

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 05.04.06 «Экология и природопользование»  
 Отделение школы (НОЦ) – Геология

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Мониторинг радона в воздухе эксплуатируемых зданий г. Томска.</b>

УДК 614.7-026.911:546.29

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ81	Матаева Диана Шагизатовна		

Руководитель магистерской диссертации

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ ИШПР	Замятина Юлия Леонидовна	К.Г.-М.Н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОГ ИШПР	Барановская Наталья Владимировна	д.б.н., профессор		

## 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), критерий 5 АИОР
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-11), критерий 5 АИОР
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-4), критерий 5 АИОР
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-3), критерий 5 АИОР
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), критерий 5 АИОР
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-1), критерий 5 АИОР
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики низких температур, конденсированного состояния и материаловедения, а также в модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных и тепловых свойств твердых, жидких и газообразных веществ.	Требования ФГОС (ПК-2), критерий 5 АИОР
P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4), критерий 5 АИОР
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий подход для разработки новых оригинальных идей и	Требования ФГОС (ПК-3), критерий 5 АИОР

	методов исследования в области физики конденсированного состояния, низких температур и сжижения природного газа.	
P10	Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9), критерий 5 АИОР
P11	Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10), критерий 5 АИОР

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 05.04.06 «Экология и природопользование»  
 Отделение школы (НОЦ) – Геология

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Барановская  
Н.В.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2ГМ81	Матаева Диана Шагизатовна

Тема работы:

Мониторинг радона в воздухе эксплуатируемых зданий г. Томска.	
Утверждена приказом директора	27.02.2020, № 58-46/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.05.2020
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Зарубежные и российские публикации,          Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2018 году»          Федеральный закон "О радиационной безопасности населения" от 09.01.1996 N 3-ФЗ          Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)          Методика выполнения измерений объемной активности радона и его дочерних продуктов распада в воздухе жилых и служебных помещений и метрологические характеристики РЗА- 04</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Выбор мест исследования;</li> <li>– Выполнение измерения концентрации радона с помощью прибора ИРН РЗА-04 «ОМЕГА»;</li> <li>– Расчет эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов распада радона;</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Социальная ответственность;</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
--	---

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p><b>Скачкова Лариса Александровна, старший преподаватель ООД ШБИП</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p><b>Рыжакина Татьяна Гавриловна, доцент ОСГН ШБИП</b></p>
<p><b>Иностранный язык</b></p>	<p><b>Болсуновская Людмила Михайловна, доцент ОИЯ ШБИП</b></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p><b>ГЛАВА 1. Основные сведения о радоне и его опасности</b> <b>ГЛАВА 2. 2.1. Анализ зарубежных исследований по изучению содержания радона в зданиях</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>31.01.2020</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОГ ИШПР</p>	<p>Замятина Юлия Леонидовна</p>	<p>к.г.-м.н., доцент</p>		<p>31.01.2020</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2ГМ81</p>	<p>Матаева Диана Шагизатовна</p>		<p>31.01.2020</p>

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ГМ81	Матаевой Диане Шагизатовне

Г

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа природных ресурсов</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение геологии</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистрант	<b>Направление/специальность</b>	05.04.06 «Экология и природопользование»

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет сметной стоимости выполняемых работ, согласно применяемой техники и технологии
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. 1. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Техничко-экономическое обоснование целесообразности внедрения новой техники или технологии выполнения работ 2. Линейный график выполнения работ
2. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки ресурсной, финансовой, экономической эффективности научного исследования
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Календарный план график проведения НИИР	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н., доцент		31.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ГМ81	Матаева Диана Шагизатовна		31.01.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2ГМ81	ФИО Матаевой Диане Шагизатовне
-----------------	-----------------------------------

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение геологии
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	05.04.06 «Экология и природопользование»

Тема ВКР:

Мониторинг радона в воздухе эксплуатируемых зданий г. Томска.

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Рабочая зона: здание (учебный корпус) Прибор: измеритель радона низкочастотный РЗА-04 «Омега»;</i>
--	---

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

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020)</li> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</li> <li>– ГОСТ 12.1.003-2014 [Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание)]</li> <li>– Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.</li> <li>– Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ.</li> <li>– ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N )</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</li> <li>– СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.</li> <li>– ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт.</li> </ul>
--	---

	Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования"
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Превышение уровней шума и вибраций</li> <li>- Тяжесть физического Труда</li> <li>- Отклонение показателей микроклимата в помещении</li> <li>- Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>- Превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений</li> <li>- Электрический ток</li> <li>- Пожароопасность</li> <li>- Статическое электричество</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Не оказывает влияния на экологию.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожары;</li> <li>- взрывы;</li> </ul> Наиболее вероятным ЧС является наступление пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			31.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ81	Матаева Диана Шагизатовна		31.01.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 06.04.05 «Экология и природопользование»  
 Уровень образования – магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) – Геология  
 Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

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

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2020	Аналитический обзор литературы	20
25.03.2020	Выполнение измерения концентрации радона с помощью прибора ИРН РЗА-04 «ОМЕГА»	25
12.04.2020	Анализ результатов	20
31.01.2020	Социальная ответственность	15
31.01.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2020	Заключение	5

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ ИШПР	Замятина Юлия Леонидовна	к.т.н., доцент		

##### Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОГ ИШПР	Барановская Наталья Владимировна	д.б.н., профессор		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа, в виде магистерской диссертации 141 страниц, 31 рисунок, 26 таблиц, 79 источник, 1 приложение.

**Ключевые слова:** радон, радоноопасность, дочерние продукты распада, эквивалентная равновесная объемная активность, концентрация радона, беккерель, оценка риска, радонозащитные мероприятия.

**Объектом исследования** учебный корпус №20 Томского политехнического университета по адресу пр. Ленина 2, строение 5.

**Целью работы** является оценка содержания радона в воздухе эксплуатируемых зданий г. Томска (на примере учебного корпуса ТПУ № 20).

**В процессе исследования** были выполнены измерения дочерних продуктов радона с последующим расчетом эквивалентной равновесной объемной активности радона. Также проводился анализ литературных данных и фактического материала о состоянии радоновой проблемы в России и зарубежных странах.

**В результате исследования** были получены экспериментальные данные о концентрации радона в 20 учебном корпусе ТПУ.

**Область применения:** радиоэкология

**Значимость работы:** результаты исследования будут полезны при анализе радиационной обстановки на территории Томской области

## Оглавление

Введение.....	13
Глава 1 Основные сведения о радоне и его опасности .....	15
1.1 Основные источники радона .....	18
1.2 Радон как радиационно-опасный фактор для здоровья человека .....	24
Глава 2 Обзор ранее проведенных исследований по изучению радона в зданиях .....	28
2.1 Анализ зарубежных исследований по изучению содержания радона в зданиях .....	28
2.2 Анализ российских исследований по изучению радона в зданиях, в том числе на территории Томской области .....	33
2.3 Нормативное регулирование проблемы радона в зарубежных странах и России.....	41
Глава 3 Методы исследования радона в зданиях.....	47
Глава 4 Исследование уровня радона в зданиях г. Томска.....	57
4.1 Методика выполнения измерений уровня радона .....	58
4.2 Расчет эквивалентной равновесной объемной активности радона .....	59
4.3 Объекты, в которых проводились исследования.....	60
Глава 5 Радонозащитные мероприятия, осуществляемые в зданиях .....	65
Глава 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	75
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	76
6.1 SWOT-анализ.....	77
6.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	79
6.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ .....	81
6.2.2 Разработка графика проведения исследования.....	81
6.3 Бюджет научного исследования .....	84
6.3.1 Расчёт материальных затрат .....	84
6.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	85
6.3.2 Основная заработная плата исполнителей .....	86

6.3.3	Отчисления во внебюджетные фонды .....	88
6.3.4	Накладные расходы.....	89
6.3.5	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	89
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	89
6.4.3	Индекс доходности (PI) .....	92
6.4.4	Внутренняя ставка доходности (IRR) .....	92
6.4.5	Дисконтированный срок окупаемости.....	94
6.4.6	Оценка сравнительной эффективности исследования .....	95
	Выводы к главе 6 .....	97
Глава 7	Социальная ответственность.....	99
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	99
7.2	Производственная безопасность .....	101
7.2.1	Превышение уровней шума .....	103
7.2.2	Тяжесть и напряженность физического труда .....	103
7.2.3	Отклонение показателей микроклимата в помещении .....	104
7.2.4	Недостаточная освещенность .....	106
7.2.5	Превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений .....	108
7.3	Экологическая безопасность.....	109
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	110
	Выводы к главе 7 .....	112
	Заключение .....	113
	Список использованной литературы.....	115
	Приложение А .....	124

## Введение

На сегодняшний день радон, приобретает в жизни человека все большее значение. К сожалению, преимущественно оно негативно так как, радон радиоактивен и потому опасен. А поскольку он непрерывно выделяется из почвы, то и распространен по всей земной коре, в поверхностной и подземной воде, в атмосфере, присутствует в каждом доме.

Изучив исследования, которые проводятся как в других странах, так и в России, становится ясно, что на сегодняшний день радоновая проблема актуальна в каждой стране.

Современный человек до 80% времени проводит в помещениях - дома или на работе, где и получает основную дозу радиации: хотя здания защищают от излучений извне, в стройматериалах, из которых они построены, содержится природная радиоактивность. Существенный вклад в облучение человека вносит радон и продукты его распада.

Основным источником этого радиоактивного инертного газа является земная кора. Проникая через трещины и щели в фундаменте, полу и стенах, радон задерживается в помещениях. Другой источник радона в помещении - это сами строительные материалы (бетон, кирпич и т.д.), содержащие естественные радионуклиды, которые являются источником радона. Радон может поступать в дома также с водой (особенно если она подается из артезианских скважин), при сжигании природного газа и т.д.

Снижение облучения населения от природных радиоактивных источников, в том числе радона, это одна из важнейших и, пожалуй, наиболее сложных экологических проблем.

При длительном поступлении радона и его продуктов в организм человека многократно возрастает риск возникновения рака легких.

Таким образом, актуальность данной работы обуславливается необходимостью регулярного исследования концентрации радона в зданиях,

где находятся люди, что позволит контролировать уровень воздействия радона на их здоровье.

**Целью работы** являлась оценка содержания радона в воздухе эксплуатируемых зданий г. Томска (на примере учебного корпуса ТПУ № 20).

В соответствии с этой целью были поставлены следующие **основные задачи**:

1. Изучить зарубежный и российский опыт по исследованию накопления радона в помещениях
2. Оценить современное состояние исследований по радоновой проблеме в г. Томске.
3. Изучить физические и методические основы аналитических методов исследования уровня радона в воздухе помещений
4. Провести экспериментальные работы по оценке уровня радона в учебном корпусе № 20 ТПУ с использованием измерителя радона РЗА-04 «Омега»
5. Изучить современные радонозащитные мероприятия, осуществляемые в зданиях

## Глава 1 Основные сведения о радоне и его опасности

Земля в себе содержит много различных элементов, которые являются радиоактивными тем самым они создают естественный радиационный фон. Поэтому такие радиоактивные изотопы как ( $^{40}\text{K}$ ), рубидия ( $^{87}\text{Rb}$ ) и члены трех радиоактивных семейств, берущих начало от урана ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) и тория ( $^{232}\text{Th}$ ) содержатся в почве, горной породе, растений, воде, атмосфере и тканях живых организмов.

Согласно тому, что исходный материал Уран-238 имеет необычно длинный период полураспада почти 4,5 миллиарда лет. Когда уран-238 распадается, образуется следующее радиоактивное вещество в цепочке распада и т. д. Радионуклиды, следовательно, постоянно переформируются в землю и будет делать это в течение многих миллиардов лет. Периоды полураспада радионуклидов представлены в (таблице 1) [1].

Таблица 1. Характеристика радиоактивных изотопов, изначально присутствующие на Земле [1]

Радионуклид	Весовое содержание в земной коре	Период полураспада, лет
Уран-238	$3 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^9$
Торий-232	$8 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{10}$
Калий-40	$3 \cdot 10^{-16}$	$1,3 \cdot 10^9$
Ванадий-50	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14}$
Рубидий-87	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{10}$
Индий-115	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}$
Лантан-138	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{11}$
Самарий-147	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{11}$
Лютеций-176	$3 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{10}$

Члены радиоактивных семейств жестко связаны между собой. Каждое звено радиоактивного ряда образуется со скоростью, определяемой периодом полураспада предыдущего нуклида, а распадается в соответствии с собственным периодом полураспада. Таким образом, через некоторое время в цепочках распада устанавливается равновесие, то есть, сколько дочерних элементов распадается, столько же и рождается в соответствии с периодами

полураспада материнских нуклидов. После длинной цепи преобразований, образуются, в конце концов стабильные изотопы свинца (рисунок 1) [2].

№ эле-мента	Эле-мент	Изотопы					
		$^{238}\text{U}$ 4,47*10 <sup>9</sup> лет		$^{234}\text{U}$ 2,45*10 <sup>5</sup> лет			
92	U						
91	Pa	↓ α	$^{234}\text{Pa}$ 1,17 мин И.П.(0,3%) $^{234}\text{Pa}$ 6,75 часа	↑ β			
90	Th			↓ α	$^{230}\text{Th}$ 7,7*10 <sup>4</sup> лет		
89	Ac						
88	Ra				$^{226}\text{Ra}$ 1600 лет		
87	Fr						
86	Rn				$^{222}\text{Rn}$ 3,825 дня	$^{218}\text{Rn}$ 0,02 сек	
85	At						
84	Po				$^{218}\text{Po}$ 3,05 мин	$^{214}\text{Po}$ 1,6*10 <sup>-4</sup> сек	$^{210}\text{Po}$ 138,38 дня
83	Bi					$^{214}\text{Bi}$ 19,8 мин	$^{210}\text{Bi}$ 5,01 дня 3,0*10 <sup>5</sup> лет
82	Pb				$^{214}\text{Pb}$ 26,8 мин	$^{210}\text{Pb}$ 22,3 года	$^{206}\text{Pb}$ <u>стабильный</u>
81	Tl				$^{210}\text{Tl}$ 1,32 мин	$^{206}\text{Tl}$ 4,19 мин	

Рисунок 1. Схемы распада уранового семейства естественных радионуклидов [1]

Единственным газообразным продуктом, который рождается в процессе распада трех семейств естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), является радон. Наибольший вклад в газовую составляющую ЕРЭ вносят радиоактивные семейства урана-238 и тория-232, в процессе распада которых образуются радиоактивные радон-222 и радон-220 (последний часто называют торон по имени исходного материнского нуклида).

Радон является инертным газом без цвета и запаха, почти в 10 раз тяжелее воздуха, растворяется в воде. Физические свойства радона представлены в таблице 2. [3].

Таблица 2. Свойства радона [3]

Точка кипения	-62 °С
Точка плавления	-71 °С
Плотность при нормальных условиях	9,81 кг*м <sup>3</sup>
Растворимость в воде при 0 °С, объемная	0,5
Растворимость в крови, объемная	~ 0,4
Содержание в атмосфере	~7*10 <sup>-17</sup>

Радон — это альфа-излучатель. В процессе распада он продуцирует семейство других альфа-излучателей, которые в целом называют дочерними продуктами распада (ДПР). Причем в отличие от радона и торона, ДПР представляют собой не газы, а твердые вещества – нестабильные изотопы свинца, висмута, полония и таллия, которые сами по себе являются мощными источниками альфа-излучения. Например, при распаде семейства урана-238 выделяется восемь альфа-частиц, из которых четыре приходится на радон и его ДПР. Причем первые четыре альфа-частицы выделяются с полупериодом около 1-го миллиарда лет (распад уран–радий), а следующие три с полупериодом 3,825 дня, то есть интенсивность альфа-излучения радона и ДПР во много раз выше интенсивности альфа-излучения урана и радия, вместе взятых [4].

Концентрация радона в воздухе определяется количеством распадов радиоактивных ядер в секунду в кубическом метре воздуха. Для радона это практически равно числу генерируемых в процессе распада альфа-частиц. За единицу количества распадов принят в настоящее время 1 Беккерель, равный одному распаду в секунду. Иногда до сих пор применяется внесистемная единица 1 Кюри, равная числу распадов 1 г радия-226, или  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в секунду, или 1 Кюри =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Беккерелей. Среднее содержание радона в воздухе приземной атмосферы составляет приблизительно 3,7 Бк/м<sup>3</sup>, или 10-10 Кюри/м<sup>3</sup> [4].

Различные типы горных пород выделяют в воздух разные количества радона. Следуя этому утверждению, радон выделяется из земли в районах с урансодержащими почвами и породами. Как правило, в изобилии в гранитных районах [5].

### 1.1 Основные источники радона

Радон и торон присутствуют, как и его материнские нуклиды, во всех строительных материалах и горных породах. Ввиду химической инертности он относительно легко покидает кристаллическую решетку «родительского» минерала и легко диффундирует через капилляры грунта, микротрещины горных пород, захватывается потоками других газов и, несмотря на ограниченное время жизни, может транспортироваться на значительные расстояния в земной коре и земной атмосфере. Причем естественная убыль этих газов за счет выделения из материалов (процессы эманации – выделения из кристаллической решетки и эксхалации – испарение или выделение с поверхности) и естественного распада постоянно компенсируется за счет распада радия и тория, присутствующих в данном материале.

Период полураспада радона-222 — всего 3,8 дня, но благодаря его постоянному образованию при распаде радия, в атмосферу постоянно поступает новый радон.

Таблица 3. Источники радона-222 в земной атмосфере [1]

Источники	Активность радона, ( $10^{15}$ Бк/год)
Почва	8900
Растительность и подземная вода	2000
Океан	850
Дома	30
Природный газ	0,3
Уголь	0,02
В среднем	1300

Источниками радона (табл. 3), таким образом в большинстве являются породы, богатые ураном, в основном это граниты, но встречаются и гораздо более активные и богатые ураном породы. Так, известны своей ураноносностью фосфориты.

Преимущественное количество радона выделяется из трещин, разломов, ведущих в недра Земли, образуя так называемое «радоновое дыхание», а не из монолитного гранитного массива. Выделение радона является своеобразным маркером, по которому можно находить такие разломы, а значит, и приуроченные к ним месторождения различных полезных ископаемых. Наиболее интенсивно радон выделяется в вулканических районах. В некоторых случаях замечают интенсивное выделение радона в местах, где, казалось бы, неоткуда. Но при детальном исследовании замечают глубинный разлом. А интенсивность выделения радона является богатым и главное — достаточно быстродействующим источником сведений об изменении состояния земных недр. Колебания интенсивности выделения радона предвещают землетрясения и извержения вулканов, позволяют предсказывать горные удары в шахтах, помогают предотвращать аварии при бурении скважин [1].

Радон может проникать в здание вместе с атмосферным воздухом, когда между окружающей средой и помещением образуется воздухообмен.

Например, при том же самом проветривании, если в окружающей среде есть свободный радон в воздухе, или же при работе притяжной вентиляционной системы, засасывающий наружный воздух.

Интенсивность поступления (рисунок 2) радона зависит от его содержания в атмосфере района проживания, особенностях местного климата, менталитета обитателей, типа и скорости вентиляции в жилом помещении, и других факторов (рисунок 3) [1].

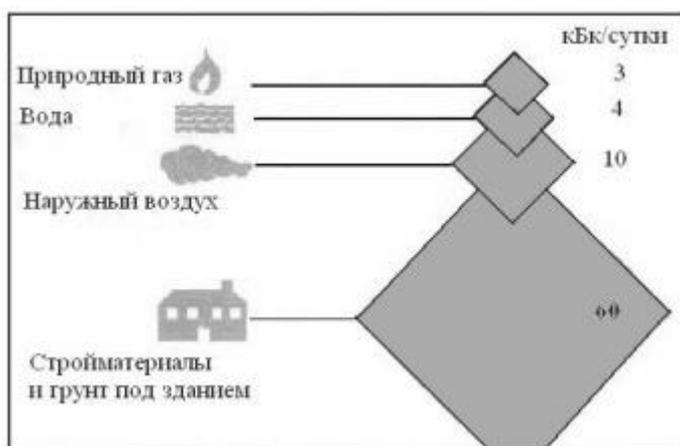


Рисунок 2. Мощности излучений различных источников радона в типичном доме [6]

Пути поступления радона внутрь здания представлены на рисунке 3.

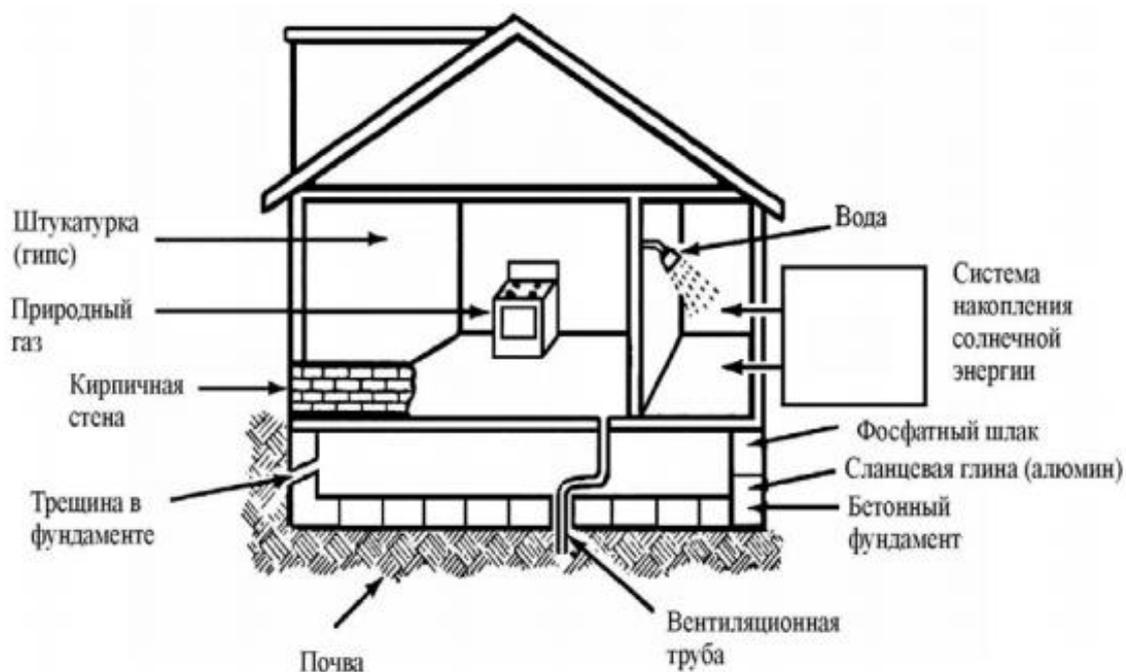


Рисунок 3. Пути поступления радона в здание [1]

Горные породы являются источниками, получается газ поступает в дома за счет высокого геохимического фона радона в породах подобных граниту [1].

Основными источниками проникновения радона в жилые помещения являются природный газ, вода, наружный воздух, стройматериалы и грунт под зданием [6].

При возведении здания выделяющий радон участок поверхности земли изолируется цоколем или фундаментом здания от окружающего пространства. Поэтому радон, выделяющийся из залегающих под зданием грунтов, не может свободно рассредоточиваться в атмосфере, и проникает в здание, где его концентрация в воздухе помещений становится выше, чем в наружном воздухе [7]

Фосфогипс является важным источником высвобождения радона из строительных материалов - материала, получаемого в качестве отходов при производстве фосфорных удобрений, который концентрирует значительную часть радия, содержащегося в исходном фосфорите (который, как и уран, содержит его много), так что он выделяет много радона [8]. А поскольку использование фосфогипса является реальной проблемой, соблазн использовать его в качестве гипса в строительных смесях очень велик. Так что есть «фоновые» и радоновые гипсокартонные плиты, наливные полы и штукатурка.

А гранитная щебенка и песок часто становятся компонентом бетона, применяемого при строительстве. При этом необходимо руководствоваться нормами радиационной безопасности (НРБ-99) и использовать различные по радиоактивности разновидности гранита там, где это допустимо. Для приготовления бетона для жилых зданий должен использоваться только наиболее низкоактивный гранит 1 класса радиоактивности [9].

В помещениях источником радона может быть керамическая плитка, которая в своем составе имеет примесь урана, а также гранитная облицовка. Но чаще ими (упомянутые раньше источники) пренебрегают.

Концентрация радона в обычно используемой воде ничтожно мала, но вода из некоторых источников, особенно глубоких колодцев, содержит большое количество радона. Как, например, в радоноопасных регионах сильнейшим источником радона является водопровод, если вода для него берется из артезианских скважин. В обычно используемой воде

концентрация радона чрезвычайно мала, но в глубоких артезианских скважинах создаются условия для накопления чрезвычайно больших количеств радона - до 100 МБк/м<sup>3</sup>. По оценкам Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН), в настоящее время 10% населения Земли пьют воду с содержанием активности по радону 0,1 МБк/м<sup>3</sup> и 1% - 1 МБк/м<sup>3</sup>. Иногда суммарная доза радиации при использовании воды с повышенной концентрацией радона может быть очень высокой. Например, во время приема душа концентрация радона в помещении может подняться с 50-100 Бк/м<sup>3</sup> до нескольких килобеккерелей на кубический метр [1].

Исследования, которые были выполнены в Канаде, опытным путем установили, что при включении душа в течении 7 минут, дают повышенные уровни концентрации радона и требуется около 90 минут (рисунок 4) для того чтобы концентрация упала до исходного уровня [6].

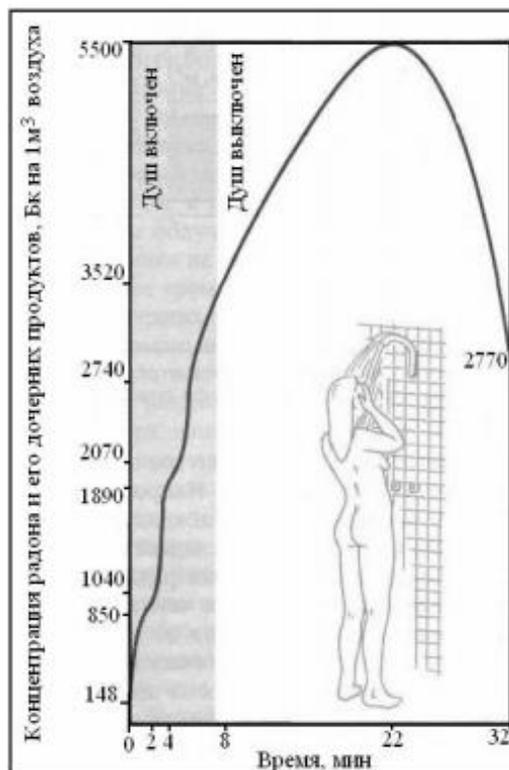


Рисунок 4. Вариации концентрации радон при пользовании душем

Для России предельный уровень содержания радона в воде, при котором уже требуется вмешательство, установлен на уровне 60 Бк/кг при отсутствии в воде других радиоактивных веществ [9].

Газ, используемый внутри страны, также поставляет радон в жилые помещения и производственные здания [10]. Так как природный газ находится в глубоких залежах, то он локализуется в различных подземных природных образованиях или в других подземных резервуарах углеводородов, есть большая вероятность содержания радона в качестве загрязняющего вещества.

Следовательно, помещения, которые снабжаются природным газом, а это значительная часть территории страны, показывают более высокие содержания концентрации радона. При отсутствии достаточной вентиляции на кухне где используется газовая плита концентрация радона в воздухе быстро нарастает. Стоит учесть, что уровень газификации природным газом в России составляет 68,6% на 2018 год, по данным Министерства Энергетики (Минэнерго) России [11].

Энергосбережение так же является отрицательным фактором по усугублению ситуации накопления радона в помещении. По причине того, что здания стараются сделать более герметичными, чем раньше, проветривание стало реже и меньше, активно использовать рециркуляцию воздуха, таким образом — радон, попавший в помещение, в нем и остается. В одном исследовании установлено, что повышение воздухопроницаемости жилых помещений (без компенсационной вентиляции) привело к повышению средних концентраций радона в помещении на 56,6%, с 21,2 Бк/м<sup>3</sup> до 33,2 Бк/м<sup>3</sup> [12].

Причин скопления радона две: во-первых, в зданиях, в отличие от открытого пространства, нет рассеивания, во-вторых, радон выделяется из стройматериалов - как из старых каменных стен, так и из современных стройматериалов [13].

Таким образом, наравне с природным уровнем радона существующие дополнительные источники в виде воды, природного газа, и другие дополнительные причины [4] в совокупности и создают повышенные радоновые уровни.

## **1.2 Радон как радиационно-опасный фактор для здоровья человека**

Влияние на организм человека было замечено еще в 16 веке, когда внимание медиков привлекла таинственная «горная болезнь» рудокопов некоторых шахт Чехии и Германии, где смертность заболевания шахтеров раком легких оказалось в 50 раз больше, чем заболеваемость другого населения. Причина этого была найдена спустя лишь столетие, ею оказалась высокая концентрация радиоактивного газа радона в шахтах [14].

Выше упоминалось о том, что страшен не сам радон, а его дочерние продукты распада (ДПР). ДПР адсорбируются на частицах пыли, аэрозолей и других частицах, содержащихся в воздухе. Когда мы дышим, дочерние продукты радона осаждаются в клетках, выстилающих дыхательные пути, где альфа-частицы могут повредить ДНК и потенциально привести к развитию рака легких [15].

Выше упоминалось о том, что страшен не сам радон, а его дочерние продукты распада (ДПР). ДПР адсорбируются на частицах пыли, аэрозолей и других частицах, содержащихся в воздухе. При вдыхании воздуха ДПР легко попадают в организм и оседают в клетках, что в последствии может повредить ДНК и возможно привести к развитию рака легких [15].

На сегодняшний день проблема радона занимает ведущую роль в жизни человека. И чаще эта роль проявляется в негативном воздействии на организм, а по причине радиоактивности он опасен. А если учесть, что радон широко распространён, при этом безостановочно выделяется в

атмосферу таким образом можно сделать выводе о его присутствии в каждом доме.

Радон классифицируется как канцероген 1-й группы и является второй по значимости причиной рака легких после курения [16].

Эпидемиологические исследования подтверждают логарифмически линейную зависимость доза-реакция между воздействием бытового радона, предполагая, что существует повышенный риск развития рака легких даже при очень низком воздействии, и нет порогового уровня воздействия, ниже которого воздействие можно было бы считать “безопасным” [16, 17, 18].

Большую часть дозы облучения от радона люди получат, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Поступая внутрь помещения тем или иным способом (просачиваясь через фундамент и пол из грунта или же выделяясь из строительных материалов, использованных при строительстве), радон накапливается в нем. В результате в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или при его постройке использовали материалы с повышенной радиоактивностью. Герметизация с целью утепления только усугубляет положение, так как затрудняется выход радиоактивного газа из помещения.

На сегодняшний день в связи с тем, что многие страны остановили испытание ядерного оружия, риск получить дозу облучения ассоциируется с функционированием атомных электростанций. В особенности события произошедших в Чернобыле. Но важно знать, опасность облучения возникает, даже если вы находитесь в собственном доме. Угрозой тут предстает в виде природного газа (радон и тяжелые металлические продукты его распада). Воздействие газа на людей происходит на протяжении всего времени существования.

Около 10% заболеваний рака легких, которые регистрируются в мире обусловлено воздействием радона. Он является второй причиной после курения, возникновения легочной онкопатологии для курящих и на первом месте для некурящих, согласно исследованию, которое провело Агентство по охране окружающей среды США [19].

Большинство зарубежных ученых исследуют зависимость воздействия радона и возникновения заболевания рака легкого.

Опасность воздействия радона проявляется в том, что он легко растворяется в крови, воде и других жидкостях организма. Растворимость радона в жировой ткани человека в десятки раз выше, чем в воде, что обуславливает эффективное поглощение его жировыми тканями при поступлении в организм.

Существует статистическая связь заболеваемости злокачественными опухолями, склерозом, ишемической болезнью сердца, изменением поведенческих реакций и детским церебральным параличом с геопатогенными зонами (разломами), по которым радон перемещается и с помощью которых выходит на поверхность [6].

Согласно данным Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), обзор имеющихся зарубежных эпидемиологических данных показывает отсутствие убедительных доказательств наличия связи между объемной активностью радона и онкологическими заболеваниями других локализаций кроме легкого [20].

Учеными Санкт Петербургского политехнического университета имени Петра Великого, И.В. Петренёвой и др. было проведено исследование по оценке опасности высоких концентрации радона на организм человека, в результате которого было установлено, что проживание на радоноопасных территориях приводит к нарушениям репродуктивной функции женщин и изменению здоровья новорожденных, перинатальной заболеваемости, общей и онкологической заболеваемости, смертности.

Было замечено, что частота встречаемости малых аномалий, повышена в 5 и более раз. Распределение концентрации радона свыше 200 Бк/м<sup>3</sup> в квартире, где проживают дети, может являться причиной проявления у них малых аномалий, таких как: седловидный нос, эпикант, короткая уздечка, клинодактилия, плоскостопие [21].

Исследование, проведённое в Иркутском государственном медицинском университете, установило, что воздействие радиации, в том числе высоких уровней радона, вызывает возможное развитие соматической патологии и патологии нервной системы в целом [22].

Перечисленные выше случаи позволяют сделать вывод о том, что между повышенным уровнем радона в жилых помещениях и заболеваемостью имеется четко выявленная прямая зависимость.

Так как облучение человека радоном происходит в основном когда он находится в помещении, возникает острая необходимость в контроле и исследовании радона именно в зданиях [16].

## **Глава 2 Обзор ранее проведенных исследований по изучению радона в зданиях**

### **2.1 Анализ зарубежных исследований по изучению содержания радона в зданиях**

В мире проводится большое количество исследований с целью мониторинга радона. Ученые ищут решения проблемы вредного воздействия радона без больших экономических потерь для государств.

В исследовании проведенном на примере здании расположенных в южной части Швейцарии (кантон Тиччино), регионе с измерениями концентрации радона в более чем половине зданий (более 55 000 зданий в 2018 году), с населением около 355 000 человек. Выявлена закономерность, что в зданиях, где были заменены стеклопакеты на более эффективные для сохранения теплоэнергии, наблюдается увеличение содержания радона. [23].

Внимание уделяется также не только жилым помещениям, но и «рабочим», также, как и в работе V.Nastro и других, которая была выполнена в 2018 году. Проводятся замеры радона в исторических зданиях, а ныне музеях, где источниками радона являются сами произведения искусства, сделанных из определенного вида камня, такого как гранит. Итальянских ученых беспокоит, что не в литературе, не в законодательстве, связанных с охраной артефактов как музейных, так и исторических зданий, не рассматривается оценка концентрации газа радона для повышения безопасности археологов, операторов и посетителей археологических объектов. Так как исторические здания и музеи являются закрытыми средами, которые способствуют высокой концентрации газа радона, образующегося из естественной радиоактивности земли, и вдыхание этого газа является второй причиной рака легких после дыма. Но поскольку Радон является благородным газом, его нельзя фильтровать, и по этой причине его

мониторинг является единственным решением для защиты здоровья людей [24].

Поскольку в Португалии уже действует новое законодательство, направленное на борьбу с радоновыми рисками, обсуждение стратегии смягчения последствий, направленной на снижение риска облучения населения радоном, является вопросом большой актуальности, большей срочности и крайней необходимости. В связи с этим проведен анализ радонового риска в комплексе общественных зданий проведенный в регионе Минью, Португалия. По итогу выявлено превышение предела радиационного облучения (1 мЗв/год), так как помимо риска воздействия на рабочем месте, существует дополнительный риск, который должен быть добавлен из-за воздействия в жилых домах [25].

Радон является преобладающим источником радиационного облучения в Ирландии (по оценкам, составляет 56% от полученной дозы), большая часть которого поступает в домашних условиях. Суть исследования, проведенного в 2018 г., заключалась в статистической обработке зависимости распределения раковых заболеваний от содержания радона на территории. Карта радоноопасности территории Ирландии (рисунок 5) была построена уже в период 1992-1997 гг. Нормативным уровнем для Ирландии считается не превышение концентрации радона выше 200 Бк/м<sup>3</sup> [26].

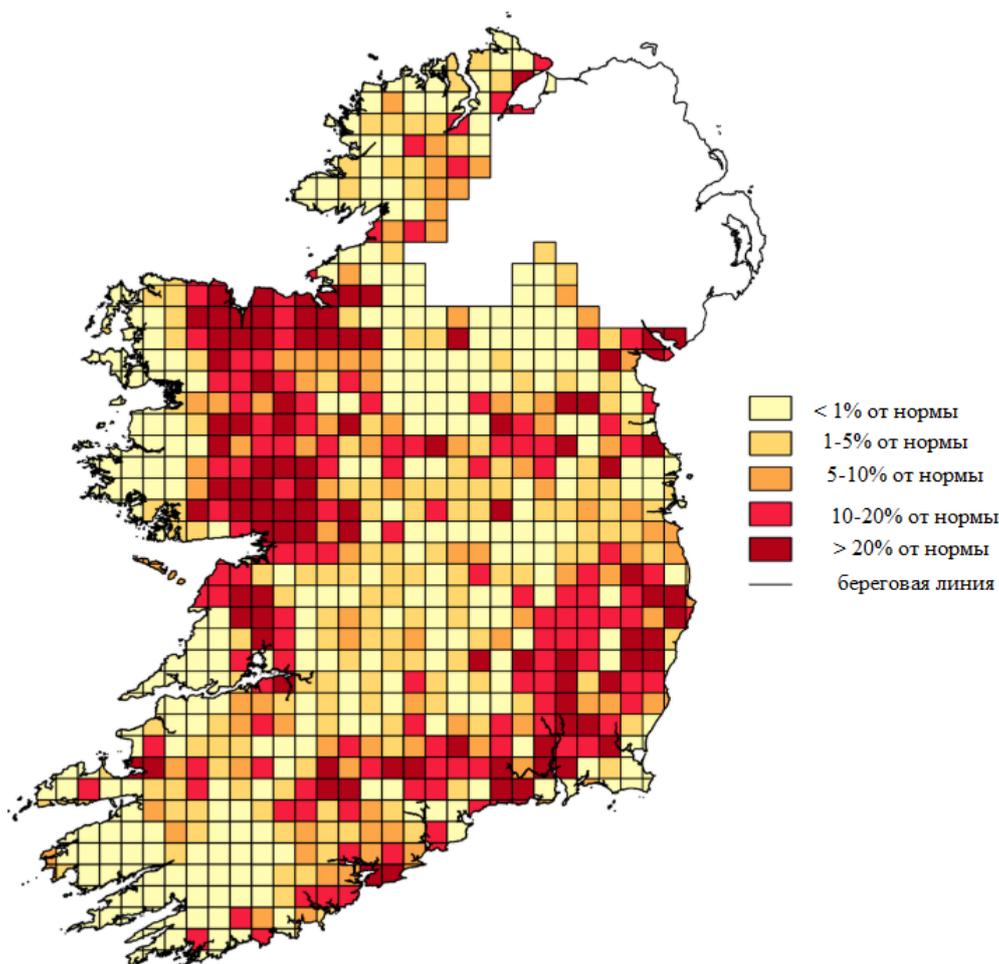


Рисунок 5. Карта радоноопасности Ирландии [19].

Очень большое количество исследований проводятся в Соединённых Штатах Америки (США). В Соединенных Штатах потенциальная опасность радона в жилищах стала известна широкой общественности в 1980-х гг. По оценкам Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки (EPA) из общего числа 146 400 случаев смерти от рака легкого в 1995 г., 21 100 (14 %) были отнесены к воздействию радона внутри помещений. Проведенные в последующем эпидемиологические исследования подтвердили эту оценку. Смертность от радон-индуцированного рака легкого является второй ведущей причиной смерти для курящих и первой для некурящих людей [19].

В 1993 году была разработана карта радоновых зон на территории США для выявления районов с потенциальным повышением уровня радона в помещении (рисунок 6).

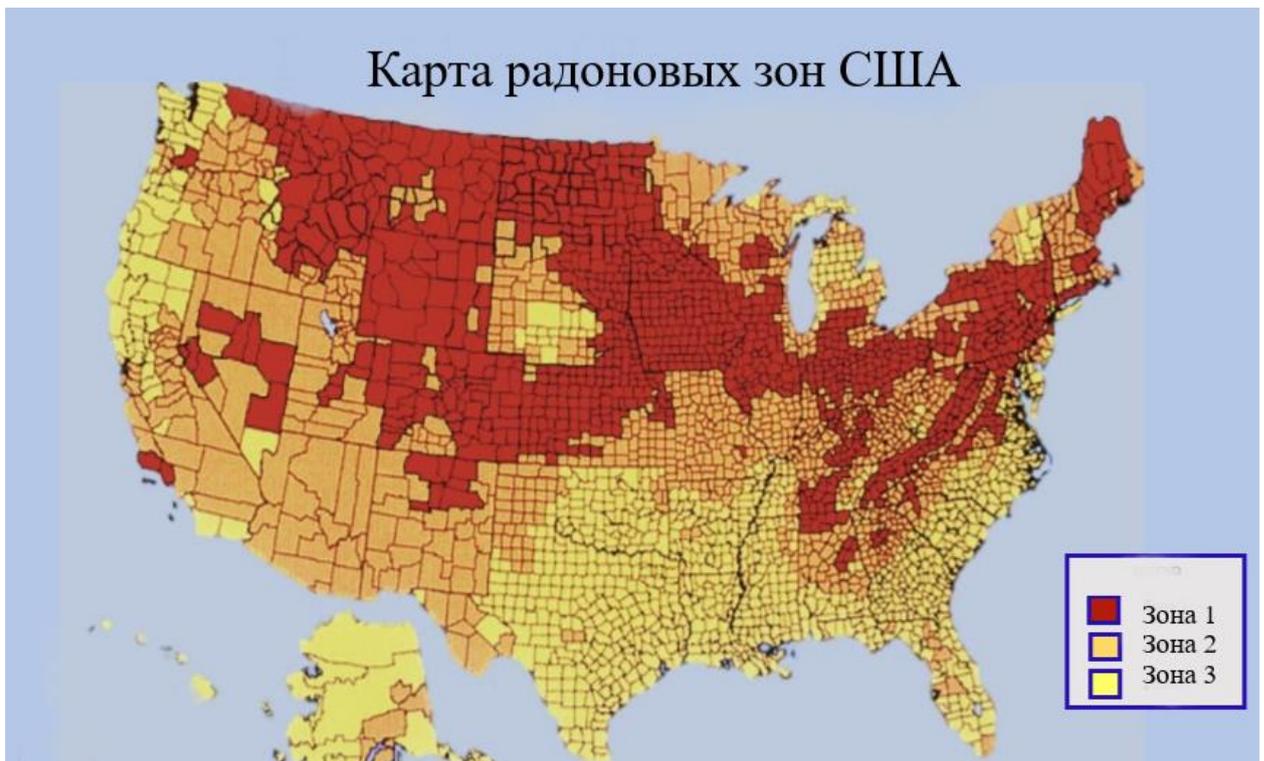


Рисунок 6. Карта радоновых зон США [19].

К территории Зона 1 относятся: округа с прогнозируемыми средними уровнями экранирования радона внутри помещений более 4 пКи/л. Зона 2: округа с прогнозируемыми средними уровнями экранирования радона внутри помещений от 2 до 4 пКи/л. Зона 3: округа с прогнозируемыми средними уровнями экранирования радона внутри помещений менее 2 пКи/л.

Карта радоновых зон была разработана с использованием данных об измерениях радона внутри помещений, геологии, воздушной радиоактивности, параметров почвы и типов фундаментов.

К группе с самыми высокими значениями радона на площади всего штата относятся: Монтана, Северная Дакота, Вайоминг, Колорадо, Айова, Южная Дакота, Канзас, Иллинойс, Мэн, Нью-Йорк, Теннесси.

Вся территория США поделена на 10 регионов, и в каждом регионе организован офис, Агентства по охране окружающей среды США который отвечает за соблюдение нормативно-правовой базы и прав граждан в области качества воздуха в помещениях. Схему этих регионов демонстрирует рисунок 7.

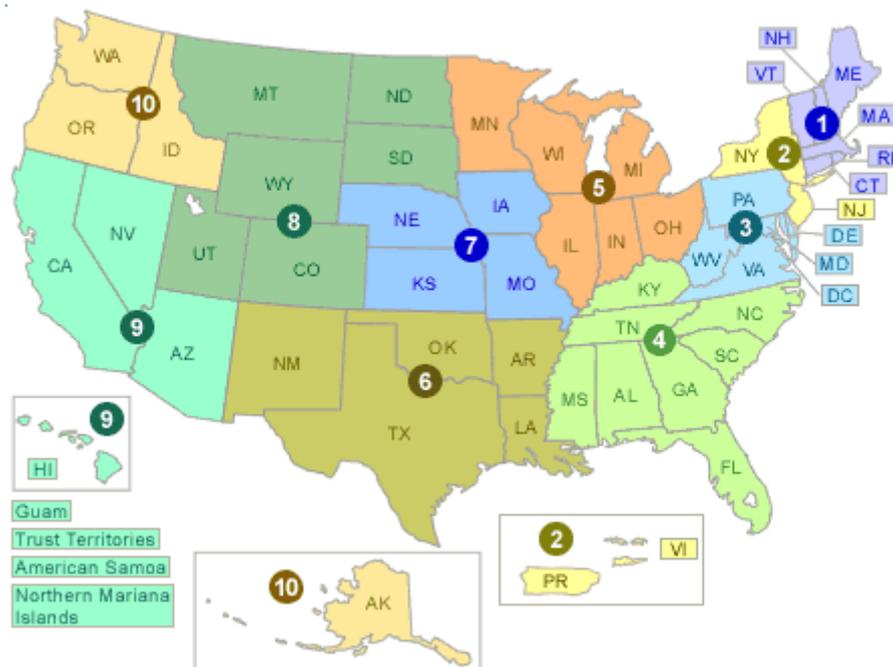


Рисунок 7. Подконтрольные регионы ведомств на территории США [19].

В США выполняется большое количество мероприятий направленных на снижение вредного воздействия радона. Каждый житель может заказать бесплатный тестовый набор для самостоятельного определения уровня радона в доме, затем если уровень радона слишком высок, то можно заказать профессиональную проверку. В дальнейшем, специальные службы, при необходимости установят систему уменьшения радона в здании.

Изучив исследования, которые проводятся в зарубежных странах, становится ясно, что на сегодняшний день радоновая проблема актуальна в большинстве стран. На данный момент существует большое количество исследований посвященных этой теме. Проблема решается на государственном уровне, создаются новые законы не просто о радиационной безопасности, а посвященные проблеме воздействия радона. Строятся карты радоноопасности территории стран. Зарубежные страны финансируют информирование населения о вреде повышенных концентраций радона, закладывают в бюджет средства на использование населением бесплатного

оборудования для измерения радона, а также на применение защитных мер при обнаружении высоких уровней.

Все исследования, проведенные в Европе, Англии, США подтвердили, что даже низкие уровни концентрации радона в домах, также представляют риски для здоровья и, в значительной мере, способствуют заболеваемости раком легких во всем мире [16].

## **2.2 Анализ российских исследований по изучению радона в зданиях, в том числе на территории Томской области**

В России проблемой облучения радоном в жилых помещениях занимаются большое количество ученых, так как есть территории с высокими уровнями содержания радона. На карте радоноопасности территории России (рисунок 8), розовым цветом обозначены районы потенциальной опасности. Прямыми критериями потенциальной радоноопасности площадей являются аномально высокие концентрации радона в почвенном газе, в выходах минерализованных вод, наличие аномальных концентраций радона в жилых и производственных помещениях [27].

К территориям с потенциально повышенной степенью радоноопасности относятся следующие области: Кольский полуостров, Южная Карелия и Ленинградская область, южная часть Русской платформы, Северный Кавказ, северная часть Западно- Сибирского и Восточно- Сибирского регионов, Алтай и Забайкалье, Приморский край.

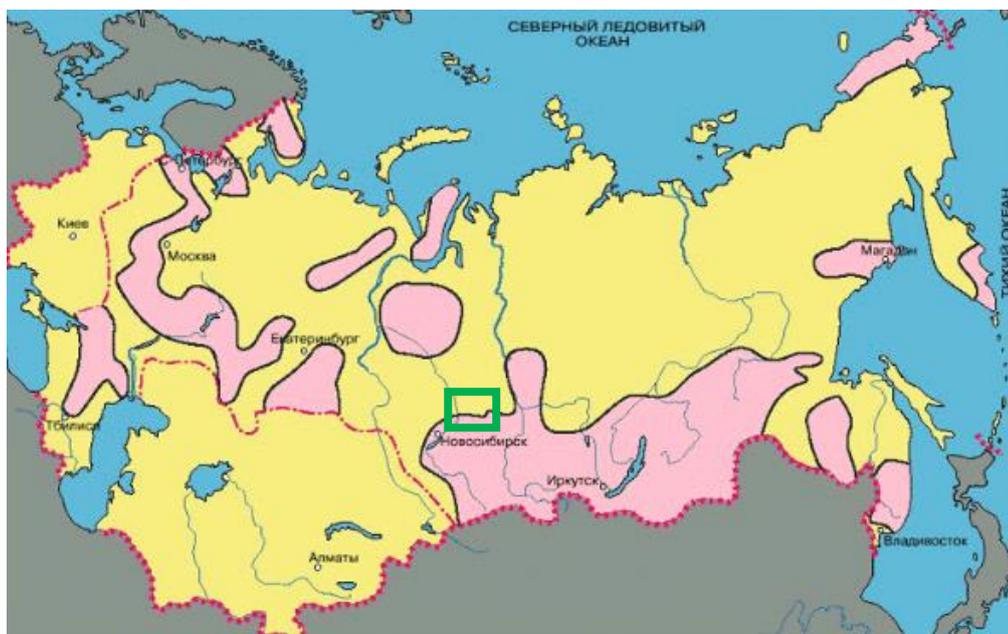


Рисунок 8. Карта радоноопасных территорий России [27]

— Томская область.

Средние по регионам дозы облучения населения Российской Федерации от радона за 2010 год показаны на карте, разработанной Санкт-Петербургским научно-исследовательским институтом радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева (рисунок 9).

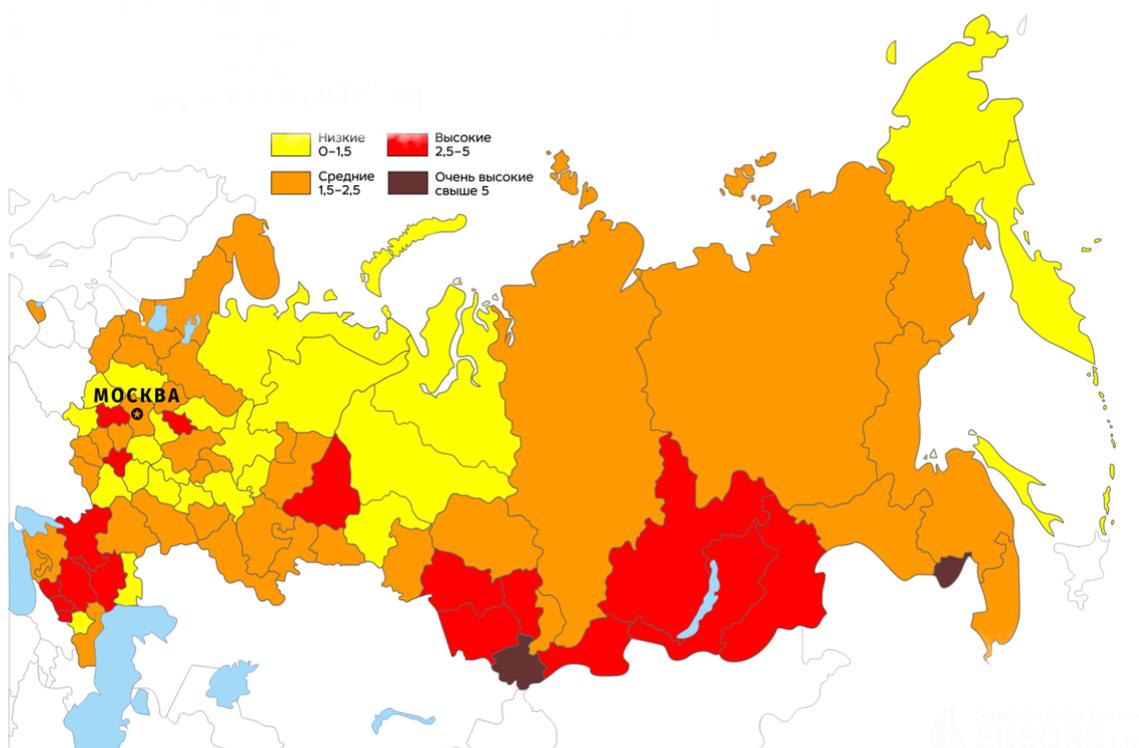


Рисунок 9. Средние дозы облучения населения от радона [28]

Однако на большей части территории России постоянный контроль содержания радона не осуществляется, подробные карты радоноопасности не актуализируются, и, в целом, объем проводимых обследований небольшой. Наиболее активно такие исследования и комплекс радонозащитных мероприятий выполняется только в некоторых областных центрах, например, в Санкт-Петербурге и Москве [27,29].

Одним из самых «ярких» изучаемых случаев является аномально высокие уровни содержания радона в жилых помещениях на территории Сухобузимского района, села Атаманово, которое находится на левом берегу р. Енисей примерно в 100 км северо-восточнее г. Красноярска.

Были обнаружены многочисленные жилые здания и общественные здания с эквивалентной равновесной объемной активностью радона в воздухе, превышающей гигиенический стандарт 200 Бк/м<sup>3</sup>, и отдельные жилые здания, где объемная активность радона достигает 30 тысяч. Бк/м<sup>3</sup> и выше. Исследование показало, что существует сезонная изменчивость в объеме активности радона и пространственного распределения радона в различных частях деревни. Также были определены области отдельно расположенных помещений, которые локально демонстрируют аномалию.

Проанализировав данные, ученые до сих пор не знают причины этого состояния радонового «уровня». Поскольку вблизи села не обнаружено месторождений урана, удельная активность радия в активном слое почвы явно недостаточна для создания аномальных концентраций радона; нет очевидной связи между чрезвычайно высокими уровнями эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в домах и значениями плотности потока радона (ППР) (активность радона, проходящего через единицу площади в единицу времени) на земельных участках ; особенности геологического строения, непосредственно влияющие на выдох радона из почв, не были выявлены [30,31].

Оценка радоноопасности территорий и зданий изучается и на территории южного региона России (Ростовская область и Краснодарского

края). Одно из проведенных исследований на территории этих субъектов Российской Федерации выявило закономерность изменения содержания радона от климатических особенностей этого региона [32]. Так при более мягком климате определили ухудшение вентилирования в наиболее холодный сезон; а поэтажное распределение объемной активности радона указало, что основным источником служит эманация радона с поверхности почвы. Так же было замечено, что данные полученные при замерах в помещениях с бетонной стяжкой пола значительно ниже полученных при замерах в помещениях с деревянным полом. Апкин Р.Н в своей работе по исследованию некоторых районах Казани также установил зависимость концентрации радона от этажности здания [33].

Большое количество работ посвящено изучению проблемы радона на территории Алтайского края [30]. В одном исследовании было выявлено превышение полной годовой дозы за счет ЭРОА радона и продуктов его распада. Было установлено что наибольшие значения регистрируются в нагорных областях Алтая [34].

А оценка риска при облучении дочерними продуктами распада (ДПР) радона показала, что воздействие ДПР на организм мужчины и женщины разное и соответственно 59 и 24 дополнительному случаев заболевания раком легкого в год [35].

Для территории Томской области проблема радона также является актуальной, даже несмотря на то, что согласно карте родоноопасности территории России территория области попадает в категорию низкого риска и лишь небольшая южная часть области относится к категории среднего риска.

На территории Томской области проблема радона стала известна уже в 1904 году. Тогда впервые было выполнено исследование профессором ТГУ П.П.Орловым. Изначально это носило медицинский характер, интерес вызывали известковые источники своими лечебными свойствами,

проявляющими радиоактивностью. Но особый интерес вызывало то, что явление радиоактивности обусловлено присутствием радона-222.

Благодаря такого же рода исследованиям было установлено, что воды г. Томска отличаются повышенной активностью радона, а именно районы Дальнего ключа, Сборного университетского колодца, ключ на берегу р. Ушайки за каменным мостом, ключ на берегу р. Томи, колодец на Ярлыковской улице, колодец Заисточный) [36].

Радоновые родники на территории Томска и сегодня являются традиционными объектами локального водоснабжения. В пригородной зоне они интенсивно посещаются и используются населением по его усмотрению, иногда оберегаются как источники чистой воды, качество которой принимается априори [37].

Большинство современных исследований, связанных с изучением радона в Томской области, выполняются в области изучения содержания радона в воде и водных источниках, так же большое количество исследовательских работ студентов университетов города Томска заключаются в измерении плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта. Работы, направленные на измерения эквивалентно равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в зданиях, жилых помещениях выполняются в очень малом объеме.

Архитектура Томска известна своей разнообразностью, есть большое количество построек как современных, так и преимущественно раннего времени. В соответствии с этим можно определить чаще используемые строительные материалы, а также этажность и характеристики зданий. У почти 6% высотных зданий Томска (выше пятого этажа) в виде облицовочного материала стен используется кирпич и бетон. Даже если учесть, что наличие высотных зданий не так велико, большинство, а именно 80% проживают именно в них. Жилища где проживают оставшиеся, представляют собой двухэтажные деревянные или шлакобетонные семейные дома, и также отдельные дома, построенные из дерева, глины или самана.

В ходе первых исследований зданий на уровень радона, проведенных Яковлевой и Каратаевым (2001 г.) было выявлено что, три основных фактора могут сильно повлиять на уровни радона в помещении. Это возникновение неисправностей под жилым помещением, типом здания и уровнем пола.

Оценка экспериментальных данных показывает, что распределение средних концентраций радона по уровням пола варьируется между зданиями разных типов (панельный дом, кирпичный дом, дом из шлакоблоков). Концентрации радона в многоэтажных многоквартирных домах с фундаментными плитами оказываются независимыми от уровня пола, т.е. концентрации радона на разных уровнях пола имеют отклонения в среднем примерно на 30%, что находится в пределах ошибки измерения. Измерения радона, проводимые в холодное время года, показывают меньшую вариабельность, поскольку в этих условиях эффект открытия окна (проветривания) практически отсутствует.

По итогу, строительные материалы, которые используются в строительстве, являются главным источником радона для многоэтажных жилых домов. Почва под зданием является основным источником радона для помещений, расположенных на первом этаже двухэтажного дома [38].

В исследовании В.П. Борисова и В.С. Яковлевой (2005 г.) измерения проводились в городе Томск в соответствии со специальной схемой отбора проб (зоны низкого риска радона) с целью выявления относительной значимости типа здания, строительного материала, уровня пола и других факторов для концентрации радона. Они пришли к выводу, что зависимость уровней внутреннего радона в серийных многоэтажных зданиях от количества этажей является слабой (если она существует).

В то же время разница между уровнями радона на первом и верхнем этажах была почти в два раза выше для деревянных и шлакобетонных зданий. Это несоответствие можно объяснить строительными характеристиками зданий (более плотные полы в многоэтажных домах). Так как Томская область находится в зоне влияния континентального климата с

резким контрастом между теплым летом и холодной зимой, было обнаружено, что влияние климатических характеристик на концентрацию радона в помещении проявляется в разности наружного и внутреннего давления, а также сниженной вентиляции [39].

В 2015 году учеными ТГАСУ проводился мониторинг некоторых зданий г. Томска, который показал следующие результаты. Исследования в каменных зданиях исторической застройки (перекрытия не железобетонные) показали, что значения интегральной объемной активности (ИОА) радона в воздухе помещений изменяются в пределах от 16 до 85 Бк/м<sup>3</sup>, а значения ЭРОА – от 8 до 42 Бк/м<sup>3</sup>, при среднемировом значении ЭРОА 20 Бк/м<sup>3</sup>. В панельных жилых и административных помещениях значения ИОА изменяются в пределах от 5 до 33 Бк/м<sup>3</sup>, а значения ЭРОА от 3 до 16 Бк/м<sup>3</sup>. Также в процессе исследования, выявлена зависимость концентрации радона концентрацией радона на первом этаже и подвалах зданий с наличием разломов и тектонических нарушений в горных породах [40].

Например, в работе Шиловой К.О и других авторов в 2019 году было выполнено исследование плотности потока радона (ППР) в двенадцати точках выбранной строительной площадки в г. Томске. Проведены измерения поровой активности Rn-222 на двух глубинах 0.4 и 0.8 м и плотности потока радона с помощью радиометра [41]. Исследователи пришли к выводу что с разностью глубины наблюдаются различия концентрации на порядок и более.

Согласно последнему отчету о состоянии окружающей среды на территории Томской области, ОГБУ «Облкомприрода» и Роспотребнадзор проводят измерения активности радона в воздухе жилых и общественных зданий г. Томска и районов. По результатам исследования установлено, что во всех изученных зданиях концентрация радона не превышает 100 Бк/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о том, что превышение существующих нормативов не наблюдается [42].

Таким образом, анализ ранее выполненных исследований показывает, что на территории Томской области не проводится массового изучения уровня радона в зданиях. Не составлены карты радоноопасности территории области. Жители региона не информируются регулярно и подробно об уровне воздействия радона на них в различных типах зданий.

Также необходимо отметить, что существует целый ряд работ, которые посвящены изучению «радонового риска».

Существуют проблемы, связанные с определением формирования доз облучения от изотопов радона и их дочерних продуктов в конкретных условиях. Это связано с рядом факторов, в частности, геологические и геофизические характеристики территорий большинства городов плохо изучены, и для многих городов нет статистического материала по содержанию изотопов радона и их дочерних продуктов распада (ДПР) в воздухе. В результате пространственные и временные закономерности распределения радона в городе остаются неисследованными, и, как следствие, масштаб радиационной опасности на конкретной территории не оценивается.

В зарубежных и в меньшей степени в отечественных публикациях понятия «риск радона» и «опасность радона» интерпретируются довольно широко. В зарубежной литературе термин «риск радона» используется более широко. Более того, этот термин часто понимается как фактический риск, т. е. Вероятность возникновения дополнительных заболеваний или преждевременной смерти в результате воздействия радона (в рамках более широкой концепции «радиационного риска») [МКРЗ 2010], а также вероятность увеличения концентрации радона в помещении и даже вероятность увеличения концентрации радона в геологической среде. Например, публикация по оценке уровней подземного радона на строительных площадках в Чешской Республике озаглавлена «The new method for assessing the radon risk of building sites» (новый метод оценки радонового риска на строительных площадках) [43].

В настоящий момент нет метода расчета радонового риска. Словосочетание «радоновый риск» применяется редко, и, как правило, в узком понимании – количество ожидаемых заболеваний раком легкого на 1000 человек при данной дозе облучения радоном. Некоторые работы, которые были проведены [35,44] в сфере расчета эффективной дозы радонового облучения на организм, за основу берут методологию расчета радиационного риска, как например в работе Трифионовой Т.А. и др. [45].

Расчет вклада радона в формирование средней дозы облучения человека в течение его жизни дает следующие результаты. Суммарный вклад естественной радиации в дозовую нагрузку составляет около 72%. В то же время вклад космического излучения в общую дозу облучения человека от природных источников составляет почти 14%, а внешнего и внутреннего естественного гамма-излучения - по 16% каждый. Вклад радона оценивается в 54%, т. е. более половины годовой дозы от всех естественных источников излучения, которые человек получает через воздух, облучая свои легкие радоном во время дыхания [46].

### **2.3 Нормативное регулирование проблемы радона в зарубежных странах и России**

Нормативное регулирование проблемы радона, которое осуществляется в зарубежных странах можно рассмотреть на примере США.

Особенность мероприятий по снижению потенциальной опасности радона в США характеризуется разделением ответственности между федеральным уровнем и штатами. На федеральном уровне соответствующие министерства и ведомства, которые в обязательном порядке издают необходимые руководящие принципы, руководства и инструкции, в которых до членов общества доводится информация об опасности радона, разработанных нормативных актах, а также мероприятиях, проведение

которых позволит снизить риски для здоровья от его воздействия до определенных значений [19].

Контроль радона на территории США осуществляется Агентством по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки (EPA), которое руководствуется «Законом о чистом воздухе» и «Законом об атомной энергии», разрабатывает типовые строительные стандарты и методы контроля уровня радона в новых зданиях [19].

Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки (EPA) для того чтобы качественно осуществлять функции контроля в области радона, создало управление «Воздуха и Радиации (OAR)», которые в свою очередь отвечают за свой регион включающий несколько штатов. Управление радиации и воздуха в помещениях, собственно и является руководящим в сфере вопросах радона.

США в области регулирования радона руководствуются стандартами Международной Организацией по атомной энергии (МАГАТЭ) [47].

Нормы МАГАТЭ в области безопасности, касающиеся радона, применяющиеся на территории США:

- Нормы безопасности МАГАТЭ, Основные принципы безопасности, № SF-1 (2006)

- Общие требования безопасности: радиационная защита и безопасность источников излучения: международные базовые стандарты безопасности (2014)

- Специальное руководство по безопасности: Защита населения от воздействия радона и других природных источников радиации в помещении (2015 г.)

Согласно проведенным исследованиям в США установлены нормативные уровни радона для внутреннего воздуха помещения и наружного.

За средний уровень радона наружного воздуха принято  $0,4 \text{ пКи/л} = 14,8 \text{ Бк/м}^3$ , а в воздухе помещения среднее  $1,3 \text{ пКи/л}$ , что равняется  $48,1 \text{ Бк/м}^3$ .

При обнаружении в здании уровня радона в промежутке от 2- 4 пКи/л (74-148 Бк/м<sup>3</sup>), необходимо предпринимать меры по снижению уровня, выполнение мер является не обязательным условием, а несет рекомендательный характер. Превышенным уровнем радона, требующим принятия соответствующих мер, считается уровень в 4 пКи/л, что соответствует 148 Бк/м<sup>3</sup> [19].

На данный момент конгресс США поставил цель по снижению уровня радона внутри помещения до среднего уровня наружного радона (0,4 пКи/л =14,8 Бк/м<sup>3</sup>) [19].

Среди государств-членов европейского союза (ЕС) большинство правительств или соответствующих министерств осуществляют законодательство и рекомендации, касающиеся содержания радона в жилых помещениях, а также контролируют соблюдение постановления и рекомендации. В Финляндии и Швеции местные муниципальные органы власти имеют следующие полномочия: ответственность за надзор и в Великобритании лежит на районных органах власти.

Во всех странах установлены эталонные уровни содержания радона в жилых зданиях. Диапазон используемых эталонных уровней составляет 200-1000 Бк/м<sup>3</sup>. Для существующих жилых помещений нормативный уровень применяется государствами-членами ЕС: Данией, Грецией а также не входящими в ЕС европейскими странами Беларусь, Эстонией, Литвой, Норвегией, Польшей, Словацкая Республика и Югославия, Ирландия и Великобритания имеют нормативный уровень 200 Бк/м<sup>3</sup> [50].

Например, 1 декабря 2018 года в Германии вступили в силу Закон о радиационной защите и новый Указ о радиационной защите. Согласно которому устанавливаются нормативный уровень содержания радона в 300 Бк/м<sup>3</sup>.

Некоторые европейские страны имеют два нормативных уровня, причем верхний уровень содержит требования к исправлению положения. Меры или строгие рекомендации, а также более низкий уровень, который

применяется к жилищам, где концентрация радона может быть снижена с помощью простых и менее дорогостоящих мер по исправлению положения. [50].

Словацкая Республика и Чешская Республика имеют референтные уровни выраженные в виде дпр радона концентрации для существующего жилья и нового строительства. Словацкая Республика имеет один принудительный верхний базовый уровень 200 Бк/м<sup>3</sup> для существующих жилых помещений. Чешская Республика использует четыре консультативных эталонных уровня для рекомендуемого смягчения последствий: 400 Бк/м<sup>3</sup> – никакого вмешательства не требуется, чтобы уменьшить объемную активность радона, если концентрация радона не увеличивается из-за снижения вентиляции, выше 400 и ниже 1000 Бк/м<sup>3</sup> – рекомендуется корректирующее действие, необходимо использовать дополнительную вентиляцию, при значениях выше 1000 уже необходимо использование более дорогих средств для корректировки уровня концентрации радона, сложные меры по исправлению положения предписываются >4000 Бк/м<sup>3</sup> с полной изоляцией людей.

Снижение облучения населения от природных радиоактивных источников, в том числе радона, это одна из важнейших и, пожалуй, наиболее сложных экологических проблем. Осознание значимости проблемы радона, необходимость контроля его воздействия находит свое отражение в нормативных документах, действующих на территории Российской Федерации.

Контроль природного радиационного фона предусмотрен Федеральным Законом «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. N 3-ФЗ, а также «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», которые ограничивают суммарную дозу облучения от естественных радионуклидов [7,49].

Также, нормативные показатели регулируются дополнительно следующими документами:

– СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [50];

– СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.

Необходимо отметить что, например, пункт 2 статьи 15 Федерального закона «О радиационной безопасности населения» указывает, что проектирование и строительство зданий и сооружений ведется с учетом предотвращения поступления радона в воздух этих помещений.

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) Правительством России (постановление от 06.07.94 г. №809) еще в 1996 году была принята федеральная целевая программа по снижению уровня облучения населения и производственного персонала от природных радиоактивных источников (одним из которых является радон) (ФЦП «Радон») которая активно выполняет свои функции и сегодня [51,52].

Нормативные показатели, которые используются в разных странах и России в обобщенном виде представлены в таблице 4.

Таблица 4. Допустимые значения объемной активности радона в зданиях для различных стран

Страна	Регламентирующий документ/Организация	Нормативный уровень концентрации радона в помещении
Россия	НРБ 99/2009 N 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»	200 Бк/м <sup>3</sup>
Германия	Нормы МАГАТЭ, Закон о радиационной защите/Федеральное ведомство по радиационной защите в Германии	300 Бк/м <sup>3</sup>
США	Нормы МАГАТЭ, «Закон о чистом воздухе» и «Закон об атомной энергии» /Агентство по охране окружающей среды США (EPA)	2- 4 пКи/л (74-148 Бк/м <sup>3</sup> )

продолжение таблицы 4

Словацкая республика	Нормы МАГАТЭ /Агентство по охране окружающей среды Словацкой республики	200 Бк/м <sup>3</sup>
Чешская Республика	Нормы МАГАТЭ, Атомный закон/Агентство по охране окружающей среды Чешской республики	400- 1000 Бк/м <sup>3</sup>
Австрия	Нормы МАГАТЭ, Закон о радиационной защите /Агентство по охране окружающей среды Австрии	300 Бк/м <sup>3</sup>
Дания	Нормы МАГАТЭ, Строительные нормы и правила § 331-333 /Агентство по охране окружающей среды Дании	200 Бк/м <sup>3</sup>
Греция	Нормы МАГАТЭ, Закон о радиационной защите /Греческая комиссия по атомной энергии	200 Бк/м <sup>3</sup>

### Глава 3 Методы исследования радона в зданиях

Согласно документу методическим указаниям (МУ 2.6.1.2838-11) представлены четко прописанные правила и порядок проведения и расчет значения среднегодовой эквивалентно равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в помещениях зданий с оценкой ее неопределенности, а также указаны общие требования средствам измерений.

— Диапазон измерения температуры воздуха должен составлять от 0 до 40 °С при паспортной погрешности не более 1 °С. Дискретность показаний температуры должна составлять не более 0,1 °С.

— Диапазон измерения относительной влажности воздуха должен составлять от 10 до 95% при паспортной погрешности не более 2% (в единицах относительной влажности).

— Применяемые при контроле помещений радоновые приборы должны быть зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений и иметь действующие свидетельства о поверке. Также должны быть аттестованы применяемые методики измерений [53].

Для оценки уровня радона в зданиях проводят измерения Эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) или объемной активности (ОА) радона.

Объемная активность радона (ОА) представляет собой активность радона в одном кубическом метре воздуха [9].

Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) равна концентрации радона – газа в такой равновесной его смеси с продуктами распада, которая имеет то же значение скрытой энергии альфа-излучения, что и рассматриваемая неравновесная смесь. Скрытая энергия альфа-излучения в единице объема воздуха характеризует совокупную (до распада) энергию альфа-частиц тех дочерних продуктов, которые задерживаются в органах дыхания. Таким образом, величина ЭРОА позволяет характеризовать воздействие радона в любой смеси с его дочерними продуктами распада

(ДПР). Поступление ДПР радона рассчитывается как произведение ЭРОА на объем вдыхаемого воздуха [54].

Основная дозовая нагрузка формируется не самим газообразным радоном, а его дочерними продуктами распада (ДПР) – короткоживущими радиоактивными изотопами полония  $^{218}\text{Po}$  (RaA), свинца  $^{212}\text{Pb}$  (RaB) и висмута  $^{214}\text{Bi}$  (RaC), сопутствующими радону во всех природных средах, в том числе и в воздухе.

Средства и методы контроля ОА радона и ЭРОА изотопов радона в воздухе классифицируются по измеряемой величине, по методу регистрации, по методу отбора проб воздуха и по характеру получаемой информации [55].

На сегодняшний день существует высокоточные приборы для выполнения измерений ЭРОА радона и его ДПР. Самые эффективные, удобные и наименее затратные по времени, также являются сложными и дорогими приборами. Они основаны на мгновенных методах измерения. К ним относятся инспекционные приборы или радиометры для экспрессного измерения "мгновенных" значений ОА радона, торона и продуктов распада. Длительность измерения такими приборами от единиц минут до нескольких часов.

По измеряемой величине средства контроля радоновой атмосферы помещений принято делить на средства измерений ОА радона в воздухе, которые называют «радиометрами радона», и средства измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе, называемые обычно «радиометрами аэрозолей ДПР радона и торона».

По методу регистрации средства измерений ОА радона в воздухе делятся на ионизационные, сцинтилляционные, полупроводниковые, адсорбционные, электретные и трековые радиометры радона. Средства измерений ОА радона в воздухе, основанные на ионизационном и сцинтилляционном методах регистрации альфа-излучения радона и ДПР, в настоящее время практически не применяются. Электретные радиометры радона в силу их дороговизны и невысокой стабильности метрологических

характеристик в нашей стране и в большинстве зарубежных стран широкого распространения не получили.

Действие практически всего парка современных средств измерений ОА радона в воздухе основано на использовании полупроводниковых и трековых детекторов (пленочные и твердотельные детекторы) для регистрации излучения радона и ДПР. Особняком в этом ряду стоят средства измерений, в которых в процессе отбора проб или экспонирования измерительных камер в контролируемой атмосфере радон накапливается в объеме адсорбента с последующей регистрацией гамма - или бета-излучения короткоживущих ДПР радиометрическим или спектрометрическим методами [55].

По методу отбора проб воздуха средства измерений ОА радона делятся на активные и пассивные. В активных средствах измерений воздух прокачивается через измерительную камеру для выравнивания ОА радона в объеме камеры и контролируемой атмосфере (радиометры радона) или прокачивается постоянно с определенным расходом воздуха через измерительную камеру (мониторы радона). Пассивные средства измерений ОА радона помещаются в контролируемую атмосферу на определенное время, в течение которого происходит или накопление радона в объеме адсорбента (адсорбционный метод измерений) или постоянное выравнивание ОА радона в измерительной камере радиометра и контролируемой атмосфере, которые разделены обычно диффузионной мембраной камеры радиометра.

По характеру получаемой информации, определяемой длительностью отбора проб воздуха или экспонирования оборудования в контролируемой атмосфере, средства измерений ОА радона делятся на экспрессные (иногда называемые мгновенными), квазиинтегральные [56] и интегральные.

Экспрессными (или мгновенными) принято считать измерения, которые обычно реализованы на основе активного метода отбора проб воздуха за промежуток времени от нескольких минут до нескольких часов. Экспрессные измерения проводятся с применением как радиометров радона

(определение ОА радона в воздухе), так и радиометров аэрозолей ДПР радона и торона (определение ЭРОА изотопов радона в воздухе и/или ОА отдельных короткоживущих дочерних продуктов радона и торона).

Квазиинтегральными принято считать измерения с длительностью отбора проб или экспонирования средств измерений в контролируемой атмосфере свыше 1 до 3-4 суток (реже - до 6 суток). На практике технология квазиинтегральных измерений реализована в основном адсорбционным методом с использованием в качестве адсорбента активированного угля.

Интегральными принято считать измерения с длительностью отбора проб или экспонирования средств измерений свыше 1 месяца.

В настоящее время практически все интегральные измерения ОА радона в воздухе выполняются с использованием пленочных трековых детекторов [58].

По методу регистрации, методу отбора проб воздуха и характеру получаемой информации радиометры аэрозолей ДПР радона и торона менее разнообразны и представлены на отечественном рынке средств измерений в основном радиометрами аэрозолей с активной прокачкой проб воздуха через аэрозольный фильтр и последующей регистрацией альфа-излучения аэрозолей полупроводниковыми детекторами. По характеру получаемой измерительной информации радиометры аэрозолей относятся к экспрессным средствам измерений.

Остановимся подробнее на рассмотрении экспрессных методах измерения ОА дочерних продуктов распада (ДПР) радона, поскольку прибор такого типа и был использован при выполнении практической части в настоящей работе.

Экспрессными (или мгновенными) принято считать измерения, которые обычно реализованы на основе активного метода отбора проб воздуха за промежуток времени от нескольких минут до нескольких часов. Экспрессные измерения ОА радона проводятся с применением радиометров радона. В некоторых типах радиометров аэрозолей реализовано определение

ОА отдельных короткоживущих дочерних продуктов радона, что, с некоторыми оговорками, позволяет оценить ОА радона в воздухе по объемной активности  $^{218}\text{Po}$  [55].

Основными метрологическими характеристиками средств измерений ОА аэрозолей ДПР в воздухе являются:

- 1) расход воздуха через фильтр при отборе проб;
- 2) эффективность улавливания аэрозолей ДПР и ДПТ;
- 3) эффективность регистрации  $\alpha$ -излучения ДПР и ДПТ, осажденных на фильтр;
- 4) уровень собственного фона;
- 5) диапазон измерений;
- 6) предел основной погрешности измерений [53].

Нижний предел диапазона измерений ОА аэрозолей ДПР для большинства систем измерения обычно составляет порядка 10-20 Бк/м<sup>3</sup>; дальнейшее снижение его требует увеличения расхода воздуха при одновременном снижении удельного сопротивления фильтра, увеличения эффективности регистрации излучения ДПР и т.д., что обычно связано с существенными конструктивными сложностями.

Перечень некоторых актуальных видов измерителей, таблица 5.

Таблица 5. Аппаратура, используемая при мониторинге радона

Наименование радиометра	Назначение
Альфарад плюс-АР» и его модификации	<ul style="list-style-type: none"> <li>— измерения объемной активности радона, торона и их дочерних продуктов распада в воздухе;</li> <li>— измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона в воздухе жилых, общественных и производственных зданий и сооружений;</li> <li>— контроль радона в источниках питьевого водоснабжения и питьевой воды;</li> <li>— измерения плотности потока радона с поверхности грунта земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения;</li> <li>— измерения объемной активности радона в почвенном воздухе.</li> </ul>

Продолжение таблицы 5

<p>Автономная воздуходувка с набором пробоотборников АВ-07</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— измерение объемной активности Rn-222 объемной активности радона в воздухе при высокой влажности;</li> <li>— экспрессный отбор проб воздуха в пробоотборники при массовых измерениях и последующие определения объемной активности радона в стационарных условиях;</li> <li>— измерение объемной активности радона в пробах воды;</li> <li>— измерение объемной активности радона в почвенном воздухе;</li> <li>— измерение плотности потока радона из почвы.</li> </ul>
<p>Радиометр радона и его дочерних продуктов распада «РАМОН-02»</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— определение ЭРОА радона и торона в воздухе жилых и производственных помещений, а также в атмосферном воздухе;</li> <li>— определение коэффициента равновесия;</li> <li>— определение величины «скрытой» энергии ДПР радона и торона.</li> </ul>
<p>Альфа-радиометр РАА-20П2</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— измерение ЭРОА ДПР радона и торона в воздухе;</li> <li>— оценка объемной активности радона в воздухе, «фактора равновесия», кратности воздухообмена в помещениях;</li> <li>— измерение мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения.</li> </ul>
<p>Комплект оборудования для определения содержания радона</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— измерение средней объемной активности радона в воздухе помещений методом пассивной сорбции;</li> <li>— измерение объемной активности радона в пробах воздуха методом активного пробоотбора;</li> <li>— измерение плотности потока радона с поверхности грунта;</li> <li>— измерение объемной активности радона и радия в воде;</li> <li>— определение эманулирующей способности горных пород и строительных материалов.</li> </ul>
<p>Комплекс измерительный для мониторинга радона «КАМЕРА-01»</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— измерение средней за 1–6 суток объемной активности радона в воздухе помещений</li> <li>— измерение объемной активности радона в пробах воздуха;</li> <li>— измерение средней за 1–10 часов плотности потока радона (ППР) с поверхности земли и строительных конструкций;</li> <li>— измерение объемной активности радона и радия в пробах воды;</li> <li>— измерение эманулирующей способности образцов строительных материалов и горных пород.</li> </ul>

Продолжение таблицы 5

Измеритель радона низкопороговый (ИРН) РЗА-04 «Омега»	— предназначен для экспрессных определений эквивалентной концентрации радона по дочерним продуктам распада и RaA, RaC в почвенном воздухе при полевой эманационной съемке и в атмосферном воздухе помещений (при радиоэкологических исследованиях)
---	--

При выполнении экспериментальной части в данной работе был использован измеритель радона низкопороговый РЗА-04 «Омега».

Состав и основные характеристики ИРН РЗА-04 «Омега».

ИРН состоит из самого альфа-радиометра (рисунок 10) и воздуходувного устройства (УВ) (рисунок 11)



Рисунок 10. Альфа-радиометр



Рисунок 11. Воздуходувное устройство

Измеритель радона низкопороговый (ИРН) включает детектор альфа-излучения, блок цифровой регистрации, приемной кассеты аэрозольного фильтра, таймер, блок питания.

В качестве детектора используется  $ZnS(Ag)$ . Конструкция приемной кассеты позволяет оперативную установку и смену аэрозольного фильтра (АФ) (типа АФА-РСП-20, данный вид фильтров предназначен для исследования и контроля аэродисперсных примесей (аэрозолей)), содержащихся в воздухе или других газах, при разовом периодическом отборе проб при помощи электрических аспираторов), а также установку контрольного источника излучения и введение дополнительного экрана между АФ и детектором. Приемная кассета обеспечивает защиту датчика от внешнего света [58].

Таймер обеспечивает экспозицию с интервалами 1, 10, 50, 100 с. С погрешностью менее 0,5%. Окончание экспозиции сопровождается звуковым сигналом, а во время экспозиции на индикаторе «горит» символ FAV.

Индикатор – это цифровой четырехразрядный жидкокристаллический регистратор.

Основные характеристики измерителя радонметра и технологические параметры представлены в таблице 6 и 8.

Таблица 6. Основные характеристики ИРН РЗА-04 «Омега»

Характеристика	Значение
Диапазон измеряемой активности	От 5 до 1000 Бк
Порог регистрации активности	Не более 0,15 Бк
Собственный фон	Не более 0,1 имп/с
Основная погрешность характеристики преобразования	Менее 10%
Время установления рабочего режима после включения	Не более 5 мин.
Потребляемый ток при напряжении питания 6 В	Не более 34 мА (элемента типа 343 (R 14))
Время непрерывной работы	Не более 8 ч.
Время работы с одним комплектом батарей	Не менее 48 ч.

Воздуходувное устройство содержит центробежный насос, таймер с автоматическим выключением УВ после заданного времени, кассеты – наконечника (воздухозаборного устройства) для оперативной установки и смены АФ, ротаметра (измеритель скорости прокачки воздуха). Предусмотрена возможность подключения кассеты-наконечника через шланг длиной 5 м. Характеристика устройства представлена в таблице 7.

Таблица 7. Характеристика воздуходувного устройства

Характеристика	Значения
Поток анализируемого воздуха	не менее 20 л/мин, но не более 300 л/мин
Питание	Сеть переменного тока 50Гц 220В
Погрешность	— измерение скорости не превышает 10% — временная ошибка 0,5 с
Время установления рабочего режима	Не более 1 мин.

Таблица 8. Технологические параметры РЗА-04 «Омега»

Параметр	Паспортное значение	Примечание
Коэффициент захвата АФ, $\eta$	0,9	Контролируется для серии фильтров АФА РСП-20 или другого типа фильтров.
Коэффициент эффективности регистрации, $\epsilon$	0,606	Контролируется при проверке или после ремонта радиометра.
Коэффициент экрана, $K_E$	2,91	Контролируется при ремонте радиометра или замене экрана.

Продолжение таблицы 8

Показания датчика УВ при скорости $\omega = 200$ л/мин.		Контролируется ротаметром периодически не реже одного раза в месяц и после ремонта.
---	--	---

## Глава 4 Исследование уровня радона в зданиях г. Томска

Как уже было отмечено ранее в данной работе, территория г. Томск по уровню радона относится к малоопасному и частично средне опасному уровню. Несмотря на то, что территория в целом благоприятная по уровню радона, благодаря исследованиям [30, 32, 33, 39] выявлено, что источниками радона в большинстве случаев могут являться сооружения, здания и жилища, так как для их постройки используются материалы, которые могут быть источниками радона.

Также не стоит игнорировать современную тенденцию в строительстве, которая заключается в стремлении к максимальной энергоэффективности сооружений, что может являться причиной плохой вентилируемости помещений. Это в совокупности с сопутствующими факторами, приводит к тому, что возможно будут наблюдаться высокие значения ЭРОА в зданиях.

Также, выявленные высокие значения в водных источниках на территории Томской области, создают интерес для изучения объектов города, которые потребляют воду из этих водоисточников.

Отсутствие карт- радоноопасности территории г. Томска не позволяет ответить на вопрос, о том какие концентрации радона наблюдаются в различных типах городских помещений.

Отсутствие полной информации об уровнях радона в жилых помещениях, либо в целом, в зданиях, которые посещают большое количество людей, определяет актуальность проведения исследований по изучению уровня радона в этих помещениях.

## 4.1 Методика выполнения измерений уровня радона

В данной работе при исследовании уровня радона в зданиях были проведены практические измерения концентрации радона с использованием прибора (ИРН) РЗА-04 «Омега», который является низкопороговым измерителем радона.

Последовательность действий при применении данного метода исследования заключалась в следующем:

1. В держатель фильтра установить воздуходувное устройство установить АФ (аналитический фильтр) (типа АФА-РСР-20). Рабочая (шероховатая) поверхность фильтра должна быть направлена навстречу анализируемому потоку воздуха.

2. Переключателем экспозиции воздуходувного устройства установить требуемое время прокачки анализируемого объема воздуха (при выполнении исследования 5 мин). Нажать кнопку ПУСК.

3. По окончании времени прокачки (прекращается работа воздуходувного устройства) аналитический фильтр переставить из держателя фильтра в кассету радиометра. Рабочая поверхность аналитического фильтра направлена к детектору.

4. Через интервал времени, не превышающий 25 секунд, после завершения отбора проб производится счет сцинтилляций  $\alpha$ -частиц, время экспозиции составляет 50 секунд. Окончание экспозиции фиксируется звуковым сигналом таймерного устройства.

5. С цифрового индикатора снимается отсчет  $N_1$ . Затем, фильтр перекрывается поглощающим экраном, и производится отсчет  $N_2$  с той же экспозицией, что и отсчёт  $N_1$ .

Полученные экспериментальные данные используются для последующего расчета ЭРОА радона.

## 4.2 Расчет эквивалентной равновесной объемной активности радона

Расчет ЭРОА осуществляется в несколько этапов:

1. Расчет определяемых концентрации продуктов распада радона – изотопов висмута и полония, атомы которых, оседая на мельчайших частицах пыли, образуют радиоактивные аэрозоли.

Расчет определяемых концентрации производится с помощью формул:

1.1 Формула расчета концентрации изотопов висмута ( $\text{Bi}^{214}$ ) ( $\text{RaC}$ )

$$C_{\text{RaC}} = BK_E N_2, [\text{Бк}/\text{м}^3]; \quad (1)$$

где  $N_2$  – счет сцинтилляций  $\alpha$ - частиц,

$B$  – коэффициент из таблицы 9,

$K_E$  – коэффициент поглощения экрана берем из таблицы 8.

1.2 Формула расчета концентрации изотопов полония ( $\text{Po}^{218}$ ) ( $\text{RaA}$ )

$$C_{\text{RaA}} = A (N_1 - K_E N_2), [\text{Бк}/\text{м}^3]; \quad (2)$$

где  $N_1$  – счет сцинтилляций  $\alpha$ - частиц,

$A$  – коэффициент из таблицы 9.

Таблица 9. Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  при стандартных параметрах ИРН РЗА-04 «Омега».

Время отбора проб, секунды.	Время измерения активности фильтров			
	10 секунд		50 секунд	
	A	B	A	B
60	11,48	9,16	2,477	1,835
120	6,397	4,58	1,379	0,916
180	4,722	3,051	1,019	0,611
300	3,438	1,833	0,7416	0,3667

2. Формула расчета величины скрытой энергии,  $E_a$

$$E_a = D C_{\text{RaA}} [\text{МэВ}/\text{м}^3]; \quad (3)$$

где D это соотношение рассчитанных ДПР, каждому соотношению соответствует определённое значение (таблица 10).

Таблица 10. Величины соотношений ДПР и соответствующие им значения D

Соотношение рассчитанных концентрации $C_{RaC}/C_{RaA}$	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1
<b>D</b>	34,6	33,3	31,8	30,2	28,9	24,6	22,7	19,6	17,8	10,5	8,5

3. Формула расчета эквивалентной равновесной объемной активности радона

$$C_{\text{эквRn}} = E_a / 34,6, [\text{Бк}/\text{м}^3]. \quad (4)$$

Полученные значения ЭРОА сравнивают с нормативами, предусмотренными согласно [9]. Принятые нормативы значений ЭРОА представлены в таблице 11.

Таблица 11. Нормативы ЭРОА для зданий [9].

Страна	Здания		
	Эксплуатируемые	Проектируемые	Производственные
Россия	200 Бк/м <sup>3</sup>	100 Бк/м <sup>3</sup>	300 Бк/м <sup>3</sup>

### 4.3 Объекты, в которых проводились исследования

Исследование уровня радона в зданиях проводилось на примере учебного корпуса № 20 ТПУ. Это пятиэтажное здание, которое посещает большое количество студентов в течение учебного дня на протяжении 6 рабочих дней.

Для обследования были выбраны точки с учетом теории поэтажного распределения концентрации радона в атмосферном воздухе. Исследования проводились в подвальном помещении здания, где находится несколько помещений используемых в том числе и для учебных целей, и в учебной аудитории на 5 этаже.

При этом, подвальное помещение является самой низкой из обследуемых точек в здании и недостаточно проветриваемой, т.к. отсутствуют окна. Самая высокая обследуемая точка - учебная аудитория 538, которая находится на 5 этаже была выбрана для того, чтоб проверить зависимость распределения радона от этажности.

Дополнительно при проведении исследований осуществлялся контроль мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД), так как известно, что при повышенном гамма-фоне есть вероятность, что и значения радона, как альфа-излучателя тоже повышены.

В соответствии с этим, предварительно, перед замерами ДПР радона были проведены замеры гамма-фона с помощью прибора радиометра срп-68-01 (рисунок 12).



Рисунок 12. Дозиметр радиометр СРП-68-01

Полученные опытным путем данные, в местах исследования показаны в таблице 12.

Таблица 12. Инструментальные измерения, полученные с использованием РЗА-04 «ОМЕГА» и СРП-68-01

Дата измерения	Место измерения	Показание РЗА-04 «ОМЕГА»		Значения МЭД, мкР/ч
		N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	
31.01.2019	538 ауд.	28	8	10
	Подвальное помещение 022	420	48	40-60
07.02.2019	538 ауд.	28	6	10-20
	Подвальное помещение 022	380	43	40-60
14.02.2019	538 ауд.	24	4	10
	Подвальное помещение 022	402	40	40-60
21.02.2019	538 ауд.	20	5	0-10
	Подвальное помещение 022	315	41	40-60
28.02.2019	538 ауд.	22	5	0-10
	Подвальное помещение 022	360	30	40-60
05.03.2019	538 ауд.	17	4	0-10
	Подвальное помещение 022	234	24	20-40
11.03.2019	538 ауд.	28	7	10
	Подвальное помещение 022	314	41	60-80
18.03.2019	538 ауд.	18	4	10
	Подвальное помещение 022	413	42	40-60
25.03.2019	538 ауд.	28	8	10-20
	Подвальное помещение 022	221	24	40-60

В дальнейшем, был проведен расчет согласно формуле (4). Расчетные данные представлены в таблице 13.

Таблица 13. Эквивалентная равновесная объемная активность радона

Дата	Помещение	$C_{эквRn}$ Бк/м <sup>3</sup>
31.01.2019	538 ауд.	3,5
	Подвальное помещение 022	65,43

Продолжение таблицы 13

07.02.2019	538 ауд.	7,52	Согласно Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009 значение для эксплуатируемых зданий = 200 Бк/м <sup>3</sup>
	Подвальное помещение 022	97,24	
14.02.2019	538 ауд.	6,01	
	Подвальное помещение 022	64,27	
21.02.2019	538 ауд.	4,04	
	Подвальное помещение 022	44,04	
28.02.2019	538 ауд.	5,52	
	Подвальное помещение 022	43,45	
05.03.2019	538 ауд.	3,98	
	Подвальное помещение 022	36,94	
11.03.2019	538 ауд.	5,65	
	Подвальное помещение 022	144,38	
18.03.2019	538 ауд.	4,5	
	Подвальное помещение 022	65,43	
25.03.2019	538 ауд.	3,5	
	Подвальное помещение 022	112,27	

Результаты исследования показывают, что все полученные значения находятся в пределах норматива, установленного в НРБ-99/2009 [9].

Максимальное значение ЭРОА радона за весь период измерений было установлено в подвальном помещении и составило 144,38 Бк/м<sup>3</sup>. И в целом показатели, полученные при измерении радона в подвальном помещении, варьировались в пределах 30- 150 Бк/м<sup>3</sup>. В тоже время значения, установленные в учебной аудитории, были в диапазоне от 3,5 до 7,52 Бк/м<sup>3</sup>.

Представленные значения в таблице 11 позволяют сделать заключение, что значения ЭРОА в подвальном помещении значительно выше нежели значения на 5-ом этаже. Такой разброс в установленных концентрациях объясняется тем, что учебная аудитория 528 является ежедневным местом посещения студентов и там проводится регулярное проветривание. В свою очередь, интенсивность проветривания подвального помещения значительно ниже.

Кроме того, полученные данные хорошо согласуются с теоретическими представлениями по распределению радона в здании в зависимости от высоты от нижнего уровня конструкции здания (например, подвальное помещение).

Наблюдается прямая зависимость между значениями МЭД и показаниями РЗА-04 «ОМЕГА». При повышенных значениях МЭД, наблюдаются повышенные значения активности радона в измеряемых точках.

Все замеры были выполнены в один период, в холодное время года, поэтому результаты проявляют крайне малую вариабельность в пределах одной аудитории (таблица 12), так как в этих условиях эффект открытия окна (проветривания) практически отсутствует.

## Глава 5 Радонозащитные мероприятия, осуществляемые в зданиях

В России разработан свод правил СП 321.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования противорадоновой защиты». Согласно данному документу основной принцип противорадоновой защиты здания заключается в предотвращении (или минимизации) поступлений радона в помещения из основных источников в сочетании с минимальной вентиляцией помещений наружным воздухом [59].

Известно, что концентрация радона крайне неравномерна и зависит от геолого-геофизических характеристик природной среды, таких как концентрация урана и тория в подстилающих породах, так и от конструкции здания, строительных материалов и качества работы вентиляционных систем. Учет этих факторов позволяет существенно снизить облучение людей в жилых и производственных помещениях.

Главными принципами, которые необходимо учитывать при выборе радонозащиты являются:

- главный источник поступления радона (рисунок 13) в помещение и его интенсивность

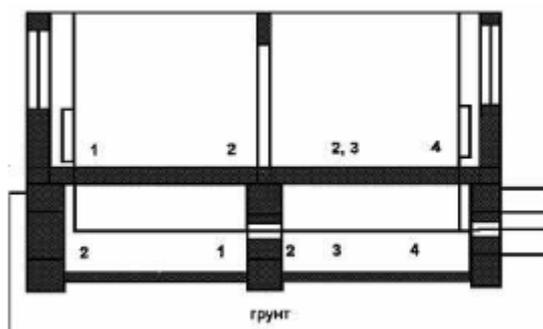


Рисунок 13. Основные пути поступления радона в здание:

1- выделения из материалов ограждающих конструкций, 2- швы и стыки между элементами ограждающих конструкций, 4- проемы для прокладки инженерных коммуникаций в подземной части здания в подвальном перекрытии [60].

- глубина подземных помещений

- конструкция и материал, которые используются в устройстве фундамента и подвальных помещений

- используемая, вентиляционная система.

Если в жилом здании установлено превышение порогового значения эквивалентной объемной равновесной активности радона больше  $200 \text{ Бк/м}^3$ , то возникает необходимость применения радонозащиты, например:

– необходимо выполнить изолирование подвалов жилищ и перекрытий между подвалом и первым этажом от поступления радона из почвы (рисунок 14). В качестве герметика применяется противорадоновый ковер который размещается по внутренней поверхности стен подвала;

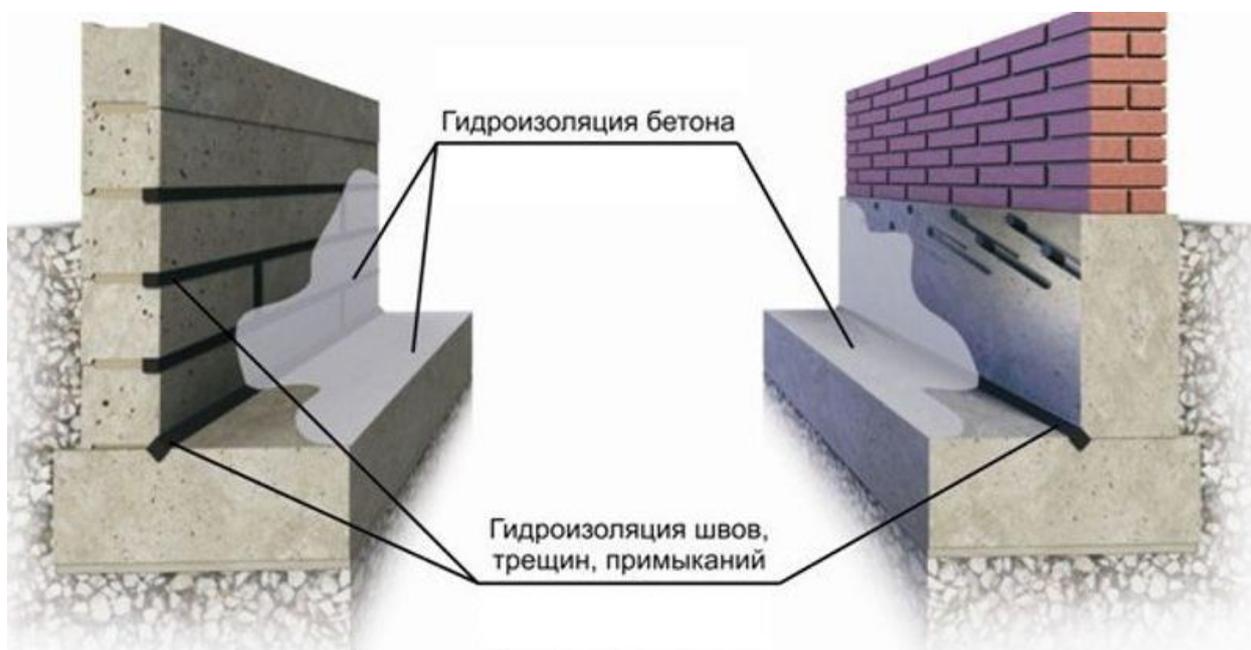


Рисунок 14. Гидроизоляция фундамента, стыков, трещин и швов

– требуется обеспечить максимально возможную проветриваемость в подвальных помещениях зданий;

– свободный газоотвод из почвы вне контуров здания, например, путем устройства обратной засыпки экологически чистыми газопроницаемыми материалами;

– минимизировать применение строительных материалов, которые могут содержать повышенные уровни радиоактивности;

– Загерметизировать дверные и оконные проемы, реализация системы вентиляции отдельно для каждого этажа;

– использование материалов при наружной отделке здания, которые имеют способность газопоглощения;

– выбор противорадоновой краски в качестве внутренней отделки помещений.

До того, как будет проведена изоляция помещения, рекомендовано:

– покрытие линолеумом (без подкладки) пола;

– ежедневное проветривание;

– залатать щели;

– покраска пола в 3 слоя, масляной краской;

– оклеить обоями стены;

– выполнить облицовку помещения пластиком (стен и полов).

В качестве защиты от радоноопасности предлагается [61]: барьер, мембрана, уплотнение швов, депрессия подпольного пространства, покрытие, пропитка, вентиляция.

Противорадоновой барьер (рисунок 15) представляет собой сплошную железобетонную плиту, которая может быть фундаментом дома, полом или перекрытием подвала.

Для того чтобы барьер выполнял защитную функцию, необходимо чтобы он был сплошной и максимально близко установлен к грунтовому основанию. Барьер должен быть: водонепроницаем и устойчив.

Желательно использование барьера в виде пола подвального помещения. Для того чтобы сохранить защитные свойства барьера (фундаментальной плиты), необходимо дополнительно выполнять ее бетонирование [60].



Рисунок 15. Радонозащитный барьер в виде фундаментной плиты [60]

Чтобы не происходило попадание радона в помещение в местах соединения строительных конструкции, необходимо использование радоноизолирующих мембран (рисунок 16).

Мембрана представляет собой слой материала на битумной или полимерной основе. Мембраны изготавливаются из разных материалов в зависимости от места применения. При выборе мембраны важно принципиально учесть ее цельность. С помощью мембраны чаще всего выполняется рулонная гидроизоляция наружных поверхностей.



Рисунок 16. Радонозащитная мембрана в подвальном перекрытии [60]

При наличии незагерметизированных швов и соединений материала наблюдается значительное уменьшение радонозащитного свойства системы.

Поэтому немаловажным фактором при проектировании инженерных сетей является учет движения радона в таких проемах и сокращение их количества.

Неизбежность сдвига элементов герметизируемых соединений и их пересечений с кабелями и трубами под действием температурных деформаций говорит о необходимости доступа к узлам пересечения, с целью контроля и ремонта в процессе эксплуатации. В данных случаях уплотнение производится упругими и нетвердеющими материалами (рисунок 17, 18, 19).

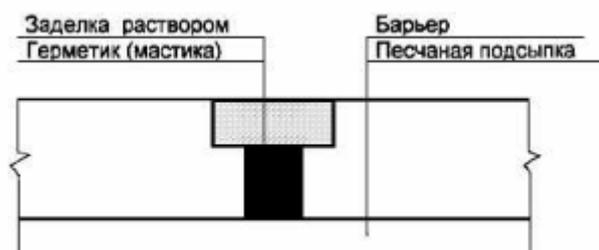


Рисунок 17. Герметизация стыка (технологического шва) между железобетонными плитами радонозащитного барьера [60]

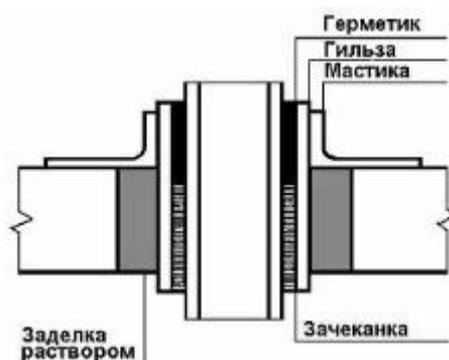


Рисунок 18. Герметизация узла пересечения перекрытия трубой [60]

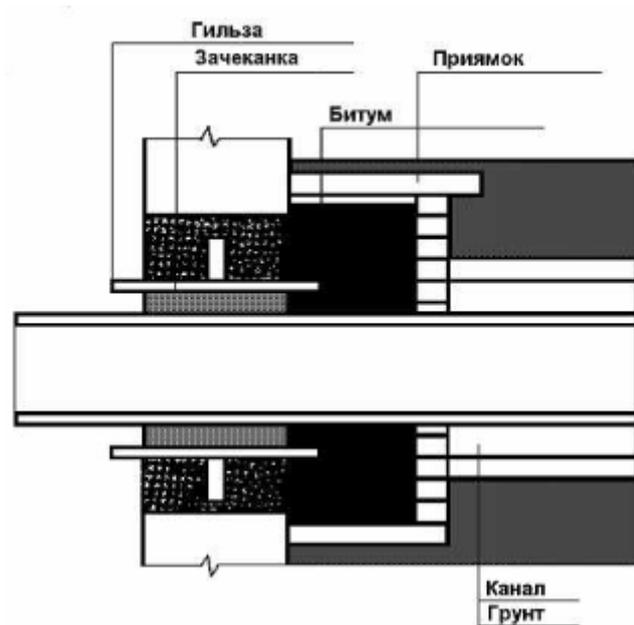


Рисунок 19. Герметизация узла ввода-вывода трубопровода в здание [60]

Эффективная реализация радонозащиты оказывается при создании депрессии с помощью принудительной вытяжной системы.

Главнейшим требованием, предъявляемым к вентиляционной системе является ее герметичность и доступность к месту поступления почвенного газа в окружающую среду.

Регулирование работы вентиляционной системы производится с помощью двух включателей. И наблюдается при помощи датчиков давления и сигнализацией.

Также одним из методов изоляции служат внешние и внутренние покрытия (рисунок 20), которые классифицируются как однослойные и многослойные.



Рисунок 20. Радоноизолирующее покрытие подвального пола [60].

Покрытие представляет собой пропиточный состав на латексной или полимерной основе. Глубина пропитки данной эмульсией зависит от структур материала и технологии нанесения, поэтому некоторые из них могут образовать сплошную пленку и служить покрытием.

Послойное нанесение пропитки позволяет добиться лучшего изолирующего эффекта, в основном данное мероприятие рекомендовано с целью уменьшения пропускной способности радона через такие мелкодисперсные материалы как песок и глина (рисунок 21).

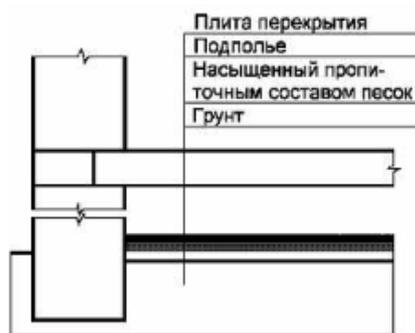


Рисунок 21. Пропиточная противорадоновая изоляция грунтового пола подполья [60].

Вентиляцию рекомендательно использовать лишь в качестве дополнительного решения, поэтому интенсивное ее использование ведет лишь к увеличению затрат энергии.

Отмечено, что активность радона в помещениях на уровне первого этажа в случае устройства столбчатого фундамента в открытом пространстве и отсутствии выбросов радона не превышает его активности в наружном воздухе.

Требуемая высота подполья для необходимого воздухообмена составляет от 0,7 м над уровнем земли. Данное решение не всегда оказывается возможным в силу потери полезного пространства и в значительном увеличении термического сопротивления нижнего перекрытия. С целью обеспечения достаточного естественного сквозного проветривания рекомендована площадь вентиляционных проемов с суммарной площадью от 1 до 1,5% от площади подвала [62].

В процессе эксплуатации принудительной вентиляции недопустимым считается давление ниже, чем в подвале, поскольку возникающее избыточное давление препятствует переходу в них радона, а это негативно сказывается на влажностном режиме ограждающих конструкций. Поэтому следует отметить необходимость оптимальной, сбалансированной системы вентиляции, учитывающей перепад давления между уровнями подвальных и вышестоящих помещений.

Пример реализации радонозащиты в зарубежных странах можно рассмотреть на примере технологий, используемых в США, которые рекомендованы Агентством по охране окружающей среды США.

Снижение содержания радона внутри помещений должно обеспечиваться за счет выбора для строительства участка с низким выделением радона из грунта, применения строительных конструкций, препятствующих проникновению радона из грунтового основания и удалению радона из воздуха помещений.

Методы защиты [19] могут различаться для разных фундаментов дома и требований строительной площадки, но есть пять основных функций, которые должны быть реализованы для предотвращения попадания радона в дом (рисунок 23):

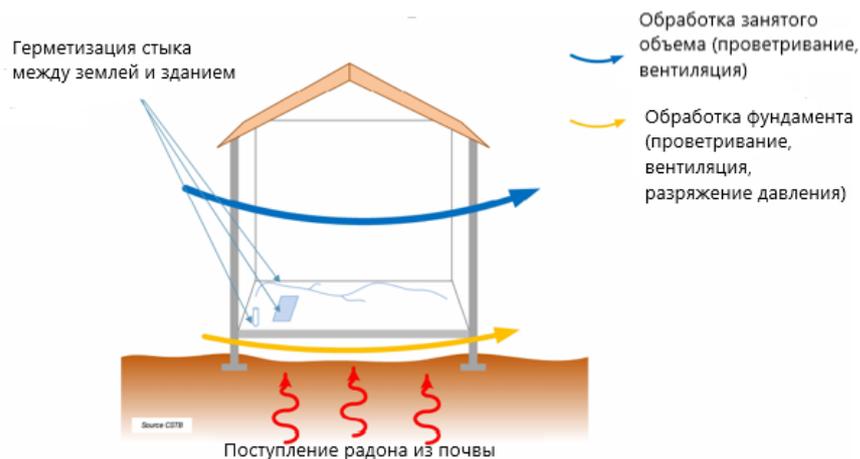


Рисунок 23. Меры по предотвращению попадания радона в здание [47].

– использование гравия или другого альтернативного материала, имеющего схожие свойства, в качестве фундамента. Этот слой гравия позволяет почвенным газам, включая радон, которые естественным образом встречаются в почве, свободно перемещаться под домом. Строители называют это «слоем воздушного потока» или «газопроницаемым слоем», потому что свободный гравий позволяет газам циркулировать,

– следующим слоем поверх гравия использовать сверхпрочную пластиковую пленку для того чтобы радон циркулирующий в толще гравия, не вырывался наружу,

– использование вентиляционной системы, ее необходимо установить по вертикали от слоя гравия, через кондиционированное пространство дома и крышу, чтобы безопасно вентилировать радон и другие почвенные газы снаружи дома, рисунок 24,25.



Рисунок 24. Вентиляционный воздуховод [47].



Рисунок 25. Вентиляционный воздуховод вне пространства дома [47].

– необходимо герметизировать все отверстия, трещины и щели в бетонном полу фундамента (включая трещину по периметру плиты) и стены полиуретановым герметиком, чтобы предотвратить попадание радона и других почвенных газов в дом,

– необходимо установить дополнительную вентиляционную систему на случай, если предпринятые меры не помогли и уровень радона все равно повышен.

При сравнении мер, которые рекомендуются и применяются для снижения уровня радона на территории России и США, можно сделать вывод, что они имеют много общего. Используемые решения основываются на создании мер, которые препятствуют поступлению радона в жилое помещение еще на этапе застройки. Если же уровни радона в помещении все равно высокие, тогда главное внимание уделяется вентилируемости, рекомендуется установить дополнительные системы воздухообмена. Самой главной рекомендацией можно считать, предварительный анализ места застройки, если не будет источника в подстилающей поверхности, не будет и высокого уровня радона в зданиях, которые будут построены в будущем на этой поверхности.

## **Глава 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Выпускная квалификационная работа (ВКР) – это работа научного характера, связанная с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции, она включает в себя:

1) фундаментальные исследования, выполняемые с целью расширения научных знаний, явлений и закономерностей их развития безотносительно к их конкретному практическому применению;

2) поисковые исследования, выполняемые с целью нахождения путей использования выявленных явлений и закономерностей в конкретной области науки и техники для создания принципиально новых изделий, материалов и технологий;

3) прикладные исследования, направленные на решение научных проблем, совершенствование методов с целью получения конкретных результатов, используемых в опытно-конструкторских разработках при создании научно-технической продукции (в том числе технических средств обучения).

Основной целью исследования провести измерения дочерних продуктов распада радона и в следствии математический расчет эквивалентно равновесной объемной активности радона в эксплуатируемом здании, с помощью измеритель радона низкопороговый (ИРН) РЗА-04 «Омега».

## **6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Заинтересованность в результатах исследования могут проявить различные метеорологические и геологические организации, а также оперативные радиологические службы. Исследуя рынок потенциальных потребителей, можно выделить ряд предприятий, которым потенциально интересны результаты исследований

- Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Москва;
- Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Томск.
- ФГУП Аварийно-технический центр Минатома России.

## **6.2 Анализ конкурентных технических решений**

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 14. В качестве конкурирующих аппаратов были выбраны Альфа-радиометр РАА-20П2 (вариант 2) и Радиометр радона и его дочерних продуктов распада «РАМОН-02» (вариант 3).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Расчет конкурентоспособности производился по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot b_i, \quad (5)$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл показателя.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных исследовательских разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	ИСП 1	ИСП 2	ИСП 3
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Достоверность получаемых данных	0,13	4	5	4	0,52	0,65	0,52
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Энергоэкономичность	0,14	5	4	4	0,7	0,56	0,56
Ресурс памяти	0,06	3	5	5	0,18	0,3	0,3
Простота эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Конкурентоспособность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Доступность	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
Предполагаемый срок эксплуатации	0,19	5	3	4	0,95	0,57	0,76
Итого	1	34	34	39	4,47	4	4,06

Как показывает анализ из таблицы 1, выбранный аппарат в исследовании ИРН РЗА-04 «Омега» (вариант 1) является наиболее предпочтительной. Несмотря на некоторую лучшую функциональную мощность и точность получаемых результатов варианта 2 и 3, в целях проведения исследований вариант 1 является более доступным, что являлось приоритетом при выполнении исследования.

## 6.1 SWOT-анализ

**SWOT-анализ** является универсальным инструментом стратегического анализа и планирования, применяемый для оценки явлений и факторов, оказывающих влияние на проект или разработку. Все параметры анализа подразделяются на 4 категории: strengths(сильные стороны), weaknesses(слабые стороны), opportunities (потенциальные возможности) и

threats(потенциальные угрозы).Задача SWOT-анализа – дать структурированное описание ситуации, относительно которой нужно принять какое-либо решение. Выводы, сделанные на его основе, носят описательный характер без рекомендаций и расстановки приоритетов.

В таблице 2 представлена итоговая матрица SWOT-анализа, составленная с помощью выявления соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды (таблицы 15)

Таблица 15. Оценочная карта для сравнения конкурентных исследовательских разработок

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Достоверность получаемых данных</p> <p>С2.Относительно невысокая стоимость</p> <p>С3. Простота эксплуатации</p> <p>С4. Растущий спрос</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Необходимость дополнительно математического расчета</p> <p>Сл2. Питание от электросети</p> <p>Сл3. Отсутствие ресурса памяти</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Проведение множества исследований в этом направлении</p> <p>В2.Возможность публикации с этими данными в крупных научных журналах</p> <p>В3.Применение во многих сферах</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Простота эксплуатации позволяет выполнить большое количество измерений</p> <p>2. Применение во многих сферах создает высокий спрос на исследование</p> <p>3. Достоверность получаемой информации обеспечивает возможность публикации в крупных научных журналах</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Необходимость дополнительного расчёта возможно будет вызывать интерес как методологический расчет для публикации в крупных журналах</p>

## Продолжение таблицы 15

Угрозы: У1. Человеческий фактор (невнимательность при расчетах) У2. Высокая конкуренция. Наличие большого количества аналогов	Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Высокий спрос интегрирует создание большего количества аналог. В следствии аппарат может стать неинтересен.	Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Возникновение ошибки, так как требуется необходимость дополнительного математического расчета, при котором учитывается человеческий фактор
--	--	--

SWOT-анализ показывает, что преимущества использованного при выполнении исследования аппарата преобладает над его недостатками.

### 6.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование представляет собой перечень этапов и работ при проведении научного исследования с распределением исполнителей каждого этапа. Разработанный список задач и производимых работ в рамках научного исследования сведен в виде таблицы 16.

Таблица 16. Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель, инженер

Продолжение таблицы 16

Теоретические исследования	5	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
Отчет о проделанной работе	7	Составление пояснительной записки	Руководитель

## 6.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта. Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ожі}$  определяется по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (6)$$

где  $t_{mini}$  – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (7)$$

где  $ч_i$  – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

## 6.2.2 Разработка графика проведения исследования

В рамках планирования исследовательского проекта строится календарный план-график с помощью диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, иллюстрирующий календарный план проекта, на котором этапы работ представлены в виде протяженных во времени отрезков, соответствующих датам начала и окончания выполнения данных работ [61].

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (8)$$

где  $k_{\text{кал}}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется как:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,41, \quad (9)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{кал}}$  – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – общее количество праздничных дней в году.

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 17.

Таблица 17.Список производимых задач и работ и их исполнители

Название работы	Трудоёмкость работ						$T_{pi}$ , дни		$T_{ki}$ , дни	
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Разработка и утверждение технического задания	7	-	8	-	7,4	-	7,4	-	10	-
Выбор направления исследований	7		10		8,2		4,1		6	
Подбор и изучение материалов по теме	-	12	-	18	-	14,4	-	14,4	-	20
Календарное планирование работ	3		5		3,8		1,9		3	
Выполнение расчётов и анализ полученных данных	-	21	-	25	-	22,6	-	22,6	-	32

Продолжение таблицы 17

Обобщение и оценка результатов	2		4		2,8		1,4		2	
Составление пояснительной записки	-	30	-	40	-	34	-	34	-	48
Итого									21	111

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта (таблица 18) с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 18. Календарный план-график проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Разработка и утверждение технического задания	Руководитель	10	█															
2	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	6	█	█														
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20			█	█	█	█										
4	Календарное планирование работ	Руководитель, инженер	3						█	█									
5	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Инженер	32							█	█	█	█	█	█				
6	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, инженер	2															█	█
7	Составление пояснительной записки	Инженер	48															█	█

█ – Руководитель      █ – Инженер

### 6.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат:

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

#### 6.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат включает в себя стоимость всех материалов, приобретенных при проведении научно-исследовательских работ и осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (10)$$

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

$N_{расхi}$  – 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;

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

Затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение фильтров для прибора, канцелярских товаров, также затраты на рабочий халат. Результаты расчётов по материальным затратам приведены в таблице 19.

Таблица 19. Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Канцелярский набор	–	1	350	350
Печать	–	300 стр.	1,5	450
Лабораторный халат	–	1	3850	3850
Аэрозольные фильтры	АФА-РСП-20	15	5	75
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье $C_M$				4725

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

В данной исследовательской работе к специальному оборудованию, необходимому для проведения научных работ, относится ИРН РЗА-04 «Омега» и ПЭВМ (ноутбук марки Lenovo). Ниже представлена таблица с фактической стоимостью этого оборудования (таблица 20).

Таблица 20. Затраты на специальное оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Ноутбук (Lenovo)	1	30000	30000
2	ИРН РЗА-04 «Омега»	1	10000	10000
4	Microsoft Office	1	3000	3000
<b>Итого</b>				43000

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (11)$$

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

$T$  – срок службы (дней).

Затраты на амортизацию составили:

– для ИРН РЗА-04 «Омега» :  $C_{аморт} = (10000 / 5475) = 1,9$  руб/дн.

– для ПЭВМ :  $C_{аморт} = (30000 / 1460) = 20,55$  руб/дн.

Оборудование использовалось в течение 45 дней для ИРН РЗА-04 «Омега» и 110 дней для ПЭВМ, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{аморт(общ)} = 1,9 \cdot 45 + 20,55 \cdot 110 = 2346 \text{ руб.}$$

### 6.3.2 Основная заработная плата исполнителей

На данном этапе работы необходимо рассчитать основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (12)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (13)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (14)$$

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

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

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

– для инженера: при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-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	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	60	49
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	239	250

Основная заработная плата работника рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

– оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями;

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. В ТПУ коэффициент доплат и надбавок  $k_d$  составляет примерно 0,2 - 0,5. Премияльный коэффициент  $k_{np}$  равен 0,3;

– иные выплаты – районный коэффициент  $k_p$  по городу Томск равен 1,3.

Руководитель данной научно-исследовательской работы имеет оклад, составляющий 23552 руб. Инженер, как сотрудник лаборатории, имеет ежемесячный оклад, равный 12316 руб. Основные результаты расчета заработной платы исполнителей сведены в таблицу 22.

Таблица 22. Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
-------------------	---------------	----------	-------	-------	------------	---------------	----------------	----------------

Руководитель	23552	0,3	0,2	1,3	45926,4	2152,2	12	25826
Инженер	12316	0,3	0,2	1,3	24016,2	999,1	84	83924
Итого:								109750

### 6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование. При этом сумма взносов к

уплате зависит от того, превысил доход установленный лимит или нет.

Ставка 30% будет действовать по 2020 год включительно (ст. 425, 426 НК РФ).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

а) для руководителя:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 25826 = 7747,8 \text{ руб.};$$

б) для инженера:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 83924 = 25177,2 \text{ руб.}$$

### 6.3.4 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + C_{\text{внеб}} + C_{\text{аморт}} + C_{\text{м}}), \quad (16)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, 16%.

Таким образом, накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (109750 + 32925 + 4725 + 43000) = 30464 \text{ руб.}$$

### 6.3.5 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 23.

Таблица 23. Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	4725
2. Затраты на спецоборудование	43000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109 750
4. Отчисления во внебюджетные фонды	32925
5. Накладные расходы	30464
Бюджет затрат исследования	220 864

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

### 6.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cashflow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

#### 6.4.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (17)$$

где: ЧДП<sub>опt</sub> – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$t$  – номер шага расчета ( $t= 0, 1, 2 \dots n$ )

$n$  – горизонт расчета;

$i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если  $NPV > 0$ , то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 24. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, амортизационное отчисления 10 %.

Таблица 24 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	265037	265037	265037	265037
2	Итого приток, руб.	0	265037	265037	265037	265037
3	Инвестиционные издержки, руб.	-220864	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	66259,4	66259,4	66259,4	66259,4
5	Налогооблагаемая прибыль		198777,6	198777,6	198777,6	198777,6
6	Налоги 20 %, руб.	0	39755,52	39755,52	39755,52	39755,52
7	Итого отток, руб.	-220864	106014,9	106014,9	106014,9	106014,9
8	Чистая прибыль, руб.		159022,1	159022,1	159022,1	159022,1
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-220864	181108,5	181108,5	181108,5	181108,5
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.	-220864	150863,4	125689,3	104680,7	87294,29
12	$\Sigma$ ЧДД		468527,6			
12	Итого NPV, руб.		247663,64			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t} \quad (18)$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 247663,64 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

### 6.4.3 Индекс доходности (PI)

**Индекс доходности (PI)** – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 \quad (19)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, млн. руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, млн. руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{468527,6}{220864} = 1,89$$

Так как  $PI > 1$ , то проект является эффективным.

### 6.4.4 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или  $NPV = 0$ . По разности между IRR и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования  $i$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{оп} t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t} \quad (20)$$

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 25.

Таблица 25. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, млн. руб.	-220864	181108	181108	181108	181108	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,39	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,5	0,25	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, млн. руб.						сумма
	0,1	-220864	164627,2	149595,2	136012,1	123696,8	353067,3
	0,2	-220864	150863	125689	104680,4	87294,06	247662,4
	0,3	-220864	139272,1	107215,9	82404,14	63387,8	171415,9
	0,4	-220864	129311,1	92365,08	65923,31	47088,08	113823,6
	0,5	-220864	120799	80411,95	53426,86	35859,38	69633,23
	0,6	-220864	113192,5	70632,12	44190,35	27709,52	34860,5
	0,7	-220864	106491,5	60671,18	36764,92	20284,1	3347,704
	0,8	-220864	100696	55962,37	30969,47	17205,26	-16030,9
	0,9	-220864	95262,81	50166,92	26441,77	13945,32	-35047,2
	1	-220864	90554	45277	22638,5	11228,7	-51165,8

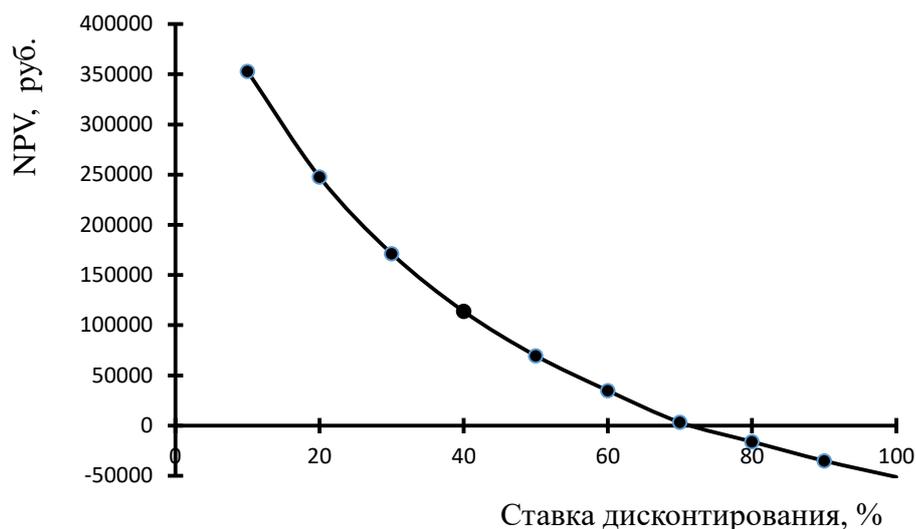


Рисунок 26. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет **0,75**.

Запас экономической прочности проекта:  $75\% - 20\% = 55\%$

#### 6.4.5 Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 26).

Таблица 26 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i=0,20$ ), млн. руб.	-220864	150863,37	125689,29	104680,70	87294,29
2	То же нарастающим итогом, млн. руб.	-220864	-70000,64	55688,65	160369,35	247663,68
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + -70000,64 / 125689,29 = 1,56$ года				

#### 6.4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

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

где:  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{max}$  – 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).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (22)$$

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

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

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблица 27).

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Использование данных в эколого-геохимическом мониторинге	0,30	5	4	3
2. Точность методов	0,30	4	4	2
3. Безопасность использования	0,15	4	3	3
4. Создание электронной базы	0,25	4	4	4
ИТОГО	1	21	18	14

$$I_m^p = 5 \cdot 0,30 + 4 \cdot 0,30 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 = 4,2$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,30 + 4 \cdot 0,30 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 = 3,85$$

$$I_2^A = 3 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 = 3,22$$

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{финр}^p$  и аналога  $I_{финр}^a$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (23)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (24)$$

где:  $\mathcal{E}_{ср}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки: $I_{финр}^{исп.i}$	0,9	1,1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки $I_{pi}$	4,2	3,85	3,22
3	Интегральный показатель эффективности $I_{финр}^p$	4,66	3,5	3,22
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения $\mathcal{E}_{ср}$	1,33 (p/a1)		1,44 (p/a2)

## Выводы к главе 6

В данной главе проведен анализ конкурентных технических решений научного исследования, в котором выяснено, что выбранный в исследовании аппарат является наиболее предпочтительным благодаря своей доступности. Проведенный SWOT-анализ показал, что преимущества выбранного прибора преобладают над его недостатками, а выявленные угрозы являются устранимыми.

Для лучшего планирования проведения работ и реализации труда исполнителей была построена ленточная диаграмма Ганта, которая наглядно иллюстрирует какое время необходимо затратить для осуществления научного исследования. Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер составило 111, а общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 21.

Также была определена смета научного исследования, выявлены основные статьи расходов. Бюджет затрат данной научно-исследовательской работы составил 220 864 руб.

В ходе сравнения интегральных показателей эффективности выяснилось, что разработанный вариант выполнения проекта является наиболее эффективным для решения перечня задач и целей, определенных в рамках магистерской работы. Сравнительная эффективность выбранного пути выше аналогов более чем в полтора раза.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента рассчитан бюджет научного исследования, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 247663,64 руб.; индекс доходности  $PI=1,89$ ; внутренняя ставка доходности  $IRR=75\%$ , срок окупаемости= 1,56 года.

## **Глава 7 Социальная ответственность**

Исследуемый объект в административном отношении располагается в г. Томск, Томской области. По адресу проспект Ленина, дом 2 строение 5. Это научно-исследовательский корпус №20 Томского политехнического университета.

Для исследования были выбраны 2 точки в учебном корпусе № 20. Учебная аудитория 538 и подвальное помещение, для проведения анализа содержания концентрации радона в зависимости от этажности здания.

В результате радиационно-гигиенического обследования оценивается радоновая опасность в здании. Так как современный человек до 80% времени проводит в помещениях - дома или на работе, где и получает основную дозу радиации: хотя здания защищают от излучений извне, в стройматериалах, из которых они построены, содержится природная радиоактивность. Существенный вклад в облучение человека вносит радон и продукты его распада. Таким образом актуальность данной работы обуславливается необходимостью регулярного исследования концентрации радона в зданиях, где находятся люди, что позволит контролировать уровень воздействия радона на население.

По результатам выполненной работы, значения концентрации радона не превышают допустимого уровня, следовательно, исследуемый объект соответствует требованиям по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения СанПиН 2.6.1.2800-10 [62].

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

Охрана труда и техника безопасности в России это – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-

технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия, образующие механизм реализации конституционного права граждан на труд (ст. 37 Конституции РФ) в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены. (Это право закреплено также в ст. 7 международного пакта об экономических, социальных и культурных правах).

37 статья Конституции РФ: обеспечивает свободу труда, и дает право на труд, в тех условиях, которые отвечают специальным требованиям гигиены и безопасности. Пятый пункт выше указанной статьи гласит: «каждый имеет право на отдых». В конечном итоге, своим первоисточником, охраны труда имеет Конституцию РФ.

Федеральный орган исполнительной власти, осуществляет специализированные функции, по надзору и контролю в сфере труда, этот орган называется: «Федеральная служба по труду и занятости Министерства здравоохранения и социального развития Правительства РФ».

Главные задачи трудового законодательства: создание необходимых правовых условий для достижения согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений.

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда, согласно ст. 212 [63], возлагаются на работодателя. Последний, руководствуясь указанной статьей, обязан обеспечить безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов. Кроме того, работодатель обязан обеспечить, соответствующие требованиям охраны труда, условия труда на каждом рабочем месте; режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством, и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права. Работодатель должен извещать работников, об условиях охраны труда на рабочих местах, о

возможном риске для здоровья, о средствах индивидуальной защиты и компенсациях.

В организации режим труда и отдыха носит следующий характер, работнику устанавливается пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями:

1. Продолжительность ежедневной работы 8 часов;
2. Время начала и окончания работы с 8:00 до 17:00;
3. Время перерывов в работе с 12:00 до 13:00.

Также, устанавливается отпуск в количестве 28 дней в течение года, и другие выходные (праздничные) дни, предусмотренные трудовым законодательством РФ.

## 7.2 Производственная безопасность

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов [64].

Работа выполнялась в 2 этапа, полевой и камеральный. На полевом этапе происходил отбор проб атмосферного воздуха с целью получения значений дочерних продуктов распада радона, камеральный этап включал: проведение расчета и написание отчета с использованием ПК. при работе, которая выполнялась в рамках этой диссертационной работы, возможно воздействие таких опасных и вредных факторов работ, которые представлены в таблице 29.

Таблица 29. Вредные и опасные факторы при выполнении работы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Полевой	Камеральный	

Продолжение таблицы 29

1. Превышение уровня шума и вибрации	+		ГОСТ 12.1.003-2014
2. Тяжесть и напряженность физического Труда	+		№ 426-ФЗ Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
3. Отклонение показателей микроклимата в помещении		+	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением №) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений Р.2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
5. Превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений		+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

Все работы выполняются в соответствии с правилами, а также инструкциями, постановлениями и план – графиками мероприятий.

Превышение уровней шума Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах.

## 7.2.1 Превышение уровней шума

Шум может создаваться работающим оборудованием (установками воздуха (воздуходувка), преобразователями напряжения). В результате исследований установлено, что шум ухудшает условия труда, оказывает вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи, вызывает необратимые изменения в органах слуха человека, повышает утомляемость. Предельно допустимые значения, характеризующие шум, регламентируются в ГОСТ 12.1.003-2014 [65].

Таблица 30. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003-2014) [65]

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука дБа
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Основные мероприятия по борьбе с шумом следующие: виброизоляция оборудования с использованием пружинных, резиновых и полимерных материалов, экранирование шума преградами, использование средств индивидуальной защиты против шума (ушные вкладыши, наушники и шлемофоны) согласно ГОСТ 12.1.003-14.

## 7.2.2 Тяжесть и напряженность физического труда

Производственный травматизм тесно связан с физической работоспособностью человека, определяемой силой мышц и мышечной выносливостью. При анализе мышечной деятельности различают два вида работы: статическую и динамическую.

Динамическая работа связана с перемещением груза вверх и вниз и сопровождается сокращением отдельных мышц. При статической работе

развивается напряжение мышц без изменения их длины. Однако при таком напряжении мышц приводит к быстрому утомлению и снижению мышечной выносливости. Статическая работа при неправильной позе может вызвать искривление позвоночника. Динамическую и статическую нагрузку характеризует такой показатель физического труда, как тяжесть. По тяжести труда различают несколько категорий, характеристики которых приведены в [66]. Работы на полевом этапе относятся ко 2 классу (допустимые условия труда, т.е. при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).), согласно [67].

### **7.2.3 Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Одним из необходимых условий нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях, оказывающих существенное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность. Микроклимат представляет собой комплекс физических параметров воздуха, оказывающих влияние на тепловое состояние организма. К ним относят температуру, влажность, скорость движения воздуха, инфракрасное излучение. Микроклиматические параметры оказывают значительное влияние на функциональную деятельность человека – его самочувствие и здоровье. Длительное воздействие человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Комфортный микроклимат в помещении создают при помощи отопления и вентиляции. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

для работ разной категории тяжести указаны в ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96 [68, 69]. Отопление и вентиляция помещений проектируются в соответствии с требованиями [66].

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать  $35 \text{ Вт/м}^2$  при облучении 50% поверхности человека и более согласно [69].

В рабочей зоне производственного помещения должны быть установлены оптимальные и допустимые микроклиматические условия, соответствующие [69]. Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры естественной вентиляцией.

В камеральных помещениях необходимо предусматривать систему отопления. Она должна обеспечить достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещениях в холодный период года, а также безопасность в отношении пожара и взрыва. При этом колебания температуры в течение суток не должны превышать  $2\text{-}3^\circ\text{C}$ . В камеральном помещении необходимо обеспечить приток свежего воздуха, количество которого определяется технико-экономическим расчетом и выбором схемы системы вентиляции. Минимальный расход воздуха определяется из расчета  $50 - 60 \text{ м}^3 / \text{ч}$  на одного человека, но не менее двукратного воздухообмена в час. При небольшой загрязненности наружного воздуха кондиционирование помещений осуществляется с переменными расходами наружного воздуха и циркуляционного.

Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочем помещении представлены в таблице 31.

Таблица 31. Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений [69]

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, ф%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t°опт	Диапазон выше оптимальных величин t°опт			Если t° < t°опт	Если t° > t°опт
Холодный	IIa	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	IIб	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	IIa	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4
	IIб	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

### 7.2.4 Недостаточная освещенность

К современному производственному освещению предъявляются требования как гигиенического, так и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на работников, способствует повышению производительности труда. Освещение рабочих мест внутри помещения характеризуется освещенностью и яркостью. По источнику излучения светового потока различают естественное, искусственное и совместное освещение.

Рабочее место инженера при камеральных и лабораторных работах должно освещаться естественным и искусственным освещением.

При работе на ПК, как правило, применяют одностороннее боковое естественное освещение. Причем светопроемы с целью уменьшения солнечной инсоляции устраивают с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией. Если экран дисплея обращен к оконному проему, необходимы специальные экранирующие устройства, снабженные светорассеивающими шторами, жалюзи или солнцезащитной пленкой.

В тех случаях, когда одного естественного освещения недостаточно, устраивают совмещенное освещение. При этом дополнительное

искусственное освещение применяют не только в темное, но и в светлое время суток.

Искусственное освещение обеспечивается электрическими источниками света. Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем при недостаточном естественном освещении. Искусственное освещение по назначению разделяют на общее, местное и комбинированное. По пространственному расположению светильников в помещении различают равномерное и локализованное освещение, по функциональному назначению – рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Для искусственного освещения помещений следует использовать светильники с люминесцентными лампами общего освещения диффузные ОД-2-80. Светильник имеет следующие технические характеристики: 2 лампы по 80 Вт; длина лампы 1531 мм, ширина 266 мм, высота 198 мм, КПД = 75 %, светораспределение прямое, согласно [70].

Согласно действующим нормативным документам по искусственному освещению регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности. При выполнении работ высокой зрительной точности величина коэффициента естественной освещенности должна быть больше или равна 1,5%. Нормирование освещенности производится в соответствии с межотраслевыми нормами и правилами, которые устанавливают минимальный (нормативный) показатель освещенности – это СанПиН 2.2.4.548-96 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Нормы освещенности зависят от принятой системы освещения. Так, при комбинированном искусственном освещении, как более экономичном, нормы выше, чем при общем. При этом освещенность, создаваемая светильниками общего освещения, должна составлять 10% от нормируемой, но не менее 300 -500 лк, а комбинированная – 750 лк.

Кроме количественных, нормируются и качественные показатели освещенности. Так, для ограничения неблагоприятного действия

пульсирующих световых потоков газоразрядных ламп установлены предельные значения коэффициентов пульсации освещенности рабочих мест в пределах 10-20% в зависимости от разряда зрительной работы. Рекомендуемая освещенность для работы с экраном дисплея составляет 200 лк, а при работе с экраном в сочетании с работой над документами - 400 лк [71].

### **7.2.5 Превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений**

Персональные ПК являются источниками широкополосных электромагнитных излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового, ближнего инфракрасного, радиочастотного диапазона, сверх- и инфранизкочастотного, электростатических полей. Электромагнитные излучения, воздействуя на организм человека в дозах, превышающих допустимые, могут явиться причиной многих серьезных заболеваний.

В настоящее время разработаны документы, регламентирующие правила пользования дисплеями. Среди наиболее безопасных выделяются мониторы с маркировкой Low Radiation, компьютеры с жидкокристаллическим экраном и мониторы с установленной защитой по методу замкнутого круга.

Уровни допустимого облучения определены в [71]. Нормативными параметрами в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц являются напряженности  $E$  и  $H$  электромагнитного поля. В диапазоне низких частот интенсивность излучения не должна превышать 10 В/м по электрической составляющей, а по стандартам MPR II не должна превышать 2.5 В/м по электрической и 0.5 А/м по магнитной составляющей напряженности поля.

К основным методам защиты от электромагнитных излучений относятся: рациональное размещение излучающих и облучаемых объектов; ограничение времени нахождения работающих в электромагнитном поле (не

более двух часов в день); защита расстоянием (не менее 600-700 мм от экрана дисплея).

Организация безопасной работы на ПК и регламентирована СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

### **7.3 Экологическая безопасность**

При выполнении замеров проходит отбор аэрозолей дочерних продуктов распада на аэрозольные фильтры типа (АФА РСР-20). Что в последствии по окончании срока годности необходимо будет утилизировать.

В соответствии с этим вредное воздействие на окружающую среду проявляется в образовании отходов.

Отходы производства и потребления – вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления".

Отходы производства, а также места их складирования и захоронения представляют собой токсикологическую и эпидемиологическую опасность. Загрязнённые производственные отходы проникают в почву, атмосферный воздух, подземные и поверхностные воды, растительность [72]. Для того что не создавать дополнительного воздействия на окружающую среду, очень важен момент утилизации образовавшегося отхода.

В России вопрос отходов регулируется - Федеральным законом от 24.06.1998 № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления" [73].

Согласно тому, что изделие не содержит драгоценных металлов, токсичных или радиоактивных веществ и материалов то после окончания срока службы подлежит утилизации в обычном порядке.

## 7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой жертвы, ущерб здоровью или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Под источником ЧС понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, широко распространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего произошло или может возникнуть ЧС [74].

Пожар – неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб, вызывающее несчастные случаи.

Основными причинами пожаров являются:

1. Причины электрического характера (короткие замыкания, перегрев проводов);
3. Удар молнии;
4. Разряд зарядов статического электричества [75].

Для устранения причин пожара электрического характера необходимо: регулярно контролировать сопротивление изоляции электрической сети, принять меры от механических повреждений электрической проводки. Во всех электрических цепях устанавливается отключающая аппаратура (предохранители, магнитные пускатели, автоматы). Сечение проводов электрической сети должно соответствовать установленной мощности, согласно ГОСТ 12.1.004-91 [76].

Пожарный щит необходим для неотложных мер по тушению возможного возгорания до приезда пожарной бригады.

Инструменты должны находиться в исправном состоянии и обеспечивать в случае необходимости возможность либо полной ликвидации огня. В качестве первичных средств пожаротушения наибольшее 99 распространение получили различные огнетушители: газовые углекислотные ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, порошковые ОП-10 и специальные огнетушители типа ОУБ.

Успех ликвидации пожара на производстве зависит, прежде всего, от быстроты оповещения и его начале. Поэтому все производственные помещения оборудуют пожарной сигнализацией. Она может быть автоматическая и электрическая.

Ответственность за соблюдение пожарной безопасности в организации, за своевременное выполнение противопожарных мероприятий и исправное содержание средств пожаротушения несет начальник экспедиции, и его заместитель по хозяйственной части.

Все инженерно-технические работники и рабочие, вновь принимаемые на работу, проходят специальную противопожарную подготовку, которая состоит из первичного и вторичного противопожарных инструктажей. По окончании инструктажей проводится проверка знаний и навыков. Результаты проверки оформляются записью в «Журнал регистрации обучения видов инструктажа по технике безопасности» ГОСТ 12.1.004-91 [76].

Ответственные за пожарную безопасность обязаны: не допускать к работе лиц, не прошедших инструктаж по соблюдению требований пожарной безопасности; обучать подчиненный персонал правилам пожарной безопасности и разъяснять порядок действий в случае возгорания или пожара; осуществлять постоянный контроль за соблюдением всеми рабочими противопожарного режима, а также своевременным выполнением противопожарных мероприятий; обеспечить исправное содержание и постоянную готовность к действию средств пожаротушения; при возникновении пожара применять меры по его ликвидации.

За нарушение правил рабочие несут ответственность, относящуюся к выполняемой ими работе или специальных инструкций в порядке, установленном правилами внутреннего трудового распорядка.

### **Выводы к главе 7**

В данной главе были рассмотрены правовые вопросы обеспечения безопасности [77]. Какие функции несет работодатель и что полагается работнику.

Был выполнен анализ возможных опасных и вредных факторов в процессе выполнения исследования для магистерской диссертации. Были рассмотрены отдельно каждый из возможных факторов воздействия, указаны нормативно-правовые документы, согласно которым они регулируются.

Отдельно было раскрыт вопрос безопасности во время чрезвычайного происшествия, для выполняемого типа работы возможными происшествиями были приняты пожары.

Также было рассмотрено негативное влияние на окружающую среду. При выполнении замеров и работы в целом, прямого негативного воздействия на какую-либо из сред, нет. Но по истечению срока эксплуатации используемого аэрозольного фильтра, необходима его утилизации, таким образом было рассмотрено влияние на окружающую среду в последствие образования отходов.

Выполнение работы проводилось согласно правилам техники безопасности, нарушения охраны труда и безопасности не было.

## **Заключение**

В ходе исследования были выполнены следующие задачи:

1. Изучен зарубежный и российский опыт по исследованию накопления радона в помещениях
2. Выполнена оценка современного состояния исследований по радоновой проблеме в г. Томске.
3. Изучены физические и методические основы аналитических методов исследования уровня радона в воздухе помещений
4. Проведены экспериментальные работы по оценке уровня радона в учебном корпусе № 20 ТПУ с использованием измерителя радона РЗА-04 «Омега»
5. Изучены современные радонозащитные мероприятия, осуществляемые в зданиях

Все полученные результаты находятся в пределах нормативных показателей, установленных для эксплуатируемых зданий в НРБ-99/2009. При этом было установлено, что значения, полученные при выполнении замеров в подвальном помещении значительно выше, чем в учебном помещении на 5 этаже. Таким образом, в результате исследования была подтверждена зависимость эквивалентной равновесной объемной активности радона в эксплуатируемом здании от этажности.

Помимо исследовательской работы было проведено сравнение экономических затрат, связанных с измерением эквивалентной равновесной объемной активности радона, с существующими в мире аналогами прибора. В рамках данного анализа на основании расчета затрат данного проекта была произведена оценка сравнительной эффективности проекта с аналогами.

В социальной части были рассмотрены правовые вопросы обеспечения безопасности.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при выполнении последующих работ по оценке радиационной безопасности зданий, в которых временно находятся или постоянно проживают люди.

## Список использованной литературы

1. Бекман И.Н. Радон: враг, врач и помощник: курс лекций. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://profbeckman.narod.ru/rad.files/Rad2SS.pdf> (дата обращения: 22.02.2020).
2. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. - М.: Недра, 1989. 404 с.
3. Тихонов М.Н. Радоновая радиация: источники, дозы и нерешенные вопросы // Экология пром. пр-ва. - 2008. - Вып.1. - С.35-51.
4. Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии // Сорос. образоват. журн. - 2000. - Т.6, N 3. - С.73-80.
5. Уткин, В.И. Радиоактивные беды Урала / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеева. – Екатеринбург, УрО РАН, 2000. – 236 с.
6. Левин М.Н., Негробов О.П., Гитлин В.Р., Селиванова О.В., Иванова О.А.. Радон. - М.: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. 41 с.
7. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Алтай. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.04.rospotrebнадzor.ru/index.php/san-nadzor/2015-10-01-05-48-10/9802-07102018.html>
8. Fournier F. Groetz J.E., Jacob F., Lettner H., Chambaudet A., Crolet J.M.. Study of Radon-222 exhalation of phosphogypsum blocks used as building materials. Comparison with modeling// Radioactivity in the Environment- Volume 7- 2005 - Pages 582-589.
9. СанПиН 2.6.1.2523-09. "Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009". М.; Центр санитар.-эпидемиолог. нормирования, гигиен. сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. 114 с.

10. Abdel-Ghany HA Does natural gas increase the indoor radon levels / HA Abdel-Ghany, DH Shabaan // Ядерная физика и энергетика. - 2015. - Т. 16, № 3. - С. 310-315.
11. Отчет об итогах реализации Концепции открытости федеральных органов исполнительной власти в Министерстве энергетики Российской Федерации в 2018 году. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/14227>
12. Milner J., Shrubsole C., Das P, Jones B, Ridley I, Chalabi Z, et al. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: Modelling study //British Medical Journal, 348 (2014), p. f7493
13. Краснянский М. Е., Наша опасная квартира // Безопасность жизнедеятельности: Научно-практический и учебно-методический журнал. – 10/2006. –N10. [Электронный ресурс]. URL:[http://mikrasna.narod.ru/russian/dangerous\\_\\_5.htm](http://mikrasna.narod.ru/russian/dangerous__5.htm)
14. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии: учебное пособие. – Томск: STT, 2009. – 430 С.
15. РАДОН И РАК. ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ ВОЗ №291 [Электронный ресурс]. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
16. Zeeb, Hajo, Shannoun, Ferid & World Health Organization. (2009). WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization. [Электронный ресурс]. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44149>
17. Krewski, D., Lubin J. H., Zielinski J. M., Alavanja M., Catalan V. S., Field R. W., Klotz J. B., Letourneau E. G., Lynch C. F., Lyon J. L., Sandler D. P., Schoenberg J. B... Steck D. J, Stolwijk J. A. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer.// J Toxicol Environ Health A 69(7) 2006: 533-597.

18. Zhang Z.-L., Sun J., Dong J.-Y., Tian H.-L., Xue L., Qin L.-Q., Tong J., Residential Radon and Lung Cancer Risk: An Updated Meta-analysis of Case-control Studies Asian Pac. J. Cancer Prev., Health A, 13 (2012), pp. 2459-2465.
19. United States Environmental Protection Agency [Электронный ресурс]: <https://www.epa.gov/radon>
20. Тирмарш М., Харрисон Дж. Д., Лурье Д., Пак Ф., Бланшардон Е., Марш Дж.В. P541 Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону/ под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина // Перевод публикации 115 МКРЗ. Москва: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013. – 92 с.
21. Петренёва И.В., Пузырников А.А. Опасность воздействия высоких концентраций радона на организм человека. Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2015; 3(113): 810.
22. Ненахова Е.В., Черняго С.А. Взаимосвязь между содержанием радона в окружающей среде и заболеваемостью населения// Бюллетень ВСНЦ со рамн. 2006. 52 с.
23. Pampuri L., Caputo P., Valsangiacomo C. Effects of buildings' refurbishment on indoor air quality. Results of a wide survey on radon concentrations before and after energy retrofit interventions // Sustainable Cities and Society - Volume 42, October 2018, Pages 100-106.
24. Nastro V., Carnì D.L, Vitale A., Lamonaca F, Vasile M. Passive and active methods for Radon pollution measurements in historical heritage buildings //Measurement Volume 114, January 2018, Pages 526-533.
25. António Curado, João P.Silva, Sérgio I.Lopes. Radon risk analysis in a set of public buildings in Minho region, Portugal: from short-term monitoring to radon risk assessment//Procedia Structural Integrity- Volume 22, 2019, Pages 386-392.
26. Seraphim Dempsey, Sean Lyons, Anne Nolan. High Radon Areas and lung cancer prevalence: Evidence from Ireland//Journal of Environmental Radioactivity Volume 182, February 2018, Pages 12-19

27. Голованев, С.М. Радон и канцерогенный риск в г. Москве / С.М. Голованев // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 16–22.
28. Федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева»). - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.niirg.ru/>
29. Кононенко Д.В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном// Радиационная гигиена. — 2013. — Т. 6, № 1. — С. 31– 37.
30. Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий Методические указания МУ 2.6.1.038-2015 Москва, 2016
31. Коваленко В. В., Воеводин В. А., Кургуз С. А. Уникальная радоновая аномалия в с. Атаманово Красноярского края// Международная научно-практическая конференция «Радиоэкология XXI века», сборник материалов. Сибирский федеральный ун-т. Красноярск, 2011. С. 128-135.
32. Проценко В. В., Нефедов В. С., Стасов В. В., Дергачева Е. В., Бураева Е. А. Результаты мониторинга радона в воздухе жилых зданий некоторых территорий юга России // Успехи современного естествознания. 2016. № 12 (часть 2). С. 356-360.
33. Апкин Р.Н. Исследование радона в воздухе жилых помещений с целью обеспечения безопасности населения// Научный центр безопасности жизнедеятельности (Казань) 2018. С. 86-92.
34. Салдан И.П., Баландович Б.А., Поцелуев Н.Ю., Гигиеническая оценка риска здоровья населения модельных территорий Алтайского края от комплекса природных радионуклидов// Вопросы управления и социальной гигиены Июль №7 (244). С 7-9.
35. Салдан И.П., Баландович Б.А., Поцелуев Н.Ю., Флат М.Х. Гигиеническая оценка радиационного риска эманаций радона на территории Алтайского края // Гигиена и санитария. 2014. С 44-47.

36. Орлова М. П. Некоторые известковые и радиоактивные источники окрестностей Томска // Известия Томского государственного университета. – Томск, 1925. – Т. 76. – С. 353–365.

37. Семенова Н.М и др. Исследование и охрана радоновых источников в окрестностях г. Томска // 38. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 7. 22–34.

38. V. S. Iakovleva, V. D. Karataev. Radon levels in Tomsk dwellings and correlation with factors of impact 2001 year // Radiation Measurements Volume 34, Issues 1–6, June 2001, Pages 501-504.

39. V. P. Borisov, V. S. Iakovleva. Comparative analysis of radon sources' contribution into total radon indoor levels for Altai and Tomsk regions of Russian Federation // Radiation Measurements Volume 40, Issues 2–6, November 2005, Pages 682-658.

40. Мананков А. В., Сафонова Е. В. Естественная радиоактивность территории, строительных материалов и зданий г. Томска // Урбанизация и социум. 2007. № 4. С. 25—28.

41. Шилова К. О., Рыжакова Н. К., Ключникова Ю. О., Иванов М. И., Матюшкина Ю. А. Анализ методов и результатов измерения выхода изотопа Rn-222 на участке застройки г. Томска // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т. 58. – № 2/2. – С. 172-176.

42. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2018 году» / глав. ред. Ю.В. Лунева, редкол.: Ю.В. Лунева, Ю.С. Скокшина. Составитель – Ю.С.Скокшина. Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Ижевск: ООО «Принт», 2019. – 144 с.

43. Neznal M., Matoln M., Just G., Turek K., Short-term Temporal Variations of Soil Gas Radon Concentration and Comparison of Measurement Techniques. Rad. Prot. Dosim. 108, 55-63 (2004).

44. Демин В. Ф. Жуковский М.В. Киселев С.М. 46. Методика оценки риска от воздействия на здоровье человека радона и дочерних продуктов его распада// Гигиена и санитария выпуск 5. – 2014.– С. 64-69.
45. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А., Оценка и сравнительный анализ рисков для здоровья населения (на примере г. Владимир). – Владимир: ВООО ВОИ ПУ «Рост», 2010. – 80 с.
46. Калиев Б. Т. Роль радона в суммарном облучении населения// Вестник КРСУ. 2017. Том 17. № 10- С.134-136.
47. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru>
48. Gustav Akerblom .Radon Legislation and National Guidelines// Swedish Radiation Protection Institute. Jull 1999. 63 pages.
49. Федеральный закон от 9 января 1996 г. N 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения"
50. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (оспорб-99/2010)
51. Постановление Правительства РФ от 6 июля 1994 г. N 809 "О федеральной целевой программе снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994 - 1996 годы"
52. Маренный А.М., Киселёв С.М. Национальные радоновые программы: Опыт реализации и задачи на перспективу // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 97-108.
53. Методические указания/ МУ 2.6.1.2838-11 Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности

54. Тихонов М.Н. Газ - убийца. Радон: источники, дозы и нерешенные вопросы // Атомная стратегия XXI. - 2006. - N 23(июль). - С.14-18. - Библиогр.: 24 назв.

55. Киселев С.М, Жуковский М.В, Стамат И.П, Ярмошенко И.В. Радон: от фундаментальных исследований к практике регулирования./ Москва: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2019.-432 с.

56. Методические указания/ МУ 2.6.1.037-2015 Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности

57. СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.

58. Кириллов В.Ф., Архангельский В.И., Коренков И.П. Руководство к практическим занятиям по радиационной гигиене. –М.:ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ.-2001.-224 с.

59. СП 321.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования противорадоновой защиты.

60. ПОСОБИЕ к МГСН 2.02-97. Проектирование противорадоновой защиты жилых и общественных зданий.

61. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р, Видяев И.Г, Серикова Г.Н., Шаповалова Н.В. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет.//Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

62. СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения

63. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 (с изменениями на 24 апреля 2020 года) N 127-ФЗ

64. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
65. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание)
66. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
67. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ
68. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)
69. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
70. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
71. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
72. Сердюкова А. Ф., Барабанщиков Д. А. Загрязнение окружающей среды отходами производств // Молодой ученый. — 2018. — №25. — С. 28-31. — URL <https://moluch.ru/archive/211/51589/> (дата обращения: 21.05.2020).
73. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 07.04.2020) "Об отходах производства и потребления"
74. Крепша Н.В., Свиридов Ю.Ф. Безопасность жизнедеятельности. Учебно-методическое пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2003. – 144 с.
75. Агошков А.И., Трегубенко А.Ю., Вершкова Т.И. Медикобиологические основы безопасности жизнедеятельности: Учебное пособие, ДВФУ, 2015 г. – 158 с

76. ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования"

77. Пашков Е.Н., Сечин А.И., Мезенцева И.Л.. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ// Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 24 с.

# Приложение А

Раздел 1, Раздел 2.1

Основные сведения о радоне и его опасности

Обзор ранее проведенных исследований по изучению радона в зданиях

Basic information about radon and its hazards

Overview of previous research on radon in buildings

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ГМ81	Матаева Диана Шагизатовна		

Консультант школы отделения (НОЦ) – геологии:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОГ ИШПР	Барановская Наталья Владимировна	д.т.н., профессор		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Болсуновская Людмила Михайловна	к.ф.н., доцент		

## Chapter 1. Basic information about radon and its hazards

The earth's crust from the very beginning of its formation contains natural radioactive elements (NRE) that create a natural radiation background. In rocks, soil, atmosphere, waters, plants, and tissues of living organisms, there are radioactive isotopes of potassium-40, rubidium-87, and members of three radioactive families originating from uranium-238, uranium-235, and thorium-232.

The listed parent nuclides were located in the earth's strata from the first days – about 4.5 billion years. They have been preserved only because the half-lives of the founders of the radioactive families are very long, as shown in table 1. [1].

Table 1. Characteristics of radioactive isotopes originally presented on Earth [1].

<u>Radionuclide</u>	Weight content in the earth's crust	<u>Half-life, years</u>
Uranium-238	$3 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^9$
Thorium-232	$8 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{10}$
Potassium-40	$3 \cdot 10^{-16}$	$1,3 \cdot 10^9$
Vanadium-50	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14}$
Rubidium-87	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{10}$
Indium-115	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}$
Lanthanum-138	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{11}$
Samarium-147	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{11}$
Lutetium-176	$3 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{10}$

The members of the radioactive families are hard linked. Each link of the radioactive series is formed at a rate determined by the half-life of the previous nuclide and decays following its half-life. Thus, after some time in the chains of decay, an equilibrium is established, that is, as many child elements decay, so many are born in accordance with the half-lives of the parent nuclides. After a long chain of transformations, finally stable isotopes of lead are formed (figure 1)

№	elem ent	isotopes					
92	U	$^{238}\text{U}$ 4.47*10 <sup>9</sup> years		$^{234}\text{U}$ 2.45*10 <sup>5</sup> years			
91	Pa		$^{234}\text{Pa}$ 1.17				
90	Th	$^{234}\text{Th}$ 24.1 days	$^{234\text{m}}\text{Pa}$ и.л.(0.3%) 6.75	$^{230}\text{Th}$ 7.7*10 <sup>4</sup> years			
89	Ac						
88	Ra			$^{226}\text{Ra}$ 1600 years			
87	Fr						
86	Rn			$^{222}\text{Rn}$ 3.825 days	$^{220}\text{Rn}$ 0.02 sec		
85	At			$^{218}\text{At}$			
84	Po			$^{218}\text{Po}$ 3.05 min	$^{214}\text{Po}$ 1.6*10 <sup>-4</sup> sec	$^{210}\text{Po}$ 138.38 days	
83	Bi			$^{214}\text{Bi}$ 19.8 min	$^{210}\text{Bi}$ 5.01 3.0*10 <sup>5</sup> year		
82	Pb			$^{214}\text{Pb}$ 26.8 min	$^{210}\text{Pb}$ 22.3 year	$^{206}\text{Pb}$	
81	Tl			$^{210}\text{Tl}$ 1.32 min	$^{206}\text{Tl}$ 4.19 min		

Figure 1. Decay schemes of the uranium family of natural radionuclides [1].

The only gaseous product that is born during the decay of three families of natural radioactive elements (NRE) is radon. The greatest contribution to the gas component of the NRE is made by the radioactive families of uranium-238 and thorium-232, during the decay of which the radioactive radon-222 and radon-220 are formed (the latter is often called thoron after the original parent nuclide).

Radon is an inert gas without color or smell, almost 10 times heavier than air, and water soluble. The physical properties of radon are shown in table 2. [3].

Table 2. Properties of radon [3]

Boiling point	-62 °C
Melting point	-71 °C
Density under normal conditions	9,81 kg * m3 <sup>3</sup>
Solubility in water at 0 °C, volume	0,5
Blood solubility, volume	~ 0,4
Content in the atmosphere	~7*10 <sup>-17</sup>

Radon is an alpha emitter. During the decay process, it produces a family of other alpha emitters, which are generally referred to as daughter decay products (DDP). Moreover, unlike radon and thoron, DDP are not gases, but solid substances – unstable isotopes of lead, bismuth, polonium and, thallium, which themselves are powerful sources of alpha radiation. For example, the decay of the uranium-238 family releases eight alpha particles, of which four are radon and its DDP. Moreover, the first four alpha particles are released with a half-life of about 1 billion years (uranium–radium decay), and the next three with a half-life of 3.825 days, that is, the intensity of alpha radiation of radon and DDP is many times higher than the intensity of alpha radiation of uranium and radium combined [4].

The concentration of radon in the air is determined by the number of decays of radioactive nuclei per second in a cubic meter of air. For radon, this is almost equal to the number of alpha particles generated during decay. Currently, 1 Becquerel is taken as a unit of the number of decays, which is equal to one decay per second. Sometimes an extra-system unit of 1 Curie is still used, equal to the number of decays of 1 g of radium-226, or  $3.7 \cdot 10^{10}$  decays per second, or 1 Curie =  $3.7 \cdot 10^{10}$  Becquerels. The average radon content in the air of the surface atmosphere is approximately  $3.7 \text{ Bq} / \text{m}^3$ , or  $10^{-10}$  Curie/m<sup>3</sup> [4].

Different types of rocks release different amounts of radon into the air. Following this statement, radon is released from the earth in areas with uranium-containing soils and rocks. It is usually abundant in granite areas [5].

## 1.1 Main sources of radon

Radon and thoron are present, as well as its parent nuclides, in all building materials and rocks. Due to chemical inertia, it is relatively easy to leave the crystal lattice of the "parent" mineral and easily diffuses through the capillaries of the soil, microcracks of rocks is captured by streams of other gases and, despite the limited lifetime, can be transported over considerable distances in the earth's crust and atmosphere. Moreover, the natural loss of these gases due to the release of materials (the processes of emanation – separation from the crystal lattice and exhalation – evaporation or separation from the surface) and natural decay is constantly compensated by the decay of radium and thorium present in this material.

The half-life of radon-222 is only 3.8 days, but due to its constant formation during the decay of radium, new radon is constantly entering the atmosphere.

Table 3. Sources of radon-222 in the earth's atmosphere [1]

Sources	The activity of radon, ( $10^{15}$ Bq /year)
Soil	8900
Vegetation and underground water	2000
Ocean	850
At home	30
Natural gas	0,3
Coal	0,02
On average	1300

The sources of radon (table 3), therefore, are mostly rocks rich in uranium, mainly granites, but there are also much more active and rich in uranium rocks. Thus, phosphorites are known for their uranium-bearing properties.

The predominant amount of radon is released from cracks, faults leading to the bowels of the Earth, forming the so-called "radon breath", and not from a monolithic granite array. Radon isolation is a kind of marker, which can be used to find such faults, and therefore associated deposits of various minerals. Radon is most intensively released in volcanic areas. In some cases, they notice an intense

release of radon in places where there seems to be nowhere. But a detailed study reveals a deep fault. And the intensity of radon emission is a rich and, most importantly, a fairly fast source of information about changes in the state of the earth's interior. Fluctuations in the intensity of radon release foreshadow earthquakes and volcanic eruptions, allow predicting rock impacts in mines, and help prevent accidents when drilling wells [1].

Radon can enter a building together with atmospheric air when an exchange of air is formed between the environment and the room.

For example, during the same airing, if there is free radon in the air in the environment, or when a drawdown ventilation system is operating that sucks in the outside air.

The intensity of radon intake (figure 2) depends on its content in the atmosphere of the residential area, the characteristics of the local climate, the mentality of the inhabitants, the type and speed of ventilation in the residential area, and other factors (figure 3) [1].

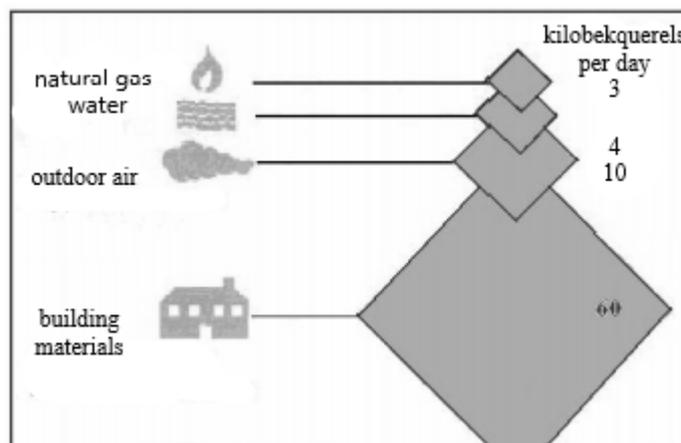


Figure 2. Power of radiation of different radon sources in a typical house [6]  
The ways in which radon enters the building are shown in figure 3.

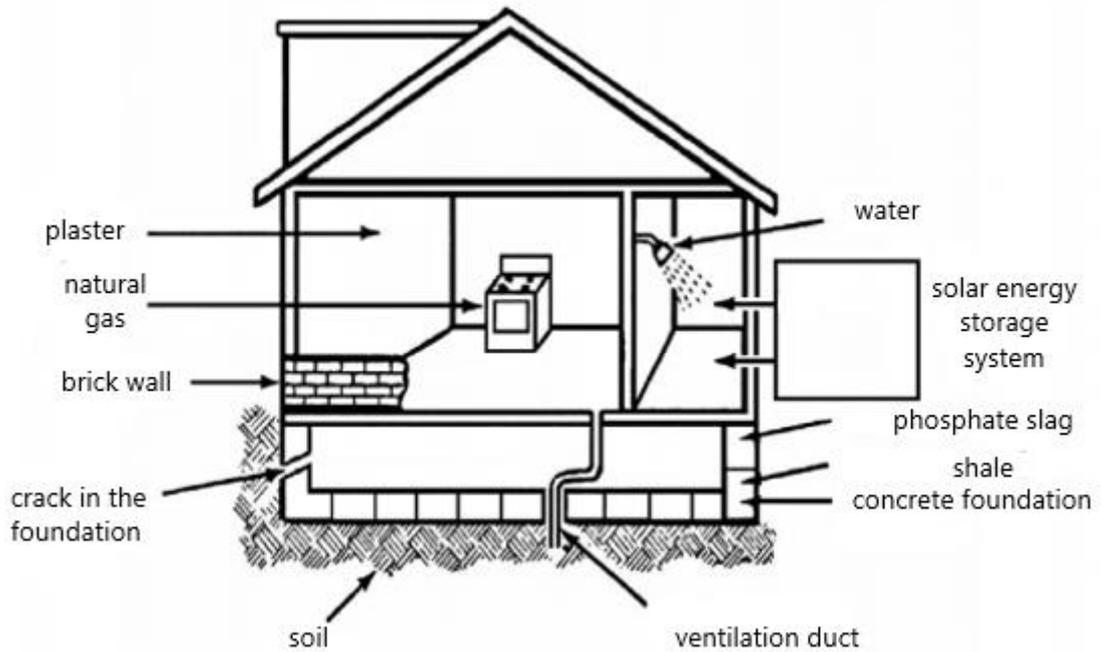


Figure 3. Routes of entry of radon into the building [1]

The sources are the rocks themselves, and radon enters homes due to the high geochemical background of radon in rocks (for example, shales, granites, syenites) [1].

The main sources of radon penetration into residential premises are natural gas, water, outdoor air, building materials and soil under the building [6].

During the construction of a building, the radon-emitting area of the ground surface is isolated from the surrounding space by the base or foundation of the building. Therefore, radon released from the soil under the building cannot be dispersed freely in the atmosphere, and penetrates into the building, where its concentration in the indoor air becomes higher than in the outdoor air [7].

Phosphogypsum is a significant source of radon release from building materials — a material obtained as waste in the production of phosphorous fertilizers, which concentrates a significant part of the radium contained in the original phosphorite (which, like uranium, contains a lot of it) so that phosphogypsum releases a lot of radon [8]. And since the utilization of phosphogypsum is a real problem, the temptation to use it as gypsum in building

mixes is very great. Therefore, there are "background" and radon-emitting drywall slabs, self-leveling floors and plaster.

In addition, granite rubble and sand often become a component of concrete used in construction. At the same time, it is necessary to follow the radiation safety standards (RSS-99) and use different types of granite in terms of radioactivity where it is permissible. To prepare concrete for residential buildings, only the most low-level granite of class I radioactivity should be used [9].

In the premises, the source of radon can be ceramic tiles, which in their composition have an admixture of uranium, as well as granite cladding. But more often they (the sources mentioned earlier) are ignored.

The concentration of radon in commonly used water is negligible, but water from some sources, especially deep wells, contains a large amount of radon. As, for example, in radon-dangerous regions, the strongest source of radon is the water supply, if the water for it is taken from artesian wells. The concentration of radon is extremely low in commonly used water, but in deep artesian wells conditions are created for the accumulation of extremely large amounts of radon - up to 100 MBq/m<sup>3</sup>. According to estimates of The United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR), currently 10% of the World's population drinks water with a radon activity content of 0.1 MBq/m<sup>3</sup> and 1% - 1 MBq/m<sup>3</sup>. Sometimes the total radiation dose when using water with a high concentration of radon can be very high. For example, while taking a shower, the radon concentration in the room can rise from 50-100 Bq/m<sup>3</sup> to several kilobecquerels per cubic meter [1].

Studies that were performed in Canada have experimentally found that when the shower is turned on for 7 minutes, it gives increased levels of radon concentration and it takes about 90 minutes (figure 4) for the concentration to fall to the initial level [6].

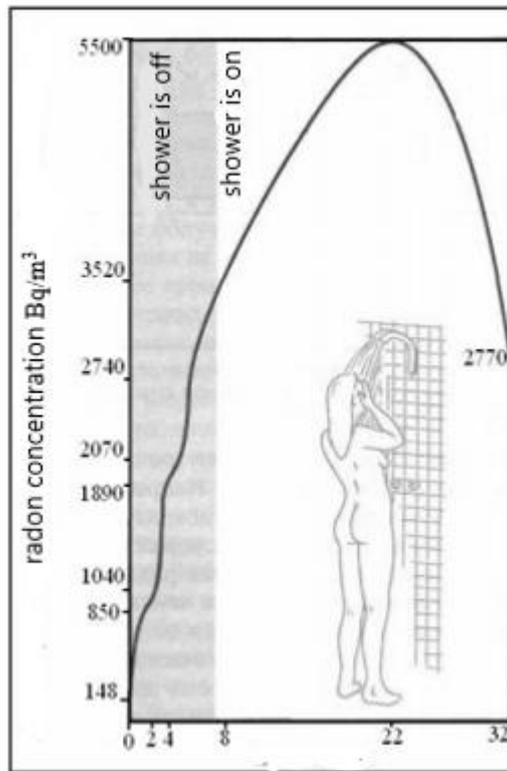


Figure 4. Variations in radon concentration when using the shower

For Russia, the maximum level of radon content in water, at which intervention is already required, is set at 60 Bq /kg in the absence of other radioactive substances in the water [9].

The gas used domestically also supplies radon to residential and industrial buildings [10]. Since natural gas is located in deep deposits, it is localized in various underground natural formations or in other underground reservoirs of hydrocarbons, there is a high probability of radon content as a contaminant.

Consequently, premises that are supplied with natural gas, which is a significant part of the country's territory, show higher concentrations of radon. In the absence of sufficient ventilation in the kitchen where a gas stove is used, the concentration of radon in the air increases rapidly. It is worth noting that the level of natural gas gasification in Russia is 68.6% for 2018, according to the Ministry of Energy Russia [11].

The radon hazard is also sharply aggravated by energy conservation. It makes homes much more airtight than before, ventilate less often and less, actively use air recirculation, which means that radon that got into the room remains in it. One study found that an increase in the airtightness of residential premises

(without compensatory ventilation) led to an increase in average radon concentrations in the room by 56.6%, from 21.2 Bq/m<sup>3</sup> to 33.2 Bq/m<sup>3</sup> [12].

There are two reasons for radon accumulation: first, there is no dispersion in buildings, in contrast to open space, and second, radon is released from building materials-both from old stone walls and from modern building materials [13].

Thus, along with the natural radon level, existing additional sources in the form of water, natural gas, and other additional causes [4] combine to create increased radon levels.

## **1.2 Radon as a radiation hazard for human health**

The effect on the human body was noticed in the 16th century, when the attention of doctors was attracted by the mysterious "mining disease" of miners in some mines of the Czech Republic and Germany, where the mortality rate of miners with lung cancer was 50 times higher than the incidence of other populations. The reason for this was found only a century later, it turned out to be a high concentration of radioactive radon gas in the mines [14].

It was mentioned above that it is not radon itself that is terrible, but its daughter products of decay (DDP). DDP are adsorbed on dust particles, aerosols, and other particles contained in the air. When we breathe, radon daughter products are deposited in the cells lining the airway, where alpha particles can damage DNA and potentially lead to the development of lung cancer [15].

Today, radon is becoming more and more important in human life. Unfortunately, it is mostly negative because radon is radioactive and therefore dangerous. And since it is continuously released from the soil, it is distributed throughout the earth's crust, in surface and underground water, in the atmosphere, and is present in every home.

Radon is classified as a group 1 carcinogen and is the second most important cause of lung cancer after smoking [16].

Epidemiological studies confirm a logarithmically linear dose-response relationship between exposure to household radon, suggesting that there is an increased risk of developing lung cancer even with very low exposure, and there is no threshold level of exposure below which exposure can be considered " safe" [17, 18, 19].

The main part of the radiation dose from radon is received by a person in a closed, unventilated room. In areas with a moderate climate, the concentration of radon in indoor areas is about 8 times higher than in outdoor air. Entering the room in one way or another (seeping through the Foundation and floor from the ground or released from the building materials used in construction), radon accumulates in it. As a result, quite high levels of radiation can occur in the room, especially if the house is located on the ground with a relatively high content of radionuclides or materials with high radioactivity were used in its construction. Sealing for the purpose of insulation only worsens the situation, as it makes it difficult to get the radioactive gas out of the room.

At present, after the long refusal of the leading world powers to test nuclear weapons, the risk of getting a significant dose of radiation in the minds of most people is associated with the action of nuclear power plants. Especially after the Chernobyl disaster. However, you should know that there is a risk of radiation exposure, even if you are in your own home. The threat here is natural gas-radon and heavy metal products of its decay. Their effect is experienced by mankind throughout the entire time of existence.

About 10% of lung cancer diseases that are registered in the world are caused by radon exposure. It is the second cause after smoking, the occurrence of pulmonary oncopathology for smokers and in the first place for non-smokers, according to a study conducted by the US environmental protection Agency [20].

Most foreign scientists study the relationship between radon exposure and the occurrence of lung cancer.

The danger of exposure to radon is manifested in the fact that it is easily dissolved in the blood, water, and other body fluids. The solubility of radon in

human adipose tissue is ten times higher than in water, which causes its effective absorption by adipose tissues when entering the body.

There is a statistical relationship between the incidence of malignant tumors, sclerosis, coronary heart disease, changes in behavioral responses and cerebral palsy with geopathogenic zones (faults), through which radon moves and with which it comes to the surface [6].

At the same time, a review of available foreign epidemiological data shows that there is no conclusive evidence of a link between the volume activity of radon and oncological diseases of other localities other than the lung [21].

Scientists of St. Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great, I. V. Petreneva and others conducted a study "the danger of high concentrations of radon on the body" as a result of which it was established. Living in radon-hazardous territories leads to violations of women's reproductive function and changes in the health of newborns, perinatal morbidity, General and oncological morbidity, and mortality.

It was noticed that the frequency of small anomalies increased by 5 or more times. The distribution of radon concentrations above 200 Bq/m<sup>3</sup> in an apartment where children live may cause them to show small abnormalities such as: saddle nose, epicanthus, short bridle, clinodactyly, flat feet [22].

A study conducted at Irkutsk state medical University found that exposure to radiation, including high levels of radon, causes the possible development of somatic pathology and pathology of the nervous system as a whole [23].

The cases listed above allow us to conclude that there is a clearly identified direct relationship between increased levels of radon in residential premises and morbidity.

Since human radon exposure occurs indoors, there is an urgent need to monitor and study radon in buildings [16].

## **Chapter 2. Overview of previous research on radon in buildings**

### **2.1. Analysis of research on radon content in buildings in foreign countries**

A large number of studies are conducted in the world to monitor radon. Scientists are looking for solutions to the problem of radon's harmful effects without major economic losses for States.

In a study based on buildings located in the southern part of Switzerland (Canton of Ticchino), a region with radon concentrations measured in more than half of buildings (more than 55,000 buildings in 2018), with a population of about 355,000 people. There is a pattern that in buildings where double-glazed Windows were replaced with more efficient ones for saving heat, there is an increase in radon content. [24].

Attention is also paid not only to residential premises, but also to "workers", as in the work of V. Nastro and others, which was completed in 2018. Radon measurements are made in historical buildings, now museums, where radon sources are works of art made from a particular type of stone, such as granite. Italian scientists are concerned that not in the literature, not in the legislation related to the protection of artifacts, both museums and historical buildings, does not consider the assessment of the concentration of radon gas to improve the safety of archaeologists, operators and visitors to archaeological sites. Since historical buildings and museums are closed environments that contribute to high concentrations of radon gas, which is formed from the natural radioactivity of the earth, and inhaling this gas is the second cause of lung cancer after smoke. But since radon is a noble gas, it cannot be filtered, and for this reason its monitoring is the only solution to protect human health [25].

Since Portugal already has new legislation in place to deal with radon risks, discussion of a mitigation strategy to reduce the risk of exposure to radon is a matter of great urgency, urgency and urgency. In this regard, an analysis of radon

risk in a complex of public buildings was conducted in the Minho region, Portugal. As a result, the radiation exposure limit was exceeded (1 mSv / year), since, in addition to the risk of exposure in the workplace, there is an additional risk that should be added due to exposure in residential buildings [26].

Radon is the predominant source of radiation exposure in Ireland (estimated at 56% of the dose received), most of which is received at home. The essence of the study, conducted in 2018, was to statistically analyze the dependence of the distribution of cancer diseases on the content of radon in the territory. The map of the radon hazard of the territory of Ireland (figure 5) was built already in the period 1992-1997. The standard level for Ireland is not exceeding the radon concentration above 200 Bq/m<sup>3</sup> [27].

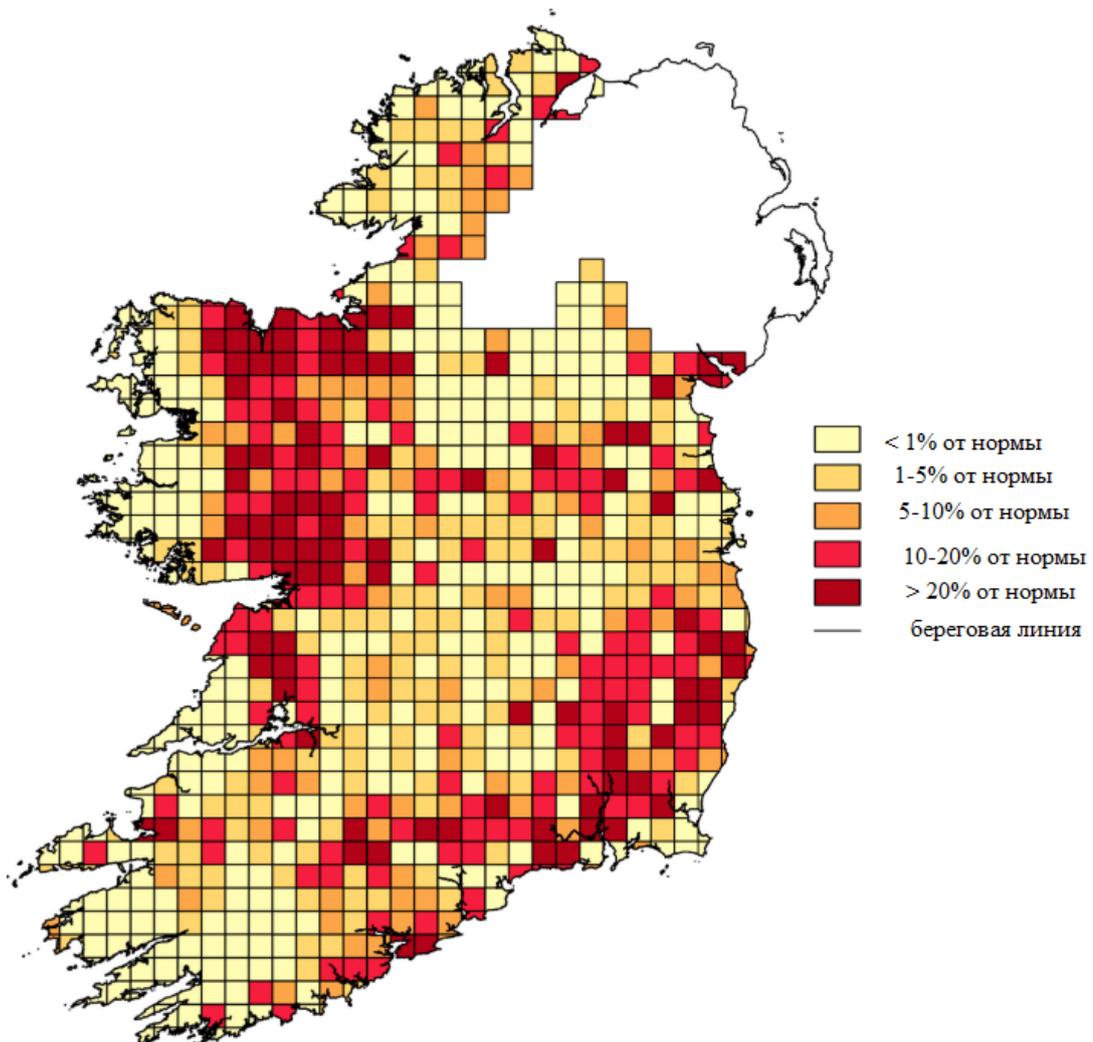


Figure 5. The radon hazard map of Ireland [20].

A very large number of studies are conducted in the United States of America (USA). In the United States, the potential dangers of radon in homes

became known to the General public in the 1980s. The United States environmental protection Agency (EPA) estimates that out of a total of 146,400 lung cancer deaths in 1995, 21,100 (14 %) were attributed to indoor radon exposure. Subsequent epidemiological studies confirmed this assessment. Mortality from radon-induced lung cancer is the second leading cause of death for smokers and the first for non-smokers [20].

In 1993, a map of radon zones in the United States was developed to identify areas with potential increases in indoor radon levels (figure 6).

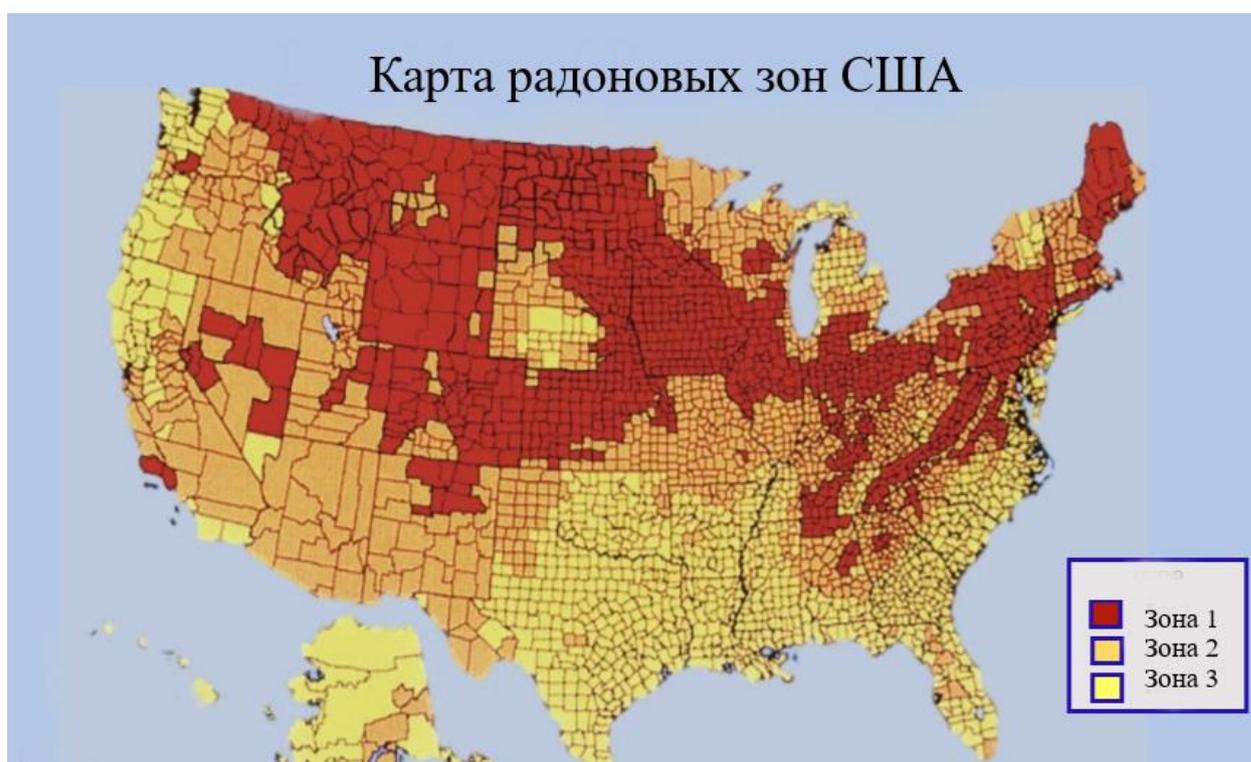


Figure 6. Map of radon zones in the USA [20].

Zone 1 includes: districts with projected average indoor radon shielding levels of more than 4 pCi/l. Zone 2: districts with the predicted average screening levels of radon indoors is from 2 to 4 pCi/L. Zone 3: districts with projected average indoor radon shielding levels of less than 2 pCi/l.

The radon zone map was developed using data on indoor radon measurements, Geology, air radioactivity, soil parameters, and Foundation types.

The group with the highest radon values in the entire state area includes: Montana, North Dakota, Wyoming, Colorado, Iowa, South Dakota, Kansas, Illinois, Maine, New York, and Tennessee.

The entire US territory is divided into 10 regions, and each region has an office of the US environmental protection Agency that is responsible for compliance with the legal framework and citizens ' rights in the field of indoor air quality. The diagram of these regions is shown in figure 7.

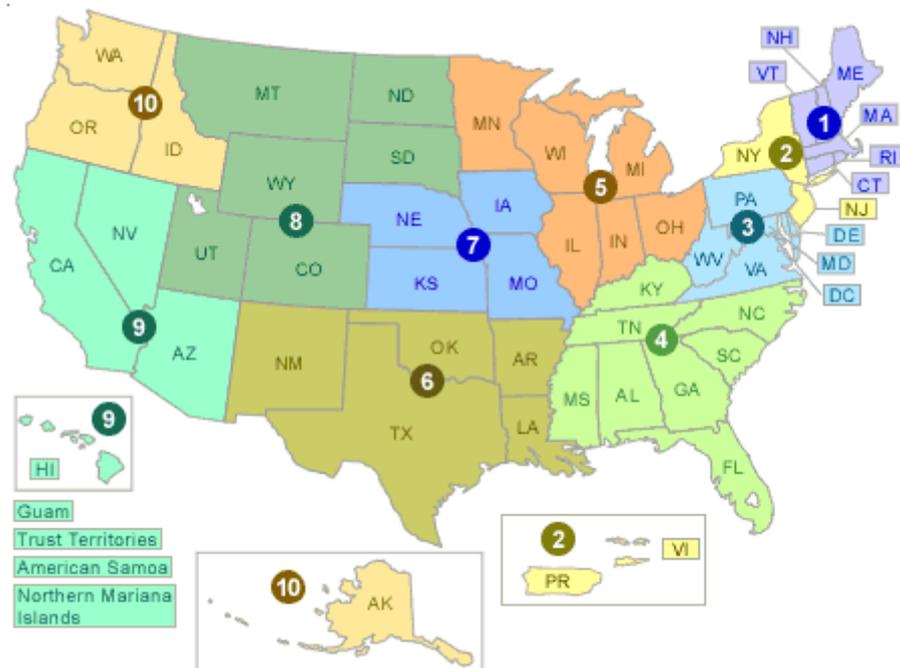


Figure 7. Controlled regions of departments in the United States [20].

In the United States, a large number of measures are being implemented to reduce the harmful effects of radon. Each resident can order a free test kit for self-determination of the radon level in the house, then if the radon level is too high, you can order a professional check. In the future, special services, if necessary, will install a radon reduction system in the building.

Having studied the research that is being conducted in other countries, it becomes clear that today the radon problem is relevant in every country. At the moment, there is a large number of studies on this topic. The problem is being solved at the state level, and new laws are being created not just on radiation safety, but on the problem of radon exposure. Radon hazard maps are being built for the territories of countries. Foreign countries Finance public awareness of the dangers of high concentrations of radon, budget expenditures for the use of free

radon measuring equipment, as well as for the use of protective measures when high levels are detected.

All studies conducted in Europe, England, and the United States have confirmed that low levels of radon concentrations, such as levels in homes, also pose health risks and significantly contribute to the incidence of lung cancer worldwide [16].

## REFERENCES

1. F.Fournier J.E.Groetz, F.Jacob, H.Lettner, A.Chambaudet, J.M.Crolet. Study of Radon-222 exhalation of phosphogypsum blocks used as building materials. Comparison with modeling// Radioactivity in the Environment- Volume 7- 2005 - Pages 582-589.
2. Abdel-Ghany HA Does natural gas increase the indoor radon levels / HA Abdel-Ghany, DH Shabaan // Ядерная физика и энергетика. - 2015. - Т. 16, № 3. - С. 310-315.
3. J. Milner, C. Shrubsole, P. Das, B. Jones, I. Ridley, Z. Chalabi, et al. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: Modelling study //British Medical Journal, 348 (2014), p. f7493
4. Zeeb, Hajo, Shannoun, Ferid & World Health Organization. (2009). WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization. [Электронный ресурс]. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44149>
5. Krewski, D., J. H. Lubin, J. M. Zielinski, M. Alavanja, V. S. Catalan, R. W. Field, J. B. Klotz, E. G. Letourneau, C. F. Lynch, J. L. Lyon, D. P. Sandler, J. B. Schoenberg. D. J. Steck, J. A. Stolwijk, C. Weinberg, and H. B. Wilcox. 2006. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer.// J Toxicol Environ Health A 69(7): 533-597.
6. Health A, 69 (2006), pp. 533-597; Z.-L. Zhang, J. Sun, J.-Y. Dong, H.-L. Tian, L. Xue, L.-Q. Qin, J. Tong Residential Radon and Lung Cancer Risk: An Updated Meta-analysis of Case-control Studies Asian Pac. J. Cancer Prev., 13 (2012), pp. 2459-2465.
7. United States Environmental Protection Agency [Электронный ресурс]: <https://www.epa.gov/radon>