

РАДОН КАК РАДИАЦИОННЫЙ ФАКТОР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

5.1. Общие сведения о радоне и продуктах его распада

Радон-222 является продуктом распада радия, в свою очередь образующегося в процессе радиоактивного распада естественного урана-238 (рис. 5.1).

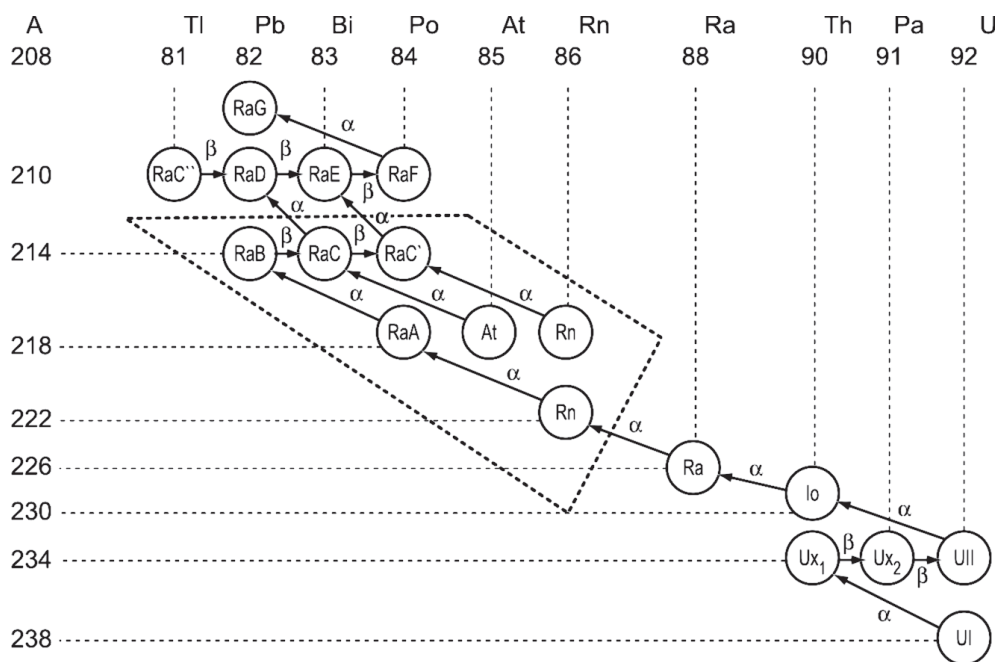


Рис. 5.1. Схема образования радона и продуктов его распада

На рисунке выделены продукты распада Rn, по которым определяется его концентрация прибором "АЛЬФА-ОМЕГА".

Это радиоактивный газ без цвета и запаха с периодом полураспада 3,82 суток. Он в 7,5 раз тяжелее воздуха. Как видно из схемы распада, данный газ и образующиеся короткоживущие продукты его распада являются интенсивными альфа-излучателями. Энергия альфа-частиц колеблется от 5,48 до 7,68 МэВ. Это обуславливает их активное воздействие на биологические ткани внутренних органов человека (bronхи, легочный эпителий и т.д.).

Существует газообразный продукт распада ^{232}Th – торон (^{220}Rn) с периодом полураспада 55 сек. В радиозоологическом плане он менее опасен, но при определенных условиях торон может создавать повышенные концентрации, поэтому необходимо учитывать "тороновый" фактор в областях развития торийсодержащих пород. Б.П. Черняго и др. (1996) на примере Прибайкалья показали, что соотношение активностей радона и торона в воздухе помещений составило 1:60.

Известен радиоактивный газ *актинон* (^{219}Rn), продукт распада урана-235 с периодом полураспада 4 сек, не представляющий радиационной опасности. Основные воздействия на живой организм оказывают дочерние продукты распада.

5.2. Основные источники радона

Основными источниками радона и продуктов его распада в воздухе являются: горные породы, почвы, воды, природный газ. Его концентрация существенно различается на разных участках земного шара (рис. 5.2).

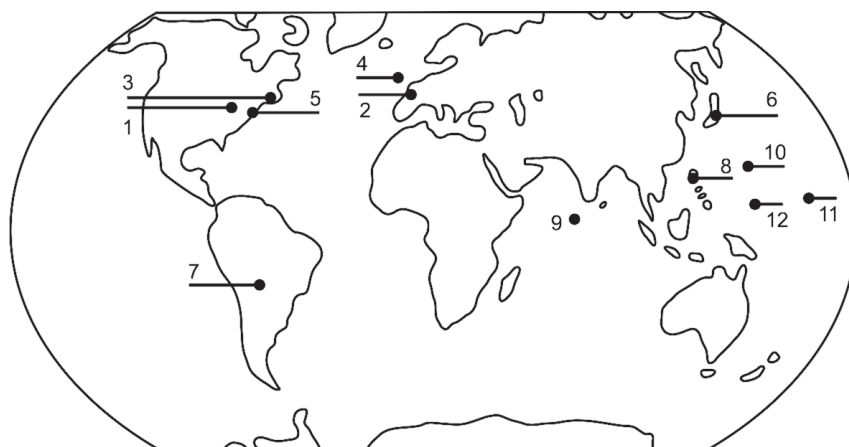
Породы

Каждый участок земной поверхности выделяет радон с характерной для него скоростью. На участках, где коренные породы содержат высокие концентрации урана (граниты, углеродисто-кремнистые сланцы, фосфориты и т.д.), всегда фиксируется высокое радоновыделение (табл. 5.1).

Наличие радиогеохимических аномалий в геологической среде определяется геологическим строением территории. Так, в Швеции разработана классификация районов страны для общего планирования строительных работ. Классификация включает территории с высоким, нормальным и низким уровнем радона в почвенном воздухе и учитывает содержание урана и радия в горных породах и почвах, проницаемость и водосодержание почв, объем газовой эманации. Для всей территории страны построены карты радонового заражения, основанные на геологических данных, а также на измерениях содержания радона в жилых домах, проведенных местными здравоохранительными органами.

К районам с максимальной степенью риска отнесены территории, сложенные легкопроницаемым гравийно-песчанистым материалом ледниковых отложений (озы, конечные морены), а также области распространения радиоактивных гранитоидов (табл. 5.1, 5.2).

На достаточно однозначную связь концентрации радона с геологическим строением в жилых комнатах Швейцарии (исследовано 400 частных домов) указыва-



1. Цинциннати	– 9,6 Бк/м ³	
2. Франция	– 9,3 Бк/м ³	
3. Нью-Йорк (город)	– 4,8 Бк/м ³	
4. Великобритания	– 3,3 Бк/м ³	
5. Вашингтон	– 2,9 Бк/м ³	
6. Япония	– 2,1 Бк/м ³	
7. Боливия	– 1,5 Бк/м ³	
8. Филиппины	– 0,3 Бк/м ³	
9. Индийский океан	– 0,07 Бк/м ³	
10. Марианские о-ва	– 0,05 Бк/м ³	
11. Маршаловы о-ва	– 0,02 Бк/м ³	
12. Каролинские о-ва	– 0,02 Бк/м ³	

Концентрация радона-222
в воздухе, Бк/м³

Рис. 5.2. Некоторые результаты измерений концентрации радона-222 в воздухе в различных местах земного шара (материалы по данным НКЛАР "Радиация. Дозы, эффекты, риск", 1988)

ют Р. Крамер и др. (1989). Так, в молассовом бассейне к северу от Альп среднее содержание Rn в жилых комнатах составляет 47 Бк/м³, в Юго-Восточных Альпах – 116 Бк/м³, в Швейцарских Альпах – 68 Бк/м³. В подвальных помещениях уровень Rn неизменно выше. Сделан вывод о критических содержаниях Rn и продуктов его распада в районах Альпийской зоны.

Для территории России составлена также карта радоноопасности (рис. 5.3). Анализ этой схемы показывает, что к радоноопасным территориям относятся ураново-рудные районы и провинции с широким распространением горных пород, специализированных на уран (Забайкалье, Алтай, Восточный Саян и др.). Так, например, высокие концентрации радона в почвенном воздухе установлены в рай-

Таблица 5.1. Результаты гамма-спектрометрического анализа и определения эманиационного фактора пород и почвенных образцов Финляндии

Образец	Кол-во образцов	Радий, Бк/кг	Торий, Бк/кг	Калий, Бк/кг	Эманиационный фактор*
Граниты и пегматиты	14	630	139	1767	0,18
Выветрелые породы	2	1328	40	2045	0,21
Трещиноватый гранит, содержащий вторичные урановые минералы	1	11600	96	1580	0,11
Моренный суглинок, гл. м:					
0–1	20	213	84	1166	0,36
1–2	14	303	111	1332	0,29
2–3	4	1004	166	1146	0,35
3–4	3	1025	113	1069	0,37
Глина	2	127	66	1090	0,34
Земная кора (ср.)	25	32			
Гранит (ср.)	55	60			

Примечание: * – эманиационный фактор – доля Rn, выделяющегося из горных пород

Таблица 5.2. Содержание радия-226 в породах штата Нью-Йорк, США

Грунт (порода)	Уровень ²²⁶ Ra Бк/кг (пКи/кг)
Песок	15 (0,4)
Гранит	44 (1,2)
Сланцы	104 (2,8)
Сланцы	93 (2,5)
Гравий	37 (1,0)
Гравий	37 (1,0)

оне курорта Белокуриха (Алтай), где концентрация радона в помещениях колеблется от 530 до 4600 Бк/м³ (Недра России. Экология ..., 2002).

Картирование точек радоно- и торонпроявлений в Прибайкалье позволило выделить области повышенного содержания этих газов в почвах, одна из которых приходится на район выхода массива Приморских гранитов, зоны разлома и зоны развития милонитов в среднем течении р. Анга (Ольхонский район). При

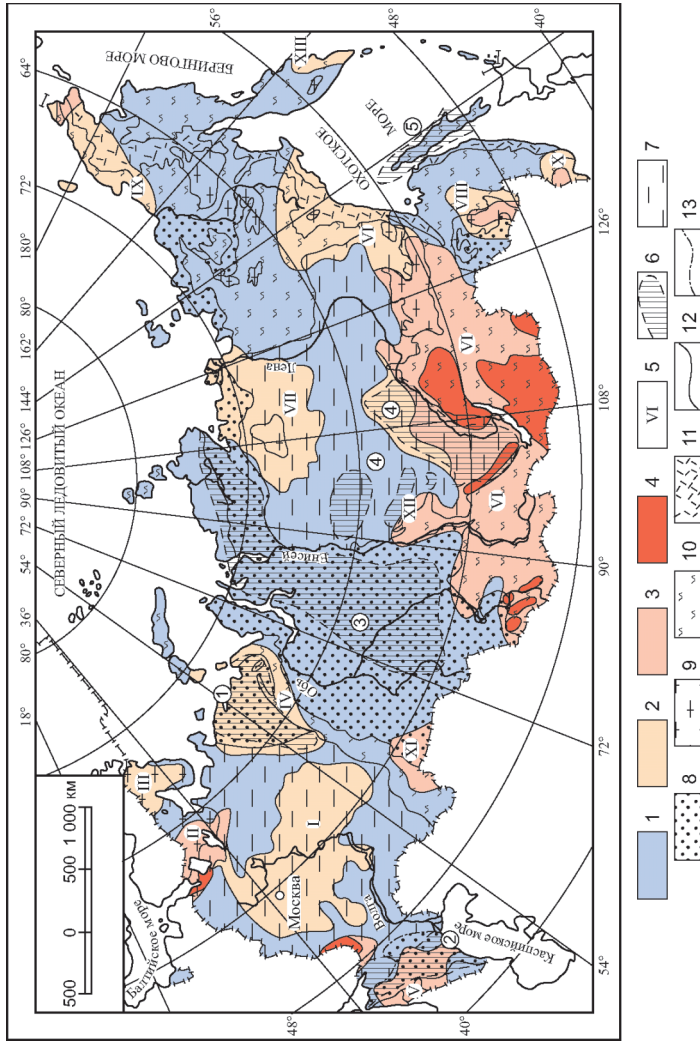


Рис. 5.3. Схема радионности регионов России: 1–4 – степень радионности регионов: 1 – с кларковой или ниже кларковой концентрации радона, 2 – потенциально опасные, 3 – опасные, 4 – повышенного риска; 5 – номера радионноопасных районов (римские цифры на схеме): I – Волго-Камский, II – Прибалтийский, III – Колыский, IV – Ухта-Северо-Уральский, V – Северо-Кавказский, VI – Забайкальско-Южно-Сибирский, VII – Анабарский, VIII – Бурейский, IX – Чукотский, X – Приморский, XI – Зауральский, XII – Енисейский, XIII – Камчатский; 6 – регионы с повышенной концентрацией радия и радона в подземных водах нефтегазовых провинций (цифры в кружках): 1 – Тимано-Печорской, 2 – Северо-Кавказской, 3 – Западно-Сибирской, 4 – Лено-Тунгусской, 5 – Охотско-Сахалинской; 7–13 – тектонические районирования: 7 – древние платформы, 8 – молодые платформы, 9 – щиты и срединные массивы, 10 – складчатые области фанерозоя, 11 – вулканогенные пояса, 12 – границы тектонических структур, 13 – граница Русской и Скифско-Туранской платформ

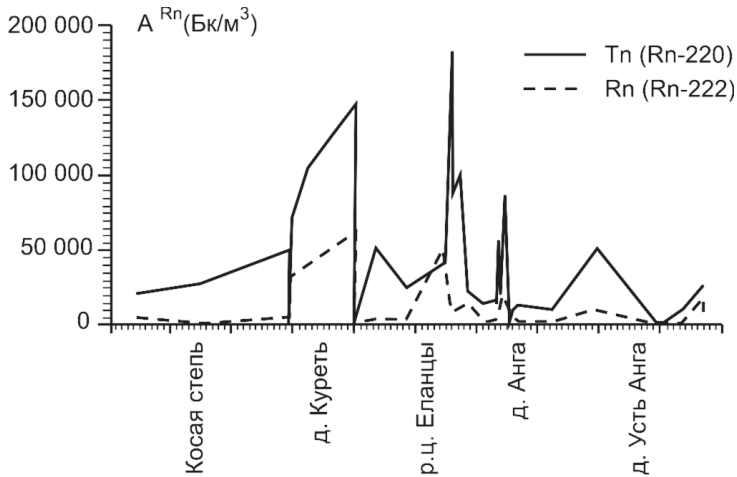


Рис. 5.4. Аномалии активностей радона-220 и радона-222 в почвенном воздухе, связанные с тектоническими разломами и выходами радиоактивных пород в Ольхонском районе Иркутской области (Черняго и др., 1996)

средних значениях объемной активности торона $20\text{--}60 \cdot 10^3$ Бк/м³ и радона $4\text{--}8 \cdot 10^3$ Бк/м³ по Ольхонскому району в аномалиях активность торона доходит до $180\text{--}350 \cdot 10^3$ Бк/м³ и радона – до $60 \cdot 10^3$ Бк/м (Черняго и др., 1996). Связь радоно- и тороновыделений с геологическими особенностями строения района здесь особенно видна (рис. 5.4).

Почвы

Типичные значения концентрации радия в почве – 41 Бк/кг, эманационный фактор – 0,35, коэффициент пористости – 0,4.

Исходя из этих данных, концентрация радона в почвенном газе составляет приблизительно 37 кБк/м³ (1000 пКи/л).

Содержание радия в почве изменяется в пределах типа почв. Наличие радона обусловлено пористостью, влажностью и содержанием урана в почвообразующих породах. Так, максимальные концентрации до 1400 пКи/л отмечаются в почвах над милонитовой зоной, в домах – до 200 пКи/л. В кварц-полевошпатовых и биотитовых гнейсах они умеренные до средних, а самые низкие – в горнблендитовых пироксеновых гнейсах (средние значения в почвах – соответственно 1040 и 980 пКи/л) (Reimera, 1989).

Существует градиент концентрации радона от близкого к атмосферному уровню на поверхности (9 Бк/м³ или 0,25 пКи/л) до равновесной концентрации на глубине 1–2 м, где концентрация радона – $3,7 + 1300$ кБк/м³ (100–35 000 пКи/л). Средняя концентрация – около 25 кБк/м³ (700 пКи/л) – согласуется с теоретически определенной величиной 37 кБк/м³ (1000 пКи/л).

Радон мигрирует в помещение вследствие диффузии и перепада давления. Средний поток из почвы в атмосферу – $0,015$ Бк/м³с ($0,4$ пКи/м³с). Таким обра-

зом, доля почвенного радона в домашней атмосфере только в результате диффузии составит менее 37 Бк/м³ (1 пКи/л).

Воды

Концентрация радона в используемой воде чрезвычайно мала, но вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит очень много радона (табл. 5.3).

Такое высокое содержание радона было обнаружено, например, в воде артезианских колодцев в Финляндии и США, в том числе в системе водоснабжения Хельсинки и, примерно в той же концентрации, – в воде, поступающей в город Хот-Спрингс (штат Арканзас). Наибольшая зарегистрированная удельная радиоактивность воды в системах водоснабжения составляет 100 МБк/м³.

В подповерхностных водах в центральной части штата Флорида зарегистрирована довольно высокая α -радиоактивность – 15 пКи/л. Эта радиоактивность постоянно поддерживается за счет наличия в водах радона и продуктов его распада. Короткоживущие продукты распада радона-222 могут иметь вдвое большую активность, чем он сам.

Радон, выделяющийся радием из пород, переходит в грунтовую воду и в природный газ. Использование этих природных субстанций в доме также увеличивает поступление радона в домашнюю атмосферу. Изучение 172 больших заводов по водоснабжению в Швеции выявило высокий уровень радона – до 150 Бк/л. В Финляндии в районе обогащенных ураном коренных пород в 1975 г. были обнаружены водные скважины с наивысшей для Финляндии концентрацией радона – 45 кБк/л, а в 1987 г. – с еще большим содержанием радона – 77,5 кБк/л. Измерения содержания радона в подземных водах США выявили значения до 30 000 пКи/л, а в штате Мэн воды в гранитах и пегматитах содержат до 1 300 000 пКи/л. В Кольванском районе Новосибирской области известны воды, содержащие 44 Бк/л радона.

Скважины и колодцы, из которых жители некоторых поселков Красноярского края получают питьевую воду, также характеризуются высокой концентрацией радона.

Так, в поселке Потапово (Енисейский район) люди пьют воду с содержанием радона выше предельно допустимых норм его концентрации в 203 раза, в Епишине – в 68 раз, в поселке Высокогорск – в 3150 раз (Труд, 11.10.1991 г.).

Таблица 5.3. Средняя характеристика радона в источниках воды

Местонахождение		Радон, кБк/м ³
США	Ханкок (штат Мэн)	1400
	Северная Каролина	100
Финляндия	Хельсинки и Вантаа	1200
Австрия	Зальцбург	1,5

По данным Научного комитета по действию атомной радиации ООН, до 10% людей на Земле пьют воду, в которой более 100 000 Бк/м³ радона.

Пластовые воды нефтяных месторождений, содержащих радий (Ухтинский район и др.), также содержат повышенные концентрации радона и обуславливают его аномальные уровни накопления (300–600 Бк/м³) в помещениях (Кузнецов и др., 1996).

Поверхностные водные источники имеют очень низкую концентрацию радона. Но природа настолько разнообразна, что она зачастую опровергает существующие мнения, в том числе и о том, что радона в поверхностных водах содержится мало.

В 1990 г. при проведении аэрогамма-спектрометрической съемки в пределах географического листа М-45-VII (Мамонтов и др., 1990), вблизи административной границы Алтайского края и Республики Алтай, в самых верховьях реки Щепета была обнаружена аэроаномалия над поверхностью горного озера. Особенность этой аномалии позволяла утверждать, что она обусловлена высокой концентрацией Rn в этом озере. Так появился природный феномен "Радоновое озеро" (Уваров и др., 1999), который нашел отражение на карте полезных ископаемых листа М-45-III (новая серия).

В 2002 г. нами (Л.П. Рихванов, Ю.П. Попов) при помощи и поддержке Ю.В. Робертуса и А.В. Пузанова удалось 6 июня, совершив 7 взлетов и посадок на вертолете, высадиться в районе этого озера (рис. 5.5, 5.6), произвести отбор проб воды и выполнить измерения на месте. Озеро находится в пределах Талицкого гранитоидного массива на высоте 1900 м.

Порфиroidные гранитоиды массива в районе озера характеризуются высоким содержанием калия (4,7%), урана (13 мг/кг) и сравнительно низким содержанием тория (10 г/кг) при величине торий-уранового отношения 0,8. Это позволяет нам утверждать (Рихванов и др., 2002, 2003), что данные гранитоиды испытали сильную метасоматическую переработку или, вероятно, их окончательный облик был сформирован этими процессами.

В отчете партии №23 Березовской экспедиции, которая производила в 1959 г. поиск урановых месторождений на этой площади, указано на существование большого количества родников с высокой концентрацией радона, а также прожилки вторичной урановой минерализации типа отенита. Само радоновое озеро на картах того времени не показано, что позволяет предполагать, что это озеро является подпрудным и, вероятно, сформировано около 40 лет назад. Глубина озера у берегов составила 1,5–2 м.

МЭД над уровнем воды озера на момент посещения составляла около 300 мкР/час. Температура воды составляла 5,5 °С. Концентрация Rn в воде на месте отбора проб составляла много более 100 Бк/л. В отобранных водных пробах, исследованных в лаборатории ГГП "Березовгеология" Ю.П. Поповым, концентрация Rn составила 100 Бк/л. Содержание урана в воде составило 10⁻⁷ г/л.

Таким образом, сегодня можно утверждать, что в поверхностных водоемах могут находиться весьма высокие концентрации радона.

Вероятно, это может быть объяснено сильным подтоком радоносодержащих



Рис. 5.5. Радоновое озеро

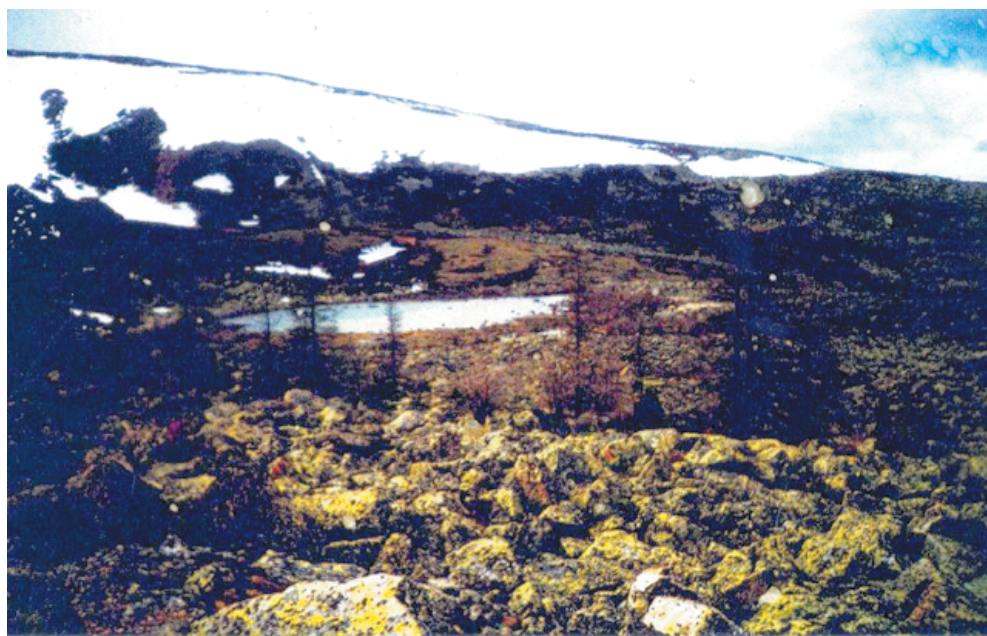


Рис. 5.6. Радоновое озеро (на расстоянии)

вод по трещинам, что позволяет поддерживать постоянное его содержание в поверхностном водоеме.

В подземных водах концентрация радона сильно изменяется, достигая максимума в гранитах. Среднее геометрическое в источниках водоснабжения США – 4,8 кБк/м³ (134 пКи/л). Концентрация радона обычно наибольшая в индивидуальных колодцах и уменьшается по мере увеличения числа пользователей. Большая часть подземных источников водоснабжения имеет концентрацию 3,7–7,4 кБк/м³ (100–200 пКи/л). Однако известны участки с концентрацией 370–37 000 кБк/м³ (10 000 – 21 000 000 пКи/л). Вклад водного радона в домашнюю атмосферу составляет 37 Бк/м³ (1 пКи/л) при его содержании в воде 370 кБк/м³ (10 000 пКи/л).

При кипячении воды или приготовлении горячих блюд радон в значительной степени улетучивается, и поэтому он поступает в организм в основном с некипяченой водой. Но даже и в этом случае радон очень быстро выводится из организма.

Большую опасность представляет попадание в легкие паров воды с высоким содержанием радона в ванной комнате.

При обследовании домов в Финляндии оказалось, что в среднем concentra-

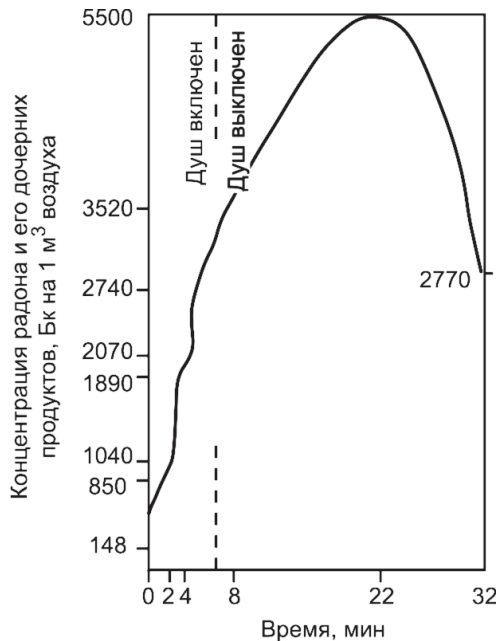


Рис. 5.7. Удельная радиоактивность воздуха, обусловленная присутствием радона и его дочерних продуктов в ванной комнате одного из домов в Канаде в течение семи минут работы теплого душа и после его отключения (концентрация радона в воде составляла 4400 Бк/м³)

Таблица 5.4. Концентрация радона в разных помещениях

Вид помещения	Средняя концентрация радона, кБк/м ³
Ванная комната	8,5
Кухня	3,0
Жилая комната	0,2

ция радона в ванной комнате примерно в три раза выше, чем на кухне, и приблизительно в 40 раз выше, чем в жилых комнатах (табл. 5.4).

Исследования, проведенные в Канаде, показали, что все семь минут, в течение которых был включен теплый душ, концентрация радона и его дочерних продуктов в ванной комнате быстро возрастала, и прошло более полутора часов с момента отключения душа, прежде чем содержание радона упало до исходного уровня (рис. 5.7).

Газы

Основной источник атмосферного радона – диффузия от поверхностных почв. Локальными источниками радона являются вулканы, грунтовые воды, природный газ и вентилируемый воздух шахт.

Средняя концентрация радона в приземной атмосфере оценивается на уровне 2–10 Бк/м³, над океаном она на два порядка меньше. Отмечается резкое уменьшение количества радона в атмосферном воздухе с высотой. Среднее поступление этого радиоактивного газа из почвы (горной породы) в атмосферу составляет 0,015 Бк/(м³ · с). Количество радиоактивных эманаций в воздухе зависит и от солнечной активности, на что обращал внимание А.Л. Чижевский (1973).

Радон поступает также в природный газ под землей. В результате предварительной переработки и в процессе хранения газа перед поступлением его к потребителю большая часть радона улетучивается, но концентрация радона в помещении может заметно возрасти, если кухонные плиты, отопительные и другие нагревательные устройства, в которых сжигается газ, не снабжены вытяжкой. При наличии вытяжки, которая сообщается с наружным воздухом, использование газа практически не влияет на концентрацию радона в помещении.

Много радона, улетучившегося из природного газа в процессе предварительной переработки, попадает в сжиженный газ – побочный продукт этой обработки. Но в целом с природным газом в дома поступает значительно больше радиоактивного материала (в 10–100 раз), чем от более радиоактивного сжиженного газа, поскольку потребление природного газа гораздо выше.

Уровень радона в природном газе составляет 1850 Бк/м³. Средняя концентрация в атмосфере США составляет 10 Бк/л на высоте 1 м от поверхности. Количество атмосферного радона убывает с высотой, особенно до 200 м. Из-за достаточно большого периода полураспада (3,8 сут.) радон более или менее равномерно распределяется в тропосфере (на высоте около 10 км).

Высокие концентрации радиоактивного газа отмечаются в непроветриваемых горных выработках, подвалах.

Основным источником радона и продуктов его распада в воздухе помещений являются строительные материалы, из которых сооружены здания. Типичные концентрации радия в камне, бетоне, кирпиче и гипсе те же, что и в поверхностных почвах и породах – 40 Бк/кг (1 пКи/л). Лучше всего в этом смысле дерево: удельная радиоактивность древесины, как правило, ниже 1 Бк/кг.

Радиоактивность бетона определяется радиоактивностью его компонентов и сильно различается в различных странах. Например, в Швеции бетон содержит квасцы с увеличенным содержанием урана. Эквивалентное содержание ^{226}Ra может достигать приблизительно 1500 Бк/кг. В конце 70-х годов использование квасцов в производстве бетона запретили, но 700 тысяч домов из такого бетона успели построить. В шведских домах концентрация радона в среднем существенно выше, чем в американских (90 против 40 Бк/м³), что объясняется, в числе прочих причин, также использованием голубого пористого бетона.

В США, Канаде, Японии перестали применять при изготовлении бетона кальций-силикатный шлак и фосфогипс, получаемый при переработке фосфорсодержащих руд: радиоактивность этих материалов достигала 200 Бк/кг. Установлено, что содержание ^{222}Rn в 3–11 раз выше в квартирах, облицованных плитками из фосфогипса, по сравнению с контрольными. Люди, находящиеся в таких помещениях, подвергаются на 30% более интенсивному облучению, чем жильцы других домов. Согласно полученным оценкам, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения в результате применения этого материала составляет 300 000 чел.-Зв.

На концентрацию радона в домашней атмосфере влияет также конструкция здания. Основной источник поступления радона – грунт под строением, главный накопитель радона – подвал или подпол (при наличии такового). Из подвала радон распространяется по дому, поэтому его концентрация максимальна в подвале, меньше на первом этаже и еще меньше – на втором. В домах без подвала уровень радона, проникающего в дом из почвы, на первом этаже меньше, чем при наличии подвала (табл. 5.5). Зимой концентрации радона в подвалах и на первом этаже на 50% превышают летние уровни. Весна и осень характеризуются промежуточными результатами и, видимо, являются наилучшим временем для оценки среднегодовых значений. На концентрацию радона в домашней атмосфере влияет также скорость воздухообмена в помещении, то есть проветривание. В связи с энергетическим кризисом в 70-х годах в США приняты энергосберегающие строительные конструкции. И если в традиционных домах США скорость вентиляции составляет 0,3–1,5 м³/ч, то в энергосберегающих домах она уменьшается до 0,1 м³/ч. Строгой корреляции между концентрацией радона и скоростью вентиляции не обнаружено.

По мнению других авторов, увеличение числа плотно законопаченных энергосберегающих домов в США угрожает увеличить облучение жильцов. В энергосберегающих домах альпийской области Швейцарии уровень радона на первом этаже в 1,5 и на втором – в 1,2 раза выше, чем в традиционных.

Таблица 5.5. Сравнение уровней радона на 1 этаже и конструкций подвала

Конструкция стен	Сезон	Медианное содержание радона, пКи (Бк/м ³)
Подвал со стенами из бетонных блоков	Зима	3,1
	Весна	2,4
	Лето	2,4
	Осень	2,6
Дома без подвала	Зима	2,2 (81,4)
	Весна	1,4 (51,8)
	Лето	1,0 (37)
	Осень	1,8 (66,6)
Подвал со стенами из пористого бетона	Зима	2,3
	Весна	1,3
	Лето	1,5
	Осень	1,5

Во всех исследованиях радона отмечаются сезонные изменения его содержания в помещениях. В помещениях большинства домов наивысшая концентрация радона зарегистрирована зимой. Предположительно это обусловлено большой "запечатанностью" домов зимой от непогоды. Внешний воздух поступает в меньшем количестве и не разбавляет радон. По оценкам, на каждый гигаваатт-год электроэнергии, сэкономленной благодаря герметизации помещений, шведы получили дополнительную дозу облучения в 5600 чел.-Зв.

Обобщенные данные по множеству съемок радона в различных областях США выявили следующее распределение концентраций радона в домах (рис. 5.8, 5.9), занимаемых одной семьей.

Распределение является логнормальным, с геометрическим средним значением 33 Бк/м³ (0,9 пКи/л). В штате Нью-Йорк выборочное опробование охватило 2400 домов в течение двух месяцев отопительного сезона. Медианная концентрация – 32 Бк/м³ (0,86 пКи/л) и среднее арифметическое – 51 Бк/м³ (1,39 пКи/л), дисперсия от 2,2 до 1473 Бк/м³ (0,06–39,8 пКи/л). Концентрации в подвале в среднем в 2–3 раза превышают те, что зафиксированы на более высоких уровнях, а концентрации в помещениях, расположенных выше подвала, зимой превышают в 1,5 раза те, что фиксируются летом. Видимо, доминирующим является конвективный поток радона в дом. Его движущей силой является разность давлений, возникающая в разрезе дома из-за разности температур внутри и вне дома, а также из-за ветровой нагрузки на строение. Получено физическое доказательство, что дом является не только пассивным аккумулятором радона, но и сам дей-

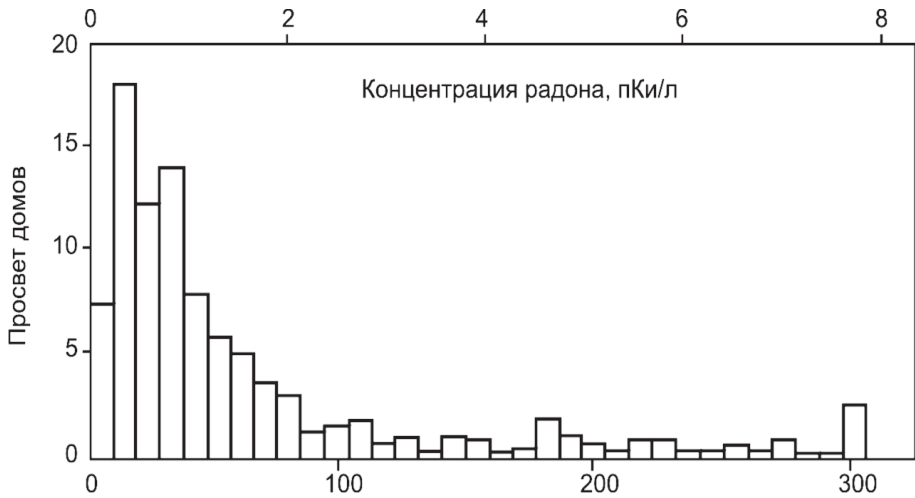


Рис. 5.8. Распределение концентрации радона. Примерно в 2% домов в США (около 1 млн) концентрации выше 300 Бк/м³, что в 5 раз превышает средний уровень (по Э.В. Неро-младшему, 1988)

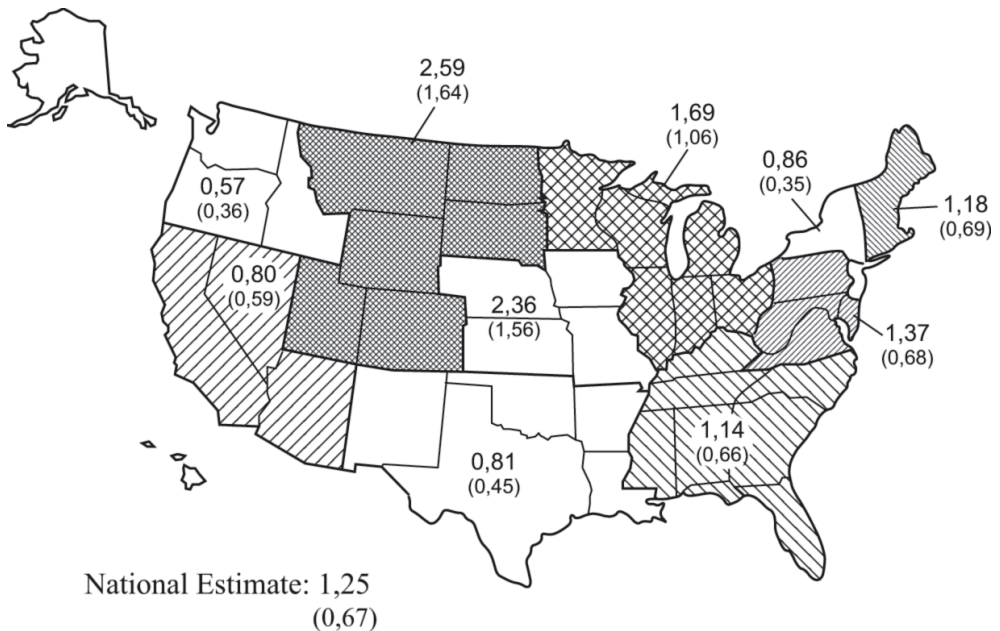


Рис. 5.9. Среднеарифметическая (числитель) и медианная (знаменатель) годовая концентрация ²²²Rn в жилых помещениях некоторых регионов США, пКи/м³ (Environmental Radioactivity..., 1997)

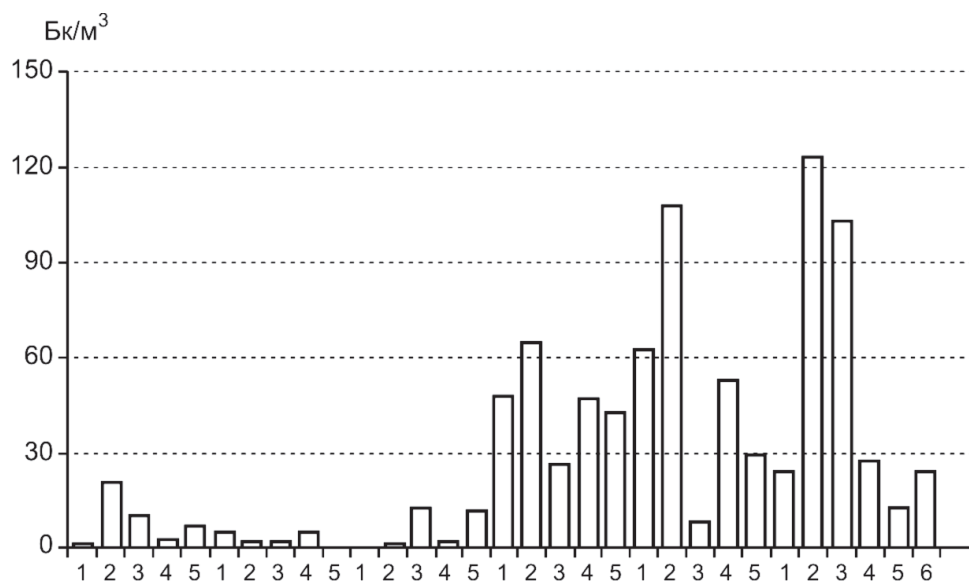


Рис. 5.10. Концентрации радона в зданиях некоторых населенных пунктов Томской области (в подпольных помещениях)

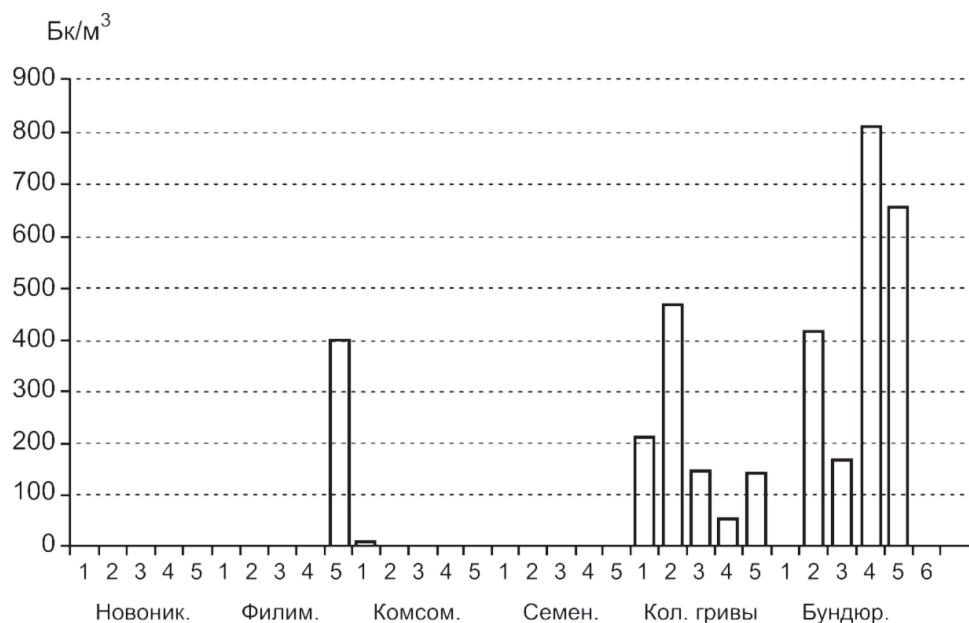


Рис. 5.11. Концентрации радона в зданиях некоторых населенных пунктов Томской области (в подвальных помещениях)

ствует как активный насос радоносодержащего почвенного газа внутрь строения.

Определение концентрации радона в домах некоторых населенных пунктов Томской области, проведенное сотрудниками Госкомэкологии и МГП "Экогеос" различными методами, показало, что уровень его накопления сравнительно низкий и варьируется в значительных пределах, достигая в отдельных случаях в некоторых зданиях предельно нормируемых его показателей (рис. 5.10, 5.11).

Эти показатели ниже, чем концентрации радона в воздухе помещений Алтайского края, где средний показатель составляет 342 Бк/м³ (Зуевич и др., 1993), достигая в отдельных случаях в районе г. Белокуриха (известный радоновый курорт) 6080–10200 Бк/м³ (Ворожцов и др., 1993).

Аномально высокие концентрации радона в воздухе жилых помещений, превышающие предельные нормативные уровни, установлены в ряде населенных пунктов Сибири (Белая Зима, Атаманово, Октябрьский и др.).

Например, в п. Белая Зима Иркутской области более 57% квартир имеют концентрацию радона свыше 200 Бк/м³ (Синицкий и др., 1994, 1996). Аналогичная картина отмечается в Канске, Красноярске и др. (Кузьмин, Домаренко, 1994). Этот список можно продолжить, что свидетельствует о наличии радоновой проблемы в Сибирском регионе, которая требует своего разрешения.

Почвенные радоновые съемки выявили корреляцию между уровнем накопления радона в помещениях и его содержанием в почве и коренных породах, в которых (или на которых) построен дом (табл. 5.6).

В Швеции съемка радона в жилищах выявила асимметричное распределение концентрации с небольшой долей домов с высоким (превышающим 800 Бк/м³) уровнем радона. Среднее геометрическое концентрации дочерних продуктов распада радона составило 13 Бк/м³ (0–406 Бк/м³) в 326 домах. Выбор обследованных домов определялся повышенным содержанием урана в грунте, а при повтор-

Таблица 5.6. Сезонные изменения содержания радона в домах, расположенных на различных горных породах в шт. Вирджиния, США

Порода	Зима	Медианный уровень радона, пКи/л	
		Зима	Лето
Филлиты	5,4	3,2	2,9
Железосодержащие интрузивные породы	3,8	2,7	1,4
Гнейсы	3,3	2,5	2,3
Метаморфические сланцы	4,9	3,6	2,9
Гранитоид	2,9	2,3	2,0
Диабаз-роговики	3,8	1,7	1,4
Осадочные породы	2,7	2,3	1,9

ном исследовании выбор основывался на данных о расположении озон и гляцио-флювиальных отложений, обогащенных урансодержащими квасцовыми сланцами.

5.3. Радон и продукты его распада как радиационно опасный фактор

В последние годы мнения ученых сходятся на том, что повышенное содержание радона в жилых домах опасно для здоровья их обитателей. Ранее в многочисленных исследованиях отмечалось увеличение риска заболевания раком легких среди рабочих урановых и других рудников в результате облучения короткоживущими α -излучающими дочерними продуктами распада радиоактивного газа радона.

На возможную опасность эманаций от радия и тория при их постоянном вдыхании обращал внимание еще в 1907 г. Э. Резерфорд (Кольтовер, 1996).

Уже давно было замечено, что горняки, работающие на уран-полиметаллических рудниках Шнееберга и Иоахимстале (Рудные горы), необычайно часто умирают от особой болезни, названной в XVI веке "горной болезнью". Лишь к концу XIX столетия выяснилась истинная картина этого заболевания – злокачественные опухоли органов дыхания. Только за период с 1875 по 1925 гг., по опубликованным неполным данным, из 686 случаев смертей шахтеров Шнееберга в 289 случаях причиной смерти был рак легких. В Иоахимстале за 1929–1943 гг. у 71 из 156 умерших горняков причиной смерти также оказались злокачественные опухоли органов дыхания. Стандартный частотный показатель смертности от рака легких среди шахтеров этих рудников достигал 90–180 случаев в год в расчете на 10 000 горняков, тогда как в аналогичных группах мужского населения он составлял 2–4 случая в год.

Длительные поиски возможных причин столь высокой смертности от рака легких среди горняков, работавших на рудниках Шнееберга и Иоахимстале, показали, что основным фактором являлся радон и короткоживущие продукты его распада. Концентрация радона в рудничном воздухе достигала в те периоды очень больших значений: до 10^{-8} Ки/л и более.

На основе этих данных уже в предвоенные годы была рекомендована предельно допустимая концентрация радона в воздухе производственных помещений равная $1,10^{-11}$ Ки/л. Впоследствии порядок этой величины был подкреплен многочисленными расчетами доз в органах дыхания, учитывавшими поступление со вдыхаемым воздухом, наряду с радоном, короткоживущих продуктов его распада.

Во второй половине 1950-х гг. в работах советских ученых появились указания на то, что при совместном действии высоких концентраций кварцсодержащей пыли и радона с короткоживущими продуктами его распада ускоряется развитие и отягощается течение силикоза. Этим же объясняется повышенная частота рака у горняков. Нормированные на сегодня показатели для короткоживущих продуктов распада радона являются одними из немногих нормативов, в основе

которых лежит не столько расчет дозы в критическом органе (т.е. в органах дыхания), сколько результаты анализа профессиональной заболеваемости среди лиц, подвергавшихся в течение длительного времени воздействию радона и продуктов его распада. В настоящее время содержание радона в помещениях стало предметом беспокойства за состояние здоровья населения, что в некоторой степени связано с осуществлением программ экономии энергии в зданиях и использованием строительных материалов из промышленных отходов с высоким содержанием радия.

В США еще в 1970-х гг. заинтересовались той радиацией, которую "вдыхают" дома и на работе. В результате появилась Национальная программа США по контролю качества воздуха в помещениях. К 1986 г. обследовали 1377 домов в 38 самых урбанизированных регионах Америки и выяснили, что содержание радона в помещении в среднем в 10 раз превышает его концентрацию снаружи и создает дозу радиоактивного излучения, втрое превышающую ту, которую средний американец получает в течение всей своей жизни при медицинских обследованиях.

Агентство охраны окружающей среды исследовало 3 000 школ. В 19% комнат уровень радона превышал 4 пКи/л (148 Бк/м³). В 3% комнат уровень радона превышал 20 пКи/л (740 Бк/м³). В каждом из 16 штатов есть школа, где единичный замер показал превышение 4 пКи/л, и одна школа, где уровень радона составляет 136 пКи/л, то есть уровень, при котором в урановых горных выработках рекомендуется использовать респиратор.

Информация об опасности радоновой радиации взбудоражила американскую общественность, и уже в октябре 1988 г. президент Р. Рейган подписал антирадоновый законодательный акт, в котором декларировалось, что воздух внутри зданий "должен быть свободен от радона в такой же степени, как и воздух снаружи" (Кальтовер, 1996).

В 1990 г. было измерено содержание радона в домах, где проживали 800 женщин штата Нью-Джерси, половина из них были больны раком легких. Измерения проводились группой исследователей Управления здравоохранения штата Нью-Джерси в Трентоне. Учитывались также другие факторы, способствующие заболеванию раком легких, например курение. Измерения ограничивались домами, где женщины проживали не менее 10 лет. Были исследованы дома, в которых проживали 433 женщины больные раком и 402 здоровые женщины контрольной группы. Обнаружено, что у женщин, проживавших в домах, где содержание радона в воздухе составляло 2–3,9 и 4–11,3 пКи/л, заболеваемость раком легких была на 30 и 300% выше, чем в домах с содержанием радона < 1 пКи/л. Несмотря на широкий (по сравнению с предыдущими) масштаб исследований, в домах с повышенным содержанием радона проживали только 24 женщины, что не позволяет сделать окончательные выводы.

Последние исследования, проведенные агентством EPA, показали, что предположительно 5 тыс. ежегодных случаев заболевания раком легких среди некурящей части населения и около 15 тыс. смертей от рака легких среди курильщиков в США связаны с содержанием радона в помещениях. Средняя доза облуче-

ния радоном некоторых жителей в 100 раз превышает среднюю дозу облучения шахтеров в современных урановых рудниках.

По данным Национальной академии наук США, средняя доза облучения – 0,2 РУМ/год или 15 РУМ за всю жизнь (1 РУМ – рабочий уровень за месяц – соответствует облучению потенциальной концентрацией β -энергии (ПКАЭ) в 1 РУ в течение 173 ч и равен $2,08 \cdot 10^{-5}$ Дж/м³). В обычных условиях внутри помещений при концентрации Rn 7400 Бк/м³, или 200 пКи/л, ПКАЭ составляет 1 РУ, вызывает 13300, или 10% всех ежегодных, случаев смерти от рака легких. По оценке Агентства



Рис. 5.12. Вероятность смертельного заболевания, вызванного воздействием загрязняющих веществ

изучения окружающей среды США, повышенное содержание Rn внутри помещений является причиной смерти от рака легких от 5 000 до 20 000 человек ежегодно (Peake, 1987).

При этом, оценивая вероятность преждевременной смерти, исследователи отмечали, что она значительно выше в закрытых помещениях, чем на открытых пространствах. Эти данные касаются и радона (рис. 5.12).

По оценке Э.В. Неро-младшего (1988), доза облучения населения от радона находится на уровне облучения населения от аварии на ЧАЭС (рис. 5.13).

Для правильной оценки средней дозы облучения населения радоном и получения достоверных данных в Северной Америке и Европе были начаты различные исследовательские программы по изучению его воздействия. В 1990 г. МАГАТЭ начаты исследования, частично финансируемые правительством США, направленные на создание улучшенных проектов, выбор строительных материалов и разработку методов сокращения содержания радона внутри помещения. На сегодняшний день заканчивается реализация программы "Радон США".

Программа по изучению радона осуществляется Министерством энергии и Агентством по защите окружающей среды как на общегосударственном, так и на местном уровнях. Она призвана выявить районы с повышенным уровнем радона, провести разъяснительные мероприятия; разработать технологию снижения этого уровня и выяснить степень существующей опасности для населения. Наибольший интерес в последнем случае представляет выяснение опасности для здоровья человека малых доз, которым подвержено большинство населения и влиянию которых до сих пор не уделялось должного внимания.

По оценке итальянских специалистов (F. Vochicchio et al., 1996), средний пожизненный риск рака легких при хроническом воздействии радона на население Италии при уровне радона 75 Бк/м^3 и коэффициентом пребывания 0,6 будет равен $5 \cdot 10^{-3}$. Этот риск существенно значим в сравнении с другими рисками.

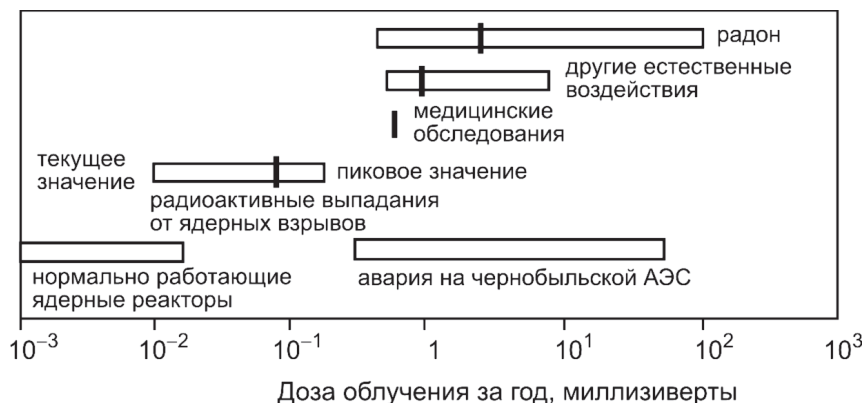


Рис. 5.13. Дозы облучения населения в год от различных источников (Неро-мл., 1988)

Таблица 5.7. Смертность от радонового облучения и некоторых других причин в США в 80-е гг. (Кальтовер, 1996)

Причина смерти	Характер заболевания	Количество смертей/ год	Затраты на лечение, млрд долл. США
Курение	Легочные, сердечно-сосудистые, раковые и др.	390 000	65
Неправильное питание (избыток жиров и т.п.)	Сердечно-сосудистые, раковые и др.	325 000	43
Алкоголизм	Болезни печени, почек, сердечно-сосудистые, несчастные случаи и др.	100 000	120
Радон	Рак легких и др.	20 000	1

В.К. Кальтовер (1996) приводит данные со ссылкой на оценки американских специалистов, говорящие о том, что меры, предпринимаемые против радоновой опасности, должны принести американской экономике прибыль в размере от 500 до 700 тыс. долл. за каждую спасенную жизнь. В США прекрасно понимают, что дешевле предотвращать болезни, чем лечить заболевших (табл. 5.7).

Сформирована, утверждена и реализуется Федеральная программа "Радон" (постановление правительства РФ от 06.07.1994, №809). Начаты такие работы и на территории Томской области и других регионов Сибири. С учетом высокой радиационной опасности радона и его короткоживущих продуктов распада были приняты рекомендации по ограничению содержания радона в зданиях (табл. 5.8).

В России действуют "Инструкция по ограничению облучения населения от природных источников ионизирующего излучения" (№5789-91) и "Нормы радиационной безопасности – 96" (НРБ-96), которыми предусматривается предельная эквивалентная равновесная объемная активность радона (ЭРОА) в воздухе помещений 200 Бк/м³, вновь проектируемых зданий – не более 100 Бк/м³. При больших значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия. Организация и методы контроля за концентрацией радона в воздухе рассмотрены в главе 10.

В то же время следует отметить и бальнеологический эффект от присутствия радона. В России уже более 100 лет развивается одно из направлений курортологии – радоноterapia (Гусаров, 2000; и др.). Эффективность этого метода лечения и оздоровления несомненна (автор и сам испытал это при лечении суставов), хотя механизм действия радоновых вод на организм чрезвычайно дискусионен (В.П. Казначеев, Х.Г. Пратцель, С.В. Андреев, А.М. Кузин, Е.Ф. Чернявский и др.). Считается, что около 60% радона диффундирует в дерму и поступает в кровь (Х.Г. Пратцель и др.), при этом радон и продукты его распада оказывают как воздей-

Таблица 5.8. Рекомендации по ограничению содержания радона (среднегодовое значение концентрации газа в воздухе)

Организация, страны	Рекомендуемая предельная концентрация радона в воздухе, Бк/м ³	
	в существующих домах	в домах, которые будут построены
Международная комиссия радиэкологической защиты	400	200
Комиссия Европейских сообществ	400	200
Всемирная организация здравоохранения	200	200
Швеция	800	140
Финляндия	800	200
ФРГ	250	250
Норвегия	800	200
Северные страны	200	200
США	150	75 (с 1993 г.)

ствии на окончания нервных волокон (Е.Ф. Чернявский и др.), так и прямое воздействие на рост и развитие клеток, сосудистый гомеостаз и т.д. (Материалы к III итоговой ..., 1965). Оригинальный взгляд на механизм воздействия радона на организм высказал академик РАМН В.П. Казначеев, обращая внимание на возникновение вторичного ультрафиолетового излучения (Казначеев, Чернявский, 1963). При этом он ссылается на учение о митогенезе А.Г. Гурвича, согласно которому делящиеся клетки испускают ультрафиолетовое излучение (Гурвич, 1944; и др.).

Многочисленные расчеты и эксперименты показывают, что ограниченные во времени сеансы радонотерапии не создают опасных для здоровья дозовых нагрузок (Гусаров, 2000; и др.), тем более, что существует эффект гормезиса – повышение защитно-приспособительных сил организма при воздействии малых доз радиации (Кузин, 1991; и др.).