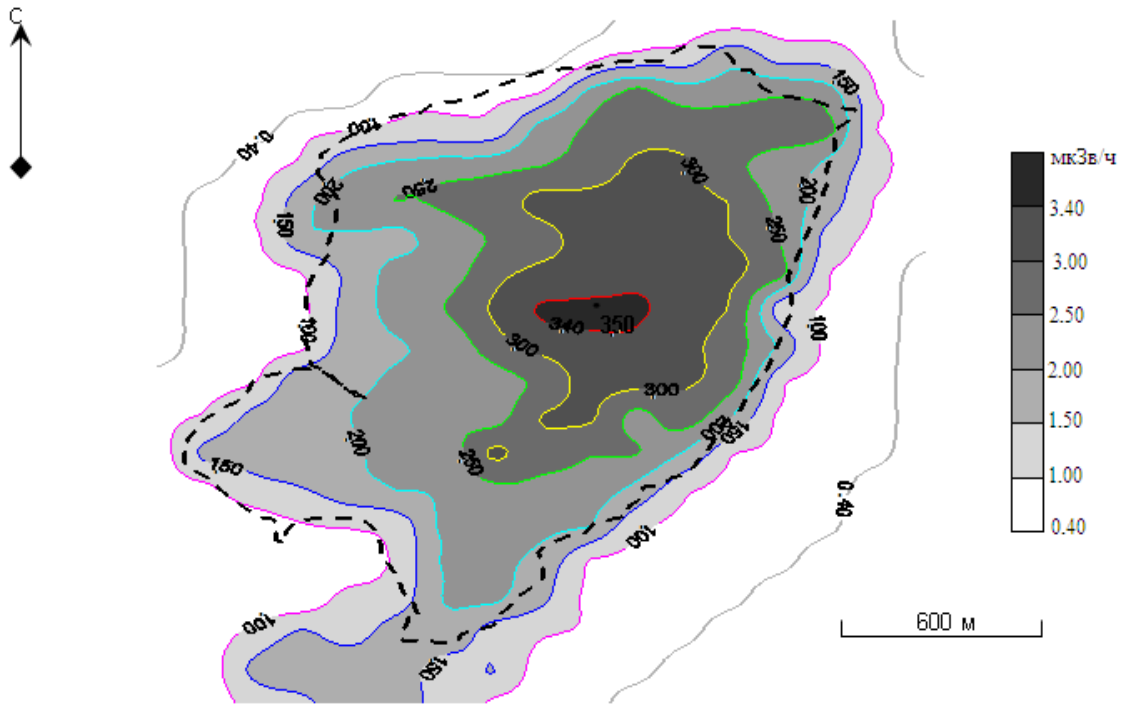

Рисунок 4.1. – Схематическая карта гамма-поля отвалов № 7 ФБР

Среди всех хвостохранилищ севера Таджикистана гамма-поле радиоактивных отходов ФБР имеет самые высокие значения МЭД. Здесь фиксируются величины МЭД в 3.5 – 4.0 мкЗв/час, которые являются максимальными. На территориях всех обследованных объектов параллельно проводились замеры суммарных выбросов радона, и результаты соответственно обобщаются в таблице 4.10.

Таблица 4.10. – Показатели суммарных выбросов радона на поверхности хвостохранилищ (*ППР – Плотность потока радона)

Хранилище	*ППР, Бк/(м^2 · с),	Площадь, 10^4 (м^2)	Выбросы Rn (10^4, Бк/с)	Выбросы Rn (10^{12}, Бк/год)
"Фабрика бедных руд"	1.38	3.35	4.62	1.46
I-II очереди	1.38	24.7	34.086	10.75
III очереди	1.25	11.0	13.75	4.34
IV очереди	1.38	18.76	25.89	8.17
Всего за год				24.72

4.4. Радиационный мониторинг урановых хвостохранилищ Таджикистана

Нами также дана оценка потенциальной опасности хвостохранилищ для населения, проживающего вокруг них, выполнено разделение населения на несколько гипотетических групп. Для хвостохранилищ, расположенных на севере республики, приводятся результаты их комплексного, интегрированного мониторинга.

Нами выделены несколько гипотетических групп населения, проживающего вблизи радиоактивных хвостохранилищ для оценки потенциальных радиационных рисков для этих групп населения.

Гипотетическая группа 1. К этой группе нами отнесено население посёлков, живущих на относительно далёких расстояниях от хранилищ радиоактивных отходов, эти люди внутри своих домов проводят больше времени. Построенные здания сами не загрязнены, т.к. население при их строительстве не использовало загрязнённые радионуклидами стройматериалы с территории хвостохранилищ. Для питьевых и хозяйственных нужд эти жители используют воду, которую берут из чистых источников, не загрязнённых радиоактивными элементами.

Гипотетическая группа 2. К этой группе нами отнесено население посёлков, проживающее аналогично представителям гипотетической группе 1. Но у этих людей отсутствуют чистые источники водоснабжения. Они пользуются водой для бытовых нужд, в частности, для питья, приготовления пищи, вытекающей из бывших урановых рудников, в настоящее время затопленных, эту же воду население вынуждено использовать для полива садов и огородов.

Гипотетическая группа 3. К этой группе нами отнесено население посёлков, имеющее аналогичные условия с представителями второй гипотетической группы, то есть не имеют чистого водоснабжения. Они пользуются для бытовых нужд - питья, приготовления пищи, для полива садов и огородов водой, вытекающей из бывших урановых рудников, в настоящее время затопленных. Кроме того, они, аналогично представителям первой гипотетической группе, живут на относительно далёких расстояниях от хранилищ радиоактивных отходов, и

внутри своих домов проводят большую часть времени. Отличие заключается в том, что эта часть населения часто посещают территории площадок радиоактивных отходов и горных отвалов, имеющих высокие уровни загрязнения радиоактивными элементами. Эта группа населения находится на радиоактивных территориях (хвостохранилищах и отвалах) в среднем по два часа в сутки, выпасая на этих территориях домашних животных.

Гипотетическая группа 4. К этой группе нами отнесено население посёлков, аналогичное гипотетическим группам 2 и 3, они пользуются шахтными водами для бытовых нужд и полива приусадебных участков. Отличие заключается в том, что население испытывает дополнительные радиологические риски, т.к. домашний скот, выпасаемый на отвалах рудников и территориях хвостохранилищ, для водопоя использует дренажные воды хвостохранилищ, которые в значительной мере загрязнены радиоактивными элементами. Эта группа населения находится на радиоактивных хвостохранилищах в среднем по четыре часа в сутки, выпасая на этих территориях домашних животных, и по два часа в сутки на радиоактивных отвалах бывших рудников.

В таблице 4.11 приведены данные о продолжительности пребывания групп населения из четырех гипотетических групп на урансодержащих объектах в зонах потенциального облучения. Соответственно, в таблице 4.12 суммированы среднегодовые дозы облучения, получаемые населением гипотетических групп вследствие использования загрязнённых радионуклидами вод.

Таблица 4.11. - Продолжительность нахождения населения гипотетических групп населения на территориях с потенциальным облучением (ч/год)

Группы	Вблизи хвостохранилищ	Вблизи отвалов рудников	В помещениях	Снаружи зданий
1	0	0	5840	2920
2	0	0	5840	2920
3	0	730	5110	2920
4	1460	730	5110	1460

Для вычисления получаемых населением доз облучения принимались во внимание различные критерии радиоактивных загрязнений – потребление населением на данных территориях продуктов питания, включая фрукты и овощи; коэффициенты дозовых нагрузок лимитов годовых поступлений радиоактивных нуклидов с продуктами питания и ингаляцией через воздух; допустимые объёмные активности во вдыхаемом воздухе; предельные нормативы для населения при поступлении радионуклидов из воды.

Таблица 4.12. – Величины годовых доз облучения населения от использования загрязнённых нуклидами вод различных водных источников

Водные источники	Пути облучения	Дозы, мЗв/год	
		max	min
Воды уранового карьера	Питьевая вода	1.7	0.94
Дренажные воды хвостохранилищ	Потребление загрязнённого нуклидами молока при водопое домашнего скота ураносодержащими водами	0.025	0.015
	Потребление загрязнённого нуклидами мяса	0.014	0.0083
Шахтные воды	Вода питьевого водоснабжения	1.3	0.82
	Потребление фруктов и овощей, поливаемых загрязнёнными водами	0.11	0.066

Учитывая вышеизложенное, было определено влияние различных радиационных факторов на дополнительные годовые дозы облучения, полученные населением в четырёх гипотетических группах (таблица 4.13).

Соответственно, принимая во внимание условия проживания гипотетической группы 1, её население получает дополнительных доз облучения, сравнимые с естественным радиационным фоном территории. В гипотетической

группе 2 население имеет дополнительные дозовые нагрузки за счёт употребления в пищу фруктов и овощей, поливаемых водой с радионуклидами естественного происхождения (ЕРН). Соответственно, население этой группы получает дозы облучения сверх естественного радиационного фона, равные 0.08 мЗв/год.

Таблица 4.13. - Дополнительные годовые дозы облучения от различных радиационных факторов, получаемые населением гипотетических групп 1-4 (мЗв/год)

Группы	Вода	Мясо*	Молоко**	Овощи***	МЭД на отвалах рудников	МЭД на хвостохранилищах	Σ
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0,088	0	0	0,088
3	1,320	0	0	0,088	1,299	0	2,7
4	1,320	0,011	0,020	0,088	1,299	1,076	3,8

Примечание: *мясо, загрязнённое радиоактивными нуклидами из дренажных вод при водопое скота;

**молоко, загрязнённое радиоактивными нуклидами из дренажных вод при
водопое скота;

***овощи, поливаемые водой, загрязнённой естественными радионуклидами.

Для гипотетической группы 3 определены дополнительные дозовые нагрузки сверх естественного радиационного фона, равные 2.7 мЗв/год, которые формируются за счёт употребления загрязнённых вод, употребления в пищу

фруктов и овощей, поливаемых водой с радионуклидами естественного происхождения (ЕРН), нахождения определённого времени на территориях хвостохранилищ и отвалов бывших рудников.

В гипотетической группе 4 население получает дополнительные дозовые нагрузки сверх естественного радиационного фона, равные 3.8 мЗв/год, которые формируются за счёт употребления загрязнённых вод; употребления в пищу фруктов и овощей, которые поливаются водой, содержащей радионуклиды естественного происхождения (ЕРН); употребления молока и мяса домашних животных, которые выпасаются на загрязнённых радионуклидами территориях и используют для водопоя воду с содержаниями радионуклидов; нахождения на поверхностях хвостохранилищ и отвалах бывших рудников в течение определённого времени.

Следовательно, дополнительные дозы облучения населения, проживающего на близко рсположенных к хвостохранилищам территориях, близко к урановым карьерам и отвалам бывших рудников, формируются в большей части за счёт внешнего облучения (нахождения населения непосредственно на ураносодержащих объектах в течение определённого времени) и внутреннего облучения, поступающего в организмы людей с питьевой водой, загрязнённой естественными нуклидами.

4.5. Естественные радионуклиды в почвах на территории ареала хвостохранилища Адрасман

Почва является наиболее ёмким и самым инерционным звеном в цепочках переноса радионуклидов. Во все компоненты почвы входят естественные радионуклиды. Были изучены содержания естественных радионуклидов ^{226}Ra, ^{40}K, ^{232}Th, потому, что они вносят большой вклад в формирование дозовой нагрузки облучения населения.

В работах многих авторов рассматривается проблема миграции ЕРН в различных почвах. Основное внимание уделяется формированию дозы излучения на поверхности вследствие влияния на неё природных радионуклидов.

Настоящий раздел работы посвящён установлению особенностей распределения удельной активности естественных радионуклидов (ЕРН) - ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) в почвах вокруг радиоактивного хвостохранилища Адрасман.

Места отбора проб были заранее определены с указанием координатов их месторасположения (рисунок 4.2). Радиоэкологические исследования проводились летом и осенью (июнь - сентябрь 2022 г.).

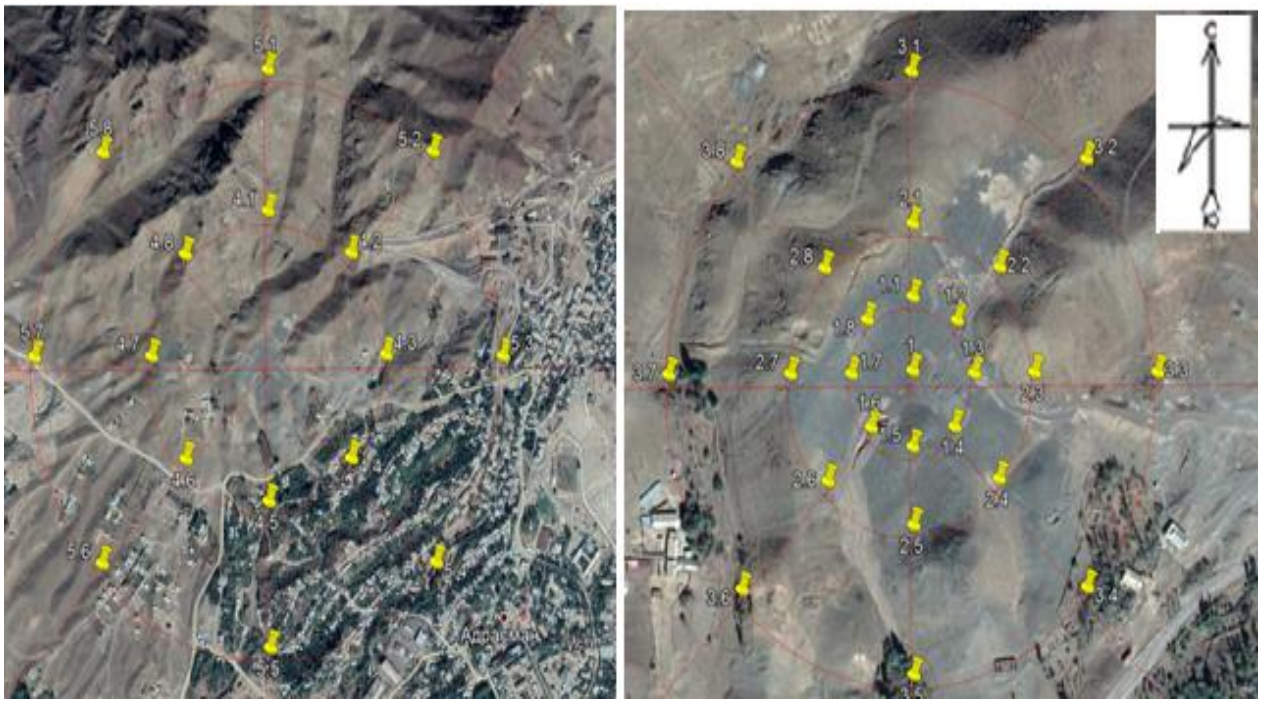

Рисунок 4.2. - Точки отбора образцов почв хвостохранилища Адрасман

Образцы почвы отбирались на основании требований ГОСТ 17.4.3.01-2017, на глубину 25 см от поверхности почвы. Каждый образец предварительно подготавливался в точке отбора, очищался от посторонних включений, корней растений, камней. Из полученного таким образом объёма предварительного образца отбиралось по 1 л (образец). Далее образец почвы высушивался на воздухе до воздушно-сухого состояния, дробился в дробилке, просеивался с помощью сита с диаметром отверстий не более 2 мм.

Образцы подвергали радиологическому измерению, помещая их в стандартный сосуд "Маринелли" с объёмом 1 литр. Для радиологических исследований использовался гамма-спектрометр с программным обеспечением Genie-

2000 производства CANBERRA, анализы проводили в аккредитованной Лаборатории технических услуг Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана. Радионуклидный состав представлен в таблицах 4.14 и 4.15.

При изучении особенностей активности естественных радионуклидов почвы вокруг радиоактивного хвостохранилища Адрасман особое внимание уделяли состоянию хвостохранилища. В некоторых его местах имеются нарушения поверхностного покрытия и места смыва.

Таблица 4.14. - Содержание радионуклидов в материале Адрасманского хвостохранилища и почвах прилегающего к нему посёлка

Радионуклид	$A_{уд.}$, Бк/кг			
	Хвостохранилище		Посёлок	
	минимум	максимум	минимум	максимум
^{40}K	535	1812	963	1734
^{226}Ra	2087	29677	114	4205*
^{232}Th	30	342	-	-
^{238}U	118	1271	-	47
Примечание: *Аномальные значения связаны с хвостовым материалом, занесённым из тела хвостохранилища.				

Результаты проведенных исследований показали, что суммарные активности радионуклидов естественного происхождения в почвах вокруг хвостохранилища Адрасман имеют некоторое превышение установленных норм. Эти данные приведены в таблице 4.15. Согласно этим данным содержания ^{226}Ra в почвах исследуемой территории показал, что данный показатель варьирует в достаточно широких пределах (рисунок 4.3) и находится на уровне 149-8570 Бк/кг. При этом, обнаружены аномальные максимальные значения удельной активности ^{226}Ra в почвах территорий близлежащих посёлков. Это связано со смывом хвостового материала из тела радиоактивного хвостохранилища Адрасман селевыми потоками.

В зависимости от типа почвенного покрова отмечается значительный разброс величин удельных активностей калия-40. Так, для первичных горных пород

содержание калия-40 в вулканических кислых породах, в частности, гранитах, является самым высоким. Для осадочных пород максимальные количества ^{40}K отмечены для сланцевых и песчаных пород. В нашем случае максимальные количества ^{40}K достигают $8.6 \cdot 10^3$ Бк/кг. В супесчаниках, аллювиальных и песчаных почвах, как правило, содержание ^{40}K минимально, также как и в почвах с промывным водным режимом. ^{40}K легко окисляющийся щелочной металл, образующий хорошо растворимые соли.

Таблица 4.15. - Суммарная активность радионуклидов почв вокруг хвостохранилища Адрасман

Дальность от центра хвостохранилища, м	Значение	Суммарная активность, Бк/кг		$A_{уд.}$, Бк/кг			
		альфа	бета	^{40}K	^{226}Ra	^{228}Th	^{238}U
50	минимум	24,75	12,88	865,6	186,2	не обн.	не обн.
	максимум	161,31	143,48	1338,1	**8570,5**	**9697,3**	**811,1**
	средние	61,10	60,8	1024,19	1569,76	1335,96	116,21
100	минимум	26,57	16,76	1107,2	184,3	не обн.	не обн.
	максимум	162,66	88,91	1365,5	8386,2	7388,1	313,2
	средние	60,47	59,95	1197,5	1817,38	1309,73	39,15
200	минимум	35,69	28,40	1107,1	162,7	не обн.	не обн.
	максимум	**167,95**	147,08	1431,5	4205,5	2285,1	не обн.
	средние	86,05	82,40	1244,9	1048,5	285,63	не обн.
400	минимум	43,08	23,55	963,6	не обн	не обн	не обн
	максимум	160,04	102,31	1734,0	756,7	499,4	47,1
	средние	91,71	67,97	1238,44	269,73	62,42	5,88
800	минимум	85,95	46,33	1021,4	114,1	не обн.	не обн.
	максимум	159,49	**149,73**	**8609,6**	293,9	не обн.	не обн.
	средние	124,0	92,0	2134,6	149,21	не обн	не обн

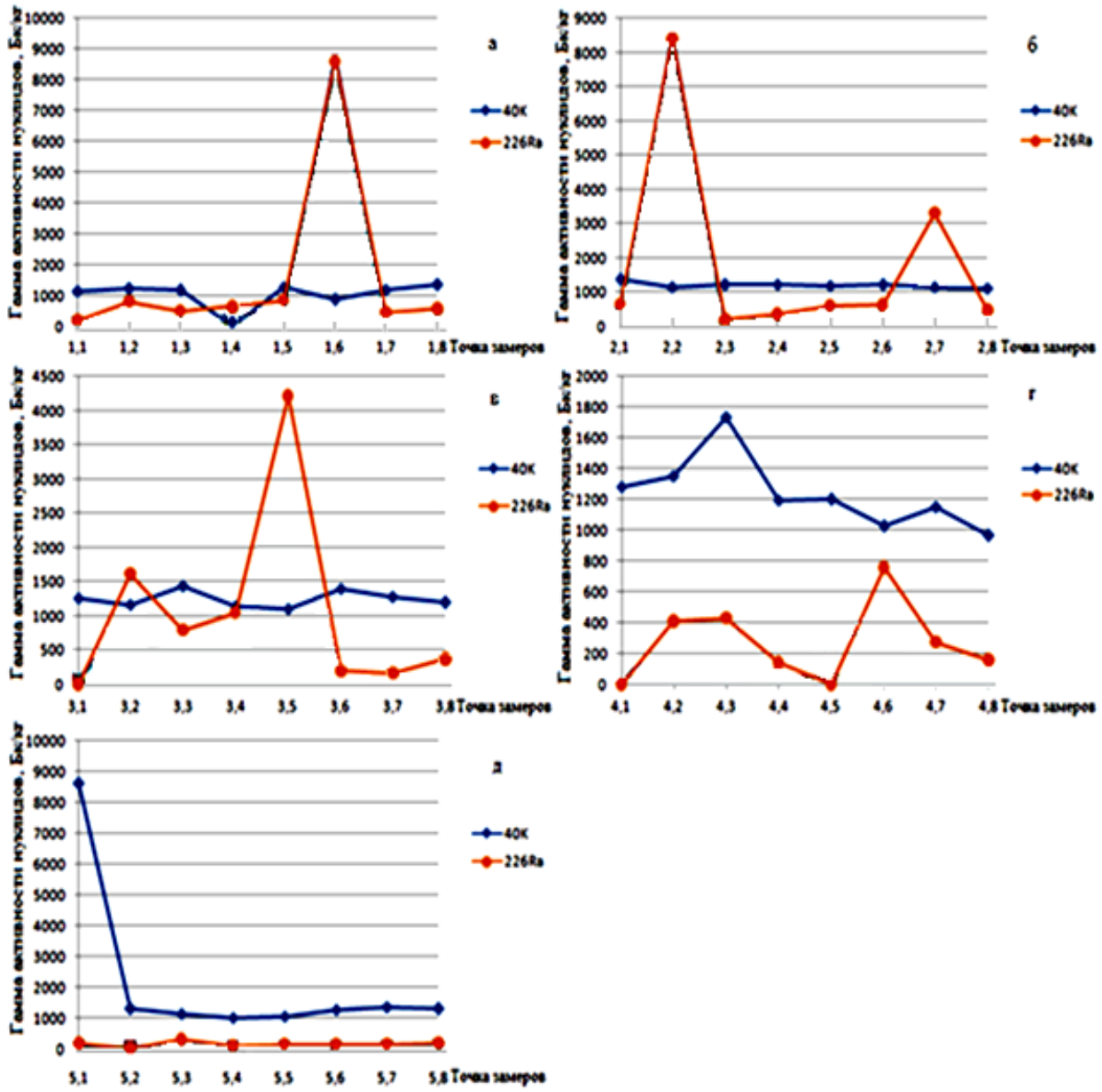

Рисунок 4.3. - Удельные активности ЕРН в пробах почв, отобранных вокруг радиоактивного хвостохранилища Адрасман на различных расстояниях: а) 50 м; б) 100 м; в) 200 м; г) 400 м; д) 800 м от центра хвостохранилища

На рисунке 4.4 приводятся суммарные α- и β-активности образцов почв, которые отбирались на территориях вокруг хранилища радиоактивных отходов Адрасманв точках, расположенных на различных расстояниях от центра хвостохранилища.

В целом, оценка содержания в почвенных покровах естественных радионуклидов главным образом является необходимым условием для прогнозирования последствий миграции радионуклидов в окружающую среду из радиоактивных хвостохранилищ, и для расчётов доз облучения, которые население получает от природных источников радиоактивных излучений.

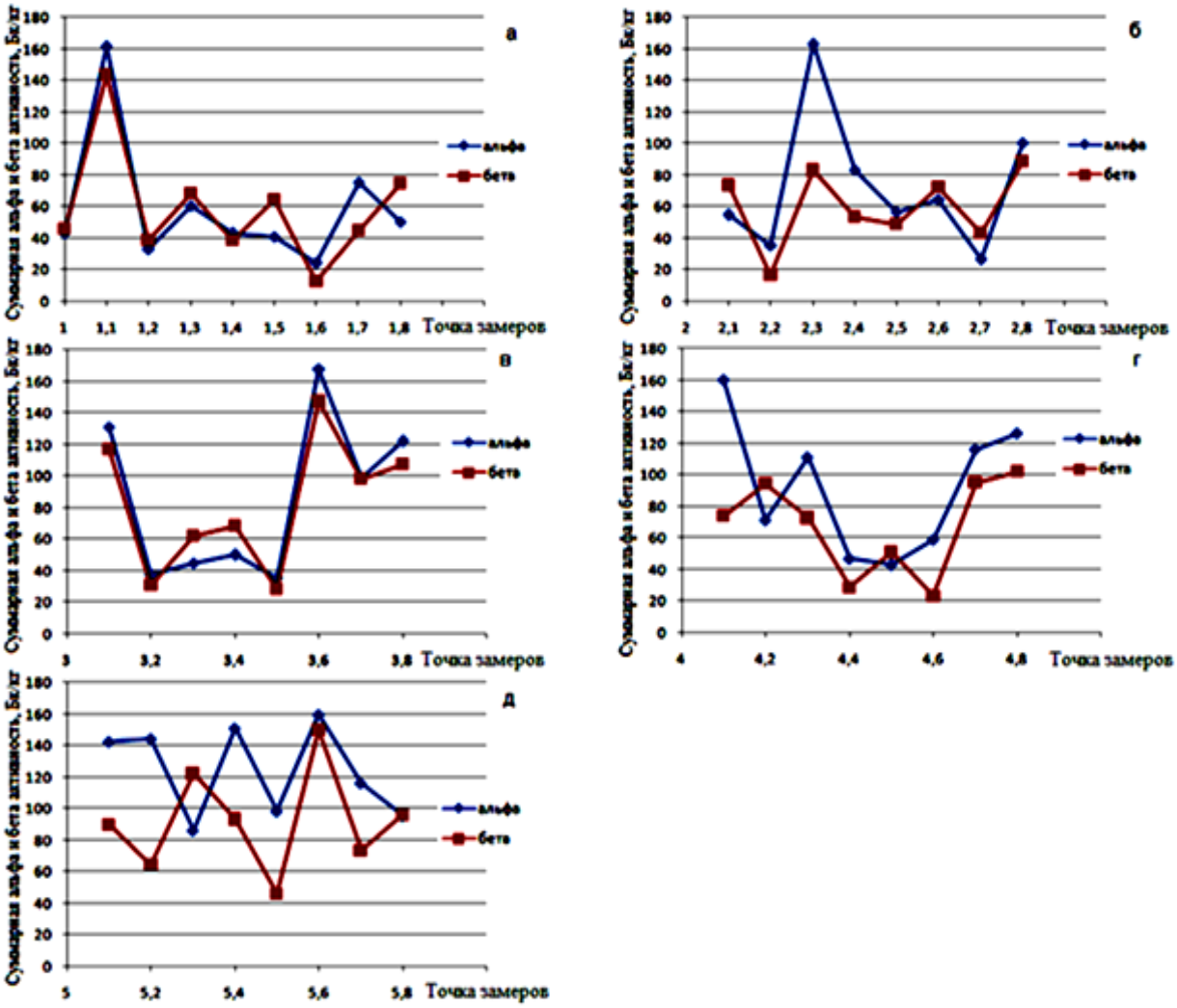

Рисунок 4.4. - Суммарные альфа- и бета-активности проб почв, отобранных вокруг радиоактивного хвостохранилища Адрасман на различных расстояниях: а) 50 м; б) 100 м; в) 200 м; г) 400 м; д) 800 м от центра хвостохранилища.

4.6. Разработка способа радиоэкологического мониторинга урановых хвостохранилищ

Даётся оценка потенциальной опасности урановых хвостохранилищ Таджикистана. Радиоэкологический мониторинг включает не только проведение радиологических измерений, также их интерпретацию, использование данных

для оценки уровней опасности и контроля над воздействием. Радиационный мониторинг хвостохранилищ включает также радоновый анализ поверхности хвостохранилищ, состояние покрытия хвостохранилищ и др.

Обсуждаются данные радиационного мониторинга хвостохранилищ Таджикаистана - Дигмай, гг. Истиклол, Бустон, пос. Адрасман. В частности, на поверхности хвостохранилища Дигмай в различных локальных участках средние мощности эквивалентных доз определены как 20-60 мкЗв/час, величины объёмных активностей радона-222, измеренные в различных точках над поверхностью определены в 200-1000 Бк/м^3. Соответственно, в хвостовом материале хвостохранилища величины удельной активности урана находятся в диапазоне 820-980 Бк на килограмм, а радия - 7250-7620 Бк на килограмм. Средние значения годовых доз облучения населения, которое проживает на различных территориях республики, были вычислены при учёте различных радиационных параметров и факторов.

Одним из известных способов, разработанных для оценки радиационной обстановки и реабилитации территорий, подверженных загрязнению различными радионуклидами, является следующий, состоящий из нескольких этапов - отбор образцов природных объектов окружающей среды, пробоподготовка, предварительный анализ содержание нуклидов, их выделение и очистка, методы определения содержания радионуклидов в образцах. Но в данном способе не учитывается накопление в природных средах радиоактивных веществ, исходя из чего применение данного способа не способствует получению в динамическом режиме необходимую информацию, касающуюся состояний отдельных промышленных территорий и в целом окружающей среды.

Более приближённым способом (прототипом) можно выделить способ радиоэкологического мониторинга для промышленных регионов, который заключается в следующем: отбор образцов атмосферного воздуха, подготовка образцов к проведению качественных и количественных анализов, определение в образцах содержаний техногенных и природных радионуклидов, автоматическая

обработка полученных результатов. Этот способ отличается от вышеприведённого тем, что в нём непосредственно проводят отбор образцов почвенных покровов, техногенных почв, образцов различных вод (поверхностных, подземных), атмосферных выпадений и других.

Однако рассматриваемый способ имеет ряд недостатков, среди которых основными являются: радиационное состояние на территориях в промышленных регионах контролируется, но не предусматривается определение дозовых нагрузок, получаемых населением этого региона, не включена оценка внутренних эффективных доз облучения населения, которые определяются при соответствующих измерениях в атмосферном воздухе объёмных концентраций пыли. Также недостаток способа выражается в отсутствие мониторинга содержания радона на исследуемых территориях.

Предлагаемый способ радиоэкологического мониторинга для хранилищ ураносодержащих отходов имеет также отличия в техническом исполнении, в нём предусматриваются определение концентраций радона в воздухе над поверхностью хвостохранилища, определение в атмосферном воздухе величин удельных активностей радионуклидов, а также определение объёмных концентраций пыли с поверхности хранилища радиоактивных отходов.

Достичь указанный технический результат позволяет использование способа радиоэкологического мониторинга для хранилищ ураносодержащих отходов, который включает отбор образцов радона и атмосферного воздуха с радиоактивных поверхностей, мониторинг, анализ и оценка дренажных вод, почвенного покрова, в целом состояния покрытий.

Радиоэкологический мониторинг хранилищ ураносодержащих отходов включает сбор данных в многочисленных точках хвостохранилищ, определение в этих точках эксхаляции радона, спектрометрические исследования почвенного покрова и воды непрерывно каждый месяц (ежемесячный мониторинг). Перед выполнением измерений и отбора проб в зависимости от размеров объекта и его окружающих условий местности определяются контрольные точки.

Измерение радона-222 проводят с помощью радонометров или альфа-радиометров на контрольных точках вокруг радиоактивных хвостохранилищ и на местах постоянного пребывания людей из групп населения, указанных ниже. Измерение проводят три раза в течении 60 минут. В каждой точке проводятся измерения эквивалентной равновесной объёмной активности радона (ЭРОА) в единицах измерения Бк/м^3. Полученные величины ЭРОА используют для оценки доз облучения по методике, которая приводится ниже. При исследовании радоновой нагрузки в различные сезоны года эффективно использование трековые детекторы, определяющие содержание радона. Трековые детекторы устанавливаются на контрольных точках и измеряются каждые 3 месяца, что имеет более статистически точные измерения.

Измерение мощности экспозиционной дозы проводится сцинтилляционным детектором гамма-излучения в контрольных точках на расстоянии 1 м от поверхности. Результаты измерения записываются и сохраняются в единицах микрозивертах в час (мк3в/час).

Пробы почв отбираются на контрольных точках (на границе радиоактивного хвостохранилища и вокруг неё) с поверхности грунта и в глубину 30 см. Из каждого образца удаляются механическим путём корни растений и камни. Каждый образец составляет примерно 2-4 килограмма. Образцу присваивают номер и далее отправляют на пробоподготовку для дальнейших исследований. Образцы почвы при (T) = 15-200°С, высушенные образцы измельчаются в однородный порошок с размерами частиц <0.5 мм. Из готовых проб отбираются аликвоты, в которых для почв определяют концентрации γ-излучающих радионуклидов, а также величины суммарных α- и β-активностей почв.

Измерения суммарной альфа- и бета-активности почвы проводится на малофоновых альфа-бета радиометрах с ионизационной камерой и полупроводниковым или сцинтилляционным детектором, по методикам, описанным в документации к этим приборам. Полученные результаты определяются в стандартных единицах измерения - беккерель на килограмм (Бк/кг) и сохраняются в базе данных прибора.

Отбор образцов воды осуществляется в точках мониторинга из доступных водных источников, имеющихся на территории хранилища радиоактивных отходов или на близлежащих территориях. Водные источники хвостохранилищ могут быть двух типов – во-первых, это подземные водные источники (родники, скважины), во-вторых, наземные водные источники (речки, ручьи).Анализ воды осуществляют следующим образом. В пластиковые ёмкости отбирают образцы воды в количестве 2-5 литров, добавляют в каждую ёмкость для консервации азотную кислоту и плотно закрывают пробками. Предварительно перед консервацией образцы очищают от посторонних примесей, твёрдых осадков. Каждый образец маркируется, отправляется в лабораторию, где проводятся его дальнейшие исследования.

Измерения суммарной альфа- и бета- активности воды проводится на малофоновых альфа-бета радиометрах с ионизационной камерой и полупроводниковым или сцинтилляционным детектором, по методикам, описанным в документации к этим приборам. Полученные результаты определяются в стандартных единицах измерения - (Бк/кг) или (Бк/литр) и сохраняются в базе данных измерительного прибора.

Измерения концентраций γ-излучающих радионуклидов в водных источниках осуществляется на γ-спектрометрах с полупроводниковым или сцинтилляционным детектором, по методикам, описанным в документации к этим приборам. Полученные результаты определяются в стандартных единицах измерения - (Бк/кг) или (Бк/литр) и сохраняются в базе данных измерительного прибора.

Используя результаты полученных данных, рассчитываются эффективные дозы облучения и проводится оценка опасности радиоактивных хвостохранилищ для населения, проживающего в зоне влияния этих хвостохранилищ. Всё население, проживающее в зоне влияния хвостохранилищ, разделено на 4 гипотетических группы, для каждой из которых проведены оценки потенциальных опасностей, приведённые выше.

Измерение радона-222 проводили с помощью радонометра Альфарад Плюс в режиме ОА-60 и ЭРОА-60. Измерение проводили три раза продолжительностью 60 минут для каждого режима. Результаты измерений показали, что величины эквивалентных равновесных объёмных активностей радона (ЭРОА радона) колеблются от 500 до 1200 Бк/м^3 на хвостохранилищах, и от 40 до 150 Бк/м^3 вокруг них.

Измерение мощности экспозиционной дозы проводились дозиметрами АТОМТЕХ АТ-1121 с сцинтилляционным детектором гамма-излучения на расстоянии 1 м от поверхности. Результаты измерения показали, что мощность экспозиционной дозы находится в пределах 0,45-2,50 мк3в/час на хвостохранилищах и 0,12-0,35 мк3в/час вокруг них.

Пробы почв отбирали с поверхности грунта до глубины 3 см, масса проб 3 кг. Пробу маркировали как КТ-(номер)-П-(дата). Измерение суммарной альфа- и бета-активности почвы проводили на малофоновом альфа-бета радиометре УМФ-2000. Результаты измерений показали, что суммарные альфа-активности составляют 750-4500 Бк/кг и бета-активности 800-7600 Бк/кг. Содержания в почвенном слое γ-излучающих радионуклидов осуществляли с помощью гамма-спектрометра с программным обеспечением Genie-2000 производства CANBERRA. Соответственно, в пробе КТ-18-П-2018 обнаружены природные радионуклиды, такие как ^{238}U ($4\cdot10^3$ Бк/кг), ^{226}Ra ($7.9\cdot10^3$ Бк/кг), ^{210}Pb ($6.4\cdot10^3$ Бк/кг), ^{228}Th (130 Бк/кг), ^{40}К ($1.3\cdot10^3$ Бк/кг).

Пробы воды отбирали из родника в Старом Табошаре рядом с радиоактивным хвостохранилищем. Проба бралась в количестве 2 литра в пластиковую ёмкость, в которую приливали 20 мл азотной кислоты и затем плотно закрывали пробкой и консервировали. Эта проба была промаркирована - КТ-01-В-2018. Общую α- и β-активности в воде определяли малофоновым альфа-бета радиометром марки УМФ-2000. Согласно полученным результататм, общая активность пробы по α-активности составила 292 Бк/л, по β-активности - 535 Бк/л. Измерение общей α- и β-активности в воде осуществляли на гамма-спектрометре GE-

NIE-2000 CANBERRA с полупроводниковым детектором. Результаты измерений показали, что в пробе КТ-01-В-2018 обнаружены природные радионуклиды, такие как U-238 (317 мБк/кг), Ra-226 (7900 Бк/кг), Pb-210 (6400 Бк/кг), Th-228 (130 Бк/л), Ra-226 (50 мБк/л), Pb-210 (2,5 мБк/л), Th-228 (10 мБк/л).

Полученые данные этим способом использовали для расчёта эффективной дозы для различных групп населения на участках потенциального облучения и количества водопользования из загрязненных водных источников по известным методикам.

4.7. Заключение по четвертой главе

В четвертой главе диссертации обсуждена радиоэкологическая ситуация на территории Таджикистана. Особое внимание уделено радиоэкологической ситуаций урановых хвостохранилищ Таджикистана.

Как известно, урановые месторождения Таджикистана сыграли ключевую роль при создании атомной бомбы СССР. Именно в Таджикистане был получен в достаточном количестве урановый концентрат для атомного проекта страны.

В данной главе обсуждается сравнительная оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилищ Таджикистана. Показано, какие хвостохранилища находятся в неблагоприятном состоянии, и являются источниками различных видов загрязнения окружающей среды.

Для определения степени радиационного загрязнения на хвостохранилищ и прилегающих к ним территорий, измерялся общий радиационный фон на указанных территориях и обобщены результаты радиационно-экологического мониторинга на севере Таджикистана – в Согдийской области.

Проведены исследования воздуха, почвенного покрова и водных источников на присутствие в них естественных радионуклидов и определены фоновые их содержания для хвостохранилищ на севере страны. Также в районах расположения хвостохранилищ определены объёмные активности аэрозолей.

В данной главе обсуждены характеристики и критерии радиационно-экологического загрязнения некоторых хвостохранилищ, их опасность для окружающей природной среды и населения.

Для определения радиационного фона нами проведён мониторинг воздуха бассейна реки Сырдарья Таджикистана. Были охвачены 11 районов, восемь городов и 120 населённых пунктов страны.

Для оценки потенциальной опасности хвостохранилищ для населения, проживающего вокруг них, выполнено условное разделение их на четыре гипотетические группы. Для каждой из гипотетических групп приводится оценка возможного облучения за счёт различных источников облучения, выполнены расчёты величин годовых доз облучения от источников водопользования и др.

Определены радионуклиды в почвах на территориях вблизи хвостохранилищ, обобщены данные по мониторингу различных радионуклидов хвостохранилищ. Разработан способ радиационного мониторинга урановых хвостохранилищ (Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1277 от 28.07.2022 г.).

ГЛАВА 5. МОНИТОРИНГ РАДОНА И ТЕХНОГЕННОГО ЦЕЗИЯ-137 РЕГИОНОВ ТАДЖИКИСТАНА

5.1. Мониторинг радона регионов Таджикистана

5.1.1. Общий анализ современных средств проведения радонового мониторинга

В настоящее время радоновая проблема в основном наиболее активно решается в промышленно-развитых странах (Швеции, Великобритании, Германии, США). Анализ физико-химических свойств изотопов радона и их ДПР показывает, что приборы по определению содержания радона в атмосфере гораздо дороже бытовых дозиметров для регистрации γ–фона и β–загрязнения. Это обусловлено сложностью оборудования, входящего в состав измерительных комплексов.

Основным источником радона в воздухе жилых зданий и производственных помещений представляются различные природные материалы, это глина, песок, щебень и др., а также почвы, на которых построены здания и помещения. Для людей опасность может исходить также от питьевой воды с содержаниями ЕРН и от строительных материалов, в которых также могут находиться природные естественные радионуклиды.

Оборудование, необходимое для мониторинга естественных радионуклидов, подразделяется на несколько групп:

а) для определения содержаний калия-40, тория, радия в природных средах применяется инновационное оборудование In-Situ, позволяющее проводить мониторинг подземных и поверхностных вод, обеспечивая дистанционный доступ к данным 24 часа в сутки. Сюда относят стационарные и переносные радиометры для измерения этих радионуклидов. Это оборудование может быть только использовано для определения содержания материнских радионуклидов - источников радона для оценки потенциальной радоноопасности материалов, строительного сырья и других веществ. Для этого используют γ–спектрометры или селективные радиометры;

б) носимое оборудование для оценки радиационного фона в помещениях. Как правило, основную роль в формировании естественного поля излучений играет ^{40}К, поэтому использование подобного инструментария для оценки радоноопасности материалов или помещений не используют;

в) специальное лабораторное оборудование для оперативного мониторинга изотопов радона и их дочерних продуктов распада для помещений. Так как стандарты радиационной безопасности требуют определения радона и его ЭРОА, необходим как экспресс-мониторинг, в состав которого входит набор встроенных детекторов, набор экспонируемых устройств и система подсчёта (γ–спектрометр, комплексный радиометр,), поскольку содержание радона в помещении изменяется в течение суток и в течение сезонов времени года. Наиболее достоверно среднегодовая ЭРОА может быть определена только с использованием твёрдотельных пластических детекторов (ТПД) или термолюминесцентных детекторов (ТЛД);

г) лабораторное оборудование и оборудованрие In-situ для оценки эксхаляции радона и эманационных способностей почв в районах строительства.

Производство оборудования для групп (а) и (б) может осуществляться в рамках радиационной безопасности, такое оборудование уже изготавливается, и многие лаборатории санитарных эпидемиологических станций (СЭС) им оборудованы.

Анализ приборов показывает, что на мировом рынке предпочтение отдаётся переносному, комбинированному и многофункциональному оборудованию. Возможности применения приборов возрастают при наращивании дозиметрических систем вновь приобретаемыми отдельными блоками, которые широко предлагаются фирмами-изготовителями (SILENA, GENETRON, Thomson&Nielsen и др.), за счёт чего исходная стоимость многократно увеличивается. Тем не менее, широкий спектр предлагаемых детекторов, датчиков, способов автоматизации эксперимента и вывода информации представляется весьма необходимым. По-

чти во всех комплексах применяют метод фильтров, для чего используется детектор в режиме счёта в широком диапазоне энергий излучения, это затрудняет точный радионуклидный анализ.

Для широкомасштабных мониторинговых работ по изучению радона в воздухе, почве, а также при определении его источников, необходимой многофункциональностью к настоящему времени, обладает, лишь, например, научная станция радон-монитор AlphaGUARD PQ2000 PRO. Этот прибор имеет встроенные датчики температуры, давления и влажности окружающей среды, в нём предусмотрена возможность подключения счётчика Гейгера-Мюллера. Организация-изготовитель радон-монитора предусмотрела и разработала перечень вспомогательного оборудования и приспособлений для использования прибора при измерении радоногенерирования и радоносодержания сред, а также вспомогательные элементы метрологического обеспечения.

В реальной практике используются и другие удобные и недорогие радиометры радона. Поскольку радоновый мониторинг обычно характеризуется многозадачностью, следует отдавать предпочтение и вести разработку многофункционального оборудования не только для анализа содержания изотопов радона в воздухе, но и для определения содержания газа в различных средах, изучения его источников, а также для применения радона, как трассера геофизических и атмосферных явлений. Однако дозовую нагрузку от радона с учётом временных и сезонных вариаций газа можно определить достоверно практически только интегральными трековыми детекторами.

5.1.2. Факторы, определяющие накопление радона в жилищах

Содержание радона в воздухе зданий и сооружений, как правило, выше, чем в окружающем атмосферном воздухе. К основным компонентам системы формирования ОА радона в помещении большей, чем в атмосферном воздухе, относят:

- источники радона;

- пути миграции радона между источником радона и зданием;

- движущие силы перемещения потоков радона;

- пути проникновения радона внутрь здания.

Очевидно, что при отсутствии хотя бы одного из перечисленных компонентов уровень ОА радона внутри здания будет формироваться практически только при воздухообмене с атмосферой.

Механизмы проникновения радона в здания в литературе рассматриваются с диффузионным поступлением газа, конвективным поступлением радона, обусловленным стационарной разностью давлений, флуктуациями атмосферного давления и др. При моделировании процессов проникновения радона в здания определяют условия и характер зависимости ОА или воздухе помещений от разных факторов.

Факторы, определяющие накопление радона в жилищах, можно условно разделить на естественные и технологические. К естественным факторам относятся:

- геофизические и геологические характеристики территории застройки (радионуклидный состав пород, сейсмические явления, тектонические разломы, процессы вымывания пород и образования полостей и др.);

- наличие природных источников радона (почва, вода);

- параметры окружающей среды (сезоны года, время дня, ветровые режимы, перепад давлений, влажность, температура и другие.);

- естественные пути проникновения газа радона внутрь зданий и помещений.

Основным критерием потенциального выхода радона из почвы в здание является степень радоноопасности территории застройки. К технологическим факторам можно отнести:

- технологические решения проектируемых или существующих зданий-сооружений (проведение коммуникаций, отделка и облицовка внутренних стен, этажность, количество жильцов в доме, использование определённых материалов и строительных конструкций и т.п.);

- режимы эксплуатации зланий и деятельность лиц, проживающих в здании (интенсивность использования помещений, включая подвальные помещения, состояние окон/дверей, отопление, естественная и принудительная вентиляция и др);

- формирование путей проникновения и миграции радона в проектируемые или существующие здания/сооружения.

Основной движущей силой потоков почвенного воздуха из-под здания внутрь его является образование отрицательной разности давлений между воздухом помещений в здании и внешней атмосферой. Температура воздуха в здании выше, чем снаружи, поэтому возникает эффект печной трубы - тепловой стек-эффект вертикального подъема воздуха внутри здания. Чем ниже температура вне здания, тем сильнее эффект. Направленные горизонтальные потоки воздуха - сквозняки, тоже способствуют подъёму радона (эффект струи). Полностью уменьшить стек-эффект в многоэтажных домах практически невозможно, поскольку они имеют множество лестничных пролётов, лифтовых шахт. Однако можно достигнуть существенного его снижения в 2-3-этажных коттеджах.

Деятельность людей в зданиях в ряде случаев способствует усилению стек-эффекта. Так, например, это происходит при использовании вытяжной принудительной вентиляции, отопительных приборов, печей, каминов, бойлеров, которые увеличивают перепад температур или сами создают тягу в дымовой трубе. ЭРОА радона уменьшается с увеличением номера этажа. С увеличением срока эксплуатации зданий увеличивается интенсивность конвективного поступления почвенного радона через подвальное пространство. Материалы строительных конструкций и отделка внутренних стен влияют на содержание радона в помещении, как источники радона. Наличие покрытий внутренних стен (краски, обоев, побелки) уменьшает выход радона из строительных материалов, но не влияет на потоки почвенного радона. При увеличении числа проживающих и, очевидно, увеличении воздухообмена уменьшается средняя величина ЭРОА радона в сельских домах.

5.1.3. Радоновый мониторинг районов Таджикистана, расположенных вблизи хвостохранилищ

В связи с тем, что в советский период на севере республики интенсивно осуществлялась деятельность по уранодобыче и уранопереработке, в настоящее время республика столкнулась с проблемой значительных объёмов ураносодержащих отходов, зачастую в которых содержания радиоактивных нуклидов являлись высокими и очень высокими, в основном в отходах присутствовали нуклиды уранового ряда, в частности, уран-238 [283].

Хвостохранилище Дигмай. Это хранилище радиоактивных отходов является действующим, в него продолжается складирование ураносодержащих отходов, образующихся при работе гидрометаллургического завода. Первые партии отходов начали поступать в хвостохранилище Дигмай, начиная с 1963 года. Оно географически находится на Дигмайской возвышенности в Б. Гафуровском районе, занимая площадь $9.0 \cdot 10^5$ м^2. Расстояние от областного центра города Худжанд составляет 10 километров, ближайший населённый пункт находится на расстоянии 1.5 км - посёлок Гозиён. В целом в этом хвостохранилище складированы различные отходы: рудные отходы производства урана - 21 миллион тонн, забалансовые урановые руды - 500 тысяч тонн, отходы переработки ванадиевого производства – 5.7 миллионов тонн.

В течение 1991 года была проведена инвентаризация Дигмайского хвостохранилища и выявлено, что содержание пульпы, накопленных в хвостохранилище, достигало $50 \cdot 10^6$ м^3, но часть из этой пульпы на протяжении 8-10 лет была дренирована в почву, а часть испарилась. Произошло высыхание хвостовых материалов, развитие эрозионных процессов, образование неглубоких трещин глубиной и шириной 20-50 см, через которые интенсивно выделялся газ радон.

В городе Истиклол (ранее город Табошар) расположены 5 хранилищ радиоактивных отходов бывших производств урана. Первые партии отходов поступили на складирование в 1945 году и складировались до 1965 года. Отходы г. Истиклол представляют собой отходы переработки 2-х гидрометаллургических

заводов, перерабатывающих ураносодержащие руды. До 1965 года в городе Истиклол была сосредоточена основная сырьевая база ГУП "Таджикредмет", где урановые руды добывались различными способами – подземным и открытым (из карьера 1).

В северном Таджикистане осуществлён мониторинг радона различными способами. Для определения объёмных активностей радона (ОА радона) на различных территориях использовался мгновенный и интегральный способы.

Сущность мгновенного способа заключалась в использовании измерительного оборудования (радиометр радона "РРА-01М-03") с пробоотборником "ПОУ-04" и непосредственно само оборудование для определения ППР – плотностей потока радона согласно методических рекомендаций, представленных в [284].

Проведение интегральных измерений осуществляли твердотельными трековыми детекторами двух типов: $RSKS$ и $RSFV$. Основой детекторов являлся (CR-39) – аллилдигликолькарбонат. Детекторы изготавливались венгерской компанией-производителем "Radosys".

Первый тип детекторов - $RSKS$ чаще всего используется для обследований на радон. Для -детекторов продолжительность экспонирования варьируется в промежутке 20-90 дней, экспозиции регистрируются в диапазоне 40-8000 кБк $\cdot$ ч/м^3, с верхним пределом насыщения до 12 000 кБк $\cdot$ ч/м^3.

Второй тип детекторов - $RSFV$ в основном используют в случаях, когда для определения общей активности радона неизвестны диапазоны измерений. Поэтому для -детекторов экспозиции регистрируются в диапазоне 50-80 кБк $\cdot$ ч/м^3, с верхним пределом насыщения до 100 000 кБк $\cdot$ ч/м^3, в этом отношении использование $RSFV$-детекторов является эффективным, так как в большинства случаев не требует повторных измерений при превышении верхнего предела насыщения $RSKS$-детекторов. На территории Согдийской области страны с целью мониторинга радона и определения его общей активности были экспонированы трековые детекторы в количестве свыше 770 штук (таблица 5.1).

Таблица 5.1. – Распределение трековых детекторов в районах расположения радиологически опасных объектов на севере Таджикистана

Место установки	Количество, штук
Хвостохранилище г. Гафуров	100
Хвостохранилище Дигмай (посёлок Гозиён)	265
Хвостохранилище №2 (посёлок Адрасман)	59
Хвостохранилище "Карты 1-9" (город Бустон)	100
Отвалы месторождения Киик-Тал (город Худжанд)	80
Хвостохранилища г. Истиклол и пос. Старый Табошар	167
Всего:	**771**

Трековые детекторы в количестве 265 штук были установлены в посёлке Гозиён, на самом хвостохранилище Дигмай и его окрестностях. Детекторы (52 детектора) установлены по окружности хвостохранилища на расстоянии 50 друг от друга у основной дамбы, затем через 100 м.Детекторы в количестве 43 шт. установлены по всей поверхности хвостохранилища вдоль её поперечного и продольного профилей. Детекторы в количестве 24 шт. экспонированы по саю, который выходит непосредственно к посёлку Гозиён. До нстоящего времени хвостохранилище Дигмай, имеющее общую площадь $9.0 \cdot 10^5$ м^2 являлось открытым, без защитных покрытий.

Выбросы радона в атмосферу усилились значительно после полного испарения воды в пруду, при этом произошло формирование длинных многочисленных, расположенных хаотично трещины глубиной 1-3 метра. В трещинах, предел насыщения которых окончательно был превышен, было экспонировано 10 детекторов.

Также детекторы в количестве 60 штук установлены возле жилых домов на южной окраине посёлка Гозиён, и 76 $RSKS$-детекторов непосредственно в жилых домах, учитывая число проживающих людей в каждом из домов, на улицах Т. Нурбоева и П. Бобокалонова, расположенных на южной окраине посёлка Гозиён, примерно в 1-2 километрах от дамбы хвостохранилища Дигмай.

На территориях расположения санитарно-защитной зоны хвостохранилища "Карта 1-9" выставлены 30 детекторов. Три детектора экспонированы в скважину на глубину 1 метр, специально пробуренную в центре хвостохранилища, эти детекторы показали превышение предел насыщения. В здании службы безопасности был экспонирован 1 детектор.

В городе Бустон экспонировано 70 детекторов, которые устанавливались в помещения жилых и общественных зданий. Экспонирование провели следующим образом: 11 $RSKS$-детекторов - Горно-металлургический институт Таджикистана (общежитие студентов и учебные корпуса); 11 $RSKS$-детекторов - НПЦ "Технология" (аналитическая лаборатория и рабочая зона – полуподвал); 6 $RSKS$-детекторов - Медицинский диагностический центр (1-4 этажи); 6 $RSKS$-детекторов – Медицинская санитарная часть (клиническая лаборатория); 2 $RSKS$-детектора – Клиническая больница (гинекологическое отделение).

Для определения среднегодовых суммарных эффективных доз облучения населения, получаемых от радона и продуктов его распада, 20 $RSKS$-детекторов экспонировали в городе Бустон на первых этажах жилых зданий сроком на 1 год, 10 $RSKS$-детекторов экспонировали в частном секторе, который находился на расстоянии 1 километр от хвостохранилища "Карта 1-9", северо-западнее посёлка Окарык.

На территории города Гафуров, находящегося в непосредственно близости от Гафуровского хвостохранилища, экспонировано 100 $RSKS$-детекторов внутри зданий. Среди которых 64 $RSKS$-детектора экспонированы в 4-х этажном жилом доме на 32 квартиры на балконах и в жилых помещениях. Этот жилой дом расположен к хвостохранилищу ближе всех остальных жилых домов. 6 $RSKS$-детекторов экспонированы в жилых домах по улице Лахути, охвачено 3 одноэтажных дома, в каждом из которыхрасположены 2 квартиры. Ещё 30 $RSKS$-детекторов экспонированы в помещениях различного функционала районной больницы и в квартирах жилого дома на 50 квартир. Эти здания расположены к северу от хвостохранилища вдоль шоссе Худжанд – Гафуров. Детекторы в основном выставлялись на первых этажах зданий.

В городе Истиклол выставлены в общей сложности 167 $RSKS$-детекторов по следующим локальным территориям: на хвостохранилищах I-II очереди – по 10 детекторов, на хвостохранилищах III и IV очереди – по 20 детекторов, на отвалах ФБР – 20 детекторов, по периметру карьера – 12 детекторов, и 75 $RSKS$-детекторов установлены в жилом секторе города Истиклол и посёлка Старый Табошар.

На территории посёлка Адрасман экспонировано всего 59 $RSKS$-детекторов, которые были распределены следующим образом: 9 детекторов - на теле хвостохранилища № 2; 3 детектора - на складе готовой продукции (производственное помещение); 15 $RSKS$-детекторов - посёлок Адрасман, улица Б. Гафурова (жилые дома), 15 $RSKS$-детекторов - улица Фирдавси (жилые дома); 9 $RSKS$-детекторов - улица Рудаки (жилые дома); 4 $RSKS$-детектора – улица Горького (жилые дома); 4 $RSKS$-детектора – улица Муминова (жилые дома).

Учитывая близость отвалов месторождения Киик-Тал к жилым районам правобережной части Худжанда (расстояние 2 км), а также с целью выявления возможного воздействия материалов отвалов образовавшихся при добыче полезных ископаемых на руднике № 3, на население Худжанда, дополнительно размещены 80 детекторов, которые выставлены в жилом секторе - кварталах правобережной части Худжанда.

Через 3-4 месяца после экспонирования трек-детекторов типа $RSKS$ они были собраны и отправлены на обработку в аналитическую лабораторию научно-производственного центра "Технология" ГУП "Таджредмет", где прошли обработку на оборудовании "РАДОСИС".

Результаты мониторинга содержания радона, проведенного на севере Таджикистана с помощью трек-твердотельных детекторов, обобщены в таблице 5.2.

Для пересчета значений ОА радона в значения ЭРОА радона (эквивалентная равновесная объёмная активность радона) был использован коэффициент радиоактивного равновесия - (F_{Rn}), для воздуха в помещениях равный 4, и для ат-

мосферного воздуха (F_{Rn}), равный 0.6. Эти значения коэффициента радиоактивного равновесиябыли рекомендованы МКРЗ (Международной комиссией по радиологической защите) и НКДАР ООН (Научным комитетом ООН по действию атомной радиации), полученным в 2000 и 2006 годах.

Было определено, что концентрация Rn, а именно ОА Rn в атмосферном воздухе над хвостохранилищем "Карта 1-9" и близлежащих территориях зависит от высоты точек определения, то есть чем выше выбраны точки измерения, тем ниже содержания ОА Rn. Если счиать за 100% ОА Rn на высоте 0.1 м от поверхности хвостохранилища, то на высоте 10 м это значение снизится до 87%, а на высоте 20 метров – снизится до 80% и ешё ниже.

На территории Дигмая, согласно данным радиологического мониторинга на, на поверхности хвостохранилища величины средних мощностей амбиентных доз достигают 20 мкЗв/час, над хвостохранилищем в различных локальных точках определяются величины ОА радона в атмосферном воздухе, равные 200-1000 Бк/м^3, плотность потока радона из хвостовых материалов может достигать величин до 65 000 Бк/(м^2 · с). Также в хвостовых материалах удельные активности урана-238 и радия-226 могут достигать 980 и 7620 Бк/кг, соответственно [286].

Таблица 5.2. – Усреднённые величины ЭРОА и ОА радона в воздухе помещений и атмосферном воздухе отдельных территорий северного Таджикистана

Местоположение детекторов	Количество, шт.	ЭРОА радона, Бк/м^3	ОА радона, Бк/м^3
Гафуровское хвостохранилище, г. Гафуров			
Г. Гафуров	70	24	61
Гафуровское хвостохранилище	30	33	55
Хвостохранилище Дигмай, посёлок Гозиён			
Посёлок Гозиён	160	25	42

Продолжение таблицы 5.2

Хвостохранилище Дигмай	105	360	600
Отвалы месторождения Киик-Тал, город Худжанд			
Город Худжанд	76	13	32
Отвалы месторождения Киик-Тал	4	25	42
Хвостохранилища города Истиклол и посёлка Старый Табошар			
Город Истиклол	35	47	118
Посёлок Старый Табошар	26	56	140
Горный район в 4 км от г. Истиклол	10	7	12
Хвостохранилища города Истиклол	92	17	28
Здание бывшего разрушенного ГМЗ	4	528	1319
Хвостохранилище № 2, посёлок Адрасман			
Посёлок Адрасман	50	35	88
Хвостохранилище №2	9	90	150
Хвостохранилище "Карта 1-9", город Бустон			
Город Бустон	56	19	47
Хвостохранилище "Карта 1-9"	34	23	38
Посёлок Окарык	10	22	37

На территории города Бустон, как показывают интегральные измерения, в воздухе помещений величины объёмных активностей радона в среднем равны 47 Бк/м^3, как видно из таблицы 5.2. Исследования выявили определённую зависимость уровней радона в зданиях от возраста зданий. Так, в помещениях здания 1987 года постройки (город Бустон, улица Мира), то есть относительно недавно, ОА Rn составляла 22 Бк/м^3. В то же время в помещениях здания Горно-металлургического института Таджикистана постройки 1945 года, в котором в течение 70 лет не проводилось капитального ремонта, были определены максимальные величины, определяемые в 47 Бк/м^3.

Территория Гафуровского хвостохранилища была покрыта защитным слоем грунта из лёссовых суглинков мощностью в различных точках от 2.5 до 3.0 метров. Средние величины плотности потока радона с поверхности опреде-

ляются в 40-60 мБк/(м^2 · с), достигая максимальных величин в отдельных точках до 100 мБк/(м^2 · с). Определяемые величины ППР ниже предельных норм в 10-20 раз (при норме для территорий хвостохранилищ 1000 мБк/(м^2 · с).

В населённых пунктах Б. Гафуровского района дополнительно в атмосферном воздухе были проведены мгновенные измерения ОА, использовался радиометр радона "РРА-01М-03" и полученные результаты обобщаются в таблице 5.3.

В рамках данного исследования сделан вывод о том, что в настоящее время в атмосферном воздухе над территориями северного Таджикистана уровни ОА Rn относительно высокие, они локализованы непосредственно над хвостохранилищами, что особенно можно увидеть на примерах хвостохранилищ города Истиклол и Дигмай. Этот факт в основном связан с тем, что остатки радиоактивных материалов на территориях хвостохранилищ находятся без защитных покрытий, они не покрыты защитным слоем нейтрального грунта, что делает их опасными для человека техногенными зонами, из которых эксхалируется газ радон.

Таблица 5.3. – Средние величины ЭРОА и ОА радона в воздухе населённых пунктов Б. Гафуровского района

Точки замеров	Мгновенные измерения	ЭРОА радона, Бк/м^3	ОА радона, Бк/м^3
Джамоат Овчи-Калача	10	41	68
Джамоат Хайдар Усмонов	12	41	69
Джамоат Гозиён	34	25	42
Джамоат Чашмасор	18	34	86
Джамоат Ёва	21	40	66
Джамоат Унджи	22	35	58
Джамоат Исмоил	18	43	71
Джамоат Дадобой Холматов	30	28	47
Джамоат Исфисор	20	25	42
Джамоат Хистеварз	43	29	48
Джамоат Зарзамин	14	33	55

Но хотя эксхаляция радона на поверхность хвостохранилищ высокая, их территории в настоящее время не являются жилой зоной и, следовательно, хвостохранилища не влияют на радоновую ситуацию населенных пунктов, расположенных в зонах их влияния.

С целью улучшить на территории северного Таджикистана радоновую ситуации, учитывая возможное расширения населённых пунктов, рекомендуется реализовать мероприятия, направленные на рекультивации территорий хранилищ радиоактивных отходов, основное внимание при этом уделить ураносодержащим хвостохранилищам Дигмай и расположенным в г. Истиклол [287].

5.2. Мониторинг техногенного изотопа цезия-137 в Таджикистане

5.2.1. Методы исследования

Образцы почвы отбирались в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 [366], отбор осуществлялся от верхнего слоя почвы на глубину 25 см. Образцы были отобраны, учитывая механические характеристики почвенных покровов и рельефов, в 2018-2020 гг. в центральной, южной, юго-восточной частях и в 2021-2022 гг. в северной части Таджикистана. Районы, выбранные для отбора образцов, включали большое разнообразие ландшафтов: узкие и глубокие ущелья рек между скалистыми хребтами, равнинные и высокогорные пустыни, альпийские луга и др. (рисунок 5.1).

Северный Таджикистан – его географическое расположение - между 39°04′ и 41°08' северной широты и 69°25' и 70°34' восточной долготы; площадь 25 400 км^2, имеет государственную границу с Республикой Кыргызстан и Республикой Узбекистан. К северу от Согдийской области находятся хребты горной системы Моголтау и Кураминский хребет, к югу от области - Туркестанский хребет и Зеравшанские горы.

Северный и центральный Таджикистан разделяются горной системой, включающей хребты Гиссарской, Зеравшанской и Туркестанской горных систем. Этих хребты создают температурные и высотные барьеры, препятствующие свободному движению воздушных масс, возникающих от южных муссонов

Индийского океана и от муссонов Северного Ледовитого океана (СЛО). С другой стороны, Гиссарский хребет почти полностью перекрывает движение мощных пылевых бурь на север, эти пыльные бури «Афганец» формируются в Центральноазиатском регионе [367].

Рисунок 5.1. – Карта территориального деления Таджикистана

По высотности рассматриваемый регион делится на несколько поясов:

- пояс равнин – с высотами над уровнем моря 300-900 метров,
- пояс прегорья – с высотами 900-1600 м над ур. м.;
- пояс низкогорья – с высотами 1600-2300 м над ур. м.;
- среднегорный пояс – с высотами 2300-3.200 м над ур. м.;
- пояс высокогорья - с высотами более 3500 м над ур. моря.

Равнины на территории Таджикистана располагаются всего на 7% общнй территории [368].

В Таджикистан имеется значительное разнообразие почвенного покрова. Также в связи со значительными перепадами высот над уровнем моря чётко разделяются поясы почвенных покровов в зависимости от высоты расположения территорий. Соответственно, территория республики представлена четырьмя поясами почв:

1) пояс низкогорных равнин, представленный серозёмными почвенными покровами;

2) среднегорный пояс с преобладанием горных бурых почв;

3) высокогорный пояс с преобладанием высокогорно-пустынных почв, занговых, пустынно-степных, степных и лугово-степных почв;

4) нивальный пояс с преобладанием детритовых почв в скалах, снежниках и ледниках [368].

Пробоподготовку проводили аналогично методике, описанной в работе [369]. Отдирались образцы с большим весом, из которых затем квартованием отбирали образцы по 1 литру. Далее образец почвы высушивался на воздухе до воздушно-сухого состояния, дробился в дробилке, просеивался с помощью сита с диаметром отверстий не более 2 мм. Точные массы отобранных образцов определяли взвешиванием на лабораторных весах согласно ГОСТ 24104-2001, max предел взвешивания до 3000 грамм, погрешность каждой навески составляла $\pm 2\%$.

Образцы подвергали радиологическому измерению, помещая их в стандартный сосуд "Маринелли" с объёмом 1 литр. Образцы почвы исследовались с определением удельной активности $Cs-137$, определения проводили с помощью гамма-спектрометра (детектор – германиевый высокой чистоты) американского производства компании CANBERRA, программное обеспечение Genie-2000, заявляемая погрешность измерений 5-12%. Определение в образцах удельной активности $Cs-137$ осуществляли на основании методики определения удельной активности (УА) γ-излучающих нуклидов в аккредитованной лаборатории технических услуг Агентства по ядерной и радиационной безопасности НАН Таджикистана.

Для калибровки спектрометров по эффективности их регистрации мы собрали спектр стандартного источника известной активности, излучающего гамма-лучи в широком диапазоне энергий, получили калибровочный спектр, по которому вычислили истинную площадь соответствующих пиков ППЭ и величины эффективности каждого пика. Образец и эталон измерялись при соблюдении одинаковых условий, поддерживая постоянными следующие параметры эталона и образца: плотность, состав, форму, геометрический коэффициент η.

Калибровка эффективности геометрии Маринелли осуществлялась в соответствии со спектрами стандартных образцов, в качестве которых использовались калибровочные гамма-спектрометрические источники. Калибровка выполнялась один раз в полугодие и её результаты сохранялись в виде калибровочного файла в программном обеспечении гамма-спектрометра.

5.2.2. Содержание изотопа цезия-137 в почвах центрального и южного Таджикистана

Районы, в которых проводился отбор образцов, были широко представлены разнообразными природными ландшафтами, начиная от альпийских лугов до равнинных, высокогорных пустынь и узких, глубоких ущелий рек между скалистыми хребтами.

Пробы образцов отбирались на территории примерно 45 тысяч километров квадратных, включая Кулябский, Бохтарский, Раштский, Гиссарский районы. На территориях указанных районов было отобрано в общей сложности 92 образца из различных типов почвенных покровов (таблица 5.4).

На каждом участке выбирались 3-8 локальных точек, в которых производился отбор образцов. Образцы отбирались через каждые 4-7 километров. После отбора образцов они были разделены на две категории: образцы почвы с невозделываемых полей и образцы почвы с обрабатываемых полей. Каждый образец в пункте отбора проходил предварительную очистку, удалялись посторонние включения, корни, камни. Затем образец квартовали и таким образом были отобраны пробы почв, каждая по 1000 грамм. Каждый образец до воздушно-сухого

состояния высушивался, размалывался в мельнице, и с помощью сита отсеивались частицы размерами <2 мм.

Образцы подвергали радиологическому измерению, помещая их в стандартный сосуд "Маринелли" объёмом 1 литр. Образцы почвы исследовались с определением удельной активности $Cs-137$, определения выполнялись на оборудовании - гамма-спектрометре (детектор из германия высокочистого), производства США компании CANBERRA, программное обеспечение Genie-2000. Для каждого образца удельная активность ^{137}Cs определялась на оборудовании аккредитованной лаборатории технических услуг Агентства по ХБРЯ безопасности НАН Таджикистана.

Таблица 5.4. - Точки отбора образцов почв и их количество

Район	Количество отобранных проб	Район	Количество отобранных проб
Душанбе	4	Восе	4
Алмасы	3	Хамадони	3
Камароб	4	Фархор	4
Файзабад	8	Темурмалик	3
Канаск	3	Ховалинг	4
Шахринав	5	Сарихосор	3
Бохтар	3	Курговат	3
Гаравоти	3	Гарм	3
Дусти	3	Мисканобод	3
Кубодиён	5	Лахш	3
Шахритус	5	Таджикабад	3
Н. Хусрав	4	Нуробод	3
Куляб	3		

Таким образом, по удельным активностям ^{137}Cs образцов почвенных покровов южных и центральных регионов республики был получен значительный

по объёму массив данных, с целью их структурирования они приводятся в виде диаграммы на рисунке 5.2.

Как видно из рисунка 5.2, динамика распространения цезия-137 различная в различных районах республики. Максимумы средних удельных активностей ^{137}Cs выявлены в почвенных покровах Сарихосора и в горных местностях Раштской зоны. Минимумы средних удельных активностей ^{137}Cs выявлены в Таджикабадском районе, в среднем составившие 1.3-1.5 Бк/кг.

Результаты анализов показали, что образцы почв, отобранных из местности Камароб Раштского района, имеют максимальную удельную активность для ^{137}Cs, равную 147,5 Бк/кг, при величине средних значений, составивших 44,4 Бк/кг. Данный образец почвы был отобран у подножья гор.

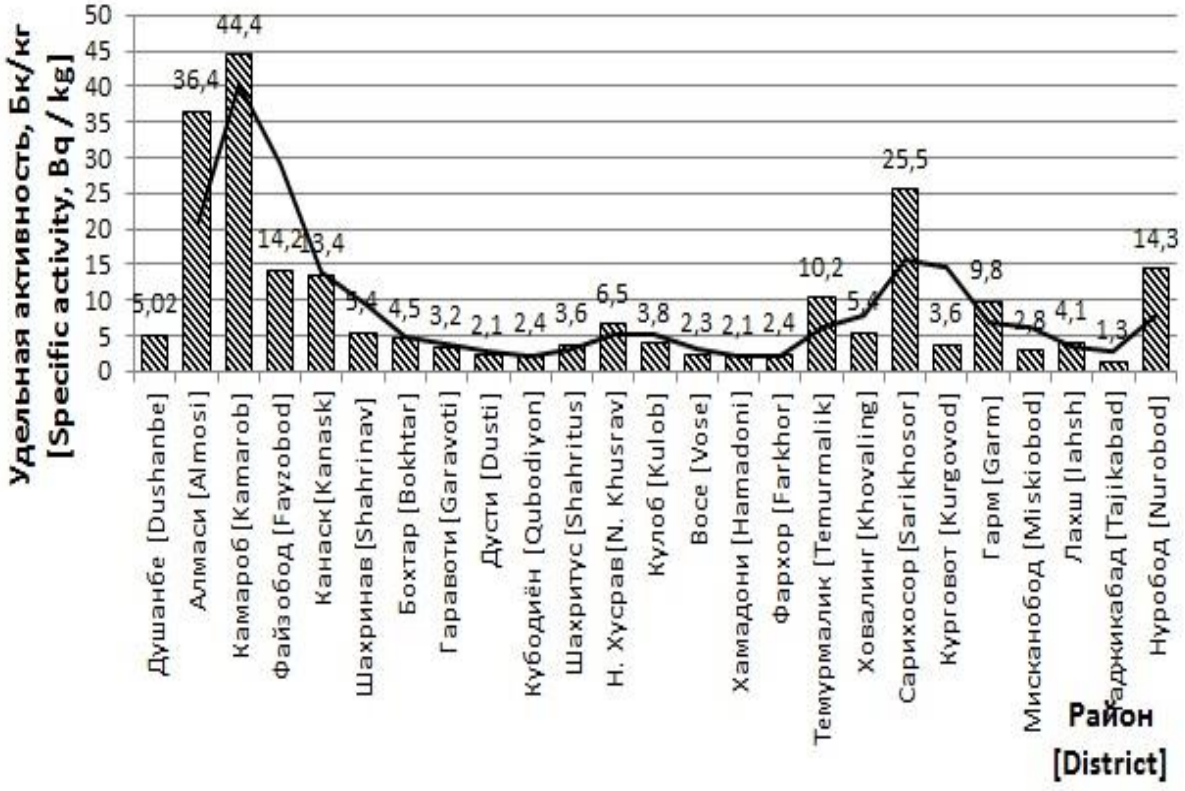

Рисунок 5.2. – Распределение средних удельных активностей цезия-137 в почвенном покрове южных и центральных районов страны

Так, в Раштском районе, местность Камароб, присутствует высокое содержание цезия-137, вероятно, этот факт объясняется геоогическими особеностями

этой территории, так как ущелье, из которого отбиралась проба, имеет протяжённость более 35 километров, является замкнутым, окружено сывокими скальными хребтами, покрытыми лесистой и луговой растительностью. Из ущелья имеется единственный узкий выход, поэтому радиоактивные нуклиды, мигрируя в составе пылевых бурь и аэрозольных осадков, полностью оседают на территории горных местностей Таджикистана. В силу водных и ветровых эрозионных процессов верхние слои почвы подвергаются эрозии, происходт их накопление у подножий гор, таким образом, в отдельных территориях отмечаются высокие содержания радионуклидов техногенного происхождения.

Некоторые образцы не показали содержаний цезия-137, в частности, это пробы, отобранные в Фархорском районе (образец № 4) и в пустыне Айвадж района Шахритуз (образец № 2), так как в этих местностях в основном преобладают песчаные почвы, в которых выявлена закономерность вертикальной миграции радионуклидов внутрь почв.

На основании определения средних удельных активностей цезия-137 для большого объёма образцов была составлена карта распределения цезия-137 для отдельных территорий Таджикистана (рисунок 5.3).

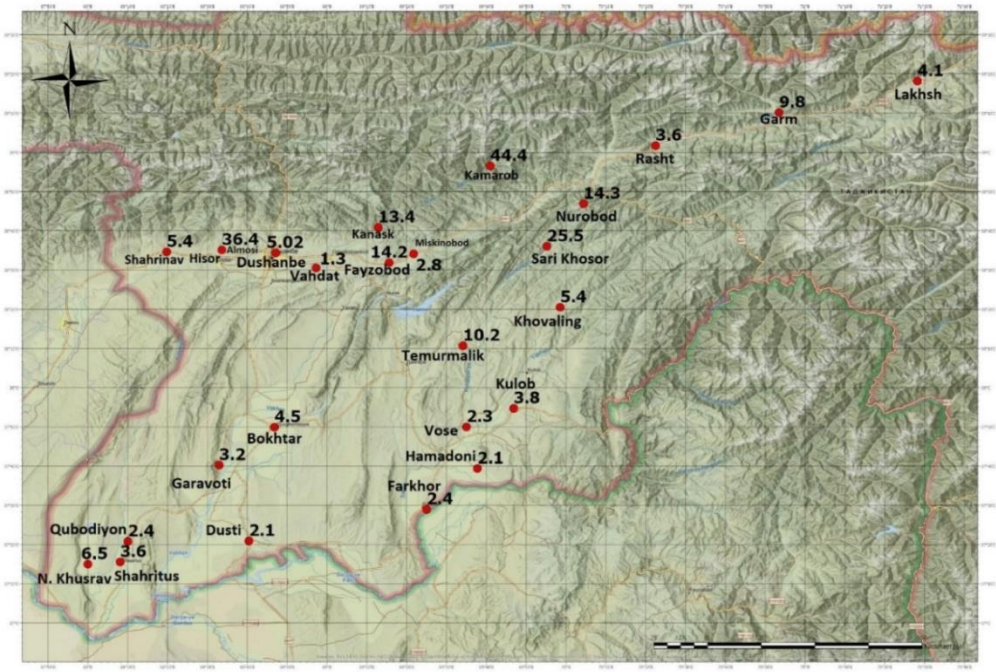

Рисунок 5.3. – Концентрации ^{137}Cs в почвах некоторых территорий Таджикистана (в Бк/кг)

С учетом типов почв различных местностей, содержащиеся в них ос-новные радионуклиды, которые присутствуют в верхних почвенных слоях (до глубины 30 см) мигрируют вследствие процессов диффузии. Был проведён сравнительный анализ распределения цезия-137 для почв Хатлонской области республики, где содержание цезия-137 было определено для двух типов почв - необрабатываемых земель и возделываемых полей, результаты анализа в виде диаграммы оформлены на рисунке 5.4.

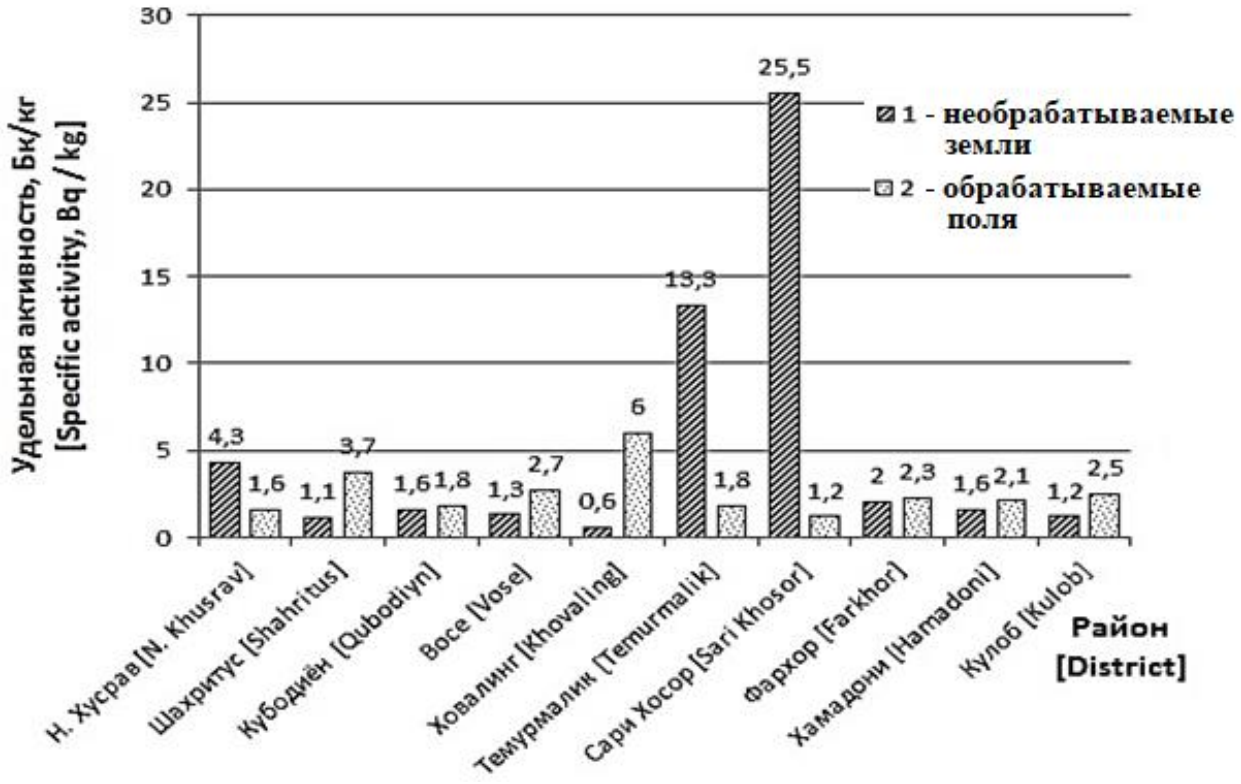

Рисунок 5.4. – Распределение удельных активностей цезия-137 в почвенных покровах районов Хатлонской области РТ

Как показано на диаграмме, удельная активность цезия-137 в образцах, взятых из необрабатываемых горных территорий, значительно выше аналогичных показателей возделываемых полей. При этом, отдельные образцы, отобранные из возделываемых полей низинных территорий, показали удельные активности цезия-137 значительно более высокие, чем в необрабатываемых землях. Данный факт можно объяснить тем, что на возделываемых полях радионуклиды,

ранее мигрировавшие на глубину, при обработке земли мигрируют на поверхность.

В течение 2018-2020 гг. отобранные образцы почв были исследованы и показано, что в почвенных покровах территорий южных и центральных районов республики концентрации цезия-137 зависят от состава почв и рельефа местностей. Динамика распространения цезия-137 различная в различных районах республики. Максимумы средних удельных активностей ^{137}Cs выявлены в почвенных покровах Сарихосора, в горных местностях Раштской зоны, и на территориях необрабатываемых земель Хатлонской области республики. В некоторых образцах почв (песчаные почвы) содержаний цезия-137 не обнаружено.

Таким образом, в результате исследования образцов почвенного покрова южных и центральных районов Таджикистана определены характер и закономерности пространственного распределения техногенного радионуклида ^{137}Cs.

5.2.3. Сравнительный анализ распределения цезия-137 в почвах на территории Таджикистана

На основе сопоставлений результатов измерений удельных активностей радионуклида ^{137}Cs определены характер и закономерности его пространственного распределения в различных почвах Таджикистана. Полученные результаты, характеризующие средние удельные активности ^{137}Cs в почвенных покровах северных, центральных, южных и юго-восточных территориях Таджикистана обобщены в виде рисунков 5.5 и 5.6.

Судя по гистограмме рисунка 5.6, в различных регионах республики наблюдается различное распределение ^{137}Cs. Максимумы средних удельных активностей ^{137}Cs выявлены в почвенных покровах Сарихосора, в горных местностях Раштской зоны (юго-восточные территории республики), в центральных районах Таджикистана – это Хонако, территория ущелья Алмасы, на севере Таджикистана – в южной части Кураминских гор.

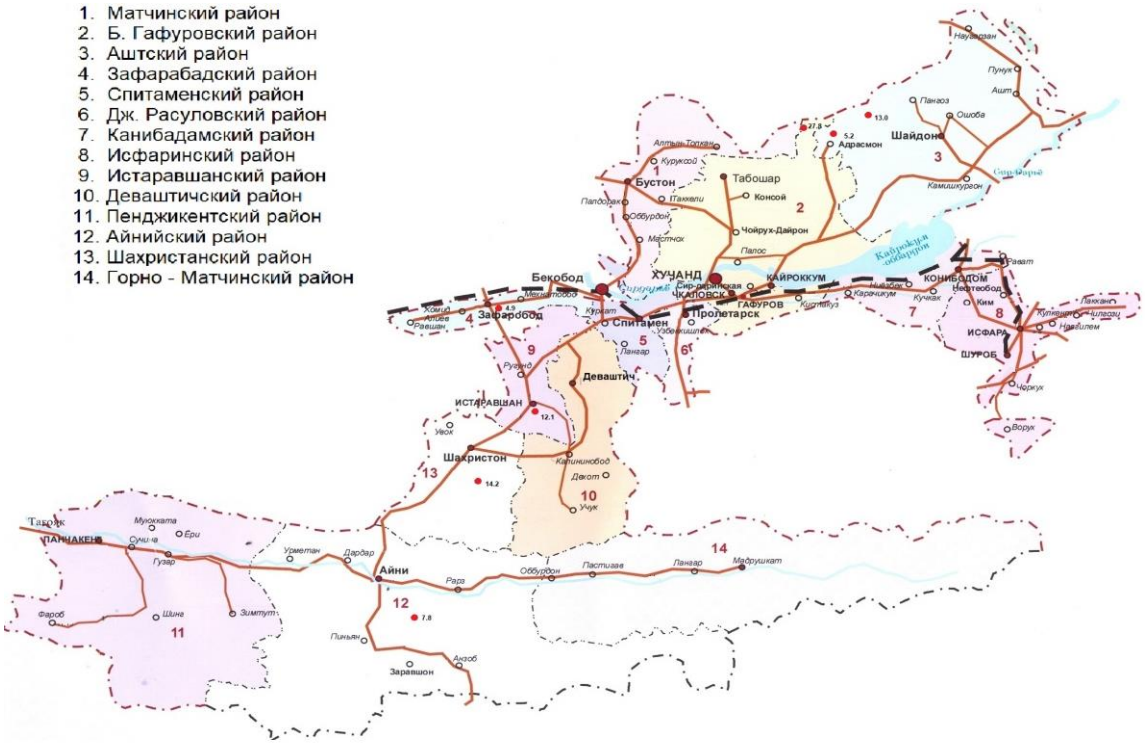

Рисунок 5.5. – Карта средних содержаний техногенного ^{137}Cs в почвенном покрове территорий на севере Таджикистана (в единицах Бк/кг)

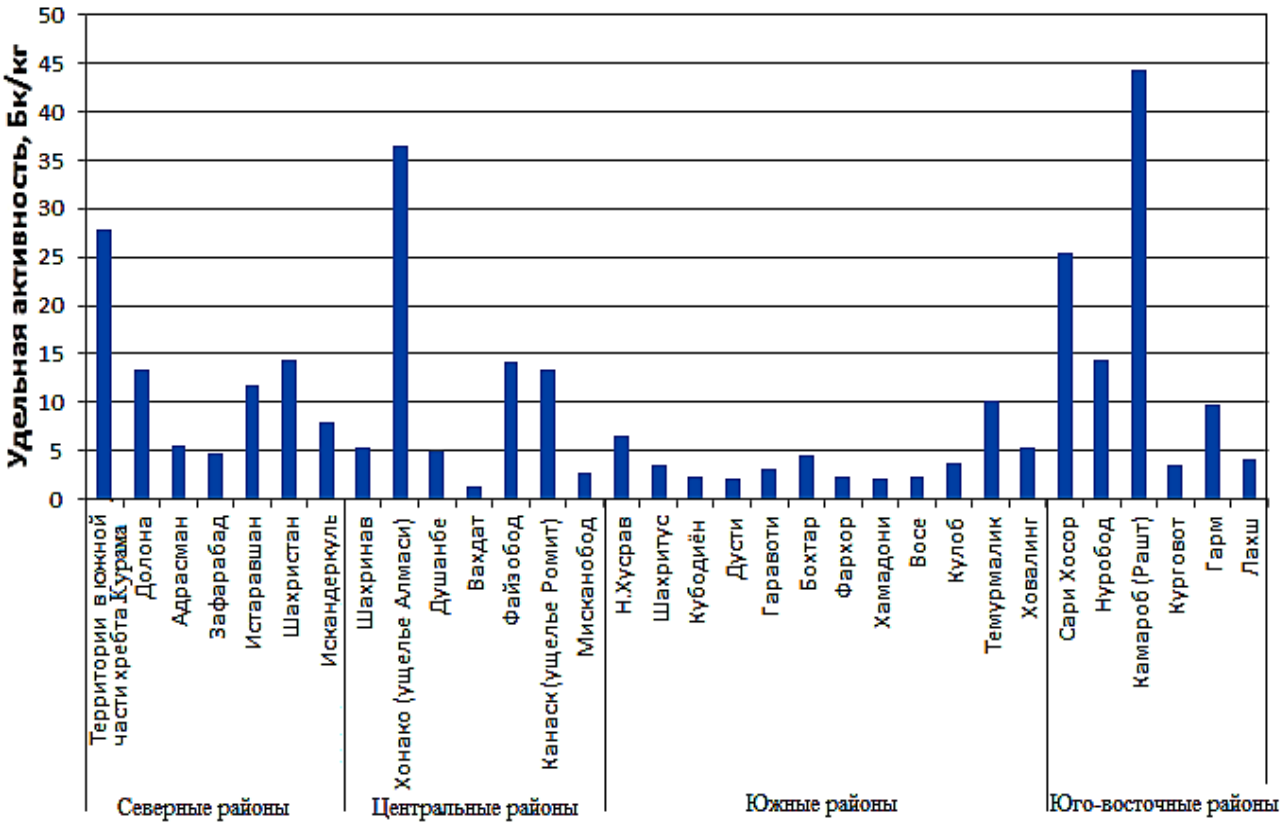

Рисунок 5.6. – Гистограмма распределения Цезия-137 в почвах различных регионов Таджикистана

Оседание и накапливание ^{137}Cs происходит из-за песчаных ветров "Афганцев", дующих в северном и северо-западном направлениях, из-за атмосферных осадков в виде дождей и снега, в этих случаях ^{137}Cs накапливается на горных вершинах и под воздействием ветровой, водной эрозии, селевых потоков спускается к подножиям гор, так как у подножия гор в образцах почв были выявлены более высокие показатели удельных активностей ^{137}Cs по сравнению с более высокими точками отбора. Максимум средних удельных активностей ^{137}Cs был выявлен на территории Раштского района в местности Камароб, расположенной на юго-востоке района, достигающий 147,5 Бк/кг, при средних показателях на этой территории - 44,4 Бк/кг. Минимум средних величин удельных активностей ^{137}Cs определён в 1.3 Бк/кг в районе Вахдат [369].

В некоторых исследуемых пробах, отобранных Фархорском районе и пустыне Айвадж Шахритуского района не было обнаружено техногенного изотопа ^{137}Cs [370].

Таким образом, после анализа полученных результатов сделано заключение о пространственном распределении в почвах республики ^{137}Cs в зависимости от типа почв и от рельефа местности (таблица 5.5).

По оценкам удельной активности (УА) почв, отобранных на территории южной части Кураминского хребта (северный Таджикистан), отмечено, что активность изотопа цезия-137 находится в пределах от 0 до 29,54 Бк/кг (рисунок 5.7).

На рисунке 5.7 стрелкой указана динамика изменения УА, которая показывает, что содержания изотопов цезия увеличиваются по спуску рельефа в сторону юго-запада. Пробелы значений УА означают, что содержание цезия не было обнаружено в отобранных пробах из указанных точек.

Высокие уровни удельной активности радиоизотопа 137Cs в почвах показывают пробы, которые были отбраны с южной стороны горы, в основном с подножья. По-видимому, это связано с направлением ветра (роза ветров) со стороны юга. С другой стороны, атмосферные осадки, эрозия в следствие селей и ветра,

способствуют тому, что у подножья горы накапли-ваниются больше радио-нуклидов чем в других местах (таблица 5.5).

Таблица 5.5. - Сведения о пробах и информация о местности

Разделение по Территориям	Тип местности	Почва (тип)	Количество взятых проб	Усреднённая УА (почва), Бк/кг
Север Таджикистана	Среднегорье, почвы горные коричневые	Скалистый, глинистый	41	11,5
Юг Таджикистана	Низкогорье, равнины, почвы серозёмные	Песчаный	44	4,5
Юго-восток Таджикистана	Высокогорье, почвы высокогорные, степные, пустынные, занговые, пустынно-степные	Скалистый	19	17,0
Центральный Таджикистан	Среднегорье, почвы горные коричневые	Глинистый	30	11,42

Также было изучено содержание изотопа цезия-137 в пробах почв, отобранных вокруг радиоактивного хвостохранилища Адрасман, расположенного на севере Таджикистана в южных отрогах Кураминского хребта. Максимальная УА составляет 13,4 Бк/кг. Это не связано с радиоактивным хвостохранилищем, так как данный объект не содержит изотоп цезия-137.

Анализ полученных данных показывает, что значение УА изотопа цезия-137 в почвенном покрове южного Таджикистана в 2,5 раза меньше, чем УА почв северного и центрального Таджикистана. Данное обстоятельство, прежде всего, объясняется атмосферными осадками и пыльными бурями, которые приходят из пустынных территорий Южной и Юго-восточной Азии, что, соответственно, вызывает осаждение пылевых частиц в первую очередь на южных горных склонах (рисунок 5.7).

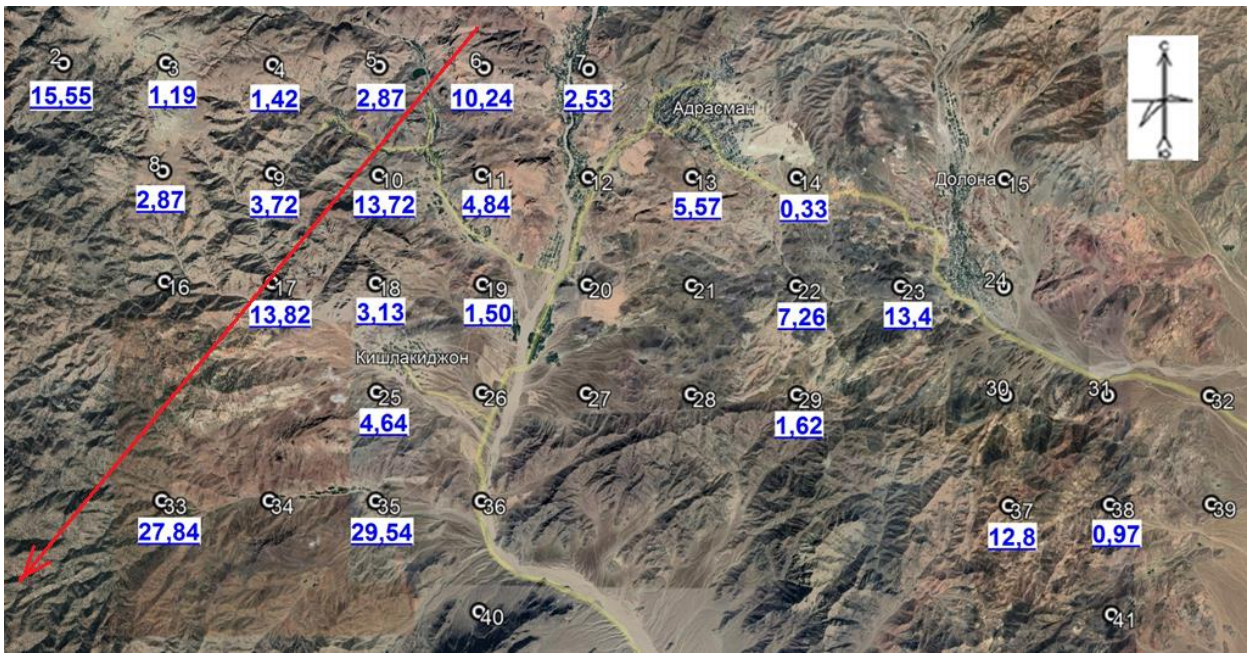

Рисунок 5.7. - Точки отбора образцов с величинами средних удельных активностей ^{137}Cs в почвах южных территорий Кураминского хребта в северном Таджикистане

Несомненно, анализ этих данных показывают о пространственном распространении радиоизотопа Цезия-137 в почвах Таджикистана и их зависи-мость от рельефа и розы ветров. Выявлено, что высокие значения средней удельной активности изотопа цезия-137 отмечаются в пробах, отобранных у подножья гор и в глинистых почвах. Анализ полученных проб позволяет сделать вывод, что содержание техногенного ^{137}Cs обусловлено его дальним воздушным переносом.

5.3. Основные подходы к мониторингу радона и цезия-137

Основы по регулированию защиты населения о негативных воздействий радона исторически вытекали и были сформированы в направлении обеспечения безопасности людей, которые работали в уранодобывающей и ураноперерабатывающей отраслях, что было связано на определении и установлении ограничений поступления радона в организмы персонала через ингаляцию [288].

В течение длительного периода была накоплена информация о значительном вкладе радона в облучение не только шахтёров и горняков, но и населения,

на основании которой была разработана концепция, основанная на едином подходе к регулированию защиты населения при воздействии радона, сформулированная впервые в публикации МКРЗ № 65 в виде рекомендательного характера [289].

Новый подход требовал защитить группы населения, наиболее подвергающихся воздействию облучения, через разработку норм воздействия по объёмным активностям радона, превышение которых вызывало необходимость принимать меры и разрабатывать мероприятия по снижению содержания этого радиоактивного газа. По мере накопления информации о последствиях воздействия радона в международном сообществе был сформирован банк статистической информации о масштабах радоновой проблемы, о поиске путей её решения, направленных на минимизацию радоновых рисков, что дало толчок к развитию исследований в этом направлении.

Основой исследований радоновой проблематики явились измерения содержаний радона в помещениях различного типа в зависимости от типа построек, этажности, года постройки и др. факторов, выявление радоноопасных зон и их картографирование. На основании систематизации и анализа полученных результатов многие государства разработали и установили нормативы содержания радона в воздушной среде помещений и зданий различных типов и нормативы по содержанию в почвенных покровах техногенного ^{137}Cs [290].

НКДАР ООН в 2009 году, основываясь на тщательной научной оценке эпидемиологических данных, сообщил Генеральной Ассамблее Организации Объединённых Наций, что существуют прямые доказательства, подтверждающие выявляемую опасность заболевания населения раком лёгких из-за повышенных содержаний в жилых домах радиоактивного газа радона [291].

Важным шагом, который определил дальнейшие действия в решении проблемы радона, явился анализ результатов совместных эпидемиологических исследований, направленных на изучение влияния радона в воздушной среде жилых помещений на развитие опасного для людей заболевания - рака лёгких, ко-

торые были инициированы международным радоновым проектом. По результатам данного проекта было сделано заявление ВОЗ, что не существует известных порогов концентрации в воздухе радиоактивного радона, ниже которого облучение радоном безопасно [292]. Отмечено наличие канцерогенного эффекта при присутствии радиоактивного радона в жилых помещениях и зданиях при его содержаниях не выше 50-100 Бк/м^3.

Большинство случаев заболеваний раком лёгких, вызванных радоном, обуславливаются низкими и умеренными содержаниями удельных активностей радона, а не высокими уровнями, поскольку в целом меньше людей подвергаются воздействию высоких концентраций радона.

Это радикально изменило существующие представления по уровням радонопасности и опасности воздействия техногенного нуклида ^{137}Cs, что в конечном итоге вызвало необходимость сформировать комплексные подходы к решению проблем радона и техногенного нуклида ^{137}Cs.

Публикация МКРЗ № 103, определяющая современную идеологию радиационной защиты, рассматривает воздействие радона в контексте существующей ситуации с облучением [293]. Исходя из этого, основа современных стратегий в реализации национальных программ защиты населения от радоноопасности должна опираться на создание, развитие и внедрение новых концепций, направленных на радиационную и радиологическую защиту населения при различных сценариях существующих облучений. Сравнительно с предыдущими взглядами, неправильным представлением является снижение содержаний в воздушной среде помещений и зданий концентраций радона только при превышении уровней воздействий, рекомендованных МКРЗ в Публикации № 65, в настоящее время воздействия радона ниже указанных ранее уровней воздействия также являются опасными.

Получила признание Концепция референтных уровней, которая предполагает не установление жёстких стандартов, а критериев, выбор которых необходимо определять реальными ситуацией в отдельных странах или регионах и возможностью влияния на радиологические ситуации с помощью мероприятий и

мер по улучшению радиационной и радиологической обстановки и уровней воздействия, приводимых выше [294].

Следовательно, проблема радона в современном мире заключается в решении двух задач, взаимосвязанных между собой. Во-первых, это снижение доли людей, которые подвергаются неприемлемо высоким индивидуальным радоноопасностям, во-вторых, это снижение средних значений индивидуальных опасностей, связанных с радоном, для всего населения страны. Системное и систематическое решение обеих проблем должно быть запланировано на долгосрочную перспективу реализации этих задач, когда будет достигнута конечная цель – произойдёт снижение заболеваемости и смертности людей от рака лёгких, вызванного облучением от радиоактивного газа радона.

На основании новых рекомендаций, инициированных от таких заинтересованных организаций, как МКРЗ, ВОЗ, МАГАТЭ [295, 296], начата деятельность по разработке новых или пересмотру существующих радоновых программ во многих странах. На основании утверждённой Директивы Евроатома № 2013/59, все страны-участники Европейского Союза в обязательном порядке должны разработать радоновые программы [294].

При систематизации и анализе существующего к настоящему времени опыту, важно указать, что в мировой практике принято понимать, что радоновые программы на национальных уровнях необходимо реализовывать в виде многоуровневого сотрудничества между организациями, ответственными за политику в области радиационной защиты и здравоохранения , между государственными и частными организациями, занимающимися гражданским строительством и проводящими радиационные измерения, между научными учреждениями, заинтересованными организациями, включая неформальные и неправительственные, разрабатывающими стратегии информационной политики в области решения радоновой проблемы [297].

Как показывает опыт, направленный на реализацию стратегий по решению радоновых проблем, направленных на снижение индивидуальных радоноопасностей от содержаний радона в воздухе зданий и помещений, во всех странах

основную сложность представляет отсутствие у населения опыта применения защитных мер от воздействия радона, также очень слабая осведомлённость населения о влиянии радона на человеческий организм.

Практический опыт показывает, что недостаточная информированность населения препятствует его широкому участию в решении проблемы, ограничивая сферу проведения радонового мониторинга преимущественно детскими учреждениями (детские сады, школы) и рабочими местами, в которых имеются нормативы по качеству воздуха в помещениях и их соблюдение в обязательном порядке контролируется работодателем [298].

Одной из важных стратегических задач также необходимо указать разработку и внедрение уже на этапе строительства эффективных технологий защиты зданий от радонового риска, решение которой позволит в будущем снизить радоновые нагрузки на население с учётом текущих темпов реновации жилищных фондов.

Исходя из вышеизложенного, многие страны в настоящее время активно развивают учебно-методическую деятельность в области защиты от радона и формируют новые сектора, оказывающие услуги населению. Во многих странах на законодательном уровне разработаны и приняты обязательные требования по качеству воздуха в ранее построенных и новых зданиях, которые должны соблюдаться при сделках с недвижимостью, что также способствует решению проблемы радона [299, 300].

При анализе международных мировых тенденций по решению проблем радиоактивного изотопа радона – Rn-222 и техногенного изотопа цезия – Cs-137, сделано заключение, что этап, характеризующийся интенсивным формированием и развитием нормативной, методической, методологической и материальной базы практически находится в завершающей стадии, и начинается следующий этап – это формирование инфраструктуры по оказанию услуг в различных сферах деятельности, направленных на активное вовлечение населения в процесс защиты от этих составляющих естественного облучения [301].

Вопросы, связанные с выяснением причин, обуславливающих повышенное облучение за счёт радона и ДПР, а также оценками дозовых нагрузок, занимают одно из центральных мест в радиационной защите населения. Указанные проблемы должны решаться посредством приобретения знаний о механизмах и источниках поступления радиоактивного радона в воздушную среду зданий и помещений, знания функций, согласно которым в окружающей среде происходит распределение объёмной активности ^{222}Rn и продуктов его распада [302-351].

5.4. Выводы по пятой главе

Общеизвестно, что испытания ядерного оружия и переработка ураносодержащих материалов оказывают непосредственное воздействие на распределение радионуклидов, в частности изотопа цезия-137. В настоящее время радон можно обнаружить во многих помещениях, а цезий-137 обнаруживается в растительности, почвах и в водной среде.

Развитие ядерной энергетической отрасли, широкое привлечение в медицину различных радионуклидов, использование их в научных исследованиях, в отраслях промышленности также способствуют распространению изотопа цезия-137.

В пятой главы настоящей работы рассмотрен общий анализ современных средств проведения радонового мониторинга, факторы, определяющие накопления радона в помещениях, истоках радона и пути миграции радона.

В указанной главе особое внимание уделено вопросам радонового мониторинга территорий Таджикистана, расположенных вблизи хвостохранилищ.

При этом установлено, что территории хвостохранилищ, поверхности которых покрыты защитными покрытиями, имеют более низкие потенциальные радоновые риски. В частности, поверхность Гафуровского хвостохранилища покрыта защитным слоем лёссовидных суглинков высотой 2.5-3.0 м, и здесь значения плотности потока радона не превышают 100 мБк/(м^2 · с), и в среднем значения ППР на территории Гафуровского хвостохранилища составляют 40-60 мБк/(м^2 · с). ОА радона здесь составляют в пределах 55 Бк/м^3.

Но на отдельных хвостохранилищах страны отмечаются значительные эксхаляции радона с их поверхности, но эти территории в настоящее время не являются зонами жилой застройки и не оказывают влияния на радоновое загрязнение зданий около хвостохранилищ. Показано, что для городов Худжанд, Истиклол, Гафуров и Бустон, посёлка Адрасман характерны незначительные содержания радона в воздухе зданий/помещений, и значения ОА радона в этих жилых зонах также не высокие, которые находятся ниже или не превышают установленные нормы.

Таким образом, на севере Таджикистана с целью расширения застраиваемых площадей населённых пунктов и улучшения на территориях застройки жилого сектора радоновой ситуации необходима реализация комплекса мер и мероприятий, направленных на рекультивацию территорий бывших урановых производств - объектов уранового наследия, среди которых первоочередными объектами являются ураносодержащие хвостохранилища Дигмай и города Истиклол.

Как известно, почва – основной природный накопитель и хранитель загрязнений. В других природных средах – воздушном бассейне, водах, растениях загрязнения поступают, но остаются непродолжительно время, а в почвах загрязнения сохраняются годами, десятилетиями, веками. В литературных источниках широко обсуждаются вопросы радиационной и радиологической обстановки в отдельных областях Российской Федерации и Республики Беларусь, касающиеся, в частности, мониторинга цезия-137 [371-373]. Как утверждают авторы, здесь отмечены тенденции снижения среднегодовых эффективных доз, получаемых населением, а также снижение до нормативных пределов содержаний техногенного ^{137}Cs в местных продуктах питания.

В работах [374, 375] исследованы вопросы, качающиеся распределения в ихтиофауне Обь-Иртышской системы протяжённостью свыше 2400 километров таких радионуклидов, как стронция-90 и цезия-137, и сделан вывод, что рыба всех изученных районов может использоваться в пищу.

Данные работ [376-380] свидетельствуют о том, что на территории северной, центральной и южной части Таджикистана при исследовании образцов почв и аэрозолей определено содержание различных радионуклидов в них, в частности, в образцах почв показано наличие техногенного ^{137}Cs. Присутствие в образцах почв указанных территорий можно объяснить атмосферной миграцией этого радионуклида.

Определены средние содержания техногенного ^{137}Cs в пробах аэрозоля (3,3 Бк/м^3) и почв (11,5 Бк/кг) на севере Таджикистана, в соотношении концентрации аэрозоля и почвы составляет 0,29 [381].

Элементный анализ образцов почвенного покрова, которые отбирались по путям распространения пылевой мглы на территории Республики Таджикистан, свидетельствует о средних коэффициентах корреляции содержания цезия (0,13) относительно содержания урана. Это побудило интерес к изучению содержания цезия-137 в почвах на территории Республики Таджикистан.

ГЛАВА 6. ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТАДЖИКИСТАНА

6.1. Радиоэкологическая ситуация Северного Таджикистана

Радиоэкологическая ситуация Аштского района. Аштский район – административная единица Согдийской области Таджикистана. Районный центр Аштского района - посёлок городского типа Шайдон, расположен в 107 км северо-восточнее областного центра города Худжанда. Это самый северный район республики. Географически Аштский район располагается в Ферганской долине. С севера, востока и запада Аштский район граничит с Республикой Узбекистан, где государственная граница проходит с Наманганской, Ташкентской и Ферганской областями. С юга и юго-востока Аштский район имеет границы с Канибадамским и Гафуровским районами Согдийской области РТ. Анклав Сарвак, входящий в состав Наманганской области Республики Узбекистан, территориально является частью Аштского района. Территория Аштского района равна 2785,5 квадратных километров. Административно-территориальный состав Аштского района следующий: 1 посёлок городского типа – Шайдон, а также 9 сельских джамоатов.

Для Аштского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.1), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.1).

Таблица 6.1. - Общий радиационный фон Аштского района

Наименование населённых пунктов	МЭД, мкЗв/ч	Наименование населённых пунктов	МЭД, мкЗв/ч
1	2	3	4
Долона	0,20	Камишкургон	0,12
Адрасмон	0,26	Булок	0,13
Шайдон	0,14	Гулшан	0,14

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4
Понгоз	0,18	Ошоба	0,14
Боло	0,13	Дусти	0,13
Пунук	0,14	Янгисарой	0,13
Обиашт	0,16	Ашт	0,14
Роч	0,15	Даханаи Боло	0,13
Навгазам	0,15	Куприкбоши	0,14

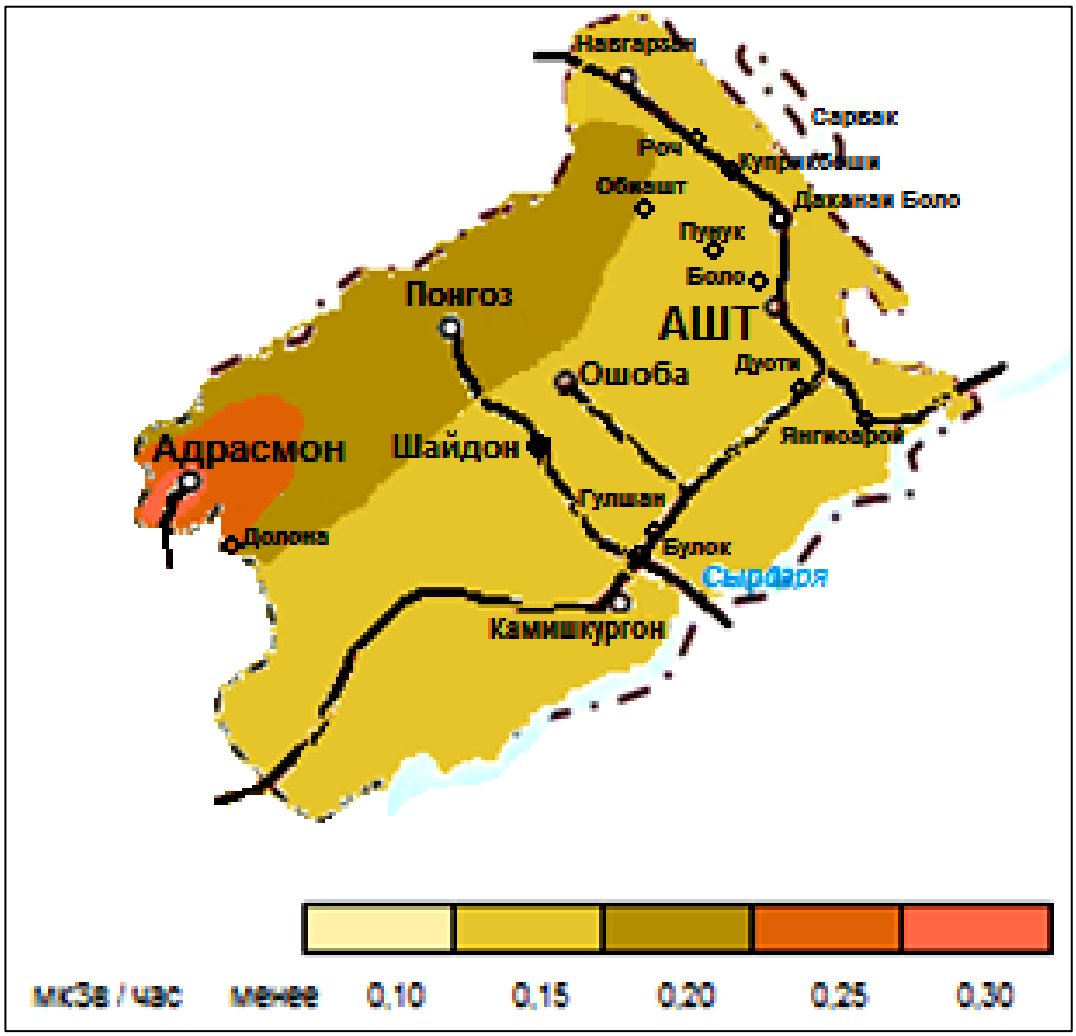

Рисунок 6.1. - Радиоэкологическая карта Аштского района

Радиоэкологическая ситуация Б. Гафуровского района. Б. Гафуровский район – административная единица Согдийской области Республики Таджикистан. Районный центр – город Гафуров, который находится в 100 километрах от областного центра - города Худжанда. Географически Гафуровский район располагается на территории Ферганской долины. Западные границы района соседствуют с Матчинским, Джаббар Расуловским районами, восточные границы - с Аштским и Канибадамским районами Согдийской области, на севере с Ташкентской областью Республики Узбекистан, на юге с Баткенской областью Республики Кыргызстан. Территория Гафуровского района составляет 2651,7 км^2. В состав Гафуровского района входят: один город - Гафуров и 11 сельских джамоатов.

Для Б. Гафуровского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.2), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.2).

Таблица 6.2. - Общий радиационный фон Б. Гафуровского района

Наименование населённых пунктов	ЭРОА радона (Бк/м^3)	ОА радона (Бк/м^3)	МЭД (мкЗв/ч)
джамоат Хайдар Усмонов	27,6	69	0,17
г. Гафуров	24,4	61	0,16
джамоат Чашмасор	34,4	86	0,17
джамоат Гозиён	16,8	42	0,12
джамоат Унджи	23,2	58	0,18
джамоат Ёва	26,4	66	0,16
джамоат Дадобой Холматов	18,8	47	0,19
джамоат Исмоил	28,4	71	0,18
джамоат Овчи-калача	27,2	68	0,14
джамоат Исфисор	16,8	42	0,13
джамоат Хистеварз	19,2	48	0,16
джамоат Зарзамин	22.0	55	0,15

Результаты проведённого радиационного мониторинга обследованных территорий выявили в различных территориях Б. Гафуровского района содержания МЭД от 0.10 до 10.0 мкЗв/ч [352].

Определа зависимость изменения величин ОА радона и ЭРОА радона от различных территорий. Так, для территорий, имеющих асфальтовое или бетонное покрытие, в частности на автодорогах и площадках величины ОА радона и ЭРОА радона составляют 0.15 мкЗв/ч и ниже. Эти покрытия как бы служат защитным барьером на поверхности почвы, исключают выделение радона из-под земли. В общем, результаты, полученные при проведении радиационного мониторинга в Б. Гафуровском районе, соответствуют показателям природного фона данной местности [353, 354].

Рисунок 6.2. - Радиоэкологическая карта Б. Гафуровского района

Радиоэкологическая ситуация города Бустон. В целом, проведённая работа показала, что для помещений и зданий на территории города величины ОА

радона являются более низкими, чем нормативный предел (100 Бк/м^3), поэтому необходимости принятия мер вмешательства нет. Для города Бустон в обследованных жилых помещениях мах величин ОА радона равен 47 Бк/м^3.

В 2023 году в городе Бустон была проведена гамма-съёмка, которая показал следующие результаты (рисунок 6.3).

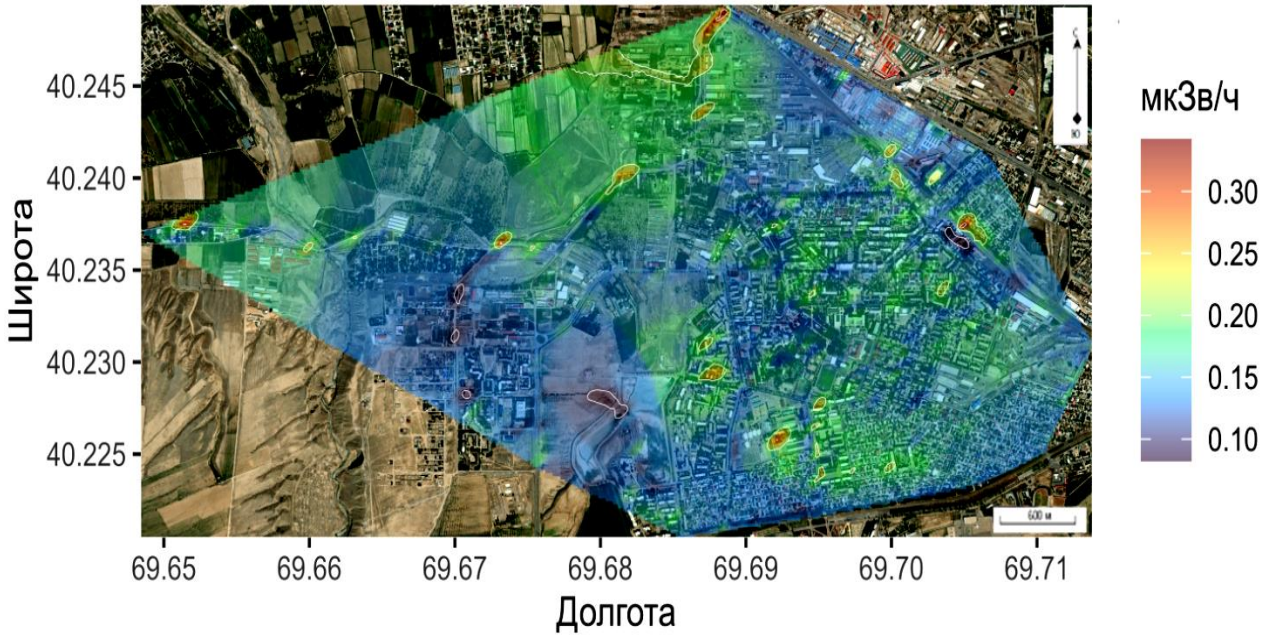

Рисунок 6.3. - Гамма-съёмка, проведённая в 2023 году в городе Бустон

Радиоэкологическая ситуация в Зеравшанской группе районов Согдийской области. Административной единицей Согдийской области Таджикистана является Пенджикентский район с административным центром – городом Пенджикент, население которого 40 тыс. Город Пенджикент - это город областного подчинения и одновременно единственный населённый пункт, имеющий статус районного центра. Пенджикент расположен в 270 километрах к юго-западу от Худжанда, в 240 километрах к северо-западу от Душанбе, в 48 километрах к востоку от Самарканда (Узбекистан). В состав района входят также 14 сельских джамоатов: Амондара, Вору, Ёри, Косатарош, Куштеппа, Лоик Шерали, Могиён, Рудаки, Саразм, Суджина, Фароб, Чимкургон, Чинор, Шинг.

Пенджикентский район занимает крайнюю юго-западную часть Согдийской области Таджикистана. На севере Пенджикентского района пролегает гос-

ударственная граница с Джизакской, на юге с Сурхандарьинской, на западе с Самаркандской, на юго-западе с Кашкадарьинской областями Узбекистана, на востоке соседствует с Айнинским районом Согдийской области РТ. Пенджикентский район - самый западный район республики, располагается на территории, равной 3700 тысяч квадратных километров.

Айнинский район – одна из административных единиц в составе Согдийской области Республики Таджикистан. Районным центром является посёлок городского типа Айни (переименован из Варзи Манор), расположенный в 177 километрах к югу от г. Худжанд. Большая часть жителей Айнинского района является сельскими жителями (98%). В состав Айнинского района входят 8 сельских джамоатов и 1 посёлок - Зеравшан.

Горно-Матчинский район – административный район в составе Согдийской области Республики Таджикистан. Образован в 1996 году путём выделения из восточной части Айнинского района. Районный центр с 2002 года – посёлок Мехрон (в 252 км от Душанбе), который за год до этого был включён в состав района. Район расположен в крайней юго-восточной части Согдийской области, в районе истока и верхнего течения реки Зеравшан, где она имеет второе название – Матча. Площадь 3723 км^2. В состав Горно-Матчинского района входят 2 сельских джамоата – Лангар и Иван-Таджик.

Для Пенджикенского, Айнинского и Горно-Матчинского районов составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.4).

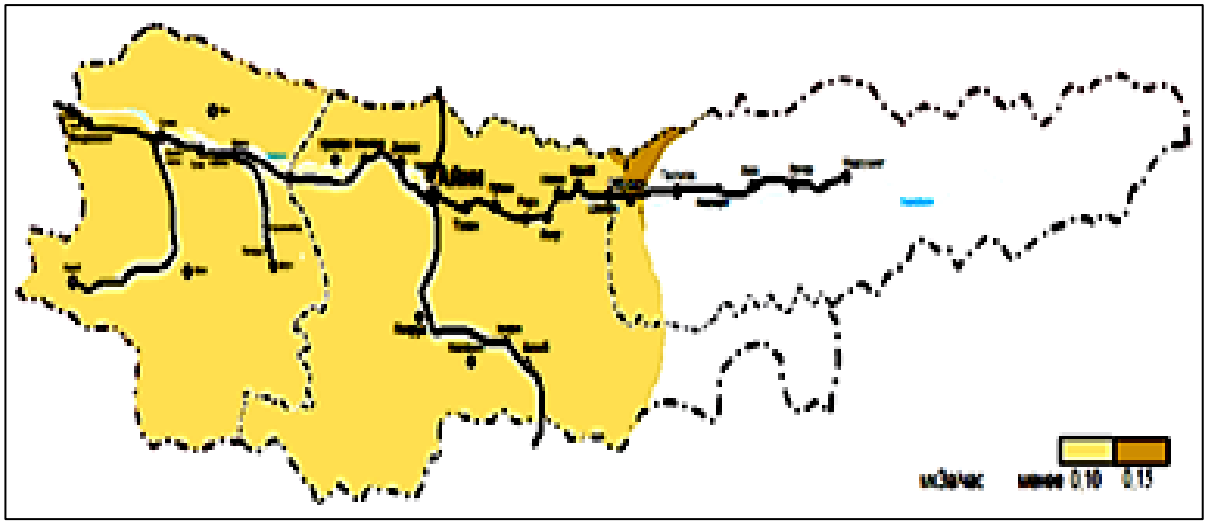

Рисунок 6.4. - Радиоэкологическая карта Пенджикенского, Айнинского и Горно-Матчинского районов Таджикистана

Радиоэкологическая ситуация Канибадамского района. Канибадамский район – административный район Согдийской области Республики Таджикистан. Районный центр – им является город Канибадам, расположенный восточнее города Худжанд на 79 км. Георгафически Канибадамский район находится на юго-западе Ферганской долины. С севера проходит граница с Аштским районом, с востока – с Исфаринским районом, с запада – с Гафуровским районом Согдийской области Таджикистана, с юга пролегает государственная граница с Кыргызстаном (Баткенская область). Территория Канибадамского района составляет 828,9 км^2. В состав Канибадамского района входят 6 сельских джамоатов.

Для Канибадамского района составлена радиоэкологическая карта, приведённая на рисунке 6.5.

Рисунок 6.5. - Радиоэкологическая карта Канибадамского района

Радиоэкологическая карта Джаббор Расуловского района. Джаббор Расуловский район – административный район Согдийской области РТ. Районным центром Джаббор Расуловского района является посёлок городского типа Мехробод (ранее Пролетарск), который находится в 20 км на юго-запад от г.

Худжанд. На севере и западе проходят границы со Спитаменским и Б. Гафуровским районами Согдийской области, с востока и юга к нему прилегает Лейлекский район Баткенской области Кыргызстана. Территория Джаббор Расуловского района составляет 328,5 км^2. В состав Джаббор Расуловского района входят 1 посёлок городского типа и 5 сельских джамоатов.

Для одельных населённых пунктов Джаббор Расуловского района проведено определение радиационного фона и МЭД, которые приводятся в таблице 6.3.

Таблица 6.3. - Средние значения МЭД отдельных населённых пунктов Джаббор Расуловского района республики

Место измерения	МЭД, мкЗв/ч	Место измерения	МЭД, мкЗв/ч
п.г.т. Мехробод	0,13	к. Кургонча	0,11
к. Навбунёд	0,16	к. Хитой	0,12
к. Мехргон	0,13	к. Қирғизқишлоқ	0,11
к. Янтокзор	0,11	к. Тожикабад	0,16
к. Зарафшон	0,18	к. Гулакандоз	0,17
к. Узбекқишлоқ	0,13	к. Куланбош	0,18
к. Казнок	0,17	к. Каттадам	0,18
к. Дехмой	0,22		

Как видно из радиологической карты Джаббор Расуловского района, разработанной согласно полученным результатам замеров радиационного фона территорий района, в южных территориях МЭД находится в пределах ниже или равных 0.15 мкЗв/час. Данный факт объясняется тем, что в почвенном покрове этих территорий находятся низкие содержания радиоактивных элементов, и в эту часть района ветром или водой не привносятся радиоактивные материалы.

Центральная и южная территории характеризуются величинами МЭД, составляющими в среднем 0,15 и 0,20 мкЗв/час, соответственно. Данный факт

объясняется близостью расположения радиоактивного Дигмайского хвостохранилища, находящегося территориально в Бободжон Гафуровском районе, а также присутствием в почвенном покрове района радиоактивных материалов. Радиоактивное хвостохранилище Дигмай находится в юго-восточной части района и через него проходит роза ветров в направлении восток-запад-восток.

Для Джаббор Расуловского района проведено определение общего радиационного фона, на основании полученных результатов составлена радиоэкологическая карта района (рисунок 6.6).

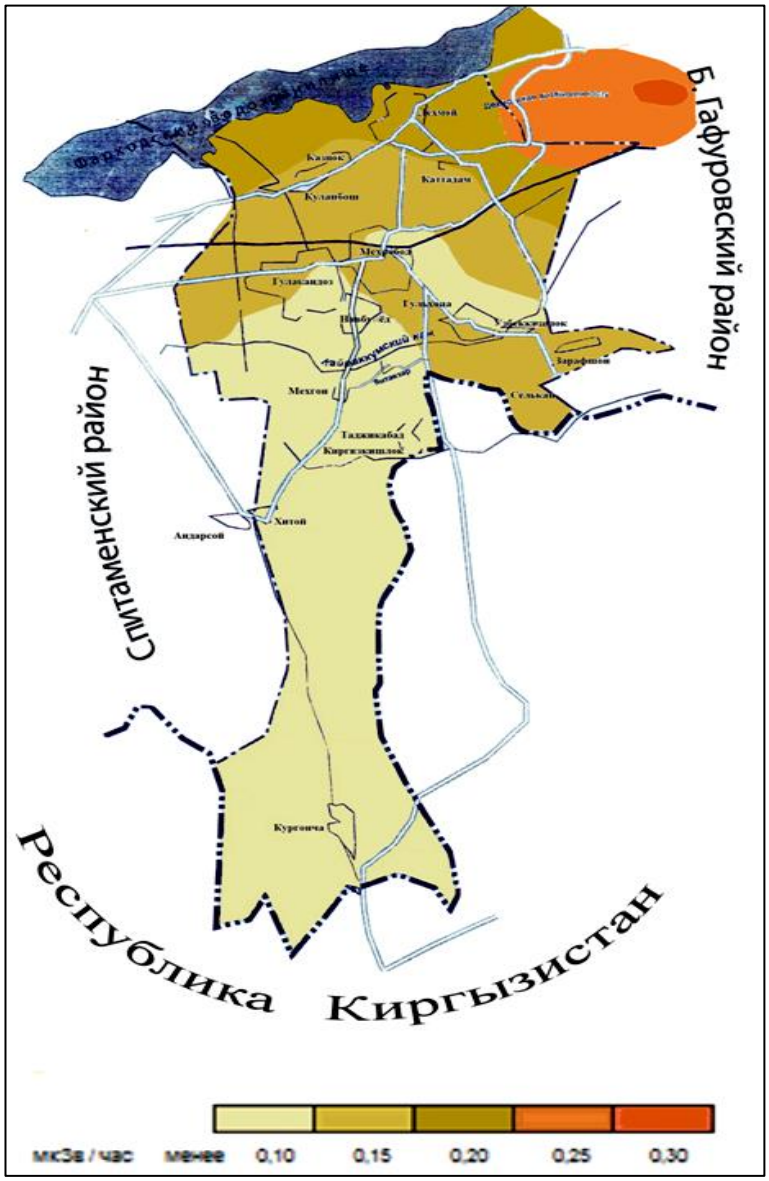

Рисунок 6.6. - Радиоэкологическая карта Джаббор Расуловского района

Территории, расположенные в юго-восточной части района, характеризуются величинами МЭД, достигающими 0.25-0.30 мкЗв/час, здесь на эти параметры также оказывает влияние близость радиоактивного Дигмайского хвостохранилища.

Во время проведения радиационного мониторинга участки хвостохранилища Дигмай с самыми высокими значениями МЭД были консервированы нейтральным грунтом. После принятых мер на данных участках значения МЭД достигают 0,30 мкЗв/ч [355].

Значения МЭД на всей территории Джаббор Расуловского района соответствуют природно-фоновым значениям МЭД данной местности. Участки, приграничные к хвостохранилищу Дигмай, полностью подвержены влиянию указанного радиоактивного хвостохранилища Бободжон Гафуровского района. Поэтому на данном участке значения МЭД достигают до 0,25 мкЗв/ч. Но это превышение естественного фона является незначительным и не превышает имеющиеся нормы для данной территории.

Радиоэкологическая ситуация Зафарабадского района. Зафарабадский район – административный район в составе Согдийской области Республики Таджикистан. Районным центром является посёлок городского типа Зафарабад, который находится на расстоянии 106 километров к западу от г. Худжанд. Географически Зафарабадский район располагается между Туркестанским хребтом и Ферганской долиной. На севере, западе и юго-западе пролегает государственная граница с Республикой Узбекистан (Джизакской и Сырдарьинской областями), с востока соседствует со Спитаменским районом, на юге - с Истаравшанским районом Таджикистана. Территория Зафарабадского района составляет 441 км^2. В состав Зафарабадского района входят 3 посёлка городского типа – Зафарабад, Мехнатабад, Пахтакорон, а также 5 сельских джамоатов.

Для Зафарабадского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.4), определения проводились в основном в п.г.т. Зафарабад и его окрестностях, по полученным результатам также составлена радиологическая карта результатам Зафарабадского района (рисунок 6.7).

Таблица 6.4. - Общий радиационный фон п.г.т. Зафарабад и его окрестностей

Наименование территорий	МЭД, мкЗв/ч	Наименование территорий	МЭД, мкЗв/ч
п.г.т. Зафарабад (центр)	0,18	Село Джавони	0,17
Автовокзал	0,20	Село Сухроб	0,19
Базар	0,18	Село Ширинча	0,16
Военный комиссариат	0,16	Село Джоми	0,17
Площадь Ленина	0,21	Село Комсомол	0,17
Хукумат района	0,18	Нижняя мечеть	0,15
Центральная больница	0,19	Остановка с/х «Айни-Дусти»	0,24
Центральный стадион	0,14	Остановка с/х «Айни-Зафарабад»	0,21
Центральная мечеть	0,15	Мост в с/х Айни	0,14
Остановка «Зафара-бад-Дусти»	0,18	Улица Бедил	0,16
Магазин «Изабелла»	0,15	Улица Джоми	0,16
Налоговая инспекция	0,19	Улица Садовая	0,15
Хлоппункт №1	0,16	Верхняя мечеть	0,17
Хлебозавод	0,16	Улица Хишортоб	0,17
Село Логин	0,13	Контора с/х Айни	0,23
Село Октябрь	0,15	Джамоат «Равшан»	0,21
Село Кипчак	0,17	Чайхана	0,15
Джамоат Х. Алиев	0,14	Дом быта	0,18
Село Зарбдор	0,13	Магазин (централь-ный)	0,15
Село Ишкили	0,14	Отделение связи	0,21
Джамоат Равшан	0,14	Средняя школа	0,18
Хлоппункт №2	0,15	Учительская школы	0,22
Село Бахт	0,16	Спортзал школы	0,17
Село Хаёти Нав	0,15	Дом Культуры	0,12
Село Мирзообод	0,17	Стадион	0,16
Село Мехнатобод	0,15	Поликлиника	0,15

При исследованиях выявлено повышение на 20-30% общего радиационного на открытых естественных территориях по сравнению с территориями, покрытыми асфальтом или забетонированными площадками. По нашему мнению, на открытых территориях радиационный фон выше с связи с тем, что асфальтовые и бетонные покрытия задерживают радиационное излучение радона и, тем самым снижают его выход на поверхность. Показанные превышения радиационного фона в акватории верхнего канала г. Зафарабад сравнительно с его равнинной частью по рельефу, можно объяснить миграцией нуклидов, которая происходила в геологические эпохи с северных склонов Туркестанского хребта.

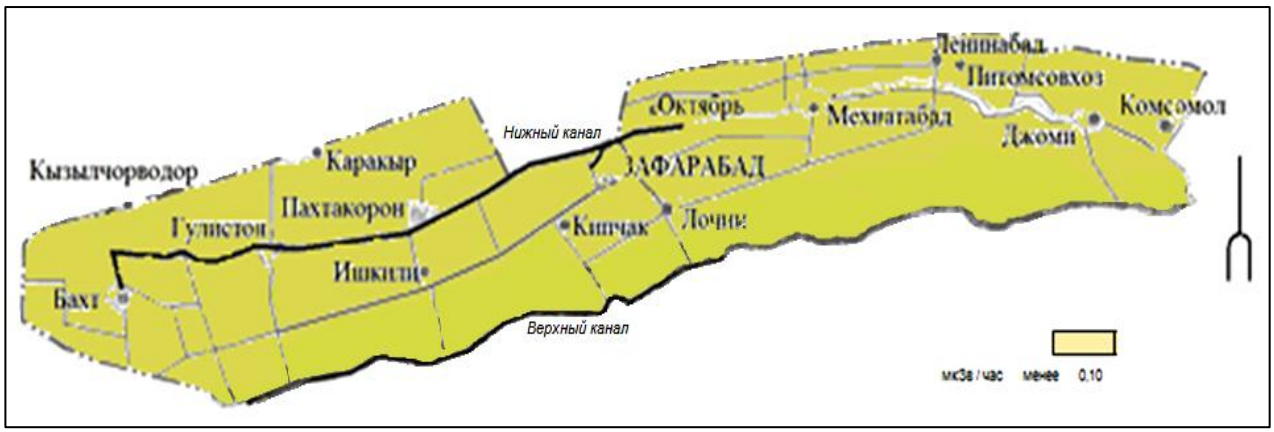

Рисунок 6.7. - Радиоэкологическая карта Зафарабадского района

Радиоэкологическая ситуация Истаравшанского района. Истаравшанский район географически располагается в предгорьях Туркестанского хребта. С севера находится Зафарабадский район, с востока – Девештичский район, с юга – Шахристанский район Согдийской области Таджикистана, на западе пролегает государственная граница с Джизакской областью Узбекистана. Территория Истаравшанского района составляет 763,0 тыс. км^2.

В состав Истаравшанского района входят 1 город - Истаравшан и 10 сельских джамоатов.

Для Истаравшанского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.5), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.8).

Таблица 6.5. – Оценка общего радиационного фона г. Истаравшан и его окрестностей

Названия населённых пунктов и улиц	МЭД, мкЗв/ч	Названия населённых пунктов и улиц	МЭД, мкЗв/ч
1	2	3	4
г. Истаравшан			
ул. Фабричная	0,14	Около универмага	0,15
ул. Октябрьская	0,13	У книжного магазина (ул. Ленина)	0,16
ул. Интернациональная	0,17	Около центрального базара	0,17
ул. Маяковская	0,14	На базаре	0,15-0,17
ул. Садовая	0,19	На мосту у въезда в город	0,13-0,16
ул. Горького	0,17	Около гостиницы	0,16-0,18
ул. Крупской	0,16	Центральная больница	0,16-0,18
ул. Чапаева	0,14	Гузар Найман	0,16-0,19
Трикотажная фабрика	0,19	Обанбор	0,13-0,17
Пансионат «Ура-Тюбе»	0,15	-	-
На юге от г. Истаравшан			
Село Гули сурх	0,18-0,20	Село Калъаи Баланд	0,17-0,23
Село Богикалон	0,17-0,20	Село Аргу	0,19-0,23
Село Боботаго	0,15-0,17	Село Чорбог	0,17-0,19
Село Дусти	0,16-0,20	Село Майдонча	0,16-0,19
Село Махали Яси	0,15-0,19	Село Варсик	0,16-0,18
Село Ободи	0,15-0,17	Село Навобод	0,18-0,23
Село Равгангарон	0,16-0,19	Село Сандагундак	0,16-0,20
Село Саримазар	0,17-0,21	Село Сари Джияк	0,16-0,21
Село Сахсиён	0,16-0,20	Село Балгари	0,16-0,19

Продолжение таблицы 6.5

1	2	3	4
Село Тошбек	0,17-0,20	Село Дильшод	0,17-0,19
Село Табкок	0,15-0,18	Село Пошкенд	0,17-0,18
Село Чорсара	0,16-0,19	Село Яккабог	0,16-0,18
Село Шонатарошон	0,16-0,20	Село Джавкандак	0,21-0,23
Село Нофародж	0,18-0,23	Село Вогат	0,15-0,19
Село Обкарчагай	0,17-0,19	Село Калъачаи Баковул	0,16-0,20
Село Дахьяк	0,21-0,23	Село Туда	0,18-0,21
Село Кунджок	0,19-0,21	СП «Оби Зулол»	0,16-0,19
Село Тутк	0,16-0,20	Село Ободон	0,18-0,19
Село Суркат	0,16-0,20	Село Майдонча	0,16-0,17
На севере от г.Истаравшана			
Село Гулистон	0,15-0,19	Село Маданият (Суфи Ориф)	0,15-0,19
Село Бафои	0,17-0,19	Село Курук	0,15-0,17
Село Уяс	0,16-0,19	Село Калъачаи Араб	0,17-0,18
Село Джаркурган	0,14-0,17	Село Сурхи	0,17-0,20
Село Уяли	0,14-0,16	Село Обджувоз	0,17-0,20
Село Ниджони	0,16-0,19	Село Калъачаи Гули зард	0,16-0,19
Село Хаватак	0,15-0,19	Село Ругунд	0,16-0,18
Село Лакат	0,18-0,20	Село Яккатол	0,16-0,19
Село Парчаюз	0,17-0,20	Село Калъаи Метар	0,16-0,19
Село Баявут	0,15-0,20	Пост ГАИ	0,14-0,17

Средний радиационный фон в г. Истаравшан составляет 0,17 мкЗв/ч и в пределах погрешностей измерений заметных отклонений от этих значений здесь не отмечено. На севере и северо-западе Истаравшанского района величины сред-

него радиационного фона также находятся в пределах 0.16-0.17 мкЗв/час. Согласно нашим исследованиям радиационного фона территорий, нами территория Истаравшанского района была условно разделена на три части:

I часть со значениями общего радиационного фона 0.20-0.21 мкЗв/час, расположена в южном направлении от города Истаравшан;

II часть - со значениями общего радиационного фона 0.17-0.18 мкЗв/час, занимает территорию г. Истаравшан и его горизонтальные параллели;

III часть - со значениями общего радиационного фона 0.16-0.17 мкЗв/час, на север от г. Истаравшан [356].

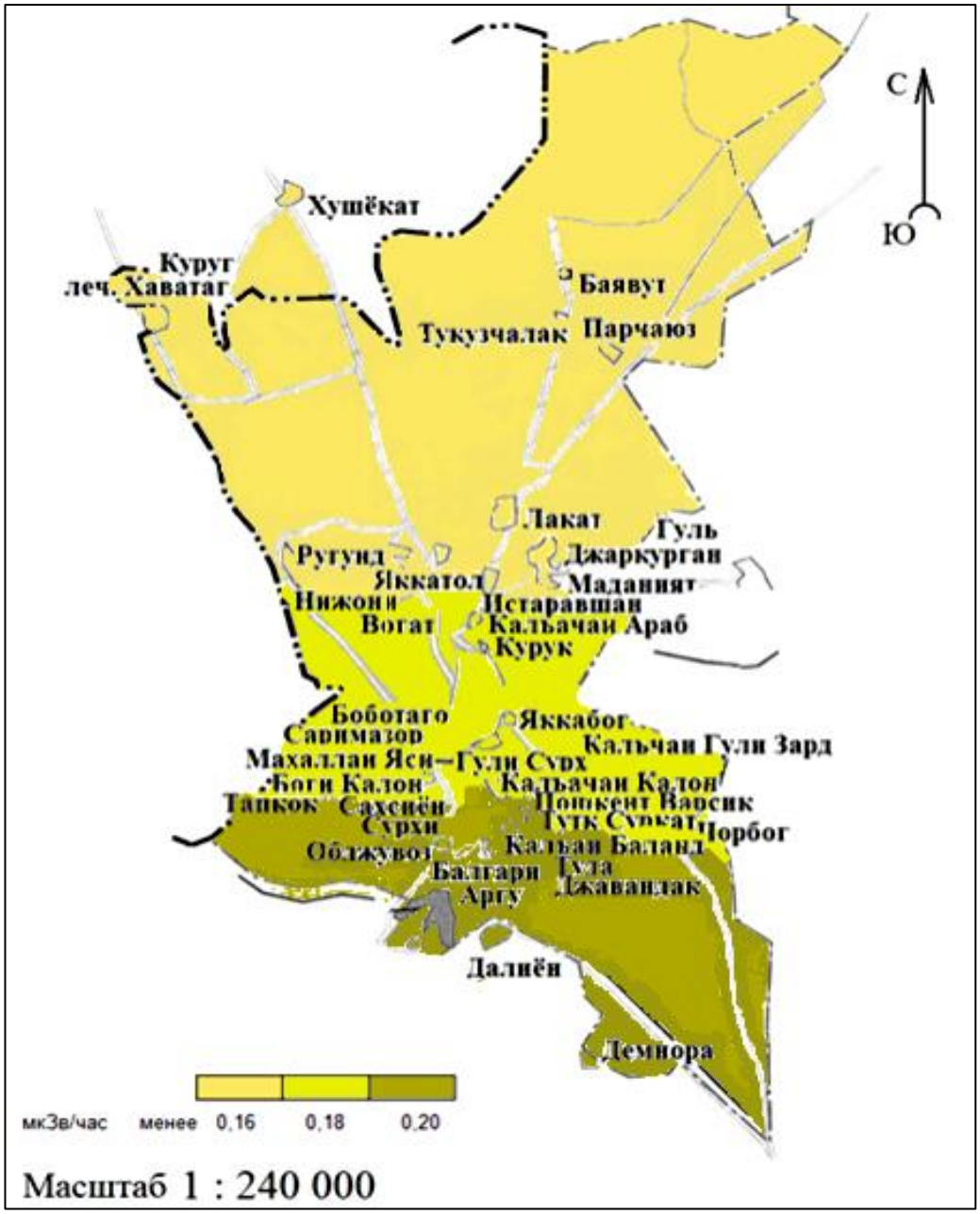

Рисунок 6.8. – Радиоэкологическая карта Истаравшанского района

Таким образом, мониторинг радиационного фона данной территории показал, что севернее города Истаравшан величины МЭД определялись как 0.16-0.17 мкЗв/час, на территории самого города – 0.17-0.18 мкЗв/час, а южнее города - 0.20-0.21 мкЗв/час, при этом разница в показателях радиационного фона между северными и южными окрестностями г. Истаравшан минимальна, всего 0.04 мкЗв/час.

Сравнительный анализ полученных величин радиационного фона и санитарно-допустимых норм показал, что на территории города Истаравшан и в его окрестностях не превышает санитарные нормы и не является опасным для проживающих на этой территории людей и в целом для биосферы.

Радиоэкологическая ситуация Исфаринского района. Административным центром Исфаринского района является город Исфара, один из основных индустриальных центров северного Таджикистана. Территориально располагается на реке Исфара, у подножия Туркестанского хребта.

Для Исфаринского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.6), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.9).

Таблица 6.6. - Оценка общего радиационного фона территории Исфаринского района

Место замера	МЭД, мкЗв/ч	Место замера	МЭД, мкЗв/ч
1	2	3	4
город Исфара		джамоат Хонобод	
г. Исфара (центр)	0,21	с.Баланд (школа №41)	0,21
Рынок г. Исфары	0,19	с. Хушобод (школа №42)	0,24
Центральная больница	0,20	с.Яккачинор (Арабкишлок)	0,24
Лицей №1 г. Исфары	0,21	с.Хонобод (школа №46)	0,23

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4
город Шуроб		с.Заркух (Кизил-пилол)	0,26
г. Шуроб (центр)	0,19	с. Зархок (школа №48)	0,24
Дет сад №11	0,17	Районная больница №12	0,22
Дет сад №1	0,20	джамоат Кулканд	
Школа №11	0,15	с. Кулканд	0,21
Школа №8	0,21	Школа №33	0,22
Профессиональный лицей	0,14	Школа №34	0,14
Больница №4	0,15	Школа №35	0,21
поселок Нефтеобод		Школа №51	0,15
п. Нефтобод	0,22	Школа №72	0,20
Районная больница №4	0,25	Лицей №2	0,18
городок Нурафшон	0,22	Лицей №8	0,18
джамоат Навгилем		Дет сад №17	0,20
с.Офтобруй	0,20	джамоат Шахрак	
с.Гунбази	0,21	с. Чоркишлок (школа №16)	0,21
Лицей №7	0,15	с. Зумратшох (школа №17)	0,20
Школа №13	0,22	с. Шаҳрак (школа №18)	0,21
Школа №14	0,19	с. Калъачаи Мазор (школа №19)	0,14
Школа №15	0,20	с. Матпари (школа №20)	0,21
Школа №30	0,25	Дет сад №9	0,15
Школа №32	0,21	Дет сад №15	0,18
Школа №43	0,20	Дет сад №16	0,15
Дет сад №8	0,16	Дет сад №35	0,20
Дет сад №12	0,17	джамоат Чилгази	
с. Навгилем	0,23	с. Чилгази	0,20

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4
с. Маҳал	0,22	Дет сад №13	0,17
с. Шуртанг	0,20	Школа №36	0,23
с. Кушдевор	0,20	Школа №37	0,22
джамоат Лаккон		с. Богдори	0,20
с. Лаккон	0,26	Школа №49	0,21
Школа №39	0,15	джамоат Сурх	
Школа №54	0,14	с. Сурх	0,21
с. Даҳана	0,30	Школа №26	0,21
джамоат Чорку		джамоат Ворух	
с. Чорку	0,21	с. Ворух	0,21
Центр здоровья	0,24	Школа №3	0,21
Школа №25	0,19	Школа №21	0,10
Школа №27	0,19	Школа №22	0,13
Школа №28	0,21	Школа №45	0,26
Школа №65	0,20	Школа №50	0,15
Школа №76	0,12	Школа №59	0,20
Дет сад №14	0,22	Школа №60	0,24
Дет сад №37	0,17	Центр здоровья «Сари Дашт»	0,18

Среднее значение МЭД радиационного фона в исследованных местностях Исфаринского района составляет 0,22 мкЗв/ч. Это связано с рельефом горной местностью данного района.

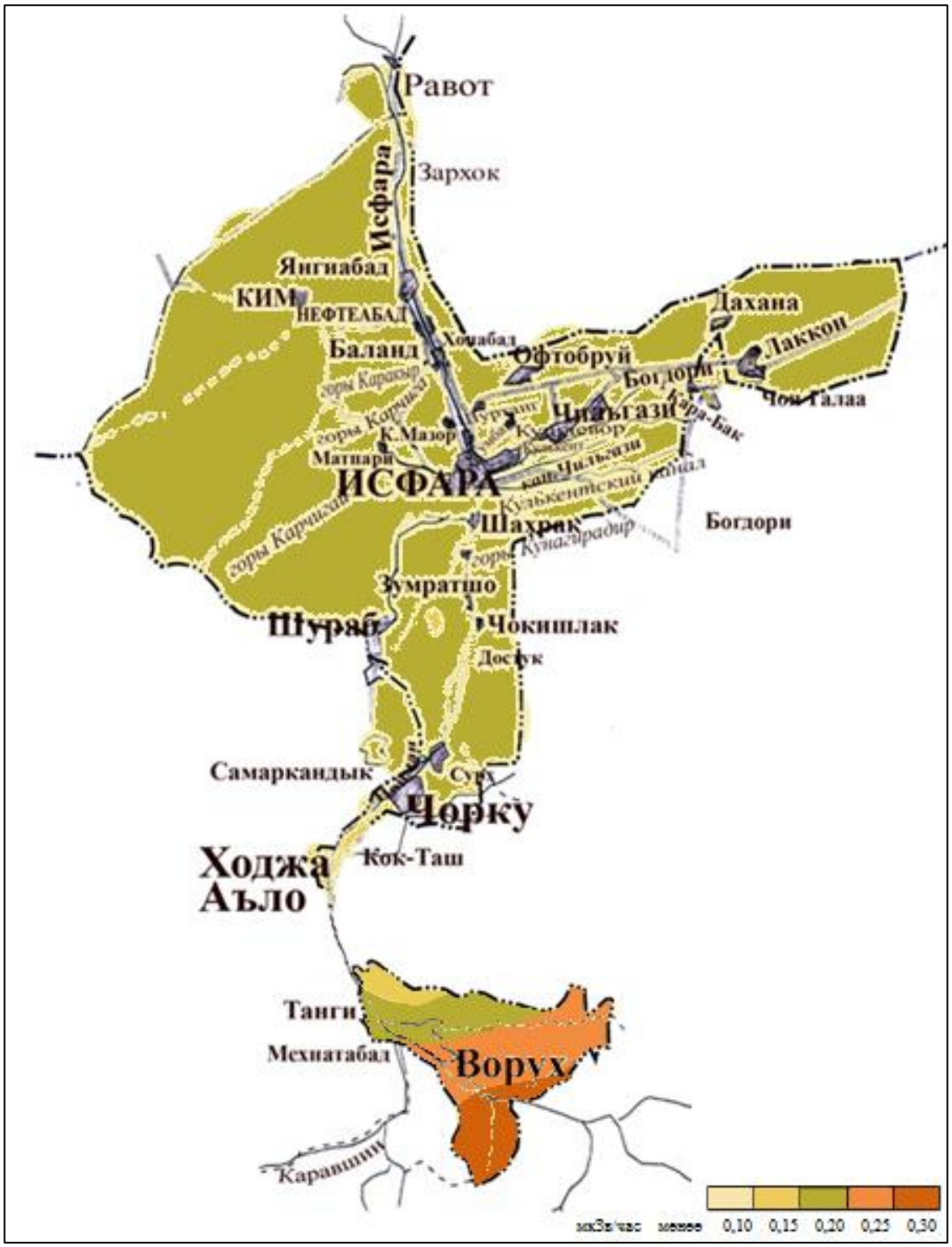

Рисунок 6.9. – Радиоэкологическая карта Исфаринского района

Радиоэкологическая ситуация Матчинского района. Матчинский район – административная единица Согдийской области Таджикистана. Районным центром является п.г.т. Бустон, который находится северо-западнее города Худжанд на расстоянии 56 км. От города Душанбе п.г.т. Бустон расположен на расстоянии

Матчинский район географически находится в Ферганской долине. С севера пролегает государственная граница с Республикой Узбекистан (Ташкентская область), с юга и востока соседствует с Б. Гафуровским районом, с запада – со Спитаменским районом Согдийской области. Территория Матчинского района составляет 1000 км^2. В состав Матчинского района входят 3 посёлка городского типа (Бустон, Обшорон, Сугдиён) и 4 сельских джамоата.

На территории населённых пунктов, расположенных в западной части Кураминских гор Матчинского района, наблюдается незначительное превышение показателей МЭД от среднеарифметического, значения которых достигают 0,20-0,23 мкЗв/ч.

Для Матчинского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.7), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.10).

Таблица 6.7. - Значения МЭД на территории Матчинского района

Места измерений	МЭД, мкЗв/ч	Места измерений	МЭД, мкЗв/ч
Комсомол	0,14	Таракент	0,19
Мастчах	0,14	Етимчуки	0,18
Оббурдон	0,15	Чолота	0,20
Палдорак	0,15	Гарав	0,20
Бустон	0,15	Шакарбулок	0,19
Фотехабад	0,14	Куруксай	0,18
Казакаул	0,15	Джубулак	0,20
Янгиабад	0,18	Каракушхона	0,20
Куруксай	0,17	Кучкарли	0,17
Тутли	0,16	Янгикурган	0,17
Дехканабад	0,16	Чувуллок	0,16
Такели	0,15	Джигдалик	0,20
Авзикент	0,18	Уммати	0,20

Рисунок 6.10. - Радиоэкологическая карта Матчинского района

Радиоэкологическая ситуация района Девештич.

Для района Девештич проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.8), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.11).

Таблица 6.8. - Значения МЭД на территории Девештичского района

Места измерений	МЭД, мкЗв/ч	Места измерений	МЭД, мкЗв/ч
1	2	3	4
Девештич		Джамоат Росровут	
Центр района	0,19	Росровут – центр	0,25
Центральная больница	0,20	Хушекат	0,24
Кабинет рентгенолога	0,24	Бобочак	0,22
Консервный завод	0,18	Дахкат	0,24
Кирпичный завод	0,20	Муряк	0,24
Джамоат Овчи		Джамоат Яхтан	
Калаи Мирзобой	0,21	Хуштоир Мухлон	0,20
Угук	0,24	Дам	0,21
Метк	0,24	Яхтан	0,20
Басманда	0,22	Хуштоир Джар	0,19
Калаи Дуст	0,22	Джари Гуломкуш	0,19
Овчи	0,25	Кизили	0,19
Работ	0,21	Кийгир	0,18
Чуянчи	0,22	Даштикон	0,21
Джамоат Калининобод		Джамоат Муджун	
Калининобод – центр	0,23	Муджун – центр	0,19
Больница	0,21	Чогат	0,18
Деревообрабат. цех	0,23	Бешкал	0,18
Шохон	0,22	Кучкина	0,19
Калаи Ходжи	0,22	Иторчи	0,17
Янгиарик (верхний)	0,23	Урта Курган	0,19
Каджровут	0,24	Кенагаз	0,21
Сурхоб	0,24	Мангит	0,21
Сурхобча	0,23	Амбаргозиболо	0,21

Продолжение таблицы 6.8

1	2	3	4
Сумбулкан	0,23	Хавутак	0,20
Джамоат – Газантарак		Джамоат Далёни боло	
Газантарак – центр	0,19	Далёни Боло – центр	0,22
Янгиарик	0,20	Далён	0,21
Калачаи Раис	0,20	Файзобод	0,20
Калачаи Азим	0,19	Калачаи Арбоб	0,22
Эшонкургон	0,20	Демнора	0,20
Гул	0,18	Обиборик	0,22
Карабуин	0,19	Навобод	0,22

Общий радиационный фон территории Деваштичского района составляет от 0,18 до 0,25 мкЗв/ч, что соответствует санитарным нормативам для населённых пунктов Республики Таджикистан. Что касается увеличения радиационного фона на 20-25%, в верхней по рельефу части территории района, то это может быть вызвано гранитными выходами горных массивов, а также вкладом вторичных космических лучей [357].

Рисунок 6.11. – Радиоэкологическая карта района Девашти

Радиоэкологическая ситуация Спитаменского района. Спитаменский район – административная единица Согдийской области Таджикистана. Районным центром является п.г.т. Навкат, расположеный юго-западнее города Худжанда на 28 километров.

Спитаменский район географически находится в долине реки Сырдарья, по течению её левого притока Аксу. С севера соседствует с Матчинским районом, с востока – с Джаббор Расуловским районом, с запада – с Деваштичским районом Согдийской области Таджикистана, с юга пролегает государственная граница с Кыргызстаном (Лейлекский район). Площадь Спитаменского района составляет 496,7 км^2.

В состав Спитаменского района входят 1 посёлок городского типа - Навкат и 7 сельских джамоатов.

Для Спитаменского района проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.9), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.12).

Анализ полученных результатов свидетельствует, что в среднем значения ОА радона, которые были определены для жилого сектора Спитаменского района, находятся в диапазоне 13-140 Бк/м^3 (при среднем значении ОА радона = 72 Бк/м^3). В точках замеров радиационного фона значения мощности экспозиционной дозы определены как 0,07-0,24 мкЗв/ч [358].

Концентрации радона в воздухе домов жилого сектора в селениях Куштегирмон, Куруш, Лангар, Метар и Андарсой оказались равными от 96 до 140 Бк/м^3. Данный факт объясняется расположенностью этих селений в юго-западной части Согдийской области. С географической точки зрения - селения расположены в горной зоне, и высокие содержания радона здесь зависят от состава почвенных покровов зоны. Исключением из общей закономерности является поселение Қуштегирмон, в котором здания имеют концентрацию радона в 96 Бк/м^3. По нашему мнению, повышенные содержания ОА радона в этой зоне свя-

заны с тем, что сюда поступают ихз горных зон смывные радиоактивные материалы. Данное исключение необходимо исследовать и установить причины высоких содержаний радона в этой зоне.

В зданиях жилого сектора п.г.т. Навкат (центр района), селений Тагояк, Т. Улчабоев, Янгиобод, Октеппа, Саидкургон, Мехнатобод, Хаштияк ОаА радона определялась в 13-60 Бк/м^3. Эти селения географически располагаются в северо-восточной части района. Низкое содержание радона здесь также определяется составом почвенных покровов этих территорий.

Таблица 6.9. – Концентрации объёмные активностей радона в воздухе жилых помещений и МЭД Спитаменского района

Место замера	МЭД, мкЗв/ч	ОА радона,
Посёлок Навкат, комната отдыха	0,11	46
Село Октеппа, жилая комната	0,07	59
Село Саидкургон, жилая комната	0,12	63
Село Куштегирмон, коридор	0,24	96
Село Куруш, жилая комната	0,16	117
Село Мехнатобод, жилая комната	0,12	60
Село Хаштияк, жилая комната	0,12	52
Село Лангар, кухня	0,20	98
Село Метар, магазин	0,20	104
Село Тагояк, подвал	0,13	56
Село Андарсой, жилая комната	0,22	140
Село Т. Улчабоев, жилая комната	0,12	37
Село Янгиобод, жилая комната	0,20	13,5

Согласно полученным данным, в воздухе жилого сектора Спитаменского района средние концентрации радона равны от 13 до 140 Бк/м^3, а значения

МЭД составили в точках измерений 0.07-0.24 мкЗв/час. Но здания жилого сектора в юго-западной части Спитаменского района, находящиеся в горной местности, имеют повышенные содержания радона в зданиях жилого сектора. Исходя из этого, ещё раз подтверждается факт поступления радона в помещения зданий за счёт горных пород. Для зданий жилого сектора ОА радона в среднем были равны 72,4 Бк/м^3, при общем радиационном фоне 0,16 мкЗв/ч, что находится в допустимых пределах для категории «Население».

Следовательно, можно сделать вывод, что на содержания радона оказывает влияние не только строительные материалы, из которых построены здания, но и рельеф местности, состав пород и почв, их радонопроницаемость. Соответственно, при освоении этой территории важно учитывать географические рельефы территорий с учётом исследований по радону.

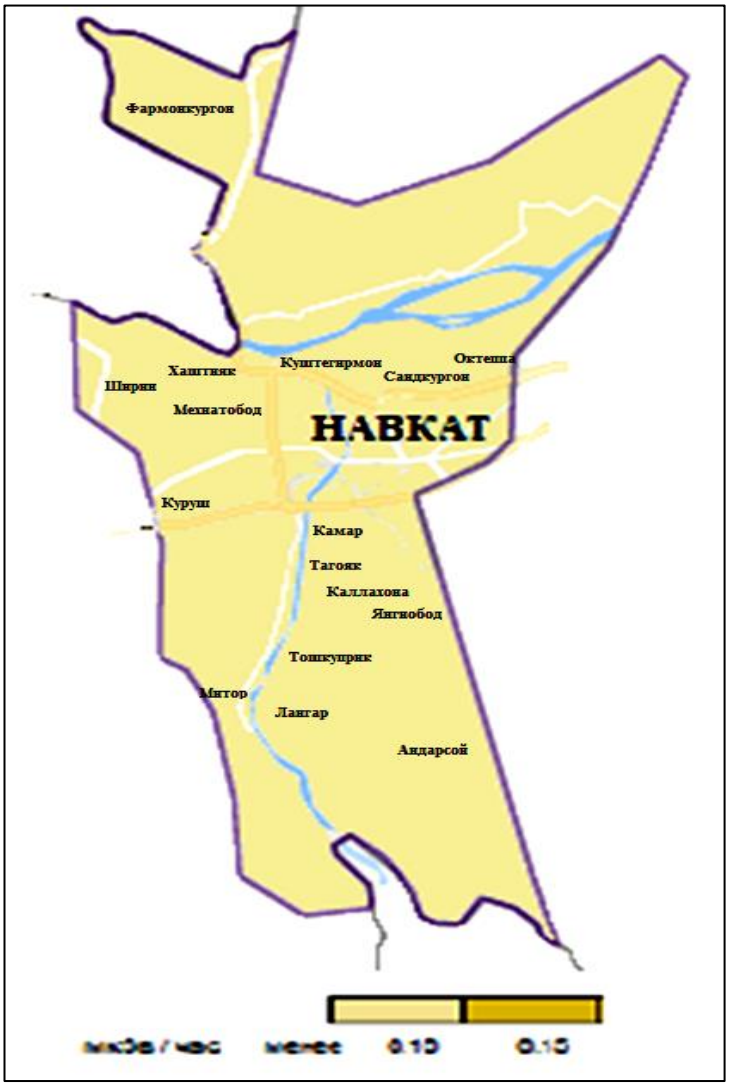

Рисунок 6.12. - Радиоэкологическая карта территории Спитаменского района

Радиоэкологическая ситуация города Худжанд. Худжанд является крупным административным центром Согдийской области, расположенном на севере республики. В регионе Центральной Азии Худжанд - одни из древнейших городов с тысячелетней историей. Худжанд также является вторым по знчимости и количеству населения городом после столицы Таджикистана – города Душанбе. Худжанд – это важный транспортный узел, экономический, научный и культурный центр республики.

Географически город Худжанд находится на обеих берегах р. Сырдарья, расположен ниже Кайраккумского водохранилища (Баҳри Тоҷик), между предгорий Ферганской долины, с севера находится горная система Моголтау, с юга - Туркестанский хребет. Город расположен в 200 км к северо-востоку от Душанбе (по автодороге – 300 км).

Территорию правобережья р.Сырдарья занимает жилой сектор – здесь находятся 20 жилых кварталов. Северо-западнее города Худжанд, выше по рельефу от 17 и 18 микрорайонов располагаются радиоактивные отвалы в количестве 4 отвалов, на которые ранее складировались отходы бывшего Рудника № 3, отвалы складированы на территории 5.9 гектаров. Поверхность радиоактивных отвалов покрыта защитным покрытием из нейтрального грунта мощностью от 0.6 до 0.8 метров.

На отвалах определены величины МЭД гамма-излучения, составляющие в среднем 0.50-0.75 мкЗв/час, а отдельные площадки (примерно занимающие от общей площади 5 процентов) показали максимумы МЭД, достигающие в среднем 0.90-1.10 мкЗв/час. Поскольку под почвенным слоем находятся гранитные массивы, то естественный фон территории составляет в среднем 0.40-0.50 мкЗв/час.

Более 60% территории города Худжанд приходится на левобережье р. Сырдарья. Здесь определены мощности экспозиционных доз γ-излучения на 30-40% ниже, чем на правом берегу реки. Центральная часть Худжанда характеризуется минимальными уровнями радиационного фона, как видно из рисунка 6.13 и таблицы 6.10.

Таблица 6.10. - Значения МЭД на территории г. Худжанд

Место измерения (правый берег)	Среднее значение МЭД, мкЗв/ч	Место измерения (левый берег)	Среднее значение МЭД, мкЗв/ч
Сартукай	0,13	Ёва	0,13
3 микрорайон	0,14	Пахтакор	0,14
8 микрорайон	0,17	Богикози	0,13
12 микрорайон	0,18	Чорчарог	0,14
13 микрорайон	0,22	Сойча	0,15
17 микрорайон	0,24	Себзор	0,14
18 микрорайон	0,23	Разок	0,13
19 микрорайон	0,25	Гулбахор	0,11
20 микрорайон	0,22	Чоршанбе	0,12
Ягодка	0,21	Панчшанбе	0,13
27 микрорайон	0,23	Бахор	0,14
28 микрорайон	0,20	Гулистон	0,15
31 микрорайон	0,22	Бофанда	0,15
32 микрорайон	0,23	Шайхбурхон	0,14
33 микрорайон	0,20	Пули-чукур	0,14
34 микрорайон	0,19	Румон	0,12
35 микрорайон	0,18	Кулангир	0,12
Чашма	0,15	Унджи	0,13
Чашма 2	0,16	Москва	0,17
Водник	0,15	Ходжа	0,18

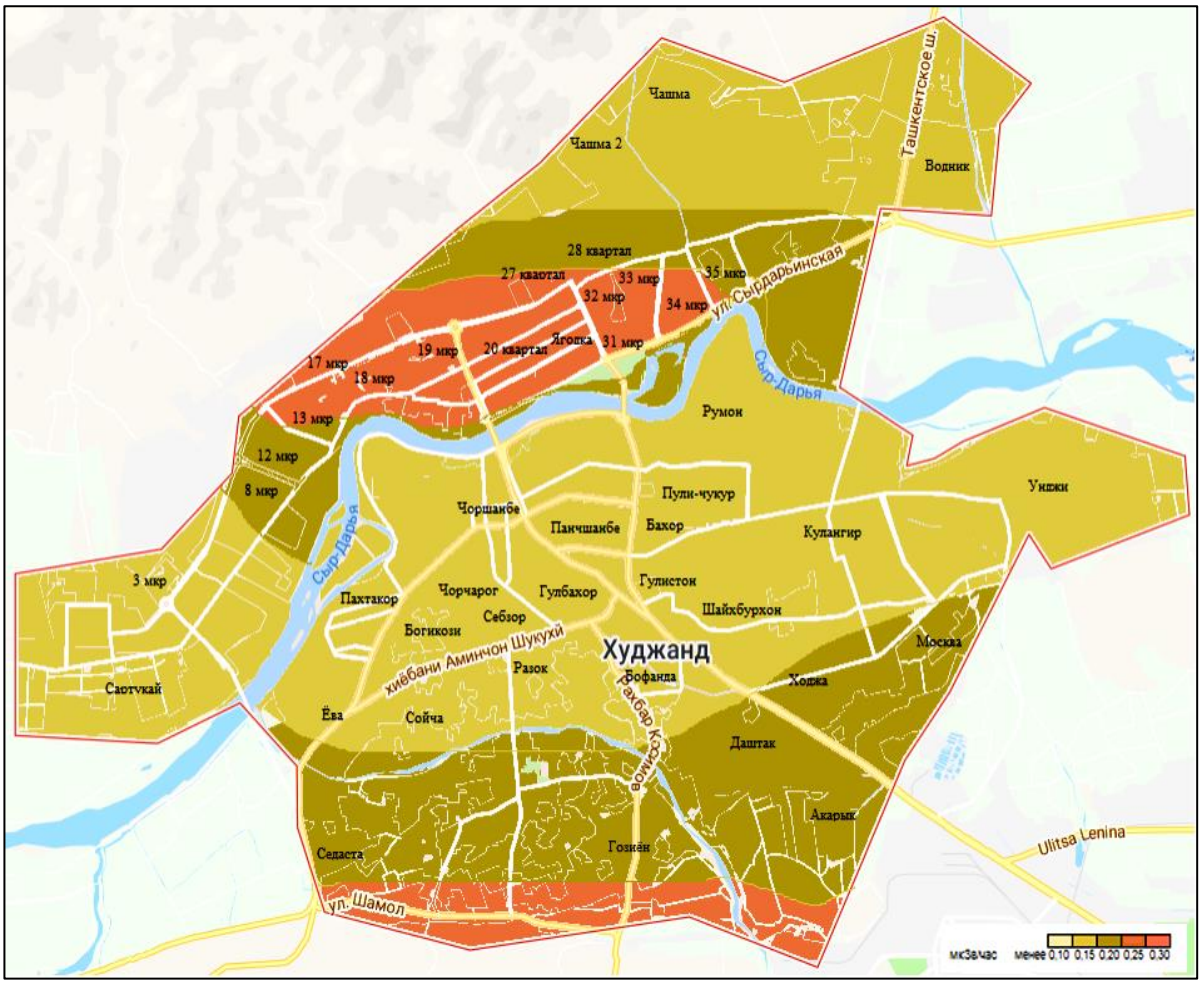

Рисунок 6.13. - Радиоэкологическая карта г. Худжанд

Радиоэкологическая ситуация Шахристанского района. Шахристанский район – расположен юго-западнее города Худжанд на расстоянии 102 километров. С севера соседствует с Истаравшанским районом, с востока - с районом Деваштич, с юга - с Айнинским районом Согдийской области, с запада находится государственная граница с Узбекистаном, с Зааминским туманом Джизакской области. Шахристанский район имеет территорию, равную 1140 км^2. В составе Шахристанского района находятся 2 сельских джамоата: Шахристанский джамоат и Янгикурганский джамоат.

Усреднённые значения МЭД изученной территории были равны 0,20-0,22 мкЗв/ч, что соответствует радиационному фону горных районов Таджикистана.

Также по результатам мониторинговых работ в горных кишлаках Шахристанского района определили микроколичества газа радона в помещениях различных конструкций: бетонной, кирпичной, глиняной, каменной. Усреднённые значения Rn для исследованных территорий составили 116,375 Бк/м^3.

Для Шахристанского района проведено определение общего радиационного фона, на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.14).

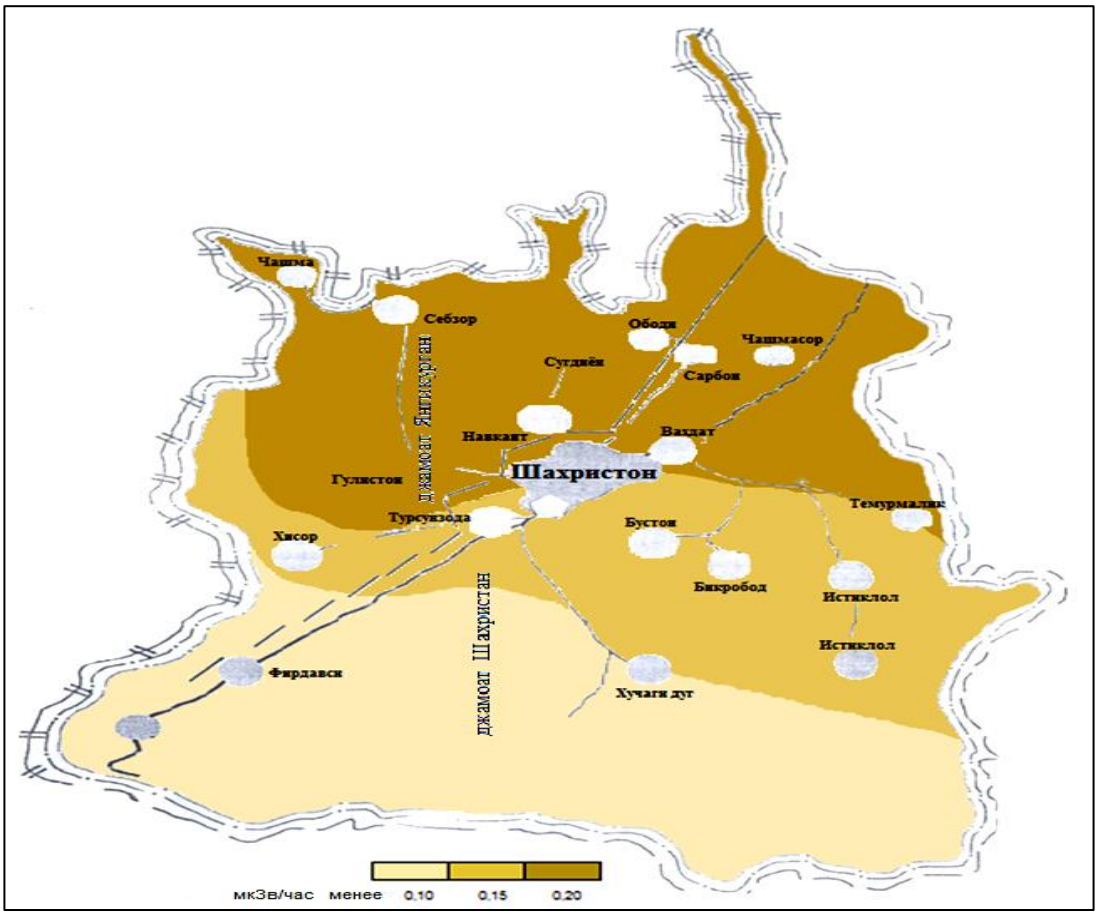

Рисунок 6.14. - Радиоэкологическая карта Шахристанского района

Радиоэкологическая ситуация Северного Таджикистана

Для территории северного Таджикистана проведено определение общего радиационного фона, на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.15). Оранжевым цветом отмечаются наиболее радиоактивные территории, на которых мощности экспозиционных доз (МЭД) определены как

0.35-0.40 мкЗв/час. Географически они совпадают с территориями радиоактивных хвостохранилищ и близлежащими к ним территориями, поэтому здесь отмечаются несколько более высокие радиоактивные загрязнения.

Над хвостохранилищами и вблизлежащих к ним территориям определены значения среднего радиационного фона, равные 0.9-1.2 мкЗв/час, эти значения являются повышенными по сравнению со средним естественным фоном территории в 6-8 раз. Так как практически все хвостохранилища находятся без внешних защитных покрытий, то их мощности экспозиционных доз сохраняются в 6.0 мкЗв/час и выше, к которым относится открытое хвостохранилище радиоактивных отходов "Фабрика бедных руд" города Истиклол, Табошарское и Адрасманское хвостохранилища - в точках, в которых из тел хранилищ вымываются радиоактивные материалы.

Также согласно анализу полученных результатов показан достаточно высокий радиационный фон на территории Кураминского хребта, а самый высокий радиационный фон составил 0.12 мкЗв/час, и был определён на левобережье реки Сырдарья, от плотины города Бекабад до города Канибадам.

При удалении от левобережья реки Сырдарья в сторону северных склонов Туркестанского хребта радиационный фон измерялся в величинах 0.2 мкЗв/час и выше. При исследованиях были выявлены несколько локальных точек, в которых радиациоынй фон был сильно повышенным, составляя 20 мкЗв/час и выше, это точки локализации радиоактивных отходов от бывших урановых производств – хвостохранилища, являющиеся урановым наследием Советского Союза в северном Таджикистане.

Соответственно, разработанная радиологическая карта территорий северного Таджикистана является информативной и является важной для народного хозяйства республики. Данная карта разработана впервые в Таджикистане и может использоваться различными министерствами, коммите-тами, агенствами и ведомствами, с целью планирования строительства, разработки программ и концепции по социо-экономическому развитию страны, при проведении оценки влияния на природную среду и другими заинтересованными сторонами.

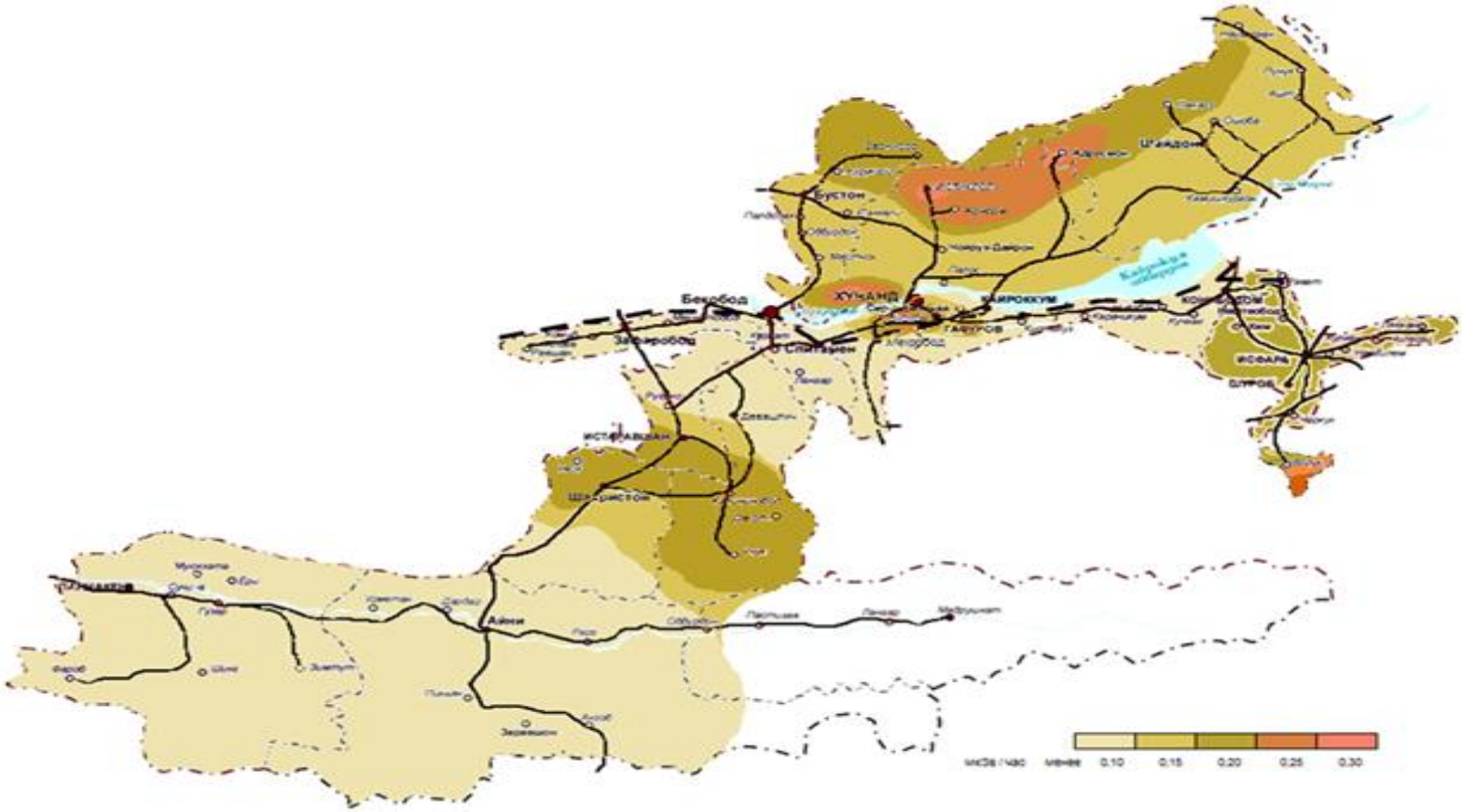

Рисунок 6.15. - Радиоэкологическая карта северного Таджикистана

6.2. Радиоэкологическая ситуация Центрального Таджикистана

Радиоэкологическая ситуация города Душанбе и его окрестностей

Территориальное расположение города Душанбе – густонаселённая Гиссарская долина. Географические координаты - 38° северной широты и 68° восточной долготы, высота над уровнем моря - 800 м. Климатические условия внутриконтинентальные субтропические, несколько смягчённые горным положением. Население Душанбе – примерно 1 миллион человек, что составляет от общей численности населения республики свыше 9%. Кроме того, город Душанбе является самым крупным промышленным центром Таджикистана, соответственно, разработка предварительной радиологический карты для города Душанбе представляется важной и актуальной задачей.

Как известно, радиационная экология, связана в первую очередь с деятельностью человека, в настоящее время радиоэкология представляется важным экологическим фактором. С момента обретения Таджикистаном независимости (1990 гг.) до 2005 года работы по радиационному мониторингу на территории города Душанбе не проводились. Однако Душанбе располагается на наветренной стороне южных и западных ветров со стороны Афганистана, поэтому здесь высокая вероятность внесения радионуклидов из территорий Центральноазиатского региона. Соответственно, с целью определения на территории города Душанбе общего радиационного фона нами в течение нескольких лет – во все времена года (зима, весна, лето и осень) при различных условиях погоды – температуры, скорости ветра и др. проводился радиационный мониторинг.

Определение общего радиационного фона указанной территории представлялось основной задачей. Определения проводились в шахматном порядке с использованием следующего оборудования: цифрового портативного прибора "LudlumModel 2241-2 SurverMetr" и дозиметров "ДКС-АТ1123", предназначенных для определения рентгеновского и гамма-излучения. Решение использовать несколько видов измерительной аппаратуры продиктовано основывается на том, что это оборудование имеет различные пороги обнаружения радиационного

фона, различные разрешения энергий и погрешности измерений. В целом мониторинг охватил площадь 124 км^2, на этой территории проживало 680 тысяч населения. Таким образом, на территории города Душанбе проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.11), на основании этих данных составлена радиоэкологическая карта (рисунок 6.16).

Таблица 6.11. - Результаты определения радиационного фона г. Душанбе

№	Название местности	МЭД, мкЗв/ч	№	Название местности	МЭД, мкЗв/ч
1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
1.	Цементный завод	0.16	18.	ТЭЦ	0.165
2.	Водонасосная	0.16	19.	Мясокомбинат	0.155
3.	Сельхозинститут	0.16	20.	Колхоз «Россия»	0.14
4.	Медицинский институт	0.17	21.	46 мкр.	0.14
5.	Педагогический институт	0.145	22.	61 мкр.	0.16
6.	Кохи «Вахдат»	0.14	23.	63 мкр.	0.155
7.	Рынок «Баракат»	0.143	24.	Саховат	0.17
8.	ЦУМ	0.145	25.	Автоцентр	0.16
9.	Парк Рудаки	0.139	26.	Корвон	0.156
10.	Площадь «Сомони»	0.147	27.	65 мкр.	0.16
11.	Дом печати	0.145	28.	Парк «Дусти»	0.16
12.	Национальный банк	0.14	29.	Гипроземгородок	0.14
13	Таджикский национальный университет	0.147	30.	Махалла «Дусти»	0.15
14.	Площадь Айни	0.141	31.	Политехникум	0.15
15.	Ж/д вокзал	0.155	32.	Кабельный комбинат	0.16
16.	УВД г.Душанбе	0.16	33.	Управление ГАИ	0.148
17.	Текстилькомбинат	0.177	34.	Фабрика «Ширин»	0.15

Продолжение таблицы 6.11

1	2	3	1	2	3
35.	103 мкр.	0.17	57.	Цирк	0.13
36.	104 мкр.	0.16	58.	Ипподром	0.126
37.	82 мкр.	0.15	59.	Зоопарк	0.13
38.	101 мкр.	0.155	60.	ТНУ островок	0.14
39.	102 мкр.	0.15	61.	Пос. Лучоб	0.13
40.	Махалла «Зарафшон»	0.15	62.	Круг ул. Карамова	0.138
41.	Махалла «Испечак»	0.16	63.	Ул. У.Хайям	0.153
42.	Посольство США (махалла)	0.14	64.	Кладбище «Саро-сиё»	0.148
43.	Махалла «Казокон»	0.14	65.	Рынок Мехргон	0.155
44.	112 мкр.	0.15	66.	Стадион «Спартак»	0.142
45.	92 мкр.	0.15	67.	Пивзавод	0.14
46.	91 мкр.	0.16	68.	Парк Победы	0.139
47.	Новый Парк (водный комплекс)	0.12	69.	Кирпичный завод	0.14
48.	Национальный меди-цинский центр	0.13	70.	Налоговый институт	0.175
49.	Автовокзал	0.17	71.	Министерсто обра-зования	0.171
50.	11 мкр.	0.15	72.	Поворот Аэропорта	0.17
51.	14 мкр.	0.14	73.	ДОК	0.166
52.	32 мкр.	0.15	74.	Институт химии	0.155
53.	33 мкр.	0.16	75.	9-й км	0.151
54.	Яккачинор	0.14	76.	Аэропорт	0.161
55.	Молодежный театр	0.12	77.	Старый Аэропорт	0.17
56.	Диагностический центр	0.13	78.	Мебельный комби-нат	0.16
			79.	КЧС и ГО РТ	0.146

Как видно из таблицы 6.11, в ней приводятся величины усреднённых мощностей экспозиционных доз для каждой точки замера, которые осуществлялись указанными выше приборами в различные времена года. Соответственно, по данным таблицы 6.11 можно заключить, что средняя МЭД всех обследованных точек составляет примерно ($0.15 \pm 1.27 \cdot 10^{-2}$ мкЗв/час).

Рисунок 6.16. - Предварительная радиологическая карта города Душанбе

Соответственно, радиационный мониторинг позволяет сделать вывод, что на территории г. Душанбе и в его окрестностях средние величины гамма-фона находятся в пределах $0.15 \pm 1.27 \cdot 10^{-2}$ мкЗв/час или 15.0 ± 1.27 мкР/ч.

Данные величина входят в пределы погрешностей измерений и не превышают допустимые нормативы для категории "Население". Кроме того, никаких возможных тенденций в уровнях гамма-излучения обнаружено не было. Таким образом, влияние радиации, как одного из абиотических факторов, на территорию города Душанбе и его окрестностей возможно принять, как "нормальное".

Радиоэкологическая ситуация территории пункта хранения радиоактивных отходов (пос. Файзабад)

На сегодняшний день одной из актуальных проблем радиоактивных отходов, которые образовались в результате деятельности предприятий Таджикистана, считается управление, сбор, их транспортировка и, в первую очередь, их хранение или захоронение в виде твёрдых или жидких отходов. Исходя из этого, на территории Файзабадского района в 44 километрах от города Душанбе был создан и функционирует Пункт хранения радиоактивных отходов (ПХРО).

Важной составляющей деятельности ПХРО является радиационный мониторинг на территории его расположения, который осуществляют специалисты Агентства по ХБРЯ безопасности НАНТ. В процессе мониторинговых работ исследуются пути миграции радионуклидов из ПХРО в окружающую среду – воды, почвы, так как при миграции радионуклидов основными носителями являются почва и вода. В ходе проведения радиационного мониторинга территории ПХРО радиационный фон был измерен в 15 точках на расстоянии 1 м от поверхности земли с помощью прибора ДКС АТ1117М (производство Атомтех, Беларусь). Кроме этого, из 8 точек были отобраны пробы почв и из 1 точки пробы воды. Анализ отобранных проб почв проводился с помощью полупроводникового гамма-спектрометра производства фирмы Canberra, США в лаборатории технических услуг Агентства по ХБРЯБ безопасности. Погрешность этих аппаратов составляла 10%. Результаты анализов приведены на таблицах 6.12 и 6.13.

Из таблицы 6.12 видно, что на месте воронки бочек биоотходов мощность эквивалентной дозы на расстоянии 0,5 м от стены увеличивается примерно в 60 раз относительно радиационного фона других мест. Но вокруг бочек радиоактивного загрязнения не обнаружено.

Таблица 6.12. - Результаты измерения радиационного фона территории ПХРО

Точка измерения	Мощность дозы, мкЗв/ч
Склад временного хранения	0,07-0,13
Дорога	0,09-0,10
Под резервуаром воды	0,093
Начало истока в зону	0,065
Вход в красную зону	0,083
ЦПУ	0,09-0,10
Вокруг здания №20	0,10-0,17
Вокруг захороненной почвы с цезием	0,08-0,09
Над захороненной почвой с цезием	0,09-0,11
Над бочками с биоотходами	0,085
Над воронкой бочки с биоотходами	5,45-6,03
Вокруг старого здания хранилища	0,085-0,17
Над землёй вокруг старого здания хранилища	0,085
Здание дезактивации	0,084
Площадка для контейнеров	0,085

В почвах вокруг хранилища также не обнаружено радиоактивного загрязнения, так как они содержат фоновые значения природных радионуклидов, а также малое количество цезия-137 от глобальных атмосферных выпадений. Результаты радионуклидного содержания почв обобщаются в виде таблицы 6.13.

Таблица 6.13. – Величины средних удельных активностей в пробах почв ПХРО, измеренные на гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором

Проба	Величины средней удельной активности (Бк/кг)					
	K-40	Cs-137	Pb-210	Ra-226	Th-232	U-238
Проба 1	486,07	10,01	-	64,36	33,54	-
Проба 2	4131,40	3,75	-	61,77	28,64	-
Проба 3	508,66	9,40	52,69	74,57	39,60	2,07
Проба 4	528,43	17,24	86,20	75,34	37,04	19,03
Проба 5	560,10	7,53	63,97	79,51	39,49	20,23
Проба 6	510,76	5,58	-	6,75	36,94	-
Проба 7	519,20	7,74	-	73,40	41,41	-
Проба 8	581,75	1,59	30,24	74,28	39,56	20,34

Радиоэкологическая ситуация территорий населённых пунктов Районов республиканского подчинения Таджикистана

Также нами были проведены измерения мощности экспозиционных доз (радиационного фона) на отдельных территориях, в населённых пунктах районов республиканского подчинения (РРП) Таджикистана, результаты которых показаны в таблице 6.14.

Соответственно, радиационный мониторинг позволяет сделать вывод, что на территории населённых пунктов Районов республиканского подчинения средние величины гамма-фона находятся в пределах 0.12-0.22 мкЗв/час и не превышают допустимые нормативы для категории "Население".

Таблица 6.14. - Мощность экспозиционных доз на территории населённых пунктов Районов республиканского подчинения Таджикистана

Единицы административно-территориального деления	Мощность экспозиционной дозы, мкЗв/ч	Площадь, тыс. км^2	Население (01.09.2018), человек
Город Душанбе	**0,15-0,18**		**1 130 100**
город Турсунзаде	0,13-0,16		53 100

Продолжение таблицы 6.14

город Вахдат	0,12-0,15		42 500
Шахринавский район	0,12-0,14	1,0	117 500
Варзобский район	0,14-0,18	1,7	78 700
Файзабадский район	0,14-0,16	0,9	98 700
Вахдатский район	0,12-0,15	3,7	330 100
Турсунзадевский район	0,13-0,16	1,2	286 200
Гиссарский район	0,12-0,15	1,0	293 900
Таджикабадский район	0,15-0,19	0,7	43 900
Лахшский район	0,16-0,20	4,6	63 800
Сангворский район	0,16-0,22	6,0	22 400
Нурабадский район	0,14-0,18	0,9	78 300
Рудакинский район	0,12-0,15	1,8	456 300
Раштский район	0,14-0,16	4,6	122 300
Рогунский район	0,13-0,17	0,5	38 700
В общем:		**28,6**	**3 256 500**

6.3. Радиоэкологическая ситуация Южного Таджикистана

Для территорий районов Хатлонской области проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.15). Соответственно, радиационный мониторинг этих территорий позволяет сделать вывод, что на территории населённых пунктов Хатлонской области средние величины гамма-фона находятся в пределах 0.05-0.11 мкЗв/час и не превышают допустимые нормативы для категории "Население".

Таблица 6.15. - Мощности экспозиционных доз на территории населённых пунктов Хатлонской области РТ

Единицы административно-территориального деления	Мощность экспозиционной дозы, мкЗв/ч	Площадь, тыс. км^2	Население (01.09.2018), человек
город Курган-Тюбе	0,08-0,10		208 000
город Левакант	0,07-0,11		16 900
город Куляб	0,09-0,11		104 400
город Нурек	0,11-0,12		30 400

Продолжение таблицы 6.15

Левакандский район	0,07-0,08	0,1	46 400
район Абдурахмана Джами	0,08-0,12	0,6	166 900
Пянджский район	0,05-0,07	0,9	113 800
Бальджуванский район	0,10-0,13	1,3	29 000
Нурекский район	0,11-0,14	0,4	27 100
Кушониянский район	0,08-0,11	0,6	234 900
Носири-Хусравский район	0,08-0,11	0,8	36 900
Вахшский район	0,10-0,14	1,0	190 500
Муминабадский район	0,11-0,14	0,9	90 800
Восейский район	0,07-0,08	0,8	207 700
район Мир Саид Алии Хамадони	0,05-0,08	0,5	143 900
Дангаринский район	0,06-0,09	2,0	150 300
Кумсангирский район	0,08-0,10	1,0	132 700
район Джалолиддина Руми	0,09-0,11	0,9	191 600
Кулябский район	0,08-0,10	0,3	89 400
Джиликульский район	0,08-0,11	1,2	93 900
Кабадианский район	0,11-0,12	1,9	178 400
Яванский район	0,09-0,12	1,0	222 200
Темурмаликский район	0,07-0,09	1,0	67 700
Шурабадский район	0,16-0,19	2,3	53 400
Фархорский район	0,05-0,07	1,2	163 700
Шаартузский район	0,11-0,13	1,5	123 700
Ховалингский район	0,07-0,11	1,7	56 300
Хуросонский район	0,05-0,08	0,9	110 600
В общем:		**24,8**	**3 198 500**

6.4. Радиоэкологическая ситуация Восточного Таджикистана

Для территорий населённых пунктов Горно-Бадахшанской автономной области республики проведено определение общего радиационного фона (таблица 6.16). Соответственно, радиационный мониторинг этих территорий позволяет сделать вывод, что здесь средние величины гамма-фона находятся в пределах 0.14-0.25 мкЗв/час и не превышают допустимые нормативы для категории "Население".

Таблица 6.16. - Мощности экспозиционных доз на территории населённых пунктов Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан

Название единицы административно-территориального деления	Население (01.09.2018), тыс. чел.	Площадь, тыс. км^2	Мощность экспозиционной дозы, мкЗв/ч
Мургабский район	15,3	38,5	0,20-0,25
Дарвазский район	23,3	2,8	0,16-0,22
Рошткалинский район	26,8	4,3	0,16-0,21
Рушанский район	25,3	5,9	0,20-0,24
город Хорог	29,9		0,14-0,18
Ишкашимский район	32,2	3,7	0,16-0,20
Ванчский район	33,6	4,4	0,16-0,22
Шугнанский район	37,1	4,6	0,15-0,19
Всего	**223,6**	**64,2**	

6.5. Выводы по шестой главе

Шестая глава диссертации посвящена радиоэкологическому мониторингу регионов страны. На основе проведённого мониторинга для различных территорий республики проводилась разработка радиоэкологических карт, а также объективно оценена радиоэкологическая обстановка районов Таджикистана. По результатам данной оценки показано, что МЭД всей территории страны практически соответствуют нормам радиационной безопасности НРБ-06.

Учитывая загрязнённость территории северного Таджикистана вследствие воздействия уранодобывающих производств в советский период, подробно изучена радиационная ситуация по районам Согдийской области.

Как показывает анализ, МЭД всей территории страны практически соответствует нормам НРБ-06. Небольшое повышение радиационного фона наблюдается для горных районов области (Айнинский район, Горно-Матчинский район).

В шестой главе диссертационного исследования радиационный мониторинг и оценка радиологической ситуации также проводились для территорий центрального Таджикистана (включая столицу страны – г. Душанбе и его окрестности), южного Таджикистана (на примере Хатлонской области) и восточного Таджикистана, где были исследованы территории Горно-Бадахшанской автономной области республики.

По результатам обследований различных территорий Таджикистана разработана радиологическая карта населённых пунктов Республики Таджикистан (рис. 6.17).

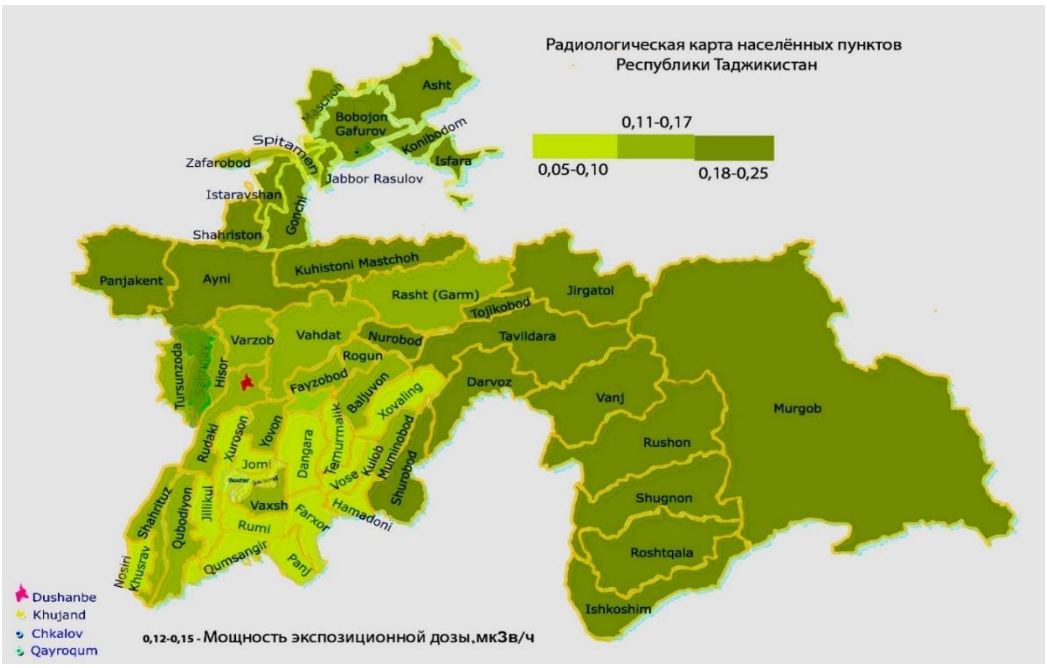

Рисунок 6.17. - Радиологическая карта населённых пунктов Республики Таджикистан

ГЛАВА 7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Данное исследование является результатом научных исследований по следующим научным тематикам Агентства по ХБРЯ безопасности:

- "Физико-химические основы выделения урановых концентратов из руд и отходов" (2020-2024 годы, ГР № 0120 TJ 01030),

- "Физико-химические основы извлечения урана из руд и урансодержащих шахтных и технических вод" (2015-2019 годы, ГР № 00470 TJ 0115),

- "Изыскание технологических основ переработки урансодержащих руд и отходов урановой промышленности" (2010-2014 годы, ГР № 102 ТД 843),

- "Радиоэкологические исследования на объектах, содержащих радионуклиды" (2020-2024 годы, ГР №0120 TJ 01031),

- "Физико-химические основы радиационной экологии, разработка радиоэкологических карт регионов и радиационный мониторинг биосферы Таджикистана" (2015-2019 годы, ГР № 00471 TJ 0115).

В работе анализированы литературные источники по переработке уранасодержащих материалов и обсуждены радиоэкологические ситуации некоторых стран СНГ. В литературном обзоре приведены источники по способам переработки урановых руд, в особенности переработки урановых месторождения Таджикистана. Особое место в обзоре занимает получение жёлтого кека (U_3O_8) из суспесчаных почв.

В главе первой также анализированы вопросы, касающиеся переработки отходов урановых производств. Показано, что из указанных отходов возможно получение уранового концентрата. Представляют интерес литературные источники, рассматривающие очистку урансодержащих вод с использованием сорбентов из местных сырьевых материалов. В литературе обосновано извлечение урансодержащих соединений из рапы озера Сасык-куль различными методами.

Большое значение имеет раздел обзора «Радиационно-экологическая ситуация в регионе Центральной Азии». В данном разделе приведены радиоэкологическая ситуация урановых хвостохранилищ, трансграничные проблемы, связанные с проблемами бывших урановых объектов, радиационная ситуация в странах

Центральной Азии, обсуждаются проблемы радона и экологии, мониторинг изотопа цезия-137 в различных регионах СНГ.

Во второй главе диссертации рассматриваются проблемы, посвящённые физико-химическим основам извлечения ураносодержащих соединений из урансодержащих материалов. В указанной главе приведены методология и методика эксперимента при переработке урансодержащих материалов, определение химико-минералогических компонентов ураносодержащих материалов, технологические характеристики выделения соединений урана из ураносодержащей руды месторождения "Танзим", показано, что для разложения руды данного месторождения более эффективным и перспективным является карбонатное выщелачивание. Рассмотрен сернокислотным способ переработки ураносодержащей руды месторождения "Центральный Таджикистан", обсуждаются вопросы вторичной переработки отходов урановых производств, изучена термодинамика и даны термодинамические оценки процессам разложения ураносодержащих отходов урановых производств, переработка отходов урановой промышленности сернокислотным методом.

Вторая глава диссертации указывает на то, что из урансодержащих материалов легко можно получить концентраты урана.

Во второй главе диссертации подробно исследованы вопросы, касающиеся вторичной переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств, извлечения из руд месторождений республики ураносодержащих соединений, включая U_3O_8. Проведённые исследования и паспортизация всех хвостохранилищ на севере республики позволили установить хвостохранилища северного Таджикистана, на которых более целесообразна вторичная переработка ураносодержащих отходов – более перспективным в этом отношении является хвостохранилище "Карта 1-9", расположенное вблизи города Бустон.

Рентабельность вторичной переработки ураносодержащих отходов основывается на множестве факторов, среди которых выделены основные: стоимость урана на международном рынке, возможности транспортировки, наличие запа-

сов серной кислоты и другие. Как показано в первой главе, для переработки ураносодержащих отходов с извлечением из них ураносодержащих соединений разработаны множество технологий и способов. Но в основном эти технологические решения экономически очень затратные. Исходя из этого, в нашем исследовании была поставлена цель получить ураносодержащие соединения, в частности, U_3O_8, предварительно усовершенствовав имеющиеся технологии. Нами показана возможность получения урана из отходов города Бустон.

Вторичная переработка ураносодержащих отходов бывших урановых производств показана на примере переработки отходов хвостохранилища "Карта 1-9". Определены оптимальные расходы H_2SO_4, необходимые для выщелачивания хвостовых материалов, составившие 180 кг на одну тонну руды. Проведено определение кинетических и энергетических характеристик выщелачивания хвостового материала хвостохранилища "Карта 1-9". Величина энергии активации выщелачивания, полученная как экспериментальным, так и расчётным способами, оказалась равной 6.0 кДж/моль.

Соответственно, урановые руды страны, как и ураносодержащие отходы бывших урановых производств со схожими химико-миералогическими характеристиками могут перерабатываться по общей для руд и отходов технологической схеме (рисунок 7.1).

Согласно исследованиям, касающихся физико-химических основ переработки ураносодержащих руд различных месторождений республики разложением кислотами или щелочами, показана перспективность их переработки с привлечением местных сырьевых материалов с получением ураносодержащих соединений, включая U_3O_8.

Сравнительный анализ извлечения урана из руды различных месторождений республики (в сравнении участвовали руды из месторождений - "Танзим" при их разложении двумя способами – сернокислотным и щелочным, "Центральный Таджикистан" и "Северный Таджикистан-2") показал перспектив-

ность переработки руды месторождения "Северный Таджикистан-2" с максимальными выходами урансодержащих соединений в виде U_3O_8 - >90% (рисунок 7.2).

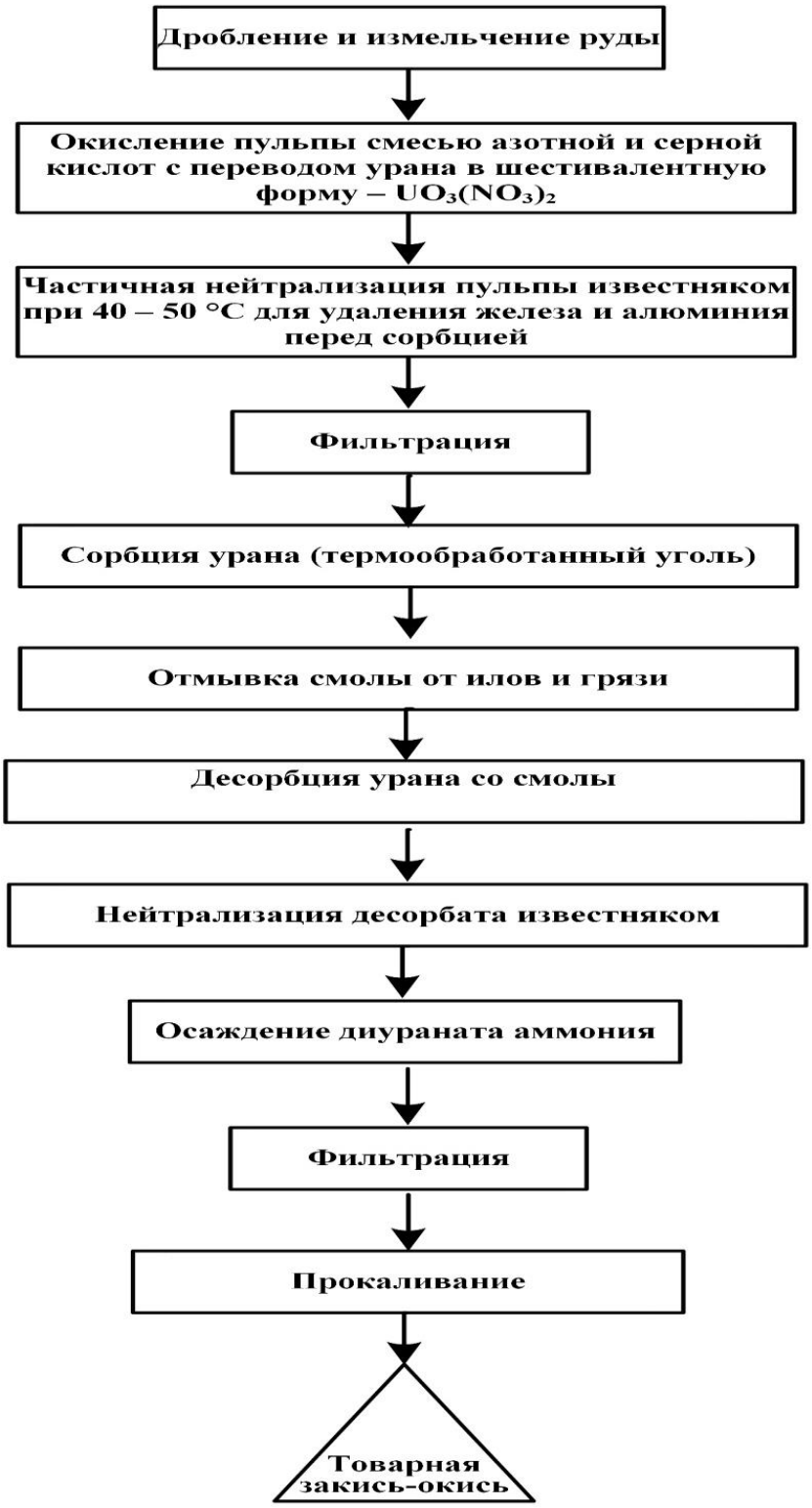

Рисунок 7.1. – Обобщённая схема переработки урановых руд месторождений Таджикистана и урансодержащих отходов с извлечением урана сернокислотным способом

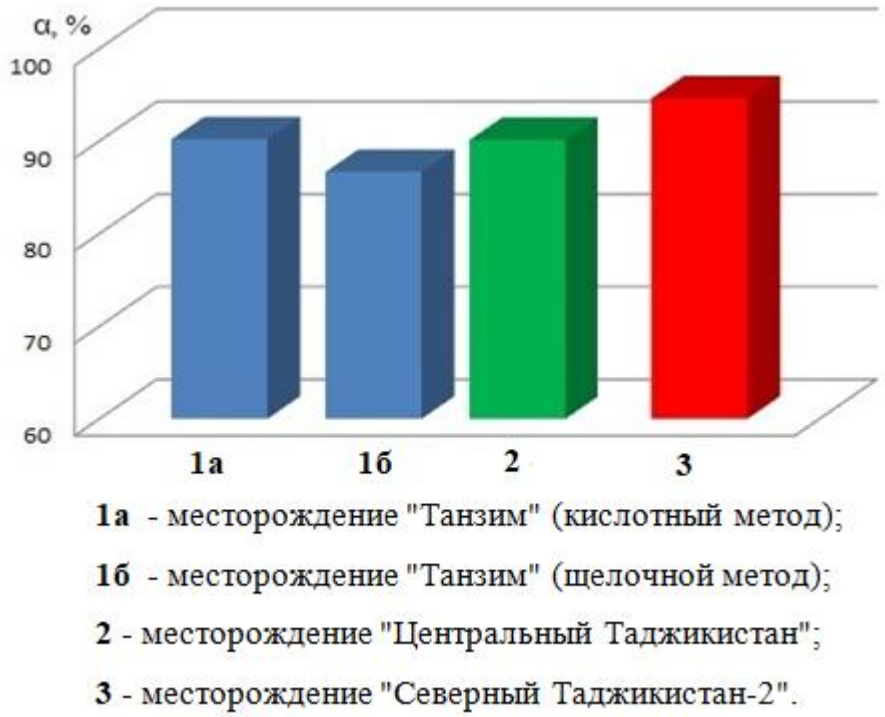

Рисунок 7.2. - Сравнительный анализ извлечения U_3O_8 из руды различных месторождений республики

В главе третьей настоящей работы обобщены физико-химические основы очистки вод от радионуклидов. Разработан способ получения коагулянта из цеолитовой руды, который прошёл лабораторные испытания на качество очистки воды, далее из очищенной таким образом воды различными сорбентами удалялись радионуклиды.

Жёсткость воды с содержанием различных радионуклидов снижали с использованием в качестве сорбента активированного бентонита.

Проведён мониторинг питьевой воды рек Зеравшан и Сырдарья. Проведён радиационный контроль питьевых вод методом измерения суммарной альфа- и бета-активности.

Представлен ряд эффективных сорбентов для очистки вод от радионуклидов.

В главе четвёртой диссертации дана оценка радиоэкологической ситуации на территориях Таджикистана. Особое внимание уделено ситуации вокруг хвостохранилищ и мониторингу урановых отходов. Определено содержание радионуклидов в почвах, воздухе и воде территорий вблизи хвостохранилищ.

Разработан способ радиоэкологического мониторинга урановых хвостохранилищ.

В пятой главе диссертации обсуждены радоновый мониторинг и содержание изотопа цезия-137 в почвах Таджикистана. Дан общий анализ средств проведения радонового мониторинга, определены факторы, определяющие накопление радона в жилищах, а также мониторинг по радону на территориях вблизи хвостохранилищ. Рассматриваются вопросы содержания ^{137}Cs в различных почвенных покровах территорий республики. Для различных районов Таджикистана приводятся сравнительные оценки распределения ^{137}Cs.

В шестой главе диссертации обсуждены результаты проведённых радиоэкологических мониторингов регионов страны. Для различных районов и территорий Таджикистана разработаны радиоэкологические карты, и оценены радиоэкологические ситуации для этих территорий. Для каждого из изученных регионов подробно исследована их радиоэкологическая ситуация и показано, что МЭД всей территории страны практически соответствует нормам радиационной безопасности НРБ-06. Небольшое увеличение радиационного фона наблюдается для горных районов.

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты диссертации:

1. Используя методы химического, ДТА, РФА анализов, исследованы химико-минералогические составы урансодержащих руд из месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан", ураносодержащих отходов хвостохранилища города Бустон [48-А, 49-А, 50-А, 62-А].

2. Показано, что переработка ураносодержащих отходов хвостохранилища города Бустон является перспективной. Для извлечения ураносодержащих соединений из указанных отходов определены оптимальные характеристики, приводится сравнительная оценка извлечения U_3O_8 из различных отходов урановых производств. Для ураносодержащей руды месторождения "Танзим" исследовано её разложение серной кислотой и щёлочью. Для указанных процессов определены оптимальные характеристики разложения [13-А, 48-А, 58-А, 63-А, 65-А, 66-А, 75-А].

3. Разработаны обобщённые технологические схемы для переработки ураносодержащих отходов бывших урановых производств города Бустон и урансодержащей руды месторождений "Танзим" и "Центральный Таджикистан", основными стадиями переработки которых являются: дробление исходной руды, разложение пульпы, фильтрация, сорбция, десорбция, осаждение и получение запланированного продукта - U_3O_8 [9-А, 20-А, 22-А, 23-А, 24-А, 25-А, 53-А, 61-А, 62-А, 63-А, 64-А, 65-А, 67-А, 68-А, 69-А].

4. Изучены физико-химические основы очистки вод от радионуклидов. Изучены зависимости степеней умягчения вод р. Сырдарья активированными бентонитами с последующим использованием местных сорбентов для очистки воды от радионуклидов [12-А, 15-А, 20-А, 26-А, 28-А, 29-А, 43-А, 44-А, 46-А, 54-А, 55-А, 56-А, 59-А, 71-А, 72-А, 73-А, 74-А, 76-А].

5. Найдены оптимальные условия получения смешанных железо-алюминиевых коагулянтов из местных цеолитов. Показана коагулирующая способность смешанных коагулянтов, полученных из цеолитов, с последующей очисткой урансодержащих вод местными сорбентами [22-А, 54-А, 55-А, 59-А].

6. Показаны результаты изучения качества воды реки Зеравшан, приведены её физические параметры, результаты химических анализов, радиационный контроль питьевых вод методом измерения суммарной альфа- и бета- активности [42-А].

7. Разработана технологическая схема очистки урансодержащих вод сорбентами на основе скорлупы урюка и микрогеля. Показана эффективность очистки урансодержащих вод сорбентами из местных сырьевых материалов [44-А, 69-А, 70-А].

8. Показаны истоки формирования радиоэкологической ситуации в Таджикистане после формирования на некоторых территориях ураносодержащих хвостохранилищ. Проведены оценка общего радиационного фона бассейна р. Сырдарья и радиоэкологический мониторинг указанных территорий [2-А, 5-А, 8-А, 10-А, 14-А, 16-А, 30-А, 33-А, 34-А, 37-А, 38-А, 49-А, 51-А, 52-А, 56-А, 57-А, 58-А, 60-А, 77-А, 78-А, 79-А].

9. Радоновый мониторинг проведён для хвостохранилищ, близлежащих к ним территорий, а также жилых зданий и помещений различных территорий Таджикистана, с определением факторов, оказывающих влияние на выделение радиоактивного газа радона с поверхностей хвостохранилищ, пути миграции и поступление его в жилые помещения. Показаны пути уменьшения действия продуктов распада радона на организм человека [14-А, 18-А, 19-А, 21-А, 31-А, 36-А, 40-А, 45-А, 47-А].

10. Проведены мониторинг распространения техногенного изотопа цезия-137 в почвенном покрове на территории Таджикистана, а также сравнительная оценка распределения радиоактивного изотопа ^{137}Cs в различных типах почв на территории Таджикистана [6-А, 7-А, 11-А, 32-А, 39-А].

11. Проведены оценки радиоэкологических ситуаций по Таджикистану, на их основе разработана радиоэкологическая карты страны, которая свидетельствует, что повышение радиационного фона наблюдается только в некоторых горных районах. [1-А, 8-А, 17-А, 27-А, 31-А, 35-А, 41-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанную технологию переработки урансодержащих материалов Таджикистана рекомендовано использовать для получения урановых концентратов.

2. Для сорбции урана из урансодержащих растворов рекомендуются местные растительные сорбенты.

3. Показано, что сырьевая база для нужд уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности Таджикистана является достаточно обширной, предложен гидрометаллургический метод переработки сырья, так как подземное и кучное выщелачивание из-за горной местности трудно применяется.

4. Результаты работы по радоновому мониторингу будут переданы образовательным учреждениям соответствующих районов страны.

5. Результаты радиоэкологических измерений рекомендованы для хукуматов соответствующих районов страны при соответствующих работах.

6. 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

Список использованных источников:

1. Тураев, Н. С. Химия и технология урана / Н. С. Тураев, И. И. Жерин. – М.: Руды и металлы, 2006. - 396 с.
2. Шевченко, В. Б. Технология урана / В. Б. Шевченко, Б. Н. Судариков. – М.: Госатомиздат, 1961. - 330 с.
3. Судариков, Б. Н. Процессы и аппараты урановых производств / Б. Н. Судариков, Э. Г. Раков. – М.: Машиностроение, 1969. - 381 с.
4. Громов, Б. В. Введение в химическую технологию урана / Б. В. Громов. – М.: Атомиздат, 1978. - 336 с.
5. Сивухин, Д. В. Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. – М., 2002. - 782 с.
6. Нестеров, Ю. В. Сырьевая база атомной промышленности. События, люди, достижения / Ю. В. Нестеров, Н. П. Петрухин / Под общей редакцией Н. П. Петрухина. – М.: ООО «ПАИС-Т», 2015. - С. 72-118.
7. Разыков, З. А. Урановые месторождения Таджикистана / З. А. Разыков, Э. Г. Гусаков, А. А. Марущенко. – Худжанд: ООО «Хуросон», 2001. – 212 с.
8. Ветров, В. И. Создание предприятий по добыче и переработке урановых руд: В кн.: Создание первой советской атомной бомбы / В. И. Ветров, В. В. Кротков, В. В. Куниченко. – М.: Энергоиздат, 1995. - С. 170-198.
9. Круглов, А. К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. – 2-е изд., испр. / А. К. Круглов. – М.: ЦНИИатоминформ, 1995. - 380 с.
10. Пионеры секретного атома (50 лет первенцу атомной промышленности СССР по добыче и переработке урана в Таджикистане, 1945-1995 гг.) / Ю. Фильцев, В. Ларин, З. Разыков [и др.]. – Чкаловск: ПО «Востокредмет», 1995. - 69 с.
11. Машковцев, Г. А. Геолого-промышленные типы урановых месторождений стран СНГ / Г. А. Машковцев. – М.: ВИМС, 2008. - 72 с.

12. Шумилкин, С. В. Научно-методическое руководство по гидрометаллургической оценке урановых руд при разведке месторождений / С. В. Шумилкин. – М.: ВИМС, 1979. - 98 с.

13. Мирсаидов, И. У. Физико-химические основы переработки урановых руд и отходов / И. У. Мирсаидов / Под ред. проф., д.т.н. Х. М.Назарова. – Душанбе: Дониш, 2014. - 106 с.

14. Мирсаидов, И. У. Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых ресурсов Таджикистана: дис. … д-ра техн. наук / И. У. Мирсаидов. – Душанбе, 2016. - 272 с.

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

16. Сернокислотное выщелачивание урана из руд месторождения «Центральный Таджикистан» / С. К. Ходжиев, Х. М. Назаров, М. М. Хочиён [и др.] Известия АН Республики Таджикистан. - 2018. - № 4 (169). - С. 71-75.

17. 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.

18. Бобоеров, М. Д. Физико-химические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана: дис. … канд. техн. наук / М. Д. Бобоёров. – Душанбе, 2022. - 117 с.

19. Баротов, Б. Б. Физико-химические и технологические основы получения урановых концентратов из местных сырьевых материалов Таджикистана: дис. … канд. техн. наук / Б. Б. Баротов. – Душанбе, 2011. - 96 с.

20. 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.

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

22. 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.

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

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

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

26. 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 АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2020. - № 1 (178). – С. 84-88.

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

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

29. 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.

30. 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», посвященная 60-летию химического факультета и памяти д.х.н. Нуманова Ишанкула Усмановича: Сборник статей. - Душанбе, 2020. - С. 91-94.

31. Бобоёров, М. Д. Физико-химические основы переработки урансодержащих руд Таджикистана сернокислотным методом: автореф. дис. … канд. техн. наук / М. Д. Бобоёров. – Душанбе, 2022. - 22 с.

32. Рахматов, Н. Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из супесчаных почв и шахтных вод: автореф. дис. … канд. хим. наук / Н. Н. Рахматов. – Душанбе, 2016. - 22 с.

33. 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.

34. Сорбционные свойства скорлупы ореха / Н. Н. Рахматов, Х. М. Назаров, А. В. Аксёнов [и др.] // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов». – Иркутск, 2015. - С. 155-159.

35. Рахматов, Н. Н. Кинетика процесса выщелачивания супесчаных урансодержащих почв / Н. Н.Рахматов, И. У.Мирсаидов, Х. М.Назаров // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. - С. 80-83.

36. Извлечение урана из сернокислотных растворов супесчаных почв с промышленным сорбентом АМ(п) / Н. Н. Рахматов, И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. - С. 83-84.

37. Рахматов, Н. Н. Физико-химическое состояние урана в супесчаных почвах / Н. Н. Рахматов, И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров // Материалы XII Нумановских чтений. – Душанбе, 2015. - С. 84-86.

38. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов. - Душанбе: Дониш, 2011. - 125 с.

39. 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.

40. Хакимов, Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов. - Душанбе: Мавлави, 2012. - 120 с.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

44. 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.

45. Мирсаидов, У. возможности добычи урана из хвостохранилищ и шахтных вод месторождения Киик-Тал в Таджикистане / У. Мирсаидов, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. - Т. 48.- № 1. - С. 44-46.

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

47. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 108. Способ переработки отходов урановой промышленности / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов. 04.05.2007.

48. 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.

49. Мирсаидов, И. У. Экологические риск при переработке отходов урановой промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // VI Международная конференция «Ядерная и радиационная физика». - Алматы, Казахстан, 2007. - С. 528-529.

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

51. Мирсаидов, И. У. Экологические проблемы урановой переработки отходов промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Сахаровские чтения: «Экологические проблемы 21 века». - Минск, Белоруссия, 2007. - С.168.

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

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

54. Экологический мониторинг хвостохранилищ Таджикистана и выделение уранового концентрата из отходов урановой промышленности / У. М. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, С. М. Бахронов, С. В. Муминов // XVII Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы 21 века». - Минск, 2017. - Ч. 2. – С. 112-115.

55. Мирсаидов, У. М. Отходы уранодобывающего производства в Таджикистане / У. М. Мирсаидов // Региональный симпозиум «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, 2012. – С. 3-5.

56. Выщелачивание хвостов из «Фабрики бедных руд» / Н. Н. Рахматов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров, А. М. Баротов // Региональный симпозиум «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, 2012. – С. 73-76.

57. Хакимов, Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов // Региональный симпозиум «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, 2012. – С. 79-81.

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

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

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

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

62. Мирсаидов, И. У. О возможностях извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. - Т. 48. - № 9-10. - С. 100-104.

63. 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.

64. 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.

65. 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.

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

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

68. 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.

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

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

71. Извлечение урана из природных урансодержащих вод сложного состава / З. А. Разыков, Г. К. Бакулина [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2002. - Т. 45. - № 1-2. – С. 60-64.

72. 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. - № 9. - С. 189-193.

73. Сборник Нормативных правовых актов по радиоактивным отходам. – Душанбе, 2014. - 116 с.

74. Сборник законов в области ядерной и радиационной безопасоти. – Душанбе, 2017. - 258 с.

75. Научная и организационная деятельность Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ за 2006-2016 годы. – Душанбе: Дониш, 2016. - 102 с.

76. Мирсаидзода, И. Формирование и развитие системы радиационной безопасности в Таджикистане / И. Мирсаидзода // Международная научно-практическая конференция “Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы”: Сборник материалов. – Гулистан, 2023. - С. 11-14.

77. Буклет Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ.

78. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности: Монография / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов. – Душанбе: Дониш, 2011. - 125 с.

79. 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.

80. Хакимов, Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод / Н. Хакимов, Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов. – Душанбе: Мавлави, 2012. – 120 с.

81. Бондаренко, А. П. Основы радиационной экологии / А. П. Бондаренко. – Павлодар, 2007. - 100 с.

82. Пивоваров, Ю. П. Радиационная экология / Ю. П. Пивоваров, В. П. Михалев. – М.: Академия, 2004. - 437 с.

83. Радиация: Дозы, эффект, риск. – М.: Мир, 1988. - 79 с.

84. Экология и безопасность жизнедеятельности. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. - 447 с.

85. Бодровский, В. А. Общая физика / В. А. Бодровский, Э. В. Бурсиан. – М.: Владос, 2001. - 295 с.

86. Войткевич, Г. В. Радиоактивность в истории Земли / Г. В. Войткевич. – М.: Наука, 1970. - 168 с.

87. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М.: Медицина, 1999. - 364 с.

88. Кузин, А. М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли / А. М. Кузин. – М.: Наука, 1991. - 376 с.

89. Максимов, М. Т. Радиоактивные загрязнения и их измерение / М. Т. Максимов, Г. О. Оджагов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 304 с.

90. Моисеев, А. А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А. А. Моисеев, В. И. Иванов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. - 252 с.

91. Экология / Н. И. Николайкин [и др.]. – М.: Дрофа, 2003. - 624 с.

92. Платонов, А. П. Основы общей и инженерной экологии / А. П. Платонов, В. А. Платонов. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 350 с.

93. Сивинцев, Ю. В. Насколько опасно облучение / Ю. В. Сивинцев. – М.: ИздАТ, 1991. - 89 с.

94. Сивухин, Д. В. Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. – М., 2002. - 782 с.

95. Черных, Н. А. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере / Н. А. Черных. – М.: РУДН, 2003. - 432 с.

96. Кудряшов, Ю. Б. Основы радиационной биофизики / Ю. Б. Кудряшов, Б. С. Беренфельд. – М.: Издательство Московского университета, 1982. – 304 с.

97. Радиационная экология: Учебно-методическое пособие по радиационной экологии / Е. В. Надежкина, О. В. Молодова, В. К. Оделевский [и др.]. – М.: МАИ, 2011. - 204 с.

98. Носовский, А. В. Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на атомных электрических станциях: Учебное пособие / Под ред. А. В. Носовского. – Славутич: «Упратомиздат», 1998. - 304 с.

99. Ильин, Л. А. Радиационная гигиена: Учебник для вузов / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М.: Изд. группа ГЭОТАР-МЕДИА, 2010. - 384 с.

100. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. - М.: Эергоатомиздат, 1991. – 352 с.

101. Основные показатели медицинского обслуживания населения и работы учреждений здравоохранения области (1993-1994 гг.): Информационный сборник. – Челябинск, 1995. - 66 с.

102. Толстиков, В. С. Социально-экологические последствия развития атомной промышленности на Урале (1945-1998) / В. С. Толстиков. – Челябинск: ЧГИИК, 1998. - 300 с.

103. Чуканов, В. Н. Решение проблем радиоактивно загрязнённых территории Среднего Урала / Радиация, экология, здоровье // Сборник научных трудов под общей ред. проф. В.Н. Чуканова. - Ч. 1. – Екатеринбург, 1994. - С. 3-4.

104. Ярмоненко, С. П. Противолучевая защита организма / С. П. Ярмоленко. – М., 1969. - 264 с.

105. Josephson, P. Red Atom: Russian's Nuclear Power Program from Stalin to Today / P. Josephson. – N.Y.: W.H. Freeman and Company, 1999. - 165 p.

106. Радиоактивное загрязнение реки Течи и качество жизни населения прибрежных районов / Под ред. В. Н. Козлова. – Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 2007. - 166 с.

107. Раскрывая первые страницы: к истории города Снежинска (Челябинска-70) / Автор-составитель Б. Емельянов. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 1997. - 343 с.

108. Романов, Г. Н. Радиационная авария на ПО «Маяк»: практика контрмер, их эффективность и извлечённые уроки / Г.Н. Романов // Вопросы радиационной безопасности. - 1997. - № 3. - С. 3-17.

109. Романов, С. А. Медико-биологические аспекты радиационной безопасности персонала ПО «Маяк» / С. А. Романов, Н. А. Кошурникова, В. И. Тельнов // Охрана природы Южного Урала: Областной экологический альманах. – Челябинск, 2008. – С. 68-73.

110. Стукалов, П. М. Промышленный водоём ПО «Маяк» Старое Болото. Влияние водоёма на радиоактивное загрязнение почвы и приземного слоя атмосферы: обзор современных исследований / П. М. Стукалов // Вопросы радиационной безопасности. - 2001. - № 2. - С. 20-31.

111. Стукалов, П. М. Промышленный водоём ПО «Маяк» Старое Болото. Динамика радиоактивного загрязнения водоёма в 1949-2002 гг. / П. М. Стукалов // Вопросы радиационной безопасности. - 2004. - № 4. - С. 19-34.

112. Толстиков, В. С. Кыштымская ядерная катастрофа 1957 года: исторический опыт ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий / В. С. Толстиков, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - № 06 (60). - Ч. 1 - Июнь. - С. 104-107.

113. Толстиков, В. С. Ликвидация последствий радиационных аварий на Урале по воспоминаниям их участников / В. С. Толстиков, И. А. Бочкарева // Вестник Томского государственного университета. - 2016. - № 405. – С. 137-141.

114. Организация индивидуального дозиметрического контроля на первом предприятии атомной промышленности России / А. Ф. Лызлов, Е. К. Василенко, В. А. Князев, И. Б. Кейрим-Маркус // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 1995. – Т. 41. - № 5. – С. 36-38.

115. Макарова, И. С. Эволюция концептуальных подходов в системе радиационной безопасности / И. С. Макарова // Проблемы региональной экономики. - 2011. - № 6. - С. 162-168.

116. Маргулис, У. Я. Атомная энергия и радиационная безопасность / У. Я. Маргулис. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 160 с.

117. Маргулис, У. Я. Защита от действия проникающей радиации / У. Я. Маргулис. – М.: Атомиздат, 1961. - 82 с.

118. Маргулис, У. Я. Радиация и защита. – 3 изд. / У. Я. Маргулис. – М.: Атомиздат, 1974. - 160 с.

119. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязнённых территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н. И. Санжаровой и проф. С. В. Фесенко. - М.: РАН, 2018. – 278 с.

120. Алексахин, Р. М. Радиоэкология и авария на Чернобыльской АЭС / Р. М. Алексахин, Н. И. Санжарова, С. В. Фесенко // Атомная энергия. - 2001. - Т. 100. - № 4.

121. Каришев, Н. И. Радиоэкологические последствия Чернобыльской аварии / Н. И. Каришев, Р. М. Алексахин // Общество СССР. - 1991.

122. Алексахин, Р. М. Радиоэкологические уроки Чернобыля / Р. М. Алексахин // Радиобиология. – 1993. - Т. 33. - № 1. – С. 3-14.

123. Мирсаидов, У. М. Отходы уранодобывающих производств Таджикистана / У. М. Мирсаидов // Горный журнал. - 2012. - № 2. - С. 128-131.

124. Саломов, Дж. А. О необходимости реабилитации и рекультивации хвостохранилищ Табошарского региона / Дж. А. Саломов, И. У. Мирсаидов, А. М. Баротов // В сб.: Материалы семинара «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, 2012. - С. 30-35.

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

126. Мирсаидов, И. У. О возможностях извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2005. - Т. 48. - № 9-10. - С. 100-104.

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

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

129. Радионуклиды в строительных материалах Таджикистана / С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов [и др.] / XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». – Душанбе, 2019. – С. 167-169.

130. 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 народном хозяйстве Республики Таджикистан». – Душанбе, 2019. – С. 169-171.

131. Physico-Chemical Basis of Processing of Uranium – Containing Ores of the «Western Tajikistan» Deposit / I. U. Mirsaidov, B. B. Barotov, M. D. Boboyorov, U. M. Mirsaidov // J. Appleid Solid State Chemistry. - 2019. - № 1. – P. 53-56.

132. Бобоев, Б. Д. Физико-химические основы миграции урана в системах “дренажные воды-почва” на примере хвостохранилищ №1-2 г. Табошар Республики Таджикистан: автореф. дис. ... канд. хим. наук / Б. Д. Бобоев. – Душанбе, 2010.

133. Хамидов, Ф. А. Физико-химические основы ведения уранового концентрата из отходов термодинамические характеристики торий-урановых соединений / автореф. дис. ... канд. хим. наук / Ф. А. Хамидов. – Душанбе, 2017. – 23 с.

134. Рахматов, Н. Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из супесчатых почв и шахтных вод: автореф. дис. ... канд. хим. наук / Н. Н. Рахматов. – Душанбе, 2016. – 25 с.

135. Эрматов, К. А. Водная миграция урана и радона на территории Северного Таджикистана: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. А. Эрматов. – Душанбе, 2020. - 26 с.

136. 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. - 26 с.

137. Тиллобоев, Х. И. Физико-химические методы контроля массапереноса в системе отходы урановых руд - окружающая среда на примере Дигмайского хвостохранилища Таджикистана: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Х. И. Тиллобоев. – Душанбе, 2010. - 20 с.

138. Радиоэкологическая ситуация в Республике Таджикистан / И. Мирсаидзода, М. З. Ахмедов, Б. Б. Баротов [и др.]. – Душанбе: Дониш, 2021. - 115 с.

139. Мирсаидзода, И. Радиоактивные хвостохранилища Таджикистана: проблемы и решения / И. Мирсаидзода, Х. М. Назаров, Дж. А. Саломов / Под ред. У. М. Мирсаидова. – Душанбе: ООО «Аршам», 2022. - 206 с

140. История возникновения и нынешнее состояние Гафуровского хвостохранилищ отходов уранового производства / Х. М. Назаров, Д. И. Мирзоев, М. М. Юнусов, Т. Б. Абдуллоева // Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки и производства как механизм развития горно-металлургической отрасли Республики Таджикистан». – Бустон, ГМИТ, 2016. - С. 70-73.

141. Мирсаидов, У. М. Ядерное наследие Советского Союза в Таджикистане: проблемы и решения / У. М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров. – В кн.: Радиоэкологический мониторинг биосреды и радиационная безопасность Таджикистана. – Душанбе, АЯРБ АН РТ, 2010. - С. 58-64.

142. Хакимов, Н. Физико-химические и технологические основы переработки отходов уранодобывающей промышленности: дис. … канд. техн. наук / Н. Хакимов. – Душанбе, 2006. - 84 с.

143. Оценка воздействия Дигмайского хвостохранилища на окружающую среду / Н. И. Беззубов, М. М. Юнусов, З. А. Разыков, Б. Г. Файзуллаев // II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы урановой промышленности»: Сборник докладов. – Алматы: Казатомпром, 2002. - С. 181-183.

144. Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, Дж. А. Саломов, Н. Хакимов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. - 2015. - № 2 (159). - С. 87-92.

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

146. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 66 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. - 68 с.

147. Кононенко, Д. В. Анализ применимости существующих моделей расчёта риска при облучении радоном для оценки эффективности радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. - 2014. - Т. 7. - № 4. - С. 92-98.

148. Кононенко, Д. В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. - 2013. - Т. 6. - № 1. - С. 31-37.

149. Неопределённость результатов контроля радона в помещениях. – Ч. 2. Экспериментальная оценка неопределённости временных вариаций радона / А. А. Цапалов, С. М. Киселев, А. М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 1. - С. 64-79.

150. Tsapalov, A. Indoor radon regulator tabulated values of temporal radon variation / A. Tsapalov, K. Kovler // Journal Environmental Radioactivity. - 2018. - № 183. - P. 59.

151. Цапалов, А. А. Зависимость объёмной активности радона в помещениях от разности внутренних и наружных температур воздуха / А. А. Цапалов, С. И. Кувшинник / АНРИ. - 2008. - № 2. - С. 37-43.

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

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

154. Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies / S. Darby, D. Hil, A. Auvinen [et al.] // BMJ. - 2005. - № 330. - P. 223-227.

155. Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of seven North American case-control studies / D. Krewski, J. H. Lubin, J. M. Zielinski [et al.] // Epidemiology. - 2005. - № 16. - P. 137-145.

156. Ярмошенко, И. В. Радон как фактор облучения населения России / И. В. Ярмошенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2017. - Т. 2 (18). - С. 108-116.

157. Yarmoshenko, I. Establishing aregional reference indoor radon level on the basis of radon survey data / I. Yarmoshenko, A. Onishchenko, M. Zhukovsky // J. Radiol. prot. - 2013. - № 33. - P. 329-338.

158. 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.

159. Vasilyev, A. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia / A. Vasilyev, I. Yarmoshenko // J. Rad. Prot. Dosim. - 2016. - № 174. - P. 419-422.

160. Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings / I. Yarmoshenko, A. Vasilyev, A. Onishchenko [et al.] // J. Radiat. Prot. Dosim. - 2014. - № 160. - P. 53-55.

161. Collignan, B. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings / B. Collignan, C. Lorkowski, R. Ameon // Building and Environ. - 2012. - № 57. - P. 176-183.

162. 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. - С. 80-84.

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

164. 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.

165. Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан / К. А. Эрматов, Дж. А. Саломов, Н. Хакимов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. - 2015. - № 2 (159). - С. 87-92.

166. Оценка радоноопасности территории Б. Гафуровского района Республики Таджикистан / К. А. Эрматов, Х. М. Назаров, С. В. Муминов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 9. - С. 452-455.

167. 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.

168. 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.

169. Содержание радона в воздухе Спитаменского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2018. - Т. 61. - № 3. - С. 293-295.

170. Временная динамика концентрация радона в жилых помещениях / Н. Н. Рахматов, Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, Б. Д. Бобоев // X Международная научно-практическая конференция «Найновите постижения на европейската наука». - Т.18: Биология. Экология. Здание и архитектура. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. - С. 82-85.

171. 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 молодёжи в развитии отечественной науки»: Сборник статей и тезисов. – Душанбе, АН РТ, 2015. - С. 116-119.

172. 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 Рес-

публики Таджикистан», посвящённая «Дню химика» и 80-летию со дня рождения д.т.н., профессора, академика Международной инженерной академии и инженерной академии Республики Таджикистан А. В. Вахобова. – Душанбе, 2016. - С. 228-229.

173. Назаров, Х. М. Уменьшение содержание радона в воде с высокой концентрацией радона / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов // Научно-практическая конференция «Развития естественных наук в период Независимости Республики Таджикистан». – Бустон, Республика Таджикистан, 2017. - С. 22-24.

174. 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.

175. Общий анализ результатов проведения радонового мониторинга в северном Таджикистане / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. М. Бахронов [и др.] // XIV Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология-2018). – Уфа, 2018. - Т. 1. - С. 264-268.

176. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования / С. М. Киселев, М. В. Жуковский, И. П. Стамат, И. В. Ярмошенко. – М.: Издательство ГНЦФМБЦ им. А. И. Бурназяна, 2016. - 400 с.

177. Маренный, А. М. Оценка облучения населения России радоном (метод и результаты) / А. М. Маренный, М. Н. Савкин, С. М. Шинкарев // Медицинская радиология и медицинская безопасность. - 1999. - Т. 44. - № 6. - С. 37-43.

178. Жуковский, М. В. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России / М. В. Жуковский, И. В. Ярмошенко, С. М. Киселев // АНРИ. - 2011. - № 4 (67). - С. 18-25.

179. Киселёв, С. М. Эволюция подходов МКРЗ к регулированию защиты населения от радона / С. М. Киселёв // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2016. - Т. 61. - № 2. - С. 70-74.

180. Публикация 50 МКРЗ. Риск заболевания раком лёгких в связи с облучением дочерними продуктами распада радона внутри помещений: Доклад группы экспертов МКРЗ / Пер. с англ. Л. В. Коломиец. – М.: Энергоатомиздат, 1992. - 105 с.

181. Глушинский, М. В. Последствия воздействия на организм радона и продуктов его распада / М. В. Глушинский, Э. М. Крисюк // АНРИ. - 1996/97. - № 3 (9). - С. 16-24.

182. Крисюк, Э. М. Радиационный фон помещений / Э. М. Крисюк. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 257 с.

183. Новиков, Г. Ф. Радиометрическая разведка / Г. Ф. Новиков. – Л.: Недра, 1989. – 404 с.

184. Публикация 65 МКРЗ «Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах». – М.: Энергоатомиздат, 1995. - 78 с.

185. Радиация: Дозы, эффекты, риск / Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. –79 с.

186. Уткин, В. И. Газовое дыхание Земли / В. И. Уткин // Соросовский образовательный журнал. - 1977. - № 1. - С. 57-64.

187. Белозерский, Г. Н. Радиационная экология / Г. Н. Белозерский. – М.: Академия, 2008. - 383 с.

188. Сахаров, В. К. Радиоэкология: Учебное пособие / В. К. Сахаров. – СПб., 2006. - 206 с.

189. Василенко, О. И. Радиационная экология / О. И. Василенко. – М.: Медицина, 2004. - 216 с.

190. Салдан, И. П. Гигиеническая оценка риска здоровья населения модельных территорий Алтайского края от комплекса природных радионуклидов / И. П. Салдан, Б. А. Баландович, Н. Ю. Поцелуев // Здоровье населения и среда обитания. - 2013. - № 7 (244). - С. 7-9.

191. Салдан, И. П. Гигиеническая оценка радиационного риска эманаций радона на территории Алтайского края / И. П. Салдан, Б. А. Баландович, Н. Ю. Поцелуев // Гигиена и санитария. - 2014. - № 2. – С. 44-48.

192. Гигиеническая оценка индивидуальных годовых доз природного облучения населения модельных территорий Алтайского края / Н. Ю. Поцелуев, И. П. Салдан, Б. А. Баландович [и др.] // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 3. – С. 28-35.

193. Кононенко, Д. В. Оценка риска при облучении радоном для населения субъектов РФ на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории / Д. В. Кононенко, Т. А. Кормановская // Радиационная гигиена. - 2015. - Т. 8. - № 4. – С. 15-22.

194. Анализ сведений о дозах внешнего терригенного облучения населения РФ в коммунальных условиях / И. П. Стамат [и др.] // Радиационная гигиена. - 2015. - Т. 8. - № 3. – С. 33-46.

195. Росоловский, А. П. Радиологическая оценка некоторых природных источников ионизирующего излучения на территории Новгородской области / А. П. Росоловский // Радиационная гигиена. - 2015. - Т. 8. - № 3. – С. 62-66.

196. Стамат, И. П. Ограничение облучения населения за счет природных источников излучения в зданиях. Проект новых стандартов безопасности МАГАТЭ / И. П. Стамат // Радиационная гигиена. - 2013. - Т. 6. - № 2. – С. 27-30.

197. Пивоваров, Е. А. Радиационно-гигиеническая оценка источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения на территории Республики Хакасия / Е. А. Пивоваров, А. А. Пивоваров // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 3. – С. 61-68.

198. Салдан, И. П. Гигиеническая оценка удельной активности природных радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения / И. П. Салдан, Б. А. Баландович, Н. Ю. Поцелуев // Здоровье населения и среда обитания. - 2015. - № 10. – С. 29-34.

199. Горбанев, С. А. Радиационная-гигиеническая оценка питьевой воды на территории Ленинградской области / С. А. Горбанев, Л. А. Еремина, И. П. Стамат // Санитарный врач. - 2012. - № 8. – С. 55-58.

200. Оценка доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды / М. В. Кашка [и др.] // Радиационная гигиена. - 2010. - Т. 3. - № 1. – С. 23-27.

201. Гигиена среды обитания в Красноярском крае / А. М. Василовский [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2015. – С. 147.

202. Воронов, С. И. Обеспечение безопасности проживания населения на радиоактивно загрязненных территориях. / С. И. Воронов // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 2. – С. 20-25.

203. Воронов, С. И. Радиоэкологический мониторинг / С. И. Воронов // Мониторинг: Наука и безопасность. - 2011. - № 1. – С. 52-53.

204. Воронов, С. И. Основные направления и задачи в области преодоления последствий радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на Чернобыльской атомной станции / С. И. Воронов, В. А. Седнев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2016. - № 1. – С. 30-36.

205. Воронов, С. И. Основные направления развития радиоактивно-загрязненных территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской атомной станции / С. И. Воронов, В. А. Седнев, А. И. Овсяник // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращения, ликвидация. - 2016. - № 3. – С. 4-13.

206. Воронов, С. И. 30 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее в России / С. И. Воронов // Российский национальный доклад Чернобыльской аварии, 2016. – 202 с.

207. Основы организации и обеспечения радиационной безопасности населения: Учебник для вузов МЧС России / Р. В. Арутюнян [и др.]. – М.: ИБРАЭ РАН, АГПСМЧС РФ, 2012. – 401 с.

208. Кононенко, Д. В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. - 2013. - Т. 5. - № 1. – С. 31-37.

209. Кононенко, Д. В. Оценка риска при облучении радоном для населения Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории / Д. В. Кононенко, Т. А. Кормановская // Радиационная гигиена. - 2015. - Т. 8. - № 4. – С. 15-22.

210. Кононенко, Д. В. Анализ применимости существующих моделей расчета риска при облучении радоном для оценки эффективности радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. - 2014. - Т. 7. - № 4. – С. 92-98.

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

212. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. – Ч. 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля / А. А. Цапалов, С. М. Киселев, А. М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 1. – С. 53-63.

213. Tsapalov, A. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation / A. Tsapalov, K. Kovler // Journal of Environmental Radioactivity. - 2018. - № 183. – P. 59-72.

214. Цапалов, А. А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температуры воздуха / А. А. Цапалов, С. И. Кувшинников // АНРИ. - 2008. - № 2. – С. 37-43.

215. 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.

216. Цапалов, А. А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях московского региона / А. А. Цапалов // АНРИ. - 2011. - № 3. – С. 52-64.

217. Ярмошенко, И. В. Радон как фактор облучения населения России / И. В. Ярмошенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2017. - Т. 2. – С. 108-116.

218. 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. – С. 19-25.

219. Vasilyev, A. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia / A. Vasilyev, I. Yarmoshenco // Rad. Prot. Dosim. - 2016. - № 174. – С. 419-422.

220. Indoor radon problem in energy efficient multistory buildings / I. Yarmoshenco, A. Vasilyev, A. Onishchenco [et al.] // Rad. Prot. Dosim. - 2014. - № 160. – P. 53-55.

221. Collignan, B. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings / B. Collignan, C. Lorkowski, R. Ameon // Building and Environ. - 2012. - № 57. – P. 176-183.

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

223. Сулейманов, Е. В. Радиоактивность в окружающей среде. Радиационный фон внутри помещений: Учебное пособие / Е. В. Сулейманов, А. О. Коршунов. – Нижний Новгород, 2012. - 31 с.

224. Nazarov, W. W. Radon transport from soil to air / W. W. Nazarov // Rev. Geophys. - 1992. - V. 30. – P. 137-160.

225. Киселев, С. М. Радон: от фундаментальных исследований к практике регулирования / С. М. Киселев, М. В. Жуковский, И. П. Стамат. – М.: Изд. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2016. – 432 с.

226. Short and long-termvariability of radon progeny concentration in dwellings in the Czech Republic / M. Slezakova, K. Navratilova, K. Rovenska, L. Tomasek // Radiat. Prot. Dosimetry. - 2013. - V. 153. – P. 334-341.

227. Онищенко, А. Д. Влияние строительных характеристик зданий на накопление радона в детских дошкольных учреждениях Свердловской области / А. Д. Онищенко, А. В. Васильев, Г. П. Малиновский // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 2. – С. 28-36.

228. Meyer, W. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors / W. Meyer // Indoor air. - 2019. - V. 29. – P. 680-685.

229. Collignan, B. Relationships between indoor radon concentrations, thermal retrofit and dwelling characteristics / B. Collignan, E. L. Ponner, C. Mandin // J. Environ. Radioact. - 2016. - V. 165. – P. 124-130.

230. Fojtikova, I. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic / I. Fojtikova, K. Navratilova, K. Rovenska // Radiat. Prot. Dosimetry. - 2014. - V. 160. – P. 149-153.

231. Строительные материалы как источник радона в зданиях, построенных по современным технологиям / А. В. Васильев, М. В. Жуковский, А. Д. Онищенко, А. А. Вишневский // Строительные материалы. - 2013. - № 4. – С. 104-107.

232. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности / И. В. Ярмошенко, Г. П. Малиновский, А. Д. Онищенко, А. В. Васильев // Радиационная гигиена. - 2019. - Т. 12. - № 4. – С. 56-65.

233. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности / И. В. Ярмошенко, А. Д. Онищенко, Г. П. Малиновский [и др.] // Радиационная гигиена. - 2020. - Т. 13. - № 2. – С. 47-56.

234. Восстановление формы и параметров распределения объемной активности радона в жилищах России на основе данных 4-ДОЗ / И. В. Ярмошенко, Г. П. Малиновский, А. В. Васильев, М. В. Жуковский // АНРИ. - 2015. - № 3. - С. 41-46.

235. Крисюк, Э. М. Новая стратегия обеспечения радиационной безопасности населения / Э. М. Крисюк // АНРИ. - 1998. - № 1 (12). – С. 4-11.

236. Рыжакова, Н. К. Проблемы оценки потенциальной радоноопасности участков застройки / Н. К. Рыжакова, К. О. Ставицкая, А. А. Удалов // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 2. – С. 37-44.

237. The European map of the geogenic radon potential / V. Gruber, P. Bossew, M. DeCort, T. Tollefsen // J. Radiol. Prot. - 2013. - V. 33. - № 1. – P. 51-60.

238. Neznal, M. The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites / M. Neznal // Czech Geological Survey Special Papers. - 2004. - V. 16. – P. 7-47.

239. Matiullah, M. F. Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials / M. F. Matiullah // Radiation Measurements. - 2008. - V. 43. – P. 157-169.

240. Ryzhakova, N. K. A new method for estimating the coefficients of diffusion and emanation of radon in the soil / N. K. Ryzhakova // Journal of Environmental Radioactivity. - 2014. - V. 135. – P. 63-66.

241. Рыжакова, Н. К. Методы и результаты измерения эффективного коэффициента диффузии радона в почвогрунтах / Н. К. Рыжакова, А. П. Шестак // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2009. - № 6. – С. 555-563.

242. Гулабянц, Л. А. Мощность «активного» слоя грунта при диффузионном переносе радона в грунтовом основании здания / Л. А. Гулабянц, Б. Ю. Заболотский // АНРИ. - 2001. - № 4. – С. 38-40.

243. Рыжакова, Н. К. Новый подход к проблеме оценки радоноопасности участков застройки / Н. К. Рыжакова, К. О. Ставицкая, А. А. Удалов // Радиационная гигиена. - 2020. - Т. 13. - № 2. – С. 57-64.

244. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде / А. М. Маренный, А. А. Цапалов, П. С. Микляев, Т. Б. Петрова. – М.: Перо, 2016. – 394 с.

245. Задачи и методы радиационного контроля при строительстве зданий / И. В. Павлов, Л. А. Гулабянц, А. М. Маренный, С. Е. Охрименко // АНРИ. - 2003. - № 3. – С. 2-12.

246. Микляев, П. С. Новые аспекты оценки радоноопасности территорий городской застройки / П. С. Микляев, Т. Б. Петрова, С. Е. Охрименко // АНРИ. - 2003. - № 4. – С. 63-71.

247. Маренный, А. М. Задачи и методы оценки потенциальной радоноопасности селитебных территорий / А. М. Маренный, С. Е. Охрименко, И. В. Павлов // АНРИ. - 2006. - № 2. – С. 25-30.

248. Микляев, П. С. Механизмы формирования потока радона с поверхности почв и подходы к оценке радоноопасности селитебных территорий / П. С. Микляев, Т. Б. Петрова // АНРИ. - 2007. - № 2. – С. 2-16.

249. Маренный, А. М. Радон в инженерно-экологических изысканиях для строительства / А. М. Маренный // АНРИ. - 2008. - № 2. – С. 21-28.

250. Районирование территории России по степени радоноопасности / В. А. Максимовский, М. Г. Харламов, А. В. Мальцев [и др.] // АНРИ. - 1996/97. - № 3 (9). – С. 66-73.

251. Романович, И. К. Результаты выборочного исследования содержания радона в помещениях детских дошкольных и школьных организаций Ленинградской области / И. К. Романович, И. П. Стамат, Т. А. Кормановская // Здоровье населения и среда обитания. - 2017. - № 10 (295). – С. 46-49.

252. Киселев, С. М. Эволюция подходов МКРЗ к регулированию защиты населения от радона / С. М. Киселев // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2016. - Т. 61. - № 2. – С. 70-74.

253. Киселев, С. М. Формирование современной методологии регулирования защиты населения от облучения радоном / С. М. Киселев // Гигиена и санитария. - 2017. - Т. 96. - № 1. – С. 52-56.

254. Руководство по радону. – Женева: ВОЗ, 2009.

255. Публикация 115 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) 2010 г. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2013.

256. Киселев, С. М. Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона: Международный опыт регулирования / С. М. Киселев, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. - 2014. - Т. 7. - № 4. – С. 48-52.

257. Естественные радионуклиды в экосистемах Согдийской области / М. Юнусов, З. Разыков, Х. Муртазаев [и др.] // Учёные записки Худжандского государственного университета (ХГУ). – Худжанд. - 2005. - № 10. – С. 67-72.

258. Радиоэкологический мониторинг хвостохранилищ Северного Таджикистана / Н. Хакимов, О. В. Войцехович, В. Я. Саидов [и др.] // VI Нумановские чтения. – Душанбе, 2009. – С. 207-213.

259. Нормы радиационной безопасности (НРБ-06) СП2.6.1.001-06. Агентство по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан. – Душанбе: Дониш. 2006. – 17 с.

260. Урановые месторождения Таджикистана / З. А. Разыков, Э. Г. Гусаков, А. А. Марущенко [и др.]. – Худжанд: ООО «Хуросон», 2001. – 212 с.

261. Муртазаев, Х. Радиоактивные хвостохранилища Северного Таджикистана / Х. Муртазаев, А. Муртазаев // Учёные записки ХГУ. – Худжанд. - 2006. - № 11. – С. 50-55.

262. Урановые хвостохранилища в Республике Таджикистан: проблемы и пути их решения / Под ред. М. М. Хакдодова. – Душанбе, 2009. – 52 с.

263. Опыт исследования законсервированного хвостохранилища / З. А. Разыков, Э. Г. Гусаков, Н. И. Беззубов, Л. М. Павлюк // Горный журнал. - 2003. - Спец. выпуск. – С. 82-83.

264. Дигмайское хвостохранилище и его экологическая опасность / Н. И. Беззубов, З. А. Разыков, М. М. Юнусов, Б. Г. Файзуллаев // Международная научно-практическая конференция «16 сессия Шурои Оли Республики Таджикистан (12 созыва) и её историческая значимость в развитии науки и образования». – Душанбе, 2002. – С. 123.

265. Миграция хвостовых растворов вокруг Дигмайского хвостохранилища / З. А. Разыков, М. М. Юнусов, В. П. Коптелов, Д. Х. Холиков // Республиканский научно-практический семинар «Современное состояние водных ресурсов Таджикистана – проблемы и перспективы рационального использования». – Душанбе, 2003. – С. 65-66.

266. Оценка воздействия Дигмайского хвостохранилища на окружающую среду / Н. И. Беззубов, З. А. Разыков, М. М. Юнусов, Б. Г. Файзуллаев // Международная научно-практическая конференция. – Алматы, 2002. – С. 181-183.

267. Разыков, З. А. Эффективность различных материалов для локализации радионуклидов хвостохранилища / З. А. Разыков, М. М. Юнусов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 1997. - Т. 41. - № 11-12. – С. 30-33.

268. Разыков, З. А. Физико-химические основы миграции компонентов пульп хвостохранилищ и способы их локализации: дис. … канд. техн. наук / З. А. Разыков. - Душанбе, 1998.

269. Разыков, З. А. Содержание радионуклидов и тяжелых элементов в почвенном покрове и растительности в зоне Дигмайского хвостохранилища / З. А. Разыков, М. М. Юнусов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 1997. - Т. 41. - № 11-12. – С. 25-29.

270. Взаимодействие объектов подземного выщелачивания с водозаборами и способы защиты подземных вод / Д. Х. Халиков, З. А. Разыков, В. П. Коптелов, А. В. Коптелов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2003. - Т. 46. - № 11-12. – С. 76-83.

271. Epidemiological surveillance at Electriate de France-Gaz de France / H. Gros, A. Chevalie, E. Carrie, G. Lahon // Occup. Med. - 2002. - V. 52. - № 1. - P. 35-44.

272. Уровень загрязнения радоном воздуха г. Истиклола Республики Таджикистан / Б. Д. Бобоев, Х. М. Назаров, Н. Хакимов, Н. Н. Рахматов //Доклады АН Республики Таджикистан. - 2013. - Т. 56. - № 4. - С. 334-337.

273. 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.

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

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

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

277. Чеховский, А. Л. Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала / А. Л. Чеховский // Известия Гомельского государственого университета. – 20154. - № 6 (87). – С.100-106.

278. Оценка радоноопасности территории Б. Гафуровского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. В. Муминов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 9. - С. 452-455.

279. Методика экспрессного измерения плотности потока радона с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. – М.: ЦНИИ ГП «ВНИИФТРИ», 2006. - 20 с.

280. Нормы радиационной безопасности (НРБ-06) СП 2.6.1.001-06. – Душанбе: АЯРБ АН РТ, 2006. - 172 с.

281. Национальная Концепция Республики Таджикистан по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2014-2024 гг.

282. Сборник Законов (в области ядерной и радиационной безопасности) / Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ. – Душанбе, 2022. - 258 с.

283. 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.

284. Бартанова, С. В. Измерение потока радона на поверхности земли с использованием угольных сорбентов / С. В. Бартанова, А. В. Перевалов, А. Б. Цыденов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2017. - № 3. – С. 82-87.

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

286. Абрамов, Б. Н. Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края / Б. Н. Абрамов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11. – С. 136–145.

287. Комплексный подход к оценке потенциальной опасности приповерхностных хвостохранилищ радиоактивных отходов / И. П. Коренков, Т. Н. Лащенова, Н. К. Шандала, В. В. Романов // Гигиена и санитария. – 2016. - № 95 (2). – С 133-139.

288. Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers. ICRP Publication 32.Ann. ICRP 6 (1), 1981.

289. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2), 1993.

290. Survey on radon guidelines programmes and activities. Final report. International radon project. - WHO: Geneva, 2007.

291. Effect of exposure to radon gas // UNSCEAR briefing note, 21.07. 2009. - New York: United States, 2009.

292. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization (WHO). WHO Press. - Geneva, 2009.

293. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Под общей ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандала. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. - 312 с.

294. Council Directive 2013/59/Euratom, OJ L13, 17.01.2014. - P. 1-73.

295. International Atomic Energy Agency. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, SSG 32. – Vienna: IAEA. 2014.

296. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.

297. Маренный, А. М. Национальные радоновые программы: Опыт реализации и задачи на перспективу / А. М. Маренный, С. М. Киселёв // Радиационная гигиена. - 2019. - Т. 12. - № 2 (Спецвыпуск). – С. 97-108.

298. Павлов, И. В. Способы обеспечения радиационной безопасности при разведке и добыче урановых руд / И. В. Павлов, С. С. Покровский, Е. Н. Камнев. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 256 с.

299. Крисюк, Э. М. Нормирование радиоактивности строительных материалов / Э. М. Крисюк // Гигиена и санитария. - 1980. - № 12. – С. 32-34.

300. Выделение радона из строительных материалов в жилищах / Н. А. Королева, Н. И. Шалак, Э. М. Крисюк [и др.] // Гигиена и санитария. - 1985. - Т. 1. - № 7. – С. 64-66.

301. Крисюк, Э. М. Проблема радона – ведущая проблема обеспечения радиационной безопасности населения / Э. М. Крисюк // АНРИ. - 1996/97. - № 3 (9). – С. 13-16.

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

303. Временная динамика концентрация радона в жилых помещениях / Х. М. Назаров, Н. Н. Рахматов, К. А. Эрматов, Б. Д. Бобоев // X Международная научно-практическая конференция «Найновите постижения на европейската наука». Биология. Экология. Здание и архитектура. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. - Т. 18. - С. 82-85.

304. Назаров, Х. М. Поступления радона-222 и его дочерние продукты распада в организм людей / Х. М. Назаров, Д. И. Мирзоев, М. М. Юнусов // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». – Чкаловск, ГМИТ, 2015. - С. 11-13.

305. Анализ сравнения методов измерения плотности потока радона с земной поверхности в Согдийской области Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, Д. И. Мирзоев, М. М. Юнусов, М. М. Мавлонов // Международная научно-практическая конференция «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». – Бустон, ГМИТ, 2016. - С. 143-145.

306. Назаров, Х. М. Суточная динамика плотности потока радона с земной поверхности в Согдийской области северного Таджикистана. / Х. М. Назаров, Д. И. Мирзоев, М. М. Юнусов // Международная научно-практическая конференция «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». – Бустон, ГМИТ, 2016. - С. 145-148.

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

308. 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.

309. Исследования содержания радона в атмосферном воздухе и в жилых помещениях города Душанбе Республики Таджикистан / И. У. Мирсаидов, Ф. А. Хамидов, Б. Б. Баротов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 7-8. - С. 362-365.

310. Оценка радоноопасности территории Б. Гафуровского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. В. Муминов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 9. - С. 452-455.

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

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

313. Эрматов, К. А. 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.

314. Кононенко, Д. В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. - 2013. - Т. 5. - № 1. – С. 31-37.

315. Кононенко, Д. В. Оценка риска при облучении радоном для населения Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории / Д. В. Кононенко, Т. А. Кормановская // Радиационная гигиена. - 2015. - Т. 8. - № 4. – С. 15-22.

316. Кононенко, Д. В. Анализ применимости существующих моделей расчета риска при облучении радоном для оценки эффективности радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. - 2014. - Т. 7. - № 4. – С. 92-98.

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

318. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. – Ч. 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля / А. А. Цапалов, С. М. Киселев, А. М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 1. – С. 53-63.

319. Tsapalov, A. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation / A. Tsapalov, K. Kovler // Journal of Environmental Radioactivity. - 2018. - № 183. – P. 59-72.

320. Цапалов, А. А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температуры воздуха / А. А. Цапалов, С. И. Кувшинников // АНРИ. - 2008. - № 2. – С. 37-43.

321. 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.

322. Цапалов, А. А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях Московского региона / А. А. Цапалов // АНРИ. - 2011. - № 3. – С. 52-64.

323. Ярмошенко, И. В. Радон как фактор облучения населения России / И. В. Ярмошенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2017. - Т. 2. – С. 108-116.

324. Vasilyev, A. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia / A. Vasilyev, I. Yarmoshenco // Rad. Prot. Dosim. - 2016. - № 174. – С. 419-422.

325. Indoor radon problem in energy efficient multistory buildings / I. Yarmoshenco, A. Vasilyev, A. Onishchenco [et al.] // Rad. Prot. Dosim. - 2014. - № 160. – P. 53-55.

326. Collignan, B. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings / B. Collignan, C. Lorkowski, R. Ameon // Building and Environ. - 2012. - № 57. – P. 176-183.

327. Nazarov, W. W. Radon transport from soil to air / W. W. Nazarov // Rev. Geophys. - 1992. - V.30. – P. 137-160.

328. Киселев, С. М. Радон: от фундаментальных исследований к практике регулирования / С. М. Киселев, М. В. Жуковский, И. П. Стамат. – М.: Изд. «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2016. – 432 с.

329. Short- and long-termvariability of radon progeny concentration in dwellings in the Czech Republic / M. Slezakova, K. Navratilova, K. Rovenska, L. Tomasek // Radiat. Prot. Dosimetry. - 2013. - V. 153. – P. 334-341.

330. Meyer, W. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors / W. Meyer // Indoor air. - 2019. - V. 29. – P. 680-685.

331. Collignan, B. Relationships between indoor radon concentrations, thermal retrofit and dwelling characteristics / B. Collignan, E. L. Ponner, C. Mandin // J. Environ. Radioact. - 2016. - V. 165. – P. 124-130.

332. Fojtikova, I. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic / I. Fojtikova, K. Navratilova, K. Rovenska // Radiat. Prot. Dosimetry. - 2014. - V. 160. – P. 149-153.

333. Строительные материалы как источник радона в зданиях, построенных по современным технологиям / А. В. Васильев, М. В. Жуковский, А. Д. Онищенко, А. А. Вишневский // Строительные материалы. - 2013. - № 4. – С. 104-107.

334. Рыжакова, Н. К. Проблемы оценки потенциальной радоноопасности участков застройки / Н. К. Рыжакова, К. О. Ставицкая, А. А. Удалов // Радиационная гигиена. - 2018. - Т. 11. - № 2. – С. 37-44.

335. Рыжакова, Н. К. Новый подход к проблеме оценки радоноопасности участков застройки / Н. К. Рыжакова, К. О. Ставицкая, А. А. Удалов // Радиационная гигиена. - 2020. - Т. 13. - № 2. – С. 57-64.

336. The European map of the geogenic radon potential / V. Gruber, P. Bossew, M. DeCort, T. Tollefsen // J. Radiol. Prot. - 2013. - V. 33. - № 1. – P. 51-60.

337. Neznal, M. The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites / M. Neznal // Czech Geological Survey Special Papers. - 2004. - V. 16. – P. 7-47.

338. Matiullah, M. F. Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials / M. F. Matiullah // Radiation Measurements. - 2008. - V. 43. – P. 157-169.

339. Ryzhakova, N. K. A new method for estimating the coefficients of diffusion and emanation of radon in the soil / N. K. Ryzhakova // Journal of Environmental Radioactivity. - 2014. - V. 135. – P. 63-66.

340. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде / А. М. Маренный, А. А. Цапалов, П. С. Микляев, Т. Б. Петрова. – М.: Перо, 2016. – 394 с.

341. Районирование территории России по степени радоноопасности / В. А. Максимовский, М. Г. Харламов, А. В. Мальцев [и др.] // АНРИ. - 1996/97. - № 3 (9). – С. 66-73.

342. Киселев, С. М. Эволюция подходов МКРЗ к регулированию защиты населения от радона / С. М. Киселев // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2016. - Т. 61. - № 2. – С. 70-74.

343. Киселев, С. М. Формирование современной методологии регулирования защиты населения от облучения радоном / С. М. Киселев // Гигиена и санитария. - 2017. - Т. 96. - № 1. – С. 52-56.

344. Рекомендации по уменьшению концентрации радона в воде родников и скважин Джаббор Расуловского района / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, Дж. А. Саломов, К. А. Эрматов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн наук. - 2015. - № 2 (159). – С. 83-86.

345. Содержания радона в воздухе Спитаменского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, К. А. Эрматов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2018. - Т. 61. - № 3. – С. 293-295.

346. Мониторинг водной миграции урана и радона / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, И. У. Мирсаидов [и др.] // XVIII Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века»: в 3-х ч. – Минск, Республика Беларусь, 2018. – С. 246.

347. Захарченко, Г. Л. Радиационная обстановка на территории Орловской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г. Л. Захарченко // Радиационная гигиена. - 2011. - Т. 4. - № 2. – С. 120-124.

348. Состояние радиационной обстановки на территории Орловской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г. Л. Захарченко, Е. Н. Переверзева, А. А. Васильев [и др.] // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 2. – С. 56-62.

349. Чичура, Т. М. Радиационно-гигиенический мониторинг и оценка доз облучения населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территорий Тульской области / Т. М. Чичура, А. Э. Ломовцев, А. Ю. Хожаинов // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 2. – С. 63-68.

350. Radioactive pollution of the Obriver system from Urals nuclear enterprise «Mayak» / A. Trapeznikov, A. Aarkrog, V. Pozolotina [et al.] // J. Environ. Radioactivity. - 1994. - V. 2. – P. 85-98.

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

352. Радиационный мониторинг на территории города Гафуров / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, Н. Хакимов [и др.] // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы материаловедения в машиностроении Республики Таджикистан», посвященная «Дню химика» и 80-летию со дня рождения д.т.н., проф., ак. Международной инженерной академии и Инженерной академии Республики Таджикистан А. В. Вахобова. – Душанбе, 2016. – С. 231-233.

353. Оценка радоноопасности территории Б. Гафуровского района Республики Таджикистан / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. В. Муминов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2017. - Т. 60. - № 9. – С. 452-455.

354. Шаметов, А. К. Рекогносцировочное и радиоэкологическое обследование объектов окружающей среды хвостохранилища Кошкар-Ата / А. К. Шаметов, А. Н. Кожахметова, А. Б. Бигалиев // Фундаментальные исследования. Раздел Биологические науки. – 2014. - № 12 (часть 9). – С. 1938-1941.

355. Назаров, Х. М. Значения мощности эквивалентной дозы на территории Джаббор Расуловского района Таджикистана / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев //

Международная научно-практическая конференция «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии, в промышленности Республики Таджикистан». – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2018. – С. 241-242.

356. Назаров, Х. М. Радиоэкология г. Истаравшана и его окрестностей / Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, Х. Муртазаев // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2009. - Т. 52. - № 10. – С. 793-796.

357. Муртазаев, Х. Общий радиационный фон северной части Туркестанского хребта (в пределах Девештичского района) / Х. Муртазаев, Р. Рахмонова, А. Х. Муртазаев // Учёные записки ХГУ. Серия: естественные и экономические науки – г. Худжанд. - 2017. - № 2 (41). – С. 83-90.

358. Муртазаев, Х. Мощность экспозиционной дозы на территории Шахристанского района / Х. Муртазаев, А. Разоков, Ш. А. Рахимбердиев // Учёные записки ХГУ. Серия: естественные и экономические науки. - Худжанд. – 2016. - № 1 (36). – С. 44-48.

359. Общий анализ результатов проведения радонового мониторинга в северном Таджикистане / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С. М. Бахронов [и др.] // XIV Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология – 2018). – Уфа, 2018. - Т. 1. - С. 264-268.

360. Исследование загрязнений атмосферного воздуха в городах Согдийской области / Х. Тиллобоев, Ф. А. Очилова, Б. Рахимов, С. Алиев // Учёные записки ХГУ. Серия: естественные и экономические науки. – Худжанд. - 2016. - № 1 (36). – С. 22-27.

361. Анализ индивидуального мониторинга внешнего облучения медперсонала в Республике Таджикистан / Ш. Г. Шосафарова, Н. У. Хакимова, Е. Ю. Малышева, У. М. Мирсаидов // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. – С. 265-267.

362. Изучение содержания природных радионуклидов в почвах юго-западных и восточных районов Республики Таджикистан / С. В. Муминов, Б. Б.

Баротов, Ш. Р. Муродов, У. М. Мирсаидов // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. – С. 303-306.

363. Радионуклидный мониторинг ущелья Канаск Вахдатского района Республики Таджикистан / Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, С. В. Муминов [и др.] // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. - С. 320-322.

364. Радионуклидный мониторинг местности Сари Хосор Балджувонского района Республики Таджикистан / Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, С. В. Муминов [и др.] // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. – С. 326-328.

365. Удельная суммарная активность природных радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения Хатлонской области Республики Таджикистан / С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, Ф. Г. Мухидинова, У. М. Мирсаидов // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. - С. 329-331.

366. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2018. - 9 с.

367. Изотопный состав пылевого аэрозоля Таджикистана / С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов, Б. И. Назаров [и др.] // Вестник Таджикского национального университета. - 2017. - № 113. - С. 155-162.

368. Национальная Программа по борьбе с опустыниванием в Таджикистане. – Душанбе, 2000. - 184 с.

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

370. Элементный состав атмосферного аэрозоля и почв Таджикистана / С. Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Расулзода Х.Х., Рахматов М.Н. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2018. - №

1. - С. 72-88.

371. Захарченко, Г. Л. Результаты радиационно-гигиенического мониторинга на территории Орловской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г. Л. Захарченко // Радиационная гигиена. - 2011. - Т. 4. - № 2. - С. 120-124.

372. Состояние радиационной обстановки на территории Орловской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г. Л. Захарченко, Е. Н. Переверзева, А. А. Васильев [и др.] // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 2. - С. 56-62.

373. Чичура, Т. М. Радиационно-гигиенический мониторинг и оценка доз облучения, проживающего на радиоактивно-загрязнённых территориях Тульской области / Т. М. Чичура, А. Э. Ломовцев, А. Ю. Хожаинов // Радиационная гигиена. - 2016. - Т. 9. - № 2. - С. 63-68.

374. Radioactive pollution of the Obriver system from Urals nuclear enterprise “Mayak” / A. Trapeznikov, A. Aarkrog, V. Pozolotina [et al.] // J. Environ Radioactivity. - 1994. - V. 2. - P. 85-98.

375. Радиоэкологические исследования Обь-Иртышской речной системы на территории Ханты-Мансийского автономного округа / А. В. Трапезников, А. В. Коржавин, Н. Трапезникова [и др.] // Вопросы радиационной безопасности. - 2009. - Спецвыпуск 1. - С. 73-85.

376. Распределение природной и техногенной радиоактивности в образцах пыльной мглы юга Таджикистана / С. Ф. Абдуллаев, Н. А. Абдурасулова, Б. И. Назаров [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. - Т. 54. - № 9. - С. 746-753.

377. Элементный состав почв и пылевого аэрозоля юго-центральной части Таджикистана / С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов, Б. И. Назаров [и др.] // Оптика атмосферы и океана. - 2015. - Т. 28. - № 3. - С. 246-255.

378. Назаров, Б. И. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии / Б. И. Назаров, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов. – Душанбе: Дониш, 2017. - 416 с.

379. Буриев, Н. Н. Техногенный радионуклид цезий-137 в пищевых дикорастущих растениях Таджикистана / Н. Н. Буриев, Н. Т. Буриев, Т. Давлатшоев // Символ науки. - 2018. - № 4. - С. 7-8.

380. Элементный состав атмосферного аэрозоля и почв Таджикистана / М. Н. Рахматов, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов [и др.] // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2018. - № 1. - С. 72-88.

381. Рахматов, М. Н. Исследование содержания радиоактивных изотопов в атмосферном аэрозоле и почвах Северного Таджикистана / М. Н. Рахматов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2022. - № 4. - С. 233-251.

382. Буриев, Н. Н. Исследование бета-активности проб пищевых дикорастущих растений / Н. Н. Буриев, Т. А. Хасанов // Международная научно-практическая конференция «Инновационные механизмы решения проблем научного развития». – Уфа, 2016. – Т. 2. – С. 7-9.

Список публикаций соискателя по теме диссертации:

1-А. **Ахмедов М.З.** Дараи Камароб (тавсифи табиӣ-географӣ, сохти геологӣ, ҳолати сейсмикӣ, гуногунии биологӣ, захираҳои обӣ, вазъи радиатсионӣ) = [Ущелье Камароб (природно-географическое описание, геологическое строение, сейсмическое состояние, биоразнообразие, водные ресурсы, радиационная ситуация]: Монография / Ф. Раҳимӣ, А .С. Саидов, И. Мирсаидзода, М. З. Ахмедов [и др.]. – Душанбе: Дониш, 2020. – 195 с.

2-А. **Ахмедов М.З.** Радиоэкологическая ситуация в Республике Таджикистан: Монография / И. Мирсаидзода, М. З. Ахмедов, Б. Б. Баротов [и др.]. – Душанбе: Дониш, 2021. – 121 с.

3-А. **Ахмедов М. З**. Шуоъхӯрии тиббӣ. «Радиоэкология 1-33 01 03»-и магистратураи ААЯР АИ ҶТ: Барномаи таълимии / М. З. Ахмедов, И.Ӯ. Мирсаидов. – Душанбе, 2017. – 14 с.

4-А. **Ахмедов М.З. /** Таъсири биологии афканишоти ионофар. «Радиоэкология 1-33 01 03»-и магистратураи ААЯР АИ ҶТ – Душанбе, 2019. - 149 с.

5-А. **Ахмедов М. З**. Радиационный фон Исфаринского района / У. М. Мирсаидов, И. Мирсаидзода, М. З. Ахмедов [и др.] / Известия НАНТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2023. - № 3 (192). – С. 132-137.

6-А. **Ахмедов М. З.** Сравнительная оценка распределения цезия-137 в почвенном покрове на территории Таджикистана / У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров // Радиация и риск. – 2023. - № 4. - С. 24-34.

7-А. **Ахмедов М. З**. Естественные радионуклиды в почвах на территории ареала хвостохранилища Адрасман / М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров, Ш. А. Рахимбердиев, У. М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. - 2023. – Т. 66. - № 5-6. - С. 331-336.

8-А. **Ахмедов М. З.** Оценка радиоэкологической ситуации на урановых хвостохранилищах Северного Таджикистана / М. З. Ахмедов / Известия НАНТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2023. - № 2. (191). – С. 141-146.

9-А. **Ахмедов М. З**. Термодинамический анализ сернокислотного разложения отходов урановой промышленности на территории «Карта 1-9» г.Бустон / И. Мирсаидзода, **М. З. Ахмедов,** С. М. Бахронов [и др.] // Доклады НАН Таджикистана. -2023. – Т. 66. - № 1-2. - С. 97-103.

10-А. **Ахмедов М. З.** Обзор радиационной безопасности в Таджикистане / М. З. Ахмедов // Известия НАН Таджикистана. - 2023. - № 1 (190). – С. 117 – 122.

11-А. **Ахмедов М. З.** Содержание изотопа цезия-137 в почвенном покрове Северного Таджикистана / М. З. Ахмедов // Доклады НАН Таджикистана. - 2022. – Т. 65. - № 9-10. - С. 658-665.

12-А. **Ахмедов М. З.** Физико-химические основы очистки вод от радионуклидов / М. З. Ахмедов // Доклады НАН Таджикистана. - 2022. – Т. 65. - № 7-8. - С. 535-539.

13-А. **Ахмедов М. З.** Воздействие источников ионизирующего излучения на экосистему в условиях Республики Таджикистан / М. З. Ахмедов // Вестник Бохтарского Государственного университета имени Н. Хусрава (научный журнал). Серия естественных наук. – 2022. - № 2/4 (105). – С. 69-70.

14-А. **Ахмедов М. З.** Радоновый мониторинг территории Таджикистана / М. З. Ахмедов // Известия НАН Таджикистана. - 2022. - № 4 (189). – С. 134-140.

15-А. **Ахмедов М. З**. Радиационный контроль питьевых вод методом измерения суммарной альфа- и бета активности / Ш. Н. Ишратов, С. В. Муминов, М. З. Ахмедов // Известия НАН Таджикистана. - 2022. - № 4 (189). – С. 140-144.

16-А. **Akhmedov M.Z.** Assessment of the potential radiation hazard of the Adrasman tailing dump (Tajikistan) for the Population living around it / U. Mirsaidov, Kh. Nazarov, B. D. Boboev, Sh. A. Rahimberdiev, S. G. Mukhamedova, M. Z. Akhmedov / Journal of Health and Environmental Research. – 2022. - № 8 (2). – P. 151-158.

17-А. **Ахмедов М. З**. Сравнительная оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилищ Согдийской области Таджикистана / У. М. Мирсаидов, Х. М. Назаров, М. М. Махмудова, Ш. Муродов, К. А. Эрматов, М. З. Ахмедов // Радиация и риск. – 2022. – Т. 31. - № 2. – С. 118-127.

18-А. **Ахмедов М. З**. Изучение уровней содержания радона в зданиях дошкольных и школьных учреждений г. Душанбе Республики Таджикистан / С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, М. М. Махмудова, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14. - № 1. – С. 124-132.

19-А. **Akhmedov M.Z.** Comparative Analysis of Radon Accumulation in Public Billdings of Defferent class on the Example of Several Sogd Region Cities of Tajikistan / U. Mirsaidov, Kh. M. Nazarov, M. M. Machmudova, Z. Misratov, M. Akhmedov // Journal of Health and Environmental Research. - 2021. - V. 7 (3). – P. 122-125.

20-А. **Ахмедов М. З**. Физико-химические основы получения коагулянтов из цеолитов и изучение их коагулирующей способности / А. М. Баротов, Ш. А.

Ахмадов, М. З. Ахмедов**,** З. В. Кобулиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. - Т. 61. - № 2. – С. 172-175.

21-А. **Ахмедов М. З**. 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 // Известия АН Республики Таджикистан. - 2017. - № 1 (166). – С. 88-93.

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

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

24-А. **Ахмедов М. З**. Осаждение диураната аммония из десорбата / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Б. Б. Баротов, Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. - Т. 54. - № 8. – С.657-660.

25-А. **Ахмедов М. З**.Поиск и возможности переработки отходов урановой промышленности / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов / Доклады АН Республики Таджикистан. - 2011. - Т. 54. - № 10. – С. 837-840.

26-А. **Ахмедов М. З**. Умягчение жесткости вод с применением активированных бентонитовых глин / Д. Р. Рузиев, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2010. - Т. 53. - № 2. - С. 135-138.

27-А. **Ахмедов М. З**. Радиологический мониторинг северных склонов Моголтау Таджикистана / Х. Муртазаев, Б. Д. Бобоев, Ш. Болибеков, М. З. Ахмедов // Известия АН Республики Таджикистан. - 2010. - № 3 (140). – С. 107-109.

28-А. **Ахмедов М. З**. Очистка шахтных и дренажных вод от урана / Н. Хакимов, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2009. - С. 238-239.

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

30-А. **Ахмедов М. З**. Экологические проблемы радиационной опасности урановых хвостохранилищ Согдийской области Таджикистана / Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, Т. Г. Хайров [и др.] // Международная конференция «Инженерные исследования, инновации и инвестиции в области энергетики и промышленности». – Душанбе, 2023. – С. 167-173.

31-А. **Ахмедов М. З**. Оценка радоноопасности территории Таджикистана / Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, Ш. А. Рахимбердиев [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Химическая, биологическая, радиационная и ядерная безопасность: достижения, проблемы и будущие перспективы». - Гулистан, Таджикистан, 2023. - С. 41-45.

32-А. **Ахмедов М. З**. Цезий-137 в почвах города Душанбе / С. В. Муминов, Е. Ю. Малышева, М. З. Ахмедов [и др.] // Там же. – С. 60-63.

33-А. **Ахмедов М. З**. Радиационный мониторинг урановых хвостохранилищ Таджикистана / С. М. Бахронов, М. М. Хакдодов, М. З. Ахмедов [и др.] // Там же. – С. 93-96.

34-А. **Ахмедов М. З**. Нормативно-правовое сопровождение надзора за проведением реабилитационных работ загрязнённых территорий от добычи урана в республике Таджикистан / У. М. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов, И. Мирсаидзода // XXIII Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века». – Минск, 2023.

35-А. **Ахмедов М. З**. Радиационный мониторинг в Таджикистане / Е. Малышева, М. Ахмедов, Т. Г. Хайров // Республиканская научно-практическая конференция «Критические проблемы современной медицины: проблемы и решения». – Дангара, Таджикистан, 2022. – С. 421.

36-А. **Ахмедов М. З**. Проведение радонового мониторинга в некоторых районах Таджикистана / С. А. Тагаева, М. З. Ахмедов // III Международная

научно-практическая конференция «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий. – Гулистан, Республика Таджикистан, 2022. - С. 83-86.

37-А. **Ахмедов М. З**. Использование источников ионизируюшего излучения в Таджикистане / Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов, Ф. А. Назаров, Ш. Н. Ишратов, С. А. Тагаева // III Международная научно-практическая конференция «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий. – Гулистан, Республика Таджикистан, 2022. - С. 99-104.

38-А. **Ахмедов М. З**. Проблемы радиологического мониторинга урановых хвостохранилищ Таджикистана / Е. Ю. Малышева, Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, М. А. Гафуров, Н. Н. Рахматов // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технологических наук в 21 веке». – Душанбе, 2022. – С. 11-14.

39-А. **Ахмедов М. З**. Вертикальное распределение цезия-137 в почвах города Душанбе / С. В. Муминов, Е. Ю. Малышева, М. З. Ахмедов, М. Б. Гафуров, И. Мирсаидзода // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технологических наук в 21 веке». – Душанбе, 2022. – С. 38-41.

40-А. **Ахмедов М. З**. Проблемы оценки радоноопасности территории Таджикистана / М. З. Ахмедов, Е. Ю. Малышева, Х. М. Назаров [и др.] // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технологических наук в 21 веке». – Душанбе, 2022. – С. 43-46.

41-А. **Ахмедов М. З**. Активности естественных радионуклидов в почвах на территории в южной части хребта Курама / М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров, Ш. А. Рахимбердиев [и др.] // XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технологических наук в 21 веке». – Душанбе, 2022. – С. 82-86.

42-А. **Ахмедов М. З**. Качество воды реки Зеравшан на территории северного Таджикистана / М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров, А. М. Мирзоев [и др.] // Водные ресурсы, энергетика и экология. – Душанбе. - 2022. - Ч. 2. - № 2. – С. 158-161.

43-А. **Ахмедов М. З**. Методы удаления радионуклидов из дренажных вод города Истиклола / Х. М. Назаров, З. Х. Бободжанова, С. М. Садиров, И. Мирсаидзода, М. З. Ахмедов // Международная научно-практическая конференция «Водная безопасность – основа устойчивого развития». – Душанбе, 2022. - Т. 2. - № 4. – С. 162-166.

44-А. **Ахмедов М. З**. Очистка урансодержащих шахтных вод от ионов урана микрогелем / Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, Ш. Р. Муродов [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Водная безопасность – основа устойчивого развития». – Душанбе, 2022. - Т. 2. - № 4. – С. 167-172.

45-А. **Ахмедов М. З**. Радоновый мониторинг питьевых вод некоторых районов северного Таджикистана / Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, Б. Д. Бобоев [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Водная безопасность – основа устойчивого развития». – Душанбе, 2022. - Т. 2. - № 4. – С. 172-176.

46-А. **Ахмедов М. З**. Эффективность многостадийной очистки урансодержащих шахтных вод от урана и некоторых тяжёлых металлов / Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, З. Х. Бобочонова [и др.] // XVI Нумановские чтения «Достижения химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан». – Душанбе, Институт химии НАНТ, 2021. – С. 60-63.

47-А. **Ахмедов М. З**. Динамика объёмной активности радона в воздухе жилых помещений / Х. М. Назаров, Ш. Г. Шосафарова, М. З. Ахмедов [и др.] // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. – С. 243-245.

48-А. **Ахмедов М. З**. Радионуклидный мониторинг местности Сари Хосор Балджувонского района Республики Таджикистан / Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, С. В. Муминов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов // Республиканская конференция «Современные проблемы физики конденсированных состояний и ядерной физики». – Душанбе, 2020. – С. 326-328.

49-А. **Ахмедов М. З**. Радиологическая карта территорий, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, С.

М. Бахронов, М. М. Махмудова, М. З. Ахмедов // XV Нумановские чтения. – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2019. – С. 164-165.

50-А. **Ахмедов М. З**. Качество воды родников, расположенных вокруг горного массива Моголтау / Ф. И. Умаров, К. А. Эрматов, Х. М. Назаров, А. Адхамов, М. З. Ахмедов // XV Нумановские чтения. – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2019. – С. 159-162.

51-А. **Ахмедов М. З**. Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах уранового наследия северного Таджикистана / У. М. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, М. М. Махмудова, Ш. Г. Шосафарова // Международная конференция «Сахаровские чтения, 2019: Экологические проблемы 21 века». – Минск, 2019. - Ч. 1. – С. 276-279.

52-А. **Ахмедов М. З**. Нормативно-правовые особенности рекультивации территорий, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств в Таджикистане / И. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, Б. Б. Баротов [и др.] // Республиканская научно-практическая конференция - XV Нумановские чтения «Химия в решении проблем народного хозяйства». – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2019. – С. 178-180.

53-А. **Ахмедов М. З**. Извлечение уранового концентрата из различных сырьевых ресурсов Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, Н. Н. Рахматов, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан», посвящённая «Дню химика» и 80-летию со дня рождения д.т. н., профессора, академика Международной инженерной академии А. В. Вахобова. – Душанбе, 2016. – С. 226-228.

54-А. **Ахмедов М. З**. Применение активированных бентонитовых глин для умягчения сточных вод / И. У. Мирсаидв, М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров, С. В. Муминов / Там эе. – С.229-231.

55-А. **Ахмедов М. З**. Очистка урансодержащих вод с применением активированных бентонитовых глин / Д. Р. Рузиев, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов [и др.] // Международная научно-практическая конференция, посвящённая 1150-

летию учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази. – Душанбе, Институт химии АН РТ, 2015. - С. 73-74.

56-А. **Ахмедов М. З**. Физико-химические основы накопления радионуклидов в бассейне реки Сырдарьи Республики Таджикистан / И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, Х. М. Назаров // Республиканская конференция по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических, химических и медицинских объектов. – Душанбе, ТНУ, 2014. - С. 92-95.

57-А. **Ахмедов М. З**. Влияние радиоактивных хвостохранилищ уранового производства северного Таджикистана и отвалов горнодобывающей промышленности Согдийской области на здоровье населения / М. З. Ахмедов, Ф. Хамидов, С. Ф. Шарипов, Т. Сафарова // Конференция молодых ученых АН РТ. – Душанбе, 2014. - С. 65-72.

58-А. **Ахмедов М. З**. Общий радиационный фон вблизи хвостохранилищ и отвалов горнодобывающей промышленности Согдийской области / М. З. Ахмедов, К. Н. Дабуров, С. Ф. Шарипов, Т. Сафарова // IX Годичная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов ТГМУ им Абуали ибни Сино с международным участием. – Душанбе, 2014. - С. 199-205.

59-А. **Ахмедов М. З**. Умягчение сточных вод с применением активированных бентонитовых глин месторождения Шаршар / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов, Б. Бобоев // Региональная научно-практическая конференция «Вода – источник жизни». – Исфара, ФТУТ, 2013. – С. 56-59.

60-А. **Ахмедов М. З**. Определение параметров защитного покрытия хвостохранилищ радиоактивных отходов / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов // Международный семинар «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, АЯРБ АН РТ, 2012. – С. 20-24.

61-А. **Ахмедов М. З**. О возможности переработки отходов урановой промышленности Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, А. М. Баротов, М. З. Ахмедов // Международный семинар «Урановое наследие Советского Союза

в Центральной Азии: проблемы и решения». – Душанбе, АЯРБ АН РТ, 2012. - С. 43-47.

62-А. **Ахмедов М. З**. Вторичная переработка хвостов техногенного месторождения северного Таджикистана / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов // XII Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы 21 века». – Минск, Республика Беларусь, 2012. - С. 90-93.

63-А. **Ахмедов М. З**. Усовершенствование технологии получения U_3O_8 из отходов урановой промышленности / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Б. Б. Баротов, Х. М. Назаров, М. З. Ахмедов // XII Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы 21 века». – Минск, Республика Беларусь, 2012. - С. 112-114.

64-А. **Ахмедов М. З**. Карбонатное выщелачивание урановых руд месторождения «Танзим» / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов // Материалы семинаров «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». – Душанбе, 2011. – С. 27-29.

65-А. **Ахмедов М. З**. Поиск и возможности переработки хвостов техногенного месторождения «Карты 1-9» г. Чкаловска / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов // Материалы семинаров «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». – Душанбе, 2011. – С. 33-36.

66-А. **Ахмедов М. З**. Осаждение диураната аммония из десорбата / И. У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Н. Хакимов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов // Материалы семинаров «2011 год – Международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана». – Душанбе, 2011. – С. 41-45.

67-А. **Ахмедов М. З**. Мирсаидов, И. У. Поиск и возможности переработки хвостов техногенного месторождения «Карты 1-9» г. Чкаловска / И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов // Республиканская конференция молодых учёных Республики Таджикистан. – Душанбе: Дониш, 2011. - С.10-12.

68-А. **Ахмедов М. З**. Карбонатное выщелачивание урановых руд месторождения «Танзим» / И. У. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, М. З. Ахмедов // Республиканская конференция молодых учёных Республики Таджикистан. – Душанбе: Дониш, 2011. - С.13-15.

69-А. **Akhmedov M. Z.** Uranium sorption by the help of apricot shell / I. U. Mirsaidov, N. Khakimov, Kh.M. Nazarov, M. Z. Akhmedov // J. International Conference: Addressing the issues of potential terrorism and guarding against weapons of mass destruction in Central Asia. - Dushanbe, Tajikistan, 2010. - P. 80-84.

70-А. **Akhmedov M. Z.** Сорбция урана с помощью скорлупы урюка / I. U. Mirsaidov, N. Khakimov, Kh.M. Nazarov, M. Z. Akhmedov // J. International Conference: Addressing the issues of potential terrorism and guarding against weapons of mass destruction in Central Asia. - Dushanbe, Tajikistan, 2010. - C. 85-89.

71-А. **Ахмедов М. З**. Разработка технологических основ очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод от урана / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, М. З. Ахмедов [и др.] // Сборник научных трудов сотрудников Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ «Радиоэкологический мониторинг биосреды и радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе: Агентство по ядерной радиационной безопасности АН РТ, 2010. - С. 83-85.

72-А. **Ахмедов М. З**. Технология очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод / И. У. Мирсаидов, Н. Хакимов, М. З. Ахмедов [и др.] // Сборник научных трудов сотрудников Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ «Радиоэкологический мониторинг биосреды и радиационная безопасность Таджикистана». - Душанбе: Агентство по ядерной радиационной безопасности АН РТ, 2010. – С. 91-102.

73-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 678. МПК C02F1/28. Способ очистки шахтных и дренажных вод от урана / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, Н. Н. Рахматов // Заявка № 1400867 от 02.07.2014 г.; опубл. 12.03.2015 г.; Бюл. 104, 2015. – 6 с.

74-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 743. МПК C01G43/00. Способ извлечения урана из шахтных и дренажных вод / Х. М.

Назаров, У. М. Мирсаидов, Н. Хакимов, Н. Н. Рахматов, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов // Заявка № 1500938 от 13.04.2015 г.; опубл. 16.12.2015 г.; Бюл. 113, 2015. – 6 с.

75-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 801. Способ дегидратации уранильных соединений / Ф. А. Хамидов, А. Б. Бадалов, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, У. М. Мирсаидов // Приоритет изобретения от 31.08.2016.

76-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 835. МПК C02F1/28. Способ очистки урансодержащих вод / Х. М. Назаров, К. А. Эрматов, И. У. Мирсаидов, Н. Н. Рахматов, М. З. Ахмедов // Заявка № 1601080 от 05.12.2016 г.; опубл. 03.05.2017 г.; Бюл. 127, 2017. – 8 с.

77-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 949. МПК G22F9/00. Способ укрытия радиоактивных отходов / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, К. А. Эрматов // Заявка № 1701151 от 13.10.2017 г.; опубл. 13.11.2018 г. Бюл. 142, 2018. – 6 с.

78-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 2825. Метод покрытия хвостохранилищ радиоактивных отходов / Х. М. Назаров, И. У. Мирсаидов, М. З. Ахмедов, К. А. Эрматов // Приоритет изобретения от 07.11.2018.

79-А. **Ахмедов М. З**. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1277. МПК: G01T 1/167; G01N 1/28; G01N 33/18. Способ радиационного мониторинга урановых хвостохранилищ / Х. М. Назаров, С. М. Бахронов, Е. Ю. Малышева, М. З. Ахмедов, Б. Б. Баротов, С. В. Муминов, У. Мирсаидов // Заявка № 2201627 от 21.01.2022 г.; опубл. 28.06.2022 г. Бюл. 185, 2022. – 10 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор дочернего предприятия «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» ГУП «Таджредмет»
_____ Хочиев С.
«16» мая 2025 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
способа радиационного мониторинга урановых хвостохранилищ
от «15» мая 2025 года г.Бустон

Мы, нижеподписавшиеся комиссия в составе: Каюмовой Ф. – инженер-геофизика ДП «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» ГУП «Таджредмет» (председатель), члены комиссии: Эрматова К.А. – директор Филиала Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана в Согдийской области и Зиёбековой Р. – лаборантки ДП «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» ГУП «Таджредмет», рассмотрели вопрос о внедрении в производственной деятельности ДП «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» ГУП «Таджредмет» способа радиационного мониторинга урановых хвостохранилищ, разработанный сотрудниками Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана Ахмедовым М.З. и другими (малый патент №TJ 1277 зарегистрированный в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан от 28 июня 2022 года), о чем составили настоящий акт.

Решением комиссии предложенный Ахмедовым М.З. способ радиационного мониторинга урановых хвостохранилищ принят к внедрению в производственную деятельность ДП «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» (протокол №18 от 15.05.2025 года).

Указанный способ позволил рассчитывать эффективные дозы облучения и оценивать опасности радиоактивных хвостохранилищ для различных групп населения, проживающего вокруг хвостохранилищ, находящихся на балансе дочернего предприятия. Внедрение данного способа, показал свою экологическую безопасность и техническую осуществляемость.

Председатель комиссии:
Инженер-геофизик ДП «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» Ф. Каюмова

Члены комиссии:
к.т.н., директор Филиала АХБРЯБ НАНТ в Согдийской области К.Эрматов

Лаборантка ДП «Специализированный Центр обращения с радиоактивными отходами» Р. Зиёбекова

«Утверждаю»
Проректор ГОУ «Худжандский государственный университет имени академика Б.Гафуров»
д.ф.н., профессор
_____ Абдуллозода Н.А.
«27» 06 2025 г.

АКТ
о внедрении (использовании)результатов диссертационного исследования в учебный процесс

Результаты диссертационной работы докторанта Ахмедова Матина Зафарджоновича по теме: «Технологические процессы переработки урансодержащих материалов и радиационно-экологическая ситуация в Таджикистане» выполненного в научно-исследовательской лаборатории Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана внедрены и используются в учебном процессе на основании решения Учебно-методического Совета факультета «Биология и химия» (протокол №11 от «27» 06 2025 года).

Полученные материалы включены в курсы: «Химическая экология», «Химическая технология» и «Физико-химические методы исследований в органической химии» которые поспособствовали повышению уровня знаний студентов химического факультета в направлении ознакомления с современными технологическими процессами переработки урансодержащих материалов, оценки радиологической ситуации в отдельных регионах Таджикистана, а также использования современных приборов, оборудования и методов анализа химических процессов.

Эффект от внедрения (использования) научно-технических результатов исследования позволяют значительно улучшить качество подготовки специалистов по направлениям «Химия».

И.о. заведующего кафедрой органической и прикладной химии, доктор PhD — Бободжонова З.Х.

Зам. декана по учебной части факультета биологии и химии , к.п.н., доцент — Ахмедова З.С.