

86

Rn

Радон

**РАДОН
КАК
РАДИАЦИОННЫЙ
ФАКТОР
ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ**

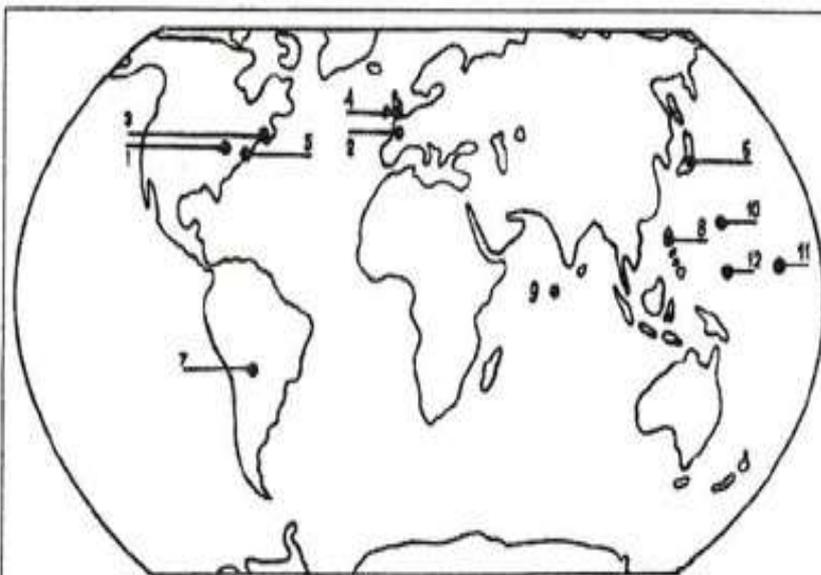
Это радиоактивный бесцветный и без запаха газ с периодом полураспада **3,82 суток**. Он тяжелее воздуха. Как видно из схемы - распада, данный газ и образующиеся короткоживущие продукты его распада являются интенсивными альфа - излучателями. Энергия альфа - частиц колеблется от 5,48 до 7,68 МэВ.

Это обуславливает их активное воздействие на биологические ткани внутренних органов человека (bronхи, лёгочный эпителий и т.д.).

Существует газообразный продукт распада ^{232}Th - торон (^{220}Rn) с периодом полураспада 55 сек. В радиозэкологическом плане он менее опасен, но при определённых условиях торон может создавать повышенные концентрации, и «тороновый» фактор в областях развития торийсодержащих пород необходимо учитывать. 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.

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



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. Маршалловы 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", М., Мир, 1988)

В Швеции к районам с максимальной степенью риска отнесены территории, сложенные легкопроницаемым гравийно-песчанистым материалом ледниковых отложений (озы, конечные морены), а также области распространения радиоактивных гранитоидов

Таблица 5.2

Содержание радия-226 в породах шт. Нью-Йорк, США

Грунт (порода)	Уровень Ra - 226 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)

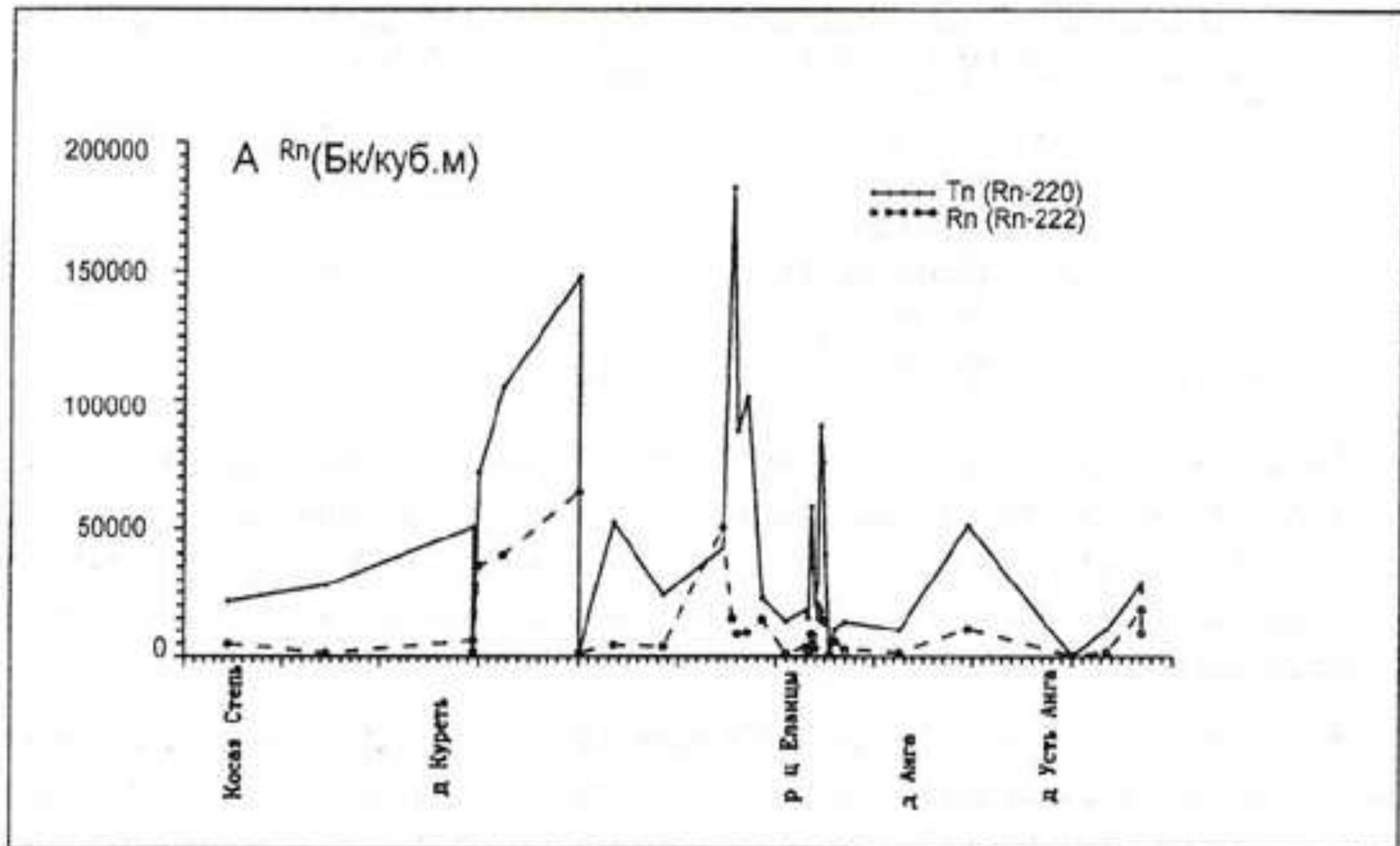
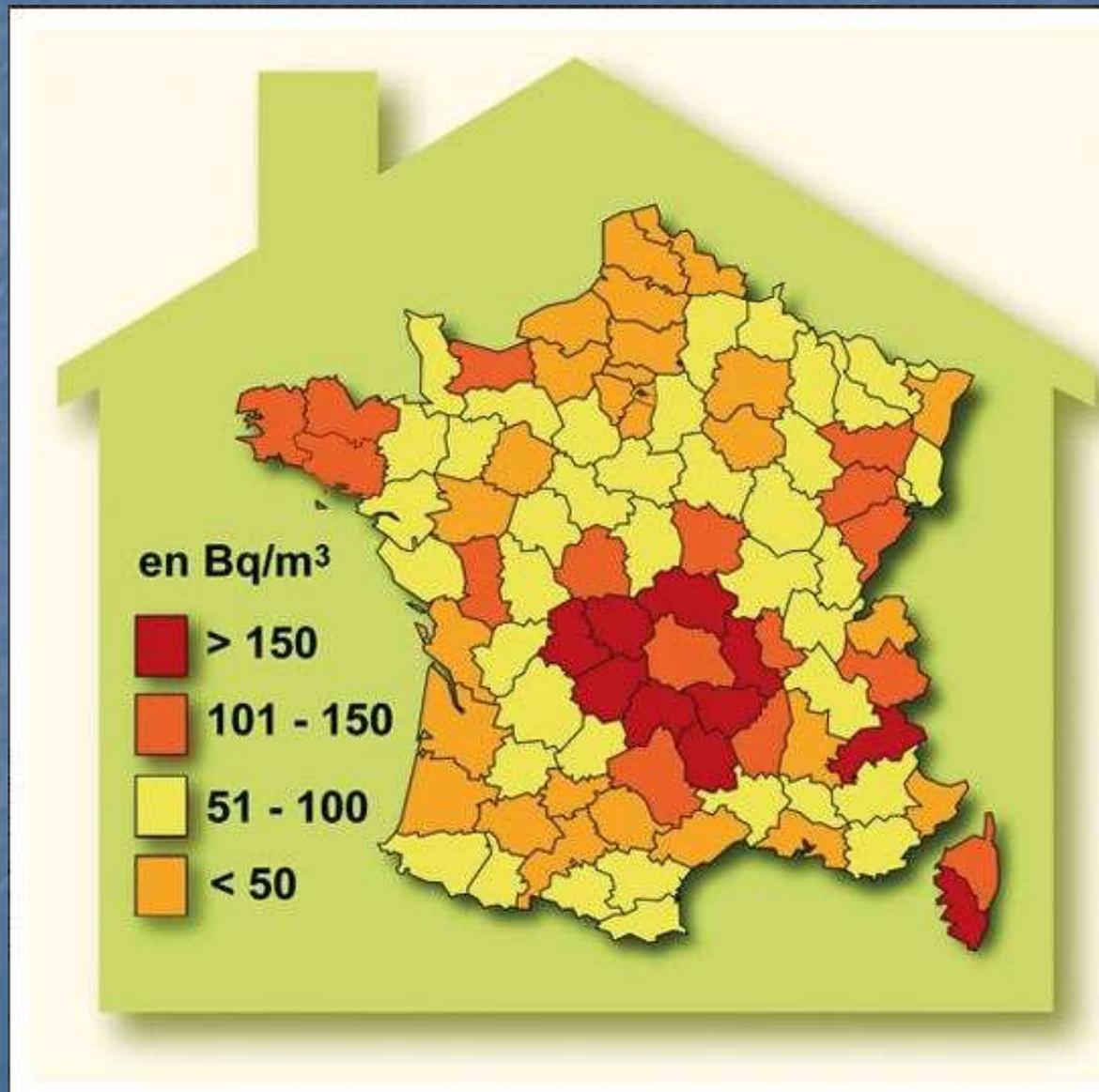


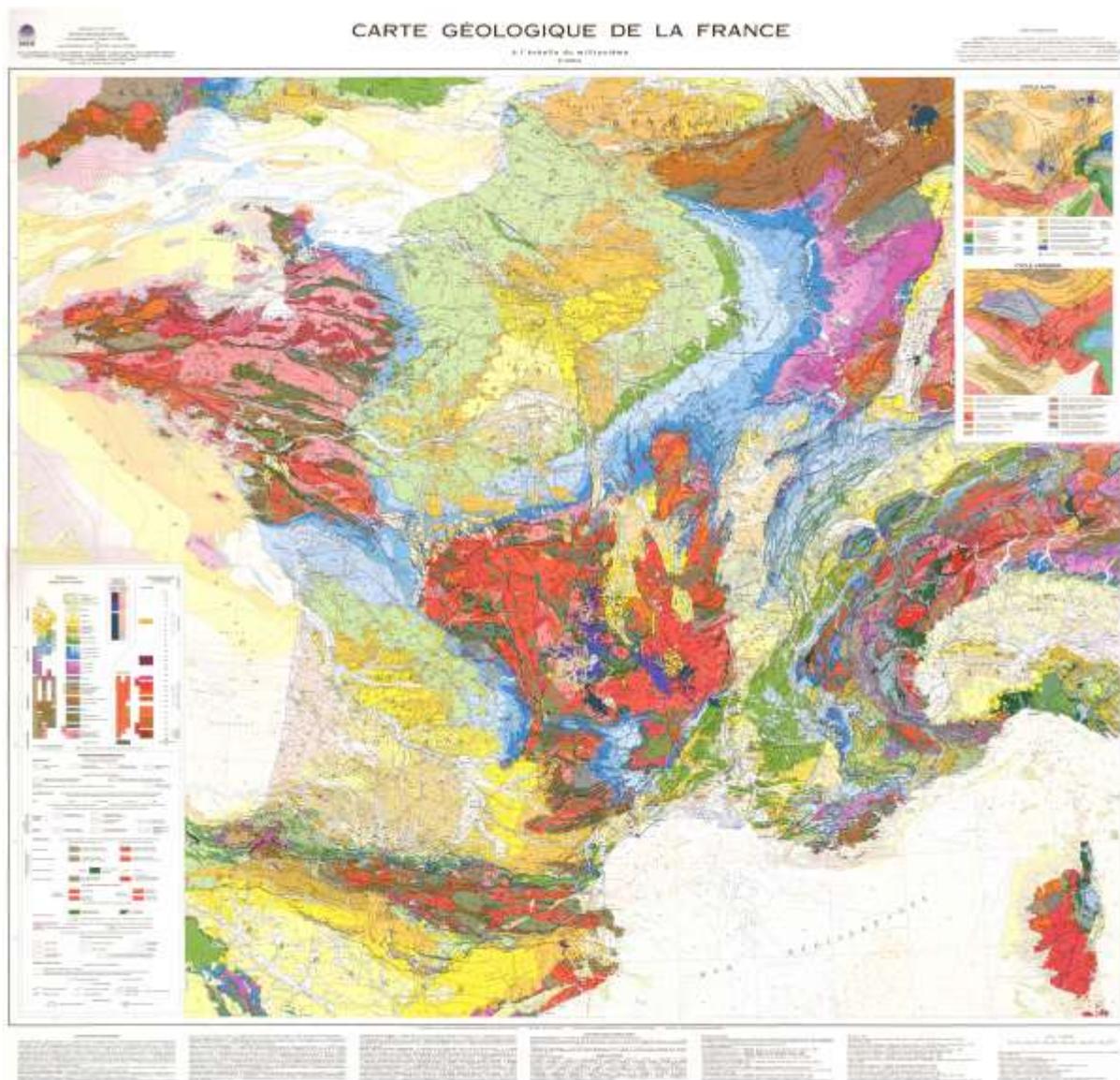
Рис. 5.3 Аномалии активностей Радона-220 и Радона-222 в почвенном воздухе, связанные с тектоническими разломами и выходами радиоактивных пород в Ольхонском районе Иркутской области (по Черняго и др., 1996)

Содержание **радия** в почве
изменяется в пределах типа
почв, и наличие **радона**
обусловлено пористостью,
влажностью и содержанием
урана в почвообразующих
породах

Rn во Франции



Геологическая карта Франции



Радон мигрирует в помещение вследствие диффузии и перепада давления. Средний поток из почвы в атмосферу - 0,015 Бк/м.с (0,4 пКи/м²с). Таким образом, активность почвенного радона в домашней атмосфере только вследствие диффузии будет менее 37 Бк/м³ (1 пКи/л).

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

Высокое содержание **радо́на** 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 (шт. Арканзас).

Наибольшая зарегистрированная удельная радиоактивность воды в системах водоснабжения составляет **100 М Бк/м³**

- 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 три тысячи **150 раз** («Труд», 11.10.91г.).

- По данным Научного комитета по действию атомной радиации ООН до **10%** людей на Земле пьют воду, в которой более **100000 Бк/м3 радона**

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 году при проведении аэрогаммаспектрометрической съёмки в пределах географического листа М – 45 – VII (Мамонтов Н.Ф. и др., 1990), вблизи административной границы Алтайского края и Республики Алтай, в самых верховьях реки Щепеты 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 А.Н. и др., 1999), который нашел отражение на карте полезных ископаемых листа М – 45 - III (новая серия

■ Карту !!!

В 2002 году нами (Рихванов Л.П., Попов Ю.П.) при помощи и поддержке Робертуса Ю.В. и Пузанова А.В. удалось 6 июня, совершив 7 взлетов и посадок на вертолете, высадиться в районе этого озера и произвести отбор проб воды и выполнить измерения на месте.

Озеро находится в пределах Талицкого гранитоидного массива на высоте 1900 метров.



Рис. 5.5 Радоновое озеро (на расстоянии)



Рис. 5.4 Радоновое озеро

В отчете партии №23 Берёзовской экспедиции, которая производила в 1959 году 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» Поповым Ю.П., концентрация **Rn** составила **100 Бк/л**. Содержание урана в воде составило 10-7 г/л.

Порфиоровидные гранитоиды массива в районе озера характеризуется 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, что данные гранитоиды испытали сильную метасоматическую переработку или, вероятно, их окончательный облик был сформирован этими процессами

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

Вероятно, это может быть объяснено сильным подтоком радоносодержащих вод по трещинам, что позволяет поддерживать постоянное его содержание в поверхностном водоёме.

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 370-37000 кБк/м³ (10000-21000000 пКи/л). Вклад водного радона в домашнюю атмосферу составляет 37 Бк/м³ (1 пКи/л) при содержании его в воде 370 кБк/м³ (10000 пКи/л).

При кипячении воды или приготовлении горячих блюд радон в значительной степени улетучивается и поэтому поступает в организм в основном с некипяченой водой.

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

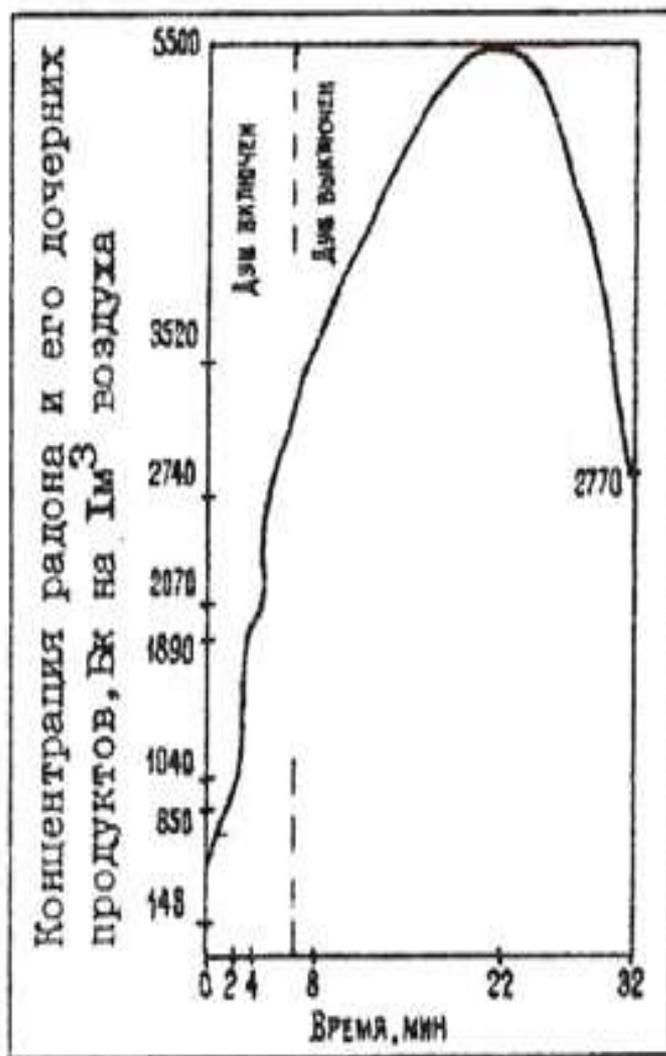


Рис. 5.6 Удельная радиоактивность воздуха, обусловленная присутствием радона и его дочерних продуктов в ванной комнате одного из домов в Канаде в течение семи минут работы тёплого душа и после его отключения (концентрация радона в воде составляла 4400 Бк/м³)

Относительно небольшими источниками радона являются вулканы, природный газ и вентилируемый воздух шахт.

Радон проникает 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

Много радона, улетучившегося из природного газа в процессе предварительной переработки, попадает в сжиженный газ - побочный продукт этой обработки. Но в целом за счет природного газа 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)**. Лучшее в этом смысле дерево: удельная радиоактивность древесины, как правило, **ниже 1 Бк/кг**.

На концентрацию радона в домашней атмосфере влияет также конструкция здания

На концентрацию радона в домашней атмосфере влияет также скорость воздухообмена в помещении, то есть проветривания. 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

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.**

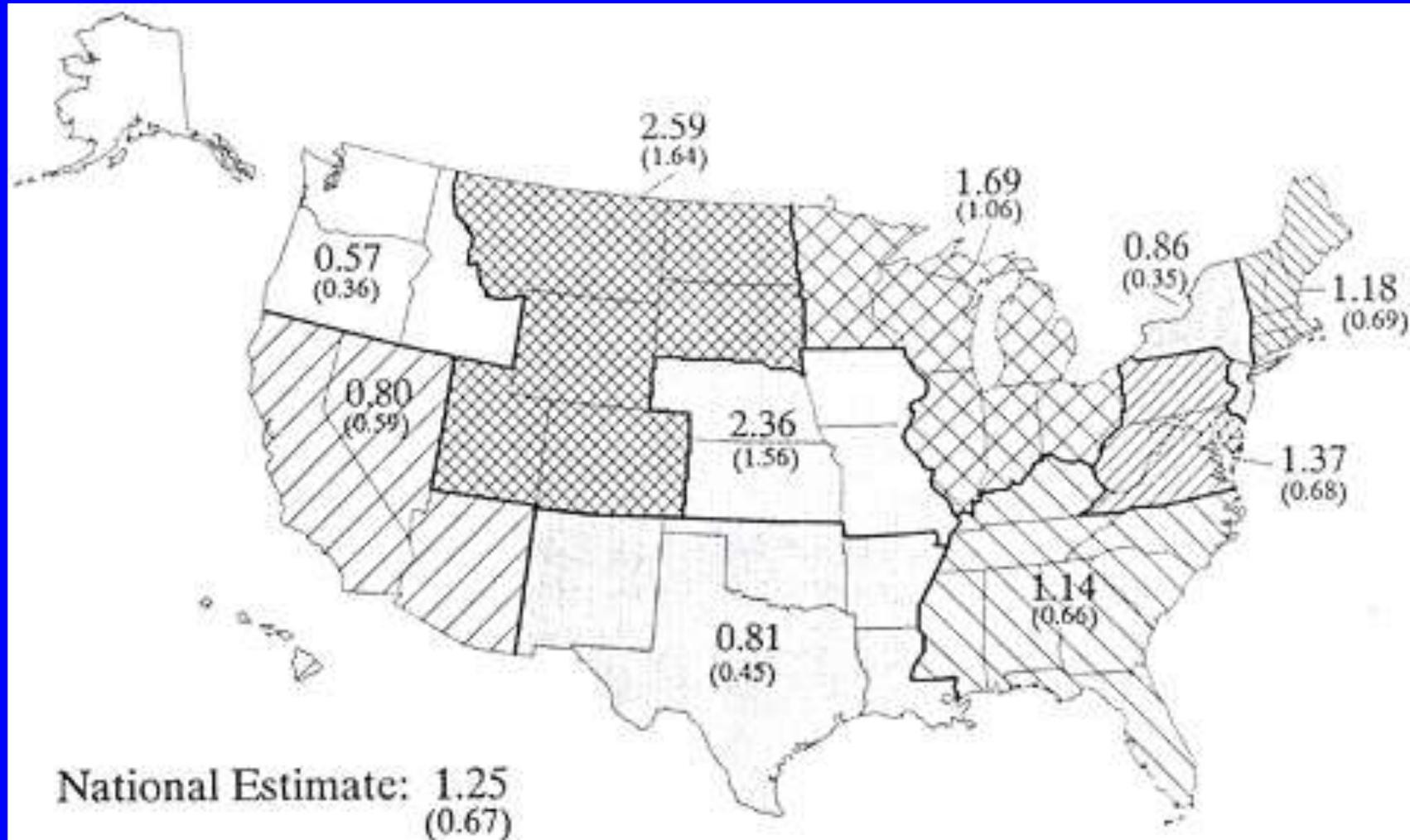


Рис. 5.8 Среднеарифметическая (числитель) и медианная (знаменатель) годовая концентрация Rn^{222} в жилых помещениях некоторых регионов США (из книги «Environmental Radioactivity...», 1997)

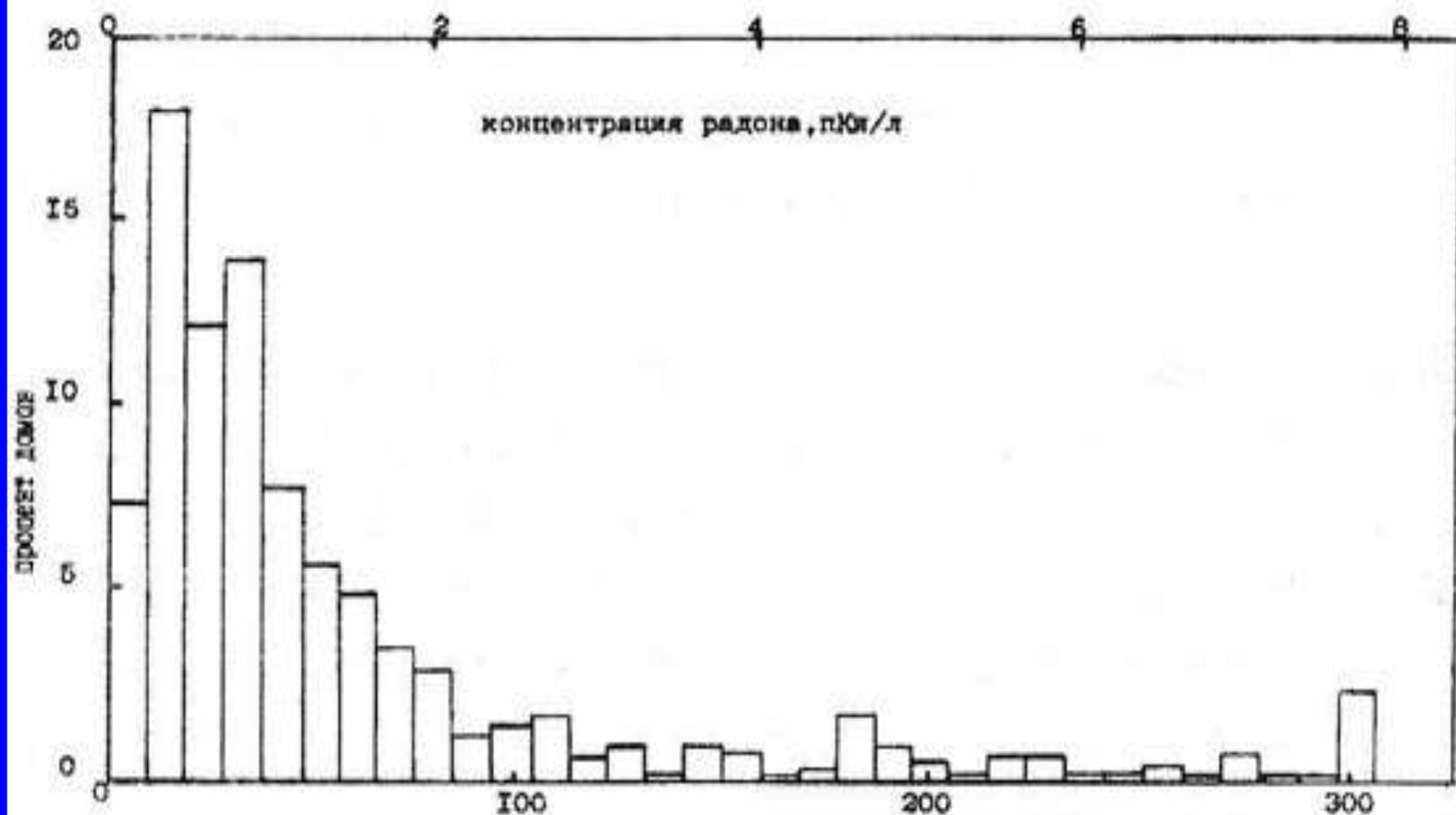


Рис. 5.7 Распределение концентрации радона. Примерно в 2 % домов в США (общим числом около 1 млн.) концентрации выше 300 Бк/м³, что в 5 раз превышает средний уровень (по Энтони В. Неро - младшему, 1988)

Определение концентрации радона в домах некоторых населённых пунктов Томской области, проведённые сотрудниками Госкомэкологии и МГП «Экогеос» различными методами, показали, что уровень его накопления сравнительно низкий и варьирует в значительных пределах, достигая в отдельных случаях в некоторых зданиях предельно нормируемых его показателей

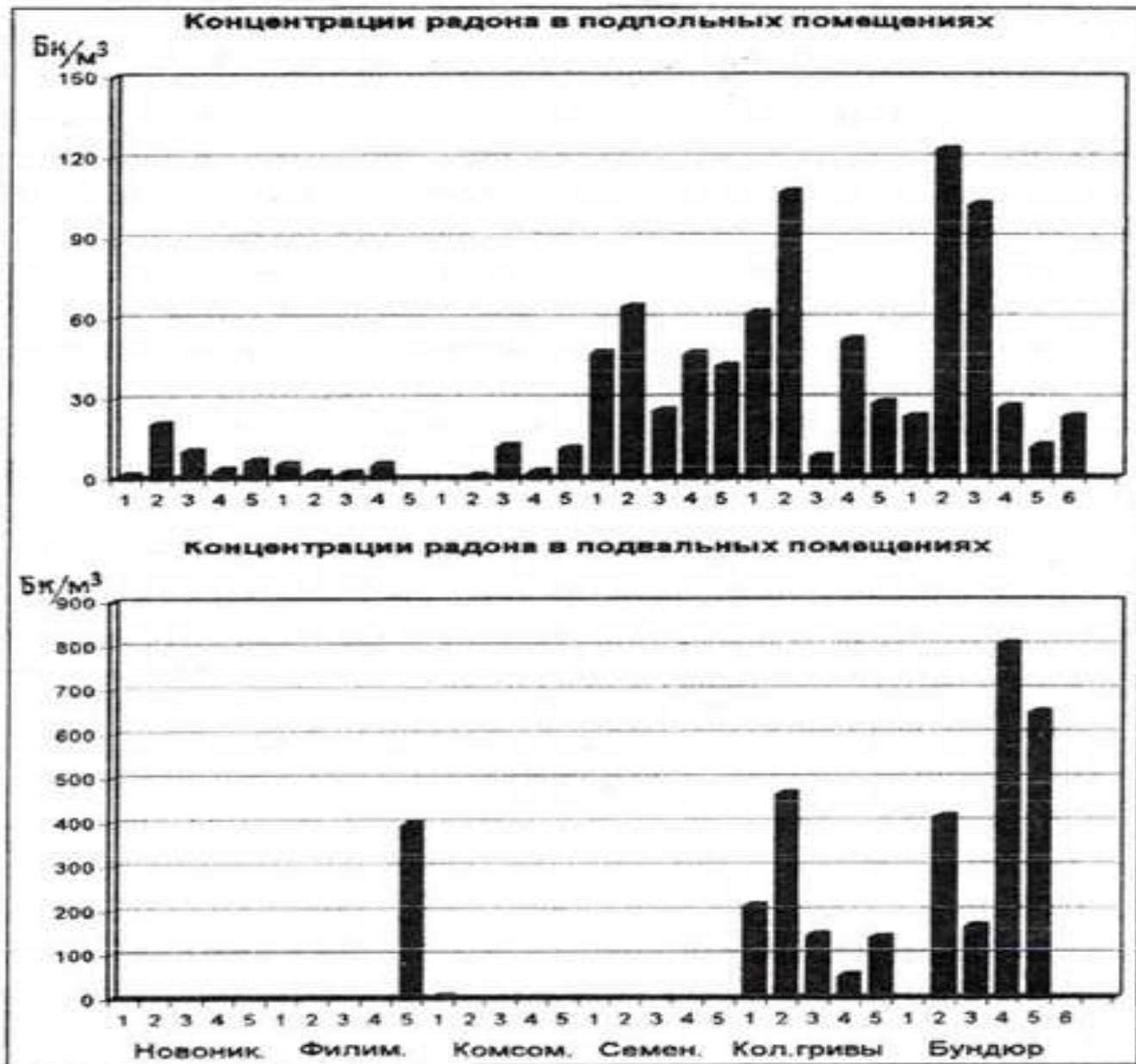


Рис. 5.9

Концентрации радона в зданиях некоторых населённых пунктов Томской области

Эти показатели ниже, чем концентрации радона в воздухе помещений Алтайского края, где этот 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 населённых пунктов Сибири.

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 **гг. Канске, Красноярске и др.** (Кузьмин, Домаренко, 1994). Этот список можно продолжить, что свидетельствует о наличии радоновой проблемы в сибирском регионе, которая требует своего разрешения

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

Радон и продукты его распада как радиационно опасный фактор

На возможную опасность эманаций от радия и тория при их постоянном вдыхании обращал внимание ещё в 1907 г. Э.Резерфорд

Уже давно было замечено, что горняки, работавшие на уран-полиметаллических рудниках Шнееберга и Иоахимстале (Рудные горы), необычайно часто умирают от особой болезни, названной еще в XVI веке «Горной болезнью». Лишь к концу XIX столетия выяснилась истинная картина этого заболевания - злокачественные опухоли органов дыхания. Только за период 1875-1925 гг. по опубликованным неполным данным среди 686 умерших 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 10000 горняков, тогда как в аналогичных группах мужского населения он составлял 2-4 случая в год.

Во второй половине 50-х годов 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

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

Агентство охраны окружающей среды США исследовало 3000 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**

Последние исследования, проведенные агентством ЕРА, 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 облучения радоном некоторых жителей в 100 раз превышает среднюю дозу облучения шахтеров в современных урановых рудниках

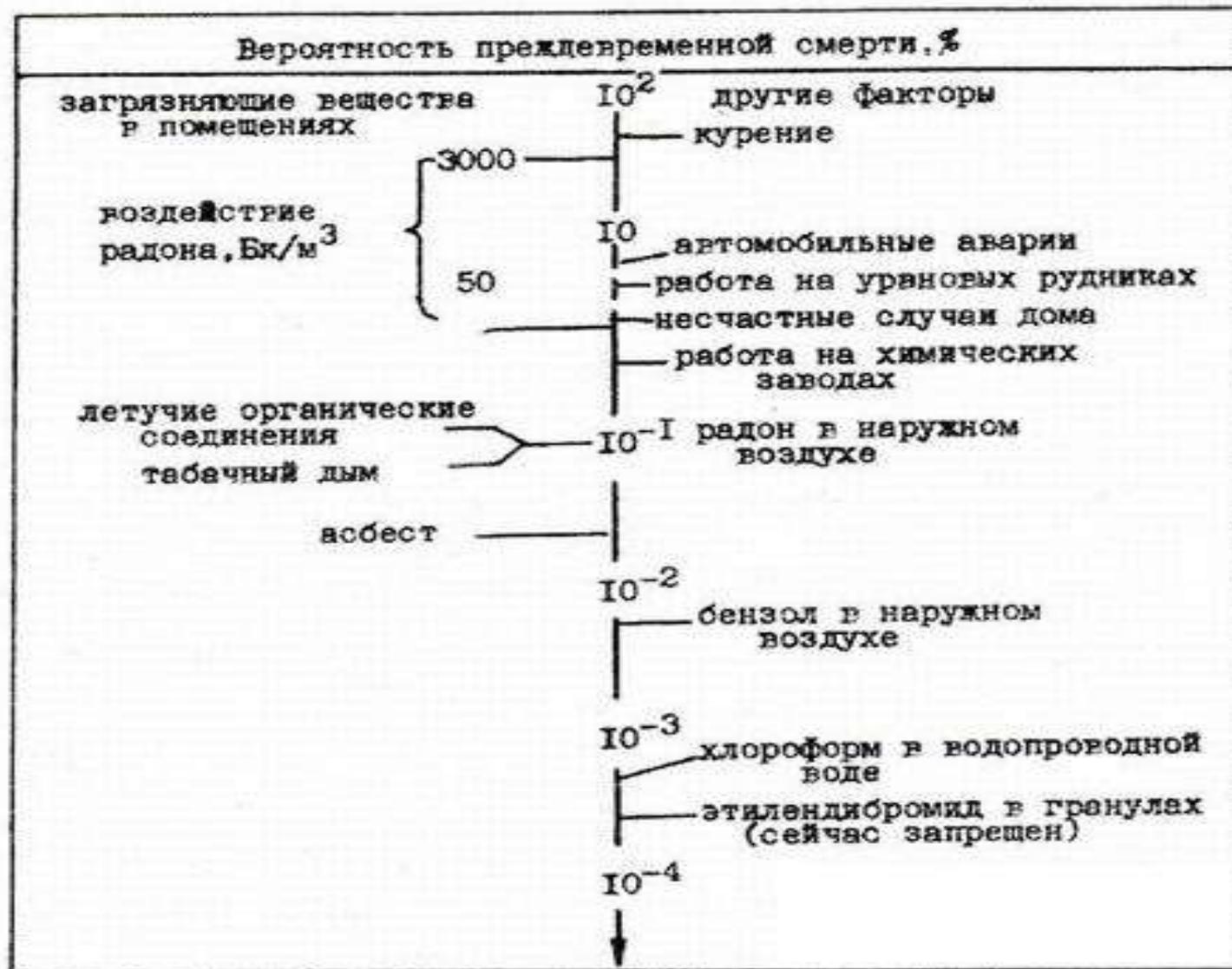


Рис. 5.10

Вероятность смертельного заболевания, вызванного воздействием загрязняющих веществ.

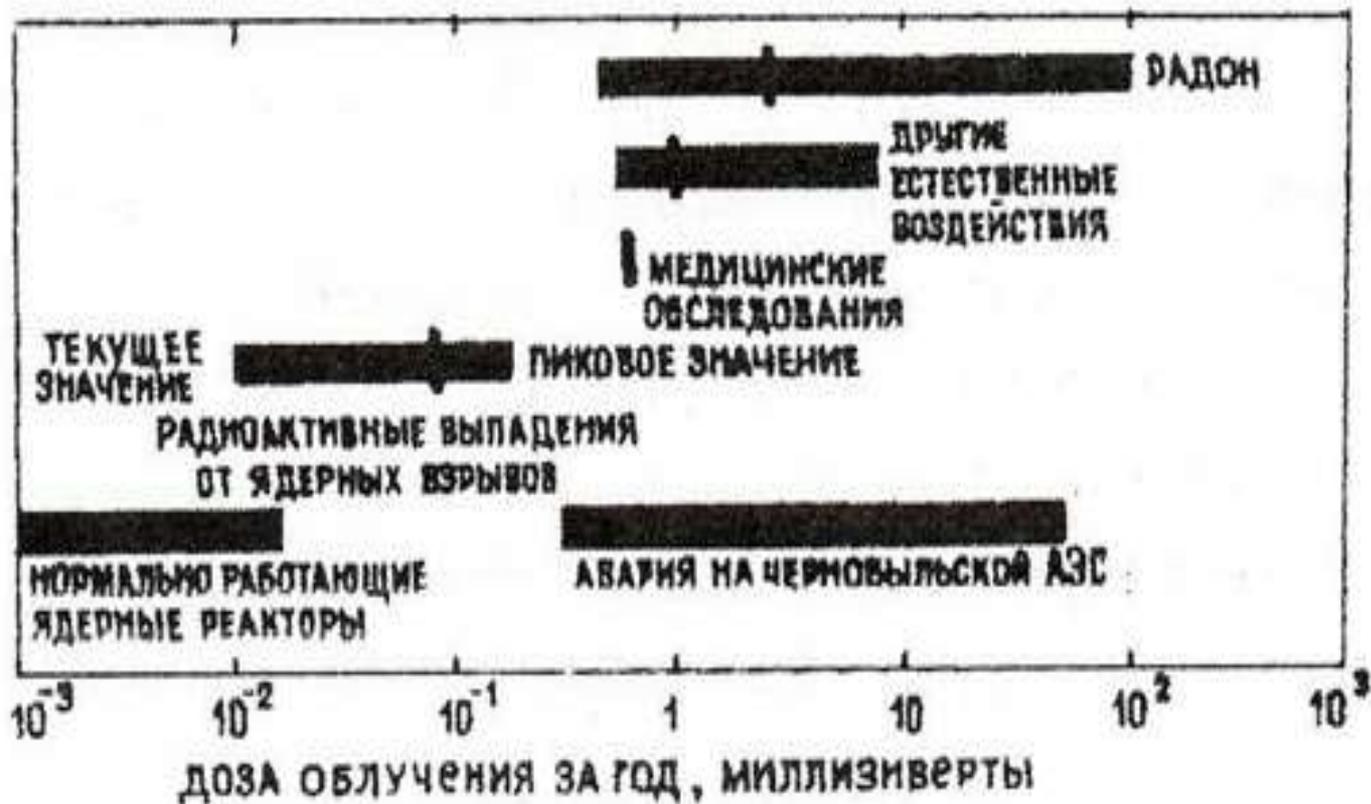


Рис. 5.11

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

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

Смертность от радонового облучения и некоторых других причин
в США в 80-е годы (Кальтовер, 1996)

Причина смерти	Характер заболевания	Количество смертей/год	Затраты на лечение, млрд. долл. США
Курение	Лёгочные, 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 лёгкого и др.	20 000	1

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

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 радиологической 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.)

С учётом высокой радиационной опасности радона и его короткоживущих продуктов распада были приняты рекомендации по ограничению содержания радона в зданиях

В России действует «Инструкция по ограничению облучения населения от природных источников ионизирующего излучения» (№ 5789-91) и Нормы радиационной безопасности 9(НРБ-96), которыми предусматривается предельная эквивалентная равновесная объёмная активность радона (ЭРОА) в воздухе помещений **200 Бк/м³**, во вновь проектируемых зданиях не более **100 Бк/м³**.