

А.М. Маренный, А.А. Цапаков,  
П.С. Мшеллер, Т.В. Петрова

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ФОРМИРОВАНИЯ РАДОНОВОГО ПОЛЯ  
В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

Москва 2016

Федеральное медико-биологическое агентство  
Федеральное государственное унитарное предприятие  
Научно-технический центр  
радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России

---

А.М. Маренный, А.А. Цапалов,  
П.С. Микляев, Т.Б. Петрова

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ФОРМИРОВАНИЯ РАДОНОВОГО ПОЛЯ  
В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

Москва, 2016

ББК 26.21

УДК 551.521:550.35

3-19

**Маренный А.М., Цапалов А.А., Микляев П.С., Петрова Т.Б.**

3-19 Закономерности формирования радонового поля в геологической среде  
– М.: Издательство «Перо», 2016. – 394 с.

ISBN 978-5-906883-94-0

Рецензенты:

**Бондаренко В.М.** – доктор технических наук, профессор кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

**Стамат И.П.** – доктор биологических наук, заведующий лабораторией дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева.

В монографии показаны результаты уникального многолетнего эксперимента по синхронному мониторингу параметров радонового поля – объемной активности радона в массиве грунта на разных глубинах и плотности потока радона с поверхности грунта – на пяти экспериментальных площадках, расположенных в различных регионах России, отличающихся геологическими и климатическими условиями. В книге представлен аналитический обзор современного состояния исследований, изученности радоновых полей и подходов к оценке радоноопасности, описаны использовавшиеся в работе методы полевых и лабораторных измерений, приведены их результаты, а также выявленные закономерности формирования радонового поля в геологической среде. Практические следствия результатов исследований имеют прямое отношение к решению медико-экологических проблем в виде усовершенствованного метода оценки потенциальной радоноопасности участков строительства и картирования территории России.

Книга рекомендуется для специалистов в области радиационного контроля и охраны окружающей среды, геоэкологии, геофизики, геодинамики и сейсмологии, инженерных изысканий для строительства, строительного проектирования, санитарно-гигиенического надзора, а также может быть полезна для студентов и аспирантов соответствующего профиля.

Монография подготовлена в рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

ББК 26.21

УДК 551.521:550.35

ISBN 978-5-906883-94-0

© Авторы, 2016

© ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	8
<b>Термины и определения</b> .....	13
<b>Обозначения и аббревиатуры</b> .....	18
<b>Глава 1. Обзор существующего состояния исследований радонового поля и подходов к оценке радоноопасности</b> .....	20
1.1. Экологическое значение радона.....	20
1.2. Радон в геологии и история изучения радонового поля.....	22
1.3. Основные процессы формирования радонового поля в геологической среде.....	31
1.3.1. Эманирование.....	31
1.3.2. Распределение радона между фазами.....	36
1.3.3. Механизмы переноса радона в геологической среде.....	38
1.3.4. Диапазон характерных значений параметров радонового поля.....	52
1.3.5. Временные колебания радонового поля.....	56
1.3.6. Гипотезы формирования радоновых аномалий.....	59
1.4. Существующие подходы к оценке потенциальной радоноопасности территорий.....	65
1.4.1. Картирование потенциальной радоноопасности крупных территорий.....	66
1.4.2. Оценка потенциальной радоноопасности отдельных участков строительства.....	75
1.5. Выводы о состоянии исследований радонового поля и подходов к оценке радоноопасности геологической среды.....	82
<b>Глава 2. Организация и аппаратурно-методическое обеспечение исследований на экспериментальных площадках</b> .....	84
2.1. Цель, задачи и программа исследований.....	84
2.2. Организация исследований.....	85
2.2.1. Критерии выбора экспериментальных площадок.....	85
2.2.2. Расположение экспериментальных площадок и геолого-тек- тонические особенности выбранных территорий.....	87
2.2.3. Оборудование и организация измерений на экспериментальных площадках.....	91

2.2.4. Объем работ и проведенных измерений на экспериментальных площадках.....	96
2.3. Методы полевых исследований.....	98
2.3.1. Измерение плотности потока радона с поверхности грунта..	99
2.3.2. Измерение объемной активности радона в грунте.....	103
2.3.3. Определение агрометеорологических и газогеохимических параметров.....	107
2.3.4. Влияние естественных факторов на результаты измерений...109	
2.4. Методы лабораторных исследований.....	112
2.4.1. Подготовка счетного образца и определение плотности грунта.....	113
2.4.2. Определение содержания естественных радионуклидов в грунте.....	114
2.4.3. Определение коэффициента эманирования грунта.....	117
2.4.4. Определение коэффициента диффузии радона в грунте.....	119

**Глава 3. Результаты полевых и лабораторных исследований на экспериментальных площадках.....** 124

3.1. Московская экспериментальная площадка.....	124
3.1.1. Радиационно-физические свойства грунтов на Московской ЭП.....	124
3.1.2. Результаты мониторинга на Московской ЭП.....	125
3.1.3. Корреляционный анализ данных Московской ЭП.....	135
3.1.4. Распределение ОА радона в грунте на Московской ЭП.....	137
3.2. Рязанская экспериментальная площадка.....	140
3.2.1. Радиационно-физические свойства грунтов на Рязанской ЭП.....	140
3.2.2. Результаты мониторинга на Рязанской ЭП.....	141
3.2.3. Корреляционный анализ данных Рязанской ЭП.....	148
3.2.4. Распределение ОА радона в грунте на Рязанской ЭП.....	149
3.3. Екатеринбургская экспериментальная площадка.....	152
3.3.1. Радиационно-физические свойства грунтов на Екатеринбургской ЭП.....	152
3.3.2. Результаты мониторинга на Екатеринбургской ЭП.....	154
3.3.3. Корреляционный анализ данных Екатеринбургской ЭП.....	160
3.3.4. Распределение ОА радона в грунте на Екатеринбургской ЭП.....	162

3.4. Пятигорская экспериментальная площадка.....	164
3.4.1. Радиационно-физические свойства грунтов на Пятигорской ЭП.....	165
3.4.2. Результаты мониторинга на Пятигорской ЭП.....	166
3.4.3. Корреляционный анализ данных Пятигорской ЭП.....	171
3.4.4. Распределение ОА радона в грунте на Пятигорской ЭП.....	173
3.5. Иркутская экспериментальная площадка.....	175
3.5.1. Радиационно-физические свойства грунтов на Иркутской ЭП.....	175
3.5.2. Результаты мониторинга на Иркутской ЭП.....	177
3.5.3. Корреляционный анализ данных Иркутской ЭП.....	181
3.5.4. Распределение ОА радона в грунте на Иркутской ЭП.....	183
<b>Глава 4. Закономерности поведения радона в геологической среде.....</b>	<b>186</b>
4.1. Закономерности временных вариаций радонового поля.....	186
4.1.1. Вариации плотности потока радона с поверхности грунта.....	186
4.1.2. Вариации объемной активности радона в грунте.....	200
4.1.3. Особенности временных вариаций аномальных радоновых полей.....	204
4.2. Закономерности пространственных колебаний плотности потока радона с поверхности грунта.....	208
4.3. Механизмы переноса радона в грунте.....	217
4.3.1. Результаты математического моделирования.....	217
4.3.2. Результаты исследований с применением “радий-свинцового” метода.....	235
4.4. Основные выводы о закономерностях формирования радонового поля.....	239
4.4.1. Пространственно-временные вариации.....	240
4.4.2. Общие закономерности и влияющие факторы.....	241
4.4.3. Радоновое поле вне зон активной геодинамики.....	243
4.4.4. Радоновое поле в зонах активной геодинамики.....	244
<b>Глава 5. Оценка потенциальной радоноопасности территорий.....</b>	<b>247</b>
5.1. Общие подходы к оценке потенциальной радоноопасности территорий.....	247
5.2. Определение расчетной плотности потока радона из грунта.....	249
5.3. Выявление аномальных радоновых полей.....	256

5.4. Усовершенствованный алгоритм оценки потенциальной радоноопасности участков строительства.....	260
5.5. Принципы картирования радоноопасности в России.....	264
<b>Заключение.....</b>	<b>271</b>
Приложение 1. Московская экспериментальная площадка.....	275
Приложение 2. Рязанская экспериментальная площадка.....	283
Приложение 3. Екатеринбургская экспериментальная площадка.....	291
Приложение 4. Пятигорская экспериментальная площадка.....	300
Приложение 5. Иркутская экспериментальная площадка.....	308
Приложение 6. Измерение ППР на основе метода открытой камеры с углем (метрологическое обеспечение и неопределенность измерений с применением комплекса “Камера”).....	319
Приложение 7. Измерение ППР на основе метода закрытого контейнера....	327
Приложение 8. Измерение ППР на основе метода активного контейнера....	331
Приложение 9. Измерение ОА радона в грунте (отбор пробы грунтового газа на сорбционную колонку СК-13 и оценка неопределенности измерений).....	334
Приложение 10. Оценка суточных вариаций ППР на экспериментальных площадках.....	338
Приложение 11. Оценка влияния эманации торона на результаты полевых измерений (методология и результаты расчетного и экспериментального исследований).....	339
Приложение 12. Герметичность измерительных контейнеров по отношению к радону (метод контроля и рекомендации по обеспечению герметичности).....	348
Приложение 13. Гамма-спектрометрический анализ содержания радионуклидов в пробах грунта (методические и аппаратурные особенности).....	351
Приложение 14. Определение коэффициента эманирования грунта разными методами.....	356
Приложение 15. Расчет коэффициента диффузии радона в пробе грунта на основе долгосрочного метода.....	361
Приложение 16. Расчет коэффициента диффузии радона в пробе грунта на основе ускоренного метода, его особенности и характеристики экспериментальной установки.....	363
<b>Список литературы.....</b>	<b>369</b>