

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Организация радиационного контроля в нефтегазовой отрасли</b>
УДК: 539.1.074:539.163:622.276

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM03	Шумило Артем Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	В.С. Яковлева	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	О.Ю. Долматов	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b><i>Общепрофессиональные компетенции</i></b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
ПК(У) -1	Способность к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий
ПК(У)-2	Готовность применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
ПК(У)-3	Готовность разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований
ПК(У)-4	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения
ПК(У)-5	Способность к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов РФ в области ядерной и радиационной безопасности, атомной энергии
ПК(У)-6	Способность объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании
ПК(У)-8	Готовность применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач, учета неопределенностей

	при проектировании
ПК(У)-9	Способность решать задачи в области развития науки, техники и технологии с учетом нормативного правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности
ПК(У)-10	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-11	Способность к проектированию и экономическому обоснованию инновационного бизнеса, содержания, структуры и порядка разработки бизнес-плана

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись)     \_\_\_\_\_     Долматов О.Ю.  
 (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b> (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
ОАМ03	Шумило Артему Васильевичу

Тема работы:

<b>Организация радиационного контроля в нефтегазовой отрасли</b>	
Утверждена приказом директора	№ 89-35/с от 30.03.2022г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2022г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	– Литературные источники; – Обзор методов и технических средств подлежащих к применению при организации радиационного контроля в нефтегазовой отрасли; – Анализ наиболее вероятных, и подвергаемых радиоактивному загрязнению производственных процессов, а так же рисков профессионального облучения в нефтегазовой отрасли; – Эффективная удельная активность и технологии дезактивации буровых шламов.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	– Обзор литературных источников по теме исследования; – Выбор объекта исследования; – Отбор и подготовка образцов буровых шламов из мест централизованного накопления

	отходов производства НГК; – Приготовление дезактивирующих средств и осуществление мероприятий по дезактивации образцов шлама; – Измерения удельной активности основных дозообразующих гамма-излучающих ЕРН на сцинтилляционном гамма-спектрометре; – Проведение необходимых расчетов и вычислений для оценки эффективности проведенной дезактивации образцов.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация доклада
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.т.н. Передерин Ю.В.
Иностранный язык	ст. преп. ОИЯ ШБИП Утятина Я.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>1 Радиационная безопасность в НГК</b>	
<b>2 Организация радиационного контроля на объектах НГК</b>	
<b>3 Методы дезактивации</b>	
<b>4 Экспериментальная часть</b>	
<b>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	
<b>6 Социальная ответственность</b>	
<b>Заключение</b>	
<b>Приложение А</b>	
<b>Приложение Б</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	В.С. Яковлева	д.т.н.		24.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ03	Шумило Артем Васильевич		24.02.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM03	Шумило Артему Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>При проведении исследований используется методическая и материально-техническая база аккредитованного испытательного центра ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО». В исследовании задействованы 2 человека: руководитель и исполнитель. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ и ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО».</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды составляют 30 %, накладные расходы составляют 15 %.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>
2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
3. <i>Матрица SWOT</i>
4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	24.02.2022
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Т. Б. Якимова	к.э.н.		24.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0AM03	А.В. Шумило		24.02.2022

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM03	Шумило Артему Васильевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ЯТЦ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

<b>ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Организация лабораторного эксперимента по исследованию эффективности применения химически активных сред, в качестве основных дезактивирующих средств для обработки образцов буровых шламов, посредством сравнительных измерений удельных активностей основных дозообразующих гамма-излучающих ЕРН и расчетов эффективной удельной активности до и после применения процедуры дезактивации.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ; – СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. – СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) – ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. – СП 112.13330. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	– повышенный уровень ионизирующего излучения; – отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещенность рабочей зоны;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– превышение уровня шума;</li> <li>– низкая кратность воздухообмена;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитного излучения;</li> <li>– психофизиологические нагрузки;</li> <li>– поражение электрическим током.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду;</li> <li>– меры по защите окружающей среды.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– падение с высоты собственного роста;</li> <li>– удар электрическим током;</li> <li>– пожар;</li> <li>– опасные химические факторы воздействия;</li> <li>– анализ типичной ЧС - пожар на рабочем месте;</li> <li>– превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2022
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		24.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ03	Шумило Артем Васильевич		24.02.2022



**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 Уровень образования Магистратура  
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла  
 Период выполнения (весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2022г.
--	--------------

<i>Дата контроля</i>	<i>Название раздела (модуля) /вид работы (исследования)</i>	<b>Максимальный балл раздела (модуля)</b>
24.02.2022	<i>Выдача задания.</i>	
25.02.2022	<i>Изучение научно-методической литературы по организации радиационного контроля в НГК, анализ наиболее подверженных радиоактивному загрязнению объектов и производственных процессов для данной отрасли.</i>	
14.03.2022	<i>Подготовка объекта исследований к проведению испытаний и измерений.</i>	
30.05.2022	<i>Расчеты полученных результатов</i>	
10.06.2022	<i>Сдача работы.</i>	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	В.С. Яковлева	д.т.н.		24.02.2022

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 142 с., 12 рис., 31 табл., 53 источника, 2 прил.

Ключевые слова: радиационный контроль, отходы бурения НГК,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , эффективная удельная активность, гамма-спектрометрия, дозиметрия, буровой шлам, природные гамма-излучающие радионуклиды, рассеянные и редкоземельные радиоактивные элементы.

Объектом исследования ВКР являются анализ современных методов, и приборно-технического оснащения, в рамках организации производственного радиационного контроля и противорадиационной защиты в нефтегазовой отрасли, с выполнением экспериментальных исследований по дезактивации образцов буровых шламов.

Цель работы – выявить основные процессы сопутствующие образованию радиационных аномалий, связанных с добычей и эксплуатацией нефтегазовых промыслов.

В процессе исследования проводились внутрилабораторные эксперименты по эффективности применения химически активных реагентов и их дезактивационных свойств, на образцах буровых шламов методом гамма-спектрометрического анализа ЕРН.

В результате отражены современные методы и средства измерений, для организации инструментального радиационного контроля, в рамках обеспечения радиационной безопасности на объектах нефтегазодобывающей отрасли, проведена научно-исследовательская работа по анализу эффективности применения реагентов на основе сильных кислот и насыщенных щелочей в качестве средств-дезактиваторов, по отношению к образцам отходов бурения нефтегазовых скважин.

Степень внедрения: высокая, результаты проекта могут использоваться в экспериментальных разработках технологических процессов и создания инновационных рецептур смесей жидких дезактиваторов для технологий по

обезвреживанию и дезактивации минеральных отходов производства недропользования содержащих природные радионуклиды.

Область применения: радиационная безопасность производственных процессов, геология и геофизика, радиационная экология по отраслям.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности пересмотра национальных стандартов по включению отходов минерального происхождения во вторичное использование в качестве строительных материалов различного назначения, и методов химического извлечения солей изотопов радия с нефтепромыслового оборудования для медицинского и промышленного применения.

В будущем планируются экспериментальные исследования физических (неразрушающих) методов объемной дезактивации (очистки) минеральных отходов.

## **Перечень определений:**

НГК – Нефтегазодобывающий комплекс

СРБ – Службы радиационной безопасности

ЛРК – Лаборатория радиационного контроля

РВ – Радиоактивные вещества

РАО – Радиоактивные отходы

МЭД (МАЭД) – Мощность (амбиентного) эквивалент(а)ной дозы

ИИИ – Источники ионизирующих излучений

ЕРН – Естественные радионуклиды

ТРН – Техногенные радионуклиды

ИДК – Индивидуальный дозиметрический контроль

СИЗ – Средства индивидуальной защиты

ЛНК – Лаборатория неразрушающего контроля

ЯВУ – Ядерное взрывное устройство

ПЯВ – Промышленный ядерный взрыв

РК – Радиационный контроль

НРБ – Нормы радиационной безопасности

БШ (буровой шлам) – Отход бурения нефтяных и газовых скважин

О(У)А – Объемная (удельная) активность

ГИС – Геофизические исследования скважин

ЯФМ – Ядерно-физические методы (в ГИС)

МЗА – Минимально значимая активность

РВС – Резервуар вертикальный стальной

ИБД – Интеллектуальные блоки детектирования

Радиобарит – минерал, радиоактивная разность барита, радиоактивностью  $1,16 \cdot 10^{-7} {}^{226}\text{Ra}$  на 1 грамм  $\text{BaSO}_4$ , встречается в виде «желтых табличек» ромбического сечения, или в виде красно-бурых кристалликов.

Радиокальцит – минерал, аналогичен генезису радиобарита, разновидность радийсодержащего кальцита.

## Содержание

Введение.....	16
1 Радиационная безопасность в НГК .....	18
1.1 Естественные радионуклиды в НГК .....	21
1.2 Техногенные радионуклиды в НГК.....	23
1.3 Образование радиоактивных отходов в НГК.....	24
1.4 Эффективная удельная активность ЕРН в отходах НГК .....	26
2 Организация радиационного контроля на объектах НГК.....	30
2.1 Объекты контроля .....	30
2.2 Контролируемые величины и нормы .....	31
2.3 Приборно-техническое и методическое обеспечение.....	32
2.4 Дозиметрический контроль.....	34
2.5 Радиометрические и спектрометрические методы.....	35
3 Процедура дезактивации .....	38
3.1 Химическая дезактивация отходов .....	39
3.2 Физическая и механическая дезактивация отходов .....	40
3.3 Эффективность и коэффициент дезактивации.....	41
4 Экспериментальная часть.....	44
4.1 Отбор образцов и подготовка представительной пробы .....	44
4.2 Описание метода эксперимента.....	46
4.3 Гамма-спектрометрический анализ ЕРН в образцах.....	50
4.4 Результаты исследований по эффективности дезактивации буровых отходов .....	57
4.4.1 Дезактивация образцов реагентами концентрированных кислот .....	57
4.4.2 Дезактивация образцов реагентами щелочей.....	60
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 65	
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	66
5.2 Анализ конкурентных технических решений.....	67
5.3 SWOT-анализ.....	69
5.4 Разработка устава научно-технического проекта.....	72

5.5 Планирование процесса управления научно-исследовательской работы.	74
5.5.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	74
5.5.2 Бюджет научного исследования .....	77
5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	85
6 Социальная ответственность .....	89
6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства .....	90
6.1.2 Организационно-технические мероприятия .....	92
6.2 Производственная безопасность.....	93
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте при проведении исследований .....	93
6.2.2 Микроклимат .....	94
6.2.3 Параметры шума и вибрации.....	95
6.2.4 Освещение.....	96
6.2.5 Электромагнитные поля (ЭМП) .....	98
6.2.6 Источники ИИ, и факторы химического воздействия .....	99
6.2.7 Поражение электрическим током.....	100
6.2.8 Психофизиологические нагрузки .....	103
6.3 Экологическая безопасность.....	104
6.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду .....	104
6.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	105
6.4 Пожаровзрывобезопасность.....	107
6.5 Безопасность в чрезвычайных и аварийных ситуациях .....	108
6.5.1 Анализ вероятных ЧС и производственных травм при реализации процесса проводимых исследований .....	108
6.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС .....	111
Заключение .....	114
Список публикаций.....	117

Список используемых источников.....	118
Приложение А .....	123
Приложение Б.....	125

## Введение

Основные процессы по разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений связаны с сопутствующим извлечением на дневную поверхность естественных радионуклидов, наиболее характерными представителями которых, являются изотопы:  $^{226}\text{Ra}$  (продукт распада  $^{238}\text{U}$ ),  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ . В отдельных регионах этот род деятельности связан также и с техногенными радионуклидами  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  — продуктами деления ядер оружейного  $^{239}\text{Pu}$ , впоследствии реализации советской атомной программы «мирных ядерных испытаний в народном хозяйстве», с целью интенсификации добычи в нефтегазоносных формациях, и глубинного сейсмического зондирования пластов.

В частности, на территории Западно-Сибирского приполярья - в ХМАО-Югре с октября 1978 по сентябрь 1985 г.г., было проведено - 5 ПЯВ, и на территории Ямало-Ненецкого автономного округа с августа 1974, по август 1988 г.г., - 2 скважинных подрыва ЯВУ.

Влияние радиоактивности и изотопного состава как ЕРН, так и ТРН на персонал нефтегазовой отрасли, а также население и геосистемы, создают неблагоприятную радиационную обстановку, при которой потребуются меры противорадиационной защиты. Для оценки воздействия подобных последствий необходима организация производственного радиационного контроля, с последующей дезактивацией образующихся побочных продуктов деятельности НГК [1].

Таким образом, концепция обеспечения радиационной безопасности в нефтегазовой отрасли, является чрезвычайно актуальной и будет обостряться в долгосрочной перспективе, в связи с нарастающими объемами добычи углеводородных топлив.

Решение данной проблемы позволит эффективно предупреждать и ограничивать неконтролируемое радиоактивное загрязнение [2] окружающей



среды, технологического и промышленного оборудования в производственных процессах НГК, обеспечивая защиту персонала и населения.

Цель: изучить наиболее вероятные процессы образования радиационно-опасных факторов в производственных процессах нефтегазовой отрасли, отметить наиболее оптимальные методические и технические средства для осуществления производственного радиационного контроля и мероприятий противорадиационной защиты, на примере исследований эффективности применения химически активных реагентов в рамках лабораторного эксперимента по дезактивации отходов бурения нефтегазовых скважин.

Для достижения поставленных в эксперименте результатов исследований обозначены следующие основные задачи:

1. Изучить природу формирования неблагоприятной радиационной обстановки, с учетом особенностей производственных процессов, эксплуатации промышленного оборудования на предприятиях НГК.

2. Изучить научно-методическую литературу по современным методам и приборам радиационного контроля, а так же действующей нормативной базы по обеспечению радиационной безопасности на объектах НГК.

3. Организовать эксперимент по исследованиям эффективности применения физико-химических методов дезактивации отходов бурения НГК в рамках научно-исследовательского опыта.

4. Определить эффективность применения использованных средств дезактивации.

5. Провести анализ полученных результатов и сформулировать выводы.

## 1 Радиационная безопасность в НГК

Особенности образования радиационных аномалий в НГК, определяющих основную радиационную нагрузку на геосистемы, и дозовый вклад в облучение персонала и населения, определяется образованием высокоактивных твердых и жидких минеральных отходов в виде шламов [1], содержащих природные изотопы  $^{226, 228, 224}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{222, 220}\text{Ra}$ .

Радиационные риски и специфика образования таких аномалий, обусловлена рядом технологических процессов характерных для данной отрасли [1], таких как бурение промысловых и разведывательных скважин в геологии и геофизике, с образованием минеральных солеотложений на стенках труб промыслового оборудования и накопления радиотоксичных отходов образующихся в процессе добычи углеводородных энергоносителей.

В результате перечисленных процессов, происходит неконтролируемое перераспределение ЕРН в геологических формациях, с их активной миграцией и концентрированием в верхних слоях земной коры [2].

К потенциальным источникам производственного облучения работников организаций нефтегазовой отрасли являются:

- 1) Промысловые воды, содержащие природные радионуклиды;
- 2) Загрязненные природными радионуклидами территории (отдельные участки территорий) нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятий;
- 3) Отложения солей с высоким содержанием природных радионуклидов на технологическом оборудовании и поверхностях производственных помещений;
- 4) Загрязненные природными радионуклидами транспортные средства и технологическое оборудование, направляемое в ремонт и в места их временного скопления;
- 5) Технологические процессы, в результате которых в воздух рабочих помещений могут интенсивно поступать изотопы радона  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{220}\text{Rn}$ , а также

образующиеся из них короткоживущие дочерние продукты (очистка буллитов и РВС, ремонт технологического оборудования и др.);

б) Производственная пыль с высоким содержанием природных радионуклидов в воздухе рабочей зоны (резка труб и другого промышленного оборудования);

7) Производственные отходы с аномально повышенным содержанием природных радионуклидов.

Так же в ряде случаев источником внешнего облучения могут оказаться, используемые баллоны со сжиженным природным газом, с высокими концентрациями в нём радона, где источниками гамма-излучения становятся дочерние продукты его распада -  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  [3]. Следовательно, основными задачами обеспечения радиационной безопасности персонала в нефтегазовом комплексе, а так же ограничения облучения населения проживающего в зоне воздействия промыслов является: — контроль за поступлением, условиям сбора и временного хранения, а так же транспортировки и захоронения буровых шламов.

Дозы облучения населения за счет деятельности предприятий НГК, зависят от доступности и длительности контакта с отходами, их удельной активности и интенсивности их поступления в среду обитания.

Основная суммарная эффективная доза производственного облучения персонала нефтегазовой отрасли, формируется за счет внешнего гамма-излучения от ЕРН, внутреннего облучения от ингаляционного поступления изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов, радионуклидов с производственной пылью, водой и пищей, а так же при попадании на кожу.

Индивидуальная годовая эффективная доза облучения персонала организаций НГК не должна превышать 5 мЗв/год [4]. Если работники получают дозу облучения более 1 мЗв/год, то они относятся к лицам, подвергающимся повышенному производственному облучению природными источниками излучения. Если индивидуальные годовые эффективные дозы облучения всех работников организации не превышают 1 мЗв/год, то

дальнейший радиационный контроль на предприятии не является обязательным.

Так же радиационный контроль становится не обязательным, если по результатам первичного обследования эффективная удельная активность ЕРН в производственных отходах не превысила 1,5 кБк/кг. Однако при существенном изменении характеристик технологических процессов, которые могут привести к увеличению уровней облучения персонала, следует провести их повторное обследование.

Для работников, дозы облучения которых находятся в пределах от 1 до 2 мЗв/год, устанавливается периодический радиационный контроль рабочих мест с наибольшими рисками профессионального облучения.

Если индивидуальные годовые эффективные дозы облучения работников превышают 2 мЗв/год, но не превышают 5 мЗв/год, для них устанавливается постоянный радиационный контроль, и осуществляются мероприятия по снижению доз облучения.

При обнаружении превышения индивидуального облучения персонала естественными ИИ в 5 и более, мЗв/год руководитель организации должен принять все необходимые меры по снижению облучения персонала.

При невозможности оперативного снижения уровней облучения персонала, ниже установленного норматива, допускается временно приравнять соответствующих сотрудников организаций по условиям труда к персоналу «группы-А», работающему с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Если по результатам радиационного контроля установлено, что на предприятии имеются или образуются производственные отходы II категории или выше, то на предприятии разрабатывается порядок и меры обращения с отходами, содержащими повышенные удельные активности природных радионуклидов. В соответствующих документах на отходы устанавливаются условия и способы их сбора, хранения, обезвреживания, транспортировки и

захоронения, оформляются паспорта у природоохранных территориальных ведомств «Росприроднадзора» и местных структур «Роспотребнадзора».

Радиационная безопасность населения при обращении с производственными отходами предприятий НГК оценивается по значению годовой эффективной дозы облучения критической группы населения. Группа должна состоять не менее чем из 10 человек и быть однородна по одному или нескольким признакам — полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания.

Ежегодное ведение радиационно-гигиенических паспортов организаций нефтегазовой отрасли по типовым формам, утвержденным в установленном порядке, является обязательным условием для организаций нефтегазодобывающего сектора промышленности, на которых имеются или образуются в процессе их деятельности производственные отходы III категории [5].

### **1.1 Естественные радионуклиды в НКГ**

В процессе бурения нефтегазовых скважин, выбуренная порода непрерывно удаляется из-под долота бурового инструмента, за счет циркуляции бурового раствора и промывочной жидкости. Таким образом, геологическая среда, становится выбуренной породой и переходит в разряд специфичных минеральных отходов – буровых шламов. Также при бурении скважин образуются отработанные буровые растворы и буровые сточные воды, которые в процессе контакта с геологической средой могут подвергаться загрязнению ЕРН. При этом следует иметь в виду, что в течение десятков лет эти отходы сливаются в амбары-накопители вместе с другими технологическими отходами и объемы их составляют сотни тысяч кубических метров.

В донных отложениях всех шламовых амбаров могут осаждаться долгоживущие, альфа-активные изотопы радиевых и ториевых радиоактивных рядов. [6] Радий – элемент весьма подвижный, что объясняется его положением

в кристаллической решетке урановых минералов, образуясь в результате трех актов альфа-распада изотопа  $^{238}\text{U}$ , с испусканием гамма-квантов различных энергий.

Изотопы радия - находятся не в узлах кристаллической решетки на месте распавшегося урана, а в межузловых промежутках кристалла. Он легко попадает в поры, трещины и иные регрессии кристалла, и как следствие выщелачивается водой или технологическими растворами.

Выщелачивание радия и его дочерних изотопов Th(X), Ac(X), и (Ms)Th приводит к обогащению радием грунтовых вод, но чаще всего вод нефтяных месторождений. В особых геохимических условиях, растворенные изотопы радия адсорбируются и могут образовывать специфичные минералы, не содержащие в своем составе изотопов урана, такие как: радиокальцит – Ca (Ra)  $\text{CO}_3$ ; и радиобарит – Ba (Ra)  $\text{SO}_4$  [7].

В настоящий момент нормативная база обеспечения радиационной безопасности, и организации РК в нефтегазовой отрасли, имеет весьма обобщенный характер, без учета геологических, геохимических и производственных особенностей потенциальной радиационной угрозы и радионуклидного вмешательства, исходя из конкретных индивидуальных особенностей на нефтепромыслах. Так же отсутствует ряд необходимых документов, по обеспечению методик выполнения радиационного контроля и методов выполнения измерений.

Необходимость глубокого изучения процессов и технологий переработки производственных отходов, в целях их дальнейшего репроизводства, особенно важно для объектов недропользования.

Проблемы дезактивации радиоактивных отходов в нефтегазовой отрасли, приобретают исключительное значение, и требует рассмотрения на международном и государственном уровне. Вопросы организации радиационной безопасности интенсивно обсуждаются в последние годы в работах как отечественных, так и зарубежных исследователей.

## 1.2 Техногенные радионуклиды в НГК

Наличие ТРН в нефтегазовом комплексе может быть обусловлено рядом таких факторов как:

1. Применение ЯВУ в программе «мирных ядерных подземных испытаний» для увеличения объемов нефтеотдачи с целью интенсификации добычи в нефтегазоносных формациях и глубинного сейсмического зондирования пластов разрабатываемых месторождений.

2. Использование промышленных источников ионизирующих излучений при ядерно-геофизических, радиационно-каротажных работах геологоразведочных экспедиций.

3. В лабораториях неразрушающего (радиационного) контроля сварки, при строительстве нефтяных и газовых магистральных трубопроводов, различных узлов и технологических каскадов нефте-, и газо-перерабатывающей отрасли.

Для оценки воздействия ТРН стоит привести пример изученных последствий на нефтепромыслах СССР с применением промышленных ядерно-взрывных технологий, где УА  $^{137}\text{Cs}$  в грунтах прилегающих территорий достигает значений до 250 кБк/кг, что превосходит уровни отнесения таких грунтов к РАО. При этом МЭД гамма-излучения на этих территориях достигает 120 мкЗв/час. Следует отметить, что применение ядерных взрывных технологий в НГК имели статус радиационных инцидентов приравненных к авариям и катастрофам техногенного характера.

Опубликованная информация об уровнях активности, и радионуклидном составе, а так же конфигурации и размерах сформированных взрывами подземных полостей, в настоящий момент остается секретной. Основными долгоживущими радиоактивными продуктами в последствии применения ядерной программы по сейсмической разведке и интенсификации отдачи нефтегазоносных пластов, являются замещаемые в биологических тканях –  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{238+239+240+241}\text{Pu}$ , короткоживущие изотопы - I, и сверхподвижный  $^3\text{H}$ .

Повсеместно в местах проведения ядерных испытаний обнаружены изотопы продуктов деления и термоядерного синтеза вблизи локаций боевых скважин. Потоки грунтовых вод, перемещающихся по зонам глубинных разломов в областях, где проводились ядерные взрывы способствуют интенсивному выносу и перераспределению радиоактивных изотопов. Проблема заключается в том, что легкие изотопы в таких условиях могут мигрировать на сотни километров от области взрыва.

Следует отметить, что радиоактивное загрязнение долгоживущими радионуклидами  $^{129}\text{I}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{14}\text{C}$  останется в местах проведения «мирных» ядерных испытаний практически навсегда [2]. Обрыв и утеря закрытых геофизических ИИИ как правило не влекут столь масштабных и опасных процессов. В случае отсутствия возможности подъема закрытого радионуклидного источника из исследовательских (геофизических) скважин, последняя консервируется на неопределенный срок с указанием причины и сроками консервации, установленным знаком радиационной опасности на тумбе изголовья скважины, с информацией о радионуклидном составе и удельной активности утерянного источника.

### **1.3 Образование радиоактивных отходов в НГК**

Отходы производства и потребления нефтегазовой промышленности, код ФККО – 29112000000 – «Шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного (попутного) газа и газового конденсата» [9], относятся к весьма специфичным отходам по своему происхождению, для рассматриваемого вида производства, и представляют особый интерес для контроля в области радиационной безопасности, в связи с их минеральным происхождением.

В процессе промыслового бурения скважин, при разведке и эксплуатации нефтегазовых месторождений, на забое образуется измельченная горная порода, которая с промывочной жидкостью (буровым раствором)



выносятся на поверхность. Под действием техногенных факторов она превращается в буровой шлам.

За счет разуплотнения частиц шлама, трещиноватости горных пород, набухания глинистых частиц, слагающих буровой шлам и горную породу, и ряда других факторов объем твердой части бурового шлама существенно больше объема выбуренной породы.

Минералогический состав бурового шлама, определяется литологическим составом разбуриваемых пород и бурового раствора (в большинстве случаев это известняки, песчаники, суглинки и другие осадочные породы), и зависит от глубины скважины. Химический состав также зависит от состава горной породы и промывочной жидкости [10].

Буровые шламы – по своему составу представляют собой сложную физико-химическую субстанцию из выбуренной породы в связке с активными веществами буровых растворов и флюидов. Своей радиоактивностью могут отличаться в широких диапазонах, в зависимости от геохимии и литосферного строения нефтегазоносных провинций, обогащенные дочерними продуктами распада тяжелых ядер радионуклидов уранового и ториевого семейств, и радиоактивного изотопа калия -  $^{40}\text{K}$ .

По действующему законодательству РФ отходы НГК, относятся к 4-классу опасности. Это означает, что вещества оказывают относительно небольшое воздействие на окружающую среду, а экологическая система может восстановиться в среднем за три года. Но при отсутствии мер по контролю за факторами радиологических показателей, значительно ухудшается радиоэкологическая обстановка в районах деятельности нефтепромыслов, и возможны негативные радиационные последствия для жителей ближайших населенных пунктов.

Радионуклиды попадают в буровые отходы с пластовыми водами при транспортировке и переработке нефти, которые впоследствии необходимо обезвреживать. Образующийся радиоактивный шлам, солеотложения с оборудования, и загрязненная почва – могут являться радиоактивным отходом,

и как следствие должны строго выполняться меры по радиационной безопасности при обращении с производственными отходами НГК, их сборе, хранении, транспортировке и захоронению [11].

Исследования по вопросам радиационной безопасности работников НГК и населения в локациях расположения нефтегазодобывающих промыслов, проводятся крайне не охотно и редко, так как это затрагивает интересы нефте(газо)добывающих компаний в финансовой части их деятельности, а выявленные нарушения влекут за собой административную ответственность, как правило с высокими штрафами, и на дезактивацию отходов нефтегазовой отрасли с привлечением специализированных структур так же потребуются значительные расходы.

#### **1.4 Эффективная удельная активность ЕРН в отходах НГК**

Впервые понятие «эффективная удельная активность ЕРН» (далее  $A_{эфф}$ ) было введено Крисюком Э.М. для характеристики содержания и активности природных радионуклидов в строительном сырье и материалах, при разработке радиационно-гигиенических нормативов по показателям их безопасности.

Именно по этой причине после формулы для расчета  $A_{эфф}$  и было введено условие «эффективной удельной активности» природных радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами своих рядов. В [3] для производственных отходов нефтегазовой отрасли, а в последующем и в [5] для производственных отходов содержащих ЕРН в качестве критерия их оценки так же была принята величина  $A_{эфф}$  ЕРН.

$A_{эфф}$  – является интегральной характеристикой для основных гамма-излучающих ЕРН, содержащихся в отходах производства нефтегазовой отрасли. В зависимости от значения  $A_{эфф}$  были установлены три категории производственных отходов с граничными значениями от их  $A_{эфф}$  по мощности дозы гамма-излучения на поверхности открытых шламовых накопителей (табл.1).

Таблица 1 – Категории производственных отходов минерального происхождения

Категория отходов	$A_{эфф}$ , кБк/кг	*МД $\gamma$ - излучения, мкГр/час
I категория	менее 1.5	менее 0,7
II категория	свыше 1.5 до 10.0	свыше 0,7 до 4,4
III категория	более 10.0	свыше 4,4

\*Примечание – МД  $\gamma$ -излучения измеряется на расстоянии 0,1 м от поверхности отходов.

На основе данных радиохимических и гамма-спектрометрических методов анализа было установлено, что в процессе радиоактивного распада материнских ядер элементов урана и тория, образуются десятки дочерних радиоактивных изотопов, наличие которых и будет обусловлена радиоактивность буровых шламов. Этот процесс завершается образованием стабильных изотопов свинца, длительность этих процессов (период полураспада) составляет для  $^{226}\text{Ra}$  - 1600 лет, а для  $^{232}\text{Th}$  -  $14 \cdot 10^9$  лет.

$A_{эфф}$  в наиболее общем случае рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = \sum_{U^{238}+U^{235}} k_i * A_i + \sum_{Th^{232}} k_i * A_i + A_{K^{40}} * \sum_{K^{40}} k_i \quad (1)$$

где суммирование происходит по всем гамма-излучающим радионуклидам природных рядов урана и тория, а также изотопа -  $^{40}\text{K}$ .

Коэффициент  $k_i$  учитывает относительный вклад гамма-излучения каждого из радионуклидов на внешнее излучение среды, в расчете на единицу активности  $i$ -того радионуклида. При этом поглощенная мощность дозы гамма-излучения на поверхности полубесконечного пространства среды с эффективной удельной активностью  $E_{PH}$  равномерно распределенных в матрице, определяется соотношением:

$$P = d \cdot A_{эфф} \quad (2)$$

где значение коэффициента  $d$  зависит от единиц измерений мощности дозы гамма-излучения и параметров  $A_{эфф}$ .

Для коэффициента  $d$  мы получили  $d \sim 50$  (нГр/ч)/(Бк/кг), который использовался для установления критериев первичной оценки категории промышленных отходов по мощности дозы гамма-излучения на их поверхности.

В условиях, когда радионуклиды в рядах урана и тория находятся в радиоактивном равновесии, формула (1) приобретает традиционный вид:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1.3A_{\text{Th}} + 0.085A_{\text{K}} \quad (\text{Бк/кг}) \quad (3)$$

где  $A_{\text{Ra}}$  и  $A_{\text{Th}}$  - удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами рядов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  соответственно, и  $A_{\text{K}}$  - удельная активность радиоизотопа  $^{40}\text{K}$ , (Бк/кг).

При отсутствии радиоактивного равновесия на результат измерений влияет возраст отходов, и формула для расчета  $A_{\text{эфф}}$  принимает вид:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}}^{226} + 1.3kA_{\text{Ra}}^{228} + 0.085A_{\text{K}}^{40} \quad (4)$$

здесь  $A_{\text{Ra}}^{228}$  — удельная активность  $^{228}\text{Ra}$  в отходах (Бк/кг), а численное значение коэффициента  $k$  сведено в таблицу № 2 [12].

Таблица 2 – Численное значение коэффициента  $k$

№ п/п	Возраст отходов	Коэффициент $k$ , отн. ед
1	менее 100 дней	0,6
2	от 100 дней до 2 лет	0,7
3	от 2 до 5 лет	0,9
4	от 5 до 10 лет	1,0
5	более 10 лет	1,3

При выявлении в отходах техногенного изотопа  $^{137}\text{Cs}$ ,  $A_{\text{эфф}}$  определяется по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}}^{226} + 1.3A_{\text{Th}}^{232} + 0.32A_{\text{Cs}}^{137} \quad (5)$$

где  $A_{Cs^{137}}$  – измеренная активность радиоизотопа цезия-137, умноженная на соответствующий для него коэффициент.

Расчет абсолютной погрешности измерений УА –  $\Delta$ :

$$\Delta = \sqrt{\Delta^2 Ra + 1,7\Delta^2 Th + 0,008\Delta^2 K} \quad (6)$$

где  $\Delta$  — абсолютная погрешность результата измерения Бк/кг;

$$A_{эффМ} = A_{эфф} + \Delta \quad (7)$$

где  $A_{эффМ}$  —  $A_{эфф}$  исследуемого материала [13].

## **2 Организация радиационного контроля на объектах НГК**

Производственный (промышленный) радиационный контроль – это контроль, за соблюдением дозовой нагрузки от воздействия источников ионизирующего излучения на персонал, осуществляющий любую деятельность в рамках существующих установленных процессов, согласно направления деятельности объекта и используемых технологий для рассматриваемого производства в конкретном случае. Процедуры РК включают разделы таких научно-прикладных дисциплин как:

- Ядерная и радиационная физика;
- Физика атомного ядра;
- Физическая и биологическая дозиметрия;
- Радиационная химия и экология;
- Прикладная радиометрия;
- Спектрометрия ядерных излучений.

Цель производственного радиационного контроля определяется обеспечением требований норм и правил статьи 11 ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 N 3-ФЗ

РК предназначен - для получения оперативной информации о радиационной обстановке, и ее изменениях на промышленных объектах с вероятной мерой радиационного риска, связанной косвенно, либо напрямую с использованием ИИИ, готовой продукцией и образующимися в ходе производства отходами.

### **2.1 Объекты контроля**

Производственный радиационный контроль в НГК условно делят на дозиметрический и радиометрический. Обязательными объектами дозиметрического контроля в НГК являются:

- Измерения МЭД в контрольных точках;
- Дозиметрический контроль рабочих помещений;
- Дозиметрический контроль демонтированного оборудования;
- Дозиметрический контроль территории и грунта;
- Дозиметрический контроль производственных отходов;
- Индивидуальный дозиметрический контроль.

Контролируемые параметры радиометрического контроля включают в себя:

- Твердые отходы – шламы, зола, солевые отложения, грунт;
- Жидкие отходы – пластовые воды и промышленные стоки, включая отходы после проведения мероприятий по дезактивации, а так же конечные жидкие отходы перед закачкой в коллектор;
- Уровни загрязнения  $\alpha$ - и  $\beta$ -активными радионуклидами поверхностей и узлов промышленного оборудования на производственных площадках и рабочих помещений, автотранспорта, спецодежды и кожных покровов персонала, а также в случае необходимости мест их проживания;
- Измерения ОА природного газа и воздуха рабочих помещений в местах длительного пребывания людей, а также атмосферного воздуха при ветровом переносе естественных и искусственных радионуклидов из мест производства добычи.

## 2.2 Контролируемые величины и нормы

Основным элементом радиоактивного загрязнения промышленных объектов в нефтегазовой отрасли являются пластовые воды, извлекающие вместе с твердыми отходами в процессе бурения разведывательных и промышленных скважин на поверхность ЕРН:

- $^{226}\text{Ra}$  - из ряда  $^{238}\text{U}$ ;
- $^{224+228}\text{Ra}$  из цепочки распада  $^{232}\text{Th}$ .

Также пластовая вода легко переносит на поверхность изотоп -  $^{210}\text{Pb}$ , без материнского носителя. Следовательно, и контроль за активностью радиоактивного свинца, в местах его концентрирования должен выполняться отдельно, по специально разработанной методике.

Вспомогательным инструментом для контроля радиационных параметров, могут служить прямые измерения мощности дозы гамма-излучения на поверхности накопителя отходов. Определенной оперативной дозиметрической нормы, ответственной за параметры радиационной безопасности отходов НГК не существует, контрольный уровень должен устанавливаться на основе индивидуального и консервативного обоснования по согласованию с региональными государственными органами санэпиднадзора и недропользования.

В [3] и [5] указан уровень мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности шламонакопителя равной 0,7 мкЗв/час, соответствующей верхней границы  $A_{\text{эфф}}$  для отходов I-категории равной 1,5 кБк/кг. Данная величина не ограничивает контрольный уровень гарантированной радиационной безопасности. Установленный для промышленных отходов и грунта контрольный уровень МЭД равен 1 мкЗв/час, ниже которого гамма-излучающие радионуклиды в отходах неизвестного состава не считаются радиоактивными [4].

### **2.3 Приборно-техническое и методическое обеспечение**

Приборы, применяемые в процессе радиационного контроля, условно разделяют на:

- индикаторы ионизирующего излучения;
- индивидуальные дозиметры;
- стационарные радиационные анализаторы;
- портативные (поисковые) радиационные мониторы.



Программа испытаний и применяемые для измерений приборно-технические средства для радиационного мониторинга зависят от сферы деятельности и радиационной обстановки на предприятии.

Приборы для мониторинга радиационной обстановки бывают дозиметрические, радиометрические, спектрометрические, сигнализаторы и многоцелевые универсальные приборы детектирования широкого спектра радиационных параметров:

- Мощности дозы полей ионизирующих излучений (поглощенной Гр/с(час), эквивалентной (индивидуальных эквивалентных доз) Зв/с(час), экспозиционной (Кл/кг или Рентген/час).

- Детекторы корпускулярных (заряженных, и не заряженных - косвенно ионизирующих) частиц, флюенса (част/см<sup>2</sup> или м<sup>-2</sup>) и плотности их потока (част/мин·см<sup>2</sup>).

Измерители активности по видам излучения (скорости счета) с загрязненных поверхностей или в объемах различных агрегатных сред (Бк/м<sup>2</sup>, Бк/м<sup>3</sup>, Бк/л или Бк/кг).

В названии любого прибора первые три буквы несут информацию о его назначении, остальные же знаки – о предприятии изготовителе, и номере разработки. Расшифровка первых букв названия для наиболее распространенных приборов представлена в таблице - 3

Таблица 3. – Буквенное обозначение шифра названия прибора по его назначению [14].

Первая буква		Вторая буква		Третья буква	
<b>Д</b>	дозиметры	<b>Р</b>	мощность экспозиционной дозы	<b>Б</b>	бета-излучение
<b>Р</b>	радиометры	<b>Б</b>	мощность эквивалентной дозы	<b>Г</b>	гамма-излучение
<b>С</b>	спектрометры	<b>У</b>	удельная активность Р/Н	<b>Д</b>	рентгеновское-излучение
<b>М</b>	комбинирован	<b>К</b>	две и более физ. величины	<b>С</b>	смешанное излучение

Все применяемые приборы, должны проходить государственные испытания с целью утверждения типа средств измерений. Портативные радиационные мониторы применяются для поиска, локализации и идентификации (в спектральном режиме) источников излучения, обследования помещений, участков на местности, технологических и промышленных установок, автотранспорта и т.д. [2].

## **2.4 Дозиметрический контроль**

Основной операционной дозиметрической характеристикой являются измерения мощности дозы гамма-излучения на рабочих местах, производственных площадках и помещениях, с частотой проведения контроля перед началом, и по окончании работ в условиях предполагаемого радиационного воздействия на персонал. Оперативный контроль МД гамма-излучения рекомендуется производить дозиметрами с детектирующим элементом сцинтилляционного типа, в связи с его высокой чувствительностью и откликом на гамма-излучение. Так же рекомендованы к применению дозиметры типа ДКГ-АТ2140, МКС-АТ6130 и поисковые радиометры с торцевыми счетчиками. Индивидуальные дозы облучения работников нефтегазовых промыслов, определяются с использованием высокочувствительных индивидуальных дозиметров типа ДКГ-РМ1621 или похожими устройствами, а также расчетными методами.

Для осуществления дозиметрического контроля на обследуемых объектах были использованы следующие СИ:

- для поиска, локализации ИИИ (по видам излучения) измерения МД рентгеновского-, и гамма-излучения на промышленных площадках, селитебной (рекреационной) зоны, а так же помещений производственного и бытового назначения [5]:

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с ИБД:

- БДПА-01 – плотности потока и флюенс  $\alpha$ -частиц;
- БДПБ-01 – плотности потока и флюенс  $\beta$ -частиц;
- БДКГ-04 – поиск/локализация и МД  $\gamma$ -излучения [15].



Рисунок 1 – Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М

## 2.5 Радиометрические и спектрометрические методы

Радиометрическому контролю в НГК подлежат: - твердые, сыпучие, вязкие и жидкие отходы производства на всех этапах обращения с ними.

Важной и неотъемлемой частью при радиометрических методах исследований является отбор представительных образцов отходов и выделению из них аликвот счетных образцов, для измерения их удельных и объемных активностей. Для проведения радиометрических исследований необходимо установить:

1. Организацию пробоотбора для разных типов отходов;
2. Методы приготовления счетных образцов из представительных проб (нативные, физические, радиохимические и т.д.);
3. Контролируемые показатели, контрольные уровни;
4. Виды измерений в соответствии с методами пробоподготовки, контролируемых характеристик (спектра по энергии, геометрии образцов, счетных и характеристик) и расчета  $A_{эфф}$ .
5. Оценка приборной способности вклада в диапазон контрольных показателей;
6. Методы оценки неопределенности контроля критериев соответствия отходов установленным нормам.

При контроле необходимо обеспечить определение  $A_{эфф}$  отходов с суммарной неопределенностью не более 20% ( $P=0,95$ ) для значений  $A_{эфф}$  выше 10 Бк/кг [3].

В данной работе измерения гамма-излучающих ЕРН проводились с использованием спектрометрического комплекса «ПРОГРЕСС-АР-Б-Г», далее приведены его основные характеристики:

- Прибор входит в государственный реестр средств измерений РФ под номером 15235-01, так же данный прибор имеет действующую ежегодную поверку;
- Прибор предназначен для идентификации и измерения активности таких радионуклидов как:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ .

Гамма-спектрометр состоит из: детектора на основе кристалла NaI(Tl), Ø63×63 мм, встроенным усилителем и АЦП, и ПВЭМ с ПО «ПРОГРЕСС-2000», диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения от 20 до 3000 кэВ. Относительное энергетическое разрешение по линии Cs-137 (662 кэВ), не более 9%.

Защита изготовлена из сплава свинца в виде напольной тумбы, с выдвигающейся крышкой над регистрирующим элементом, массой ~ 200 кг. Внешний вид прибора представлен на рисунке 2 [16].

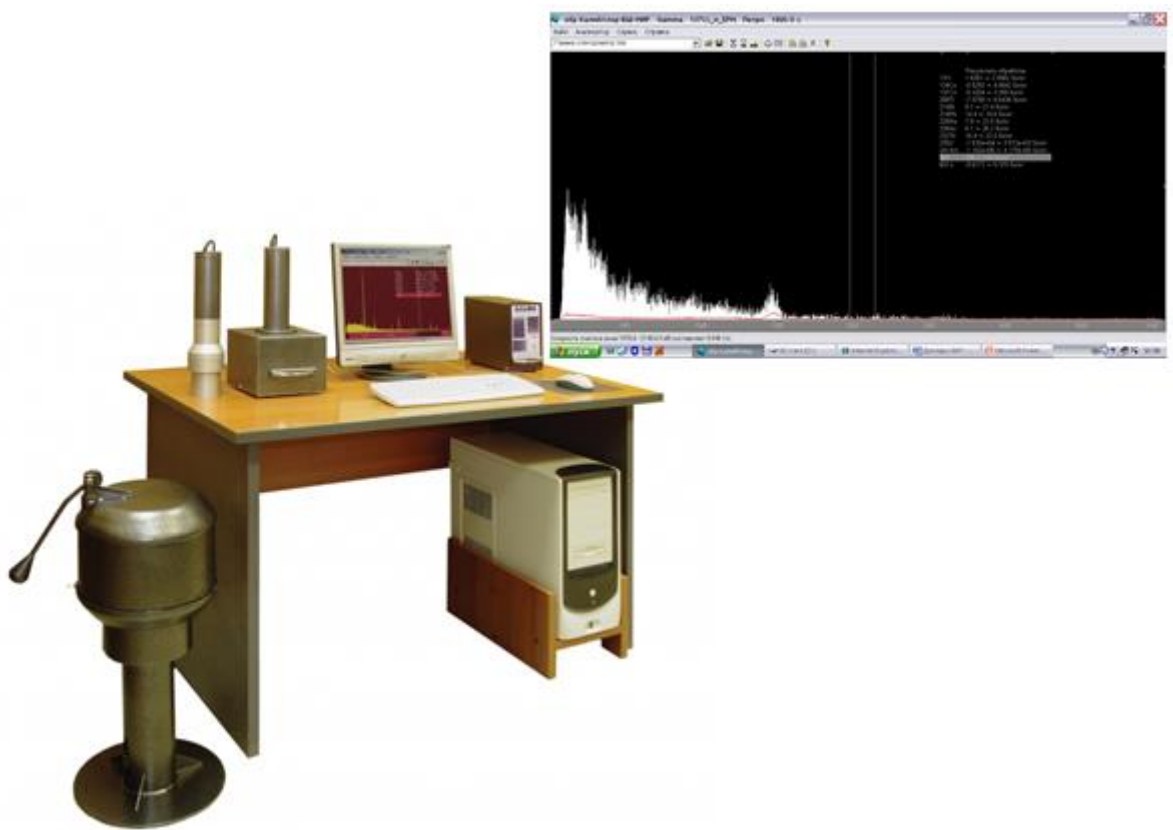


Рисунок 2 – Сцинтилляционный гамма-спектрометр «ПРОГРЕСС» на основе кристалла NaI(Tl).

### 3 Процедура дезактивации

Обращение с радиоактивными отходами требует соблюдения комплекса мер по радиационной защите населения и окружающей среды, включая процедуру дезактивации радиационно-опасных объектов [17].

Под дезактивацией подразумевают комплекс инженерно-технических мероприятий по удалению радиоактивных веществ с поверхности или из объема загрязненных объектов различного назначения (гражданского, военного, промышленного, медицинского), с целью предотвращения дальнейшего распространения радиоактивного заражения, и снижению факторов негативного воздействия ионизирующего излучения на живые объекты.

Радиоактивное заражение поверхности подразделяется на снимаемое и не снимаемое (фиксированное), при котором радиоактивные вещества не переносятся при контакте на другие предметы, и не удаляются при дезактивации, а снимаемое (нефиксированное), при котором радиоактивные вещества переносятся при контакте и удаляются при дезактивации.

Существуют несколько видов технологий дезактивации, которые стоит рассмотреть в данной работе применимо к минеральным отходам:

1. Химическая (жидкостная) дезактивация;
2. Физическая (в т.ч. механическая) дезактивация;
3. Комбинированные методы.

Все выше перечисленные методы дезактивации применимы в зависимости от характера и активности загрязнения, и широко используются в промышленности и энергетике.

### 3.1 Химическая дезактивация отходов

Метод химической дезактивации отходов, основан на их обезвреживании при помощи специальных реакционных смесей. Индивидуальные методы, которые существуют для каждого типа отходов, позволяют сделать ранее опасные химические вещества полностью инертными, и как следствие безопасными для человека и окружающей среды.

Химическая дезактивация отходов является очень эффективным методом выведения радиоактивных веществ, и предполагает работу с активными и достаточно агрессивными средами разных классов опасности.

Радионуклиды, вступая в химические реакции с компонентами дезактиватора, всегда остаются радиоактивными, поэтому очевидно, что дезактивация может осуществляться только посредством различных реакций между радиоактивным веществом и активным агентом дезактиватора, за счет которого РВ или его часть покидает объем в виде осадка, или промежуточных жидких и твердых продуктов химических реакций.

Выбор дезактивирующих растворов и последовательность их применения, зависят от физико-химического состояния, характера радиоактивного загрязнения и свойств материалов обрабатываемых объектов.

Дезактивирующие растворы подразделяют на группы: щелочные-окислительные, кислотные-восстановительные, и содержащие комплексообразователи. К эффективному применению подлежат растворы сильных и слабых кислот, а так же различные растворы щелочей и фторидов [18].

### 3.2 Физическая и механическая дезактивация отходов

Физические способы дезактивации базируются на применении процессов контактного воздействия на рабочий материал или загрязненную поверхность посредством свойств электромагнитных полей и ультразвука в различных средах, отжига, подогрева и давления.

К механической дезактивации можно отнести любой тактильный контакт к поверхности или объему загрязненного объекта, например: перемешивание и разбавление слабоактивных отходов с идентичными свойствами агрегатного состояния и фазовой основы матрицы не радиоактивного материала (чистый песок, глина), абразивный обдув, истирание и т.д.

К физико-механическим методам дезактивации шламов, относятся как термальное воздействие в виде пропарки и отжига парафинообразных отложений, так и периодический (импульсный) подогрев дезактивирующих растворов (жидкостная-химическая дезактивация), так как сам процесс дезактивации твердых фаз в матрице отходов происходит гораздо эффективней при комбинировании термальной обработки с перемешиванием (ротацией) массы рабочего объема в образцах, обеспечивая эффективное взаимодействие реагента с обезвреживаемым объемом объектов.

Подогреваемые растворы, в частности кислоты, выщелачивают изотопы радия в осадок, снижая, прежде всего гамма-активность отходов в процессе очистки. Разбавление «чистым» песком или иными незагрязненными средами, достаточно эффективно снижают активность альфа-, и бета- излучающих радионуклидов таких как  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и его продуктов распада. Таким образом, можно сделать вывод о наибольшей эффективности применения одновременно нескольких видов дезактивации [19].



### 3.3 Эффективность и коэффициент дезактивации

Коэффициент дезактивации — это мера оценки отношения начального уровня радиоактивного загрязнения, к его конечному значению в результате процесса дезактивации.

Дезактивацию следует считать эффективной, когда радиоактивные загрязнения объектов снижаются ниже допустимых норм. При удалении РВ эффективность дезактивации оценивается при помощи коэффициента дезактивации (КД), а в случае снижения опасности облучения людей — при помощи коэффициента снижения МД.

Коэффициент дезактивации характеризует удаление РВ с поверхности или объема (при очистке) различных объектов выражением:

$$K_d = \frac{A_n}{A_k} \quad (8)$$

где  $A_n$  - начальное до дезактивации, и  $A_k$  - конечное после дезактивации загрязнение объектов.

Коэффициент снижения МД, который показывает уменьшение опасности облучения людей, определяется как:

$$K_c = \frac{D_n}{D_k}; K_c = \frac{MD_n}{MD_k} \quad (9)$$

где  $D_n$  и  $D_k$  — поглощенная или эквивалентная доза, исходящая от загрязненного объекта до и после дезактивации;  $MD_n$ ,  $MD_k$  — мощность дозы до и после дезактивации, Гр/час или Зв/час.

Таким образом, в большинстве случаев эффективность дезактивации оценивается при помощи КД, а коэффициент снижения МД применяется в том случае, когда МД определяется совокупностью загрязненных объектов например: внутри помещений от оборудования, стен и полов; в населенных пунктах — от зданий и территорий, на местности — от участков, примыкающих к зоне измерения загрязнения.

Наиболее точно и однозначно оценка эффективности дезактивации по значениям КД может быть использована лишь в определенных условиях: при

дезактивации образцов ограниченного размера, для исследовательских целей, при ограниченном загрязнении поверхностей объектов и некоторых других случаях.

Для того чтобы определить фактическую эффективность дезактивации при помощи КД прибегают к некоторым ухищрениям, когда к загрязненному объекту прикрепляют образцы ограниченного размера, выполненные из того же материала, что и поверхность объекта. Совместно с обследуемым объектом подвергаются загрязнению и дезактивации, и эти образцы. Определение загрязнений образцов до и после дезактивации не представляет труда, важно только, чтобы образцы и натуральный объект находились в одинаковых условиях загрязнения и метода дезактивации.

Таким образом, несмотря на широкое использование КД для оценки качества дезактивации, подобная оценка все же условна. Эта условность связана так же с определением конечного загрязнения обработанных объектов. Если загрязнение отсутствует или не фиксируется дозиметрической аппаратурой, т.е.  $A_k = 0$ , то теряет смысл определения КД по формуле (8).

Значения КД в виде, представленного формулой (8), показывают во сколько раз снизилось радиоактивное загрязнение объекта в результате дезактивации.

Иначе говоря, дезактивация тогда эффективна, когда с учетом её гарантии КД будет больше единицы.

При помощи КД можно количественно и независимо от исходного уровня загрязнения оценить эффективность дезактивации, а главное сопоставить качество дезактивационных работ, проводимых различными способами и в различных условиях, которые обусловлены особенностями загрязнений и дезактивируемого объекта.

Сложившуюся градацию качества проведенных работ, можно распространить на эффективность дезактивации, и определять её как отличная, хорошая, удовлетворительная, плохая и очень плохая.

При значении КД более 2, следует считать эффективность дезактивации отличной. Когда КД лежит в границах от 1,5 КД до 2, то дезактивация достигает цели, и её можно оценить как хорошая. Удовлетворительной считается дезактивация, при которой КД превышает единицу, но менее 1,5, т.е.  $1,0 < КД < 1,5$ . Плохой или очень плохой дезактивация будет в том случае, когда КД меньше 1,0 и меньше 0,5 соответственно.

Помимо бальной оценки при помощи КД, применяют оценка полноты обработки, на основе МД при помощи формулы (9). В обобщенном виде для определения качества дезактивационных работ можно воспользоваться следующей таблицей:

Таблица 4 – Шкала качества эффективности дезактивации по значениям КД и КД требуемым в атомной энергетике [20].

Шкала качества	1	2	3	4	5
Эффективность дезактивации	Отличная	Хорошая	Удовлетворительная	Плохая	Очень плохая
По значениям КД	Более 2	1,5-2,0	1,0-1,5	0,5-1,0	Менее 0,5
По величине требуемого КД в атомной энергетике	Более 100	50-100	25-50	Менее 25	-

## **4 Экспериментальная часть**

Эксперимент по дезактивации и анализу эффективности применения химических и физико-механических методов дезактивации буровых шламов проводился на базе приборно-технического парка - отдела Аналитического контроля источников загрязнений ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по ЯНАО.

Метод основан на применении концентрированных кислот и перенасыщенных растворов щелочей в качестве жидких дезактиваторов в комбинации с физико-механическими методами, по отношению к представительным образцам бурового шлама, одного из нефтегазовых промыслов Ямало-Ненецкого автономного округа, и в расчете эффективности их применения в рамках процедуры противорадиационной защиты персонала НГК.

### **4.1 Отбор образцов и подготовка представительной пробы**

Отбор смешанной пробы бурового шлама производился из шламонакопителя, посредством снятия индивидуальных (точечных) проб. Точечные пробы отбирались из шламонакопителя по следующей схеме:

— шламонакопитель делят на 4 равные части и отбирают 4 пробы из каждого квадрата (желательно максимально возможное удаление от обваловки шламонакопителя), послойно через 0,5-1,0 метра до дна шламонакопителя, массой не менее 200 грамм каждая.

— индивидуальные пробы бурового шлама тщательно перемешивают и квартуют, из центра каждого отбирают приблизительно одинаковые количества бурового шлама. Масса объединенной пробы, приготовленной из отобранных индивидуальных, затем перемешанных и квартованных проб, должна быть не менее 2 кг [22] [23].



Рисунок 3 – Вид на шламовый амбар (шламонакопитель).

Шламовый амбар — инженерное природоохранное сооружение, предназначенное для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов бурения нефтегазовых скважин (буровой шлам, отработанные буровые отходы, буровые сточные воды).

Мощность дозы гамма-излучения на поверхности накопителя при выполнении работ по отбору образцов отходов составила 0.09 – 0.13 мкЗв/час. Перед началом операций по подготовке представительных проб, образцы предварительно выдержаны в ПЭТ упаковке в течении 60 суток для восстановления равновесия в рядах ДПР изотопа  $^{226}\text{Ra}$ .

Для обеспечения выполнения условий эксперимента и подготовки проб счетных образцов применялись:

1. Реактивы:

- Кислота азотная. [24]
- Кислота соляная. [25]
- Кислота серная. [26]
- Натрия гидроокись. [27]
- Калий хлористый. [28]
- Кальций углекислый [29]
- Вода дистиллированная. [30]

## 2. Вспомогательное оборудование:

- Шкафы вытяжные радиохимические. [31]
- Плита нагревательная лабораторная секционная. «ПЛС-02»;
- Перемешивающее устройство (ротор с подогревом платформы) «ЛАБ-ПУ-01 LOIP»;
- Центрифуга лабораторная клиническая «ОПн-3.02»;
- Шкаф сушильный лабораторный «SNOL 67/350»;
- Весы лабораторные электронные. «CAS MWP-3000»;
- Истиратель дисковый. Лабораторный. «ИД-175»;
- Сито лабораторные из металлической лабораторной сетки. [32]

## 3. Приборы:

Сцинтилляционный гамма-спектрометр (в составе СК «ПРОГРЕСС – Ар-Б-Г).

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с ИБД:

- БДПА-01 – плотности потока и флюенса  $\alpha$ -частиц;
- БДПБ-01 – плотности потока и флюенса  $\beta$ -частиц;
- БДКГ-04 – поиск/локализация и МД  $\gamma$ -излучения.

## 4.2 Описание метода эксперимента

Исходя из поставленных задач, и изучения существующих технологий дезактивации буровых отходов, учитывая их формы, химические и физические особенности радионуклидов в составе БШ, был разработан метод обработки образцов, условно близкий к производственным процессам.

Исследование было разделено на два структурных раздела из 3-х одинаковых блоков:

- 1) Химический - травление дезактивирующим реагентом;
- 2) Физико-механический - гомогенизация и тепловое воздействие в виде нагрева;
- 3) Ядерно-физический - измерения спектров энергий радионуклидов, их идентификации, и удельной активности в исследуемых образцах.

Отличием в структуре разделов является лишь применение дезактивирующей среды для обработки образцов, т.е. химическое травление

определенными видами кислот и щелочей каждого раздела в БЛОКЕ-1 и -2 соответственно. Остальная опытная спецификация всех стадий оставалась неизменной.

БЛОК-1. Химический. Для максимального воссоздания условий технологии жидкостной химической объемной дезактивации в лабораторных условиях, в эксперимент заложено несколько стадий обработки образцов:

- Гомогенизация и сушка пробы;
- Разделение образцов на равные аликвоты;
- Химическое травление.

БЛОК-2. Физический (комбинированный). Декантация и промывание образцов дистиллированной водой → вторичное травление соответствующим реактивом → перемешивание на роторном устройстве с подогревом дна колбы, и так далее цикличное воспроизведение данной процедуры до средних значений pH (~7). Просушивание образцов при температуре 150 – 200 °С в лабораторном сушильном шкафу, с последующей физической подготовкой счетных образцов (истирание, уплотнение в геометральной позиции счетного образца).

На первой стадии обработки, после получения гомогенной структуры проведено контрольное измерение гамма-излучающих ЕРН в представительной пробе, до технологического вмешательства в состав образца. Полученные значения активности будут служить исходными данными для дальнейших наблюдений за показателями УА ЕРН в процессе всего эксперимента.

Далее после удаления влаги просушенный образец вновь измерен на гамма-спектрометре, для вычета разницы между измерениями опытного образца до и после осушения и гомогенизации, и сопоставления данных УА, с полученным ранее образцом в фазе вязкой матрицы шлама.

На следующем этапе полученный сухой гомогенный образец объемом 1 дм<sup>3</sup>, и  $\rho=966$  г/см<sup>2</sup> поделен на три равные аликвоты, для дальнейшей химической обработки растворами и предполагаемой очистки от гамма-излучающих радионуклидов.

Деактивация образцов осуществлена растворами концентрированных: азотной ( $\text{HNO}_3$ ); серной ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) и соляной ( $\text{HCl}$ ) кислот в первом разделе эксперимента, и растворами щелочей  $\text{NaOH}$  – 40%,  $\text{KCl}$  (перенасыщенный),  $\text{CaCO}_3$  (перенасыщенный) во втором разделе соответственно.

Каждый из реагентов добавлялся небольшими порциями к образцам с соответствующей маркировкой (формулой вещества) на стенке стакана. Реактивы приливались порционно, по 100 – 150 мл в каждый аликвотный образец с интенсивным перемешиванием при нагреве на лабораторной плитке до  $t_{\text{max}} = 80\text{--}90^\circ\text{C}$  (без точки кипения реагентов). Далее опытные образцы помещались в стеклянные колбы на лабораторный ротор с подогревом, для интенсивного перемешивания в течении 30–40 минут, с последующем промыванием образца дистиллированной водой. Данный цикл повторялся в среднем 8–10 раз.

В заключении физического блока образцы подвергались центрифугированию до максимального разделения твердой фазы образца от влаги, истёрты и просеяны на лабораторных сито (размер ячеек 2x2 мм) до однородной механической фракции.

Полученные представительные образцы снова были высушены в сушильном шкафу при температуре 150 – 200  $^\circ\text{C}$ , в течении 5 – 6 часов.

Все операции по приготовлению едких (агрессивных) и токсичных сред, производились с соблюдением техники безопасности в испытательной лаборатории, в соответствии с инструкциями и регламентом (допуском) к осуществлению работ с токсичными, ядовитыми, и радиоактивными веществами.

Работы химического блока производились в вытяжном лабораторном шкафу, с обязательным использованием средств индивидуальной защиты, руководствуясь основными положениями правил организации проведения соответствующих работ и нормативными документами по организации обеспечения безопасных условий труда в лабораториях. [33] [34] [35].



В завершении раздела описывающего методы подготовки проб необходимо отметить следующее - главная задача всех упомянутых этапов обработки образцов, сводится к единственному принципу лабораторных исследований по обеспечению эффективного снижения случайных и систематических отклонений в эксперименте.

БЛОК-3. Ядерно-физический. Измерение удельной активности счетных образцов и регистрации энергий спектров гамма-излучающих ЕРН на сцинтилляционном  $\gamma$ -спектрометре.

Готовые счетные образцы взвешиваются и помещаются в заданную геометрию в соответствии с параметрами детектора, и методикой измерений гамма-спектров исследуемых радионуклидов. Измерение образцов проводилось на сцинтилляционном гамма-спектрометре, в составе спектрометрического комплекса «ПРОГРЕСС Ар-Б-Г» с программным обеспечением «Прогресс-2000», производства НТЦ «Амплитуда».

Подготовка счетных образцов и измерения проводились в соответствии с МВИ:

- «Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2016 г.»;
- «Методические рекомендации по приготовлению счетных образцов для спектрометрических комплексов с программным обеспечением «ПРОГРЕСС» 2008 г.».

В завершении финального этапа эксперимента, очень важно отметить пользу применения метода анализа «параллелей», при проведении гамма-спектрометрических измерений. Такой подход указывает на эффективную воспроизводимость по отношению к методам отбора, пробоподготовки, и влияния внешних случайных факторов сопровождающих весь процесс эксперимента.

### 4.3 Гамма-спектрометрический анализ ЕРН в образцах

Гамма-спектрометрия – раздел экспериментальной физики атомного ядра, посвященный исследованию энергетических спектров  $\gamma$ -излучения (зависимостей числа  $\gamma$ -квантов от их энергии), испускаемых в большинстве случаев превращений атомными ядрами при распадах и реакциях сопровождающих энергетические переходы этих ядер. Образовавшийся гамма-квант в процессе перехода, несет в себе уникальную информацию по энергии, для каждого отдельного нуклида в образце. Такой спектр имеет дискретный характер, что позволяет нам сделать качественный вывод и идентифицировать распавшееся ядро в образце.

Регистрируя гамма-кванты, образующиеся в измеряемом образце при ядерных превращениях радиоактивных нуклидов, и умножая количество зарегистрированных гамма-квантов на определенные коэффициенты, мы получим активность радиоактивных изотопов в образце. По совокупности испускаемых энергий (линий) можно однозначно определить, какой именно нуклид содержится в образце.

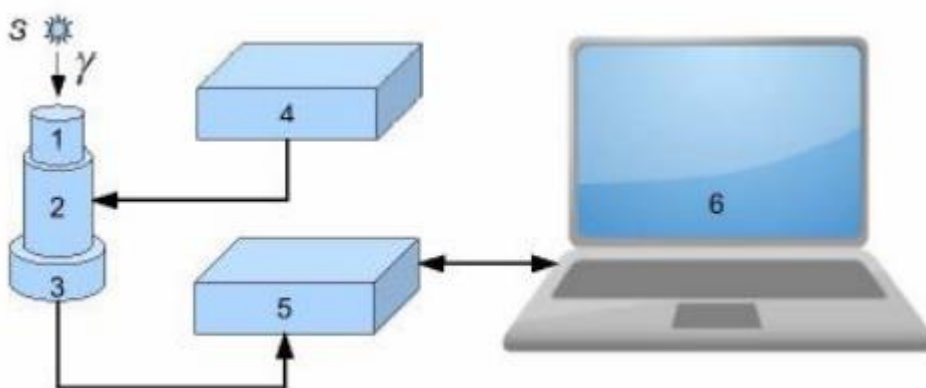
В качестве детектирующего элемента в рассматриваемой работе применялся кристалл NaI(Tl), оптически связанный с ФЭУ. Самый распространённый тип сцинтилляторов кристаллы йодида натрия NaI (Tl) активированные таллием, реже используют монокристаллы CsI (Tl), LaBr и  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

Схема работы сцинтилляционного спектрометра представлена на рисунке 4.

В результате взаимодействия  $\gamma$ -квантов с кристаллом сцинтиллятора, возникают вторичные заряженные частицы, возбуждая еще большее число атомов сцинтиллятора. При этом часть энергии возбуждения, преобразуемой в световые импульсы является константой для определенного типа кристалла, а следовательно и число фотонов проходящихся на сцинтилляцию

пропорционально кинетической энергии заряженных частиц, и соответственно доле энергии  $\gamma$ -квантов попавших в кристалл.

Регистрируемые вспышки света на фотокатоде ФЭУ вызывают эмиссию фотоэлектронов проходящих лавинообразно систему диодов, увеличиваясь примерно в  $10^5 - 10^7$  раз. Заряд переносимый лавиной на анод, пропорционален числу фотоэлектронов выбитых с фотокатода, который в свою очередь определяется числом сцинтилляций кристалла.



1 – сцинтиллятор, 2 – ФЭУ, 3 – предусилитель импульсов, 4 – высоковольтный блок питания для ФЭУ, 5 – блок преобразования аналоговых импульсов с ФЭУ в цифровой код (АЦП), 6 – компьютер для сбора данных, их обработки и хранения.

Рисунок 4 – Схема основных блоков сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра.

Следовательно амплитуды сигналов на выходе ФЭУ пропорциональны энергии, переданной  $\gamma$ -квантами атомам сцинтиллятора. Весь процесс, от эмиссии фотоэлектронов под действием фотонов, до формирования сигнала на выходе из ФЭУ, занимает  $10^{-9} - 10^{-8}$  секунд. Этот период меньше времени высвечивания фотонов из кристалла ( $\sim 2 \cdot 10^{-7}$  сек), такая величина принципиально важна, так как она определяет разрешающее время установки, и его сопоставление со временем формирования сигнала, определяя количество зарегистрированных фотонов, испускаемых в объеме кристалла сцинтиллятора.

Далее сигнал из ФЭУ, проходит усилитель-формирователь и амплитудный цифровой преобразователь выходной информации, поступающей в головной блок управления в виде аппаратного спектра (рис 5).

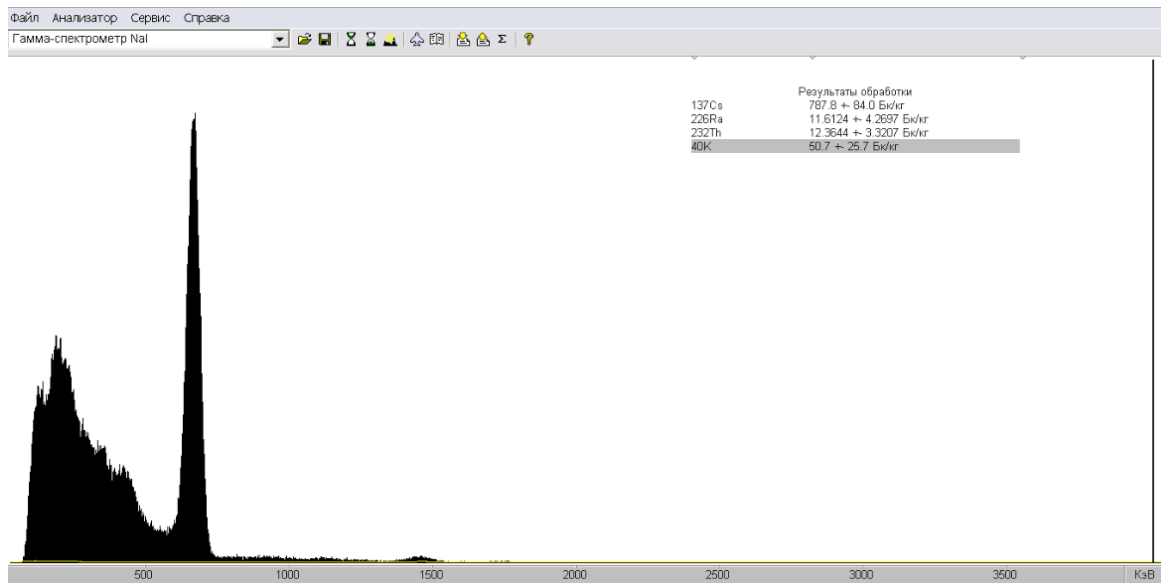


Рисунок 5 – Аппаратурный спектр ОМАН  $^{137}\text{Cs}$ , ПО «ПРОГРЕСС-2000»

Процесс обработки спектров включает программы энергетической калибровки спектрометра и программы для вычисления активности и статистической неопределенности измерений в счетных образцах.

Обработка спектров изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  производится в областях: 1,36-1,56 МэВ, 1,64-1,88 МэВ и 2,44-2,80 МэВ соответственно, примерно соответствующих ширине ППП  $^{40}\text{K}$  - 1,46 МэВ,  $^{226}\text{Ra}$  - 1,76 МэВ и  $^{232}\text{Th}$  - 2,62 МэВ.

Радиоактивный ряд  $^{232}\text{Th}$ , включает 10 дочерних радионуклидов, в результате цепочки 7  $\alpha$ -, и 5  $\beta$ -распадов, сопровождающихся  $\gamma$ -излучением и заканчивается стабильным изотопом свинца  $^{208}\text{Pb}$ . Активность  $^{232}\text{Th}$  в случае, если неизвестно, находится ли он в радиоактивном равновесии с дочерними продуктами распада, на  $\gamma$ -спектрометре обычно определяется по наиболее интенсивной  $\gamma$ -линии  $^{228}\text{Th}$ , сопровождающей  $\beta$ -распад  $^{228}\text{Ac}$  с энергией 258 кэВ, или по нескольким линиям (рис 6), например с энергией  $E_{\gamma} = 338.4$  кэВ (0,113) и кэВ (0,258).

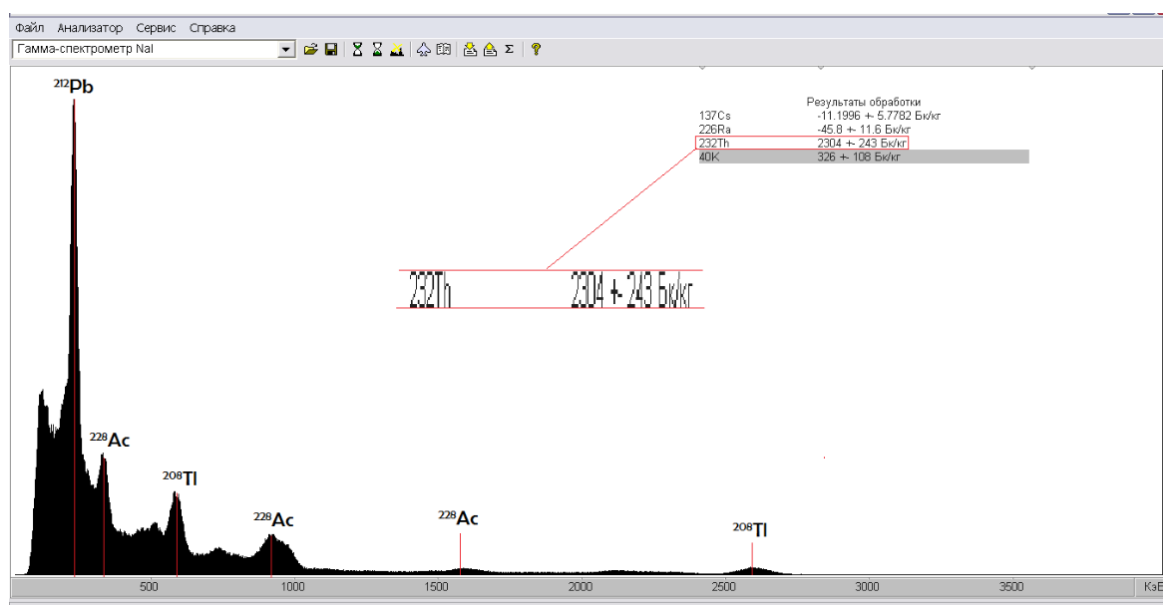


Рисунок 6 – Аппаратурный спектр ОМАСН  $^{232}\text{Th}$ , ПО «ПРОГРЕСС-2000»

В радиоактивном ряду  $^{232}\text{Th}$  одновременное испускание нескольких квантов происходит при распаде  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ . Однако квантовые выходы каскадов имеют значительную величину только для изотопа  $^{208}\text{Tl}$ . Практически все  $\gamma$ -излучение этого изотопа испускается каскадными переходами с множественностью -2, -3 и -4 с испусканием в конце каскада кванта с энергией 2615 кэВ. [36]

Идентификация и обнаружение изотопа  $^{226}\text{Ra}$  на сцинтилляционных гамма-спектрометрах, как правило, проводится не по собственной  $\gamma$ -линии, энергетический пик которой лежит в области 186 кэВ, наиболее плотно заполненной излучением других радиоактивных ядер, а по линиям  $\gamma$ -излучения короткоживущих продуктов распада, поскольку спектры последних являются более специфическими.

В радиоактивной цепочке  $^{226}\text{Ra}$   $\gamma$ -кванты с энергиями 1,76 и 0,609 МэВ являются наиболее характерными, так как они менее всего перекрываются излучением других  $\gamma$ -активных изотопов.

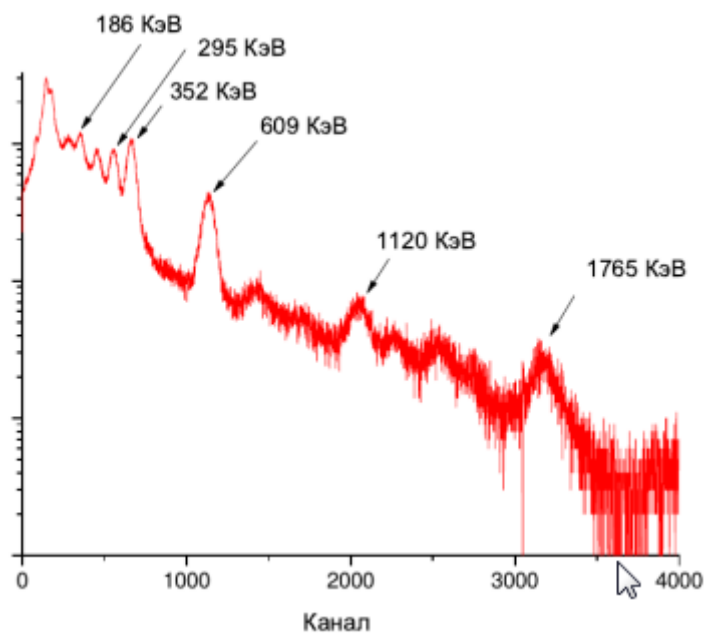
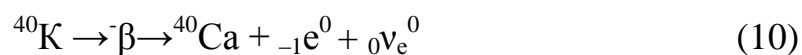


Рисунок 7 – Типичный гамма-спектр изотопа  $^{226}\text{Ra}$

Характерная гамма-линия самого изотопа  $^{226}\text{Ra}$  довольно сложно поддается идентификации, вследствие низкой разрешаемой способности сцинтилляционного детектора для данного типа  $\gamma$ -спектрометров для энергии пика в 186 кэВ, максимальное энергетическое разрешение прибора составляет 9-12%. Основные дочерние нуклиды  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ , имеют характерные гамма-пики энергий: - 295.5; 351.9 кэВ и 609.3; - 1120.3; - 1764.5 кэВ соответственно [37].

Природный калий представляет собой смесь трех изотопов:  $^{39}\text{K}$  ( $\approx 93,1\%$ ),  $^{40}\text{K}$  ( $\approx 0,012\%$ ) и  $^{41}\text{K}$  ( $\approx 6,88\%$ ), из которых только  $^{40}\text{K}$  радиоактивен. Калий встречается в достаточно большом количестве не только в горных породах и почве, но и входит в состав биологических тканей. Относительное весовое содержание изотопа радиокалия в теле человека составляет примерно 0,12-0,35%.

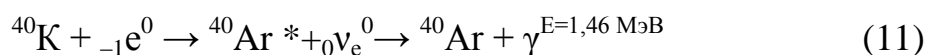
В 89% случаев распада этот изотоп претерпевает  $\beta^-$  – распад (переход нуклона из состояния нейтрона в состояние протона) с образованием изотопа  $^{40}\text{Ca}$  в основном стабильном состоянии:



Максимальная кинетическая энергия испускаемых при распаде  $\beta$ -частиц  $E_{\max}=1,33$  МэВ.

В 11% случаев, ядро  ${}^{40}\text{K}$  распадается путем захвата орбитального электрона (К-захват, переход нуклона из состояния протона в состояние нейтрона) с образованием изотопа  ${}^{40}\text{Ar}$  в возбужденном состоянии.

Ядро  ${}^{40}\text{Ar}$  переходит из возбужденного состояния в основное, испуская  $\gamma$ -квант с энергией  $E_\gamma=1,46$  МэВ:



Идентификация изотопа Калия-40 гамма-спектрометрическим методом производится непосредственно по гамма-пику с энергией отдачи ядра перехода  ${}^{40}\text{K}$  в  ${}^{40}\text{Ar}$ .

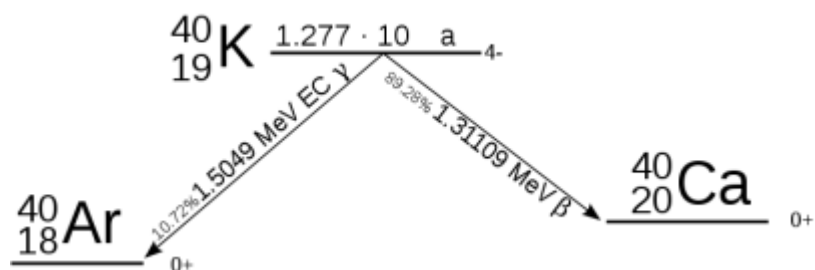


Рисунок 8 – Схема распада изотопа  ${}^{40}\text{K}$ .

Все упомянутые радионуклиды вносят основной дозообразующий вклад в эффективную годовую дозу как внешнего, так и внутреннего облучения персонала НГК, и в меньшей мере для населения, проживающего в близлежащих районах, рассматриваемого промышленного сектора. Типичные гамма-спектры и основные регистрируемые гамма-линии исследуемых ЕРН в данной работе приведены на рисунке 9 и в таблице 5.

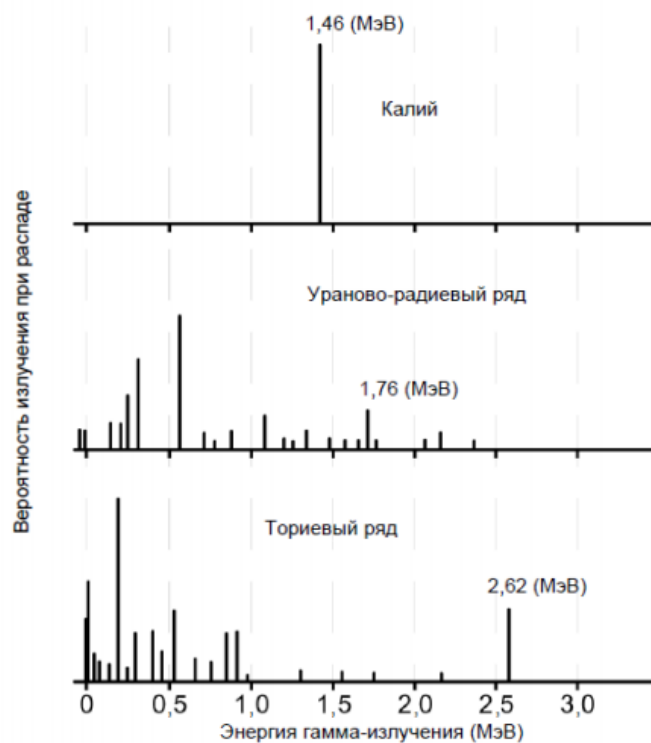


Рисунок 9 – Аппаратурные спектры естественных гамма-излучающих радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ .

Таблица 5 – Основные интенсивные гамма-линии ЕРН  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ .

Определяемый радионуклид	Энергия основных идентифицируемых пиков, кэВ	Выход гамма-квантов на распад, %
<b>РЯД РАДИЯ-226</b>		
$^{214}\text{Pb}$	295,6	18,5
	351,9	35,8
$^{214}\text{Bi}$	609,3	44,8
	1120,3	14,8
	1764,5	15,4
<b>РЯД ТОРИЯ-232</b>		
$^{212}\text{Pb}$	238,6	43,6
$^{228}\text{Ac}$	911,2	25,8
	968,9	15,8
	338,3	11,3
$^{208}\text{Tl}$	510,7	22,6
	583,2	85,0
	2614,5	99,75
<b>ПРИРОДНЫЙ КАЛИЙ</b>		
$^{40}\text{K}$	1460,8	10,66



## 4.4 Результаты исследований по эффективности дезактивации буровых отходов

### 4.4.1 Дезактивация образцов реагентами концентрированных кислот

В результате химических реакций образцов с кислотами в каждом отдельном случае происходит образование осадков солей на дне химических стаканов, что указывает на вероятность образования возможных ТРО в процессе промывания образцов дистиллированной водой.

Результаты измерений УА ЕРН в шламах до и после проведения дезактивации кислотами представлены в таблице 6. В таблице 7 представлены данные в пересчете по средним значениям УА ЕРН между основным и параллельным измерениями, МД  $\gamma$ -излучения на поверхности счетных образцов и  $A_{эфф}$  до и после применения процедур по дезактивации.

В результате опыта с применением кислотных сред в качестве жидких дезактиваторов, наблюдается эффект ранее описанных реакций приведенных в работах И.П. Стамат, и Э.П. Лисаченко [3] по выщелачиванию изотопа  $^{226}\text{Ra}$  концентрированными серной и соляной кислот, где соединения радиобарита  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  очень трудно поддаются взаимодействию с реагентами и выпадению в осадок.

Эффективность дезактивации реагентом  $\text{HNO}_3$

- 2,25 Бк/кг = 9,3% - для изотопа  $^{226}\text{Ra}$ ;
- 8 Бк/кг = 88% - изотопа  $^{232}\text{Th}$ ;
- 222,8 Бк/кг = 44,3% - для изотопа  $^{40}\text{K}$ ;
- Активность -  $^{137}\text{Cs}$  в образцах ниже предела обнаружения;
- Эффективность по  $A_{эфф} = 31,7$  Бк/кг (47,1%).

Таблица 6 – Первичные данные измерений ЕРН до и после обработки кислотами. УА, Бк/кг

Р/Н	БШ до обработки Бк/кг		БШ после Д/А HNO <sub>3</sub> Бк/кг		БШ после Д/А H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Бк/кг		БШ после Д/А HCl Бк/кг	
	Основной	Параллель	Основной	Параллель	Основной	Параллель	Основной	Параллель
<sup>226</sup> Ra	9,7 ± 2,4	10,4 ± 4,1	8,6 ± 3,6	6,96 ± 3,88	10,5 ± 3,7	10,75 ± 4,1	9,4 ± 5,57	8,94 ± 5,7
<sup>232</sup> Th	11,6 ± 2,5	10,5 ± 3,9	2,9 ± 1,8	3,2 ± 2,1	9,2 ± 2,9	8,24 ± 3,95	3,3 ± 3,15	3,68 ± 3,1
<sup>40</sup> K	508,5 ± 72,1	498 ± 66,2	284,5 ± 95,3	277,5 ± 82,2	359 ± 56,6	347 ± 59,5	335,6 ± 98,3	351,8 ± 102

Таблица 7 – А<sub>эфф</sub> ЕРН, и МД γ-изл. на поверхности образцов до и после процедуры дезактивации составами кислот

Р/Н	БШ до обработки		БШ после Д/А HNO <sub>3</sub>		БШ после Д/А H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		БШ после Д/А HCl	
	μ, Бк/кг	А <sub>эфф</sub> Бк/кг	μ, Бк/кг	А <sub>эфф</sub> Бк/кг	μ, Бк/кг	А <sub>эфф</sub> Бк/кг	μ, Бк/кг	А <sub>эфф</sub> Бк/кг
<sup>226</sup> Ra	10,1 ± 3,3	67,3 ± 13,3	7,8 ± 3,7	35,6 ± 14,5	10,6 ± 3,9	52,0 ± 13,3	9,2 ± 5,6	43 ± 18,3
<sup>232</sup> Th	11,1 ± 3,2	МД γ-изл. 0,13 мкЗв/ч	3,1 ± 1,9	МД γ-изл. 0,10 мкЗв/ч	8,72 ± 3,4	МД γ-изл. 0,11 мкЗв/ч	3,5 ± 3,1	МД γ-изл. 0,11 мкЗв/ч
<sup>40</sup> K	503,3 ± 69,2		280,5 ± 88,7		353 ± 58		343,7 ± 100,2	

### Эффективность дезактивации реагентом $H_2SO_4$

- Изменений в активности изотопа -  $^{226}Ra$  не выявлено на 100%;
- 2,33 Бк/кг = 21% - изотопа  $^{232}Th$ ;
- 150,3 Бк/кг = 30% - для изотопа  $^{40}K$ .
- Активность -  $^{137}Cs$  в образцах ниже предела обнаружения;
- Эффективность по  $A_{эфф} = 15,3$  Бк/кг (22,7%).

### Эффективность дезактивации реагентом $HCl$

- 0,88 Бк/кг = 0,92% - для изотопа  $^{226}Ra$ ;
- 7,56 Бк/кг = 68,3% - изотопа  $^{232}Th$ ;
- 159,6 Бк/кг = 31,8% - для изотопа  $^{40}K$ ;
- Активность -  $^{137}Cs$  в образцах ниже предела обнаружения;
- Эффективность по  $A_{эфф} = 24,3$  Бк/кг (36,1%).

Таким образом, можно судить о том, что даже при самой агрессивной обработке таких сред как серная кислота, активность изотопа  $^{226}Ra$  в целом будет оставаться практически неизменной.

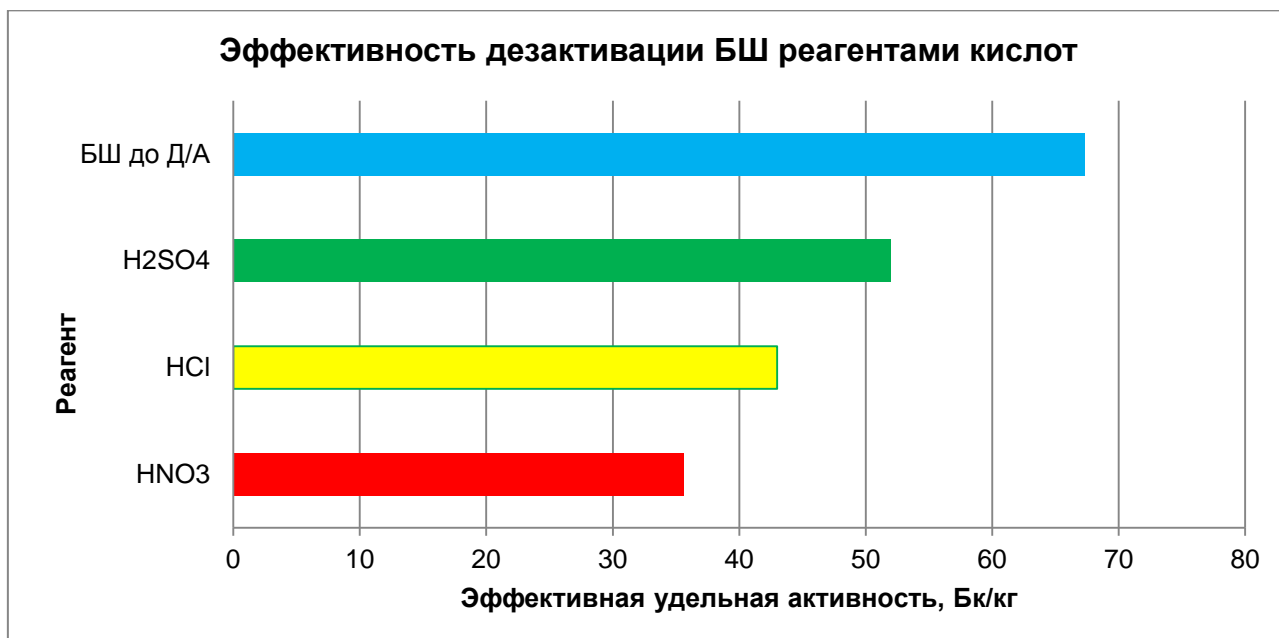


Рисунок 10 – Диаграмма распределения  $A_{эфф}$  по эффективности дезактивации БШ реагентами кислот.

#### 4.4.2 Дезактивация образцов реагентами щелочей

В результате дезактивации образцов щелочными составами, на этапе применения метода декантации, выявлено полное отсутствие процессов образования осадков солей из матрицы испытуемых образцов. Такой процесс указывает на слабые химические связи с неорганической компонентой в составе шлама, чем частично решает проблемы связанные с образованием вероятных вторичных ТРО, но образует промывочные жидкости – побочный продукт дезактивации, и в последствии велика вероятность образования ЖРО.

Результаты измерений УА ЕРН в шламах до и после проведения дезактивации кислотами представлены в таблице 8. В таблице 9 представлены данные в пересчете по средним значениям УА ЕРН между основным параллельным измерениями, МД  $\gamma$ -излучения на поверхности образцов и  $A_{эфф}$  до и после применения процедур дезактивации.

Эффективность применения гидроксида натрия в качестве реагента для дезактивации исследуемого образца, в общем виде не приносит весомой доли по изотопу  $^{226}\text{Ra}$ . Выход изотопов  $^{232}\text{Th}$ , и  $^{40}\text{K}$  в среднем дает весьма заметный результат:

- 0,18 Бк/кг = 1,07% - для изотопа  $^{226}\text{Ra}$ ;
- 5,45 Бк/кг = 33,6% -  $^{232}\text{Th}$ ;
- 189,7 Бк/кг = 40,9% - для изотопа  $^{40}\text{K}$ ;
- Активность -  $^{137}\text{Cs}$  в образцах ниже предела обнаружения;
- Эффективность по  $A_{эфф} = 23,4$  Бк/кг (31,1%).

Дезактивация реагентом хлорида калия не оказывает ожидаемого эффекта, процесс дезактивации незначителен. На основе результатов опыта выявлена дополнительная активация образца изотопом  $^{40}\text{K}$ .

Выражение процентного соотношения до и после применения реагента:

- 2,09 Бк/кг = 12,4% - для изотопа  $^{226}\text{Ra}$ ;
- 2,73 Бк/кг = 16,9% -  $^{232}\text{Th}$ ;

- (+)19 Бк/кг = + 8,3% - к УА для изотопа  $^{40}\text{K}$
- Активность -  $^{137}\text{Cs}$  в образцах ниже предела обнаружения;
- Эффективность по  $A_{\text{эфф}} = 4,05$  Бк/кг (5,4%).

Эффективность дезактивации реагентом кальция углекислого имеет наилучший показатель по дезактивационным свойствам из всех исследуемых щелочных реагентов. Эффект снижения удельной активности произошел с каждым из исследуемых радионуклидов:

- 5,33 Бк/кг = 31,7% - для изотопа  $^{226}\text{Ra}$ ;
- 5,85 Бк/кг = 36,1% -  $^{232}\text{Th}$ ;
- 216,5 Бк/кг = 50,4% - для изотопа  $^{40}\text{K}$ ;
- Активность -  $^{137}\text{Cs}$  в образцах ниже предела обнаружения;
- Эффективность по  $A_{\text{эфф}} = 31,4$  Бк/кг (41,7%).

На рисунке 11 представлены распределения по эффективности использования реагентов щелочных смесей в качестве жидких дезактивирующих средств.

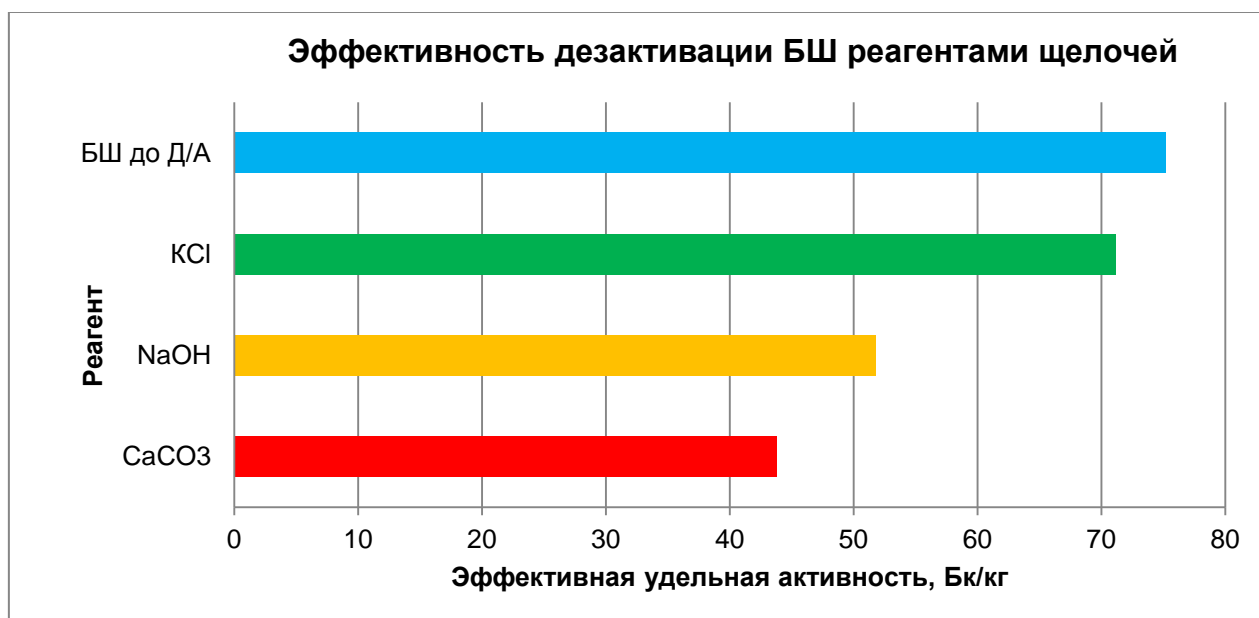


Рисунок 11 – Диаграмма распределения  $A_{\text{эфф}}$  по эффективности дезактивации БШ составами смесей щелочных растворов.

Таблица 8 – Первичные данные измерений ЕРН до и после обработки щелочами, УА Бк/кг

Р/Н	БШ до обработки Бк/кг		БШ после Д/А NaOH Бк/кг		БШ после Д/А KCl Бк/кг		БШ после Д/А CaCO <sub>3</sub> Бк/кг	
	Основной	Параллель	Основной	Параллель	Основной	Параллель	Основной	Параллель
<sup>226</sup> Ra	17,3±6,5	16,4±6,4	17,36±7,43	16,01±7,7	14,78±7,0	14,75±7,1	12,01±6,29	11,04±6,17
<sup>232</sup> Th	16,98±6,1	15,45±6,0	10,91±7,11	10,63±6,8	14,54±6,7	12,44±6,6	10,06±5,82	10,68±6,1
<sup>40</sup> K	435±107	438±108	247,6±91,8	245,9±91,2	464±119	447±117	219±78	221,8±78,2

Таблица 9 –  $A_{эфф}$  ЕРН, и МД  $\gamma$ -изл. на поверхности образцов до и после процедуры дезактивации составами насыщенных щелочей

Р/Н	БШ до обработки		БШ после Д/А - NaOH		БШ после Д/А - KCl		БШ после Д/А - CaCO <sub>3</sub>	
	$\mu$ , Бк/кг	$A_{эфф}$ 75,2±28,9 Бк/кг	$\mu$ , Бк/кг	$A_{эфф}$ 51,8±24,5 Бк/кг	$\mu$ , Бк/кг	$A_{эфф}$ 71,15±25,8 Бк/кг	$\mu$ , Бк/кг	$A_{эфф}$ 43,8±20,9 Бк/кг
<sup>226</sup> Ra	16,85±6,45		16,67±7,57		14,76±7,05		11,52±6,49	
<sup>232</sup> Th	16,22±6,05	МД $\gamma$ -изл. 0,14 мкЗв/ч	10,77±6,96	МД $\gamma$ -изл. 0,12 мкЗв/ч	13,49±6,63	МД $\gamma$ -изл. 0,14 мкЗв/ч	10,37±5,96	МД $\gamma$ -изл. 0,11 мкЗв/ч
<sup>40</sup> K	436,5±170,5		246,8±91,5		455,5±118		220±78,1	

Видимый результат по изотопу  $^{226}\text{Ra}$  обоснован образованием комплексного соединения радиокальцита в процессе декантации. При взаимодействии раствора с образцом,  $^{226}\text{Ra}$  может легко включаться в решетку кальцита в момент образования, и адсорбироваться на поверхности. Таким образом стоит обратить внимание на абсолютную эффективность применения щелочных составов для объемной очистки и выделения изотопа  $^{226}\text{Ra}$ , в отличие от применения кислотно-жидкостной дезактивации.

### **Вывод по главе**

Резюмируя полученные результаты приведенные в таблицах 6, 7, 8, 9 необходимо отметить пользу применения метода «измерения параллелей», при проведении гамма-спектрометрических измерений, такой подход указывает на эффективную воспроизводимость по отношению к методам отбора, пробоподготовки и влияния внешних случайных факторов, сопровождающих весь процесс эксперимента.

В ходе проведения химической обработки образцов, в частности при применении метода декантации щелочами, выявлено полное отсутствие процессов образования осадка у испытуемых образцов, такой процесс указывает на условно слабые химические связи с неорганической компонентой в составе шлама, чем частично решает проблемы связанные с образованием вторичных (более радиоактивных) отходов в процессе дезактивации.

По полученным результатам применения реагентов кислот и щелочей в качестве жидких дезактивационных составов, в первую очередь стоит отметить две основные закономерности:

Первая – в ходе применения кислот происходит окислительно-восстановительный процесс с образованием осадка в виде бесцветных солей;

Вторая – при химических реакциях щелочей с испытуемыми образцами образуются связывающая эмульсия, которая успешно подвергается очистке в

процессе декантации с выходом части материнских и дочерних ЕРН в связке с водой.

Измерения УА образовавшихся отходов осадков солей и промывочных жидкостей в ходе исследований не представляется возможным в виду их низкой активности не входящих в предел границ обнаружения гамма-спектрометра, а следовательно и отсутствия их объективности. Для решения данной проблемы необходимы дополнительные более масштабные исследования с более высокими активностями и концентрациями ЕРН в матрицах буровых шламов.

Возможные рекомендованные для дальнейших исследований методы и приборы: гамма-спектрометры с полупроводниковыми детекторами, в виду их более высокой разрешающей способности, применения альфа-спектрометрии т.к основные и дочерние исследуемые радионуклиды являются альфа-излучателями, масс-спектрометрии и нейтронно-активационного методов анализа.



## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В условиях современной экономической неустойчивости возникает серьезная необходимость освоения навыков в части финансово-экономических возможностей проводимых исследований.

В данном разделе проведен сравнительный анализ результатов эффективности применения химически активных реагентов и исследованию их дезактивационных способностей, в процессе эксперимента по обезвреживанию отходов производства и потребления нефтегазовой отрасли.

Финансово-экономический потенциал исследуемого материала, заключается в составе матрицы самого сырья, основной компонент которой имеет структуру минерального происхождения. Данный тип отходов широко применяется в качестве строительных материалов различного производственного и гражданского назначения.

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования, для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Такой подход важен как для самих инженеров-разработчиков, которые должны оценить состояние перспективы проводимых исследований, так и для потенциальных инвесторов, при реализации научно-технического потенциала приобретаемых инноваций.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение таких задач как:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

## 5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом проведенной работы являются полученные в ходе эксперимента данные по эффективности дезактивации буровых шламов. Опасность таких отходов заключается главным образом в том, что они содержат в своем составе токсичные соединения: углеводороды нефти, компоненты буровых растворов, радионуклиды и тяжелые металлы. В связи с этим буровые шламы относят к IV классу опасности отходов (согласно ФККО) и при эффективном экономическом подходе могут быть вовлечены в качестве вторичного сырья для строительства и отсыпки дорог, в составах цемента и бетонных смесей, керамике, тротуарной плитке, шлакоблоков и многих других материалах промышленно-гражданского назначения.

Рынок услуг сегментируется по общей эффективности использования исследуемых реагентов в качестве основных средств по дезактивации отходов, с учетом их дезактивирующих свойств и токсичности применяемых реагентов на разных типах производства. Результаты сегментирования представлены в таблице 10

Таблица 10 – Карта сегментирования рынка услуг

		Эффективность использования материалов в:		
		- составах бетонно-цементных смесей	- качестве сырья для производства шлакоблоков и керамики	- дорожно-строительной промышленности
Используемые реагенты в качестве дезактивирующих составов	HNO <sub>3</sub>			
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
	HCl			

	NaOH			
	KCl			
	CaCO <sub>3</sub>			

## 5.2 Анализ конкурентных технических решений

Данный метод анализа позволяет провести оценку эффективности рассматриваемых в настоящей работе технологий дезактивации буровых шламов в сравнении с используемыми аналогами.

Для анализа конкурентных технических решений были выбраны 3 наиболее часто используемых технологии дезактивации промышленных отходов минерального происхождения в рамках процедуры по обезвреживанию отходов бурения НГК:

Вариант 1 – метод промышленной дезактивации буровых отходов с использованием специализированных установок по обезвреживанию нефтешламов.

Вариант 2 – метод разбавления буровых шламов путем добавления не радиоактивных, и не токсичных материалов в состав матрицы отхода, с последующим захоронением в местах их накопления.

Вариант 3 – метод утилизации отходов бурения НГК посредством технологий закачивания высокоактивных и токсичных производственных отходов обратно в технологические скважины, отработанных коллекторов.

Детальный анализ возможных вариантов необходим, т.к. каждый из рассмотренных методов имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 11.

Экспертная оценка производится по техническим и экономическим критериям, по 5 бальной шкале, где 1 балл – наиболее слабая позиция, и 5 баллов – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (12)$$

где,  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (методов)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	Б <sub>к3</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>	К <sub>к3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>									
1. Производительность труда при использовании метода (скорость выполнения процедуры)	0,05	3	2	5	5	0,15	0,1	0,25	0,25
2. Простота расчета дезактивирующих средств	0,1	2	2	4	3	0,2	0,2	0,4	0,3
3. Потребность в оснащении испытательных лабораторий	0,15	5	5	3	3	0,75	0,75	0,45	0,45
4. Полнота и достоверность полученных данных	0,2	5	4	2	3	1	0,8	0,4	0,6
5. Время обработки данных	0,05	2	1	4	4	0,1	0,05	0,2	0,2
6. Потребность в высококвалифицированном персонале	0,1	5	5	3	3	0,5	0,5	0,3	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>									
7. Конкурентоспособность метода	0,05	3	2	4	4	0,2	0,15	0,15	0,15
8. Стоимость расходных материалов на анализ	0,1	5	5	3	2	0,3	0,4	0,4	0,3
9. Стоимость используемого оборудования	0,15	4	5	2	4	0,45	0,6	0,45	0,45
10. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	4	5	0,2	0,05	0,15	0,15
Итого	1	39	36	34	36	4,2	4	3	3,35

Проведенный анализ конкурентных методов показал, что разработанный метод дезактивации буровых шламов может эффективно применяться в производственных процессах, результат анализа составил - 4,2 балла. Основным наиболее вероятным конкурентом с результатом в - 4,0 балла определен метод промышленной дезактивации буровых отходов с использованием специализированных установок по обезвреживанию нефтешламов, который эффективен в комплексном использовании и обладает конкурентоспособной скоростью процесса, но имеет недостатки в качестве производимых работ в связи со своей единовременной многозадачностью и слабой достоверностью полученных результатов.

### **5.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской работы. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды работы.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательской работы. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у работы есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся оригинальными с точки зрения конкуренции.

Слабые стороны – это недостатки, упущение или ограниченность научно-исследовательской работы, которые препятствуют достижению его конечных целей. Это материальные или технические трудности в рамках исследовательской работы располагающие труднопроизводимыми возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях протекания процесса, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая

поддерживает спрос на результаты работы и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угрозы представляют собой любую негативную ситуацию, тенденцию или изменение, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 12 представлен SWOT-анализ НИР, где показаны результаты пересечений сильных и слабых сторон с их возможностями и угрозами.

Таблица 12 – SWOT-анализ НИР

	<p><b>Сильные стороны работы:</b>  С1. Актуальность проблематики исследований по выбранной теме.  С2. Достоверность получаемых данных.  С3. Расширение границ применимости.  С4. Квалифицированный персонал.  С5. Наличие финансирования со стороны предприятий ТЭК.</p>	<p><b>Слабые стороны работы:</b>  Сл1. Сложность технологических процессов применяемых методов.  Сл2. Отсутствие лабораторно-диагностического комплекса у предприятий ТЭК.  Сл3. Большой срок обработки результатов.  Сл4. Дороговизна необходимых к применению реагентов.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Инновационные возможности разработки методик дезактивации.  В2. Вовлечение обезвреженных материалов к вторичному применению.  В3. Разработка методов промышленного извлечения редкоземельных радиоактивных и рассеянных элементов в процессе применения дезактивации.  В4. Образование новых предприятий по обезвреживанию и дезактивации отходов</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</b>  1. Заключение контрактов на проведение исследований по эффективности дезактивации.  2. Дальнейшее изучение возможных процессов по улучшению качества свойств дезактивационных составов  3. Подготовка кадров в области радиационной защиты и безопасности.  4. Разработка патентов в данной области науки и промышленности  5. Карьерный рост в следствии конкурентоспособности на рынке услуг</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</b>  1. Ежегодные повышения цен на оборудование и расходные материалы  2. Снижение спроса на предоставляемые услуги в следствии конкурентного ценообразования  3. Отсутствие рентабельности из-за возможного снижения объёмов производства на предприятиях ТЭК.</p>

минерального происхождения.		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на более трудозатратную методику. У2. Отсутствие средств на закупку дезактивационных реагентов.	<b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</b> 1. Высокая достоверность и полнота получаемых данных значительно повышает конкурентоспособность. 2. Затраты на закупку дезактивационных реагентов окупятся при вовлечение обезвреженных материалов к вторичному применению.	<b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</b> 1. Дороговизна сопутствующих материалов и оборудования может стать главной причиной отсутствия спроса. 2. Достаточное большое время на получение результатов анализа может не удовлетворять требованиям потребителя, что понижает спрос реализации методики.

В таблице 13 представлена интерактивная матрица работы, в которой показано соотношение сильных сторон с их возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки. Здесь пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение, «0» – сомнения в соответствии.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	+	+	0
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	-	+	+
	B4	0	+	+	+	+

Исходя из данных интерактивной матрицы, можно сделать вывод, что сильные стороны проекта связаны с возможностями внешней среды, и благодаря им, проект может быть востребован на рынке.

## 5.4 Разработка устава научно-технического проекта

Устав проекта регламентирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Цель проектной работы — изучить наиболее вероятные процессы и риски образования радиационно-опасных факторов в производственных процессах нефтегазовой отрасли, обозначить наиболее оптимальные методические и технические средства для осуществления производственного радиационного контроля и мероприятий противорадиационной защиты, на примере исследований эффективности применения химически активных реагентов в процессе лабораторного эксперимента по дезактивации отходов бурения нефтегазовых скважин.

В нефтегазовой отрасли основным дозообразующим опасным радиационным фактором являются производственные отходы образующиеся в процессах эксплуатации промыслов, извлекаемые на дневную поверхность в виде буровых шламов, загрязненных высокоактивными ЕРН при контакте с пластовыми водами подземных коллекторов месторождений нефти и газа.

Актуальность работы заключается в возможности наиболее эффективно ограничить персонал НГК и местное население от производственных облучений создаваемых в процессе нефте(газо)добычи, и образования (накопления) радиоактивных производственных отходов. Заинтересованность в изучении данных проблем должны затрагивать как руководство нефтегазодобывающих предприятий, так и местные органы по надзору в сферах природопользования и обеспечения благополучия населения (Центры гигиены и эпидемиологии).

Производственный интерес данной работы заключается в изучении наиболее эффективных методов применения различных химически активных реагентов в процессе по дезактивации и обезвреживанию отходов производства НГК по нескольким причинам:



1) Данный тип отходов имеет весьма большой потенциал возможности их вовлечения, в качестве основного или дополнительного сырья в производстве различных материалов промышленного и гражданского назначения;

2) В процессе дезактивации существует вполне эффективная вероятность со стороны как финансово-экономических, так и материально-технических возможностей извлечения редких и полезных в промышленности и медицине природных альфа- и гамма-излучающих изотопов, таких как радий, полоний талий и свинец.

Возможный интерес могут проявить различные предприятия ТЭК и ЯТЦ; научно-исследовательские институты; медицинские учреждения специализирующиеся на радионуклидной диагностике; службы по организации РК в промышленно-производственных секторах и предприятий по переработке отходов и производству вторичного сырья. Данные представлены в таблице 14

Таблица 14 – Заинтересованные стороны проекта и их ожидания

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Предприятия ТЭК и ЯТЦ	Для предприятий ТЭК: - оценка состояния параметров радиационной безопасности на предприятиях НГК, с последующими работами по обезвреживанию и утилизации отходов производства. Для предприятий ЯТЦ: - возможности в организации совместных исследований по данной тематике на производственных площадках по добыче и переработке ядерного топлива.
Научно-исследовательские институты	Возможность дальнейших, более развернутых исследований еще не изученных свойств материалов и технологий по дезактивации отходов минерального происхождения.
Медицинские учреждения	Освоение новых, менее трудоемких и затратных технологий по извлечению изотопов Ra и созданию медицинских источников для лечения и диагностики онко-заболеваний
Лаборатории радиационного контроля	Возможность разработки методов и приборов для радиационного контроля в нефтегазовой отрасли.
Предприятия по переработке отходов	Заключение контрактов на предоставления услуг в сфере радиационной защиты и реализации мероприятий по применению дезактивации для различных видов РАО.

В таблице 15 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях их достижений.

Таблица 15 – Цель и результаты проекта

Цели проекта:	Получение информации по эффективности применения химических реагентов в процессе дезактивации отходов НГК.
Ожидаемые результаты проекта:	1. Определить наиболее подверженные радиационному риску производственные процессы, сформировать плановую структуру по организации РК в нефтегазовой отрасли. 2. Выявить в процессе эксперимента наиболее эффективные к применению материалы в технологии обезвреживания шламов.
Критерии приемки результата проекта:	1. Организация лабораторных исследований в установленные сроки. 2. Достоверность полученных результатов в процессе эксперимента.
Требования к результату проекта:	1. Готовность проекта в установленный срок. 2. Полученные результаты должны удовлетворять критериям приемки результата проекта. 3. Наличие выводов по проведенным исследованиям.

Организационная структура проекта представлена в таблице 16

Таблица 16 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Яковлева В.С., ТПУ, д.т.н., профессор ОЯТЦ	Руководитель	Координация работы над проектом	25
2	Шумило А.В., ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по ЯНАО, ведущий инженер отдела (лаборатории)	Исполнитель	Отбор проб, проб подготовка и дезактивация образцов, расчетная часть, обработка результатов, составление отчета	960
ИТОГО:				985

Ограничения и допущения проекта:

1. Источник финансирования: государственное финансирование.
2. Дата завершения проекта: до 31.05.2022.
3. Ограничение по времени работы участников проекта.

## 5.5 Планирование процесса управления научно-исследовательской работы

### 5.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

В рамках планирования исследовательской работы построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта.

В данном случае осуществляемые работы по теме, представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ. График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научной работы. При этом работы на графике выделяют различной штриховкой или цветом в зависимости от исполнителей, и ответственных за ту или иную работу [38].

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по проводимым видам работ, приведены в таблице 17

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ работы	Вид работ	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2022	3.02.2022	руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	3	3.02.2022	6.02.2022	руководитель
3	Выбор направления исследования	9	6.02.2022	15.02.2022	руководитель, ведущий инженер
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	15.02.2022	17.02.2022	ведущий инженер
5	Календарное планирование работ	1	17.02.2022	18.02.2022	руководитель, ведущий инженер
6	Изучение существующих методов	2	18.02.2022	20.02.2022	ведущий инженер
7	Отбор проб	2	20.02.2022	22.02.2022	ведущий инженер
8	Проведение исследований	62	22.02.2022	24.04.2022	ведущий инженер
9	Анализ полученных данных	3	24.04.2022	27.04.2022	ведущий инженер
10	Обобщение и оценка результатов	10	27.04.2022	07.05.2022	руководитель, ведущий инженер
11	Составление пояснительной записки	29	07.05.2022	05.06.2020	ведущий инженер

В таблице 18 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 18 – Календарный план-график проведения научного исследования

№	Название	Состав участников	Тк, кал. дни	Продолжительность работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Разработка технического задания	руководитель	2														
2	Составление и утверждение технического задания	руководитель	3														
3	Выбор направления исследования	руководитель ведущий инженер	9														
4	Подбор и изучение материалов по теме	ведущий инженер	2														
5	Календарное планирование работ	руководитель ведущий инженер	1														
6	Изучение существующих методов	ведущий инженер	2														
7	Отбор проб	ведущий инженер	2														
8	Проведение исследований	ведущий инженер	62														
9	Анализ полученных данных	ведущий инженер	3														
10	Обобщение и оценка результатов	руководитель ведущий инженер	10														
11	Составление пояснительной записки	ведущий инженер	29														
				■ – руководитель			■ – ведущий инженер										

## 5.5.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследований должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 5.5.2.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (13)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение химических реактивов и лабораторной посуды. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 19

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Кислота азотная хч.	ЛенРеактив	1 кг.	411	411
Кислота соляная хч.	ЛенРеактив	1 кг.	41	41
Кислота серная хч.	ЛенРеактив	1 кг.	82	82
Натрия гидроокись хч.	ЛенРеактив	400 гр.	369	369
Калий хлористый хч.	ЛенРеактив	400 гр.	1187	1187
Кальций углекислый хч.	ЛенРеактив	400 гр.	896	896
Цилиндр 1000 мл мерный стеклянный	ЛенРеактив	3 шт.	1736	5208
Колба плоскодонная П-1- 500-29/32	ЛенРеактив	6 шт.	1042	6252
Стакан В-1-2000 ТС	ЛенРеактив	3 шт.	1570	4710
Воронка лабораторная В- 100-150 ХС	ЛенРеактив	10 уп.	115	1150
Чашка выпарительная №2, фарфоровая	ЛенРеактив	10 шт.	204	2040
Пестик №1, фарфор	ЛенРеактив	1 шт.	210	210
Индикаторная бумага универсальная	ЛенРеактив	1 уп.	366	366
Фильтры обеззоленные белая лента 15 см	ЛенРеактив	1 уп.	210	210
Пакеты для отбора проб	ЛенРеактив	1 уп.	110	110
Бумага	SvetoCopy	1 пачка	1150	1150
Ручка	Erich Krause	1	80	80
Всего за материалы				24472
Транспортно-заготовительные расходы				1500
Итого по статье				25972

### 5.5.2.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится:

- Вспомогательное оборудование:
- Шкаф вытяжной радиохимический.
- Плита нагревательная лабораторная секционная. «ПЛС-02»;
- Перемешивающее устройство (ротор с подогревом платформы) «ЛАБ-ПУ-01 LOIP»;
- Центрифуга лабораторная клиническая «ОПн-3.02»;
- Шкаф сушильный лабораторный «SNOL 67/350»;
- Весы лабораторные электронные. «CAS MWP-3000»;
- Истиратель дисковый. Лабораторный. «ИД-175»;
- Сито лабораторные из металлической лабораторной сетки;
- Нетбук Aser.

Средства измерения:

- Сцинтилляционный гамма-спектрометр (в составе СК «ПРОГРЕСС – Ар-Б-Г).
- Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с ИБД:
  - БДПА-01 – плотности потока и флюенса  $\alpha$ -частиц;
  - БДПБ-01 – плотности потока и флюенса  $\beta$ -частиц;
  - БДКГ-04 – поиск/локализация и МД  $\gamma$ -излучения.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (14)$$

где  $C_{\text{об}}$  – стоимость оборудования (руб);

$T$  – срок службы (дней).

Результаты расчетов затрат на амортизацию оборудования приведены в таблице 20.

Таблица 20 - Результаты расчетов затрат на амортизацию используемого оборудования

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, руб	Срок службы, дней	Срок использования оборудования в НИР, дней	С аморти	С аморти(общ)
Шкаф вытяжной радиохимический	212 040,00	3650	8	58,1	464,7
Плита нагревательная лабораторная секционная. «ПЛС-02»	73 570,00	1825	8	40,3	322,5
Перемешивающее устройство (ротор с подогревом платформы) «ЛАБ-ПУ-01 LOIP»	95 000,00	1825	4	52,1	208,2
Центрифуга лабораторная клиническая «ОПн-3.02»	43 900,00	1825	4	24,1	96,2
Шкаф сушильный лабораторный «SNOL 67/350»	114 300,00	3650	2	31,3	62,6
Весы лабораторные электронные. «CAS MWP-3000»	18 500,00	1825	10	10,1	101,4
Истиратель дисковый. Лабораторный. «ИД-175»	23 000,00	1825	3	12,6	37,8
Сито лабораторные из металлической лабораторной сетки	3 120,00	1095	5	2,8	14,2
Нетбук Aser	17 000,00	3650	100	4,7	465,8
Сцинтилляционный гамма-спектрометр (в составе СК «ПРОГРЕСС – АР-Б-Г)	800 000,00	3650	22	219,2	4821,9
Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с ИБД	498 000,00	3650	22	136,4	3001,6
Итого					9597,00

Итого общая сумма затрат составляет 9597 руб. 00 коп.



### 5.5.2.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Раздел включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением работы, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (15)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (16)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d \quad (17)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 5-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней (таблица 21).

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Ведущий инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	60	48

– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	239	251

Ведущий инженер, являющийся сотрудником лаборатории, имеет ежемесячный оклад, равный 20200 руб. Среднедневная оплата составляет:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{(20200 * 10,4)}{251} = 837,0 \frac{\text{руб}}{\text{день}}$$

Основной заработок инженера за время составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 837,0 * 120 = 100440,2 \text{ руб.}$$

Должностной оклад инженера за месяц:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} * k_p = 20200 * 1,7 = 34340 \text{ руб.}$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,7 (для г. Ноябрьск).

Месячная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} * k_p = 52700 * 1,3 = 68510 \text{ руб./месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (68510 * 11,2) / 239 = 3210,51 \text{ руб./день.}$$

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 3210,51 * 25 = 80262,8 \text{ руб.}$$

Результаты расчета основной заработной платы научного руководителя и инженера представлены в таблице 22

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИР	$Z_{\text{мс}}$ , руб	$k_p$	$Z_{\text{м}}$ руб	$Z_{\text{дн}}$ руб	$T_p$ раб. дн	$Z_{\text{осн}}$ руб
Руководитель	52700	1,3	68510	3210,5	25	80262,8
Ведущий инженер (студент)	20200	1,7	34340	837	120	100440,2
Итого:						180703,0

#### 5.5.2.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (18)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (12%);

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Инженер (студент)
Основная зарплата	80262,8	100440,2
Дополнительная зарплата	9631,5	4030,0
Зарплата исполнителя	89894,3	104470,2
Итого по статье Сзп	194364,5	

#### 5.5.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (19)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 * 194364,5 = 58309,4 \text{ руб.}$$

### 5.5.2.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + C_{\text{внеб}} + C_{\text{аморт}} + C_{\text{м}}) \quad (20)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 15-25 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем  $k_{\text{накл}} = 20 \%$ .

$$C_{\text{накл}} = 0,2 * (194364,5 + 58309,4 + 9597 + 25972) = 57648,58 \text{ руб.}$$

### 5.5.2.7 Формирование бюджета затрат исследовательской работы

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат работы, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Далее в таблице 24 приведено определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения.

Таблица 24 – Расчёт бюджета затрат научно-исследовательской работы

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	25972
2. Затраты на спецоборудование	9597
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	180 703
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13 661,5
4. Отчисления во внебюджетные фонды	58309,4
5. Накладные расходы	57648,58
Бюджет затрат исследования	345891,5

### 5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Настоящая научно-исследовательская работы имеет одно исполнение, следовательно, определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением величины ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (21)$$

где  $I_{\text{фин}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}} = 1 \quad (22)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы.

Таблица 25 – Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка
1. Производительность труда при использовании (скорость выполнения расчета)	0,05	2
2. Простота расчета	0,1	2
3. Потребность в оснащении химических лабораторий	0,15	5
4. Потребность в спектрометрическом оборудовании	0,1	4
5. Полнота и достоверность полученных данных	0,2	5
6. Время наработки данных	0,05	4
Итого	1	22

$$I_{pi} = 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 = 2,65 \quad (24)$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя

ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}} \quad (25)$$

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (26)$$

Таблица 26 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	2,65
3	Интегральный показатель эффективности	0,38

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. В данном случае имеет место лишь один вариант решения задачи. Следовательно, он и предполагается лучшим.

### Выводы по разделу

1. Проведенный анализ конкурентных методов показал, что разработанная методика дезактивации буровых шламов реагентами кислот и щелочей может успешно применяться. Ее ближайшим конкурентоспособным методом является технология промышленного обезвреживания шламов с использованием специализированных установок, метод автоматизирован и быстр в использовании, но не дает достоверных и полных результатов.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения всех этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено общее количество календарных дней для выполнения НИР в количестве 125 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер –

119, и общее количество календарных рабочих дней руководителя составил 19 дней;

3. Рассчитанный бюджет затрат на выполнение научно-исследовательской работы составил 345891 руб. 5 коп;

4. В выполненной выпускной квалификационной работе были достигнуты экономические и технические критерии эффективности за счет функциональных возможностей разработки.



## **6. Социальная ответственность**

Целью исследования является сравнение параметров  $A_{эфф}$  до применения процедуры химической дезактивации отходов бурения (буровых шламов), и полученных значений  $A_{эфф}$  в результате применения обработки образцов БШ.

Осуществление экспериментально-исследовательских работ и процессов в рассматриваемой работе, выполнялись в производственных помещениях и рабочих кабинетах на территории ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по ЯНАО. Все операции связанные с применением едких и агрессивных сред (кислот и щелочей), а так же ядовитых, токсичных и радиоактивных веществ, производились в аналитическом зале Отдела «Аналитического контроля источников загрязнений» ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по ЯНАО.

Для достижения вышеуказанной цели требуется выполнить: отбор проб БШ из мест их накопления (шламовых амбаров), приготовить равные аликвотные части образцов шлама с их последующей обработкой концентрированными кислотами, и перенасыщенными растворами щелочей (в качестве основного средства для дезактивации), с последующим измерением мощности дозы гамма-излучения на поверхности образцов, и измерений удельной активности гамма-излучающих ЕРН, с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра, и выполнения расчетов их  $A_{эфф}$ ,  $K_d$ ,  $K_c$  и эффективности дезактивации в процентном соотношении.

Решение поставленных задач позволит провести переоценку в сложившейся ситуации с накопленным объемом производственных отходов в НГК, и принятием решений в пользу возможности их применения как вторичное сырьё, а так же оценить коммерческий потенциал проведения работ по обезвреживанию и дезактивации, их отнесения к РАО и дальнейших мер по обращению с ними, в соответствии с установленными нормами и стандартами.

Организация рабочих мест для проведения экспериментальных исследований, требует использования в качестве материально-технических

средств: – шкаф вытяжной лабораторный, вспомогательное электрооборудование, в том числе плитки нагревательные, ротор-лабораторный, центрифуга, шкаф сушильный, лабораторная посуда, гамма-спектрометр, компьютерный стол с ПЭВМ, с соответствующим периферийным оборудованием (компьютерная клавиатура, мышь и т.д.) и программного обеспечения (MS Word, Excel, Прогресс-2000).

Исходя из выше изложенного, в данном разделе будут рассмотрены опасные и вредные производственные факторы, оказывающие влияние на процесс выполнения поставленных задач, экологическая безопасность, рассмотрены правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в случае образования чрезвычайных ситуациях.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства**

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [39]. В документе указывается, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске

повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда [39].

В трудовом кодексе Российской Федерации обозначена нормальная продолжительность рабочего времени, которая не может превышать 40 часов в неделю, а работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником. Согласно [40] гигиенические нормативы физических факторов в условиях производственной среды, определяются как предельно допустимые уровни факторов, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч, но не более 40 ч. в неделю, в течение всего рабочего стажа не вызывают заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

При работе с вредными или опасными условиями труда, длительность рабочего дня составляет 8 часов (при 36-часовой рабочей неделе) и 6 часов (при 30-часовой рабочей неделе). В ночное время продолжительность смены сокращается на 1 час. Каждому работнику должен быть предоставлен перерыв во время рабочего дня не менее 30 минут, но не более 2 часов, который не включается в рабочее время.

### **6.1.2 Организационно-технические мероприятия**

Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому присваивается квалификационная группа по технике безопасности, соответствующая его знаниям и опыту работы с выдачей специального удостоверения.

В случаях при организации работ с токсичными, радиоактивными, ядовитыми, едкими и агрессивными веществами, проводится дополнительное обучение (объем подготовки не менее 72 часов), с последующей аттестацией и выдачей допуска (наряда) к выполнению соответствующих работ.

Измерения МЭД и УА гамма-излучающих радионуклидов проводились в помещении «Лаборатории радиационного контроля».

Рабочие места:

Рабочее место при работе с ПК должно составлять не менее чем 6 м<sup>2</sup>. Рабочее место Ведущего-инженера по радиационному контролю имеет площадь 25 м<sup>2</sup>, по 12,5 м<sup>2</sup> на одного оператора спектрометрической установки и ПЭВМ.

Пространство для ног должно соответствовать следующим параметрам: высота пространства для ног не менее 600 мм, расстояние сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150 мм, а высота сиденья 420 мм [40].

Так же предусмотрены следующие требования к организации рабочего места пользователя ПЭВМ: конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию [41].

Рабочие места при организации работ в исследовательских (аналитических) лабораториях должны соответствовать требованиям [42], а так же нормативными документами по охране труда, пожарной безопасности, и технике безопасности, в соответствии с требованиями производимых работ в цехах (залах) и на участках проведения прямых измерений (испытаний), в соответствии с [42], и должностной инструкцией.

## **6.2 Производственная безопасность**

### **6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте при проведении исследований**

Опасные и вредные производственные факторы производственной среды по природе их воздействия на организм работающего человека подразделяют:

- на факторы, воздействие которых носит физическую природу;
- факторы, воздействие которых носит химическую природу;

- факторы, воздействие которых носит биологическую природу [40].

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал, представлен в таблице 27.

Таблица 27 – Опасные и вредные производственные факторы на рабочих местах при выполнении научного исследования

Факторы ГОСТ 12.0.003-2015	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
2. Превышение уровня шума	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	
4. Повышенный уровень электромагнитного излучения	
5. Психофизиологические нагрузки	
6. Повышенный уровень ионизирующего излучения	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)
7. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
8. Неправильная организация систем вентиляции и кондиционирования воздуха	СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

По характеру условий осуществляемых производственных процессов, должность ведущего-инженера по радиационному контролю Отдела «АКИЗ» относится к персоналу энергозатрат категории - Па.

### 6.2.2 Микроклимат

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. [40]. Оптимальные значения характеристик микроклимата для категории работ Па, приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах в помещениях для категории работ Па

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат,Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па (175-232)	17,0-23,0	16,0-24,0	15-75	не более 0,3
Теплый	Па (175-232)	18,0-27,0	17,0-28,0	15-75	не более 0,4

Для обеспечения установленных норм параметров микроклимата и качества вдыхаемого воздуха на рабочих местах в производственных помещениях, применяют системы приточной вентиляции и кондиционирования. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата [44]. Площадь помещения, где проводилась работа, равна  $25\text{ м}^2$ , объем  $75\text{ м}^3$ , кратность воздухообмена 2,5 1/ч. Следовательно, воздухообмен помещения равен  $175\text{ м}^3/\text{ч}$ . Для достижения данного значения воздухообмена, рекомендуется к использованию одноступенчатая воздуходувка МТ 06-М1С-3,0 мощностью 3,0 кВт [43]. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в аналитической зоне лаборатории регулируются системой центрального отопления.

Показатели микроклимата в помещениях «Лаборатории радиационного контроля», полностью соответствуют установленным нормативам приведенным в [40].

### 6.2.3 Параметры шума и вибрации

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на органы слуха и на весь организм через центральную нервную

систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. В производственных помещениях имеют место шумы различного рода, которые генерируются как внутренними, так и внешними источниками шумов. В рассматриваемом случае внутренними источниками шумов являются рабочее оборудование, а именно персональный компьютер, принтер, вентиляционная система, в том числе шкаф вытяжной химической.

При возможном превышении ПДУ достаточно использовать в помещении звукопоглощающие материалы (звукопоглощающая облицовка стен и потолка, оконные шторы) [40]. Для уменьшения шума, проникающего снаружи помещения, следует установить уплотнения по периметру притворов дверей и окон.

Параметры уровня производственного шума (эквивалентный уровень звука) и вибрации, от вспомогательного лабораторного оборудования (шкаф вытяжной, ротор, центрифуга, а так же от ПВЭМ), сведены к минимальным значениям (ниже 50 дБ), а так же имеют ограничения по времени эксплуатации за рабочую смену, и не представляют угрозы здоровью персонала.

#### **6.2.4 Освещение**

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические светильники. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли. Причиной развития отклонений и утомляемости органов зрения может служить недостаточная или чрезмерно обильная освещенность в помещении, а так же некорректная организация



источников освещения на рабочих местах.

В нормативах [40] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 люкс. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна превышать 300 люкс. Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Так же как средство защиты для минимизации воздействия фактора следует установка местного освещения из-за недостаточной освещенности, оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Основным способом защиты от недостаточного освещения является соблюдение норм освещенности [40]. В помещении с III разрядом зрительных работ с высокой точностью освещенность должна составлять 300 лк, а коэффициент пульсации 15 %. Пульсации освещенности обусловлены малой инерционностью излучения газоразрядных ламп, световой поток от которых пульсирует при переменном токе промышленной частоты.

Число светильников для помещения рассчитывается:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m}, \quad (27)$$

где  $E$  – нормированная освещенность,  $E = 300$  лк;

$S$  – площадь помещения,  $S = 250$  м<sup>2</sup>;

$Z$  – поправочный коэффициент светильника,  $Z = 1, 2$ ;

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $K = 1, 2$ ;

$F$  – световой поток одной лампы, ЛД 40,  $F = 2130$  лм;

$U$  – коэффициент использования,  $U = 0,55$ ;

$m$  – число ламп в светильнике,  $m = 2$ ,

$$n = \frac{300 \cdot 250 \cdot 1.2 \cdot 1.2}{2130 \cdot 0.55 \cdot 2} = 46,09 \text{ шт.}$$

Полученный результат округляется в наибольшую сторону, что в сумме определяет количество 47 светильников.

Освещенность рабочего места должна быть равномерной. Рабочий стол должен располагаться в хорошо освещенном месте, желательно у окна. Человек за столом должен располагаться лицом или левым боком к окну (по правую руку). Светильники искусственного света должны располагаться относительно тела человека аналогичным образом [40].

Параметры искусственной освещенности на рабочем месте инженера-радиоэлектронщика и оператора спектрометрической установки находятся выше предела установленных значений в 300 лк. Источники естественного освещения в теплый период года составляет в среднем 18 - 20 светочасов/сут, что определяет существенный вклад КЕО на рабочих местах, для регионов крайнего севера.

### **6.2.5 Электромагнитные поля (ЭМП)**

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрическим характеристикам должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц - 2,5В/м.
- плотность магнитного потока должна быть не более:
- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц - 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других

средств индивидуальной защиты.

Для защиты от электромагнитного излучения при возможном превышении ПДУ принимают следующие меры защиты:

- увеличение расстояния между источником ЭМИ и рабочей зоной;
- установка отражающих или поглощающих экранов;
- размещение в специальных оболочках токоведущих элементов

аппаратов и устройств.

Показатели воздействия ЭМП на рабочих местах персонала лаборатории, так же находятся в пределах установленных в [40] нормативов.

### 6.2.6 Источники ИИ, и факторы химического воздействия

Источниками ИИ в технологических процессах данной работы являются калибровочные источники и эталонные (образцовые) объемные меры активности специального назначения для градуировки и калибровки спектрометрического оборудования. Данные средства являются ИИИ закрытого типа.

МЗА и МД на поверхности контейнеров (сосуда Маринелли) не превышают контрольных уровней (таблица 29) регламентированных в НРБ-99/2009. Меры по РБ при использовании и хранении таких источников ограничиваются главным образом - бережным обращением на предмет их целостности и герметизации, а так же ограничением контроля доступа [4].

Таблица 29. Используемые калибровочные источники и стандартные объемные меры активности

Тип ИИ	МЗА, Бк	Активность в источнике*, Бк	МЭД 1 м от источника, мкЗв/ч	МЭД на поверхности источника, мкЗв/ч
КИ $^{137}\text{Cs}$ $^{40}\text{K}$	$1 \cdot 10^4$ $1 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^3$ $12 \cdot 10^4$	<0,1	0,13
ОМАСН $^{137}\text{Cs}$	$1 \cdot 10^4$	790	<0,1	0,11
ОМАСН $^{232}\text{Th}$	$1 \cdot 10^3$	680	<0,1	0,12

\*Данные приведены из паспортов на используемые КИ и ОМАСН

Проводимые опасные работы в радиологических и радиохимических лабораториях характеризуются в первую очередь прямым контактом с источниками альфа– бета– и гамма – излучения при подготовке образцов к измерениям. Вторичными факторами могут выступать работы с растворами щелочей и кислот. Вероятная опасность в производственных процессах испытательных лабораториях: - кислотные и щелочные ожоги кожи рук и глаз, отравление токсичными парами, работы с хрупкой стеклянной посудой, электроприборами, оборудованием под высоким давлением, и экстремально высокими (или низкими) температурами [41].

Испытуемые образцы буровых шламов на этапе пробоотбора подвергались прямым измерениям МЭД гамма-излучения на поверхности шламонакопителя, которая не превысила 0,09 – 0,11 мкЗв/ч, и контроля плотности потока альфа- и бета- частиц с поверхности образцов по завершению процесса транспортировки проб в лабораторию. Контрольные уровни ПП  $\alpha$ -частиц составили – 0,01 – 0,03 мин<sup>-1</sup>/м<sup>-2</sup>;  $\beta$ -частиц – 1,42 – 3,77 мин<sup>-1</sup>/м<sup>-2</sup>.

Работы, проводимые с применением концентрированных кислот и перенасыщенных щелочей производились с использованием СИЗ: резиновых перчаток [49], лабораторного халата [50], маски-респиратора с защитой органов зрения [51], все манипуляции с использованием токсичных и едких веществ проводились в вытяжном химическом шкафу.

Все используемые в работе СИЗ соответствуют требованиям стандартов качества, а так же имеют сертификаты соответствия.

### **6.2.7 Поражение электрическим током**

Существует три типа помещений, определяющих класс их электробезопасности: — безопасные, с повышенной опасностью, и особо опасные.

Главным опасным фактором при работе с ПЭВМ и аналитическими приборами является поражение электрическим током. Удар током

характеризуется резким возбуждением нервных окончаний клеток тканей в месте прохождения импульса, при этом возникают спонтанные хаотичные сокращения мышечной ткани.

Степени поражения электрическим ударом определяются в зависимости от состояния организма человека:

- Мышечные судороги, полное сознание;
- Мышечные судороги, отсутствие сознания;
- Замирание диафрагмы, сердце работает;
- Прекращение дыхания, паралич сердца – клиническая смерть.

Наиболее опасные последствия поражения электрическим током:

Остановка сердца – жизненно-важный орган перестаёт функционировать от поражения разрядом сердечной мышцы. Такое происходит, когда электрический ток стремится пройти напрямую через область грудиной клетки.

Фибрилляция – сердце работает стабильно, когда все желудочки ритмично прокачивают кровь. Ток может вызвать перебои функций мышц сердца, и в результате орган перестаёт выполнять свою работу. Кровь перестаёт циркулировать в сосудах, резко падает артериальное давление, и через 5-8 минут может наступить смерть. Вовремя оказанная первая помощь (совместное применение непрямого массажа сердца с искусственным дыханием) может спасти жизнь пострадавшего.

Электрический шок – от удара током наступает тяжёлое нервно-рефлекторное состояние организма. Падает кровяное давление, замирают органы дыхания, возникают проблемы с поступлением кислорода к жизненно-важным органам. Человек оказывается в полном ступоре и может оставаться в таком состоянии в течение суток. В случае вовремя не оказанной экстренной помощи травмированный человек может погибнуть. Вовремя оказанная помощь приведёт к тому, что пострадавший с более высокой вероятностью сможет полностью восстановиться.

Знание допустимых значений силы и напряжения тока, позволяет правильно оценить опасность поражения и определить требования к защитным

мерам от поражения электрическим током. [46] устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения токов, протекающих через тело человека (таблица 30). Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, одновременно касаемых человеком.

Таблица 30 – Предельно допустимые уровни напряжения соприкосновения и силы тока

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значение	
	Uпр, В	Ih, mA
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Для лиц, выполняющих работу в условиях высокой температуры и влажности (относительная влажность больше 75%), эти нормы должны быть уменьшены в три раза.

Оператор ПЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами, при этом существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Рабочее место ведущего инженера ЛРК соответствует нормам и требованиям [46], работы выполняются на заземленном электрооборудовании. Ежегодно проводится текущая проверка знаний ответственным лицом по

электробезопасности и правил оказания медицинской помощи при электропоражениях. Тип рабочего помещения по классу электробезопасности установлен как «помещение с повышенной опасностью» за счет используемого аналитического электрооборудования.

### **6.2.8 Психофизиологические нагрузки**

Не менее важным для сохранения трудоспособности персонала является поддержание его психофизиологического здоровья. Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Отрицательно на состояние здоровья отражается гиподинамия – нарушение функций организма (опорно-двигательного аппарата, кровообращения, дыхания, пищеварения и др.) при ограниченной двигательной активности, снижении сил сопротивления мышц. Профилактика гиподинамии предусматривает исключение статической работы, изменение рабочей позы в процессе работы, проведение производственной гимнастики с рациональным комплексом физических упражнений и т.п.

Напряженность внимания характеризуется длительностью сосредоточения наблюдения, числом объектов одновременного наблюдения, плотностью сигналов (световых, звуковых) и сообщений. Степень напряженности анализаторских функций для зрительного анализатора зависит от размера объекта различения и расстояния объекта от глаз, различия в контрастности объекта различения и фона, для слухового анализатора – от соотношения между уровнями речи и шума. Эмоциональные напряжения вызывают изменения функционального состояния центральной нервной системы [41].

## **6.3 Экологическая безопасность**

### **6.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду**

Для оценки класса опасности отходов производства и потребления в Российской Федерации разработан специальный реестр, Федеральный классификационный каталог отходов — ФККО, где включены и описаны категории отходов, их класс опасности, компонентный состав, с присвоением соответствующего шифра. Классификатор регламентирует работу предприятий в области списания и утилизации материалов утративших свою функциональность, пришедших в непригодность, требующих замены. Однако основная цель его создания — обеспечение безопасности при утилизации отходов, их транспортировки, и созданию условий, не нарушающих экологических принципов сохранения первозданной природы.

В классификаторе отображается:

- Происхождение отходов, всего пять видов (животного, растительного, минерального, химического, коммунально-бытового);
- Агрегатное состояние вещества, а также физическая форма (блоки, стружка, топливные жидкости);
- Образование сырья, химический состав, технологии получения.

Последние цифры в кодах отхода обозначают экологическую опасность [9].

Описание буровых шламов, как отхода производства НГК, его роль и значение в области охраны окружающей среды описаны в главе 1 настоящей работы. Химические и физические свойства, компонентный состав, его происхождение с описанием класса опасности, так же рассмотрены в «Описании объекта исследований».



### **6.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Мероприятия по обращению с отходами производства НГК, в частности вопросы, касающиеся дезактивации и утилизации отходов бурения, ранее регламентировались в соответствии с ныне отмененным [3]. В настоящее время организация мер по обращению с отходами НГК, включены в [48].

Существующие методы по обезвреживанию отходов бурения позволяют их вовлекать в промышленное применение, в виде основного или вспомогательного компонента для строительных материалов, в зависимости от установленных критериев оценки лабораторных испытаний.

Независимо от того, планируется ли утилизация или переработка бурового шлама, проводится его предварительная очистка. Для этого используют следующие методы:

Термический, при котором шлам подвергается обжигу, для чего используют открытые печи (Рисунок 12). В результате в отходах сгорают примеси, в том числе и нефтесодержащие вещества, а полученная масса применяется в производстве битума;

Биологический - шлам размещают в специальных местах консервации и под воздействием микроорганизмов происходит его разложение;

Физический, отход подвергается воздействию высокого давления и центробежной силы, что позволяет отфильтровать его от опасных и активных веществ. После этого шлам можно утилизировать;

Химический, при котором с помощью воздействия на шлам растворителями и отвердителями выделяется чистая порода.

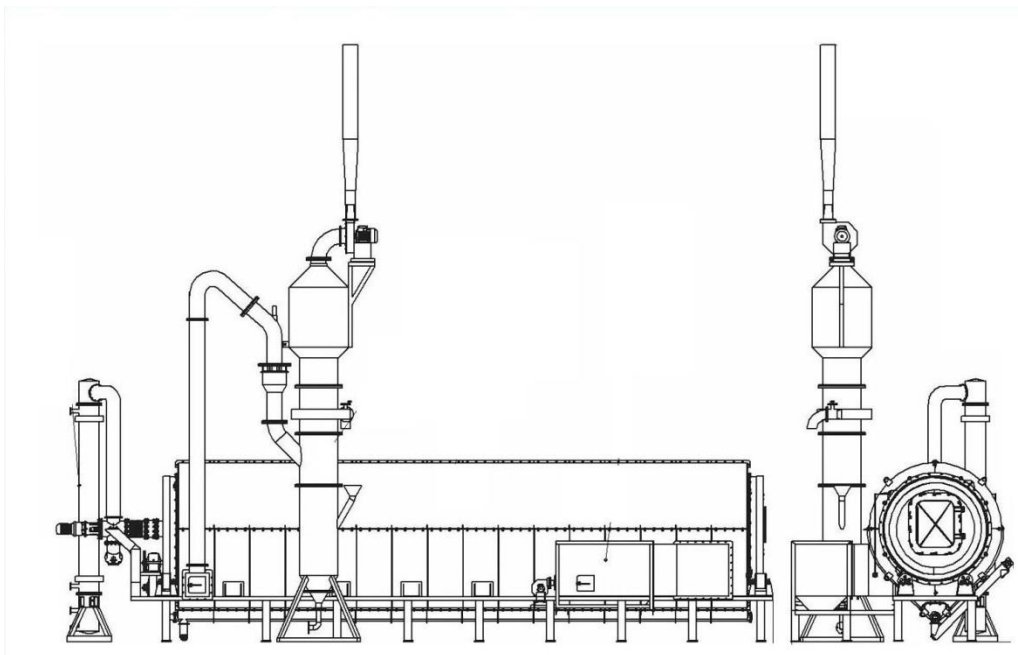


Рисунок – 12 Типовая установка для обезвреживания бурового шлама термическим способом.

Применяются и комбинированные методы, например химико-физический. При нем шлам подвергается воздействию как реагентами, так и в специальных устройствах для увеличения давления и продуцирования центробежных сил. Это позволяет снизить класс опасности бурового шлама с третьего или четвертого до пятого.

Полученную массу могут не только утилизировать на полигонах для захоронения. Она служит вторсырьем, которое используется в производстве, как битума, так и бетонных смесей, плитки для тротуаров, шлакоблоков и т.п.

Принятие решений о мерах дальнейшего обращения с такими отходами принимаются на основе проведенных лабораторных испытаний основными характеристиками которых служат:

- ✓ Содержания нефтепродуктов
- ✓ Определение класса опасности (токсичности)
- ✓ Удельная эффективная активность ЕРН
- ✓ Массовая концентрация валовых и подвижных форм ТМ

Физико-механические испытания (предел прочности на растяжение, насыпная плотность, морозостойкость и др.) [10].

## 6.4 Пожаровзрывобезопасность

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий химических лабораторий определяют для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода. При этом исходными данными служат вид находящихся в помещении горючих веществ и материалов, их количество, а также взрывоопасные свойства. Кроме того, должны быть учтены и особенности проводимых работ.

Исходными данными о пожароопасных свойствах веществ и материалов, являются результаты испытаний или расчеты, проверенные по стандартным методикам, с обязательным учетом параметров состояния (давления, температуры и др.).

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения и здания подразделяются на категории «А, Б, В, Г и Д». Категории помещений должны определяться путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от высшей «А» к низшей «Д» [52].

Большинство помещений химических лабораторий относится к пожароопасным помещениям категории В и согласно Правилам устройства электроустановок — к взрывоопасным класса В-1б [53].

Возможные причины возгорания:

- короткие замыкания в блоке питания;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- неисправность токоведущих частей установок;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: двери, столы, изоляция кабелей и т.д.

## **6.5 Безопасность в чрезвычайных и аварийных ситуациях**

### **6.5.1 Анализ вероятных ЧС и производственных травм при реализации процесса проводимых исследований**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь, или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Определены два вида чрезвычайных ситуаций:

- техногенная;
- природная.

К техногенным ЧС можно отнести пожары, взрывы, диверсии, выбросы ядовитых веществ. К природным ЧС относятся природные катаклизмы. Наиболее часто встречающейся техногенной ЧС являются пожары.

Производственный травматизм (ПТ) - совокупность травм, полученных работающими на производстве, и вызванных несоблюдением требований безопасности труда. Производственная травма всегда является результатом несчастного случая.

К несчастным случаям относится: внезапный и неуправляемый источник энергии: двигающийся предмет, неуправляемое и неконтролируемое движение [47].

Рассмотрим возможные ЧС и примеры производственных травм в испытательной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по ЯНАО:

- пожар;
- ожоги и отравления от токсичных и ядовитых веществ;
- порезы и повреждения кожных покровов и мягких тканей;
- попадание в глаза агрессивных сред;

- падение с высоты собственного роста;
- удар электрическим током.

Мероприятия по предотвращению вышеуказанных ЧС и ПТ представлены в таблице 31.

Таблица 31 Мероприятия по предотвращению ЧС и ПТ

<b>Чрезвычайная ситуация</b>	<b>Мероприятия по предотвращению</b>	<b>Мероприятия по ликвидации последствий чрезвычайной ситуации</b>
Пожар	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Своевременное проведение инструктажа.</li> <li>2. Установление средств автоматического пожаротушения в помещениях.</li> <li>3. Установка датчиков дыма и огня.</li> <li>4. Обеспечение путей эвакуации и поддержание их в надлежащем состоянии.</li> <li>4. Контроль работы электроприборов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обесточить помещение, прекратить поступление воздуха.</li> <li>2. Позвонить в пожарно-спасательную службу или МЧС – тел. 112,101</li> <li>3. Немедленно сообщить о пожаре дежурному или на пост охраны.</li> <li>4. По возможности принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и спасению материальных ценностей.</li> </ol>
<b>Производственные травмы</b>	<b>Мероприятия по предотвращению</b>	<b>Мероприятия по ликвидации последствий ПТ</b>
Ожоги и отравления от токсичных и ядовитых веществ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обучение по технике безопасности работ производимых в химических и радиологических лабораториях</li> <li>2. Обязательное использование СИЗ при проведении работ с повышенной опасностью в лабораториях.</li> <li>3. Оборудование мест оказания первой медицинской помощи.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вывести пострадавшего из мест проведения работ.</li> <li>2. Обработка пораженных частей тела в соответствии с инструкцией по оказанию первой медицинской помощи при травмах и отравлениях химическими реактивами.</li> <li>3. Провести дегазацию, демеркуризацию или дезактивацию на месте происшествия инцидента.</li> <li>4. Вызвать службу по оказанию экстренной медицинской помощи. (т.112)</li> </ol>
Порезы и повреждения кожных покровов и мягких тканей		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вывести пострадавшего из мест проведения работ.</li> <li>2. Промыть рану антисептическим средством, наложить повязку.</li> <li>3. При необходимости вызвать службу по оказанию экстренной медицинской помощи. (т.112)</li> </ol>
Попадание в глаза агрессивных сред		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вывести пострадавшего из мест проведения работ.</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Провести немедленное промывание глаз водой с помощью душа или водяного фонтанчика в течение 10—15 мин.</li> <li>3. В случае попадания в глаза кислоты после промывания водой продолжают промывание 2%-м раствором бикарбоната натрия. При резких болях закапывают 1—2 капли 1%-го раствора новокаина.</li> <li>4. При поражении глаз щелочами, после удаления большей части щелочи с помощью струи воды продолжают промывать глаза изотоническим раствором хлорида натрия еще 30—60 мин.</li> <li>5. Вызвать службу по оказанию экстренной медицинской помощи. (т.112)</li> </ol>
Падение с высоты собственного роста	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Содержание помещения в надлежащем порядке.</li> <li>2. Ограничение рабочего пространства.</li> <li>3. Своевременное проведение инструктажа.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осмотреть или опросить пострадавшего.</li> <li>2. Если необходимо – вызвать скорую помощь (т. 112,103).</li> <li>3. Остановить кровотечение, если оно имеется.</li> <li>4. Если есть подозрение, что у пострадавшего сломан позвоночник (резкая боль в позвоночнике при малейшем движении), необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.</li> </ol>
Удар электрическим током	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заземление всех электроустановок.</li> <li>2. Ограничение рабочего пространства</li> <li>3. Обеспечение недоступности токоведущих частей аппаратуры.</li> <li>4. Своевременное проведение инструктажа.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока.</li> <li>2. Вызвать скорую помощь (т.112).</li> <li>3. Если пострадавший потерял сознание, но дыхание сохранилось, его следует удобно уложить, расстегнуть стесняющую одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой.</li> <li>4. Пострадавшему надо дать понюхать нашатырный спирт, сбрызнуть лицо водой, растереть и согреть тело.</li> </ol>

## **6.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС**

Мероприятия по противопожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относится установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования [47].

При возникновении чрезвычайной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в пожарно-спасательную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации пожара в соответствии с инструкцией.

### **Выводы по разделу**

В данном разделе ВКР были рассмотрены вопросы социальной ответственности в отношении производственных процессов, вредных и опасных факторов, возникающих в процессе научно-исследовательского эксперимента по дезактивации отходов бурения НГК.

Изучены нормативные документы по содержанию рабочих мест и помещений для выполняемых операций, включающие в себя: оценку микроклимата в производственных помещениях, искусственные и естественные источники освещения рабочей зоны, шум и вибрация [40] [41], вентиляция, ионизирующее излучение [4] [44], психофизиологические факторы, повышенный уровень электромагнитного излучения и поражение электрическим током [46].

Рассмотрены примеры последствий возникновения производственных травм, связанных с особенностями рабочих процессов. Описаны основные



аспекты экологической безопасности связанные с объектом исследования.

В заключительной части раздела проведен анализ наиболее вероятных ЧС в рамках проведенных исследований. Наибольшую вероятность возникновения ЧС в производственных помещениях испытательного лабораторного центра является возгорание и пожароопасная ситуация. Определены причины возникновения ЧС: возгорания неэлектрического и электрического характера, а также приведены меры противопожарной профилактики. Категории помещений по электробезопасности для аналитического зала и ЛРК по всем параметрам соответствуют категории повышенной опасности [46].

К наиболее вероятным происшествиям производственного травматизма, влекущим к различным увечьям, относится бой химической посуды и ёмкостей хранения опасных реактивов в аналитических залах.

По взрывопожарной и пожарной опасности используемые в работе помещения относятся к категории «В», и взрывоопасному классу – «В-1б» [52] [53].

## Заключение

В результате изучения научно-методической литературы был определен наиболее проблематичный с точки зрения радиационной безопасности объект исследований – отходы бурения нефтегазовых скважин. Выполнен отбор образцов буровых шламов в местах их централизованного сбора, для реализации экспериментальных исследований по эффективности их обезвреживания, методами комбинированной объемной дезактивации с последующей подготовкой счетных образцов для измерений удельной активности основных дозообразующих ЕРН гамма-спектрометрическим методом.

По итогам проведенных исследований достигнуты все поставленные задачи диссертационной работы:

✓ Проведен радиационный контроль на одном из нефтегазовых промыслов ЯНАО, и выявлен наиболее вероятный и опасный фактор профессионального облучения персонала НГК;

✓ Определен объект исследований и поставлен эксперимент, в ходе которого получены достоверные данные об эффективности дезактивации буровых шламов методом комбинированной жидкостной объемной очистки с применением физико-химических технологий дезактивации.

Наилучшие показатели снижения  $A_{эфф}$  в шламах проявили смеси реагентов-дезактиваторов:

✓ Азотной кислоты в блоке кислотной дезактивации образцов, достигнув 47% процентов выхода радионуклидов от начальной  $A_{эфф}$  из матрицы образца, выход обусловлен изотопами  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$

✓ Реагента кальция углекислого, дезактивация достигнута неполным выходом в рядах всех основных исследуемых радионуклидов из матриц образцов в процессе декантации с промывочной жидкостью, достигнув 41% снижения  $A_{эфф}$ .

Из эксперимента выявлены следующие наблюдения:

1. Блок с применением смесей концентрированных кислот. Выход из матрицы изотопов  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  обусловлен их непосредственной реакционной связью с кварцевой основой в образцах шлама, которая под воздействием сильных кислот формирует соединения с песком и породой, и выпадает осадком в виде силикатов.

Использование реагентов смесей соляной и азотной кислот указывают на более успешное и эффективное применение в качестве основного компонента для жидкостной и комбинированных методов дезактивации образцов БШ, достигнув границ 47% от исходной  $A_{\text{эфф}}$  с отрывом в 11% друг от друга. Наихудший показатель наблюдается у реагента серной кислоты с результатом в 23%.

Очевидно, что более серьезного отношения к ситуации с активностью в шламах изотопа  $^{226}\text{Ra}$  требует более серьезного контроля, так как дочерним изотопом в цепочке распада  $^{226}\text{Ra}$ , является инертный газ Rn и его ДПР. Контроль такого показателя как  $^{226}\text{Ra}$  и его дочерних ядер, должен быть на особом счету при таком процессе как вовлечение в технологии переработки буровых отходов используемых в строительных материалах, и в других специфически связанных сферах производства строительных материалов.

Особенно остро должен ставиться вопрос в тех районах, где геологические провинции имеют относительно высокие концентрации изотопов урана, и как следствие радия. Вовлекать такие отходы в производство строительных материалов нужно крайне осторожно, под жестким контролем как изотопного состава альфа- и гамма-излучающих радионуклидов, так и эффективной удельной активности ЕРН в целом.

2. Блок дезактивации реагентами насыщенных щелочей. Применение гидроксида натрия в общем случае для испытуемого образца составило - 23,4 Бк/кг, что сопоставимо с 31% от первоначального уровня удельной эффективной активности ЕРН.

Из расчета эффективной активности ЕРН в образцах по завершении эксперимента, становится очевидной низкая эффективность использования раствора хлорида калия (KCl). В данном случае наблюдается отсутствие прямой связи между воздействием реагента, и снижением УА изотопов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , напротив, происходит обратный эффект - обогащением образца шлама, радиоактивным изотопом  $^{40}\text{K}$ , содержащимся непосредственно в составе самого реагента.

Иначе говоря, применения калийных щелочных композиций, только повысит активность отхода и затруднит дальнейшие операции по обращению с ним. В итоге удельная активность изотопов тория и радия, при использовании реактива, осталась на первоначальном уровне, что дает возможность судить только о прямых убытках, и даже возникновению реализации дополнительных мероприятий связанных с вновь образовавшимся, уже более радиоактивным отходом.

Наилучшая эффективность дезактивации применения щелочных смесей выявлена у реагента кальция углекислого ( $\text{CaCO}_3$ ), достигнутый результат составляет 42% от исходных показателей  $A_{\text{эфф}}$  в матрице отхода.

Таким образом, выполненные в данной работе задачи позволяют:

1. Содействовать в принятии решений в пользу их дальнейшего применения в качестве сырьевого компонента в составах цементных и керамических изделий, а так же для строительства различных объектов промышленно-гражданского назначения;

2. Оценить коммерческий потенциал возможности проведения работ по обезвреживанию и дезактивации отходов недропользования, их отнесения к РАО и дальнейших мер по их обращению в соответствии с установленными нормами и стандартами.

3. Применять полученные данные в разработке методов промышленного извлечения изотопов радия с отработанных НКТ, и другого нефтепромыслового оборудования.

## Список публикаций:

1. Шумило А.В., Есильканов Г.М. Научный руководитель: Яковлева В.С., д.т.н., профессор. «Эффективная удельная активность природных радионуклидов в нефтешламах, с неустановленным нарушенным радиоактивным равновесием в рядах урана и тория». Томский политехнический университет. «Изотопы: технологии, материалы и применение» сборник тезисов докладов VII международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Томск 2022г.

2. Шумило А.В., Есильканов Г.М., Яковлев Г.А. «Оценка эффективности дезактивации отходов бурения нефтегазовой отрасли методом химической обработки образцов шлама растворами кислот и щелочей» // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2022. Т. 38. № 1. С. 166-185. DOI: 10.26117/2079-6641-2022-38-1-166-185

### Список используемых источников:

1. Аннотация. «Радиационный контроль и пробоотбор на нефтегазовых промыслах России». Методические указания. Министерство топлива и энергетики РФ.
2. Нозик М. Л. Научно-методические основы обеспечения радиозэкологической безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса //Москва. – 2010.
3. СанПиН 2.6.6.1169-02. «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с производственными отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов на объектах нефтегазового комплекса Российской Федерации».
4. «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. Пункт 4.1
5. СП 2.6.1.1291-03. «Санитарные правила по обеспечению радиационной безопасности на объектах нефтегазового комплекса России».
6. Остах Оксана Сергеевна. «Эколого-экономический потенциал технологий утилизации буровых шламов». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва – 2021.
7. Кнунянц И. Л. Краткая химическая энциклопедия. – Рипол Классик, 2013.
8. Крапивский Е. И. Создание технологии дезактивации радиоактивных шламов, образующихся при добыче газа, газового конденсата и нефти //Записки Горного института. – 2005. – Т. 166. – С. 181-183.
9. Мочалова Л. А. Развитие институтов, стимулирующих утилизацию отходов недропользования //Вестник Сев.(Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Гуманит. и соц. науки. – 2020. – №. 2. – С. 64-71.

10. Крапивский Е. Нефтешламы: уничтожение, утилизация, дезактивация. – Litres, 2021.
11. Парфенов В. Г., Сивков Ю. В. Исследование радиоактивности бурового шлама //Естественные и технические науки. – 2014. – №. 2. – С. 309-310.
12. Стамат И. П., Лисаченко Э. П. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в средах с нарушенным радиоактивным равновесием в рядах урана и тория //Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 1. – №. 1. – С. 27-31.
13. Григорьев Е. И., Кондратенко С. Г. Радиационный контроль в нефтегазовом комплексе. – 2010.
14. Лобачев А. Л., Лобачева И. В., Ревинская Е. В. Пробоотбор и пробоподготовка в анализе объектов окружающей среды. – 2005.
15. РЭ. «Дозиметра-радиометр МКС-АТ1117М». Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ». Республика Беларусь, г. Минск.
16. РЭ. «Комплекс спектрометрический для измерений активности альфа-, бета- и гамма-излучающих нуклидов ПРОГРЕСС-Ар-Б-Г». НПП «ДОЗА». Российская Федерация. г. Зеленоград.
17. Курсов С. У. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами.
18. Мансиев Г. Г. Дезактивация радиоактивных загрязнения //Евразийский союз ученых. – 2015. – №. 5-3 (14). – С. 123-125.
19. Комарова Л. Ф., Кормина Л. А. Инженерные методы защиты окружающей среды. Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: Учебное пособие //Барнаул: ГИИП «Алтай. – 2000.
20. Зимон А. Д., Пикалов В. К., Дезактивация М. ИздАТ. – 1994.

21. Штин С. А. Учебно-методический комплекс дисциплины "Особенности пробоотбора и пробоподготовки объектов окружающей среды". – 2008.
22. Радиационный контроль и пробоотбор на нефтегазовых промыслах России. Методические указания. Министерство топлива и энергетики РФ.
23. Кислота азотная. ГОСТ 4461. Реактивы Технические условия.
24. Кислота соляная. ГОСТ 3118-77 (СТ СЭВ 4276-83). Реактивы. Технические условия.
25. Кислота серная. ГОСТ 4204-77 (СТ СЭВ 3856-82). Реактивы. Технические условия.
26. Натрия гидроокись. ГОСТ 4328-77. Реактивы. Технические условия.
27. Калий хлористый. ГОСТ 4234-77. Реактивы. Технические условия.
28. Кальций углекислый. ГОСТ 4530-76. Реактивы. Технические условия.
29. Вода дистиллированная. ГОСТ Р 58144-2018. Технические условия.
30. Шкафы вытяжные радиохимические. ГОСТ 23308-78. (СТ СЭВ 3552-82). Общие технические требования.
31. Сито лабораторные из металлической проволочной сетки. ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90). Технические условия.
32. ГОСТ 12.4.269-2014. «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты, предназначенные для работ с радиоактивными веществами, и материалы для их изготовления. Методы определения дезактивирующей способности растворов».
33. ГОСТ Р 51966-2002. «Радиоактивное загрязнение. Технические средства дезактивации. Общие технические требования».
34. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации техника безопасности при работе в аналитических лабораториях, (в т.ч. радиологических).



35. ГОСТ 4517-87. Межгосударственный стандарт. Реактивы. «Методы приготовления вспомогательных реактивов и растворов, применяемых при анализе».
36. Антович Н. М. Измерение активности тория по его дочерним продуктам распада на многодетекторном спектрометре гамма-совпадений //Приборы и техника эксперимента. – 2008. – №. 4. – С. 126-131.
37. Ярощук Е. Г. Обзор новых сцинтилляционных материалов в прикладной гамма-спектрометрии. – 2009.
38. Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие //ИГ Видяев, ГН Серикова, НА Гаврикова, НВ Шаповалова, ЛР Тухватулина ЗВ Криницына. – 2014.
39. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197.
40. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Текст]. – введ. 2021-01-28
41. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.М.: Стандартиформ, 2016.
42. Правила внутреннего трудового распорядка ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по ЯНАО.
43. Вихревая воздуходувка МТ 06-М1С-3,0. Технические характеристики. Инструкция по эксплуатации.
44. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.– М.: Минрегион России, 2021
45. ГОСТ Р 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

46. ГОСТ Р 58698-2019. (МЭК 61140:2016) Национальный стандарт российской федерации. Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования.

47. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]. – введ. 1991-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999 – С.6.

48. ГОСТ Р 57677-2017. Национальный стандарт российской федерации. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования.

49. ГОСТ 20010-93. Межгосударственный стандарт. Перчатки резиновые технические. Технические условия.

50. ГОСТ 12.4.132-83. Халаты мужские технические условия.

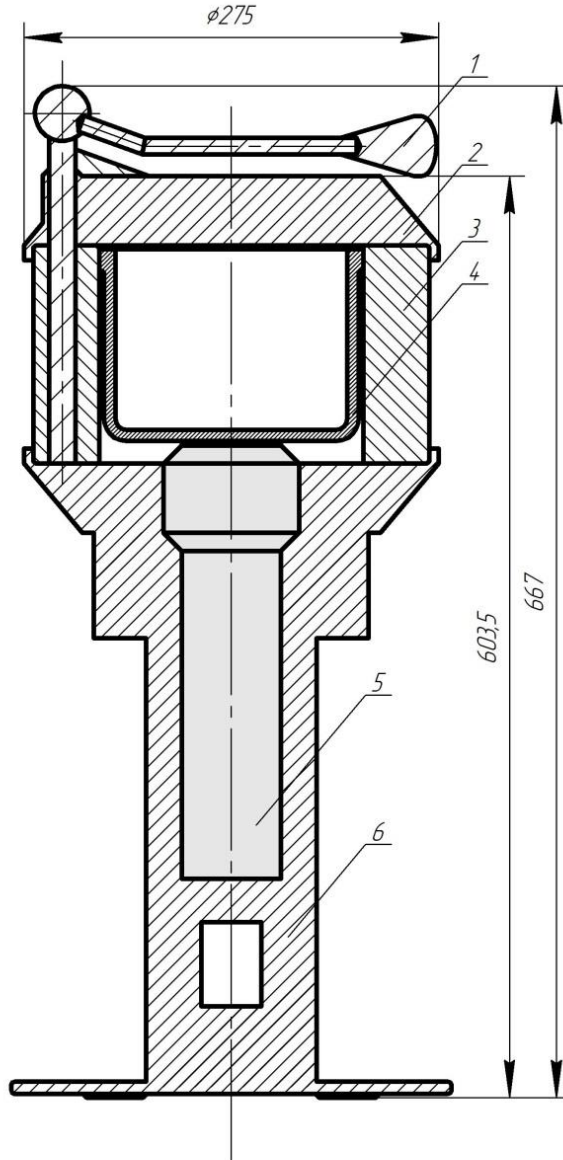
51. ГОСТ 12.4.034-2017. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка.

52. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

53. Усин В. В. Современные технологии дистанционного управления обнаружением и очисткой аварийных химически опасных объектов и зон //Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2. – №. 1. – С. 127-153..

ФЮРА 14.04.02.010 ГЧ

Приложение А



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дцкл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Щумило А.В.		
Пров.		Яковлева В.С.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Долматов О.Ю.		

ФЮРА 14.04.02.010 ГЧ

Низкофоновая  
камера

Лит.	Масса	Масштаб
У		1:5
Лист 1	Листов 2	
НИ ТПУ ОЯТЦ ИЯТШ		
Группа ОАМОЗ		

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №						<u>Документация</u>			
					ФЮРА 14.04.02.010 ГЧ	Низкофоновая камера	1		
						<u>Сборочные единицы</u>			
			1		ФЮРА 14.04.02.010.01	Рукоять	1		
			2		ФЮРА 14.04.02.010.02	Крышка	1		
			3		ФЮРА 14.04.02.010.03	Цилиндр	1		
		4		ФЮРА 14.04.02.010.04	Сосуд Маринелли	1			
		5		ФЮРА 14.04.02.010.05	Сцинтилляционный блок детектирования	1			
		6		ФЮРА 14.04.02.010.06	Стойка	1			
Подп. и дата	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дцкл.	Подп. и дата	ФЮРА 14.04.02.010 Сп				
Инв. № подл.	Разраб.	Шумило А.В.	№ докум.	Подп.	Дата	Низкофоновая камера	Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Яковлева В.С.					У	2	2
	Н.контр.						НИ ТПУ ОЯТЦ ИЯТШ		
	Утв.	Долматов О.Ю.					Группа ОАМОЗ		

## Приложение Б

Introduction  
Objects of Research  
Organization of Radiation Monitoring in the Oil and Gas Industry

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM03	Шумило А.В.		08.06.2022

Консультант школы отделения (НОЦ) ИЯТШ, ОЯТЦ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	В.С. Яковлева	д.т.н.		08.06.2022

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Утятина Я.В.			08.06.2022

Томск 2022

## Introduction

The main processes for the development and exploitation of oil and gas fields are associated with the associated extraction to the surface of natural radioactive nuclides (NRN), the most characteristic representatives of which are isotopes:  $^{226}\text{Ra}$  (decay product  $^{238}\text{U}$ ),  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ .

In some regions, this activity is also associated with man-made radionuclides  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  products of nuclear fission  $^{235}\text{U}$  and  $^{239}\text{Pu}$ , due to the Soviet nuclear program «Peaceful nuclear tests in the national economy», in order to intensify production in oil and gas bearing formations, and deep seismic probing of strata.

The impact of the radioactivity and isotopic composition of both NRN and technogenic radioactive nuclides (TRN) oil and gas industry personnel, as well as the public and ecosystems, may create an environment in which radiation protection measures will be required. Including the organization of industrial radiation monitoring, followed by decontamination of the resulting by-products of activity and reclamation measures on the production sites (elimination of consequences of incidents) of oil and gas complex (OGC). [1]

The OGC) in turn, consists of the exploration, production, refining and other production sectors, where radioactive materials and man-made sources of ionizing radiation are very widely used in the industry.

Thus, the concept of radiation safety in the oil and gas industry, is extremely relevant and will be exacerbated in the long term, due to the increasing production of fossil fuels.

A solution to this problem would effectively prevent and limit uncontrolled radioactive contamination [2] of the environment, process and field equipment in OGC production processes, ensuring the protection of personnel and the public.

Purpose: to study the most probable processes and risks of formation of radiation-hazardous factors in production processes of oil and gas industry and to specify the most optimal methodological and technical means for production

radiation control on the example of research of efficiency of application of chemically active reagents in the process of laboratory experiment on decontamination of oil and gas wells drilling waste.

In order to achieve the research results set out in the experiment, the following main objectives have been identified:

1. To study scientific and methodological literature on modern radiation monitoring methods and devices, as well as the current regulatory framework to ensure radiation safety at oil and gas facilities;

2. To identify the most common and contaminated sites, according to the specifics of the production processes carried out in the industry;

3. To carry out an experiment on the use of chemically active reagents as deactivation solutions in a research experiment, and to calculate the effectiveness of their application;

4. To analyse the results and draw appropriate conclusions.

## **1. Radiation Safety in OGC**

Peculiarities of formation of radiation anomalies in oil and gas complex (OGC), which determine the main radiation load on ecosystems, and dose contribution in irradiation of personnel and population, are determined by formation of highly active deposits and mineral extraction by-products, to the day surface, as solid and liquid waste, with their subsequent concentration and dispersion as sludge [1] and reservoir water spills, containing natural isotopes  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ , and  $^{222}\text{Ra}$ .

Radiation risks and specificity of formation of such anomalies are caused by a number of technological processes typical for this industry [1], such as drilling of oilfield and exploration wells in geology and geophysics, with formation of mineral salt deposits on walls of pipes of field equipment and accumulation of radiotoxic waste formed during production of hydrocarbon energy carriers.

As a result of these processes, an uncontrolled redistribution of NRN in the geochemical environment occurs, with active migration and concentration in the upper layers of the crust and their removal to the surface [2].

Potential sources of occupational exposure for workers in the oil and gas industry include:

- 1) produced waters containing naturally occurring radionuclides;
- 2) areas contaminated with natural radionuclides (separate areas) of oil and gas production and processing enterprises;
- 3) deposits of salts with high natural radionuclide content on process equipment and surfaces of production facilities;
- 4) vehicles and technological equipment contaminated with natural radionuclides to be sent for repairs and to temporary storage sites;
- 5) technological processes which may result in intensive release of radon isotopes  $^{222}\text{Rn}$  and thoron  $^{220}\text{Rn}$ , as well as short-lived daughter products formed from them into the air of working rooms (cleaning of bullites and tall steel reservoirs, repair of technological equipment, etc.);
- 6) industrial dust with high content of natural radionuclides in the air of the working area (cleaning of bullite and tall steel reservoirs, cutting of pipes and other technological equipment, etc.);
- 7) industrial waste with increased content of natural radionuclides.

## **1.1 Radioactive Waste Generation in OGC**

Production and consumption wastes of oil and gas industry, Federal Waste Classification Catalogue code - 291120000 – "Drilling sludge in drilling connected with extraction of crude oil, natural (associated) gas and gas condensate" [9], belong to very specific wastes by their origin for the considered type of production and are of special interest for control in the sphere of radiation safety because of their mineral origin.



During exploration and production drilling, exploration and exploitation of oil, gas and gas condensate fields, crushed rock is formed at the bottom and brought to the surface with the flushing fluid (drilling mud). Under the influence of technogenic factors it turns into a drilling cuttings. Due to decompaction of cuttings, rock fracturing, swelling of clay particles, and some other factors the volume of the hard part of the drilling cuttings is much larger than the volume of drilled rock [10].

Drilling cuttings - by their composition are a complex physical and chemical substance from the drilled rock in the connection with active substances of drilling agents and fluids. Their radioactivity can differ in a wide range, depending on geochemistry and lithospheric structure of oil-and-gas bearing provinces, enriched by daughter products of decay of heavy nuclei of radionuclides of uranium and thorium families, and radioactive isotope of potassium -  $^{40}\text{K}$ .

Radionuclides enter drilling waste with formation water during oil transportation and processing, which must then be decontaminated. The formed radioactive cuttings, salt deposits from the equipment, and contaminated soil - can be a radioactive waste, and as a consequence the measures on radiation safety should be strictly followed at handling, collection, storage, transportation and burial of the OGC industrial wastes [11].

## **1.2 Criteria for classification of OGC Waste According to Radiation Characteristics. Effective Specific Activity ( $A_{\text{eff}}$ ) NRN in OGC Waste**

For the first time, the notion of "effective specific activity of NRN" (further  $A_{\text{eff}}$ ) was introduced by E.M. Krysyuk to characterize the content and activity of natural radionuclides in construction raw materials and materials, when developing radiation-hygienic standards on their safety indicators.

$A_{\text{eff}}$  is an integral characteristic for the main gamma-emitting ERNs that are widespread in geology and, as a consequence, contained in production waste from the oil and gas industry. Depending on the value of  $A_{\text{eff}}$  three categories of production

wastes were established with the boundary values from their  $A_{\text{eff}}$  for gamma-radiation dose rate on the surface of open sludge ponds.

Table 1 – Categories of industrial waste of mineral origin

Waste category	$A_{\text{eff}}$ , kBq/kg	*MD of $\gamma$ -radiation, $\mu\text{Gy}/\text{hour}$
I category	less than 1.5	less than 0.7
II category	over 1.5 to 10.0	over 0.7 to 4.4
III category	over 10.0	over 4.4

\*Note - The MD of the  $\gamma$ -radiation is measured at 0.1 m from the surface of the waste.

Based on the data of radiochemical and gamma spectrometric methods of analysis, it was established that in the process of radioactive decay of the parent nuclei of the elements uranium and thorium, dozens of daughter radioactive isotopes are formed, whose presence will cause the radioactivity of drill cuttings. This process culminates in the formation of stable lead isotopes, the duration of these processes (half-life) for  $^{226}\text{Ra}$  is 1600 years and for  $^{232}\text{Th}$  is  $14 \cdot 10^9$  years.

$A_{\text{eff}}$  in the most general case is calculated according to the formula:

$$A_{\text{eff}} = \sum_{U^{238}+U^{235}} k_i \cdot A_i + \sum_{Th^{232}} k_i \cdot A_i + A_{K^{40}} + \sum_{K^{40}} k_i \quad (1)$$

where the summation takes place for all gamma-emitting radionuclides of the natural series of uranium and thorium, as well as the isotope -  $^{40}\text{K}$ .

The coefficient « $k_i$ » takes into account the relative contribution of gamma radiation of each radionuclide to the external radiation of the medium, per unit of activity of the « $i$ »-th radionuclide. At the same time, the absorbed gamma radiation dose rate on the surface of semi-infinite space of the medium with effective specific activity of NRN uniformly distributed in the matrix, is determined by the relation:

$$P = d \cdot A_{\text{eff}} \quad (2)$$

where the value of the coefficient  $d$  depends on the gamma dose rate measurement units and the parameters  $A_{\text{eff}}$ .

For the «d» - coefficient we obtained «d» ~ 0,5 (μGy/h)/(Bq/kg), which was used to establish the criteria for primary assessment of the industrial waste category by the gamma radiation dose rate on its surface.

Under conditions where the radionuclides in the uranium and thorium series are in radioactive equilibrium, formula (1) takes the traditional form:

$$A_{\text{eff}} = A_{\text{Ra}} + 1.3A_{\text{Th}} + 0.085A_{\text{K}} \text{ (Bq/kg)} \quad (3)$$

where «ARa» and «ATh» are the specific activities of <sup>226</sup>Ra and <sup>232</sup>Th in radioactive equilibrium with the remaining members of the series <sup>238</sup>U and <sup>232</sup>Th respectively, and «AK» is the specific activity of the radioisotope <sup>40</sup>K, (Bq/kg).

## 2 Deactivation Procedure

The management of radioactive waste requires compliance with a set of radiation protection measures for the public and the environment, including a procedure for decontamination of radiation hazardous sites [23].

Decontamination means a set of engineering and technical measures to remove radioactive substances from the surface or from the volume of contaminated facilities of various purposes (civil, military, industrial, medical) in order to prevent further spread of radioactive contamination and to reduce the factors of negative impact of ionizing radiation on living objects. In general terms the decontamination procedure is an obligatory condition for ensuring radiation safety. The economic value depends on efficiency of choice of application of decontamination methods that allows to reduce significantly the volume of necessary expenses for transportation, quantity of materials and equipment sent for disposal as radioactive waste. The efficiency of decontamination also allows to consider the questions of involvement of the decontaminated secondary raw material into industrial turnover of use.

Radioactive surface contamination is subdivided into removable and nonremovable (fixed), in which radioactive substances are not transferred by contact to other objects and are not removed by decontamination, and removable (non-fixed), in which radioactive substances are transferred by contact and are removed by decontamination.

There are several types of decontamination technologies which are worth considering in this paper in relation to mineral waste.

1. Chemical (liquid) decontamination.
2. Physical (including mechanical) decontamination.
3. Combined methods.

All of the above decontamination methods are applicable depending on the nature and activity of the contamination, and are widely used in industry and power generation.

## **2.1 Chemical Waste Decontamination**

The method of chemical decontamination of waste is based on its decontamination using special reaction mixtures. Individual methods, which exist for each type of waste, make previously hazardous chemicals completely inert and, as a consequence, safe for humans and the environment.

Chemical waste decontamination is a very effective method of removing radioactive substances, and involves dealing with active and quite aggressive media of different hazard classes.

Radionuclides reacting chemically with deactivator components always remain radioactive, so obviously deactivation can only be carried out by means of various reactions between the radioactive substance and the deactivator active ingredient, whereby the RW or part of it leaves the volume in the form of a precipitate, or intermediate reaction products.

The choice of decontamination solutions and the sequence of their application depends on the physico-chemical state, the nature of the radioactive contamination and the material properties of the objects to be treated.

Decontaminating solutions are divided into groups: alkaline-oxidizing, acidic-reducing, and containing complexing agents. The solutions of strong and weak acids, as well as various solutions of alkalis and fluorides are subject to effective use [25].

## **2.2 Physical and Mechanical Decontamination of Waste**

The physical-mechanical methods of sludge deactivation include both thermal treatment in the form of steaming and annealing of paraffin-like deposits, and periodic (pulse) heating of deactivating solutions (liquid-chemical deactivation), as the process of solid phase deactivation in waste matrix is much more effective when combining thermal treatment with mixing (rotation) of working volume mass in samples, providing effective interaction of reagent with the object under study.

Heated solutions, in particular acids, leach radium isotopes into the sludge, reducing primarily the gamma activity of the waste in the cleaning process. Dilution with "clean" sand or other uncontaminated media is quite effective in reducing the activity of alpha-, and beta-emitting radionuclides such as  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and its decay products. Thus, it can be concluded that several types of decontamination are most effective at the same time [26].

### **3. Experimental Part**

The experiment to decontaminate and analyse the effectiveness of chemical and physical-mechanical methods of drill cuttings decontamination was conducted on the basis of the instrumentation and technical park - Department of Analytical Control of Pollution Sources of Federal state budgetary institution "Center for Laboratory Analysis and Technical Measurements for to the Ural Federal District".

The method is based on the application of concentrated acids and supersaturated alkali solutions as liquid deactivators in combination with physical and mechanical methods, in relation to representative samples of drill cuttings, one of the oil and gas fields of Yamal-Nenets Autonomous District, and in calculation of their effectiveness in industrial radiation monitoring.

#### **3.1 Sampling and Preparation of a Representative Sample**

Mixed drill cuttings are sampled from the cuttings pond by taking individual (spot) samples. Point samples are taken from the cuttings pond in the following manner:

- The sludge pit is divided into 4 equal parts and 4 samples are taken from each square (preferably as far away from the sludge pit bund as possible), in layers of 0.5-1.0 metres to the bottom of the sludge pit, each weighing at least 200 grams.
- The individual drill cuttings samples are thoroughly mixed and quartered and approximately equal quantities of drill cuttings are taken from the centre of each sample. The mass of the combined sample prepared from the selected individual, then mixed and quartered samples must be at least 2 kg. [28] [29]



Figure 1 - View of the sludge pit (storage tank)

A sludge pit is an engineering environmental facility designed for centralised collection, decontamination and disposal of toxic industrial waste from oil well drilling (drill cuttings, spent drilling waste, drilling wastewater).

The gamma radiation dose rate on the surface of the accumulator during waste sampling operations was 0.13 - 0.15  $\mu\text{Sv/h}$ .

### **3.2 Description of the Experimental Method**

Proceeding from the set tasks and studying existing methodologies of drill waste decontamination, taking into account their forms, chemical and physical features of radionuclides in BS composition, a method of sample treatment conditionally close to production processes has been developed.

The study was divided into two structural sections of 3 identical units:

- 1) Chemical - etching with a decontaminating reagent;
- 2) Physical - homogenisation and thermal action in the form of heating;
- 3) Nuclear-physical - measurements of radionuclide energy spectra, radionuclide identification, and specific activity in the samples under study.

The only difference in the structure of the sections is the use of a decontamination medium to treat the samples, i.e. chemical etching with certain acids and alkalis of each section in Units-1 and -2 respectively. The rest of the experimental specification of all the stages remained the same.

Unit 1. Chemical. In order to maximally recreate the conditions of liquid chemical volumetric decontamination technology under laboratory conditions, several stages of sample processing are incorporated into the experiment:

- Homogenisation and drying of the sample.
- Dividing the samples into equal aliquots, for further processing.
- Chemical etching.

Unit 2. Physical (combined). Decantation and washing of samples with distilled water + secondary etching with an appropriate reagent + stirring on the rotor device with heating of the bottom of the flask, and so on cyclic reproduction of this procedure to average pH values ( $\sim 7$ ). Drying the samples at 150 - 200 °C in a laboratory desiccator.

Physical preparation of the counting sample (abrasion, compaction in the geometrical position of the counting sample).

The samples were etched with concentrated solutions of: nitric ( $\text{HNO}_3$ ); sulphur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) and hydrochloric ( $\text{HCl}$ ) acids in the first section of the experiment, and alkaline solutions of  $\text{NaOH}$  - 40%,  $\text{KCl}$  (supersaturated),  $\text{CaCO}_3$  (supersaturated) in the second section respectively.

Each of the reagents was added in small portions to the samples with corresponding markings (substance formula) on the wall of the beaker. Reagents were added in portions, 100 - 150 ml to each aliquot sample with intensive stirring while heating on the laboratory hotplate to  $t_{\text{max}} = 80\text{-}90^\circ\text{C}$  (no boiling point of reagents). Further experimental samples were placed in glass flasks on laboratory heated rotor for 30-40 minutes for intensive mixing, followed by washing of the sample with distilled water. This cycle was repeated an average of 8-10 times.



At the conclusion of the physical unit, the samples were centrifuged until maximum separation of the sample solids from moisture, rubbed and sieved on a laboratory sieve (mesh size 2x2 mm) to a homogeneous mechanical fraction.

The resulting representative samples were again dried in the desiccator at 150 - 200°C, for 5 - 6 hours.

At the end of the section describing sample preparation methods, the following should be noted - the main objective of all the sample processing steps mentioned boils down to the single principle of laboratory research to ensure an effective reduction of random and systematic bias in the experiment.

Unit 3. Nuclear Physics. Measurement of specific activity of counting samples and registration of energy lines of gamma emitting NRN spectra on  $\gamma$ -spectrometer.

Prepared counting samples are weighed and placed in specified geometry according to detector parameters, and measurement technique of gamma spectra of investigated radionuclides. Samples were measured on scintillation gamma-spectrometer, as a part of spectrometric complex "PROGRESS Ar-B-G" with software "Progress-2000", manufactured by Scientific and Technical Center "Amplitude".

Preparation of counting samples and measurements were carried out in accordance with the Methods of preparation of counting samples and taking measurements:

- "Methodology of radionuclide activity measurement in counting samples on scintillation gamma spectrometer using "PROGRESS" software - Moscow: State Enterprise "VNIIFTRI", 2016";
- "Methodological recommendations for preparing counting samples for spectrometric complexes with PROGRESS software 2008".

At the end of the final stage of the experiment, it is important to note the usefulness of the "parallelism" method of gamma-spectrometric measurements. This approach indicates an effective reproducibility in relation to the sampling methods,

sample preparation, and the influence of external random factors accompanying the whole process of the experiment.

## 4. Results of Studies on the Effectiveness of Drilling Waste Decontamination

### 4.1 Decontamination of Samples with Concentrated Acid Compositions

Generally, the expected effect of previously described reactions described in the works of I.P. Stamat and E.P. Lisachenko [3] on leaching of isotope  $^{226}\text{Ra}$  by concentrated sulphuric and hydrochloric acids, where - compounds of radiobarite  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  very difficult to interact with reagents and to precipitate, was obtained.

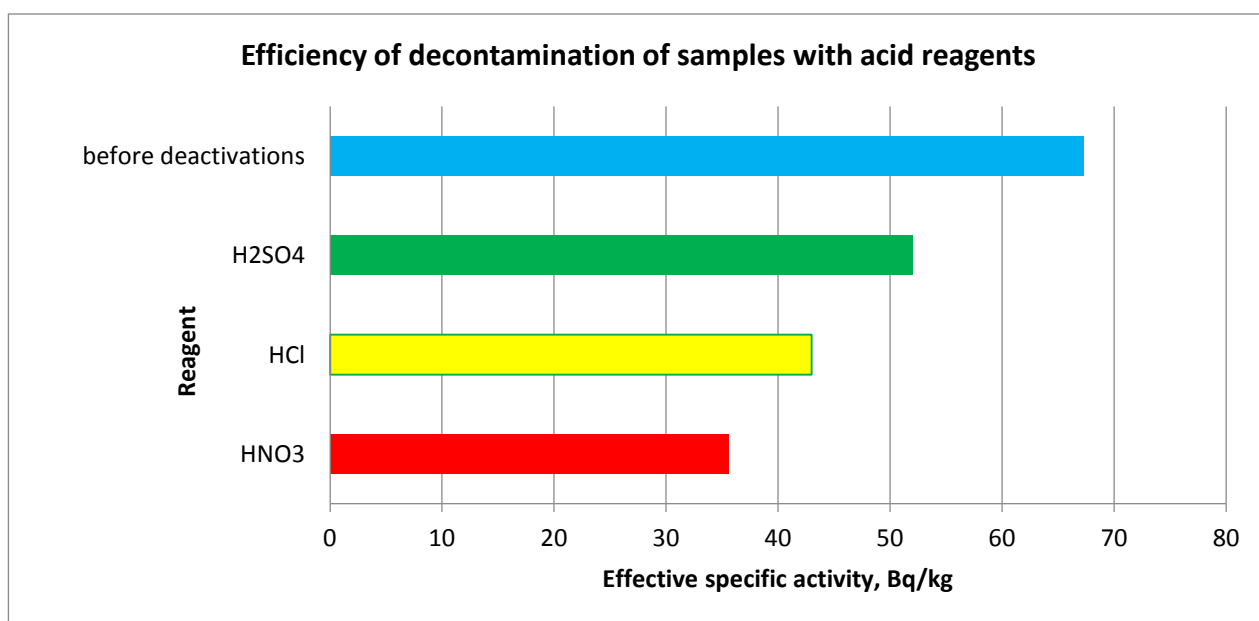


Figure 2 - Histogram of decontamination efficiency of samples with acid reagents

Specific activities of the isotope cesium-137 in the test samples below the instrument detection limit. Thus it can be judged that even with the most aggressive treatment of media such as sulphuric acid, the activity of the isotope  $^{226}\text{Ra}$  will generally remain virtually unchanged.

The isotopes  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  leave the matrix due to their direct bonding with the quartz base in the samples, which under the influence of acids forms compounds with sand and rock, and precipitates as silicates.

Obviously, the situation with the activity of the isotope  $^{226}\text{Ra}$  in the sludge requires more serious control, because the daughter isotope in the decay chain of radium-226, is the noble gas radon and its decay products (DP), which can cause additional inhalation alpha-exposure of personnel and population due to natural sources of radiation. The control of such an indicator as  $^{226}\text{Ra}$  and its DP - should be of particular importance for such a process as the involvement in technologies of processing of drilling waste used in construction materials, and in other specifically related areas of production.

The issue should be particularly acute in those areas where geological provinces have relatively high concentrations of uranium isotopes and, consequently, radium. The involvement of such waste in the production of building materials should be very careful, under strict control of both the isotopic composition of alpha- and gamma-emitting radionuclides and the effective specific activity of NRN as a whole.

#### **4.2 Decontamination of Samples With Alkaline Solutions**

The chemical treatment of the samples with alkaline solutions, in particular the decantation method, revealed the complete absence of sedimentation processes from the matrix of the tested samples. This process indicates weak chemical bonds with the inorganic component in the sludge, which partially solves the problems associated with the formation of secondary (more radioactive) waste in the decontamination process.

The efficiency of using sodium hydroxide as a reagent to decontaminate the sample under study, in general terms, does not add a significant fraction by Radium-226 isotope. The yield of the isotopes Thorium-232, and Potassium-40 on average gives a very noticeable result:

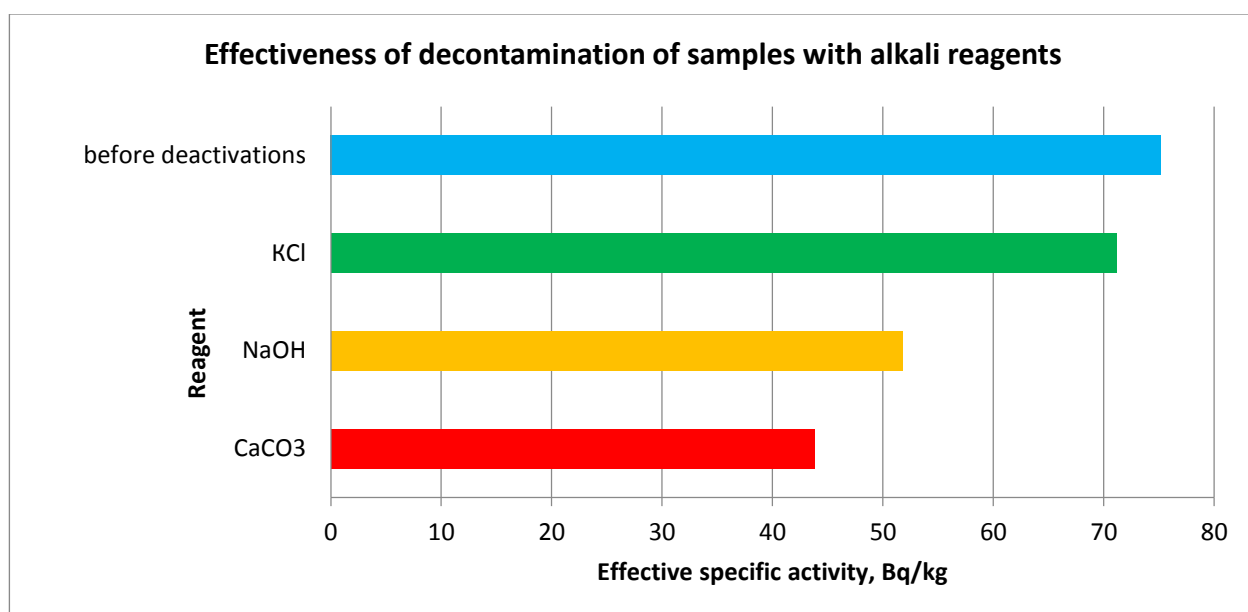


Figure 3 - Histogram of decontamination efficiency by alkali reagents

The sodium hydroxide application for this sample was - 23.4 Bq/kg, which is comparable to 31% of the original specific effective activity level of NRN.

Efficiency of decontamination with potassium chloride (KCl) reagent. From the calculation of the effective activity of NRN in the samples at the end of the experiment, the low efficiency of the potassium chloride (KCl) solution is evident. Here there is no direct connection between exposure to the reagent, and a decrease in the activity of the isotopes  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ , on the contrary, the opposite effect occurs - the enrichment of the sludge sample, with the radioactive isotope  $^{40}\text{K}$ , contained directly in the composition of the reagent itself.

In other words, the use of potassium alkaline compositions will only increase the activity of the waste and make further handling operations more difficult. As a result, the specific activity of the NRN remained at the original level when the reagent was used, which allows to judge only the direct losses, and even the emergence of additional measures related to the newly generated, already more radioactive waste. Effectiveness by  $A_{\text{eff}} = 4.05 \text{ Bq/kg}$  (5.4%).

The decontamination efficiency of the calcium carbonate reagent has the best decontamination efficiency of all the alkaline reagents tested. The specific activity reduction effect occurred with each of the radionuclides tested.

The visible result for the isotope  $^{226}\text{Ra}$  is justified by the formation of a complex compound of radiocalcite during decantation. When the solution interacts with the sample,  $^{226}\text{Ra}$  can be readily incorporated into the lattice of calcite at the time of formation, and adsorbed on the surface.

The specific activity of the Caesium-137 isotope in the studied samples is below the detection limit of the gamma spectrometer.

### **Conclusion of the Chapter**

The chemical treatment of the samples, in particular the alkali decantation method, revealed the complete absence of precipitation processes in the tested samples, this process indicates a conditionally weak chemical bonding with an inorganic component in the sludge, which partially solves the problems associated with the formation of secondary (more radioactive) waste in the decontamination process.

Based on the results obtained from the use of acid and alkali reagents as liquid decontamination compositions, two main patterns are worth noting in the first place:

1. During the application of acids, a redox process takes place with the formation of a precipitate in the form of colourless salts;
2. Chemical reactions of alkalis with test samples produce a binding emulsion that is successfully purified in the decantation process with the yield of parent and daughter NRN in bond with water.

As a result of studying the scientific and methodological literature, the most problematic research object from the point of view of radiation safety was determined - waste from drilling oil and gas wells. Samples of drilling cuttings were taken at the sites of their accumulation, for implementation of experimental studies on the

effectiveness of their neutralization, by methods of chemical decontamination, and subsequent preparation of counting samples for measuring the specific activity of the main dose-forming NPs.

The tasks performed in this work will allow:

1. Reassess the cumulative amount of production waste in the NGK in the current situation;
2. Assist in making decisions in favor of their further use as secondary raw materials;
3. Assess the commercial potential of the possibility of carrying out work on the neutralization and decontamination of such waste, their classification as RW and further measures for its management in accordance with the established norms and standards.