

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

---

Институт Физико-технический  
Направление подготовки Ядерные физика и технологии  
Кафедра Прикладной физики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

<b>Тема работы</b>
<b>Исследование особенностей переноса радона в почвенном воздухе</b>

УДК 550.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4А	Мишина Наталия Витальевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ПФ ФТИ	Яковлева В.С.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиозоологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<b><i>Общекультурные компетенции</i></b>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

---

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: (специальность): Ядерная физика и технологии

Кафедра: Прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Вагнер А.Р.  
(Ф.И.О.)

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4А	Мишина Наталия Витальевна

Тема работы:

Исследование особенностей переноса радона в почвенном воздухе
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2016
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	1) Результаты анализа научной литературы по вопросам особенностей переноса радона в почвенном воздухе. 2) База данных мониторинга почвенного радона, метеорологических и атмосферно-электрических параметров на экспериментальных площадках ТПУ-ИМКЭС, г. Томск.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) Обзор и анализ литературы по тематике диссертации. 2) Формирование базы данных по результатам измерения объемной активности радона на разных глубинах. 3) Статистическая обработка экспериментальных данных по радиационным величинам и метеопараметрам. 4) Поиск закономерностей в поведении почвенного радона на суточном, годовом и синоптическом масштабах. Выявление влияющих факторов. 5) Выводы и заключение.

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Ермакова Я.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Обзор литературы по тематике диссертации	

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

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор каф. ПФ НИ ТПУ	Яковлева В.С.	д.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0АМ4А	Мишина Наталия Витальевна		

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

Институт: Физико-технический

Направление подготовки (специальность): Ядерные физика и технологии

Уровень образования: Магистратура

Кафедра Прикладной физики

Период выполнения: весенний семестр 2016 учебного года

Форма представления работы:

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2016
--	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.03.2016	<i>Обзор и анализ литературы</i>	...
01.04.2016	<i>Изучение оборудования, схемы установки и разработка программного кода.</i>	...
08.04.2016	<i>Формирование базы данных по результатам измерения объемной активности и плотности потока радона на разных глубинах.</i>	
29.04.2016	<i>Статистическая обработка экспериментальных данных. Поиск закономерностей в поведении почвенного радона на суточном, годовом и синоптическом масштабах.</i>	
13.05.2016	<i>Выявление влияющих факторов.</i>	
27.05.2016	<i>Оформление пояснительной записки, презентации</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф.ПФ НИ ТПУ	Яковлева В.С.	д.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	д.ф.-м.н.		

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

Студенту:

Группа 0AM4A	ФИО Мишина Наталия Витальевна
-----------------	----------------------------------

Институт	Физико-технический	Кафедра	ПФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

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

<p>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): <i>материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p> <p>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</p> <p>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</p>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i></p>
---	---

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

<p><i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p>	<p><i>- Анализ конкурентных технических решений</i> <i>- SWOT-анализ</i></p>
<p><i>Формирование плана и графика разработки научного исследования</i></p>	<p><i>- Иерархическая структура работ</i> <i>- Календарный план-график реализации проекта</i></p>
<p><i>Составление бюджета научного исследования</i></p>	<p><i>Бюджет НИР:</i> <i>- Расчет материальных затрат;</i> <i>- Расчет амортизации оборудования;</i> <i>- Затраты на оплату труда исполнителей;</i> <i>- Отчисления во внебюджетные фонды;</i> <i>- Накладные расходы</i></p>
<p><i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности исследования</i></p>	<p><i>Определение ресурсоэффективности НИ</i></p>

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

<p><i>Карта конкурентных технических решений</i></p> <p><i>Матрица SWOT</i></p> <p><i>Иерархическая структура работ</i></p> <p><i>Календарный план проекта</i></p>	<p>5. <i>Линейный план-график проекта</i></p> <p>6. <i>Бюджет проекта</i></p> <p>7. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i></p>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4A	Мишина Наталия Витальевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0AM4A	ФИО Мишина Наталия Витальевна
-----------------	----------------------------------

Институт Уровень образования	Физико-технический Магистратура	Кафедра Направление/специальность	ФЭУ Ядерные физика и технологии
---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------

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

1. Описание рабочего места на предмет возникновения:	вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	электробезопасность, пожаробезопасность, требования при работе на ПЭВМ

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

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4A	Мишина Наталия Витальевна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 105 с., 35 рисунков, 11 таблиц, 32 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: объемная активность радона, динамика почвенного радона, суточные вариации, сезонные вариации, ОА радона в зависимости от метеопараметров.

Объектом исследования являются данные мониторинга плотности потока ионизирующего излучения в городе Томске на экспериментальной площадке Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений.

Цель работы – исследование особенностей переноса радона в почвенном воздухе.

В процессе исследования проводился поиск закономерностей в поведении почвенного радона на суточном, годовом и синоптическом масштабах.

В результате исследования выявлены факторы, влияющие на динамику радона в почве, а также сформированы базы данных по результатам измерения объемной активности радона на разных глубинах.

Степень внедрения: высокая.

Область применения: геофизика, сейсмология.

Экономическая эффективность/значимость работы: высокая.

В будущем планируется продолжать исследования в данной области: пополнять базы данных и уточнять параметры модели переноса радона в геологической среде и приземной атмосфере.



## Оглавление

Введение .....	11
1 Литературный обзор .....	13
1.1 Зависимость концентрации радона в почве от глубины .....	14
1.2 Зависимость от метеорологических параметров .....	16
1.2.1 Краткосрочные изменения: суточные вариации радона в почве.....	16
1.2.2 Долгосрочный изменение: сезонные вариации радона в почве.....	24
2 Объект и методы исследования .....	32
3 Исследование пространственной и временной динамики ОА радона в грунте	36
3.1 Исследование суточных вариаций ОА радона в грунте.....	36
3.1.1 Выявленные закономерности в суточной динамике .....	36
3.1.2 Влияющие факторы.....	43
3.2 Исследование сезонных вариаций ОА радона в грунте .....	53
3.2.1 Закономерности сезонных изменений ОА радона в грунте.....	53
3.2.2 Влияющие факторы.....	56
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	59
4.1 Предпроектный анализ .....	59
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	59
4.1.2 SWOT-анализ.....	62
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом .....	63
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта .....	63
4.2.2 Контрольные события проекта .....	64
4.2.3 План проекта.....	65
4.3 Бюджет научно-технического исследования.....	66
4.3.1 Расчет материальных затрат.....	67
4.3.2 Расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ.....	68
4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования .....	69
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды. ....	71

4.3.5 Накладные расходы.....	71
4.4 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования .....	72
4.5 Организационная структура проекта .....	73
4.6 Матрица ответственности.....	74
4.7 Определение ресурсной эффективности исследования .....	75
Заключение .....	79
Список публикаций.....	82
Список использованных источников .....	83
Приложение А Литературный обзор (английский язык).....	87

## Введение

Радоновая проблема (облучение легких) в последние десятилетия стала особенно актуальной – на радон  $^{222}\text{Rn}$  и его дочерние продукты распада (ДПР), по некоторым оценкам [1–2], может приходиться до 50–70 % дозы облучения, получаемой населением от всех природных источников радиации. Радиоактивные газы проникают через трещины и щели в фундаменте, накапливаются в помещениях и попадают в организм человека ингаляционным путем, что и предопределяет их опасность.

Надо отметить, что источники формирования атмосферного радона и его относительный вклад в суммарную дозу облучения до сих пор достоверно не установлены. К наиболее вероятным источникам можно отнести почвогрунты, растения, грунтовые воды, вулканические извержения, сжигаемые природный газ и уголь, добычу и переработку полезных ископаемых [3]. Есть предположения [4] об образовании радона за счет атмосферных (пыльные бури, сгорание метеоритного вещества) и космических (космическая пыль, магнитное поле Солнца) явлений.

До настоящего времени в основе методов оценки потенциальной радоноопасности участков строительства лежат представления о постоянстве радонового поля приповерхностных пород во времени и пространстве. На основе этой модели считается, что результаты однократных измерений плотности потока радона (ППР) с поверхности почв, полученные в случайный момент времени соответствуют (в пределах погрешности измерения) среднегодовому значению ППР [5]. Исследования [6,7] дают основания говорить о том, что модель, заложенная в основу применяемых в настоящее время методов некорректна, что приводит к некорректным результатам оценки радоноопасности территорий, неподдающимся однозначной интерпретации. Это делает тему исследования особенностей переноса радона в почвенном воздухе особенно актуальной в настоящее время.

Кроме того исследования последних лет привели к идее прогноза сейсмических событий на основе изучения процесса выделения (эксгаляции) газа радона из массива горных пород [7]. В период Ташкентского землетрясения 1966 г. было замечено, что концентрация радона в подземных водах начинает возрастать за несколько дней до землетрясения, повышаясь в 5—7 раз непосредственно перед толчком [8]. Сегодня использованием данных физических процессов для мониторинга сейсмической активности зоны наблюдения занимаются в Индии, Израиле, США, Тайване, Турции и других странах.

В опубликованной литературе, к сожалению, мало представительных данных о динамике изменения содержания радона по почвенному профилю. Комплекс, установленный на экспериментальной площадке ИМКЭС-ТПУ, позволяет производить одновременный мониторинг характеристик разных видов излучений на разных высотах и глубинах. Данные многолетнего мониторинга позволят увеличить достоверность прогнозных оценок, а также дадут возможность определять или уточнять параметры модели переноса радона в геологической среде и приземной атмосфере.

Цель данной работы – исследование особенностей переноса радона в почвенном воздухе.

Задачи:

- 1) обзор и анализ литературы по тематике диссертации;
- 2) формирование базы данных по результатам измерения объемной активности радона на разных глубинах;
- 3) статистическая обработка экспериментальных данных по радиационным величинам и метеопараметрам;
- 4) поиск закономерностей в поведении почвенного радона на суточном, годовом и синоптическом масштабах; выявление влияющих факторов.

## 1 Литературный обзор

Радон и продукты его распада в значительной степени способствуют повышению риска развития рака легких у населения. Для большинства помещений, в качестве основного источника радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) принято считать почву [9]. По крайней мере, 80% от радона, выбрасываемых в атмосферу поступает из верхних слоев земли, которые составляют несколько метров.

Измерения концентрации газа радона в почве могут быть использованы в качестве метода оценки радоноопасности в помещении [9]. Однако исследования корреляции между концентрацией, измеренной в помещении, и концентрацией почвенного радона показали, что корреляция слабо выражена [10]. Конечно, если концентрация почвенного радона «высокая», т.е. больше  $250 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ , концентрация радона в помещениях во всех случаях исследований немецких ученых [9, 11] была превышена. На основе измерений почвенного радона, ученый в работе [11] предложил следующую классификацию: низкий ( $<25 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ), средний ( $25 - 100 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ), повышенной ( $100 - 250 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ) и высокий ( $> 250 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ) и представил потенциальную карту радоноопасности для Германии на основе этой классификации. Такие карты, однако, может дать только общий обзор для конкретного региона. Для конкретного места, т.е. строительного участка, они не имеют практически никакого значения. Для того, чтобы получить оценку концентрации почвенного радона, например, до строительства здания, радоновые измерения почвенных газов должны быть проведены в данном конкретном месте.

Изменения концентрации почвенного радона считается возможным предшественником землетрясений. Среди многих исследований, касающихся радона и землетрясений, авторы работы [12] сообщили, статистический метод для выявления почвенных радоновых аномалий, вызванных землетрясениями в Словении путем мониторинга концентрации радона почвы, атмосферного давления и температуры почвы, используя зонд (МС-450, Algade, Франция), а

также метеорологические данные, такие как температура воздуха, осадки и сейсмические данные. Изменения в концентрации радона, которые существенно отклонялись от среднего значения, были связаны с сейсмической активностью.

Измеренная концентрация почвенного радона может зависеть от нескольких факторов: 1) неоднородности концентрации радия и свойств почвы и 2) временных вариаций метеорологических и почвенных параметров. Некоторые исследования доступные по этим пунктам в результате часто противоречивы, например: сезонные колебания уровня почвенного радона наблюдались при высоких концентрациях в зимний период или при высоких концентрациях в летнее время [13] или не были наблюдаемы [14]. Кроме того, сравнение методов, используемых для измерения радона в почве, показало, что различные методики могут прийти к существенно отличающимся результатам [15].

### **1.1 Зависимость концентрации радона в почве от глубины**

Радон  $^{222}\text{Rn}$  является природным радиоактивным инертным газом, входящим в цепочку распада  $^{238}\text{U}$ . Его родительский изотоп – элемент радий  $^{226}\text{Ra}$ .  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  сосредоточены в земной коре, а также могут быть найдены в биосфере. Кроме того, почвы, полученные из различных типов пород, содержат  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$ .  $^{226}\text{Ra}$  постоянно производит атомы радона в почве. Содержание радия в почве и коэффициент эманации определяют эффективную концентрацию радия. Миграции радона в почве зависит от молекулярной диффузии, однако она определяется в основном за счет конвекции. Эти процессы определяют объемную активность радона в почвенном воздухе, которая зависит от глубины. ОА радона в почве экспоненциально возрастает с глубиной, достигая насыщения [16].

Концентрация радона в зависимости от глубины почвы авторы работы [17] измеряли дважды в месте кампуса Университета Аристотеля в Салониках

на севере Греции. В первый раз с 18 октября 2002 года по 10 мая 2003 года, а второй раз в период с 28 ноября 2003 года по 20 сентября 2004 года. Концентрация радона, в зависимости от глубины почвы для этих двух периодов времени, представлена на рисунке 1.1. Несмотря на различия абсолютных значений между двумя кривыми, обе кривые имеют одинаковую форму. В обоих распределениях, концентрация почвенного радона возрастает до глубины около 80 см, остается постоянной на глубине 80-130 см, а затем снова возрастает. Такое поведение не является обычным. Ожидаемое поведение – монотонное увеличение концентрации радона с глубиной почвы, которое приходит к насыщению. Для объяснения экспериментального распределения радона, авторами работы [17] было решено общее уравнение переноса (диффузии и адвекции).

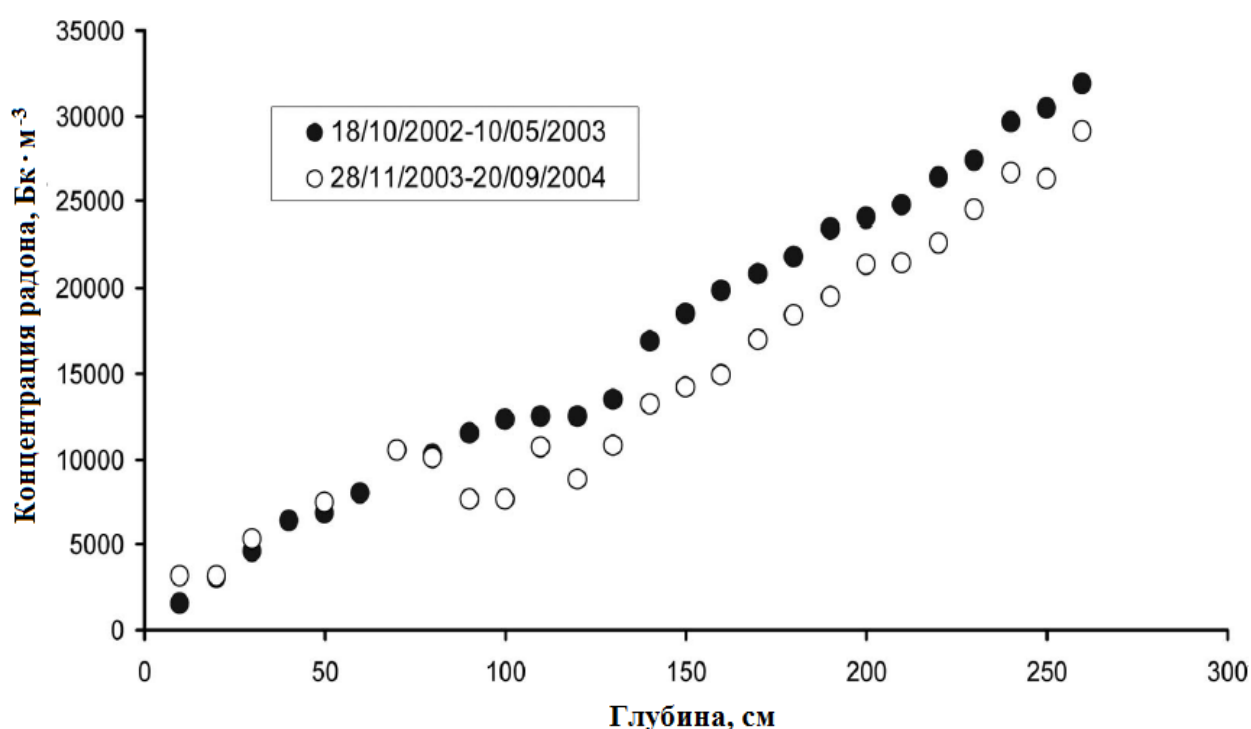


Рисунок 1.1 - радон концентрации в зависимости от глубины почвы [17]

Основным выводом численного исследования [17] является то, что упомянутая выше экспериментальная особенность профиля концентрации радона может быть теоретически объяснена существованием двух слоев грунта

с различными характеристиками диффузии-адвекции. Анализ проб почвы [17] подтвердили существование двух различных типов слоев почвы.

## **1.2 Зависимость от метеорологических параметров**

Есть много факторов и метеорологических параметров, влияющих на объемную активность радона в почвенном газе. Температура, давление и осадки, как известно, вносят существенный вклад в суточные и сезонные вариации. Однако обнаружены противоречивые наблюдения сезонных колебаний почвенного радона. Авторы работы [9] изучили изменчивость результатов испытаний в результате использования различных методов, а также пространственную неоднородность и сезонные колебания на экспериментальной площадке, расположенной в Германии. Среди нескольких известных результатов: наблюдение зимой более высокого уровня радона в почве из-за замороженного верхнего слоя почвы. Крайний случай был исследован авторами работы [18], которые измеряли почвенный радон вместе с геохимическим анализом коренных пород, грунтовых вод и донных отложений в Западной Норвегии. Они приписывали причину аномально высоких сезонных изменений концентрации почвенного радона подземным воздушным потокам, вызванным перепадами температур между воздухом почвы и атмосферным воздухом.

### **1.2.1 Краткосрочные изменения: суточные вариации радона в почве**

Авторами работы [19] были проведены исследования, в которых почвенный радон измерялся в лесу на территории кампуса университета Хоккайдо. В течение периода наблюдения произошло внезапное увеличение концентрации почвенного радона, которое совпало с большим местным землетрясением 26 сентября 2003 года с эпицентром, расположенным в открытом море вблизи Токачи на Хоккайдо, Япония. Из-за предполагаемой



связи между землетрясениями и изменениями почвенного радона, была предпринята попытка получить подробные данные о других факторах, которые могут способствовать изменениям в уровнях почвенного радона. Непрерывный мониторинг почвенного радона осуществлялся с использованием зонда (Barasol, Algade, Франция), который был помещен в почву на глубину 10 или 30 см. Этот прибор имеет твердотельный кремниевый детектор с регистратором данных и контролирует температуру и атмосферное давление. Он обнаруживает альфа-частицы испускаемые радоном в почвенном газе ежечасно. Чувствительность детектора составляет 0,02 имп/ч за 1 Бк/м<sup>3</sup>, а объемная активность насыщения 3 МБк/м<sup>3</sup>. Атмосферное давление над поверхностью земли также измеряли ежечасно (KADEC-U21, Kona System, Япония) и набор данных собирали в конце каждого месяца. Влажность почвы на глубинах от 20 до 50 см контролировали ежечасно с зондом, который может хранить данные, полученные в течение 6 месяцев (Profile Probe, Delta-T Devices Ltd., Великобритания). Инструменты хранились в снегу в зимние месяцы с ноября 2004 года до конца марта 2005 года, а также с декабря 2005 года по март 2006 года. Подробная информация о месте мониторинга и характеристиках почвы описано в [19].

На рисунке 1.2 показаны временные ряды уровней почвенного радона вместе с часовыми средними значениями температуры почвы, измеренными на глубине 10 см от 24 – 30 сентября 2005 года [19]. Объемная активность почвенного радона имеет высокие значения в дневное время и низкие – в ночное. Такая изменчивость сильно связана с атмосферной (и, таким образом почвенной) температурой, как показано на рисунке 1.2. Следовательно, существует хорошая корреляция между суточной концентрацией <sup>222</sup>Rn и температурой в почве на глубине 10 см. Данные показывают, что увеличение температуры почвы на 1°C может привести к увеличению уровня радона почвы на 740 Бк/м<sup>3</sup> при аналогичных метеорологических условиях для тех, которые наблюдались в период 24 – 30 сентября 2005 года [19].

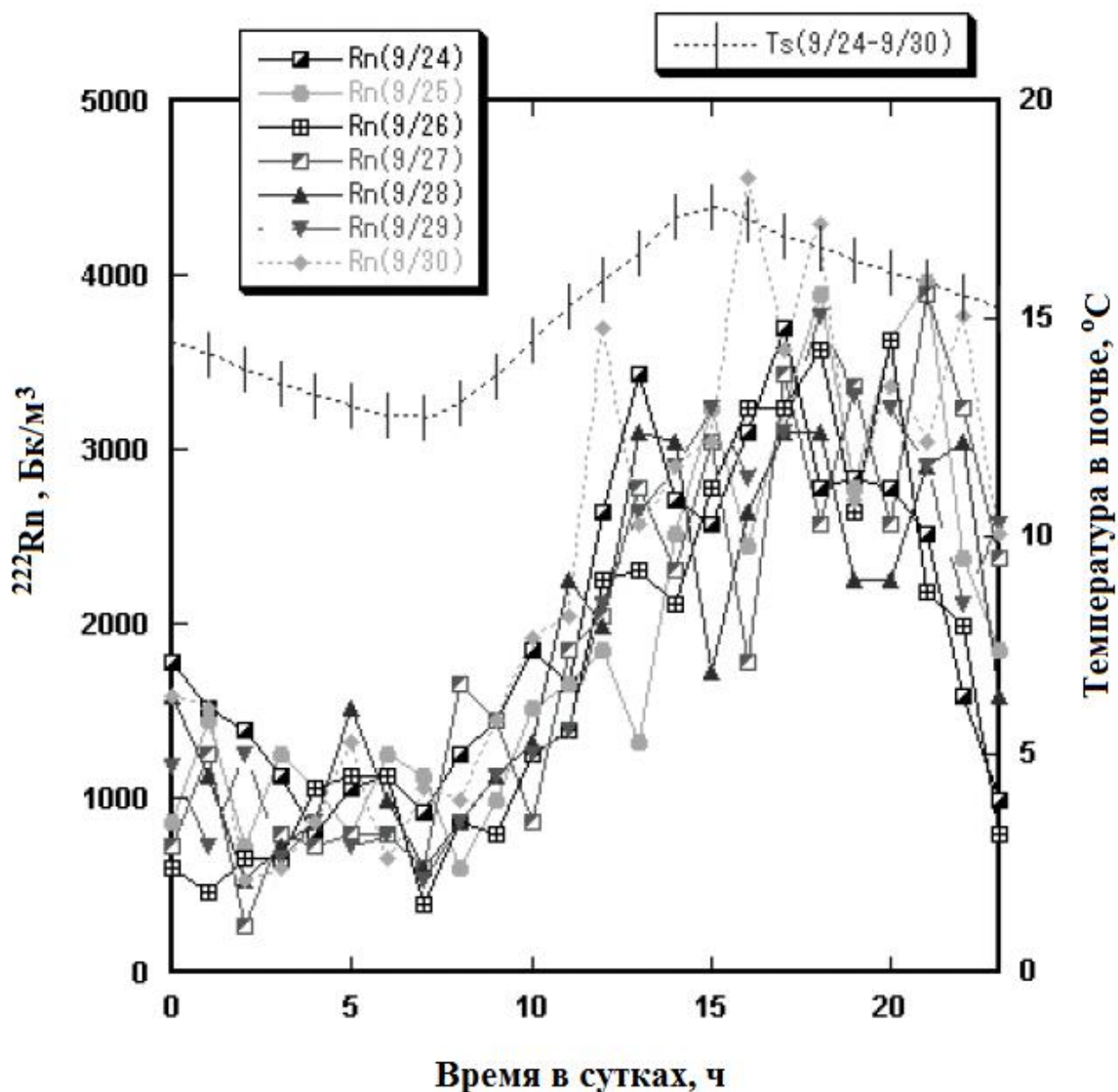


Рисунок 1.2 – Почасовой изменение объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  в почвенном газе и средняя температура почвы, измеряемая на глубине 10 см с 24 по 30 сентября 2005 года [19]

Тем не менее, эта корреляция уменьшается при фронте низкого давления с временными дождями с 1 по 2 октября 2005 года, как показано на рисунке 1.3. Следует отметить, что объемная активность  $^{222}\text{Rn}$  резко снизилась в 8 часов вечера 2 октября и осталась на низком уровне в течение следующего дня. Это может соответствовать падению температуры на глубине 10 см от поверхности земли. Типичная суточная картина (как на рисунке 1.2) объемной активности

почвенного радона снова появилась 4 октября, и наблюдалась в течение большей части года, за исключением зимы.

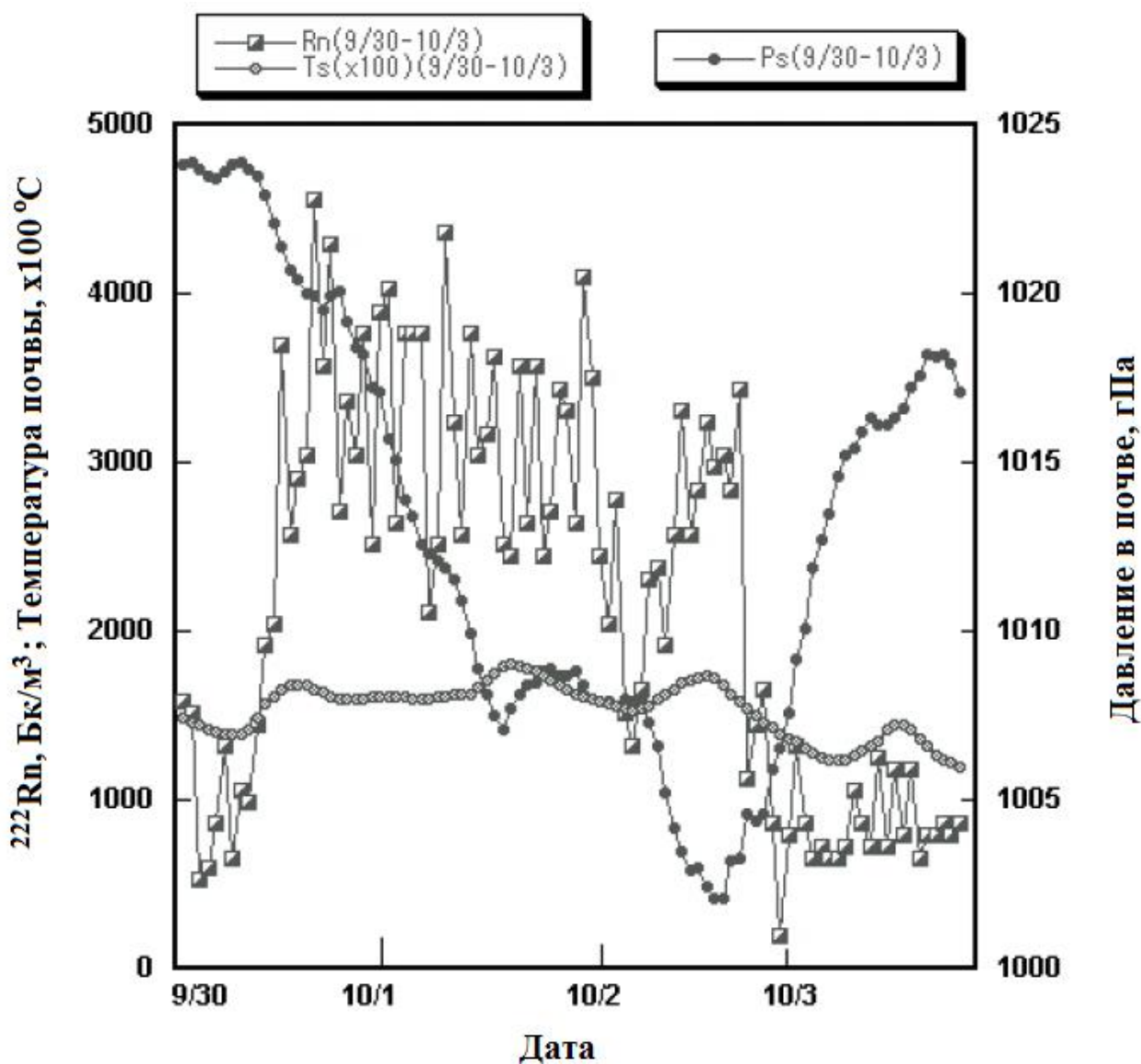


Рисунок 1.3 – Временные ряды объемной активности  $^{222}\text{Rn}$ , температуры почвы и атмосферного давления в почве на глубине 10 см с 30 сентября по 3 октября 2005 г. Значения температуры почвы на рисунке в 100 раз больше, чем исходные данные [19]

В работе [20] концентрация радона была измерена с помощью детектора Alpha Guard PQ 2000 (Genitron Instrument, Германия) в почве в городе Валпово

в Хорватии. Участок наблюдения был расположен в саду, датчик располагался на глубине 0,8 м в почве. Одновременно измерялось атмосферное давление.

Значительные трудности возникли при измерениях радона в почве; процедура измерения детектором Alpha Guard, в соответствии с инструкциями, предусматривает захоронение узкой трубки в почву и закачки газа почвы в ионизационную камеру для того, чтобы измерить концентрацию радона. Почва в точке измерения была достаточно плотная и из-за этого обладала очень низкой проницаемостью, не было возможности прокачивать газ почвы в измерительную камеру. Таким образом, исследователи сделали отверстие цилиндрической формой диаметром 0,3 м и 0,2 м глубиной, от которого почвенный газ прокачивали через трубку. Детектор Alpha Guard автоматически делал запись результатов эксперимента каждые 10 минут.

Временные вариации концентрации радона в почве и атмосферного давления, представлены на рисунке 1.4. В дополнение к суточной периодичности концентрации радона, которую также можно наблюдать в вариациях давления, видны как большие пики и глубокие долины в концентрации радона [20]. Авторы исследовали, хаотичны ли значения концентрации радона или их изменения носят случайный характер, и они ведут себя как шум.

Особый сигнал радона появился около 2500-го записи, что авторы работы [21] ранее истолковали как радоновую аномалию при поиске предвестников землетрясений. Но интерпретация радоновых аномалий в качестве предшественников сейсмической активности имеет некоторые неопределенности. Поэтому авторы [20] поставили перед собой задачу изучить происхождение зарегистрированного сигнала радона.

Сигнал после пика имел минимум (рисунок 1.4), который, как правило, соответствует форме радоновой аномалии предшествующей землетрясению примерно через три недели [21]. Однако исследования [20] концентрации радона в почве показали, барометрический эффект. Это можно видеть на

рисунках 1.4а и 1.4б около 2500-го чтения. Снижение барометрического давления соответствует увеличению концентрации радона, и наоборот [20].

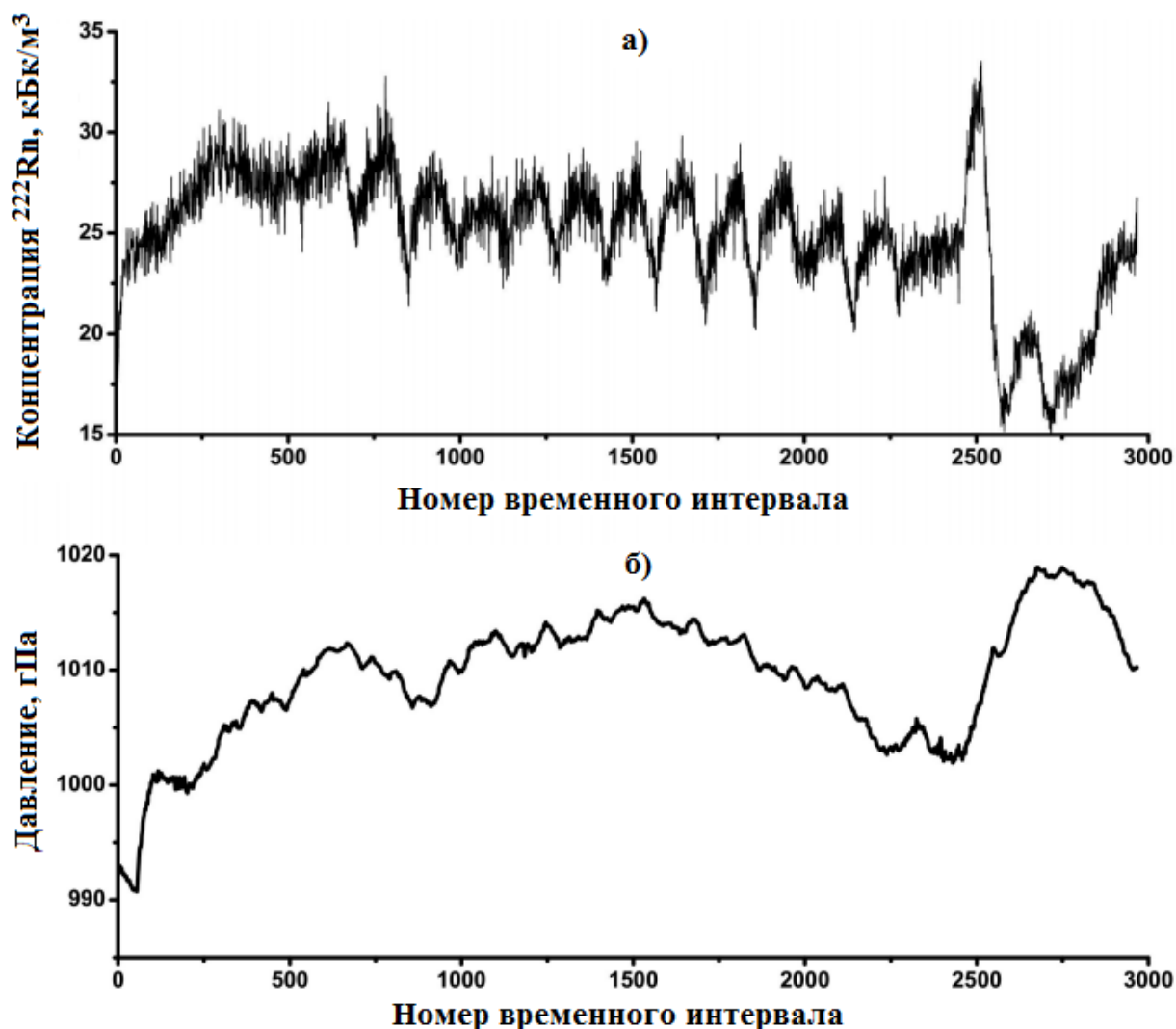


Рисунок 1.4 - Изменение концентрации радона в почве в течение времени (10-минутные интервалы) (а), вариации атмосферного давления (б) [20]

Суточная периодичность объемной активности радона в почве была обнаружена во всех сериях данных [16] (недельные измерения, проведенные 11 месяцев). Для того чтобы численно промоделировать суточную периодичность и проверить возможные сезонные колебания, получены суточные синусоиды, рассчитанные с помощью метода наименьших квадратов (рисунок 1.5 и 1.6). В среднем летом, длина волны более постоянна, но она сильно изменяется в зимний период. Средняя амплитуда синусоиды  $0,3 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-3}$ , она была в два раза

выше летом ( $0,4 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ), чем в зимний период ( $0,2 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ). В целом, не считая случайных вариаций, можно наблюдать систематические суточные колебания с более высокой амплитудой летом, чем зимой, что, скорее всего, обусловлено климатическими и почвенными условиями [16]. Суточная периодичность показывает более высокие значения объемной активности почвенного радона в ночное время: начиная примерно с 20:00-24:00 до 07:00-10:00, – и ниже в дневное время как в летнее время так и в зимний период. Среднее значение объемной активности почвенного радона выше в ночное время, чем в дневное время на 18% и 3,8% летом и зимой соответственно. Учитывая неопределенность единичного измерения, эта разница значительна летом, а зимой это ничтожно мало.

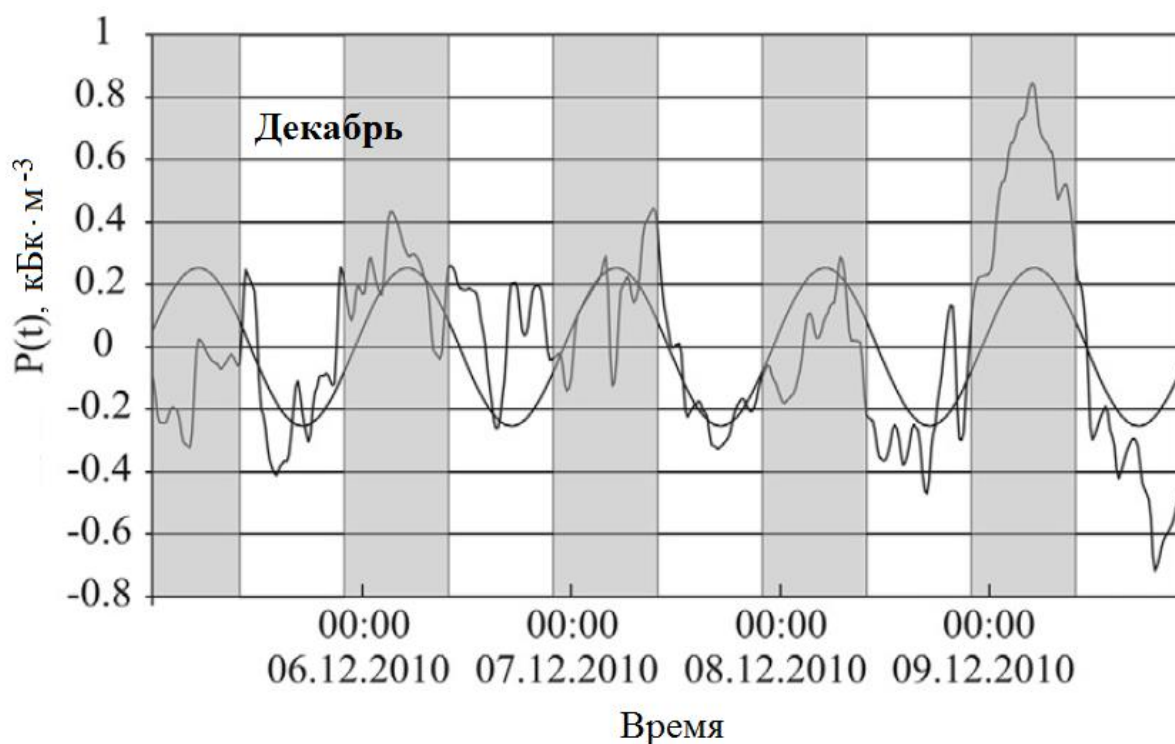


Рисунок 1.5 – Суточная синусоида  $P(t)$  на декабрь 2010 года. Серые столбики соответствуют ночи: с 22:00 до 10:00 [16]

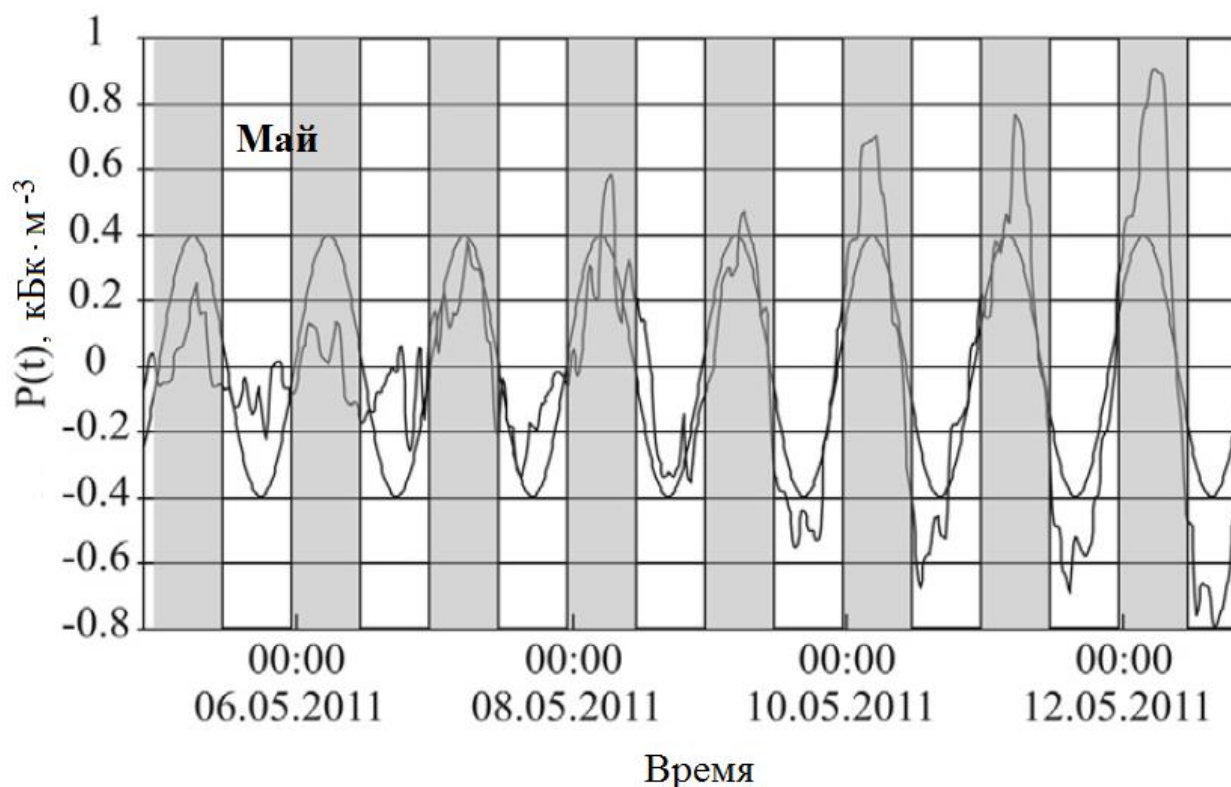


Рисунок 1.6 – Суточная синусоида  $P(t)$  на май 2011 года. Серые столбики соответствуют ночи: с 22:00 до 10:00 [16]

Было отмечено [16], что иногда более высокие значения объемной активности радона были обнаружены в дневное время ниже в ночное время, например, 5 декабря 2010 г. (рисунок 1.5). Это противоположно поведению суточной периодичности, описанной выше. Такие аномалии наблюдались в исследования [16] в любое время суток. Данные аномалии, наиболее вероятно, связаны с климатическими явлениями: ливневыми осадками или ураганами.

Различия объемной активности почвенного радона днем и ночью обусловлены динамикой турбулентной диффузии. В безветренную ночь стабильная температурная инверсия формирует и останавливает турбулентную диффузию в пограничном слое почвы. В этом случае поток радона из почвы уменьшается, а концентрация газа радона в почве поднимается вверх. После восхода солнца это устойчивая система исчезает, и турбулентная диффузия способствует повышенному потоку радона из почвы [16].

### 1.2.2 Долгосрочный изменение: сезонные вариации радона в почве

Временные ряды средних концентраций почвенного радона и их стандартных отклонений для глубины 0,5 м и 1 м [9] приведены на рисунке 1.7. При сопоставлении данных 1997 было показано, что концентрация радона определяемая на заданной глубине сильно коррелирует с предыдущим наблюдением в 1998 году.

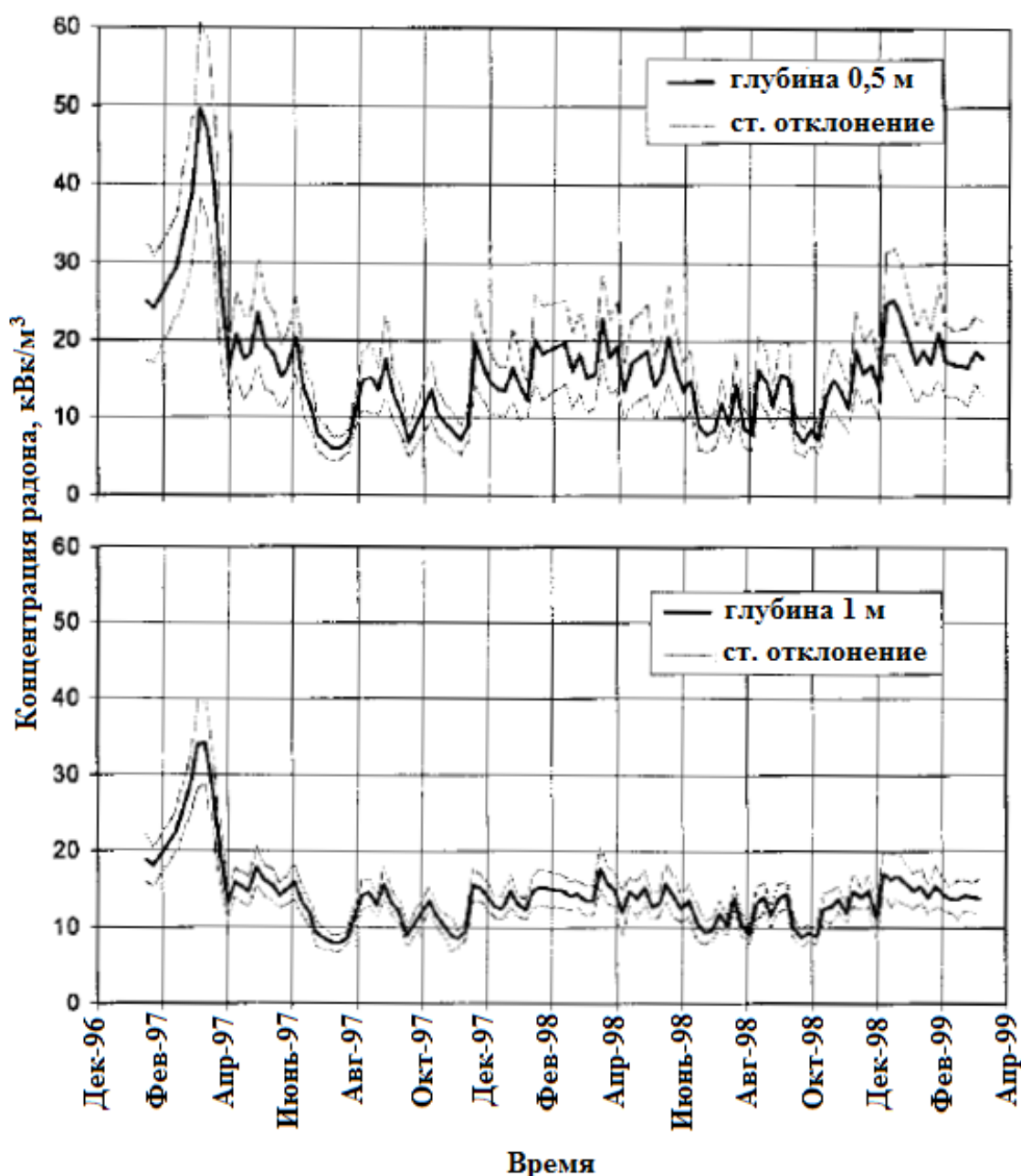


Рисунок 1.7 – Временные ряды почвенной концентрации  $^{222}\text{Rn}$  на глубинах 0,5 м и 1 м с декабря 1996 года по март 1999 года [9]



Результаты работы [9] показали, что определение концентрации почвенного радона один раз в произвольную неделю года может привести к завышенному результату или недооценке, по сравнению со значениями получаемыми в результате долгосрочной оценки средней концентрации радона (т.е.  $16,2 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-3}$  на глубине 0,5 м и  $14,1 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-3}$  на глубине 1 м). Коэффициент отличия может достигать до четырех. Принимая коэффициент вариации (К.В) в качестве меры изменчивости, изменения во времени на экспериментальной площадке 20 м x 20 м в 1997 году характеризуются К.В. равным 55% на глубине 0,5 м и 36% на глубине 1,0 м, а в 1998 году К.В. только 31% и 17% на соответствующих глубинах.

В среднем в работе [9], на всех позициях выборки в области тестирования и почти во все всегда концентрации радона в глубине 0,5 м была значительно выше, чем на глубине 1 м, в отличие от теорий и других полевых исследований. Существует все основания полагать, что в основном за такое поведение отвечают глубина профиля  $^{226}\text{Ra}$  в сочетании с изменением погодных условий и состоянием почвы, то есть концентрация  $^{226}\text{Ra}$  до около  $100 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  в слое почвенного покрова и низкая концентрация (около  $25 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) на глубине. Это предположение подтверждается наблюдением мерзлого грунта в периоды сильно повышенных уровней радона почвы на глубине 0,5 м, а также на глубине 1 м.

Из-за замерзшего почвенного покрова, радон не может легко перейти в атмосферу и увеличивает концентрацию почвенного радона на обеих глубинах. В связи с более высоким содержанием  $^{226}\text{Ra}$  в верхнем слое почвы повышенные концентрации радона следует ожидать вблизи 0,5 м. Следует отметить, что увеличение концентрации в июле каждого года (рисунок 1.8) совпадает с высоким содержанием влаги в почве, в то время как низкие концентрации наблюдается в апреле - мае и августе - сентябре совпадают с сухими периодами.

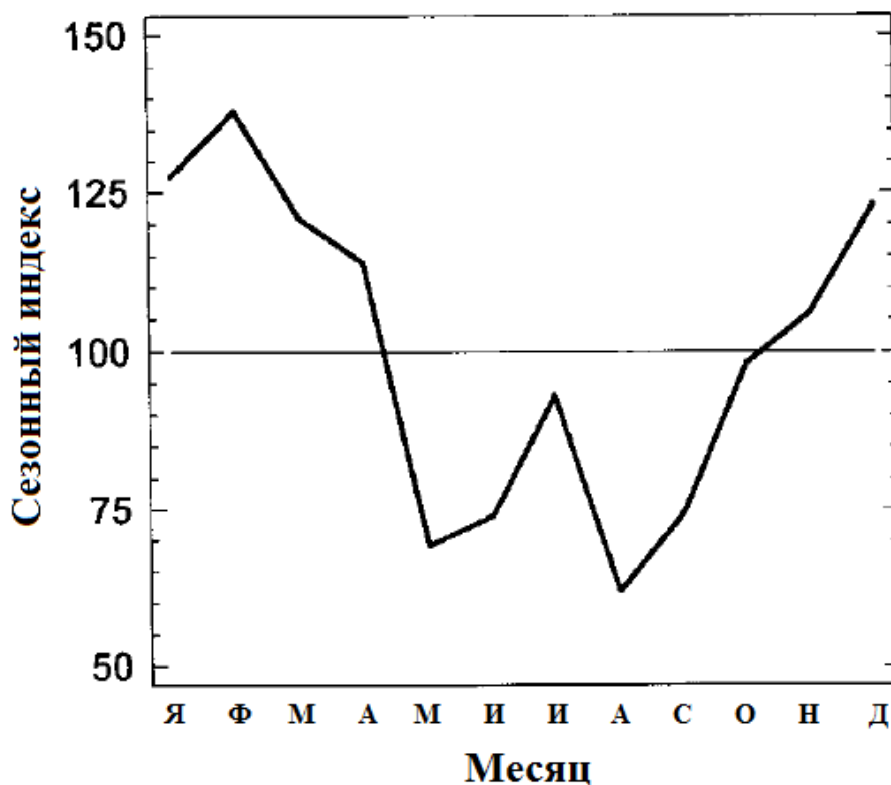


Рисунок 1.8 – Средний сезонный ход (сезонный индекс) концентрации почвенного  $^{222}\text{Rn}$  на глубине 0,5 м на экспериментальной площадке [9]

Временное изменение концентрации радона в почве была измерена с помощью детектора Varasol, расположенного на глубине 85 см, с октября 2001 года до сентября 2004 года на территории кампуса Университета Аристотеля в Салониках на севере Греции [17]. На рисунке 1.9 представлены средние месячные значения концентрации радона в почве (в  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ). Неопределенность каждого измерения составляет менее 2%. Среднее значение всех измерений представлена пунктирной линией. На рисунке 1.9 видно, что максимальные значения приходятся на зимние месяцы и минимальные значения – на летние месяцы.

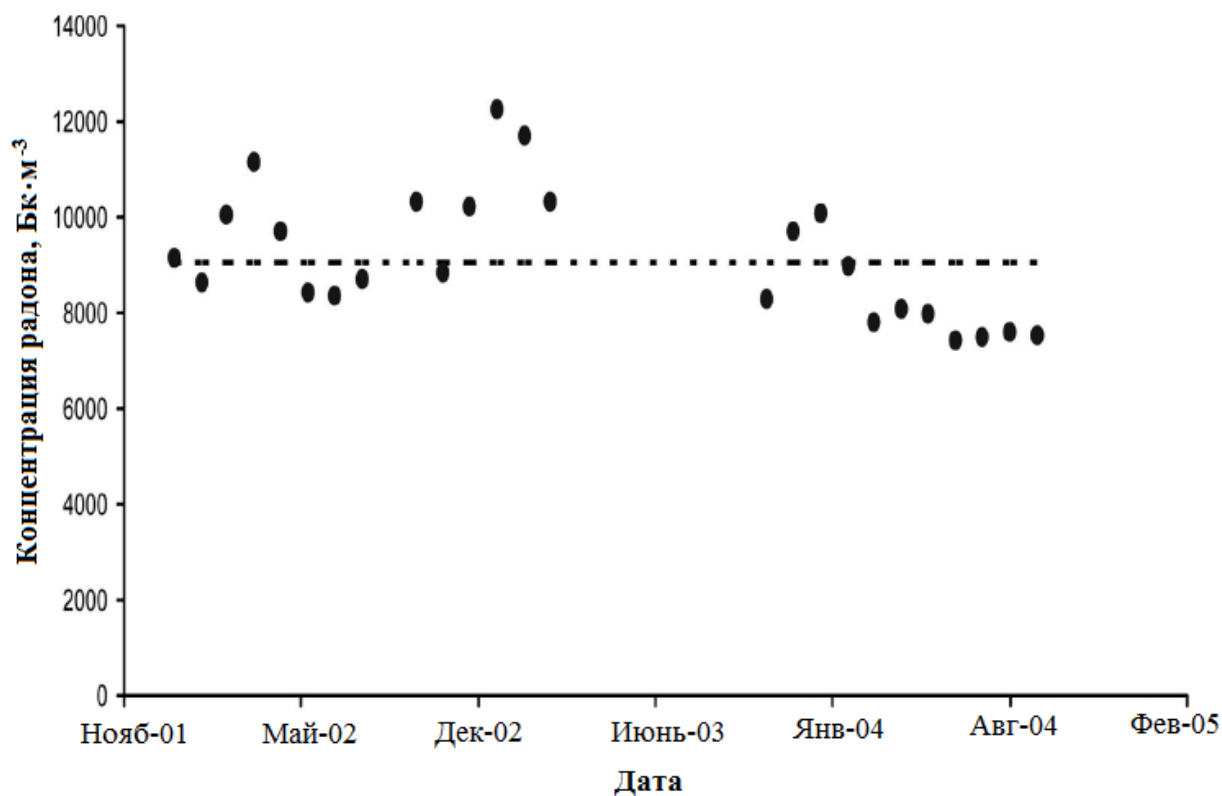


Рисунок 1.9 – Средние месячные значения концентрации радона в газе почвы, измеренные с помощью детектора Barrisol, расположенного на глубине 85 см.

Пунктирная линия дает среднее значение всех измерений [17]

В работе [16] объемная активность радона в почве была исследована в городском районе Будапешта в Pest Plane. Подстилающей породой в месте экспериментальных измерений является речной песок. На песчано-гравийной почве в месте измерений располагается сад. Уровень грунтовых вод не оказывает никакого влияния на временные колебания объемной активности радона в почвенном воздухе. Объемную активность радона ( $C_{\text{почвRn}}$ ) измеряли RAD7 Electronic Radon Detector в сочетании с почвенным зондом, качая воздух через осушительную трубку с глубины 0,8 м. В работе [16] подробно описаны материалы и методы исследования. График ежемесячных недельных наборов данных в период с августа 2010 года по июль 2011 года показывает четкое разделение летних и зимних сезонов на ежемесячной основе (рисунок 1.10). Более низкие значения объемной активности радона были зафиксированы в августе, сентябре 2010 года и в мае, июне, июле 2011 года в летний период, а

более высокие значения объемной активности радона – в октябре, ноябре, декабре 2010 года и в январе, феврале, марте 2011 года в зимний период. Это подтверждает сезонность  $C_{\text{почвRn}}$  на данной экспериментальной площадке.

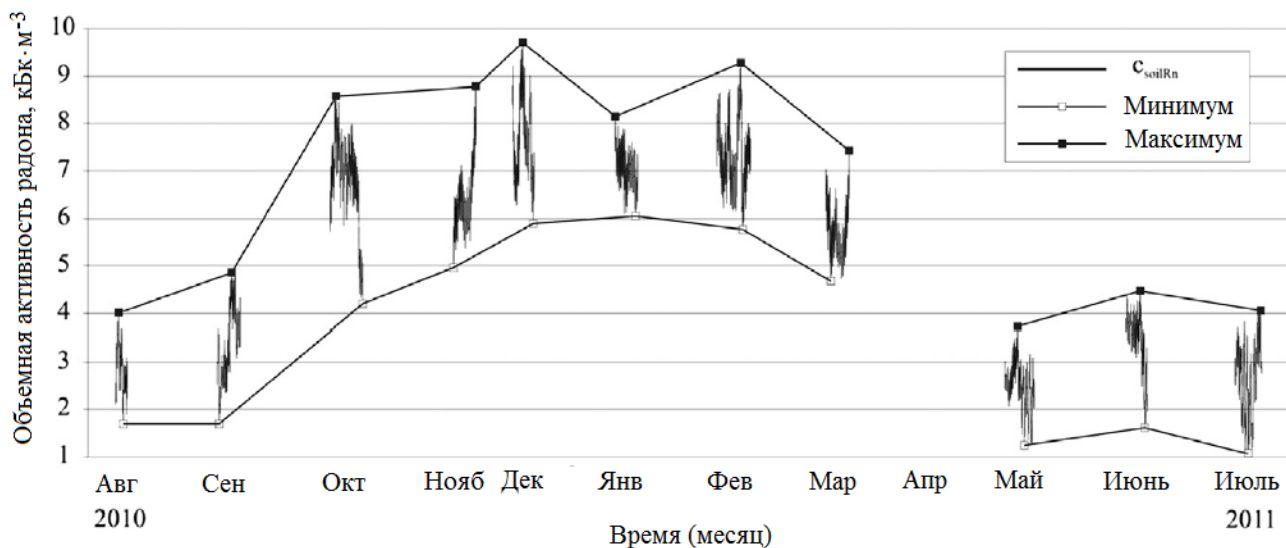


Рисунок 1.10 – Временные ряды значений объемной активности радона ( $C_{\text{почвRn}}$ ), наблюдаемые в течение недели 11 месяцев и минимальные и максимальные значения, которые показывают диапазон каждого ежемесячного недельного набора данных [16]

Наблюдаемая на рисунке 1.10 сезонность может быть объяснена тем, что летом почвенный газ радон может легко перемещаться в сухой, потрескавшейся, пористой почве и может выходить на открытый воздух, в то время как в зимний период почва уплотняется снегом, и замороженный верхний слой почвы мешает выходу радона в открытое пространство. Также, повышенное содержание влаги в почве в зимний период вызывает более высокую эманацию радона, это приводит к более высоким концентрациям радона в почвенном воздухе [16].

Во время измерений [16] средняя температура воздуха на участке составляла 12,4 °С в среднем, 19,2 °С летом и 5,7 °С в зимний период. Среднее содержание влаги в почве 81,6% в среднем, 61,6% летом и 93,5% в зимний

период. Причиной сильной сезонности  $C_{\text{почвRn}}$  также является сезонное изменение температуры и влажности [16,20].

Наибольший разброс данных [16] происходит в августе и сентябре 2010 года и в мае, июне, июле в 2011 г. Это летние месяцы, указанные выше. Возможной причиной этого является сильные вариации значений параметров почвы и суточные изменения температуры. Коэффициент вариации ниже в зимние месяцы, в декабре 2010 года. Погодные условия, влияющие на характеристики почвы, такие как температура почвы, влажность и поровое давления газа, более изменчивы летом, часто ассоциируется с экстремальными условиями резкого перепада температуры. Коэффициенты вариации для летнего и зимнего периодов соответственно равны 13% и 6%.

Интересно, что не существует очевидного перехода между двумя сезонами при изменении объемной активности почвенного радона от одного состояния к другому, как с точки зрения сезонного уровня (среднее значение) так и вариаций,. Это указывает на то, что почвенный радон контролируется фактором(ами) с определенным(и) порогом(и) [16].

На рисунке 1.11 представлены графики временных рядов объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  и температуры почвы с 22 ноября 2004 по 17 марта 2005 года и с 1 декабря 2005 года по 2 марта 2006 г [19]. Данные, полученные в 2004-2005 годах зимой можно условно разделить на три части: 1) с 22 ноября по 31 декабря, когда постепенное снижение уровня радона в почве совпадает с понижением температуры почвы; 2) с 1 по 19 января, когда уровень радона и температура почвы были низкими с небольшими колебаниями; и 3) с 20 января по 17 марта, когда объемная активность  $^{222}\text{Rn}$  в почвенном газе была низкой, но со случайными высокими значениями при почти постоянной температуре почвы ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Низкий уровень радона почвы в зимний период может быть связано со снежным покровом на земле [19]. Дата, когда город Саппоро был полностью покрыт снегом (затяжные осадки) – 5 декабря 2004 г. С того времени, глубина снежного покрова увеличилась до приблизительно 34 см к

концу года. Температура почвы не соответствовала атмосферной температуре, которая иногда была ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ .

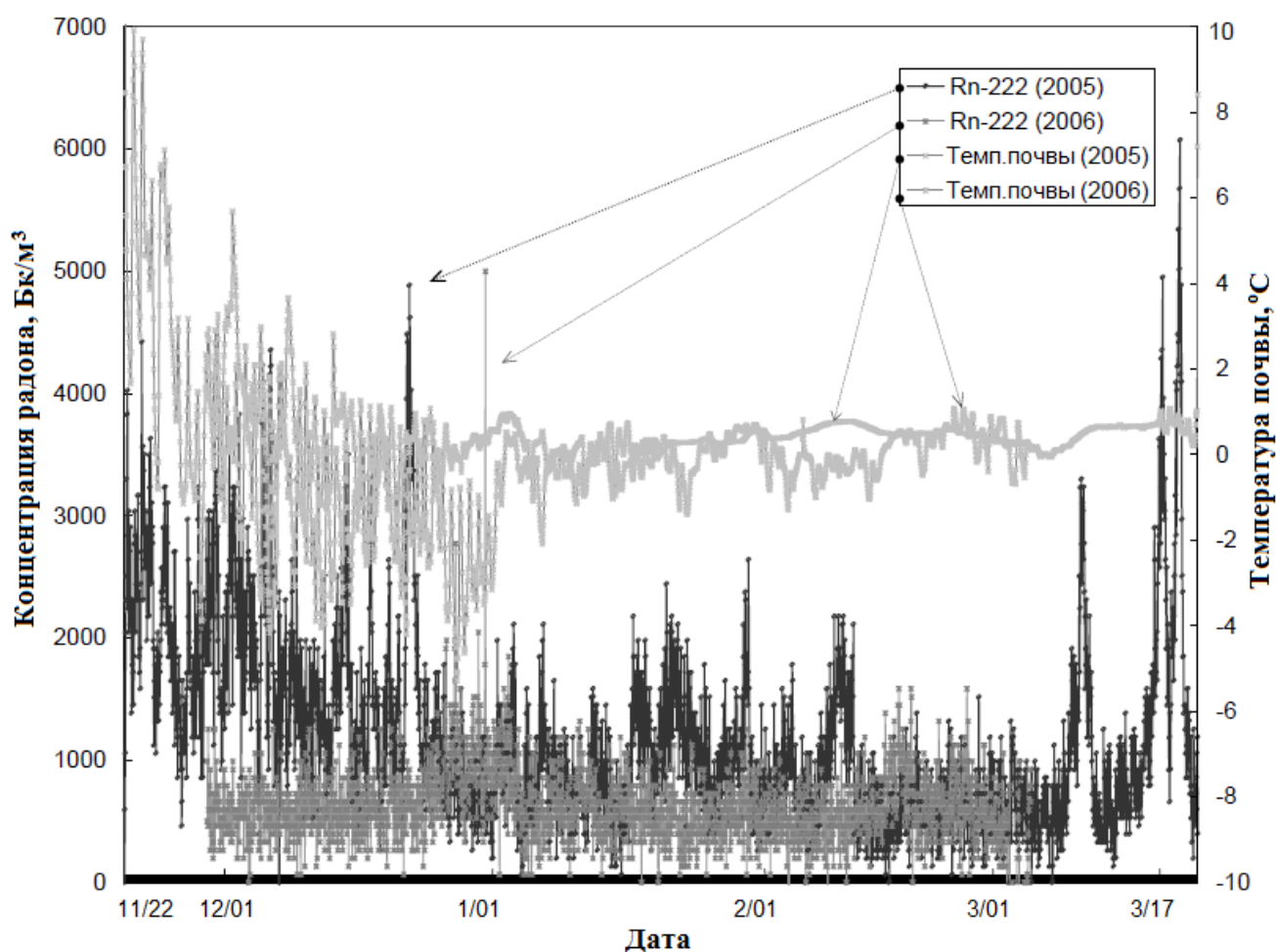


Рисунок 1.11 – Мониторинг концентрации  $^{222}\text{Rn}$  и температуры почвы в течение зимних месяцев с 22 ноября 2004 по 17 марта 2005 года и с 1 декабря 2005 года по 2 марта 2006 года [19]

Диффузия газа  $^{222}\text{Rn}$  из более глубоких участков почвы в атмосферу затруднена густым снежным покровом, и он растворяется в водной фазе, присутствующей в верхней части почвы. Это может способствовать низкой концентрации  $^{222}\text{Rn}$  в почвенном газе в зимний период после затяжного снега на экспериментальной площадке. Увеличенная пористость дает воде заполнить пустые поры, и диффузия радона уменьшается [19]. Как показано на рисунке 1.11, аналогичный результат был получен в течение следующей зимы с

1 декабря 2005 года по 2 марта 2006 года, когда зонд был установлен в почве на глубине 30 см.

Другие исследования показали, возрастающие концентрации почвенного радона в зимний период из-за замерзшего верхнего слоя почвы [9]. В противоположность этому, в исследовании [19] демонстрируется низкие концентрации почвы радона в зимний период, но, вероятно, главным фактором, объясняющим данное поведение  $^{222}\text{Rn}$ , является различные температуры почвы, так как верхний слой почвы в Саппоро никогда не был заморожен, там всегда наблюдалось таяния снега после затяжных осадков. Это также способствует относительно постоянной температуре почвы ( $0^{\circ}\text{C}$ ) в смеси снега и талой воды в течение зимних месяцев [19].

Что касается пиков почвенного  $^{222}\text{Rn}$ , появляющихся на рисунке 1.11, некоторые из них могут быть объяснены с учетом изменений атмосферного давления в почве, сопровождавшимися изменениями температуры почвы [19].

## 2 Объект и методы исследования

Работы по исследованию динамики радиоактивного почвенного газа радона, в основном, в целях построения краткосрочных прогнозов землетрясений, проводятся во многих странах и не одно десятилетие. Результаты этих работ хорошо отражены в научной литературе. В связи с этим, было разработано множество методов измерения объемной активности радона в почвенном воздухе, разделяющихся, в первую очередь, по регистрируемому изотопу (или смеси): 1) непосредственно по радону; 2) по смеси изотопов радона и аэрозольных дочерних продуктов их распада; 3) только по дочерним продуктам распада (ДПР). Различаются методы измерения и по виду регистрируемого ионизирующего излучения –  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ .

Методы измерения ОА радона по длительности одного измерения можно разделить на три группы:

- Интегральные – длительность одного измерения от нескольких дней до месяца. Например: статистический метод с использованием трековых детекторов.
- Квазиинтегральные – от одного до нескольких дней. Например: динамический метод с использованием электретных детекторов; статистический метод с использованием угольных адсорбентов.
- Мгновенные – от десятков минут до нескольких часов. Например: статистический метод с использованием сцинтилляционного, полупроводникового детекторов.

Также все разработанные методы можно классифицировать, в зависимости от целей применения их результатов:

- для однократных измерений, цель которых оценка радоноопасности территорий в радиоэкологии, строительстве, геоэкологии;
- для длительных (непрерывных) измерений, цель которых мониторинг, научные исследования.



Для исследования особенностей переноса радона в почвенном воздухе необходимо использовать метод, позволяющий проводить долгосрочные измерения. Методы, используемые для длительных измерений должны позволять получать временные ряды данных с высокой частотой дискретизации. Поэтому для данных целей используют автоматизированные накопительные камеры в сочетании с одним из мгновенных методов.

В исследованиях динамики почвенного газа радона наиболее распространены методы измерения по  $\alpha$ -излучению и откачкой газа из скважин, однако они довольно сложные и дорогостоящие, поскольку требуют отделения радона от газовой-аэрозольной смеси. Схема данного метода представлена на рисунке 2.1.

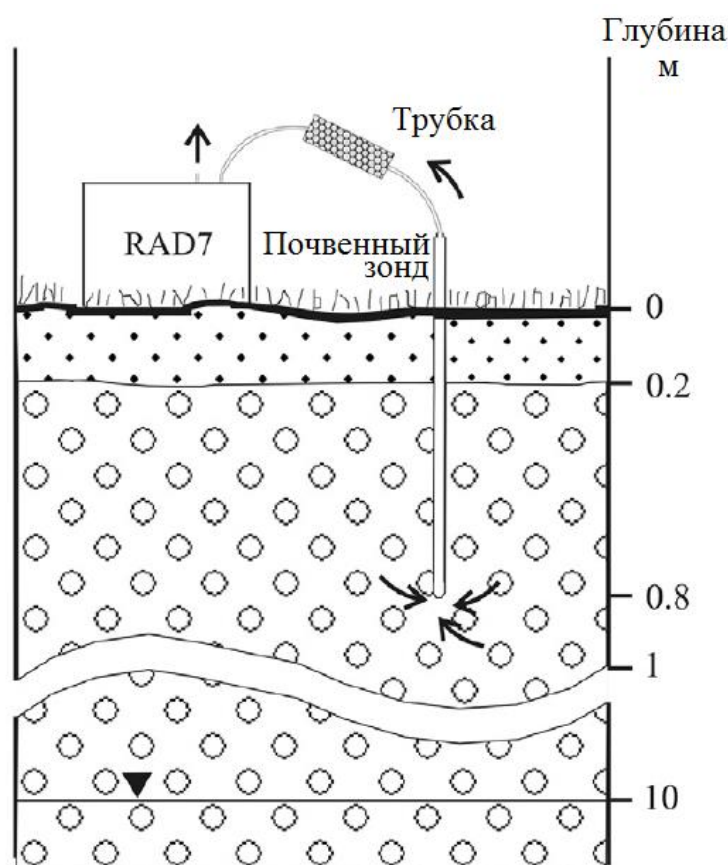


Рисунок 2.1 – Схема измерения ОА радона путем откачки из скважины [16]

Менее распространены, однако более удобны для длительного непрерывного мониторинга почвенного радона методы измерения по  $\beta$ - и/или  $\gamma$ -

излучению ДПР непосредственно в скважинах. К тому же они на 1-2 порядка дешевле, что позволяет существенно увеличить количество пунктов одновременного мониторинга и расширить тем самым сеть наблюдений. Именно эти методы уже не одно десятилетие используют на станциях мониторинга по всему миру в целях прогноза землетрясений. Главным их достоинством является то, что они позволяют в квазиреальном масштабе получать, обрабатывать и анализировать данные.

Детекторы  $\alpha$ -,  $\beta$ - или  $\gamma$ -излучений, опускают в скважину на определенную глубину, при этом не нарушаются процессы переноса газа в грунте, в отличие от методов с принудительной откачкой воздуха из скважины для последующего анализа.

Перевод скорости счета импульсов в величину ОА радона осуществляют посредством умножения на поправочный коэффициент, определяемый, обычно, косвенным методом сравнения результатов с аттестованными радиометрами.

Данный метод реализован на территории Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений (ТОРИИ). Комплекс, установленный на экспериментальной площадке ИМКЭС-ТПУ, позволяет производить одновременный мониторинг характеристик разных видов излучений на разных высотах и глубинах.

Таким образом, объектом исследования выступили данные мониторинга плотности потока ионизирующего излучения в городе Томске на экспериментальной площадке ТОРИИ.

Для мониторинга почвенного радона использовались высокочувствительные интеллектуальные блоки детектирования БДПА-01 и БДПБ-01 (АТОМТЕХ, Беларусь), которые были установлены на экспериментальной площадке ТОРИИ в отдельных скважинах глубиной 0,1 м, 0,2 м, 0,5 м и 1 м, согласно рисунку 3.1.

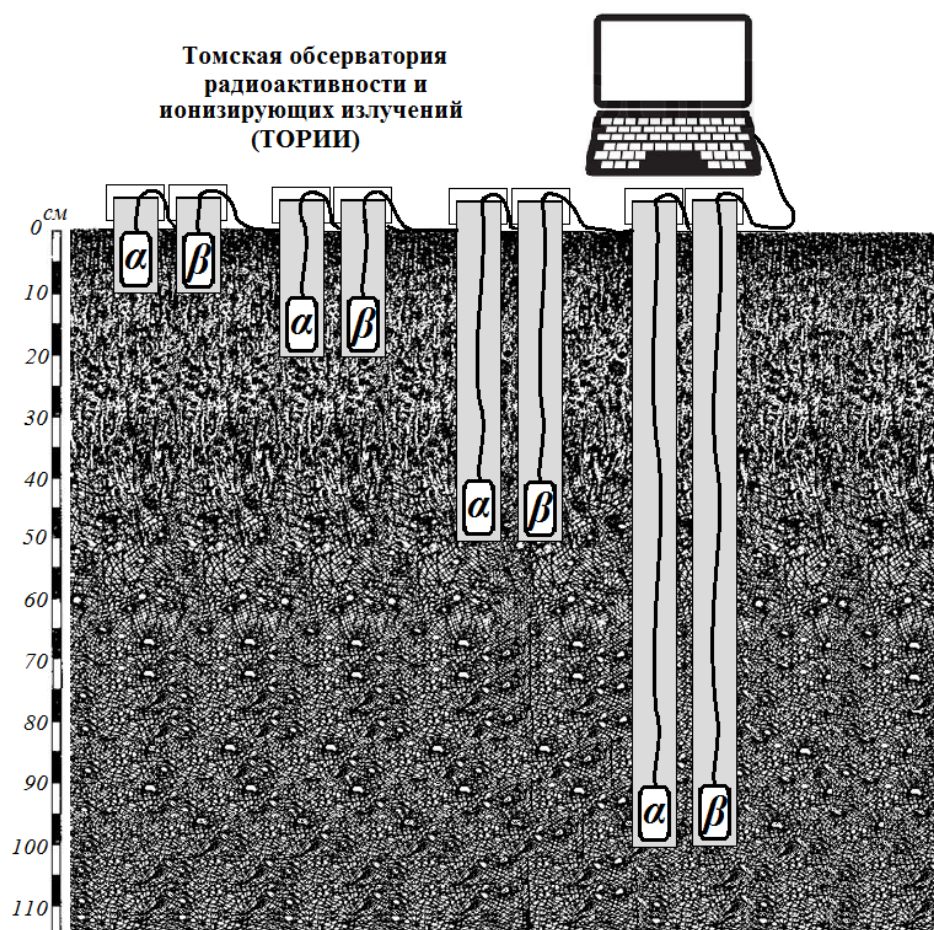


Рисунок 2.2 – Схема расположения датчиков

### **3 Исследование пространственной и временной динамики ОА радона в грунте**

Объектом исследования выступили данные мониторинга плотности потока ионизирующего излучения в городе Томске на экспериментальной площадке Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений (ТОРИИ).

Данные, полученные методом прямой регистрации в грунте (скважине)  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, из имп/с были переведены в единицы измерения объемной активности (ОА) радона ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ ) путем умножения на поправочные коэффициенты. Калибровка детекторов ионизирующих излучений, используемых для мониторинга почвенного радона, описана в работе [23].

#### **3.1 Исследование суточных вариаций ОА радона в грунте**

##### **3.1.1 Выявленные закономерности в суточной динамике**

В суточные вариации, как известно, вносят существенный вклад изменения температуры и давления, а также осадки.

На рисунке 3.2 представлены данные ОА радона, полученные в августе 2010 года. Суточные вариации, наблюдаемые в этот период, хорошо коррелируют с изменениями температуры воздуха.

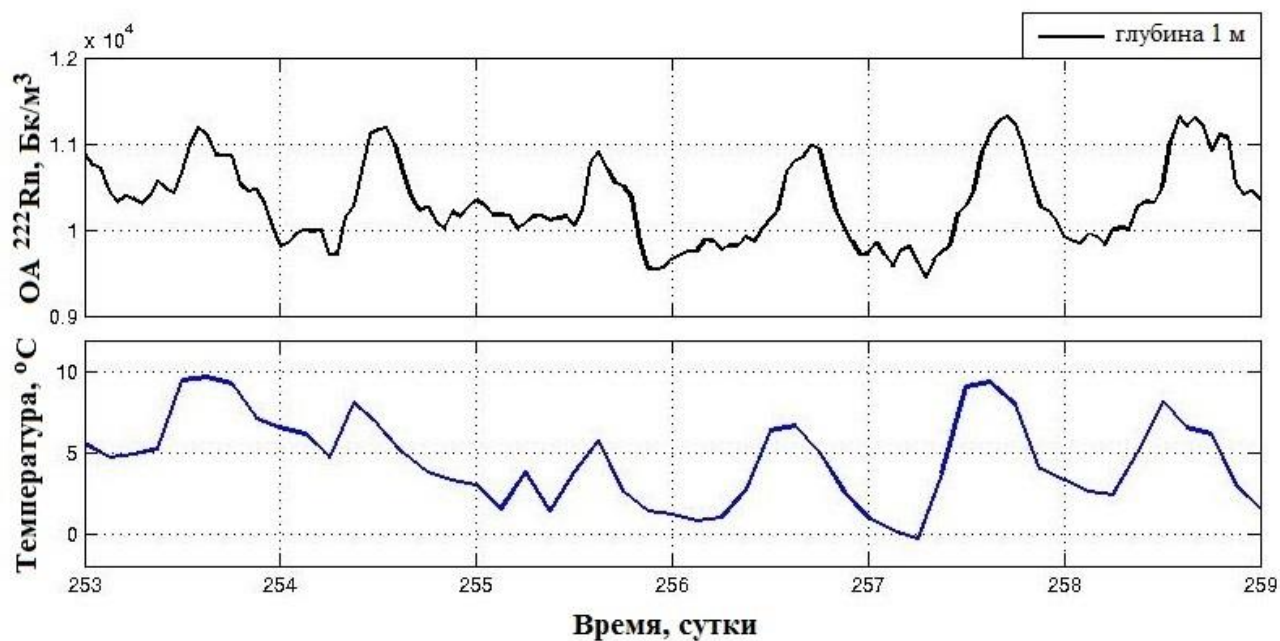


Рисунок 3.1 – Почасовое изменение объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  в почвенном газе на глубине 1 м (лето 2010) и температура воздуха (разрешение 3 ч)

На рисунке 3.2 видно, что максимум ОА радона приходится на дневное (послеобеденное) время, а минимум наблюдается ночью. Это согласуется с результатами работы [11] и противоречит [8]. Хорошая корреляция между ОА радона и температурой в воздухе подтверждается данными 2011 года, представленными на рисунке 3.2.

Стоит обратить внимание на сдвиг максимумов (минимумов) в ОА радона относительно температуры, наблюдаемый на всех представленных данных суточных вариаций. Выявлено, что максимум ОА радона на глубине 0,5 м наступает на  $\approx 2,5$  ч позже, чем максимум атмосферной температуры, а на глубине 1 м – на  $\approx 4,5$  ч позже. Это позволяет сказать о том, что диффузионно-адвективная модель переноса радона в грунте требует доработки в части скорости адвекции, которую нельзя представлять постоянным коэффициентом. Скорость адвекции следует описывать функцией от глубины грунта и времени. Такое представление скорости адвекции позволит описывать влияние температуры и теплопроводности грунта на ОА радона в суточном и годовом ходе. Однако, для численного моделирования структуры и вариаций переноса

радона в грунте, необходимость знать и контролировать метеорологические величины (давление, температура, скорость ветра, характеристики турбулентности атмосферы и осадков и пр.).

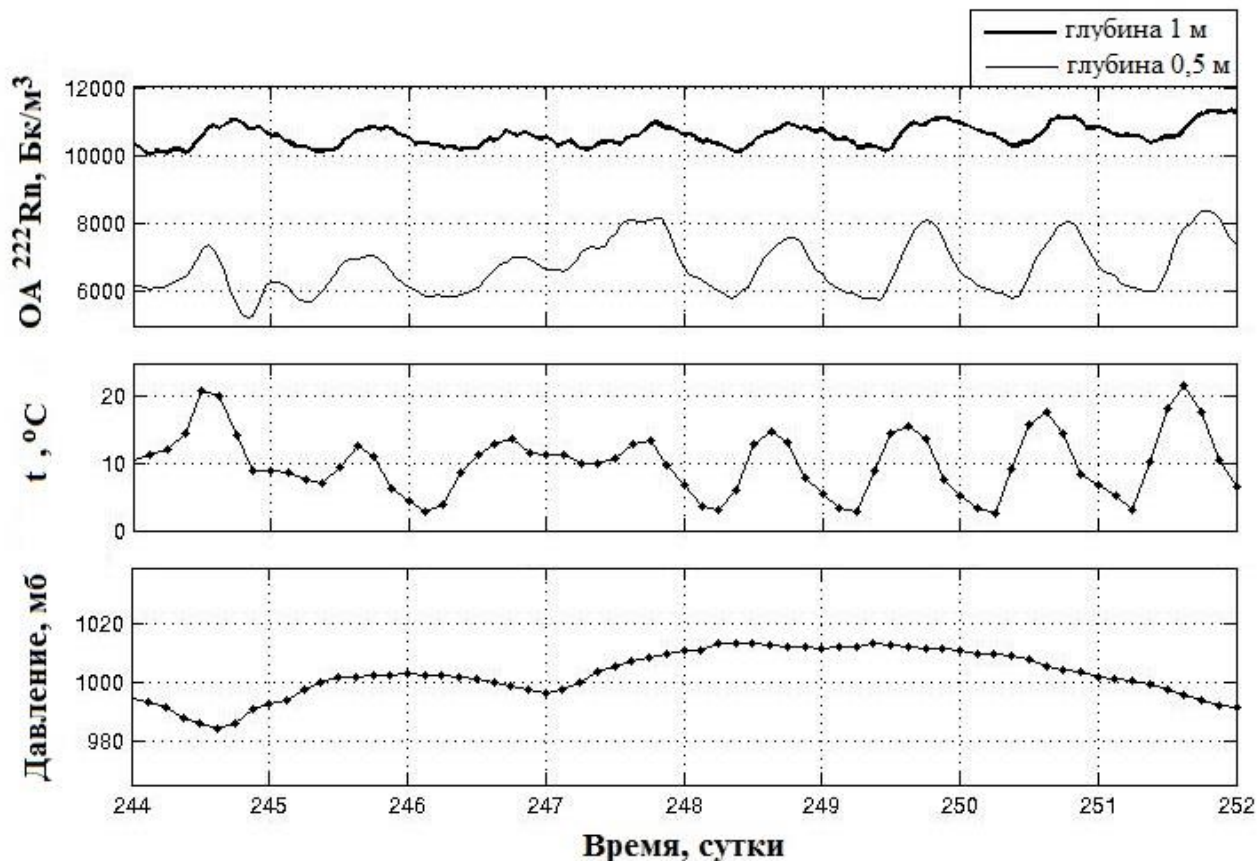


Рисунок 3.2 – Почасовое изменение объемной активности <sup>222</sup>Rn в почвенном газе на глубинах 1 м и 0,5 м (лето 2011). Температура воздуха и атмосферное давление (разрешение 3 ч)

Результаты регрессионного анализа представлены на рисунке 3.3. Коэффициент корреляции для глубины 0,5 м составил 0,84, а для глубины 1 м 0,79. Так, если полагать, что вариации температуры единственный источник вариаций радонового поля, летом 2011 года (промежуток времени представленный на рисунке 3.2) увеличение температуры на один градус должно сопровождаться увеличением ОА радона глубине 0,5 м на 0,13 кБк/м³ (с запаздыванием 2,5 ч), а на глубине 1 м – на 0,5 кБк/м³ (с запаздыванием 4,5 ч).

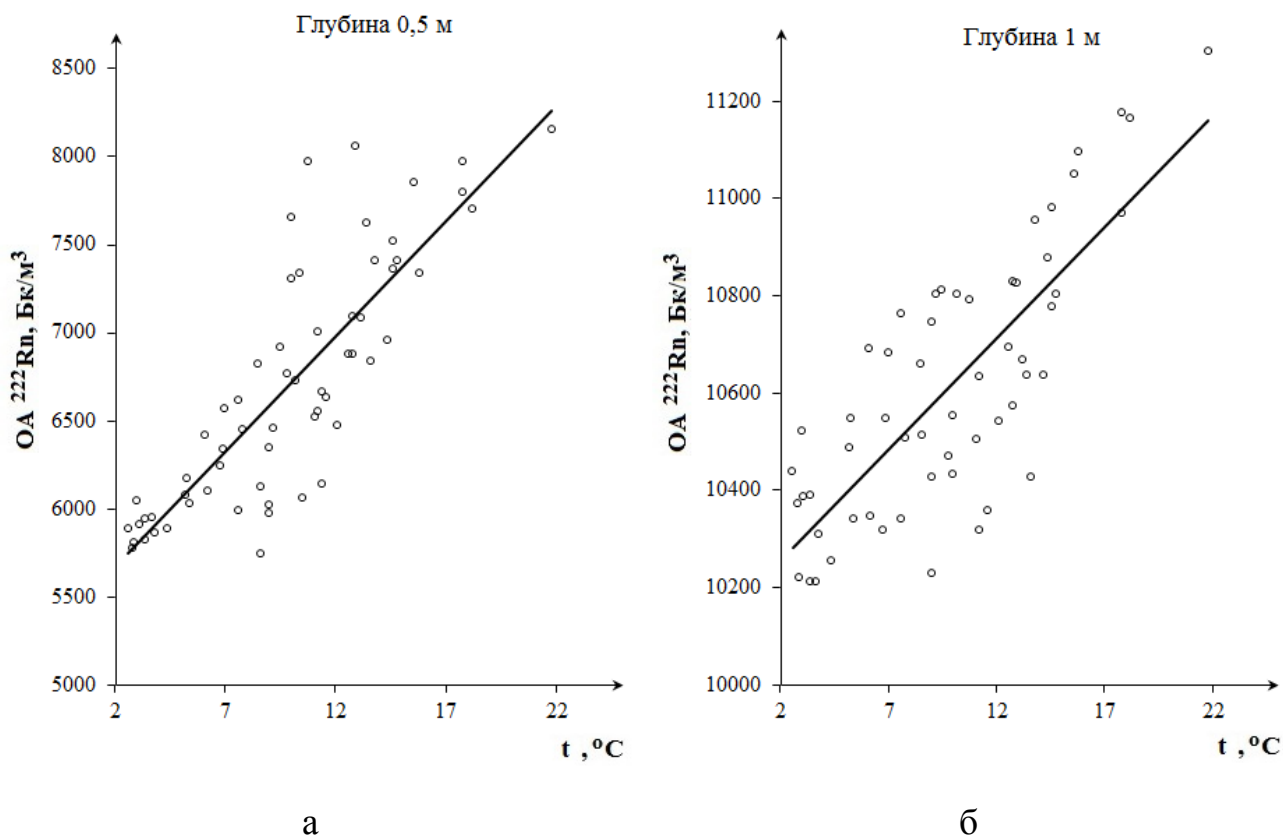


Рисунок 3.3 – Уровень объемной активности радона в почве в зависимости от температуры воздуха (а) на глубине 0,5 м и (б) на глубине 1 м

Данные на разных глубинах позволяют провести сравнение амплитуд суточных вариаций ОА радона. Амплитуда колебаний на глубине 0,5 м заметно больше, чем на глубине 1 м. Разность между максимальным и минимальным значениями ОА радона в сутках  $\Delta OA = OA_{\max} - OA_{\min}$  в данный период: для глубины 1 м  $\overline{\Delta OA} \approx 1$  кБк/м<sup>3</sup>, а для глубины 0,5 м  $\overline{\Delta OA} \approx 2$  кБк/м<sup>3</sup>. Этого следовало ожидать, если предполагать, что основным влияющим фактором является температура.

Как видно на рисунке 3.2, изменения атмосферного давления не отражают суточных вариаций ОА радона в почве.

Авторы работы [11] в своих исследованиях, говорили о сильной зависимости уровня почвенного радона с температурой почвы (которая в свою очередь зависит от температуры воздуха). На рисунке 3.4 показаны временные

ряды ОА почвенного радона вместе со значениями температуры почвы, измеренными на глубинах 0,1 м и 0,2 м в летний период 2012 года.

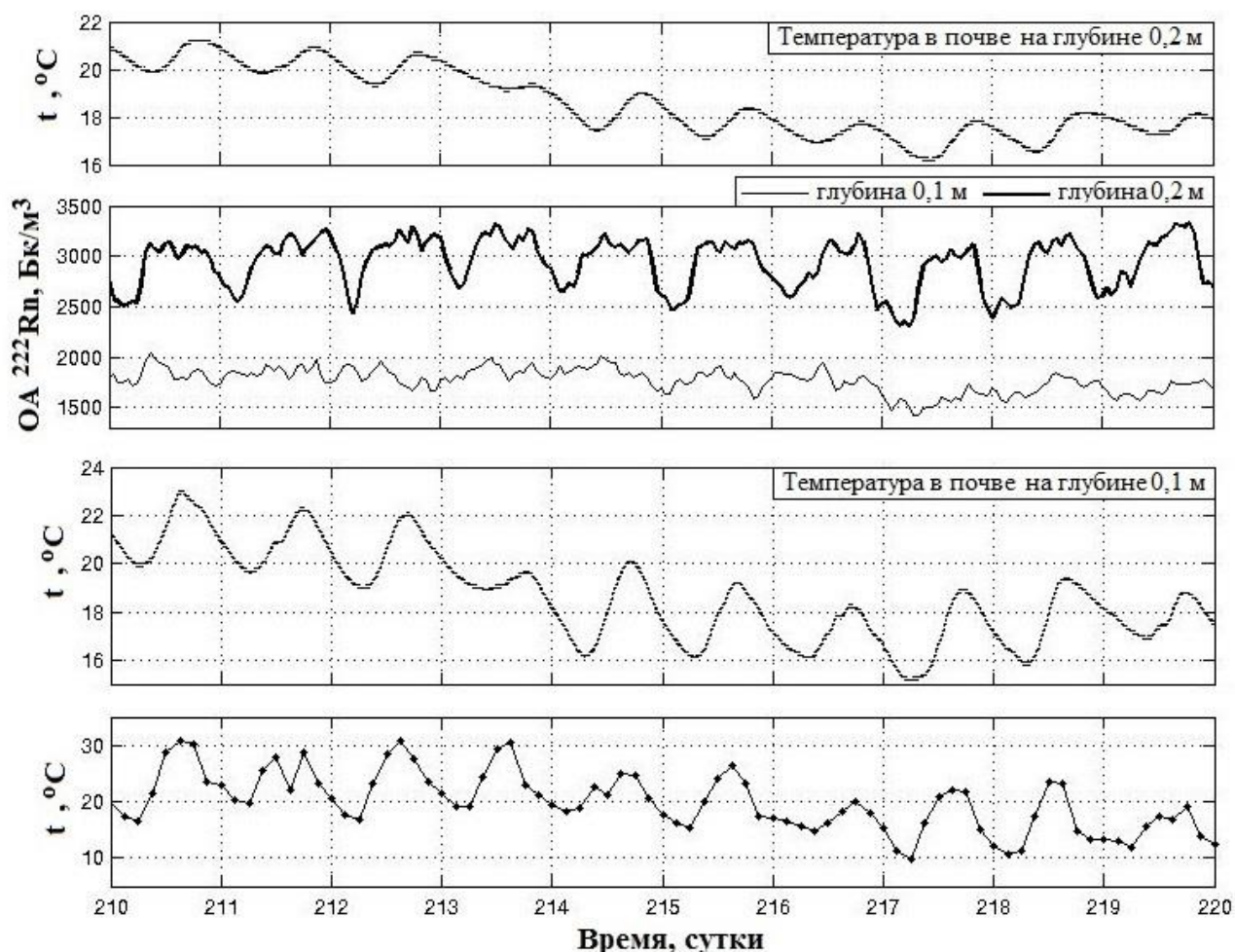


Рисунок 3.4 – Суточные вариации объемной активности <sup>222</sup>Rn на глубинах 0,1 м и 0,2 м. Температура воздуха и температура почвы на глубинах 0,1 м и 0,2 м (лето 2012)

Температура в почве на глубинах 0,1 м и 0,2 м испытывает суточные вариации, согласованные с вариациями ОА радона, однако, следует заметить, что вариации на глубине 0,2 м имеют большую амплитуду, чем на глубине 0,1 м, хотя амплитуда колебаний температуры почвы на глубине 0,2 м меньше, чем на глубине 0,1 м. На глубине 0,5 м суточных вариаций температуры почвы не было обнаружено (рисунок 3.5). Зато выраженные колебания ОА радона на глубине 0,5 м (также как и на глубинах 0,1 м и 0,2 м на рисунке 3.4)



коррелируют с изменениями температуры воздуха. Надо отметить что исследования [11] проводились на небольшой глубине 0,1 м, где еще наблюдаются суточные вариации температуры.

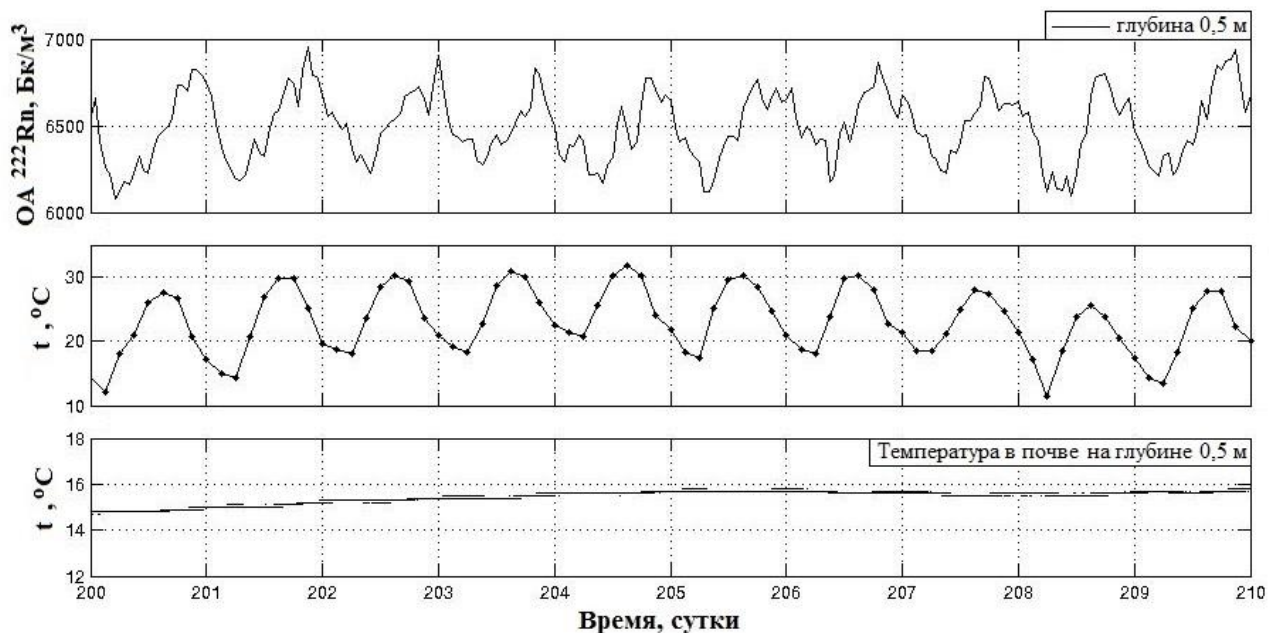


Рисунок 3.5 - Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубине 0,5 м. Температура воздуха и температура почвы на глубине 0,5 м (лето 2012)

Летом 2013 года датчики работали на всех глубинах: 0,1 м, 0,2 м, 0,5 м и 1 м, данные представлены на рисунках 3.6 и 3.7. На рисунке 3.6 наблюдается схожая с рисунком 3.4 картина: большие колебания температуры почвы на глубине 0,1 м не приводят к большим колебаниям ОА радона на этой глубине. Было отмечено, что увеличение средней температуры почвы на глубине 0,2 м не сопровождается явным увеличением средней ОА радона.

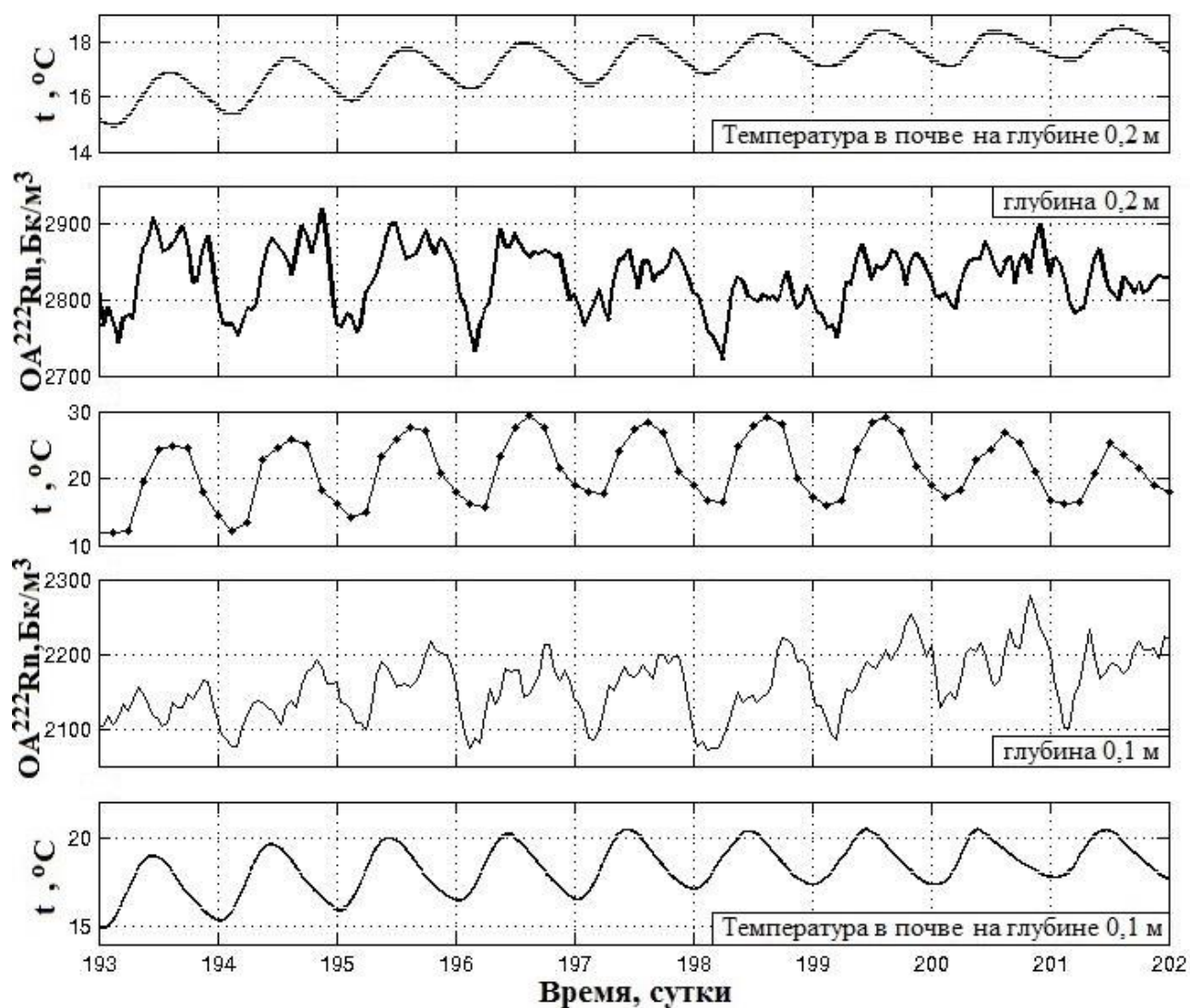


Рисунок 3.6 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубинах 0,1 м и 0,2 м. Температура воздуха и температура почвы на глубинах 0,1 м и 0,2 м (лето 2013)

На рисунке 3.7 вариации температуры в почве почти не заметны. Постепенное увеличение средней температуры почвы на глубине 1 м и 0,5 м не приводит к существенным изменениям уровня радона на данных глубинах.

Суточные вариации ОА радона наблюдались ежегодно с 2010 по 2013 на всех глубинах. Данные вариации характерны для летнего периода. Осадки и резкие изменения атмосферного давления могут существенно повлиять на суточный ход ОА радона.

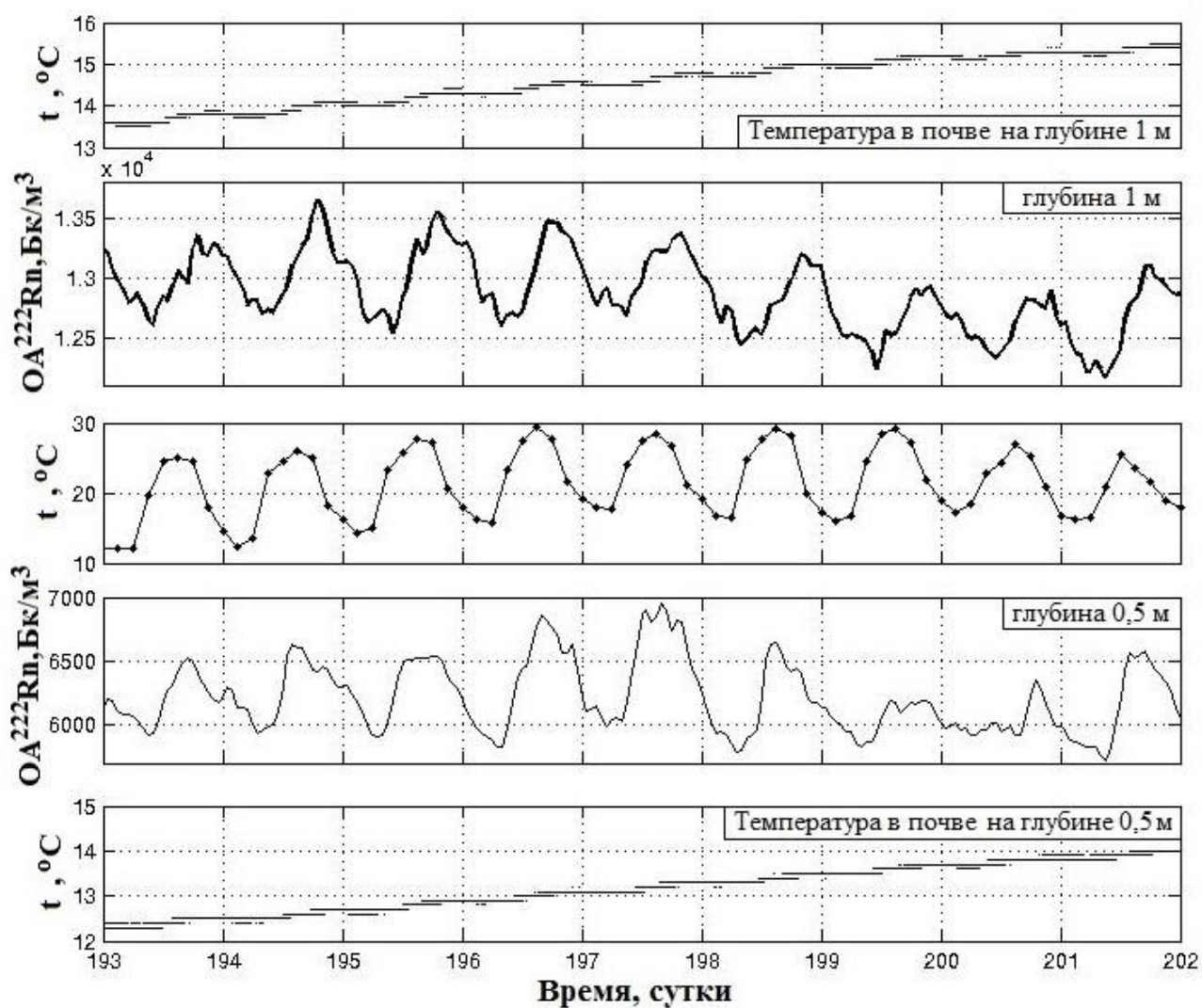


Рисунок 3.7 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубинах 0,5 м и 1 м. Температура воздуха и температура почвы на глубинах 0,5 м и 1 м (лето 2013)

### 3.1.2 Влияющие факторы

В результате анализа экспериментальных данных выявлено, что основным влияющим фактором суточных вариаций почвенного радона в летний период является температура воздуха. Однако литературные данные говорят о том, что осадки, снежный покров и резкие изменения атмосферного давления могут существенно повлиять на суточный ход ОА радона.

Экспериментальные данные, полученные на площадке ТОРИИ, подтверждают это. Ярким примером этого может послужить резкий скачок ОА радона на глубине 1 м, зафиксированный летом 2011 года. Анализ временных рядов мониторинга метеопараметров показал, что причиной аномального поведения ОА радона послужили осадки. На рисунке 3.8 видно, что именно ливень (193-194 день) спровоцировал скачок ОА радона в почве.

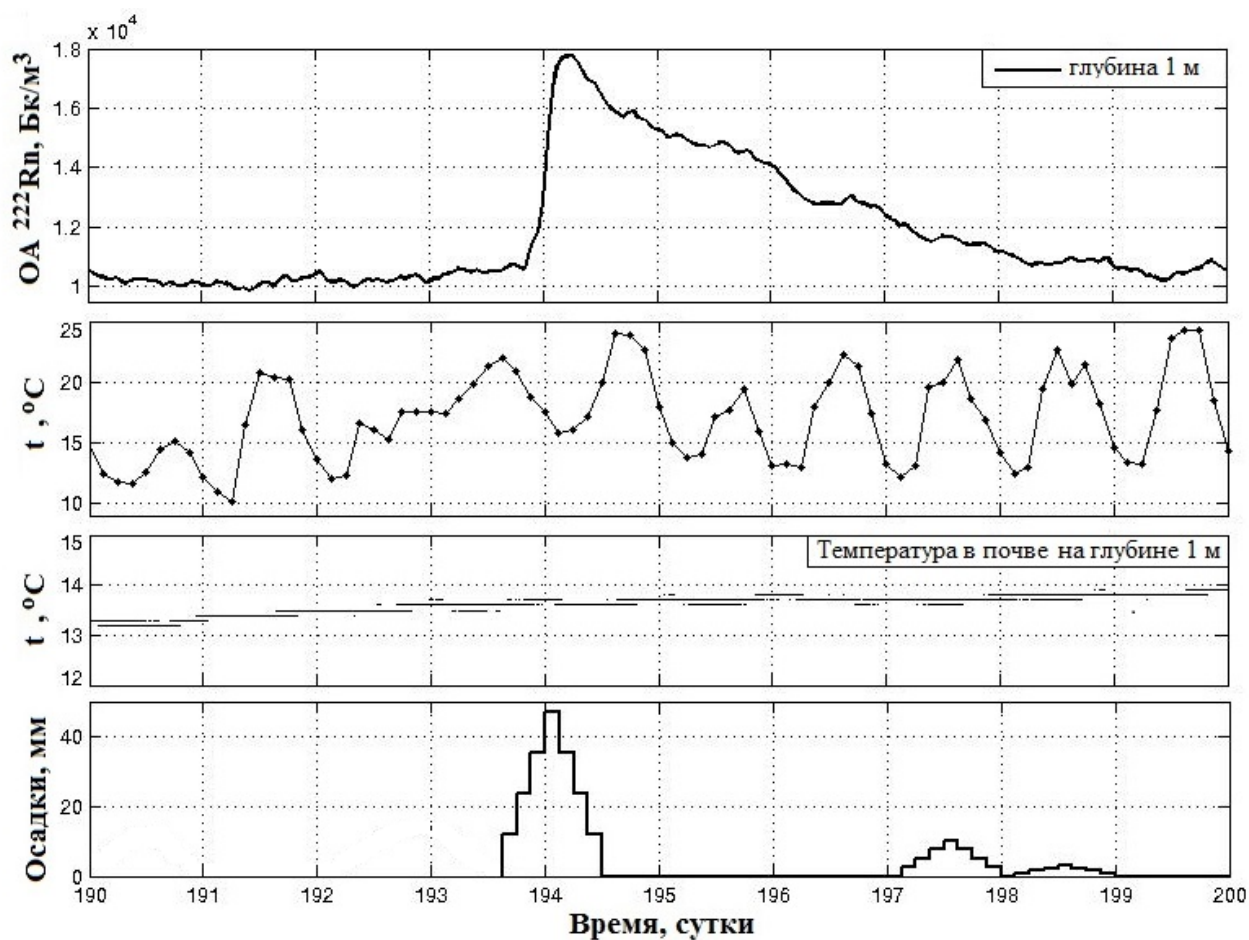


Рисунок 3.8 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубине 1 м (лето 2011)

Такое поведение радона можно объяснить тем, что проливной дождь быстро заполняет поры грунта, так что газообмена между почвенным и атмосферным воздухом существенно снижается. Таким образом, запирающий верхний влажный слой почвы с заполненными водой порами способствует повышению содержания радона в почвенном воздухе на глубине 1 м.

Дожди меньшей интенсивности также меняют суточный ход ОА радона. Это можно наблюдать на рисунках 3.9-3.11. Изменения в динамике ОА радона в этих случаях не так значительны, как в предыдущем случае. На рисунке 3.9 видно, что относительно небольшие дожди, наблюдаемые осенью 2012 года, сопровождаются изменениями суточного хода атмосферной температуры. Оба эти фактора связаны между собой и влияют на динамику почвенного радона.

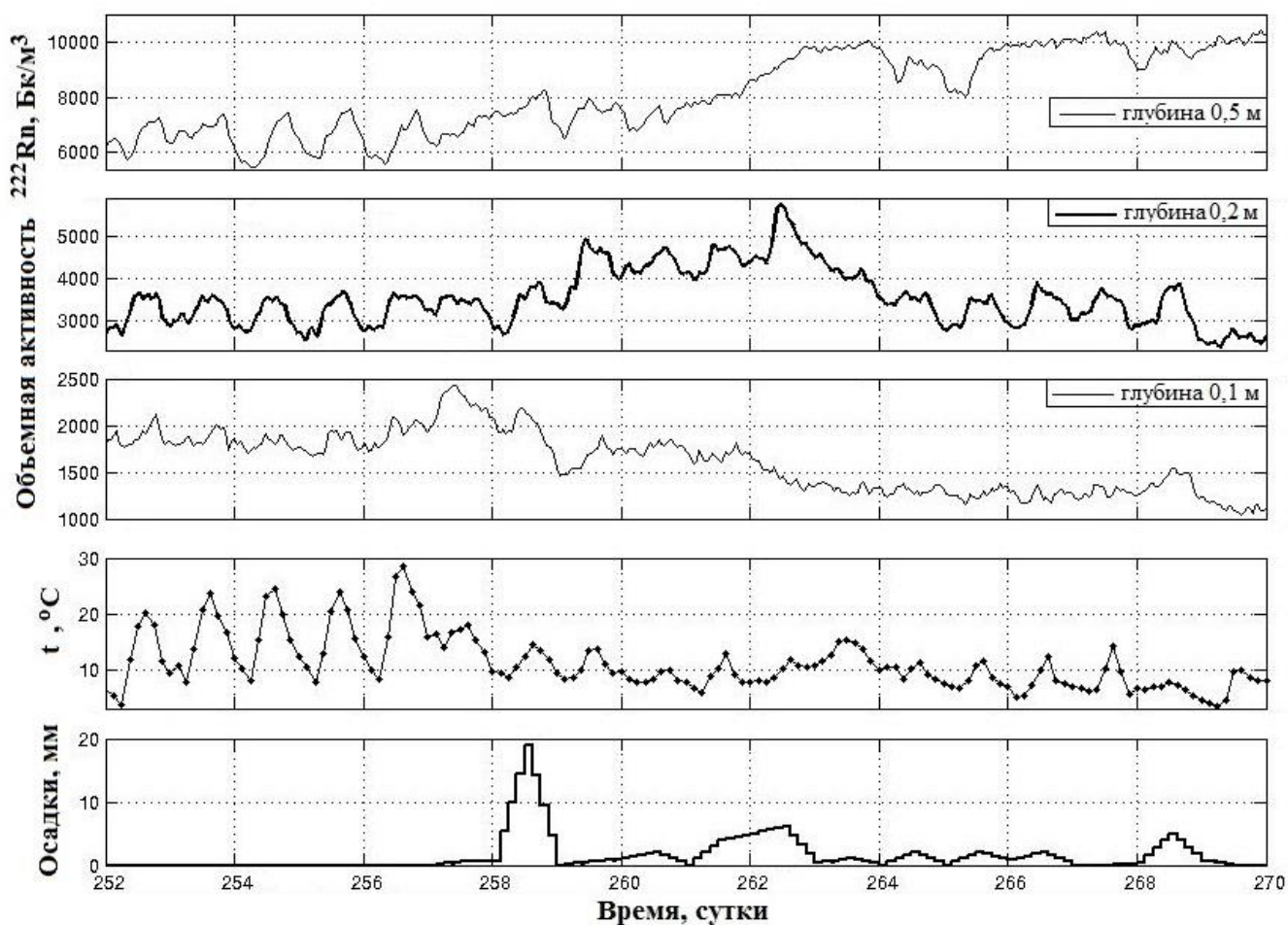


Рисунок 3.9 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубинах 0,5 м, 0,2 м и 0,1 м. (осень 2012)

Изменения ОА радона на рисунке 3.9 скорее всего связаны с тем, что продолжительные дожди повышают влажность грунта, снижая поток радона к границе грунт-атмосфера, и тем самым повышая концентрацию радона на больших глубинах.

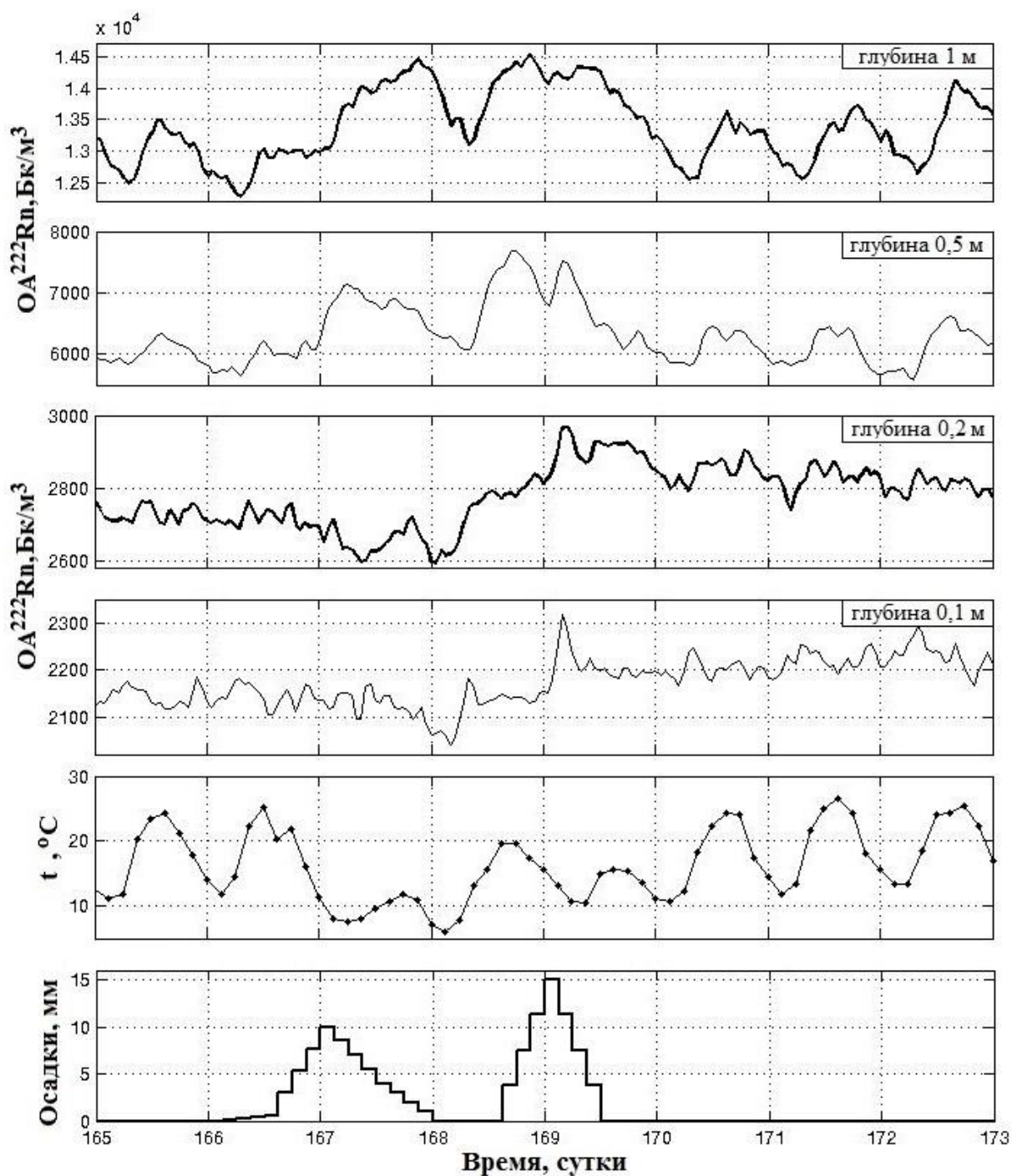


Рисунок 3.10 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на разных глубинах (лето 2013)

На глубинах 0,5 м и 1 м небольшие дожди в 2013 году (см. рисунки 3.10 и 3.11) вызывают большие изменения ОА радона, чем на меньших глубинах. Уровень радона в грунте на глубинах 0,5 м и 1 м быстро приходит в норму, повторяя суточный ход температуры.

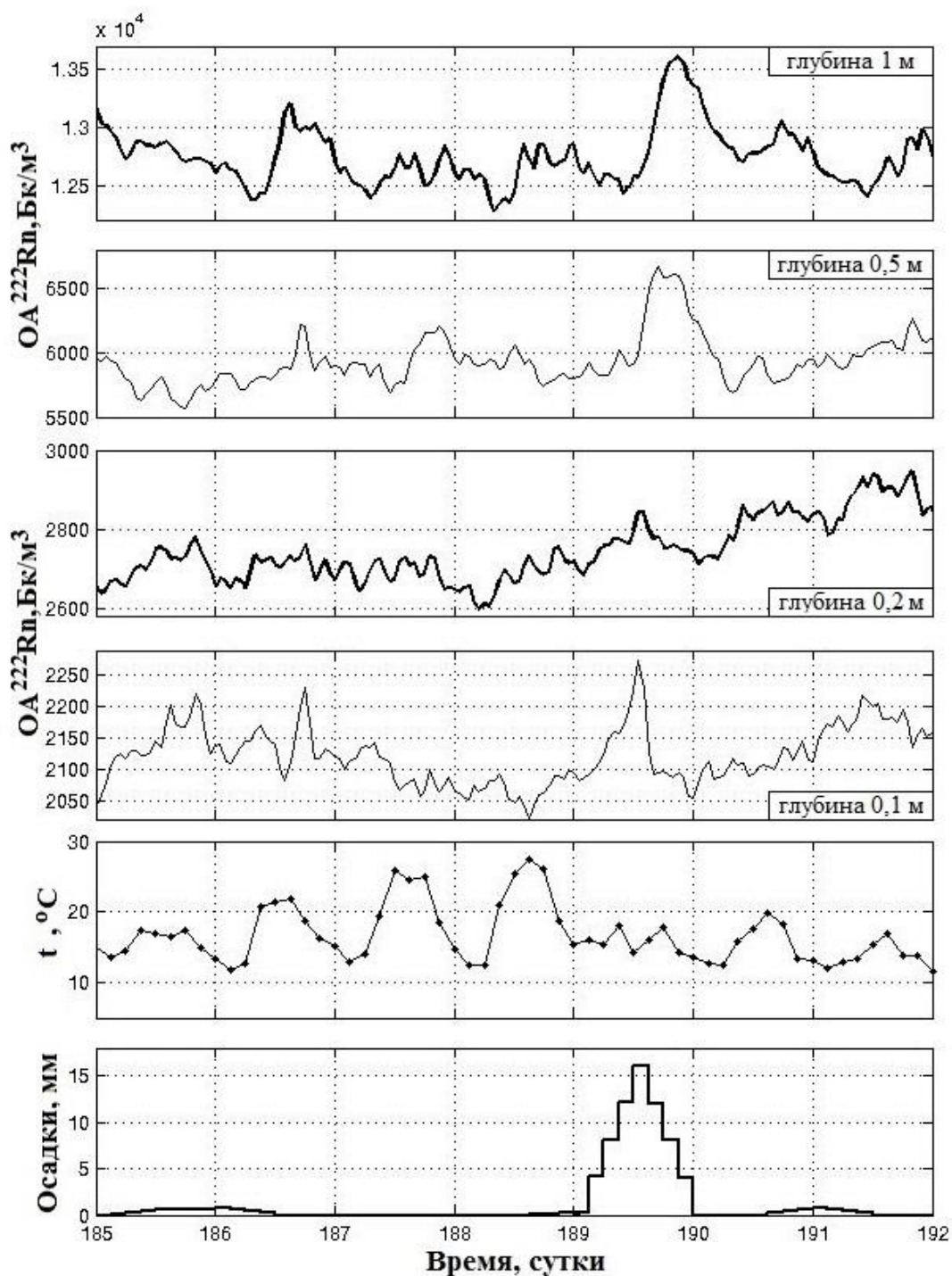


Рисунок 3.11 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на разных глубинах (лето 2013)

Данные мониторинга ОА радона в грунте на экспериментальной площадке ТОРИИ с 2010 по 2013 года показали, отсутствие суточных вариаций в зимний период. Анализ возможных влияющих факторов показал, что причина этого – наличие снежного покрова.

На рисунке 3.12 представлены данные декабря 2010 года. В этот период на глубине 1 м наблюдаются плавные изменения ОА радона, однако разность максимального и минимального значений в этот месяц составила  $\approx 10 \text{кБк/м}^3$ . Высота снежного покрова за данный промежуток времени практически не поменялась и была примерно 55 см. Как показано на рисунке 3.12, изменения ОА радона на глубине 1 м согласуются с изменениями атмосферной температуры и давления. При этом уменьшение давления сопровождается ростом ОА радона, в отличие от температуры, повышение которой соответствует росту ОА.

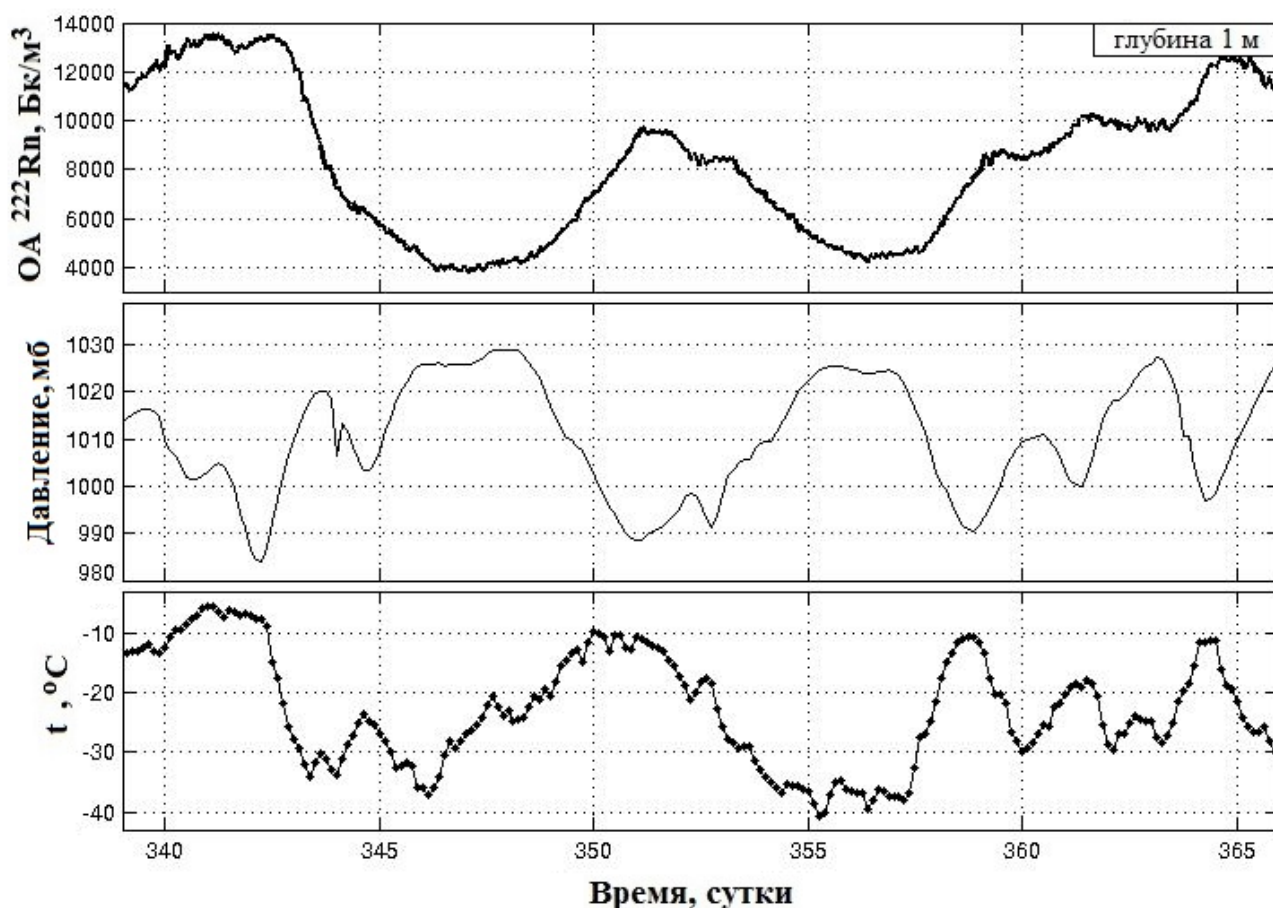


Рисунок 3.12 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубине 1 м. Температура воздуха (зима 2010)

Весной 2011 года (см. рисунок 3.13) после того как зимний снежный покров растаял в конце апреля выпал снег. Высота снежного покрова составила



6 см. Выпадение снега сопровождалось падением атмосферного давления и скачком ОА радона. Впоследствии снег растаял, повышая влажность почвы, тем самым способствуя увеличению уровня радона на глубинах 0,5 м и 1 м. Аналогично случаю, представленному на рисунке 3.9, на глубине 1 м данный эффект более выражен.

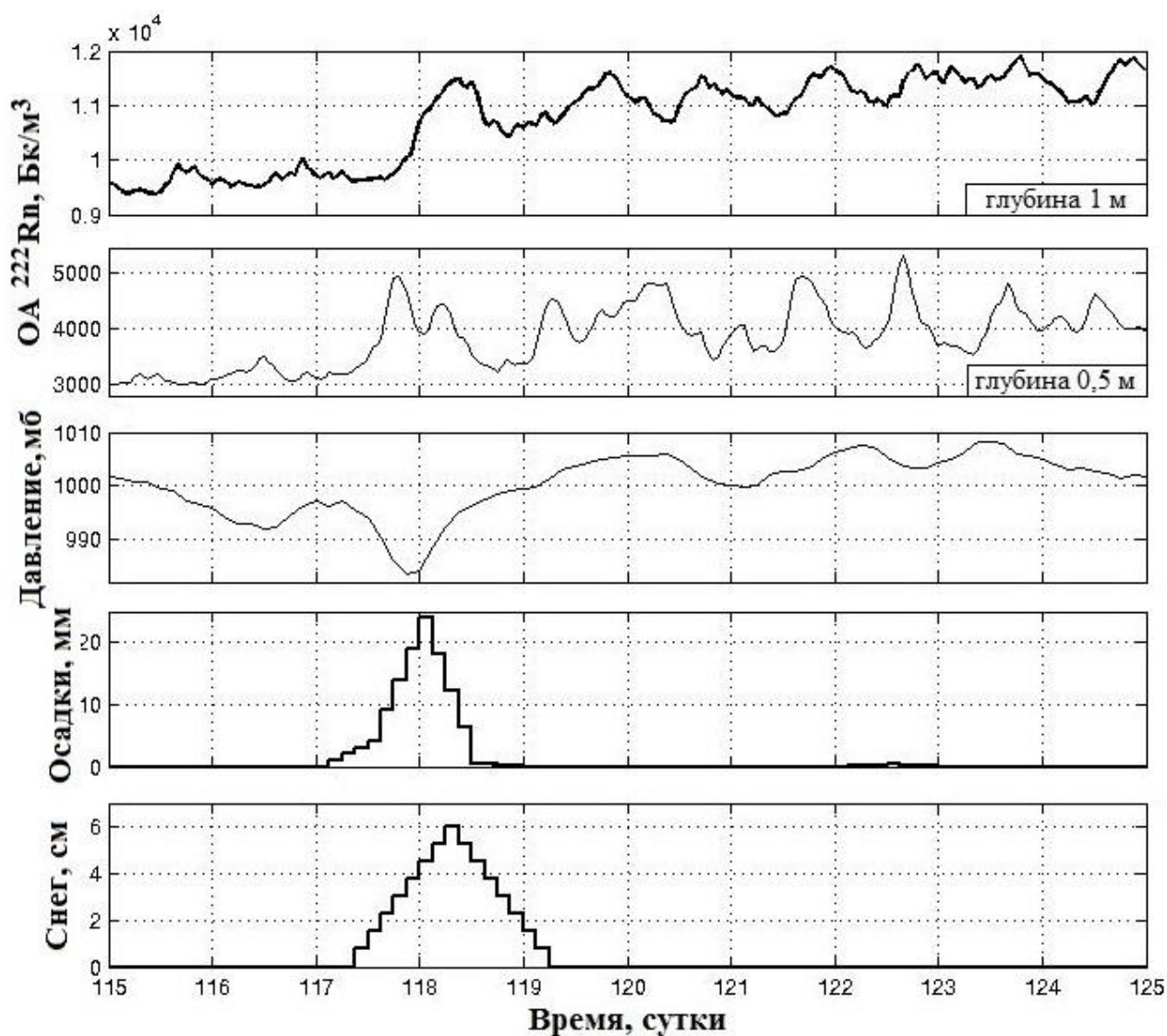


Рисунок 3.13 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на глубинах 0,5 м и 1 м (весна 2011)

Ежегодно формирование зимнего снежного покрова сопровождается колебаниями почвенного радона. На рисунке 3.14 показано, как в этот период ОА радона в почве на глубинах 0,2 м и 0,1 м изменяется с выпадением снега.

Следует отметить, что температура воздуха тоже отражает ход изменений ОА радона.

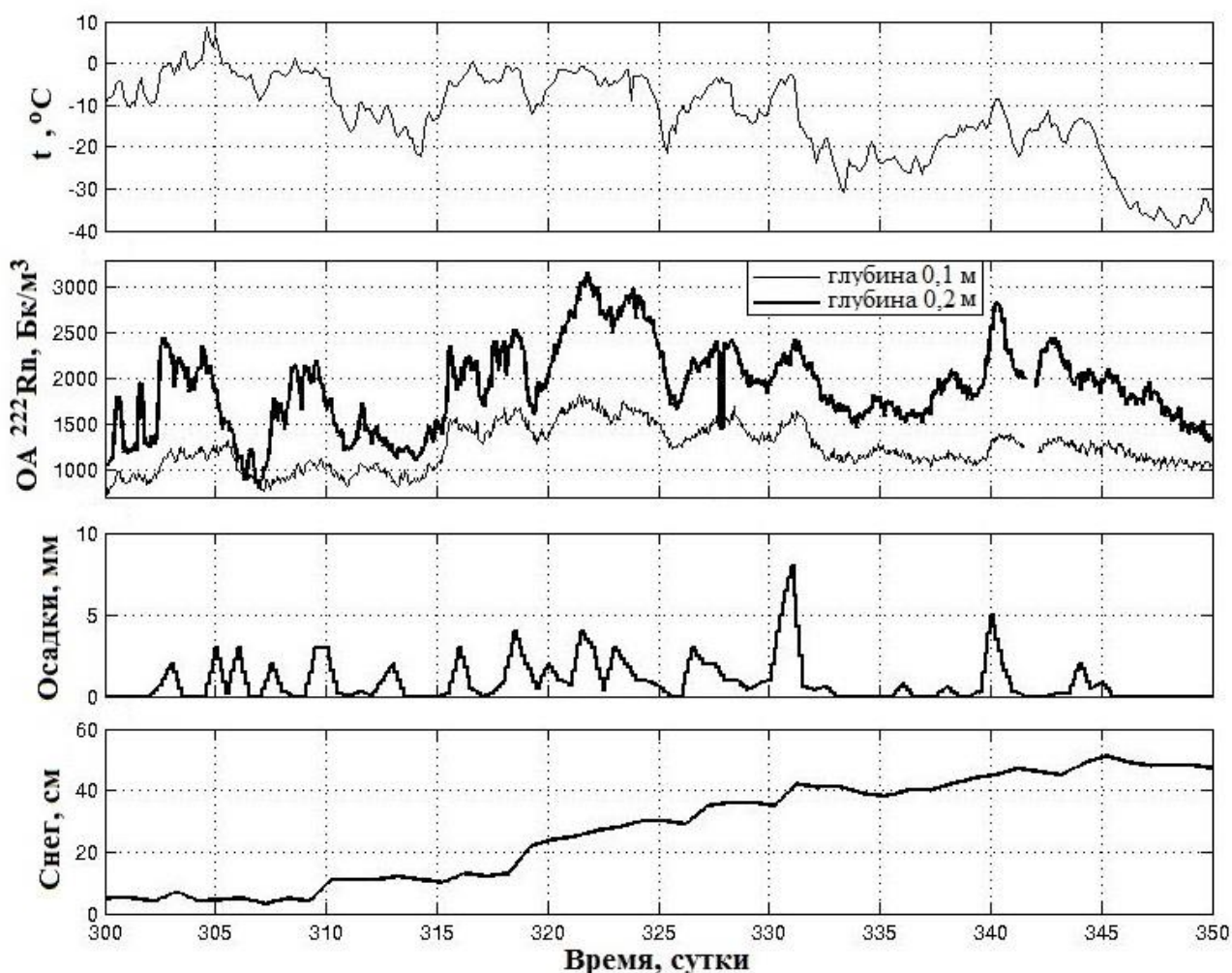


Рисунок 3.14 – Суточные вариации объемной активности <sup>222</sup>Rn на глубинах 0,1 м и 0,2 м (осень-зима 2012)

Однако анализ данных 2013 года показал, что температура не оказывает влияния на скачки ОА радона в период формирования снежного покрова (рисунки 3.15 и 3.16). Влияющими факторами в данном случае являются изменения атмосферного давления и высоты снежного покрова (осадки).

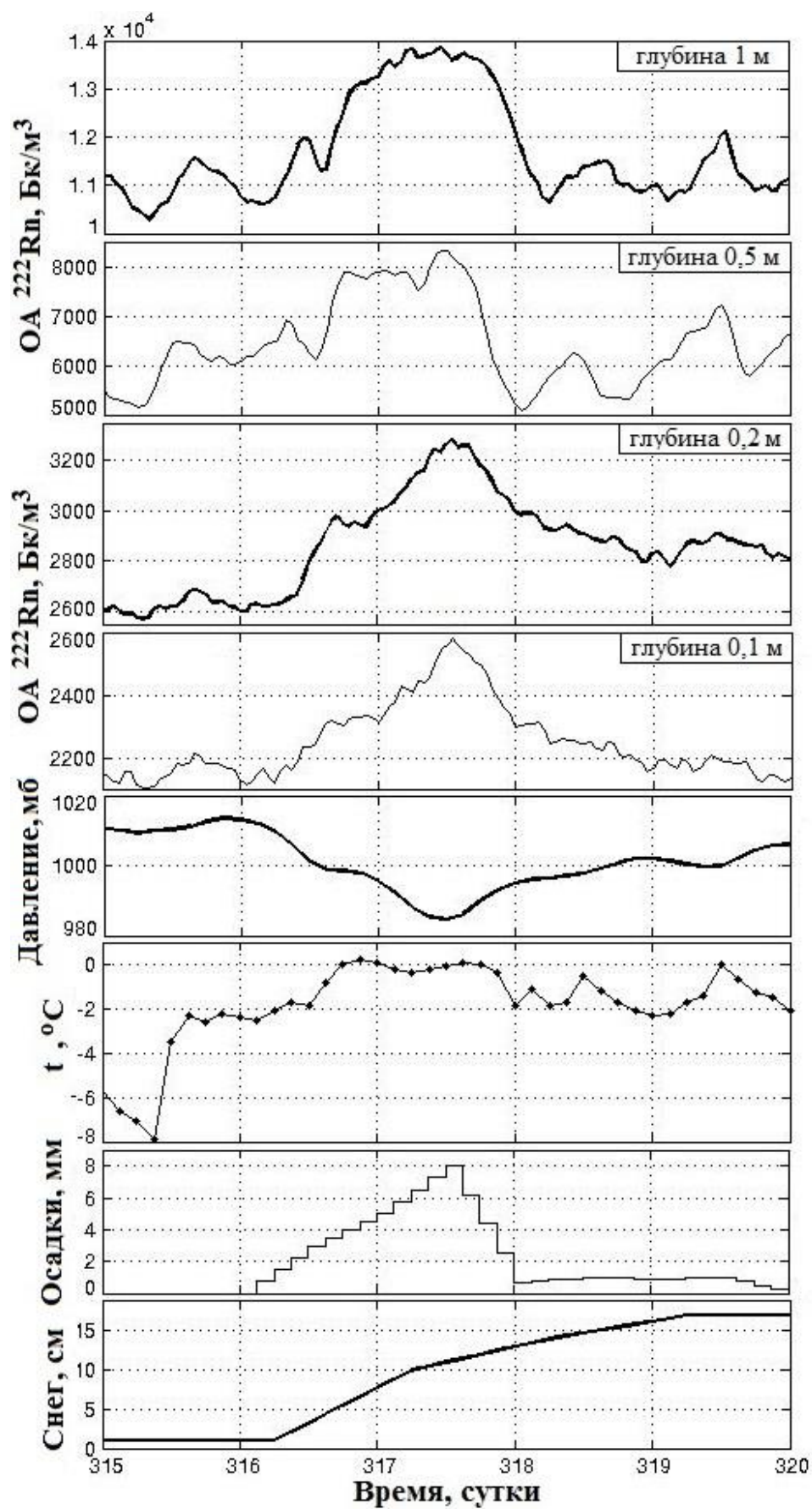


Рисунок 3.15 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на разных глубинах (осень 2013)

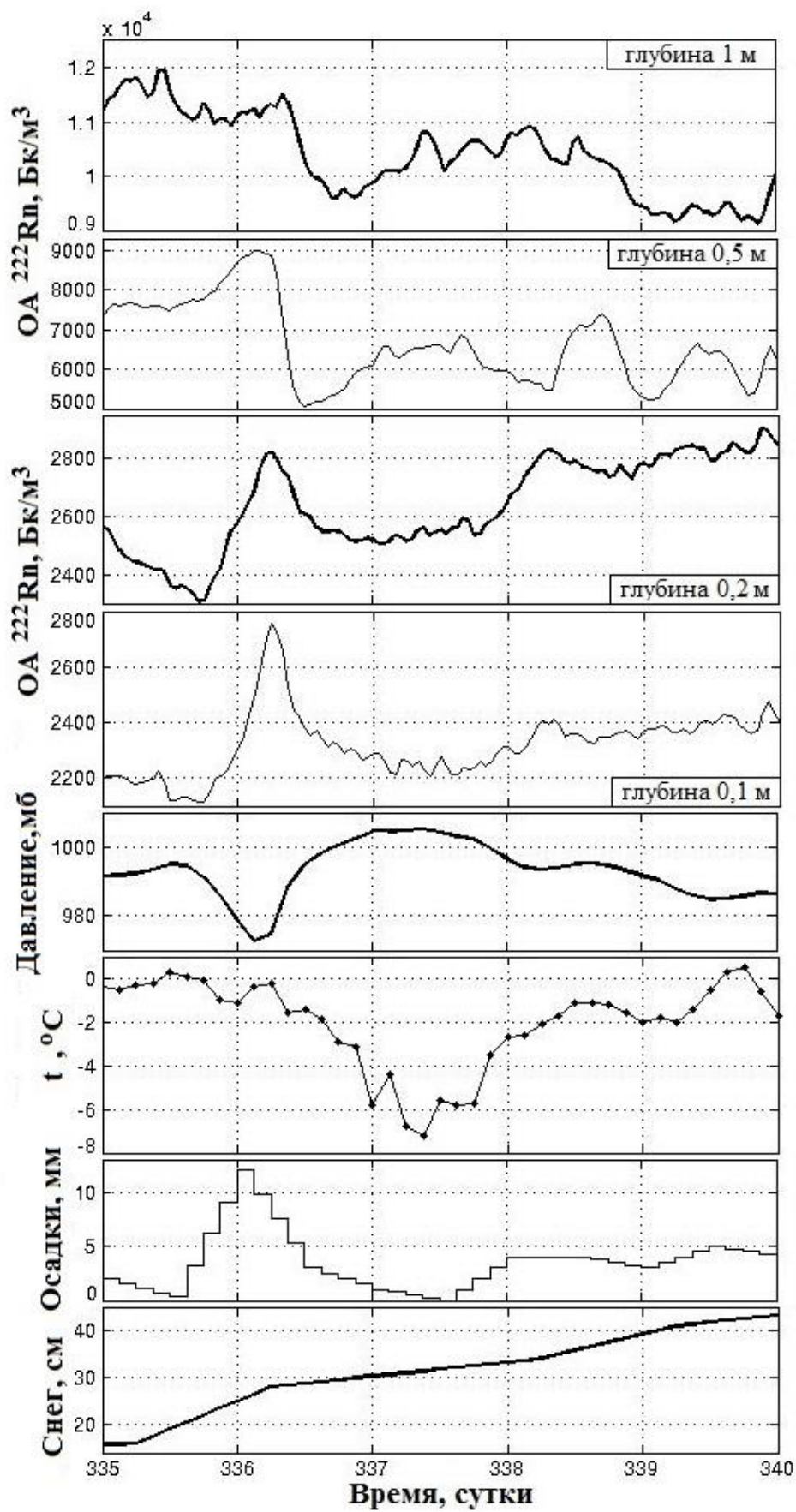


Рисунок 3.16 – Суточные вариации объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  на разных глубинах (зима 2013)

## **3.2 Исследование сезонных вариаций ОА радона в грунте**

### **3.2.1 Закономерности сезонных изменений ОА радона в грунте**

По данным полученным на экспериментальной площадке ИМКЭС-ТПУ были построены графики динамики ОА радона в течение 2013 года. В этот период датчики работали почти бесперебойно на всех рассматриваемых глубинах.

Результаты многочисленных экспериментальных наблюдений показали, что концентрация радона в почвенном воздухе возрастает с глубиной отбора пробы [6,16,17]. Это согласуется с экспериментальными данными ТОРИИ. На рисунке 3.17 видно, что в среднем ОА радона возрастает с глубиной. Такая картина характерна для всего представленного периода мониторинга с 2010 года до 2013года.

График изменений ОА радона в течение 2013 года показывает четкое разделение бесснежных и снежных периодов года. Можно отметить, что более низкие значения объемной активности радона на глубинах 0,1 м и 0,2 м были зафиксированы в мае и летние месяцы, а более высокие значения объемной активности радона – в феврале, марте и апреле (данные января 2013 отсутствуют).

Литературный обзор показал противоречивость поведения ОА радона при смене сезонов. Одни исследования показали, возрастающие концентрации почвенного радона в зимний период из-за замерзшего верхнего слоя почвы [9,16,17]. В противоположность этому, в исследовании [19] демонстрируется низкие концентрации почвы радона в зимний период. Главным фактором, объясняющим данное поведение  $^{222}\text{Rn}$ , скорее всего, является различные температуры почвы и воздуха в данных исследованиях. Так верхний слой почвы в [19] не был заморожен, там всегда наблюдалось таяния снега после затяжных осадков, т.е. снежный покров представлял собой смесь снега и талой воды.

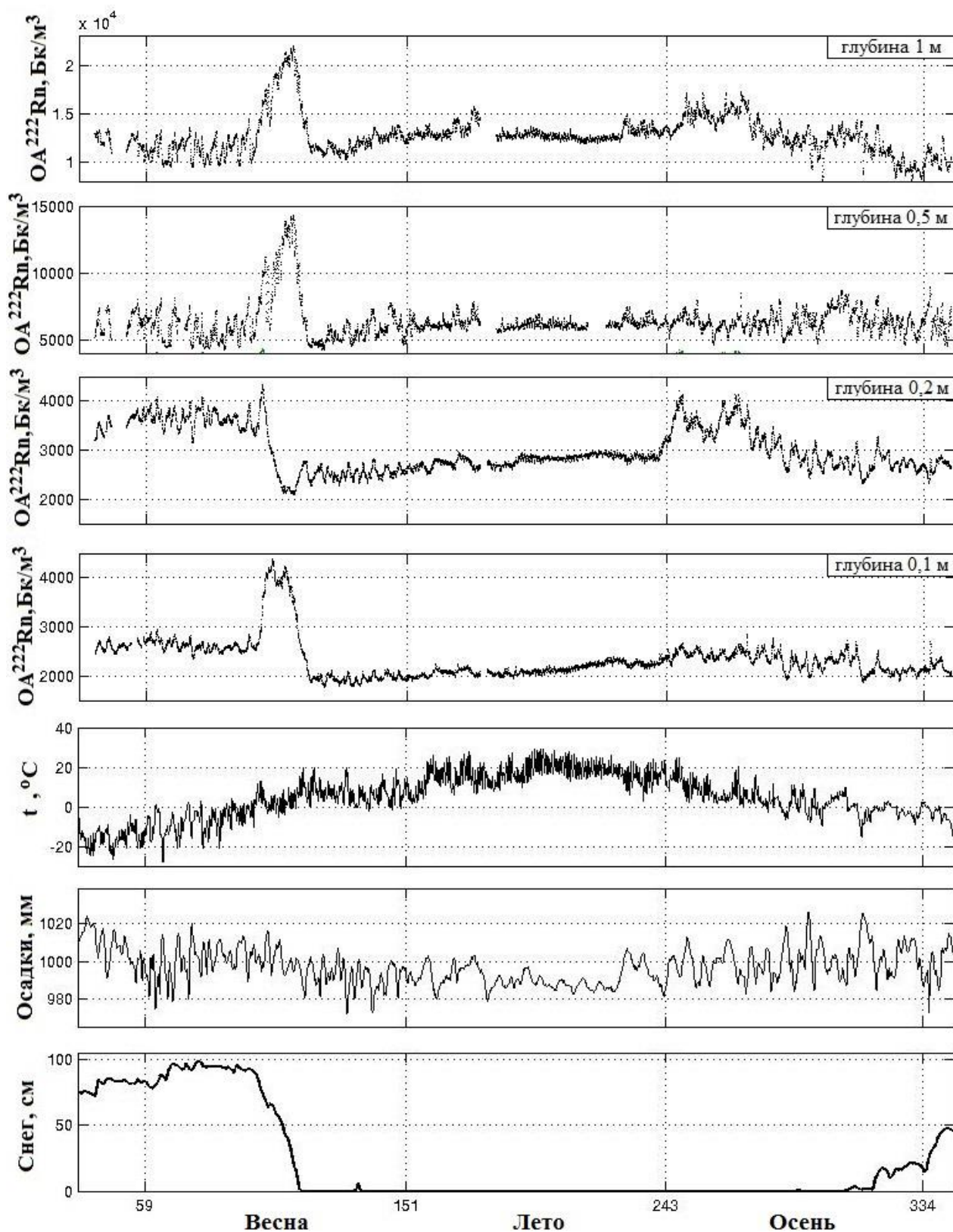


Рисунок 3.17 – 2013 год

На рисунке 3.17 видно, что снежный покров постоянно наблюдался в феврале, марте и апреле 2013 года. Таким образом, большие значения ОА

радона в эти месяцы на глубинах 0,1 м и 0,2 м могут быть объяснены тем, что в зимний период почва уплотняется снегом, и замороженный верхний слой почвы мешает выходу радона в открытое пространство, в то время как летом почвенный газ радон может легко перемещаться в сухой, потрескавшейся, пористой почве и может выходить на открытый воздух. Также, повышенное содержание влаги в почве в зимний период вызывает более высокую эманацию радона [16], это приводит к более высоким концентрациям радона в почвенном воздухе.

В среднем осенние месяцы в городе Томске (и в частности осень 2013 года) дождливы. Так что увеличение уровня радона в почве при переходе лето-осень, которое можно наблюдать на рисунке 3.17 (глубина 0,1 м, 0,2 м и 1 м), связано с возросшей влажностью почвы [20].

Также на рисунке 3.17 наблюдается сезонность амплитуд вариаций ОА радона на всех глубинах. В целом, не считая случайных вариаций, весной и осенью амплитуда вариаций ОА радона заметно больше, чем летом. Это, скорее всего, обусловлено климатическими и почвенными условиями. Весной и осенью 2013 года наблюдаются сильные вариации значений атмосферного давления и температуры. В таблице 3.1 представлены численные значения коэффициентов вариаций на всех рассматриваемых глубинах.

Таблица 3.1 – Коэффициенты вариаций ОА радона в 2013 году

Глубина, м	Весна		Лето		Осень	
	$\overline{OA} \pm \sigma$ , кБк/м <sup>3</sup>	КВ, %	$\overline{OA} \pm \sigma$ , кБк/м <sup>3</sup>	КВ, %	$\overline{OA} \pm \sigma$ , кБк/м <sup>3</sup>	КВ, %
1	12,8±2,8	22	13,0±0,6	5	12,7±2,0	16
0,5	6,6±2,3	35	6,3±0,4	6	6,5±0,8	12
0,2	3,0±0,6	20	2,8±0,1	4	3,1±0,4	13
0,1	2,6±0,6	23	2,2±0,1	5	2,4±0,2	8

$\overline{OA}$  – среднее значение объемной активности в сезоне;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;

КВ – коэффициент вариаций.

### 3.2.2 Влияющие факторы

На рисунке 3.17 на всех глубинах замечено существенное изменение в ходе ОА радона в период таяния снега. Эти изменения внесли существенный вклад в относительно высокий коэффициент вариаций в весенний период. Более подробна эта ситуация рассмотрена на рисунке 3.18. На графиках видно, что существенные изменения в поведении ОА радона не являются следствием выпадения осадков. Наибольшие значений ОА радона на глубинах 0,1 м, 0,5 м и 1 м наблюдаются тогда, когда температура воздуха в сутках колеблется около нуля, принимая в дневное время положительные значения, а в ночное – отрицательные.

Резкое возрастание уровня радона при таянии снега также обнаружилось в 2011(рисунок 3.19) и 2012 (рисунок 3.20) годах. По техническим причинам в 2010 году датчики в этот период не работали.

В 2011 году в период резкого повышения уровня радона в почве температура почвы на глубинах 1 м (см. рисунок 3.19) и 0,5 м испытывала сильные вариации, не типичные для данных глубин. Такое поведение почвенной температуры не наблюдалось ни в 2012 году (см. рисунок 3.20) ни в 2013 году, в это время температура почвы была ниже нуля.

Однако во всех случаях (рисунки 3.18-3.20) резкий скачок ОА радона наблюдается во время суточных температурных колебаний около нуля. В это время при положительных температурах воздуха снег тает, снижается пористость снежного покрова. Также в ночное время при отрицательных температурах образуется запирающая ледяная корка. Из-за этого, радон не может легко перейти в атмосферу и увеличивает концентрацию почвенного радона на глубинах.



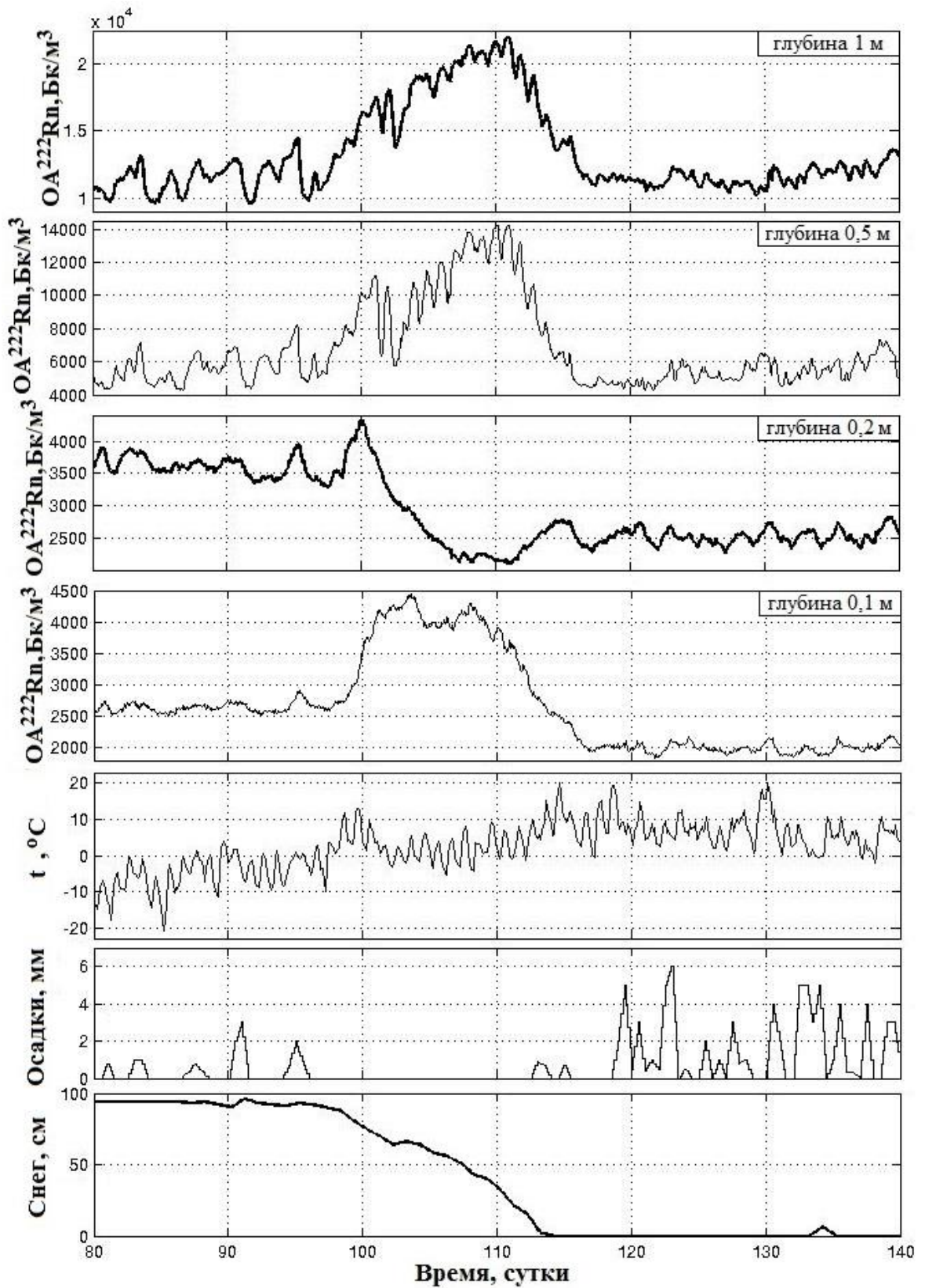


Рисунок 3.18 – ОА радона при таяние снега в 2013 году

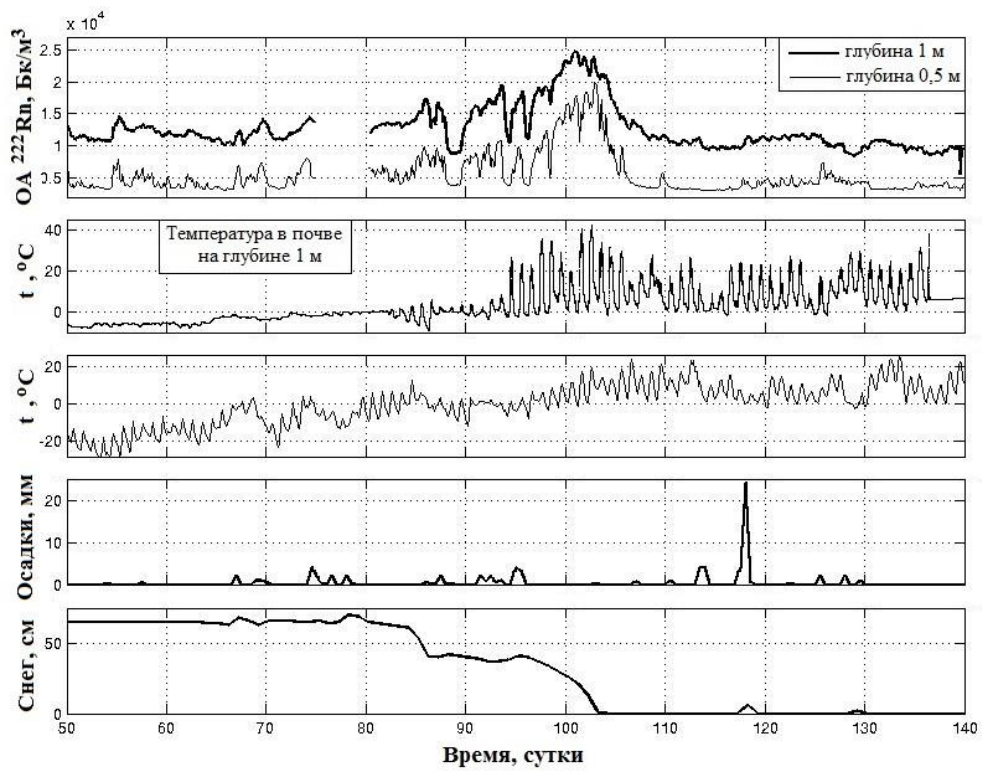
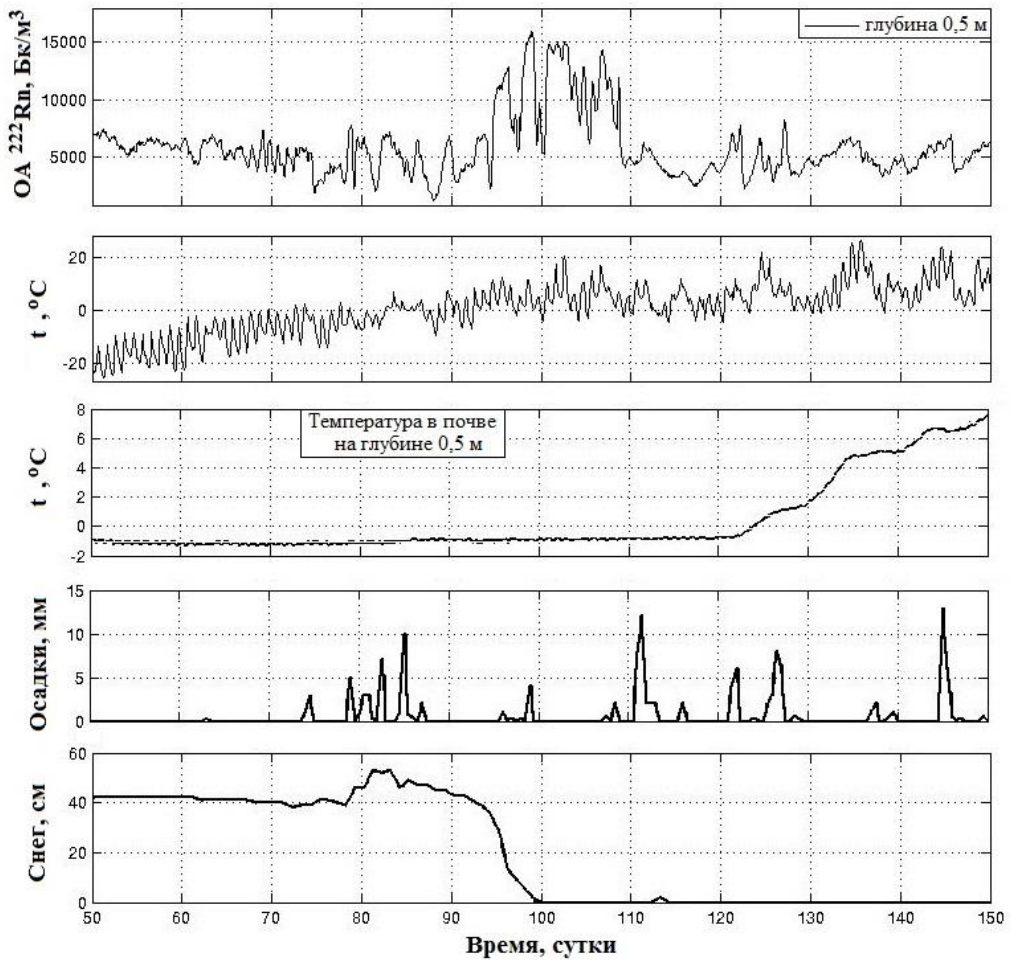


Рисунок 3.19 – ОА радона при таяние снега в 2011 году



3.20 – ОА радона при таяние снега в 2012 году

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

### **4.1 Предпроектный анализ**

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты (таблица 4.1). Для этого отобрано две конкурентные разработки. Первый конкурент – автоматизированная станция контроля радиационной обстановки. Датчики на этой станции располагаются на определенной высоте относительно почвы. Станции данного типа не позволяют оценить динамику изменения радиации по вертикальному профилю. Второй конкурент – методика проведения радиационного контроля оператором. Данная методика не позволяет наблюдать за суточной динамикой радиационного фона.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.1, подбирали исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{\phi}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1.Время наработки данных	0,2	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Помехоустойчивость	0,07	4	4	3	0,5	0,5	0,3
3. Безопасность	0,2	5	5	4	0,4	0,4	0,3
4. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	5	4	4	0,35	0,3	0,3
6. Простота в эксплуатации	0,09	5	3	4	0,45	0,35	0,3
7.Наличие дорогостоящего оборудования	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	5	3	2	0,2	0,2	0,15
2. Цена	0,1	5	3	1	0,4	0,3	0,3
3. Финансирование научной разработки	0,05	3	4	2	0,3	0,3	0,4
4. Наличие сертификации разработки	0,05	4	4	4	0,4	0,4	0,4
<b>Итого</b>	1				4,5	3,85	3,55

Позицию разработки и конкурентов оценивали 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 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В существующих государственных системах радиационного мониторинга непрерывно измеряется только один параметр – мощность дозы  $\gamma$ -излучения. Разработанная методика проста и экономична по сравнению с конкурентными методами измерения радиационных величин в атмосфере, так как позволяет измерять плотности потока  $\beta$ -излучения, объемную активность изотопов радона и дочерних продуктов их распада, а также плотность потока радона с поверхности грунта.

Данный анализ позволяет говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. SWOT-анализ данного научно-исследовательского проекта представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Новизна идеи научного исследования.  С2. Достаточная надежность установки.  С3. Безопасность работы с установкой.  С4. Ремонтпригодность каждого отдельного узла установки.  С5. Простота эксплуатации установки.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие финансирования.  Сл2. Отсутствие у персонала необходимых знаний.  Сл3. Большой срок обработки результатов  Сл4. Отсутствие осведомленности об исследованиях данного типа.  Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.  В3. Сотрудничество с рядом новых организаций.  В4. Использование устаревших методов конкурентами.  В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</b></p> <p>1. Рост спроса на исследования данного типа за счет распространения среди различных организаций и университетов.  2. Приоритет к данному исследованию по сравнению с конкурентами за счет осуществления должной надежности и безопасности установки.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</b></p> <p>1. Отсутствие большого числа заказов на проведение исследований.  2. Приоритет конкурентных организаций из-за длительного срока исследований или невыполненных в срок.</p>

<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Высокая цена технологии.  У2. Конкуренция.  У3. Отсутствие финансирования со стороны, как университета, так и государства.  У4. Сложность поставки образцов для исследований.  У5. Износ оборудования.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</b></p> <p>1. Осуществление ремонта текущей установки без замены составляющих частей.  2. Устойчивость к борьбе с конкурентами за счет новизны идеи.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</b></p> <p>1. Невостребованность технологии за счет ее неустойчивой конкурентоспособности.  2. Стагнация исследований из-за отсутствия финансирования.</p>
---	---	--

На основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

## 4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

В процессе создания иерархической структуры работ проекта (рисунок 4.1) структурированы и определены содержание всего проекта.

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. Иерархическая структура работ (ИСП) – детализация укрупненной структуры работ.

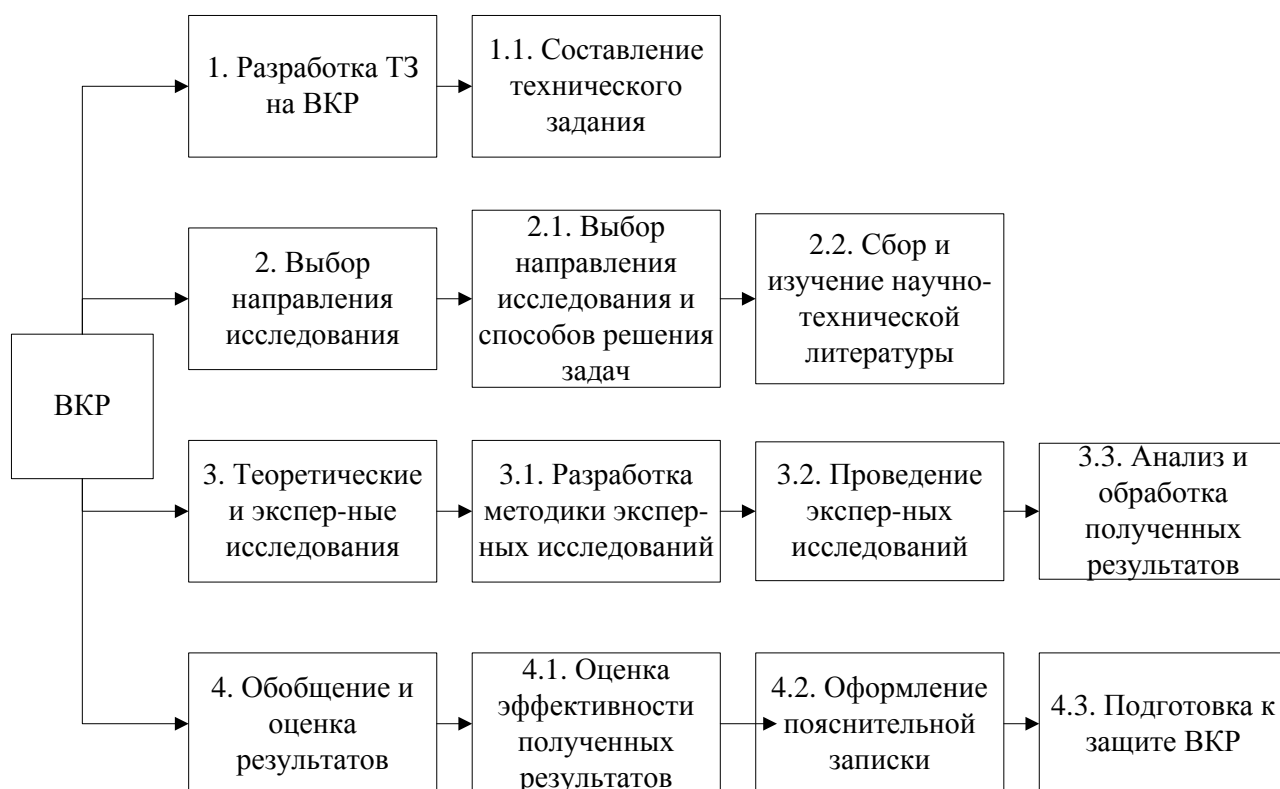


Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

#### 4.2.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые получены по состоянию на эти даты. Информация сведена в таблица 4.3.

Таблица 4.3 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка ТЗ на ВКР	08.02.2016	Приказ о ВКР
1.1	Составление и утверждение технического задания	12.02.2016	–
2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	17.02.2016	
2.2	Сбор и изучение научно-технической литературы	22.02.2016 - 28.03.2016	Список литературы
3.1	Разработка методики экспертных исследований	30.03.2016	Методика
3.2	Проведение экспертных исследований	15.04.2016	Отчет



3.3	Анализ и обработка полученных результатов	15.04.2016-01.05.2016	–
4.2	Оформление пояснительной записки и презентации	10.05.2016-27.05.2016	Пояснительная записка
4.3	Подготовка к защите ВКР	29.05.2016-10.06.2016	–

### 4.2.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта (таблица 4.4). Далее с помощью диаграммы Ганта (таблица 4.5) проиллюстрирован календарный план проекта, на котором работы по теме характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 4.4 – Календарный план проекта

Код	Название	Тк, кал. дн.	Дата начала и окончания работ	Состав участников
1	Разработка ТЗ на ВКР	4	8.02.2016-12.02.2016	руководитель
1.1	Составление и утверждение технического задания	5	12.02.2016-17.02.2016	руководитель
2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	5	17.02.2016-22.02.2016	руководитель магистрант
2.2	Сбор и изучение научно-технической литературы	35	22.02.2016 - 28.03.2016	магистрант
3.2	Проведение экспериментальных исследований	15	30.03.2016-15.04.2016	руководитель магистрант
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	16	15.04.2016-01.05.2016	руководитель магистрант
4.1	Оценка эффективности полученных результатов	10	01.05.2016-10.05.2016	руководитель магистрант

Таблица 4.5 – Календарный план-график в виде диаграммы Ганта.

№ Работ	Вид работ	Исполнитель	T <sub>кi</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 ТЗ на ВКР	Рук-ль	4	▨													
1.1	Составление технического задания	Рук-ль	5		▨												
2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	Рук-ль, магистрант	5		▨												
2.2	Сбор и изучение литературы	магистрант	35				■										
3.1	Разработка методики экспериментальных исследований	Рук-ль, магистрант	15							▨							
3.2	Проведение экспериментальных исследований	Рук-ль, магистрант	15							▨							
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	Рук-ль, магистрант	16										■				
4.2	Составление и оформление ПЗ.	магистрант	17													■	
4.3	Подготовка к защите.	Рук-ль, магистрант	13														■



– Руководитель



– Магистрант

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы.
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в НИОКР.
3. Отчисления во внебюджетные фонды.
4. Работы, выполняемые сторонними организациями.
5. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ.
6. Прочие прямые расходы.
7. Накладные расходы.

Статьи 1-6 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного НИИ, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб, они объединяются в статье «Накладные расходы».

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и интернет. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электричество	–	210 кВт·ч	2,05	430,5
Бумага	SvetoCopy	110	0,38	41,8
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Cello Finer	1	25	25

Доступ в интернет	–	4 месяца	250	1000
Всего за материалы, руб				1662,3
Транспортно-заготовительные расходы, руб				0
Итого, руб:				1662,3

#### 4.3.2 Расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относятся высокочувствительные сцинтилляционные интеллектуальные блоки детектирования БДПБ-01, БДПА-01 (АТОМТЕХ, Беларусь) и оборудование необходимое для автоматизации исследований. Стоимость всего спецоборудования составляет 110000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (4.2)$$

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

$T$  – срок службы, дней.

$$C_{\text{аморт}} = (110000 / 1825) = 60,3 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 60 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 60,3 \cdot 60 = 3618 \text{ руб.}$$

В себестоимость НТИ также была включена только стоимость электроэнергии, освещения и отопления помещения.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} \quad (4.3)$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию (2,05 руб за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования.кВт;

$F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

При выполнении работы использовался стационарный компьютер со средней мощностью 500 Вт (0,5 кВт). Если предположить, что вся работа выполнялась на нем, то, всего было израсходовано:

$$E = P \cdot F_{об} = 0,5 \cdot 4 \cdot 105 = 210 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

(105 календарных дня, четырехчасовой рабочий день).

Затраты на энергию:

$$C = 2,05 \cdot 210 = 430,5 \text{ руб}$$

Затраты на отопление, определяющиеся по следующей формуле:

$$Z_{отоп} = (a \cdot T \cdot V) \cdot C, \quad (4.4)$$

где  $a$  – количество тепла на 1 м<sup>3</sup> помещения (12,57·10<sup>-5</sup> Гкал);

$T$  – продолжительность отопительного сезона;

$V$  – объем отапливаемого помещения (4х4х2,6 м<sup>3</sup>);

$C$  – стоимость 1 Гкал тепла (1021,07 руб).

$$Z_{отоп} = (12,57 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 41,6) \cdot 1021,07 = 435,02 \text{ руб},$$

Затраты на освещение вычисляются следующим образом:

$$Z_{осв} = (15 \cdot S_f \cdot M \cdot t) \cdot C / 1000 \quad (4.5)$$

где  $S_f$  – площадь пола (16 м<sup>2</sup>);

$M$  – количество часов искусственного освещения в сутки (7 ч);

$t$  – число рабочих дней (105);

$C$  – стоимость 1 килоджоуля электроэнергии (2,05 руб).

$$Z_{осв} = (15 \cdot 16 \cdot 7 \cdot 105) \cdot 2,05 / 1000 = 361,62 \text{ руб}.$$

Итого: 430,5+435,02+361,62=1227,14 руб.

### **4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования**

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

$$C_{ЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

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

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} \quad (4.7)$$

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

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{М}} \cdot M / F_{\text{д}}, \quad (4.9)$$

где  $Z_{\text{М}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 рабочих дней  $M=11$  месяцев, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

Основная заработная плата руководителя за период проведения работ (32 рабочих дня) равна:

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{М}} \cdot M / F_{\text{д}} = 28942,87 \cdot 11 / 249 = 1278,6 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 1278,6 \cdot 32 = 40915,2 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 40915,2 = 6137,28 \text{ руб};$$

$$C_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 40915,2 + 6137,28 = 47052,48 \text{ руб}.$$

Заработная плата магистра состоит из стипендии. Магистр, выполнивший данную работу, получает стипендию в размере 5650 руб.

Заработная плата составит:

$$C = 5650 \cdot 3 = 16950 \text{ руб}.$$

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды.

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30% в 2016 от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИОКР.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.10)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений в социальные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (40915,2 + 6137,28) = 14115,74 \text{ руб}.$$

#### 4.3.5 Накладные расходы

Для учета накладных расходов нужно учесть расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИИ. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого

персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{накл}}, \quad (4.11)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов взята в размере 16%.

$$C_{\text{накл}} = (40915,2 + 6137,28) \cdot 0,16 = 7528,4 \text{ руб.}$$

#### **4.4 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования**

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Стоимость затрат, в рублях
1. Материальные затраты НТИ	1662,3
2. Затраты на оборудование	3618
3. Затраты на энергию	430,5
4. Затраты на отопление	435,02
5. Затраты на освещение	361,62
6. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57865,2
7. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6137,28



8. Отчисления во внебюджетные фонды	14115,74
9. Накладные расходы	7528,4
10. Бюджет затрат НТИ	90491,76

В ходе выполнения экономической части ВКР были проведены расчеты плановой себестоимости проведения НТИ и времени, необходимого на проведение ВКР. Плановая себестоимость работы составляет 90491,8 руб., основная составляющая, которой – заработная плата исполнителей НТИ.

#### 4.5 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта — наиболее соответствующая проекту временная организационная структура, включающая всех его участников и создаваемая для успешного достижения целей проекта.

Разработка организационной структуры проекта включает:

- идентификацию всех организационных единиц;
- определение ролей участников проекта и их взаимодействия,
- определение ответственности и полномочий;
- распределение ответственности и полномочий между организационными единицами структуры;
- разработку инструкций, регламентирующих взаимодействия в структуре и рабочие процедуры.

Организационная структура проекта является динамической структурой, которая претерпевает изменения в процессе осуществления проекта. Эти изменения зависят от фаз жизненного цикла проекта, типов, используемых в проекте контрактов, и других условий выполнения проекта. Организационная структура данного проекта представлена на рисунке 4.2.

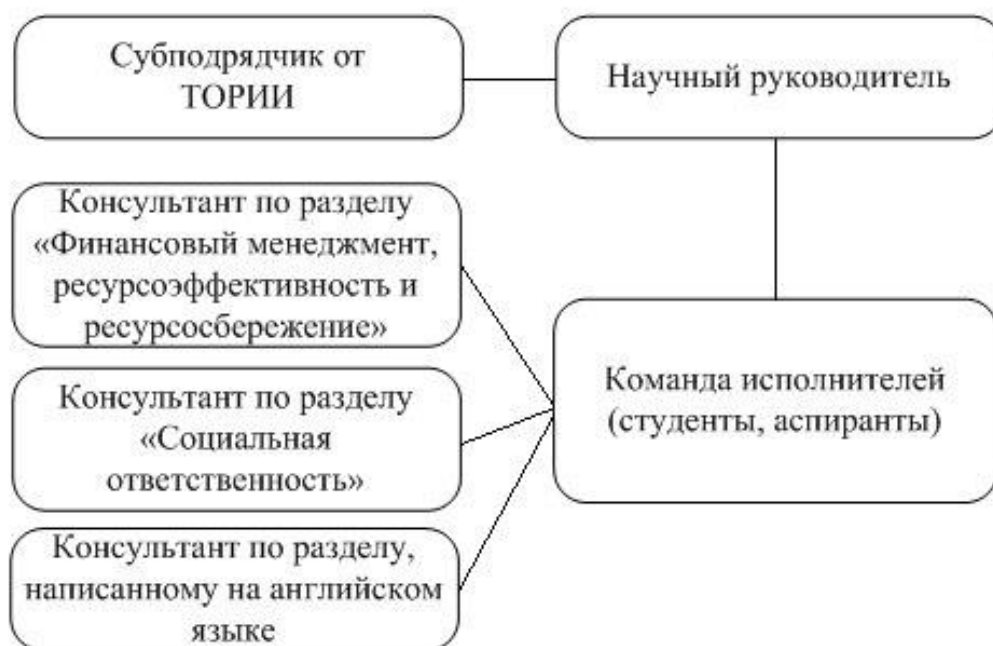


Рисунок 4.2 –Иерархическая структура работ

#### 4.6 Матрица ответственности

Матрица ответственности определяет степень ответственности каждого члена проекта за ту или иную задачу, если он имеет к ней некоторое отношение.

Таблица 4.8 – Матрица ответственности

Этапы исследования	Научный руководитель	Субподрядчик от ТОРИИ	Консультант Англ.яз.	Консультант менеджмент	Консультант Соц.отв-ть.	Магистрант
Сбор и изучение научно-технической литературы	О					И
Разработка методики экспериментальных исследований	О	И				И
Проведение экспериментальных исследований	О	У				И

Анализ и обработка полученных результатов	О					И
Оценка ресурсоэффективности и ресурсосбережения				С		И
Раздел социальной ответственности					С	И
Перевод раздела на английский язык			С			И
Оформление пояснительной записки и презентации	С					И

Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

#### 4.7 Определение ресурсной эффективности исследования

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

$$I_m = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.12)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.9. Для этого два аналога разработки. Первый – автоматизированная станция контроля радиационной обстановки. Датчики на этой станции располагаются на определенной высоте относительно почвы. Станции данного типа не позволяют оценить динамику изменения радиации по вертикальному профилю. Второй аналог – методика проведения радиационного контроля оператором. Данная методика не позволяет наблюдать за суточной динамикой радиационного фона.

Таблица 4.9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4	4
3. Помехоустойчивость	0,25	4	3	3
4. Энергосбережение	0,1	5	5	4
5. Надежность	0,20	5	5	4
6. Материалоемкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	4,6	4,2	3,75

$$\text{Разработка} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 = 4,6;$$

$$\text{Аналог 1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 = 4,2;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 = 3,75.$$

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (4.13)$$

$\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

$$I_{\phi}^p = \frac{90500}{130000} = 0,70$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{110000}{130000} = 0,85$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{130000}{130000} = 1$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}. \quad (4.14)$$

$$I_{финр}^p = \frac{4,6}{0,7} = 6,57$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{4,2}{0,85} = 4,94$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{3,75}{1} = 3,75$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}. \quad (4.15)$$

В таблице 4.10 представлен расчет сравнительной эффективности разработанного проекта.

Таблица 4.10 – Сравнительная эффективность анализа

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,75	4,6
2	Интегральный показатель эффективности	4,94	3,75	6,57
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,33	1,75	1

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования (см. таблицу 4.10) можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта выше других аналогов.

Таким образом, итоговая себестоимость НИР составила 90491,76 рубля, время, необходимое для выполнения работы, составило 105 календарных дня.

## Заключение

Проведен анализ литературы по тематике диссертации. В результате анализа показано, что исследование особенностей переноса радона в почвенном воздухе является актуальной темой, рассмотрены методы исследования и приведены результаты исследований динамики почвенного радона.

Сформирована база данных по результатам измерения объемной активности радона. В ней представлены данные мониторинга с 2010 по 2013 года на глубинах 0,1 м, 0,2 м, 0,5 м и 1 м.

Проведена обработка экспериментальных данных по радиационным величинам и метеопараметрам. Данные представлены так, что можно наблюдать суточные и сезонные изменения радиационных величин.

Суточные вариации ОА радона наблюдались ежегодно с 2010 по 2013 на всех глубинах. Данные колебания характерны для летнего периода. Постоянных суточных вариаций зимой не обнаружено.

В результате анализа данных выявлено, что основным влияющим фактором суточных вариаций почвенного радона в летний период является температура воздуха. Коэффициент корреляции для глубины 0,5 м составил 0,84, а для глубины 1 м 0,79. Результаты регрессионного анализа показали, что увеличение температуры на один градус должно сопровождаться увеличением ОА радона на глубине 0,5 м на 0,13 кБк/м<sup>3</sup>, а на глубине 1 м – на 0,5 кБк/м<sup>3</sup>.

Экспериментально полученные суточные вариации ОА радона на глубинах 0,5 м и 1 м испытывают временную задержку относительно вариаций температуры воздуха. Выявлено, что максимум ОА радона на глубине 0,5 м наступает позже на  $\approx 2,5$  ч, чем максимум атмосферной температуры, а на глубине 1 м – позже на  $\approx 4,5$  ч. Максимум ОА радона приходится на дневное (послеобеденное) время, а минимум наблюдается ночью.

Летом изменения атмосферного давления не отражают суточных вариаций ОА радона в почве.

Осадки могут существенно повлиять на суточный ход ОА радона. Так проливной дождь интенсивностью 14 мм/ч вызвал резкий скачок уровня радона в грунте на глубине 1 м. Такое поведение радона можно объяснить тем, что проливной дождь быстро заполняет поры грунта, так что газообмена между почвенным и атмосферным воздухом существенно снижается. Таким образом, запирающий верхний влажный слой почвы с заполненными водой порами способствует повышению содержания радона в почвенном воздухе на глубине 1 м.

Дожди меньшей интенсивности также меняют суточный ход ОА радона. Изменения ОА радона, скорее всего, связаны с тем, что продолжительные дожди повышают влажность грунта, снижая поток радона к границе грунт-атмосфера, и тем самым повышая концентрацию радона на больших глубинах.

Данные мониторинга ОА радона в грунте на экспериментальной площадке ТОРИИ с 2010 по 2013 года показали, отсутствие суточных вариаций в зимний период. Анализ возможных влияющих факторов показал, что причина этого – наличие снежного покрова.

В зимнее время температура отражает среднее изменение уровня радона в почве. Скачки ОА радона в почве в данный период года следует связывать с осадками и изменениями атмосферного давления. При этом уменьшение давления сопровождается ростом ОА радона и наоборот.

Исследования сезонных вариаций показали, что более низкие значения объемной активности радона на глубинах 0,1 м и 0,2 м были зафиксированы в мае и летние месяцы, а более высокие значения объемной активности радона – в феврале, марте и апреле. Большие значения ОА радона на глубинах 0,1 м и 0,2 м могут быть объяснены тем, что в зимний период почва уплотняется снегом, и замороженный верхний слой почвы мешает выходу радона в открытое пространство, в то время как летом почвенный газ радон может легко перемещаться в сухой, потрескавшейся, пористой почве и может выходить на открытый воздух. Также, повышенное содержание влаги в почве в зимний



период вызывает более высокую эманацию радона, это приводит к более высоким концентрациям радона в почвенном воздухе.

Обнаружена сезонность амплитуд вариаций ОА радона на всех глубинах. В целом весной и осенью амплитуда вариаций ОА радона заметно больше, чем летом (зимние месяцы не анализировались ввиду отсутствия непрерывных экспериментальных данных). Так летом 2013 года коэффициент вариаций на всех рассматриваемых глубинах лежал в диапазоне 4-6%, осенью – 8-16%, а весной 20-35%. Это, скорее всего, обусловлено климатическими и почвенными условиями: весной и осенью в городе Томске наблюдаются сильные вариации значений атмосферного давления и температуры.

Ежегодно на всех глубинах замечено существенное изменение в ходе ОА радона в период таяния снега. Наибольшие значения ОА радона наблюдаются тогда, когда температура воздуха в сутках колеблется около нуля, принимая в дневное время положительные значения, а в ночное – отрицательные. В это время при положительных температурах воздуха снег тает, и пористость снежного покрова снижается. Также в ночное время при отрицательных температурах образуется запирающая ледяная корка. Из-за этого, радон не может легко перейти в атмосферу и увеличивает концентрацию почвенного радона в грунте.

## Список публикаций

1. Черепнев М. С. , Кондратьева А. Г. , Мишина Н. В. , Нагорский П. М. , Яковлева В. С. Влияние осадков на уровень радиационного фона приземной атмосферы // Аэрозоли Сибири. XXII Рабочая группа: Тезисы докладов, Томск, 24-27 Ноября 2015. - Томск: ИОА СО РАН, 2015 - С. 25.

2. Черепнев М. С. , Кондратьева А. Г. , Мишина Н. В. , Нагорский П. М. , Яковлева В. С. Оценка влияния барьерных свойств снежного покрова на перенос некоторых компонент ионизирующего излучения в приземном слое атмосферы // Аэрозоли Сибири. XXII Рабочая группа: Тезисы докладов, Томск, 24-27 Ноября 2015. - Томск: ИОА СО РАН, 2015 - С. 23.

3. Kondratjeva A. G. , Yakovleva V. S. , Mishina N. V. Temporal and spatial dependences in behavior of atmospheric radon, thoron and their decay products [Electronic resorces] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 208-209 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>.

4. Мишина Н. В. , Черепнев М. С. , Яковлева В. С. Моделирование влияния физических параметров грунта на радиационный фон приземной атмосферы [Электронный ресурс] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 228 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>.

## Список использованных источников

1. Аверкина Н. Н. Проблема канцерогенного влияния радона на организм человека // Медицина труда и промышленная экология, 1996. – №. 9. – С. 32-36.
2. Ильин Л. А. Источники и эффекты ионизирующего излучения: Отчет Научного комитета ООН по действию атомной радиации 2000 года Генеральной Ассамблеи ООН с научными приложениями. Т. 1. Источники (часть 1) / пер. с англ. под ред. Л.А. Ильина и С.П. Ярмоненко // М.: РАДЭЖОН, 2002. – 308 с.
3. Абдулаева А. С. Радон в окружающей среде и его эффективные дозы на территории дагестана // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 2013 – Т. 18. – №. 3. – С.933-936.
4. Ковдерко В. Э. Радон: экологический аспект, источники, проблемы // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы междунар. Конф. Томск: Изд-во «Тандем-арт», 2004. . – С.772
5. Маренный А. М., Охрименко С. Е., Павлов И. В. Задачи и методы оценки потенциальной радоноопасности селитебных территорий //Аппаратура и новости радиационных измерений, 2006. – №. 2. – С. 25-30.
6. Микляев П. С., Петрова Т. Б., Анисимова Н. Г. Физико-геологическая модель переноса радона в приповерхностных породах и почвах // Сергеевские чтения. Выпуск 11. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. — ГЕОС, 2009. — С. 195-199.
7. Уткин В. И. Науки о земле радон и проблема тектонических землетрясений //Соросовский образовательный журнал, 2000. – Т. 6. – №. 12. – С. 64-70.
8. Титаева Н. А. Ядерная геохимия. М.: Издательство МГУ, 2000. — 336 с.

9. Winkler R., Ruckerbauer F., Bunzl K. Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations // *Science of the total environment*. – 2001. – T. 272. – №. 1. – C. 273-282.
10. Varley N. R., Flowers A. G. Indoor radon prediction from soil gas measurements // *Health physics*. – 1998. – T. 74. – №. 6. – C. 714-718.
11. Kemski J. et al. Comparison of radon concentrations in buildings in Oberfranken (Bavaria) with the geogenic radon potential // *Proceeding of the fourth International Workshop on the Geological aspects of radon risk mapping*. – 1998. – C. 53-62.
12. Zmazek B. et al. Radon in soil gas: How to identify anomalies caused by earthquakes / Zmazek B, Zivcic M., Todorovski L. Dzeroski S., Vaupotic J. and Kobal I. // *Applied geochemistry*. – 2005. – T. 20. – №. 6. – C. 1106-1119.
13. Hutter A. R. Spatial and temporal variations of soil gas  $^{220}\text{Rn}$  and  $^{222}\text{Rn}$  at two sites in New Jersey // *Environment International*. – 1996. – T. 22. – C. 455-469.
14. Fleischer R. L. et al. Dosimetry of environmental radon: methods and theory for low-dose, integrated measurements // *Health physics*. – 1980. – T. 39. – №. 6. – C. 957-962.
15. Flutter A. R., Knutson E. O. An international intercomparison of soil gas radon and radon exhalation measurements // *Health physics*. – 1998. – T. 74. – №. 1. – C. 108-114.
16. Szabó K. Z. et al. Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series / Szabó, K. Z., Jordan, G., Horváth, Á., & Szabó, C. // *Journal of environmental radioactivity*. – 2013. – T. 124. – C. 74-83.
17. Antonopoulos-Domis M. et al. Experimental and theoretical study of radon distribution in soil / Antonopoulos-Domis, M., Xanthos, S., Clouvas, A., Alifrangis, D. // *Health physics*. – 2009. – T. 97. – №. 4. – C. 322-331.

18. Sundal A. V. et al. Geological and geochemical factors affecting radon concentrations in dwellings located on permeable glacial sediments—a case study from Kinsarvik, Norway/ Sundal, A. V., Henriksen, H., Lauritzen, S. E., Soldal, O., Strand, T., & Valen, V. //Environmental Geology. – 2004. – Т. 45. – №. 6. – С. 843-858.
19. Fujiyoshi R. et al. Meteorological parameters contributing to variability in <sup>222</sup>Rn activity concentrations in soil gas at a site in Sapporo, Japan / Fujiyoshi, R., Sakamoto, K., Imanishi, T., Sumiyoshi, T., Sawamura, S., Vaupotic, J., & Kobal, I. //Science of the total environment. – 2006. – Т. 370. – №. 1. – С. 224-234.
20. Radolic V. et al. Radon chaotic regime in the atmosphere and soil / V Radolic, B Vukovic, D Stanic, J Planinic //FIZIKA A-ZAGREB-. – 2005. – Т. 14. – №. 1/4. – С. 195.
21. Planinić J., Radolić V., Vuković B. Radon as an earthquake precursor //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2004. – Т. 530. – №. 3. – С. 568-574.
22. Iakovleva V. S., Ryzhakova N. K. Spatial and temporal variations of radon concentration in soil air // Radiation Measurements. – 2003. – Т. 36. – №. 1. – С. 385-388.
23. Яковлева В. С., Нагорский П. М. Особенности калибровки детекторов ионизирующих излучений, используемых для мониторинга почвенного радона //Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2015. – №. 1 (10).
24. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17.07.99 № 181 // Справочная правовая система Консультант плюс
25. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация // Справочная правовая система Консультант плюс.
26. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

27. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

28. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы и правила Российской Федерации. - М.: Изд-во стандартов, 1995. -30 с.

29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы // Справочная правовая система Консультант плюс.

30. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов // Справочная правовая система Консультант плюс.

31. ППБ 01 – 03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.

32. СНиП 21-01-97 – Пожарная безопасность зданий и сооружений // Справочная правовая система Консультант плюс.

## Приложение А

### Section 1

### RESEARCH OF RADON TRANSFER IN SOIL AIR

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОАМ4А	Мишина Н. В.		

Консультант кафедры     ПФ     :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Веригин Д. А.			

Консультант – лингвист кафедры     ИЯФТ     :

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

## CONTENTS

1. Literature review .....	89
1.1 Function of the soil depth .....	90
1.2 Dependence on meteorological parameters .....	92
1.2.1 Short-term change: diurnal periodicity .....	92
1.2.2 Long-term change: variability in different seasons .....	99



## 1. Literature review

Indoor radon and its decay products have been recognised to contribute significantly to an increased lung cancer risk in the general population. For most homes, as the main source for indoor radon the soil gas has been identified [9]. At least 80% of the radon emitted into the atmosphere comes from the top few meters of the ground.

Measurement of soil gas radon concentration can therefore be used as a method of evaluating the potential for elevated indoor radon concentrations [9]. Investigations of the correlation between the measured indoor concentration and the soil gas radon concentration however showed that only a very weak correlation is obtained between the overall radon concentration in soil gas and inside the home [10]. Of course, if the soil radon concentration is «high», i.e.  $> 250 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ , the German action level for indoor radon of  $250 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  was exceeded in all cases [9, 11]. Based on soil radon measurements, scientist [11] proposed the following classification: low ( $< 25 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ), medium ( $25 - 100 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ), elevated ( $100 - 250 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and high ( $> 250 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and presented a radon potential map for Germany on the base of this classification. Such maps, however, can only give a rough overview for a specific region. For a specific location, i.e. a building plot, they have practically no meaning. To obtain an estimate of soil radon concentration for example before the construction of a building, radon soil gas measurements have to be conducted at this specific location.

Changes in soil radon are thought to be a possible precursor of earthquakes. Among many studies concerning radon and earthquakes, Zmazek et al [12] reported a statistical technique to identify soil radon anomalies caused by earthquakes in Slovenia by monitoring soil radon concentration, barometric pressure and soil temperature using a barasol probe (MC-450, ALGADE, France), along with other meteorological data like air temperature and precipitation, and also seismic data. Changes in radon concentration that deviated significantly from the mean value were related to seismic activity.

The measured soil gas radon level at site, however, can depend on several factors: 1) small-scale horizontal and vertical heterogeneity of radium concentration, emanation power and soil properties, and 2) temporal variations of meteorological and soil parameters. Some studies are available on these items resulting often in controversial observations, e.g.: seasonal variations of soil radon level were observed with high concentrations in winter or high concentrations in summer [13] or were not observable [14]. In addition, by comparison of methods used for radon in soil measurement, it has been shown that different procedures can come to significantly different results [15].

### **1.1 Function of the soil depth**

Radon  $^{222}\text{Rn}$  is a natural radioactive noble gas being one of the daughter elements of  $^{238}\text{U}$ . Its direct mother element is radium  $^{226}\text{Ra}$ .  $^{238}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$  are geochemically incompatible lithophile elements, thus they are concentrated in the Earth crust and also can be found in the biosphere. Also, soils, derived from different rock types, contain  $^{238}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$ . The  $^{226}\text{Ra}$  constantly produce radon atoms in soil which will enter the soil pore gas via emanation. Radon, generated in soil and rock, can leave the solid grains through three ways: molecular diffusion, direct recoil and molecular diffusion after indirect recoil. Soil radium content and the emanation coefficient determine the effective radium concentration. Radon migration through the soil is affected by molecular diffusion; however it is governed mainly by convection. These processes determine radon activity concentration in soil air (soil gas radon activity concentration) which depends on the depth. The soil gas radon activity concentration increases with depth and exponentially saturates to an equilibrium concentration [17].

The radon concentration as a function of the soil depth was measured in a location of the Aristotle University campus in Thessaloniki in northern Greece twice [17]. The first time was between 18 October 2002 to 10 May 2003 and the second time between 28 November 2003 to 20 September 2004. The radon concentration, as

a function of the soil depth for these two time periods, is presented in Figure 1. Despite the differences of the absolute values between the two curves, both curves have the same form. In both radon distributions, radon increases up to a soil depth of about 80 cm, seems to remain constant at depths of 80–130 cm, and then increases again. This behavior is not commonly found. The expected behavior is a monotonous increase of the radon concentration with the soil depth, which levels off to a saturation value. In order to explain the experimental radon distribution, the general transport equation (diffusion and advection) was solved by the authors of [17].

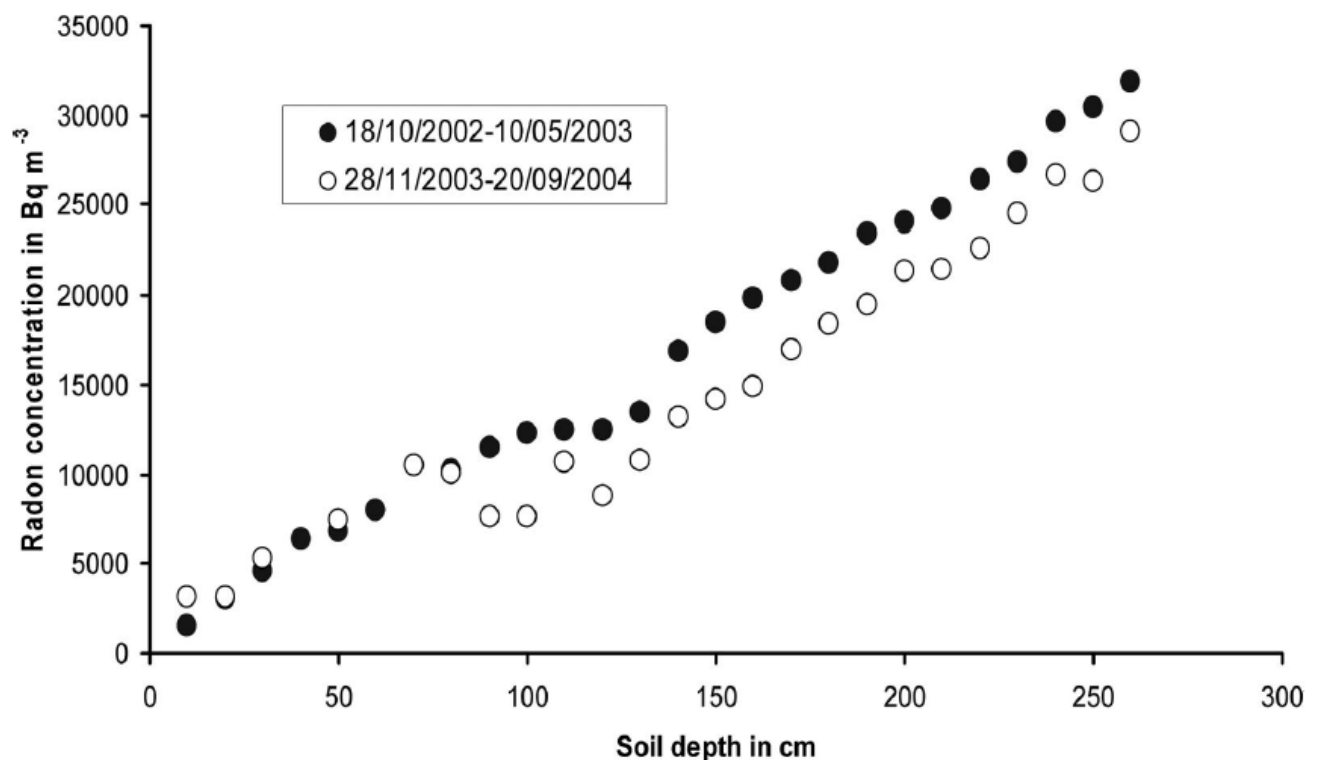


Figure 1 – Radon concentration as a function of the soil depth [17]

The main finding of the numerical investigation [17] is that the aforementioned, experimentally observed, profile of radon concentration can be explained theoretically by the existence of two soil layers with different diffusion-advection characteristics. Soil sample analysis [17] verified the existence of the two different type of soil layers.

## **1.2 Dependence on meteorological parameters**

There are many factors affecting radon activity concentration in soil gas, and meteorological parameters such as temperature, pressure and precipitation are known to be important contributions. Seasonal variation of soil radon has been discussed with controversial observations. Winkler et al [9] compared the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations at a test site located at Neuherberg in Germany. Among several notable results, they observed a winter-high in radon levels due to frozen top soil. An extreme case was reported by Sundal et al [18] who measured soil radon together with geochemical analyses of bedrock, groundwater and sediment at an ice-marginal deposit in Western Norway. They ascribed anomalously high seasonal changes in soil radon concentration to subterranean airflows caused by temperature differences between soil air and atmospheric air.

### **1.2.1 Short-term change: diurnal periodicity**

Fujiyoshi R. et al [19] conducted a study that soil radon has been measured temporally at a point in the woods on the Hokkaido University campus. During the observation period, there was a sudden increase in soil radon, which coincided with a large local earthquake on September 26, 2003 with the epicenter located offshore near Tokachi in Hokkaido, Japan. Because of the perceived link between earthquakes and changes in soil radon, this study was undertaken to obtain detailed data on other factors that may contribute to changes in soil radon levels. A continuous monitoring probe for soil radon (Barasol, Algade, France) was buried in the soil at a depth of 10 or 30 cm. This instrument has a battery powered solid state silicon detector and monitors temperature and barometric pressure with a data logger. It detects alpha-particle emissions of radon in soil gas hourly. The detector sensitivity is 0.02 pulses/h for 1 Bq/m<sup>3</sup> and the saturation volumetric activity is 3 MBq/m<sup>3</sup>. Barometric pressure was also measured hourly just above the ground surface (KADEC-U21, Kona

System, Japan) and the data set was collected at the end of each month. Humidity of the soil at depths of 20 and 50 cm was monitored hourly with a probe which could store data obtained for about 6 months (Profile Probe, Delta-T Devices Ltd., UK). Instruments were kept in the snow during the winter months from November 2004 to late March 2005, and also from December 2005 to March 2006. Details of the monitoring site and characteristics of the soil described [19].

Figure 2 shows time-series plots of soil radon levels together with hourly mean values of soil temperature measured at a depth of 10 cm from September 24-30, 2005 [19].

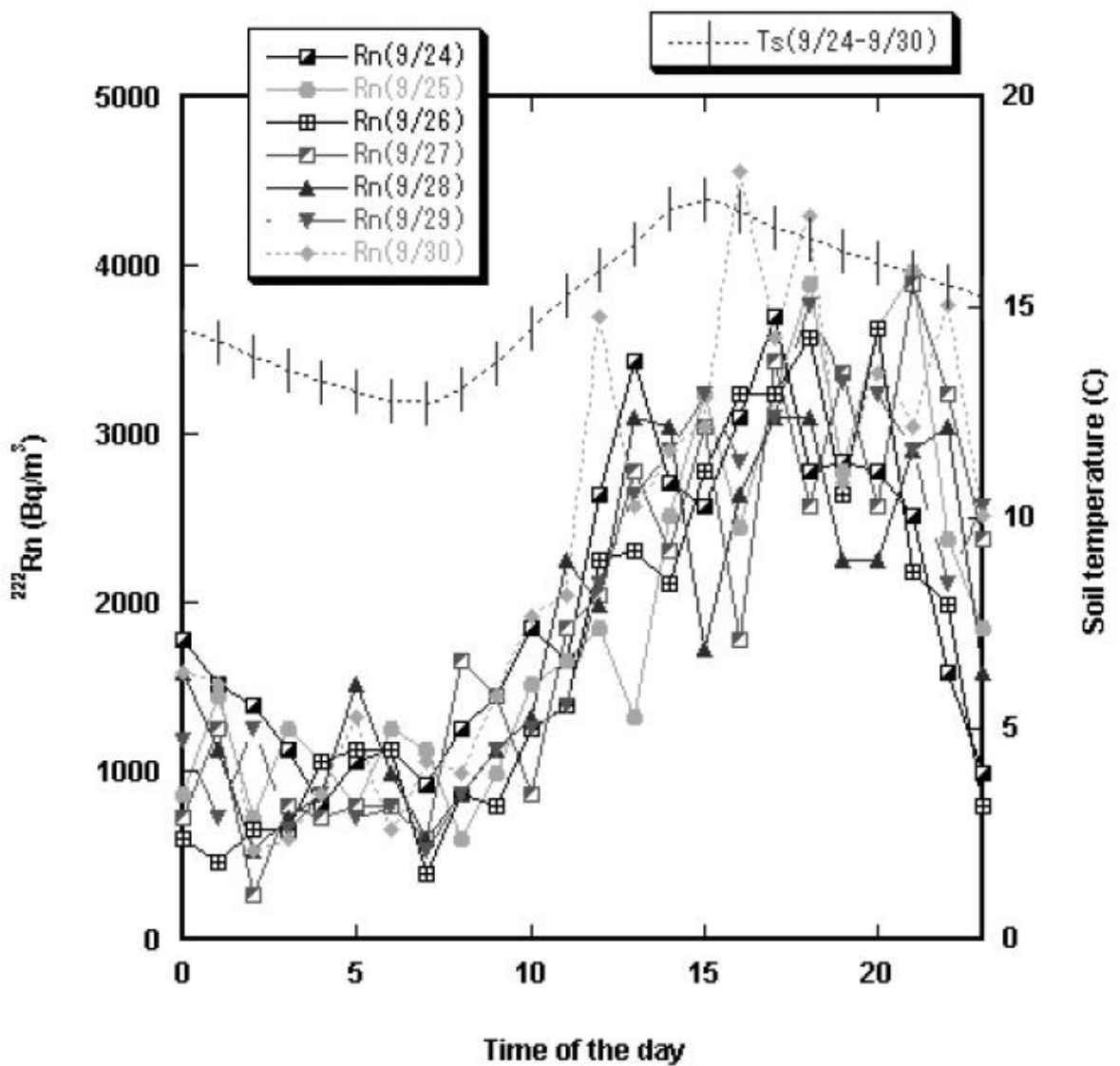


Figure 2 – Hourly change in  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration in soil gas and mean soil temperature measured at a depth of 10cm from September 24 to 30, 2005 [19]

Soil radon levels have a diurnal high and a nocturnal low. Such variability is strongly associated with atmospheric (and thus soil) temperature as shown in the figure. Consequently, there is a good correlation between daily  $^{222}\text{Rn}$  concentration and temperature in soil at a depth of 10 cm. The data indicates that an increase in soil temperature by  $1^\circ\text{C}$  may result in an increase in soil radon level as  $740 \text{ Bq/m}^3$  under similar meteorological conditions to those in the observation period of September 24-30, 2005 [19]. However, this correlation is reduced by a low pressure front with occasional rain from October 1 to 2, 2005 as shown in Figure 3.

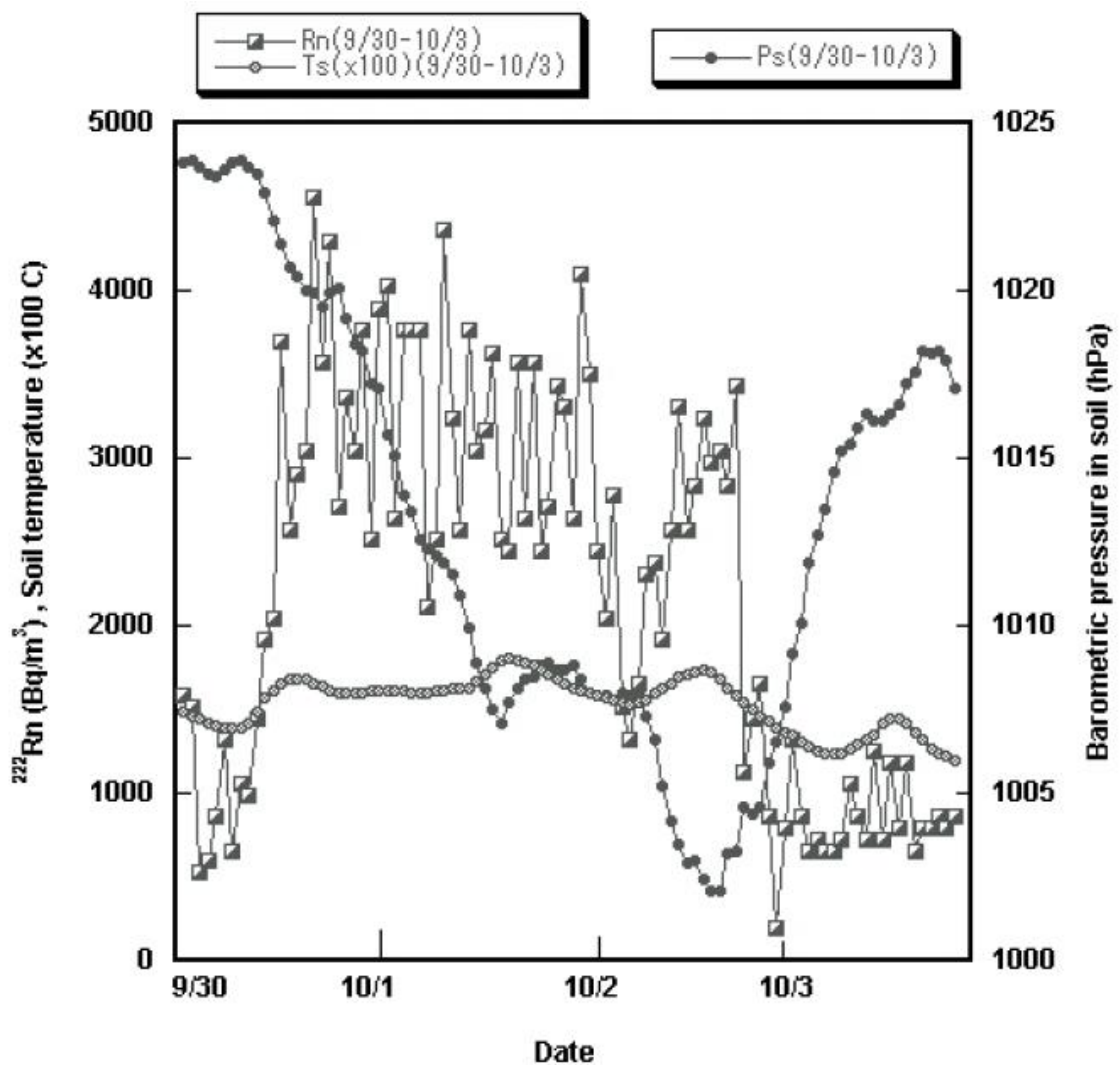


Figure 3 – Time-series plots of  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration, soil temperature and barometric pressure in soil at a depth of 10cm from September 30 to October 3, 2005.

Values of soil temperature in the figure were 100 times larger than the original data [19]

It should be noted that  $^{222}\text{Rn}$  activity decreased sharply at 8 pm on October 2 and the level remained low during the following day. This may correspond to the drop in temperature monitored at 10 cm depth from the ground surface. The typical daily pattern in soil radon levels (as shown in Figure 2) appeared again on October 4, and similar variability in radon concentration was observed during most of the year except in winter.

Radon concentrations were measured with an Alpha Guard PQ 2000 detector (Genitron Instrument, Germany) in the soil at a location in Valpovo (a town near Osijek) [20]. The site was positioned outside in the garden 0.8 m deep in the soil. Simultaneously, the atmospheric pressure was measured.

Considerable difficulties were encountered in the radon measurements in the soil; the Alpha Guard measuring procedure, according to the instructions, envisages the burying of a narrow tube into the soil and pumping of the soil gas into the ionization chamber in order to measure the radon concentration. However, the soil material at the point of measurement was rather compact and because of the very low permeability, it was not possible to pump the soil gas into the measuring chamber. Therefore, researchers secured a cylinder-shaped hole of a diameter of 0.3 m and 0.2 m deep from which the soil gas was pumped through a tube. At each site, the Alpha Guard detector was set to automatically read and make a record of the number of counts every 10 minutes.

The time variations of the radon concentration in the soil and the barometric pressure, are presented in Figure 4. In addition to the daily periodicity of the radon concentration, that can also be observed in variations of the barometric pressure, one can see irregularities in the radon concentration visible as large peaks and deep valleys [20]. Authors examined whether the radon concentrations are chaotic, or their changes are random and they behave as a noise.

A particular radon signal appeared around the 2500th reading that J. Planinić et al. [21] previously interpreted as a radon anomaly when searching for earthquake precursors. The interpretation of radon anomalies as precursors of seismic activity

has some uncertainties. Radolic V. et al. [20] undertook the task to examine the origin of the registered radon signal.

The radon signal after the peak had a minimum (Figure 1) that typically corresponded to the shape of a radon anomaly preceding an earthquake coming in about three weeks [21]. However studies [20] of the radon concentration in soil have shown a barometric effect. It can be seen as changes of the radon concentration and atmospheric pressure presented in Figures 1a and 1b about the 2500th reading. The decrease in barometric pressure corresponds to an increase in the radon concentration, and conversely [20].

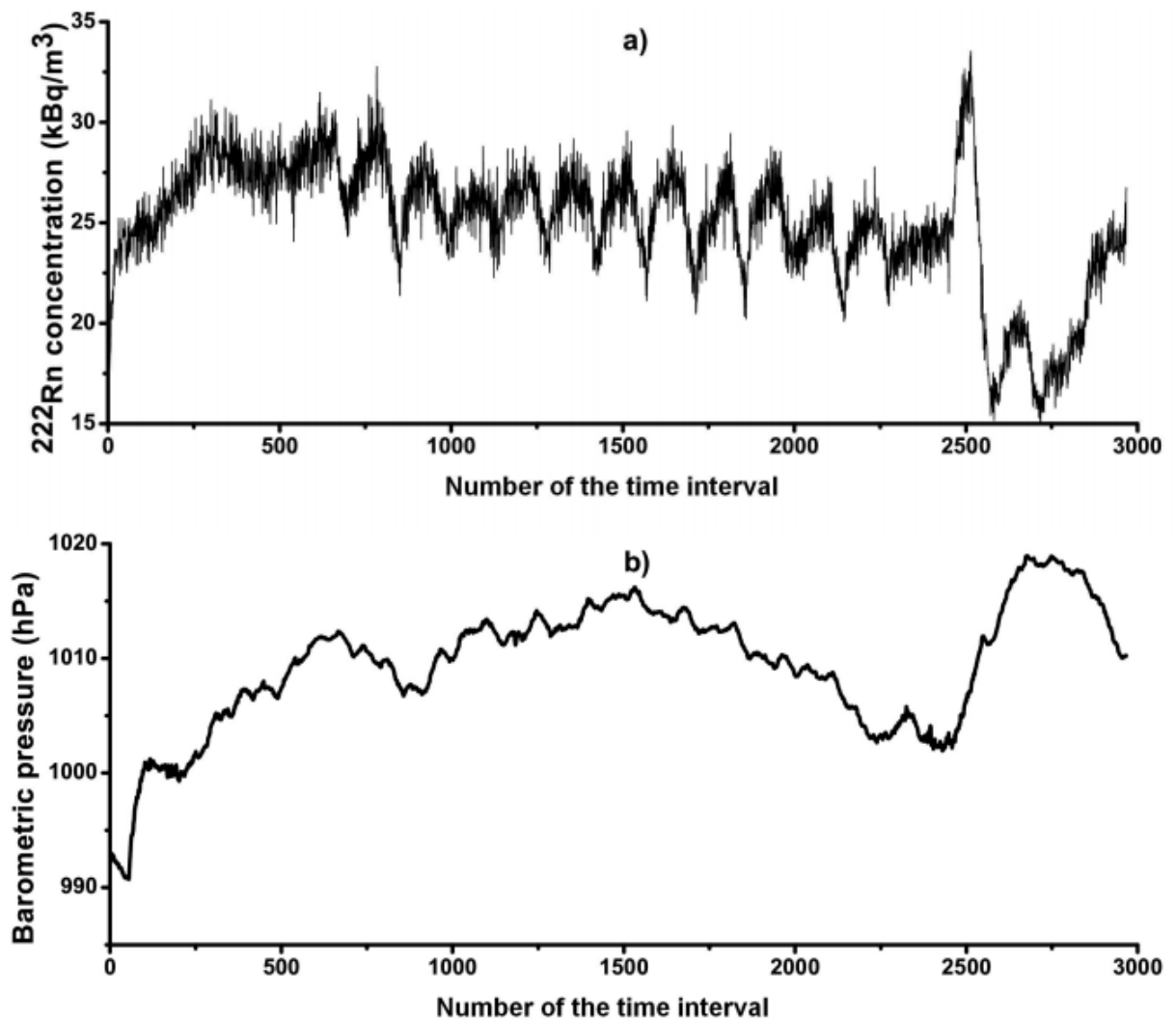


Figure 4 – Variation of the radon concentration in the soil versus the number of 10 min intervals (a), as well as variations of the barometric pressure (b) [20]



Diurnal periodicity of soil gas radon activity concentration was found in all the 11 monthly week data series [16]. In order to numerically model diurnal periodicity and to check for possible seasonal variations, the obtained diurnal sine waves were fitted with the least-squares method (Figure 5 and 6). In summer, wave length is more constant but it is highly variable in winter. The average amplitude was found  $0.3 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ , it was twice higher in summer ( $0.4 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) than in winter ( $0.2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Besides the random variability, this shows a higher and more regular systematic (diurnal) variation in summer than in winter and most likely driven by the climatic and soil conditions. Daily periodicity shows higher of soil gas radon activity concentration ( $C_{\text{soilRn}}$ ) at night from about evening 20:00-24:00 to about morning 07:00-10:00 and lower in the daytime also in summer, as well as in winter. Average of soil gas radon activity concentration is higher at night than in the daytime with about 18% and 3.8% in summer and in winter, respectively. Considering the uncertainty of a single measurement this difference is significant in summer, whereas in winter it is negligible.

An interesting transient feature, occasionally occurring, is that higher  $C_{\text{soilRn}}$  values were found in the daytime and lower at night, for example on 5 December 2010 (Figure 5). This is opposite behavior than daily periodicity described above. Outliers occurred any times of day [16]. Sudden events in  $C_{\text{soilRn}}$  are most probably associated with climatic events of torrential rainfall or wind storms.

The daye night radon differences are due to the dynamics of turbulent diffusion. At a windless night a stable temperature inversion forms and stops the turbulent diffusion in the boundary layer of soil. In this case the soil radon flux is reduced and the soil gas radon concentration rises up. After the sunrise this stable system vanishes and the turbulent diffusion starts yielding increased radon flux from the soil [16].

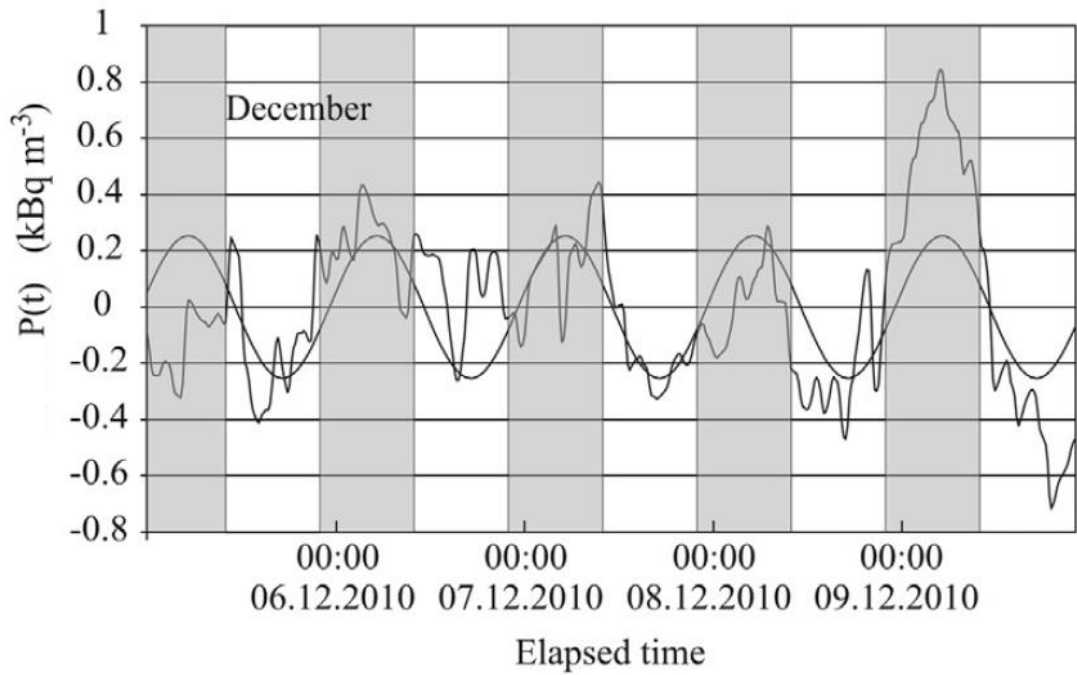


Figure 5 – Fitted diurnal sine wave to the  $P(t)$  for December 2010. Transparent grey rectangles show nights from 22:00 to 10:00 [16]

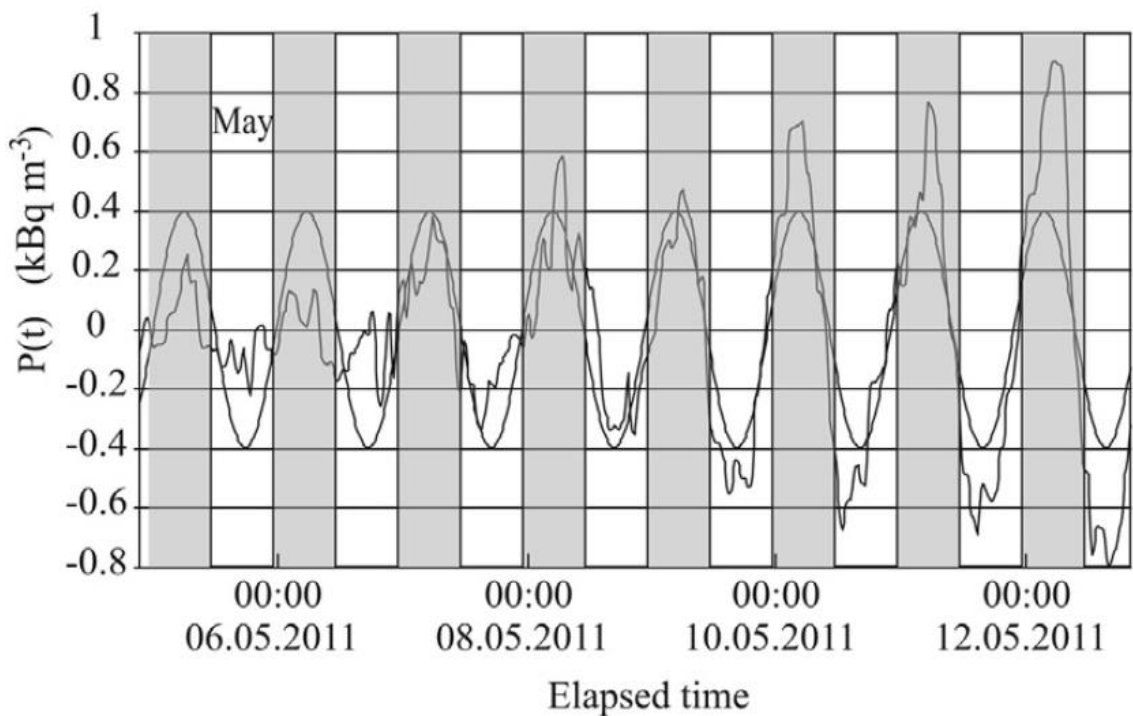


Figure 6 – Fitted diurnal sine wave to the  $P(t)$  for May 2011. Transparent grey rectangles show nights from 22:00 to 10:00 [16]

### 1.2.2 Long-term change: variability in different seasons

Time series of the average soil radon concentrations and their standard deviations are shown in Figure 7 for 0,5 m and 1 m depth [9]. By auto-correlation of the 1997 data it has been shown that the radon concentration determined at a given position and depths is strongly correlated with the preceding observation at this point in 1998.

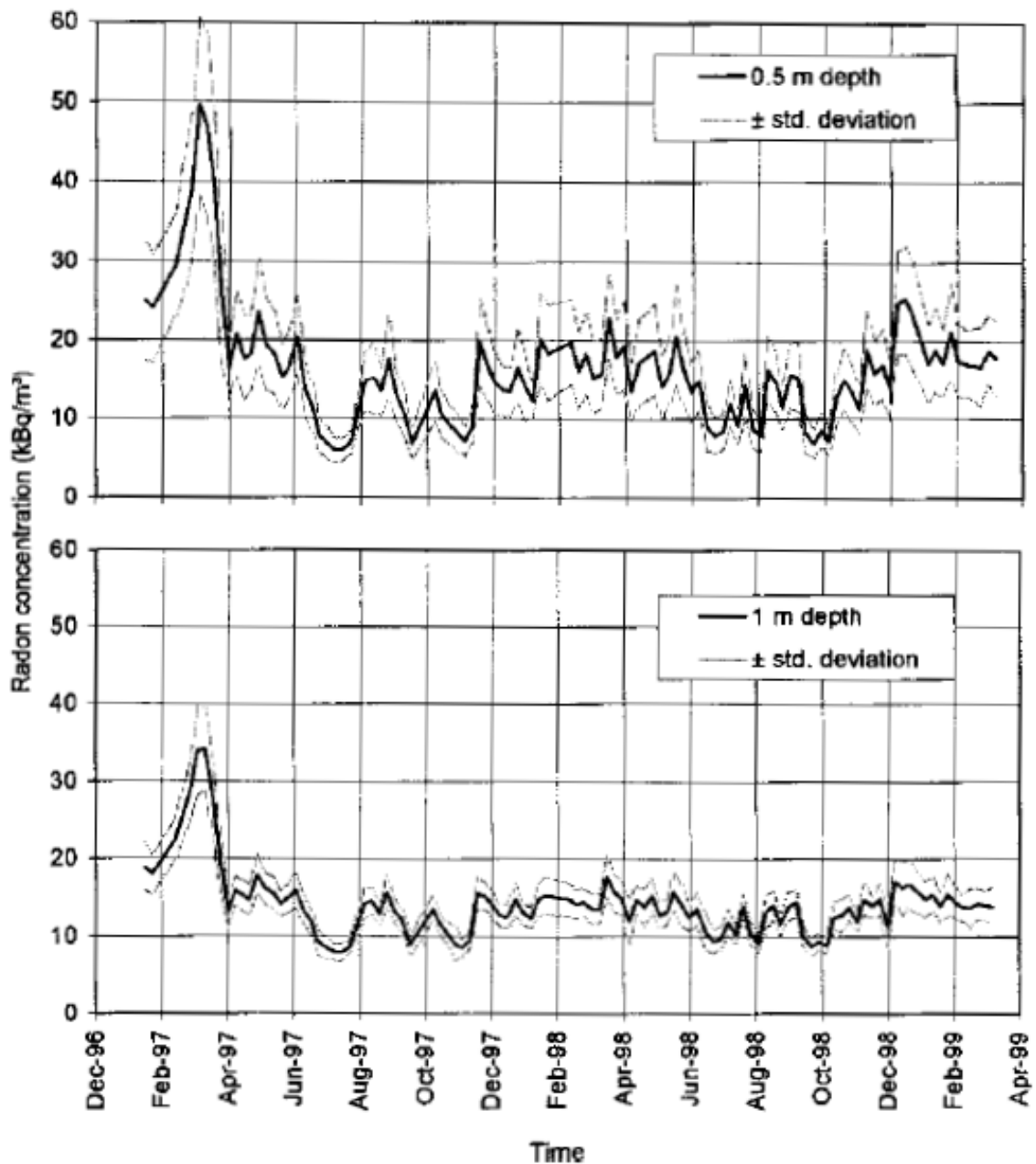


Figure 7 – Time series of soil  $^{222}\text{Rn}$  concentration  $\pm$  standard deviation in 0,5 m and 1 m depth at test site from December 1996 through March 1999 [9]

Results of work [9] showed that determination of the soil radon concentration once in an arbitrary week of the year can lead to an over- or underestimation of the best estimate of the long-term mean radon concentration ( i.e. 16,2 kBq·m<sup>-3</sup> in 0,5 m depth, and 14,1 kBq·m<sup>-3</sup> in 1 m depth) by a factor up to about four. Taking the coefficient of variation (C.V.) as a measure of the variability, the temporal variation at the 20m x 20m test field is characterised in 1997 by a C.V. of 55% at 0,5 m depth and of 36% at 1,0 m depth, and in 1998 by a C.V. of only 31% and 17% at the respective depths.

On average in work [9], at all sampling positions in the test field and nearly at all time radon concentration in 0.5 m depth was significantly higher than in 1 m depth in contrast to theory and others field studies. There is every reason to believe that the <sup>226</sup>Ra depth profile in combination with changing meteorological and soil conditions is mainly responsible for this behaviour, i.e. <sup>226</sup>Ra concentrations up to ca. 100 Bq·kg<sup>-1</sup> in the top-soil layer and low concentrations (ca. 25 Bq·kg<sup>-1</sup>) in the depth. This assumption is supported by the observation of frozen soil during periods of strongly increased soil radon levels in 0,5 m as well as in 1 m depth.

Due to the frozen top-soil, radon cannot easily escape to the atmosphere and the soil radon concentration increases at both depths. Assuming a comparable emanation behaviour of the top-soil and of the soil in 1 m depth, due to the higher <sup>226</sup>Ra content in the top-soil increased soil radon concentrations are then to be expected near the 0,5 m probe compared with the 1 m probe. It should be noticed, that the increased concentrations in July of each year (Figure 8) coincide with high moisture content of the soil, while the low concentrations observed during April - May and August - September coincide with dry periods.

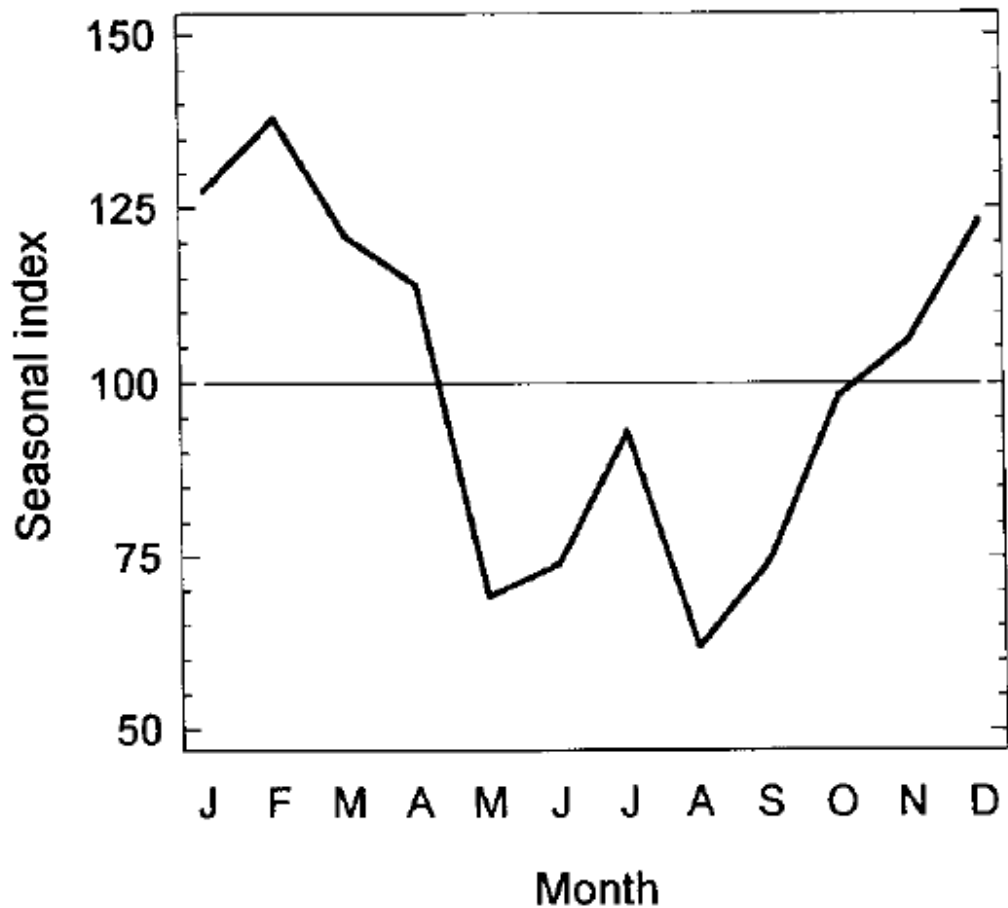


Figure 8 – Average seasonal course (seasonal index) of soil  $^{222}\text{Rn}$  concentration in 0,5 m depth at test site [9]

Temporal variation of the radon concentration in the soil was measured by the Barasol detector located in 85 cm depth, from October 2001 up to September 2004 in a location of the Aristotle University campus in Thessaloniki in northern Greece [17]. Figure 3 presents the mean monthly values of the radon concentration in the soil gas (in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ). The uncertainty of each measurement is less than 2%. The mean value of all measurements is presented with a dashed line. It is clear in Figure 9 that maximum values occur in winter months and minimum values in summer months.

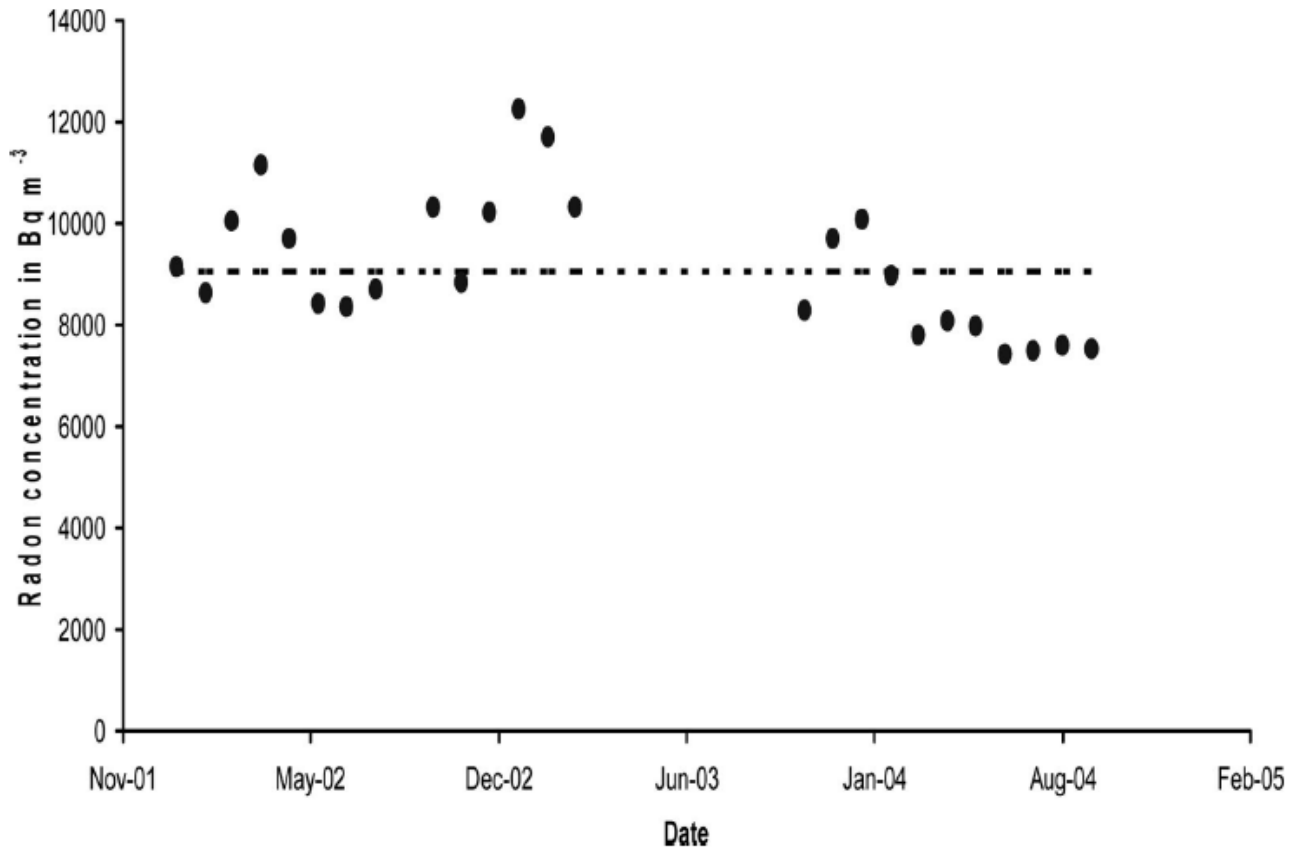


Figure 9 – Mean monthly values of the radon concentration in the soil gas as measured by the Barasol detector located at 85 cm depth. The dashed line gives the mean value of all measurements [17].

Soil gas radon activity concentration [16] has been investigated at a location in the Budapest urban area on the Pest Plane, at the Marczell György Main Observatory of the Hungarian Meteorological Service. The underlying rock at the measurement site is Quaternary fluvial sand. The sandy-gravelly soil is covered by garden grass at the site. Groundwater table fluctuation is assumed to have no influence on temporal variation of soil gas radon activity concentration at the site. Soil gas radon activity concentration ( $C_{\text{soilRn}}$ ) was measured in situ with a RAD7 Electronic Radon Detector coupled with soil probe through drying tube. From the soil  $C_{\text{soilRn}}$  was pumped out from 0.8 m depth. In [8] are detailed materials and methods. Plot of the monthly week datasets from August 2010 to July 2011 shows a clear separation of the summer and winter seasons on the monthly basis (Figure 10). Lower soil gas radon activity concentrations were detected in August, September 2010 and

in May, June, July 2011 in the summer period, and higher activity concentrations were found in October, November, December 2010 and in January, February, March 2011 in the winter period. This confirms seasonality in  $C_{\text{soilRn}}$  at this site.

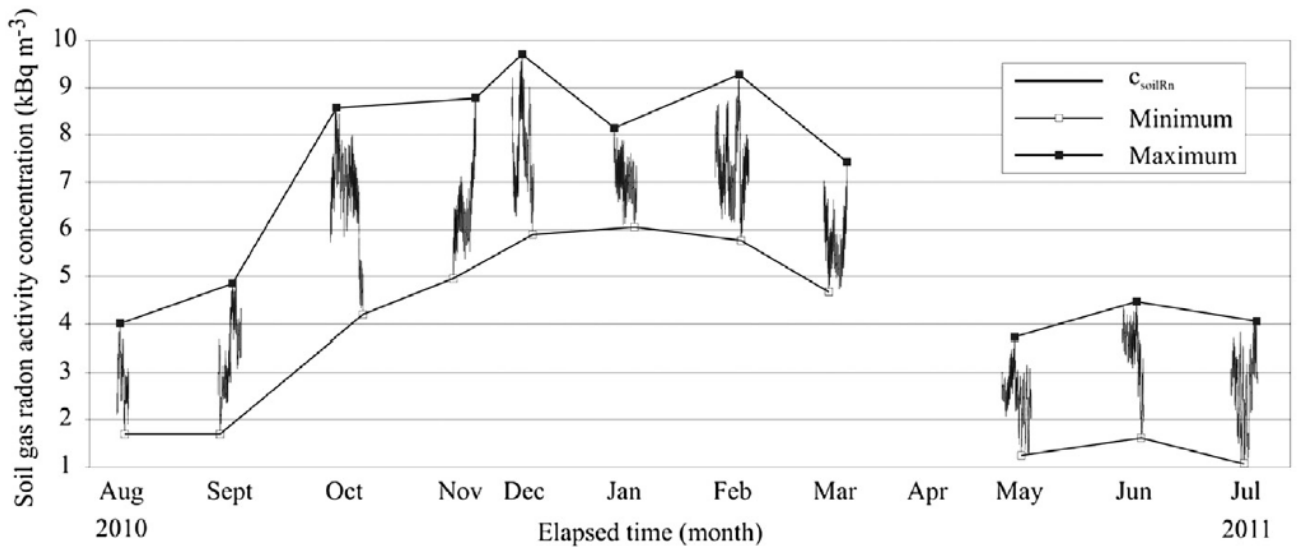


Figure 10 – Times series of the observed 11 monthly week soil gas radon activity concentration ( $C_{\text{soilRn}}$ ) data and the minimum and maximum values which show the range of each monthly week dataset [16]

The observed seasonality in Figure 10 can be explained by the fact that in summer, soil gas radon can easily move in the dry, cracked, porous soil and can exhale to the open air, whereas in winter the soil is sealed by snow and frozen uppermost soil layer and radon cannot exhale out to the open air. Additionally, the higher soil moisture content in winter cause not only higher radon emanation, but also higher soil gas radon activity concentration [16].

During measurement [16] period the average atmospheric temperature at the site was 12.4°C with an average of 19.2°C in summer and 5.7°C in winter. The average soil moisture content was 81.6% with an average of 61.6% in summer and 93.5% in winter. The reason for the strong seasonality of  $C_{\text{soilRn}}$  is the seasonal change of temperature and humidity [16,22].

The highest data scatter occurs [16] in August and September in 2010 and in May, June, July in 2011. These are the summer months identified above. A likely reason for this is the extreme change in soil parameter values and daily temperature changes. Consistently, the overall relative variability is low in winter months, except for December 2010. The weather conditions impacting soil characteristics such as soil temperature, wetness and pore gas pressure are more variable in summer, often associated with extreme events of sudden temperature variations. The average relative variability is 13% and 6% for the summer and winter periods, respectively.

It is interesting that there is no obvious transition between the two seasons and the soil radon activity concentration changes from one state to the other both in terms of the seasonal level (median value) and of the variability. This indicates that soil radon is controlled by a factor(s) with definite threshold(s) [16].

Figure 11 shows the time-series plots of  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration and soil temperature from November 22 2004 to March 17 2005 and from December 1 2005 to March 2 2006 [19]. The data obtained in 2004-2005 winter can be roughly divided into three parts: i) from November 22 to December 31 when gradual decreases in soil radon levels were observed with decreasing soil temperature; ii) from January 1 to 19 when radon levels and soil temperature were low with little fluctuation; and iii) from January 20 to March 17 when  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration in soil gas was low, but with occasional high values during nearly constant soil temperatures ( $0^{\circ}\text{C}$ ). The low soil radon during winter can be related to the snow on the ground [19]. The date when Sapporo city was completely covered with snow (lingering snow) was December 5, 2004. From that time, snow depth increased to approximately 34 cm by the end of the year. In contrast, soil temperature did not correspond to atmospheric temperature which was occasionally lower than  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Diffusion of  $^{222}\text{Rn}$  gas originating from deeper portions of the soil to the atmosphere is hampered by thick snow cover and is dissolved in the aqueous phase present in the upper portion of the soil. This may contribute to low  $^{222}\text{Rn}$  concentration in soil gas during the winter after lingering snow at the site. Increasing porosity makes water fill the empty pores and the diffusion of radon reduces [19]. As



shown in Figure 11, a similar result was obtained during the next winter from December 1, 2005 to March 2, 2006 when the probe was set in the soil at a depth of 30cm.

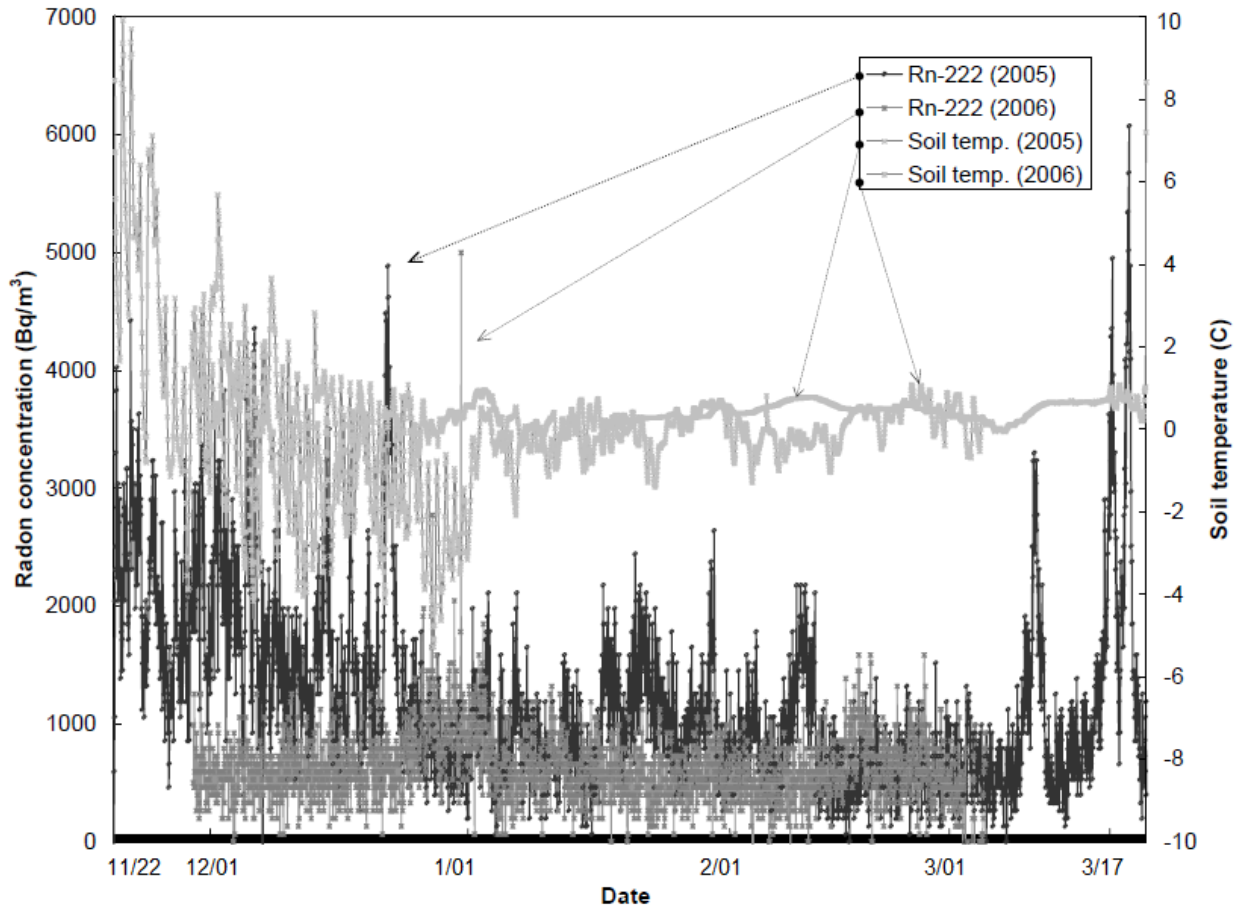


Figure 11 – Monitoring  $^{222}\text{Rn}$  activity concentration and soil temperature during winter months from November 22, 2004 to March 17, 2005 and from December 1, 2005 to March 2, 2006 [19]

Other studies have shown increasing soil radon concentrations in winter due to the frozen top soil [9]. In contrast, the study [19] demonstrates low soil radon concentrations during winter, but the different soil temperatures are likely a major consideration since the top soil at Sapporo site was never frozen, but always wet by melting snow after lingering snow. This also contributes to relatively constant soil temperature ( $0^{\circ}\text{C}$ ) in the mixture of snow and melting water during winter months [19].