

ЛЕКЦИЯ №5

Естественные источники ионизирующего излучения.

Естественный радиационный фон.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- **Естественный радиационный фон**
 - Естественные радионуклиды
 - Суммарные дозы, создаваемые естественными источниками излучения
 - Облучение, обусловленное технологическими повышением естественным радиационным фоном.
 - Радиация от источников, созданных человеком
 - Глобальные выпадения.
- **Принципы подхода к нормированию уровней облучения.**
 - Беспороговое действие излучения.
 - Концепция приемлемого риска.
 - Дозовые пределы облучения (основные принципы).

Радиационный фон Земли складывается из трех компонентов :

1. космическое излучение;
2. излучение от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
3. излучение от искусственных (техногенных) радионуклидов.

Облучение по критерию месторасположения источников излучения делится на внешнее и внутреннее.

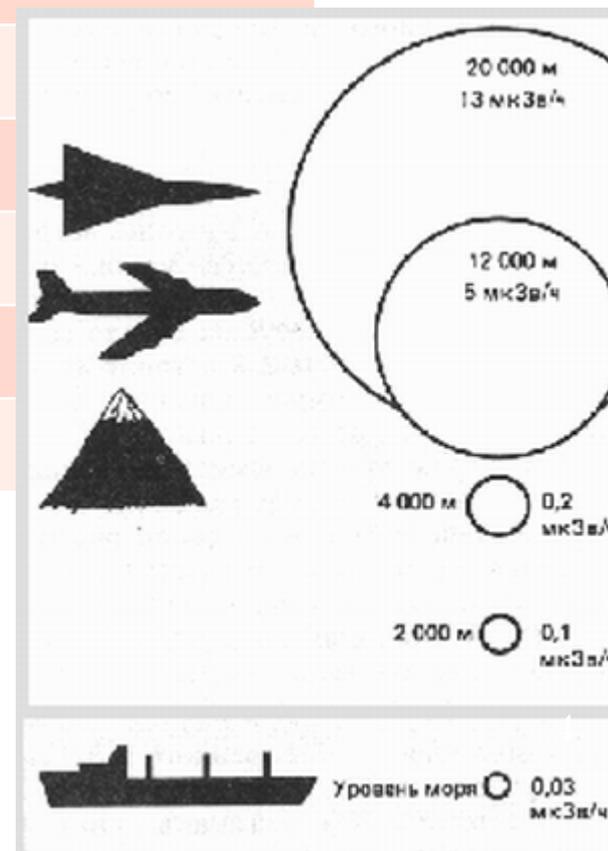
Внешнее облучение обусловлено источниками, расположенными вне тела человека. Источниками внешнего облучения являются космическое излучение и наземные источники.

Источником внутреннего облучения являются радионуклиды, находящиеся в организме человека.

Среднее значение мощности поглощенной дозы компонентами космич.излуч. на уровне моря	$3,2 \times 10^{-2}$ мкГр/ч
Эквивалентная мощность дозы	$3,5 \times 10^{-2}$ мкЗв/ч (0,31 мЗв)
Средняя суммарная эквивалентная доза, создаваемая всеми компонентами космич.излуч. на уровне моря в год	0,32 мЗв (32 мбэр)
<u>Эквивалентная доза</u>	
<i>На уровне моря</i>	0,5 мЗв
<i>На высоте 4-5 км</i>	5 мЗв
<i>На высоте 10-15 км</i>	50 мЗв

За $T_{\text{полета}} \approx 2.5$ часовой полет из Европы в Америку на сверхзвуковом самолете эквивалентна доза пассажира – 0,04 мЗв. На обычных турбовинтовом самолетах 0,05 мЗв на 20% выше, чем на сверхзвуковых, т.к. время полета больше - $T_{\text{полета}} \approx 7.5$ часа.

Что же происходит при орбитальных полетах?



Магнитное поле Земли существует не в вакууме, а в среде, наполненной потоками солнечной плазмы и межпланетным магнитным полем. Они взаимодействуют друг с другом. Для солнечного вещества и магнитного поля Земля с ее собственным магнитным полем представляет собой реальную преграду: они вынуждены «обтекать» ее. В результате такого «обтекания» магнитное поле Земли, изначально имевшее дипольную форму, превращается в сложную структуру, называемую магнитосферой.

Области магнитосферы, представляющие собой геомагнитные ловушки, удерживающие частицы в ограниченном объеме, образуют радиационные пояса Земли.

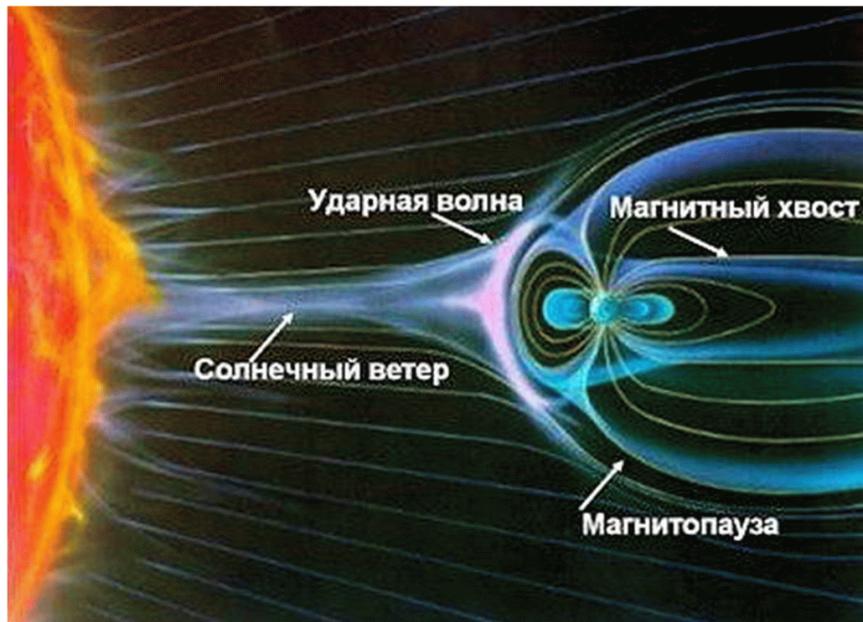


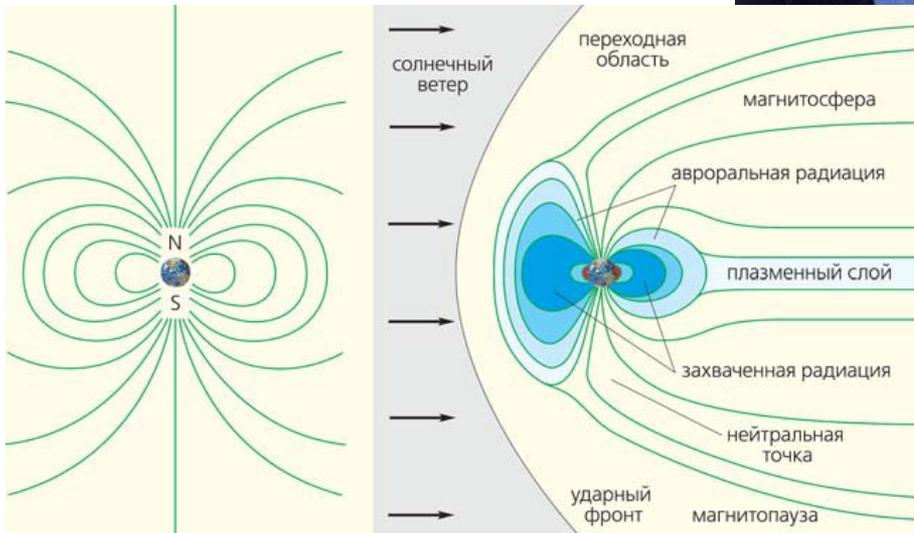
Рис. Магнитное поле Земли и ее магнитосфера. Земное магнитное поле имеет полоидальную форму с направленной на Солнце лобовой частью, постоянно омываемой солнечным ветром.

Мощность эквивалентной дозы протонов в центральной зоне внутреннего радиационного пояса, расположенной на расстоянии 2-3 тыс. км от поверхности Земли, достигает 8 Зв/сут (800 бэр/сут).

На периферийных участках на высоте 450 и 11000 км она снижается до 10^{-3} Зв/сут . Кратковременное пересечение радиационного пояса в принципе возможно при размещении экипажа в специальном защищенном отсеке.

При орбитальных полетах на высоте 200-400 км доза облучения космонавтов не превышает за 1 сут. $0,05 \text{ Зв}$ (5 мбэр). Для таких полетов не требуется создания специальных защитных устройств.

Представление об
околоземном пространстве
до (слева) и после (справа)
открытия радиационных
поясов Земли.

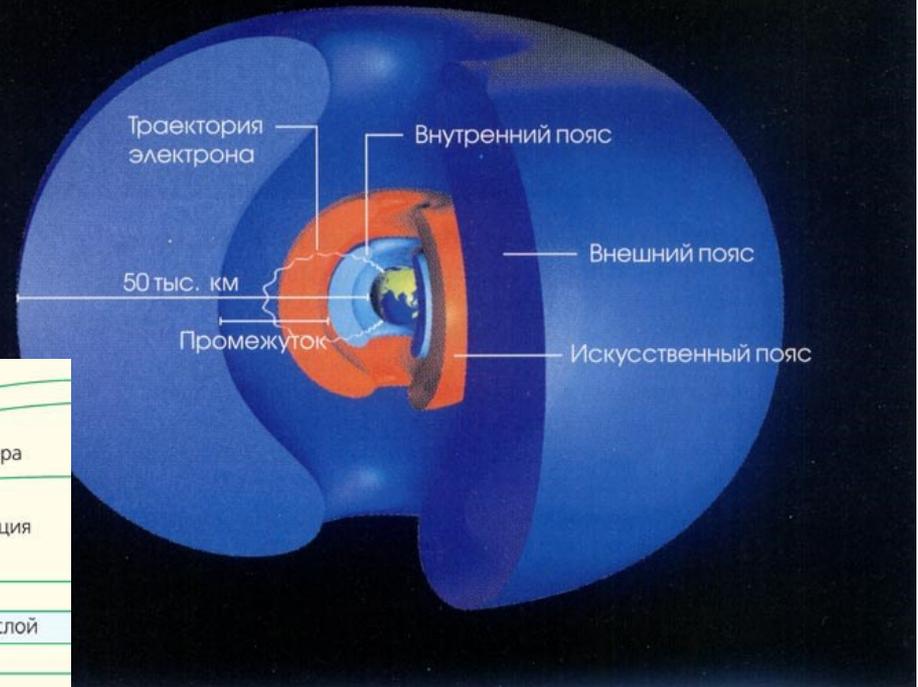
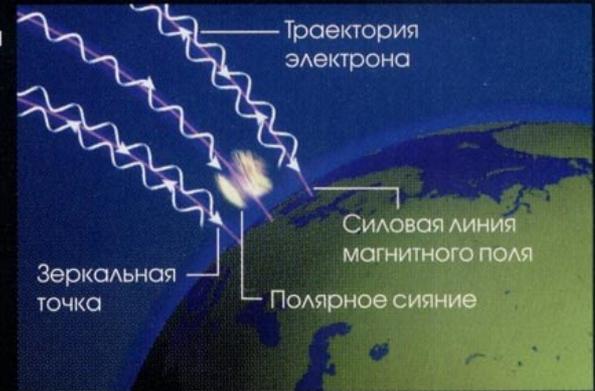


Радиационные пояса Земли

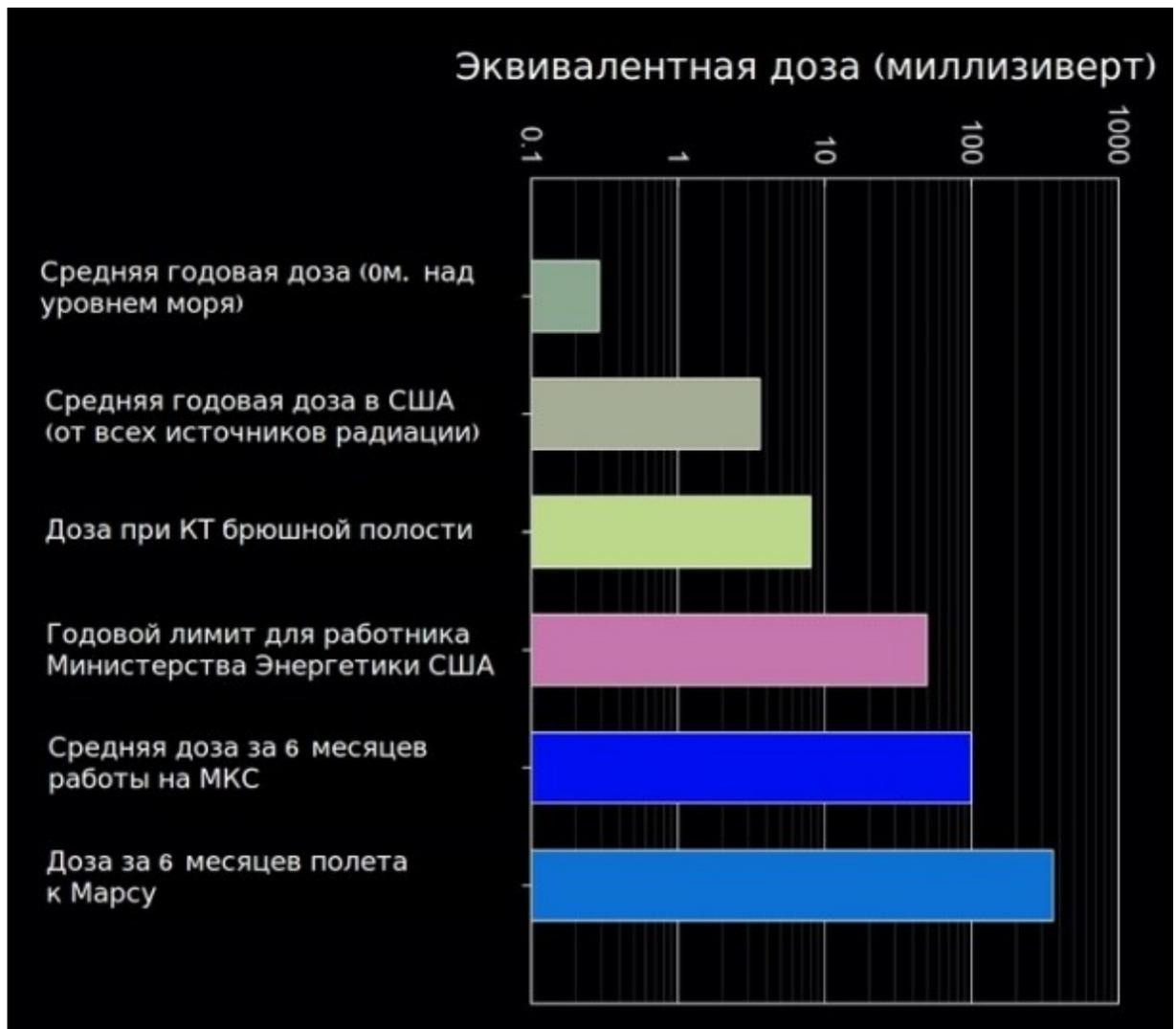
Внутренний электронный пояс:
600 – 5000 км

Промежуток (безопасная зона):
6000 – 12 000 км

Внешний электронный пояс:
20 000 – 50 000 км



Сравнение эквивалентной дозы облучения при различных условиях, включая дозу, рассчитанную на основе измерений RAD (Radiation Assessment Detector, Радиационный детектор), установленного внутри аппарата, доставившего Кьюриосити к Марсу.



Обратите внимание, что шкала на диаграмме сверху нелинейная, и дозу, которую космонавт может получить за 6 месяцев перелёта к Марсу в 3 раза выше, чем дозу, которую получают космонавты за 6 месяцев работы на МКС.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ

-это радионуклиды земного происхождения и космогенные радионуклиды, образующиеся в биосфере под воздействием космических лучей.

Естественные радионуклиды земного происхождения делятся на:

- *Радионуклиды относящиеся к радиоактивным семействам.*
- *Радионуклиды элементов из средней части периодической системы элементов Д.И. Менделеева.*

Ядра всех элементов с порядковым номером $Z > 82$

радиоактивны. Они образуют довольно длинные цепочки радионуклидов, где каждый последующий нуклид есть продукт распада предыдущего. Такие совокупности радионуклидов получили название РАДИОАКТИВНЫХ СЕМЕЙСТВ.

ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

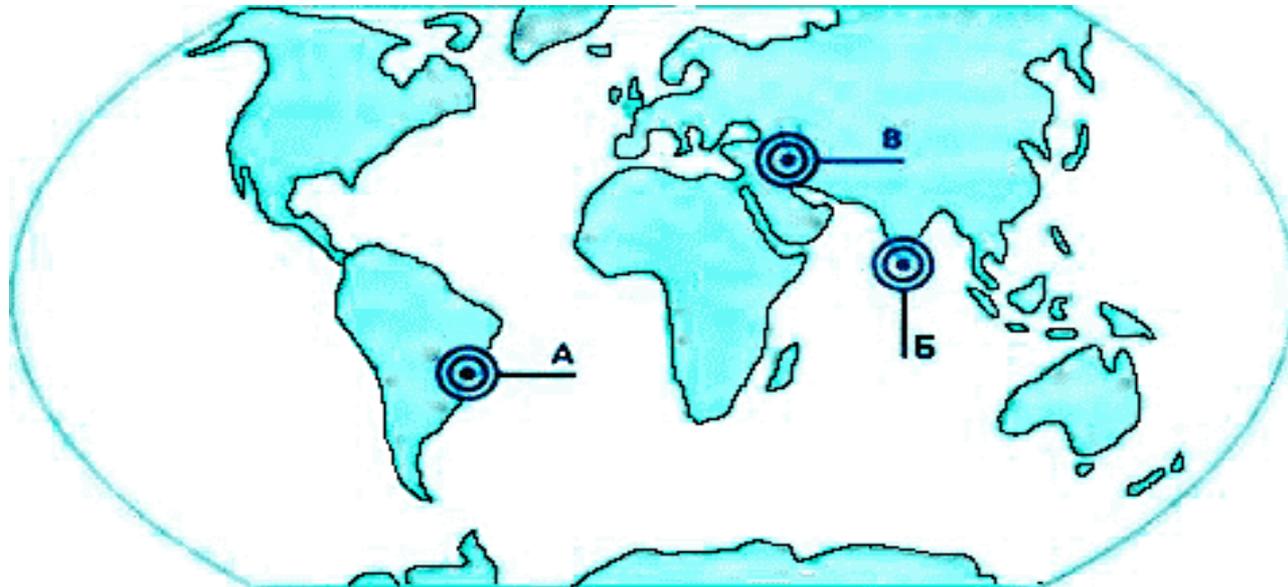
В настоящее время на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 10^7 лет и выше. Физические характеристики некоторых из них представлены в таблице.

Радиоактивные изотопы, изначально присутствующие на Земле.			
Радионуклид	Весовое содержание в земной коре	Период полураспада, лет:	Тип распада:
Уран-238	$3 \cdot 10^{-6}$	$4.5 \cdot 10^9$	α -распад
Торий-232	$8 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{10}$	α -распад, γ -распад
Калий-40	$3 \cdot 10^{-16}$	$1.3 \cdot 10^9$	(β - распад, γ -распад
Ванадий-50	$4.5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14}$	γ -распад
Рубидий-87	$8.4 \cdot 10^{-5}$	$4.7 \cdot 10^{10}$	β -распад
Индий-115	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}$	β -распад
Лантан-138	$1.6 \cdot 10^{-8}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	β -распад, γ -распад
Самарий-147	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{11}$	α -распад
Лютеций-176	$3 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{10}$	β -распад, γ -распад

В силу ослабления γ -излучения в почве вся формируемая доза излучения в воздухе над поверхностью земли обусловлена радионуклидами, содержащимися в верхнем 30-см слое почвы. Помимо γ -излучения содержащиеся в почве, в воздухе радионуклиды испускают β -излучение. Однако оно вносит очень малый вклад в эквивалентную дозу.

В трех радиоактивных семействах: урана (^{238}U), тория (^{232}Th) и актиния (^{235}Ac) в процессах радиоактивного распада постоянно образуется 40 радиоактивных изотопов. Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников, составляет около 0.35 мЗв, т.е. чуть больше средней индивидуальной дозы, обусловленной облучением из-за космического фона на уровне моря.

ГЕОГРАФИЯ РАДИАЦИОННОГО ФОНА



Некоторые участки земной поверхности с высоким уровнем земной радиации: А - Посус-ди-Калдас и Гуарапари, Б - Керала и Тамилнад, В - Рамсер

Уровень земной радиации неодинаков в различных районах.

Например, в 200 километрах к северу от Сан-Пауло (Бразилия) есть небольшая возвышенность, где уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 260 мЗв в год.

На юго-западе Индии 70 000 человек живут на узкой прибрежной полосе, вдоль которой тянутся пески, богатые торием. Эта группа лиц получает в среднем 3.8 мЗв в год на человека.

Как показали исследования, во Франции, Германии, Италии, Японии и США около 95% населения живут в местах с дозой облучения от 0.3 до 0.6 мЗв в год. Около 3% получает в среднем 1 мЗв в год и около 1.5% более 1.4 мЗв в год.

Во Франции годовая доза естественного облучения составляет 5 мЗв, в Швеции — 6,3 мЗв, а в нашем Красноярске всего 2,3 мЗв. На золотых пляжах Гуарапари в Бразилии, где ежегодно отдыхает больше 30000 человек, уровень радиации составляет 175 мЗв/год из-за высокого содержания тория в песке. В горячих источниках городка Рам-Сер в Иране уровень радиации достигает 400 мЗв/год. На знаменитом курорте Баден-Бадене также повышенный радиационный фон, как и на некоторых других популярных курортах.

ТЕРРИТОРИИ С АНОМАЛЬНЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Средний радиационный фон

Норма 0,3 мкЗв/ч

Индия
(штат Керала)

3,2 мкЗв/ч



Франция
2 мкЗв/ч



Бразилия
(штаты Эспириту-Санту
и Рио-де-Жанейро)

от 1 до 30 мкЗв/ч



Иран (г. Рамсер)
от 0,7 до 50 мкЗв/ч



Россия, Карелия
2 мкЗв/ч

Если человек находится в помещении, доза внешнего облучения изменяется за счет двух противоположно действующих факторов:

1) Экранирование внешнего излучения зданием.

2) Облучение за счет естественных радионуклидов, находящихся в материалах, из которого построено здание.

В зависимости от концентрации изотопов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в различных строительных материалах мощность дозы в домах изменяется от $4 \cdot 10^{-8}$ до $12 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч. В табл. ниже приведены данные о фоновом облучении в некоторых городах.

Среднегодовые дозы внешнего фонового облучения в некоторых городах	
Город	Среднегодовая доза, мкГр
Алма-ата	1600 ± 100
Астрахань	800 ± 60
Вильнюс	1000 ± 60
Ереван	750 ± 60
Кишинев	600 ± 20
Москва	900 ± 50
Новосибирск	800 ± 30
Рига	1100 ± 110
Санкт-Петербург	1200 ± 80
Таллин	900 ± 50
Якутск	700 ± 60

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды земного происхождения, поступающие через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят ^{40}K , ^{87}Rb , и нуклиды рядов распада ^{238}U и ^{232}Th (табл.).

Среднегодовая эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения		
Радионуклид, тип излучения	Период полураспада	Среднегодовая эффективная эквивалентная доза мкЗв
^{40}K (β, γ)	$1.4 \cdot 10^9$ лет	180
^{87}Rb (β)	$4.8 \cdot 10^{10}$ лет	6
^{210}Po (α)	160 сут	130
^{220}Rn (α)	54 с	170 - 220
^{222}Rn (α)	3.8 сут	800 - 1000
^{226}Ra (α)	1600 лет	13

Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет 1.35 мЗв/год. Наибольший вклад (около 3/4 годовой дозы) дают не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ радон и продукты его распада. Поступив в организм при вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей легких.



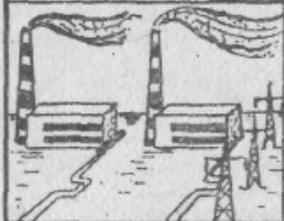
Естественная радиоактивность

Калий-40	более 500
Свинец-210	60
Полоний-210	20
Радий-226	50



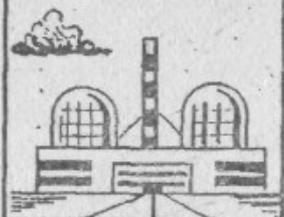
Глобальные выпадения (ядерные испытания)

Цезий-137	56
Стронций-90	35



Выбросы угольных тепловых станций

Калий-40	2-100
Свинец-210	2-30
Полоний-210	2-20
Радий-226	1-10



Выбросы АЭС с реакторами ВВЭР (PWR)

Цезий-137	0,5
Стронций-90	0,2



Выбросы АСТ

Цезий-137	0,001
-----------	-------

Рис. 8. Активность долгоживущих естественных и искусственных радионуклидов в почве (миллиКюри/км²)

ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Внутреннее облучение обусловлено радиоактивным веществом, поступившим внутрь организма. При этом вклад в облучение дают альфа-, бета- и гамма-облучатели. Имеется четыре возможных пути, по которым радиоактивные вещества способны поступить в организм:

- 1) через легкие при дыхании,
- 2) вместе с пищей,
- 3) через повреждения и разрезы на коже,
- 4) путем абсорбции через здоровую кожу.

Большая часть, в среднем примерно $\frac{2}{3}$ эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом.



Из всех путей поступления радионуклидов в организм наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха.

Попавшие в организм радионуклиды распределяются или равномерно по всему телу (калий, цезий) или концентрируются в отдельных органах и тканях (стронций, радий — в костях, йод — в щитовидной железе).

Воздействие радионуклидов, единовременно поступивших внутрь организма, с течением времени уменьшается за счет радиоактивного распада и биологического выведения из организма естественным путем. *Например, некоторые долгоживущие радионуклиды: йод-131, цезий-137 не накапливаются в организме, а сравнительно быстро выводятся из него.*

К основным естественным и искусственным радионуклидам, ответственным за внутреннее облучение человека, относятся: калий-40, радий-226, полоний-210, радон-222, -220, йод-131, цезий-137, стронций-90, радиобиологические свойства которых приведены в табл.

Радиобиологические свойства радионуклидов			
Нуклид	Критический орган	Период полураспада	Эффективный период полувыведения
Естественные радионуклиды			
Калий-40	Всё тело	1,3 млрд. лет	58 суток
Уран-238	Всё тело	4,5 млрд. лет	300 суток
Радий-226	Всё тело	1620 лет	22 года
Полоний-210	Костные ткани		44 года
	Всё тело	138 суток	25 суток
Радон-220 -222	Костные ткани		20 суток
	Лёгкие	55 сек 3,8 суток	
Искусственные радионуклиды			
Йод-226	Всё тело	8 суток	
	Щитовидная железа		7,6 суток
Цезий-137	Всё тело	30 лет	70 суток
Стронций-90	Костные ткани	29 лет	18 лет

Годовая эффективная доза внутреннего облучения для всего тела от всех источников — естественных радионуклидов, содержащихся в человеке, составляет 135 мбэр.

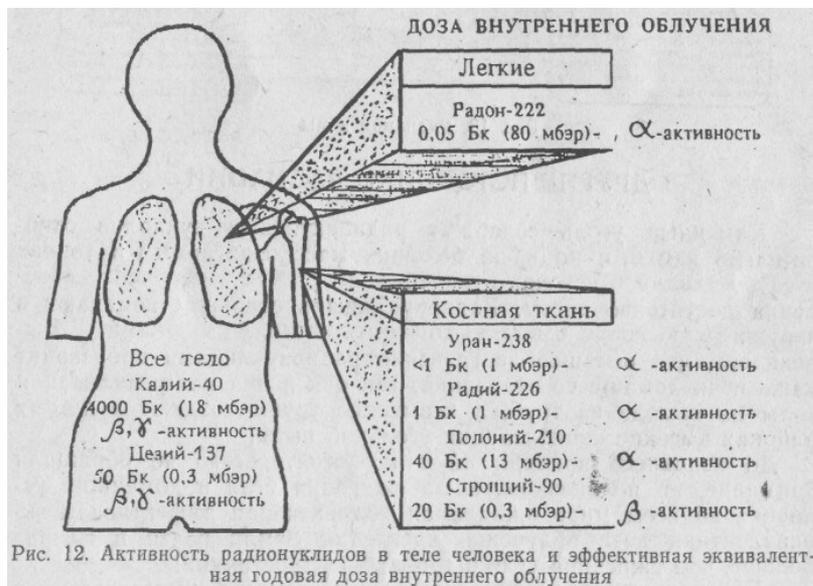
Наиболее радиочувствительными системами человеческого организма явл. Красный костный мозг, легкие и эндостальные клетки костной ткани, а также гонады, ответственные за генетические последствия.

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды земного происхождения, поступающие через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят ^{40}K , ^{87}Rb , и нуклиды рядов распада ^{238}U и ^{232}Th (табл.).

Среднегодовая эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения		
Радионуклид, тип излучения	Период полураспада	Среднегодовая эффективная эквивалентная доза мкЗв
^{40}K (β, γ)	$1.4 \cdot 10^9$ лет	180
^{87}Rb (β)	$4.8 \cdot 10^{10}$ лет	6
^{210}Po (α)	160 сут	130
^{220}Rn (α)	54 с	170 - 220
^{222}Rn (α)	3.8 сут	800 - 1000
^{226}Ra (α)	1600 лет	13

Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет 1.35 мЗв/год. Наибольший вклад (около 3/4 годовой дозы) дают не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ радон и продукты его распада. Поступив в организм при вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей легких.

РАДОН



Наиболее весомым из всех естественных источников радиации (на территории России его вклад достигает 44%) является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ (в 7,5 раза тяжелее воздуха) — радон.

Человек подвергается воздействию радона и продуктов его распада в основном за счет внутреннего облучения при поступлении радионуклидов в организм через органы дыхания и, в меньшей мере, с продуктами питания.

В природе встречаются два изотопа радона: радон-222 (образуется при распаде урана-238) и радон-220 (один из продуктов в ряду распада тория-232). Оба изотопа излучают альфа-частицы, превращаясь в изотоп полония, которые, в свою очередь, тоже излучая альфа-частицы, дают начало следующим нуклидам (альфа- или бета-активным) и так далее — вплоть до стабильных изотопов свинца. Радона-222 в природе в 20 раз больше, чем радона-220.

Важный источник поступления радона в жилые помещения представляют собой вода и природный газ. Концентрация радона в обычно используемой воде чрезвычайно мала, но вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит очень много радона.

По оценкам НКДАР ООН (Научный комитет по действию атомной радиации), среди всего населения Земли около 1% жителей потребляют воду с удельной радиоактивностью более 1 млн. Бк/м³ и около 10% пьют воду с концентрацией радона, превышающей 100000 Бк/м³.

^{220}Rn

$T_{1/2} = 54,5$ секунд

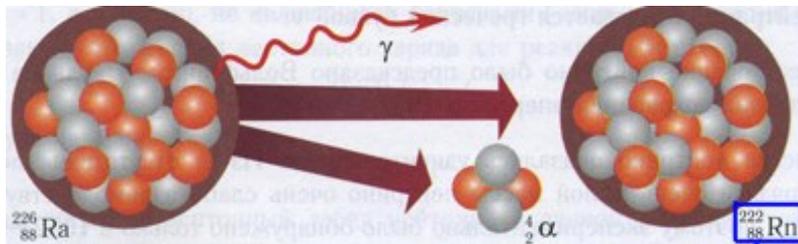
РАДОН

^{222}Rn

$T_{1/2} = 3,8$ суток

^{219}Rn

$T_{1/2} = 3,9$ секунд



Природный радиоактивный газ без цвета, вкуса и запаха, всегда присутствующий в горных породах, прежде всего гранитах.

В среднем годовая эквивалентная доза облучения, получаемая населением от земных источников радиации составляет около 2 мЗв в год, причем наибольший вклад в нее (почти 3/5) вносят радон и продукты его распада (1,3 мЗв/год).

208.98038	200.59	204.3833	207.2	208.98038	(210)	(210)	(222)
83 Bi	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
271.3	-38.86	303.5	327.5	271.3	254	302	222
1564	356.6	1457	1740	1564	962	337	-6.7
2.02/1.67	1.9/1.5	1.62/1.44	2.33/1.55	2.02/1.67	2.0/1.76	2.2/1.86	5.1 eV
Bismuth Висмут <i>Bismuthum</i>	Mercury Ртуть <i>(Hydrargyrum)</i>	Thallium Таллий	Lead Свинец <i>(Plumbum)</i>	Bismuth Висмут <i>Bismuthum</i>	Polonium Полоний	Astatine Астат <i>Astatium</i>	Radon Радон

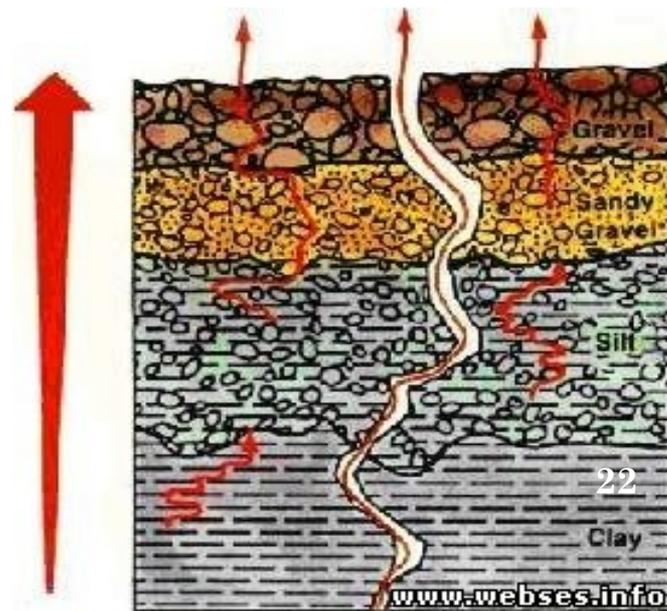
РАДОН



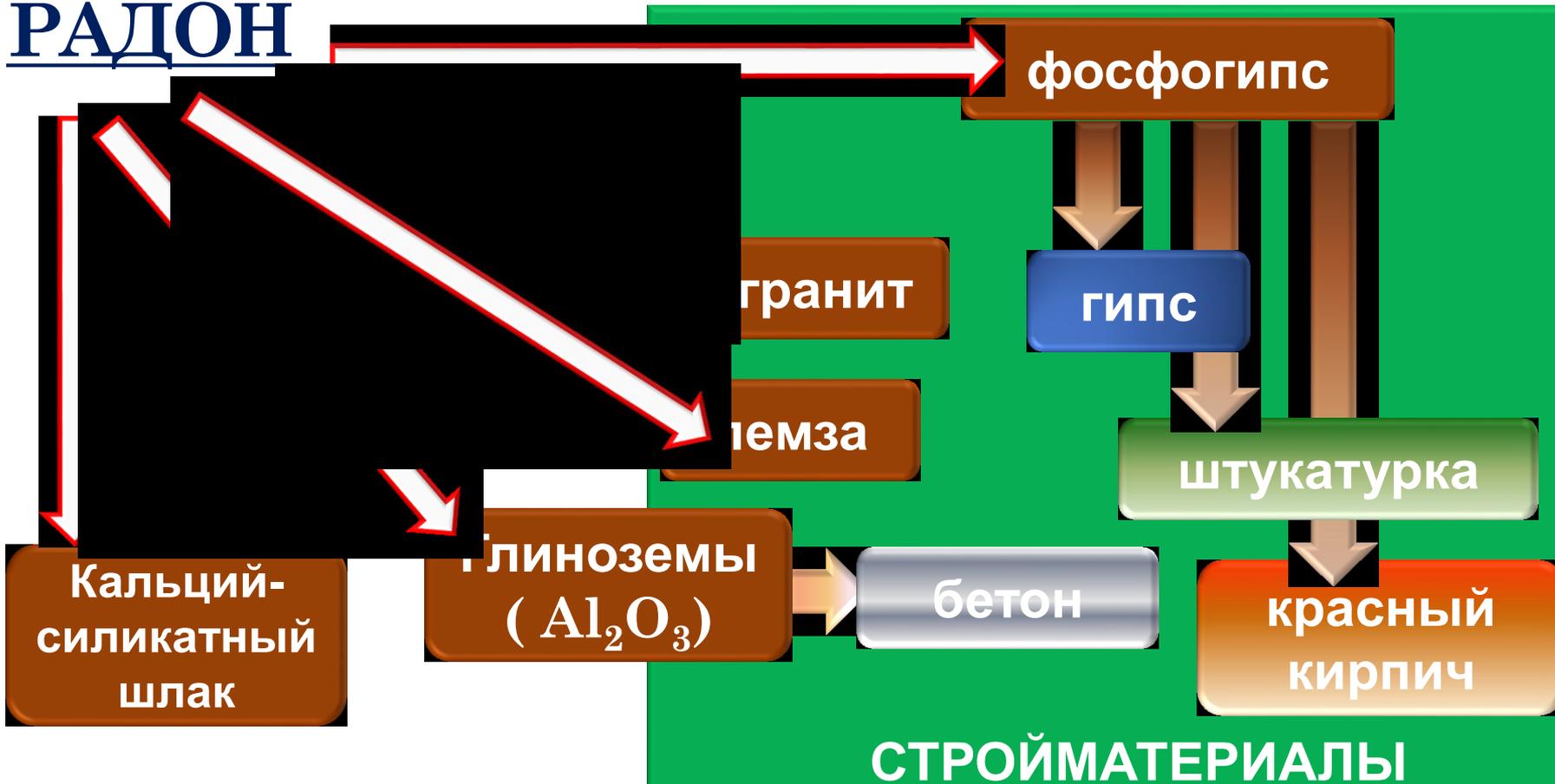
В различных почвах содержится примерно от 3×10^{-13} до 6×10^{-12} грамм радона на грамм почвы.

Радон диффундирует из земной коры в почву, а затем в атмосферу.

Удельная активность радона в атмосферном воздухе колеблется в пределах от 10^{-15} до 5×10^{-13} Ки/л.



РАДОН



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Дерево (Финляндия)
- Природный гипс (Великобритания)
- Песок и гравий (ФРГ)
- Портланд-цемент (ФРГ)
- Кирпич (ФРГ)
- Гранит (Великобритания)
- Зольная пыль (ФРГ)
- Глинозем (Швеция) 1974 - 1979
- Глинозем (Швеция) 1929 - 1975
- Фосфогипс (ФРГ)
- Кальций-силикатный шлак (США)
- Отходы урановых обогатительных предприятий (США)



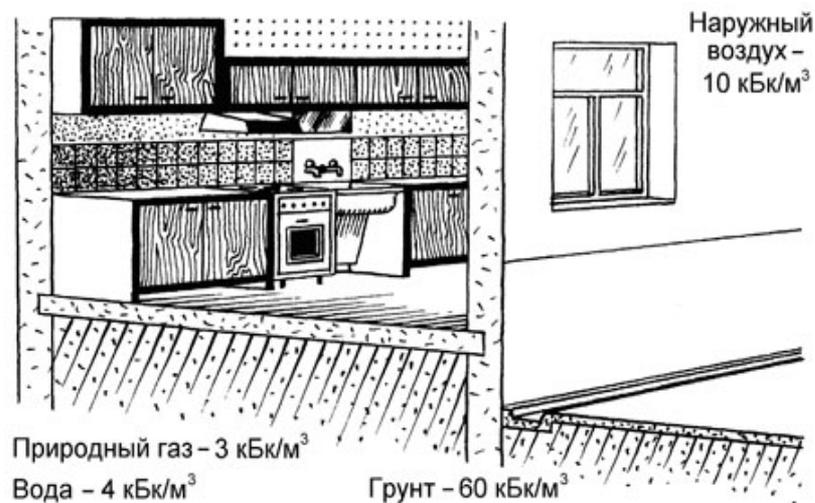
Средняя удельная радиоактивность строительных материалов, применяющихся в разных странах

Как радон
попадает в дом



РАДОН

Главным источником поступления радона в закрытые помещения является грунт. Концентрация на верхних этажах многоэтажного здания, ниже, чем на первом и цокольном этажах.



Эффективным средством уменьшения концентрации радона, просачивающегося через пол, являются вентиляционные установки в подвалах.

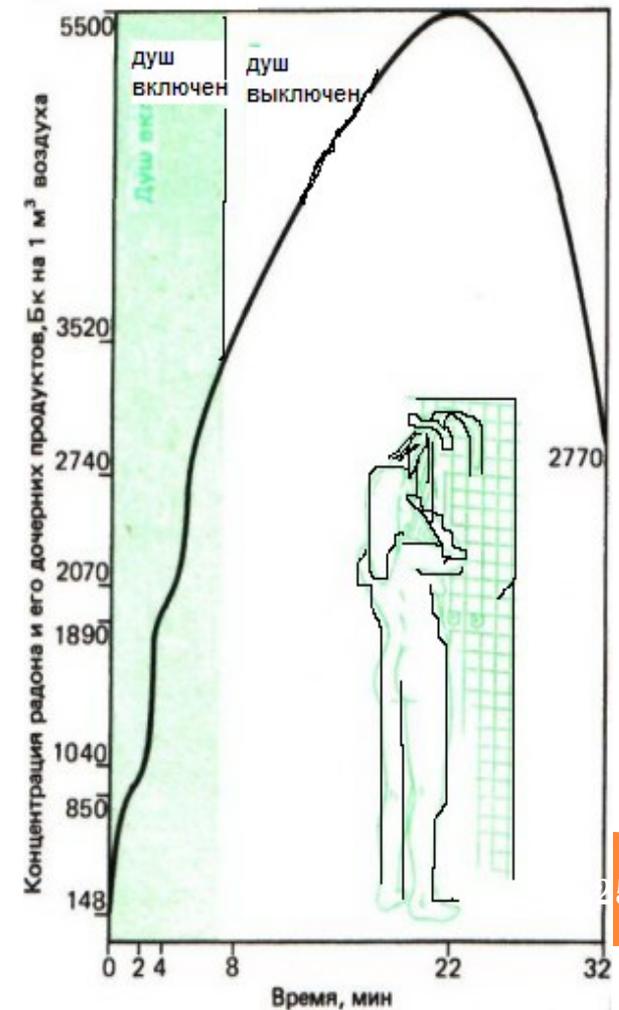
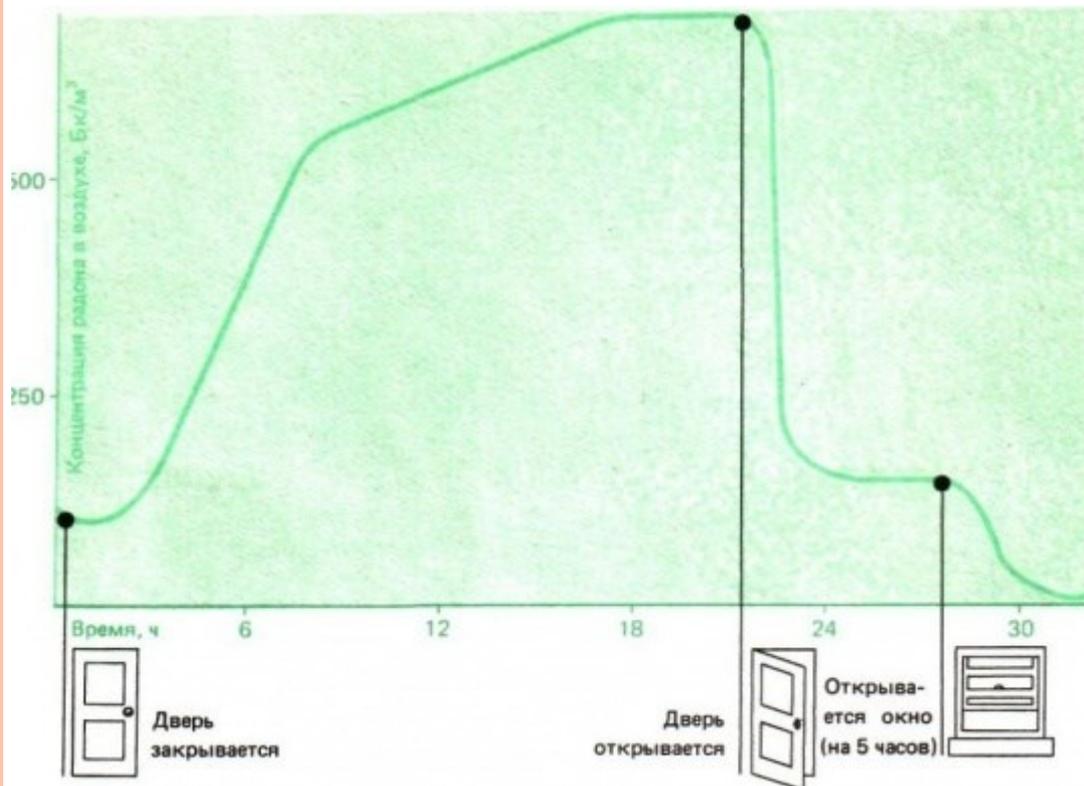
Мощность излучения различных источников радона

Источник радона	Мощность излучения б кБк/сут
Природный газ	3
Вода	4
Наружный воздух	10
Стройматериалы и грунт под зданием	60

РАДОН

Радон при пользовании душем

Влияние проветривания на содержание радона в воздухе жилой комнаты



РАДОН

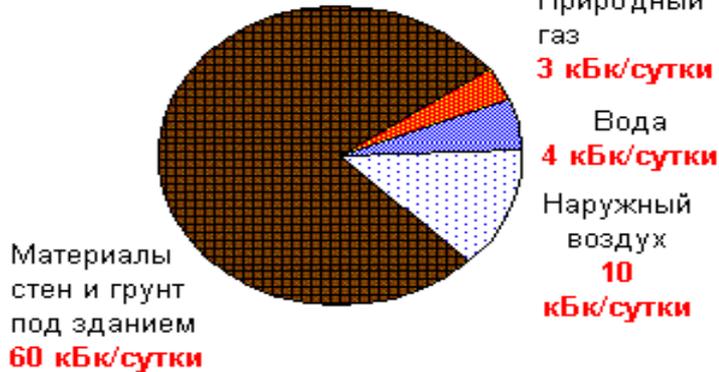
Концентрация радона в различных помещениях



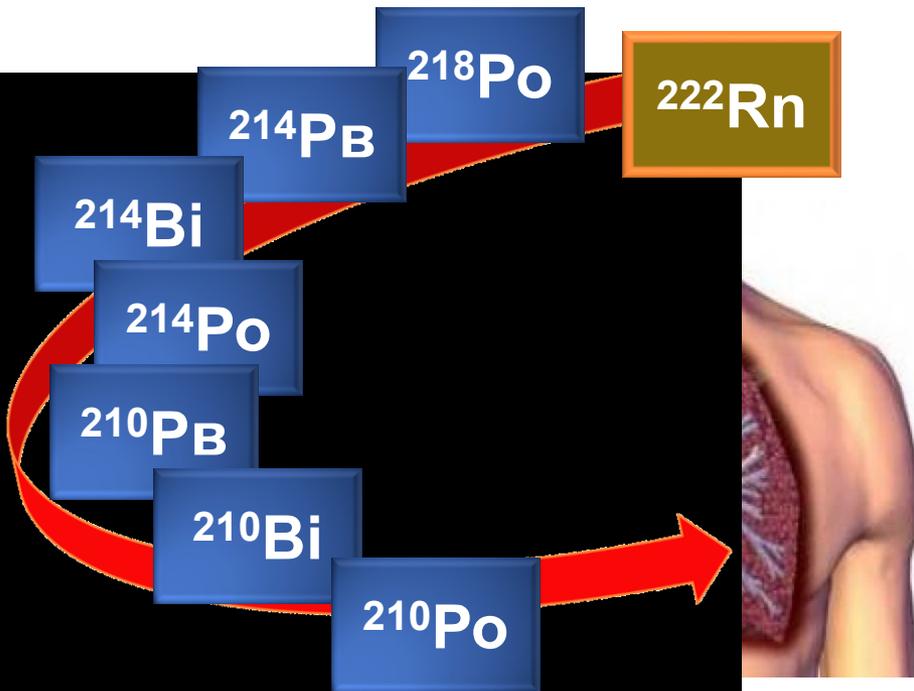
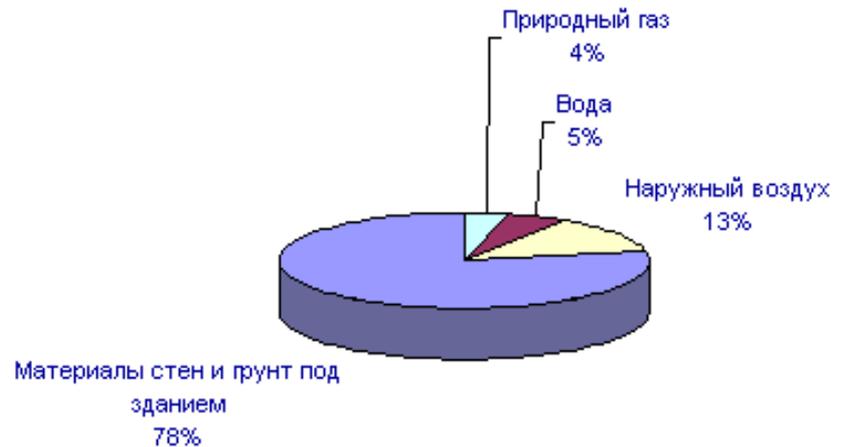
Тип помещения и условия вентиляции	Концентрация радона, пКи/л
<i>Хорошо вентилируемое помещение с воздушным кондиционером</i>	<i>0,06 - 0,35</i>
<i>Квартиры в кирпичных домах с воздушным кондиционированием</i>	<i>0,01 - 0,19</i>
<i>Квартиры деревянных домов. Невентилируемые квартиры</i>	<i>0,03 - 1,7</i>
<i>Кирпичные дома: нижние этажи</i>	<i>1,5 - 2,9</i>
<i>Кирпичные дома: верхние этажи</i>	<i>0,7 - 1,0</i>
<i>Каменные дома</i>	<i>2,3 - 5,8</i>
<i>Дома из шлаковых панелей</i>	<i>4,0 - 8,0</i>
<i>Подвальные этажи с плохой вентиляцией</i>	<i>3,6 - 7,8</i>

РАДОН

Мощность излучения различных источников радона



^{222}Rn



Основная часть облучения человека происходит от продуктов распада газа радона - изотопов свинца, висмута и полония, а не от него самого.

Попадая в легкие человека вместе с воздухом радон и продукты его распада, задерживаются в них, а распадаясь, выделяют α -частицы, которые поражают клетки эпителия.

Такой распад ядер радона в легочной ткани вызывает "микроожоги", а повышенная концентрация радона в воздухе может привести к раку лёгких.

ПОЛЬЗА РАДОНА

Радон используют в *медицинской практике* для приготовления радоновых ванн, издавна занимающих заметное место в арсенале курортов и физиотерапии. Известно, что растворенный в ультрадозах в воде радон оказывает положительное воздействие, как на центральную нервную систему, так и на многие другие функции организма.



Для процедур используют как природные радоновые воды, так и искусственно приготовленные.



Радоновые источники
Сингапура

МАГАТЭ ОРГАНИЗУЕТ ОНЛАЙН-ВЕБИНАРЫ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРИРОДНОГО РАДОНА



<https://www.iaea.org/>

<http://www.atomic-energy.ru/tema/vebinary>

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАДИОМЕТРЫ РАДОНА.

Для бытовых целей задачу определения концентрации радона в воздухе конструкторы решили с помощью современной элементной базы, используя управляющий микропроцессор и специально разработанные программные алгоритмы.

Детектор-индикатор радона СИРАД МР-106.

Устройство работает по принципу электростатического осаждения дочерних продуктов распада радона-222 на детекторе, чувствительном к альфа-частицам и может оценивать ЭРОА собранных радионуклидов. Вес прибора около 350 г без элементов питания (двух источников типоразмера АА), а его габариты – карманные. При включении прибора и вхождении в текущий режим, он начинает накапливать данные. Первый результат появляется спустя 4 часа работы, затем устройство переходит в состояние мониторинга с периодической коррекцией результата измерения (усредненный режим). Также имеется пороговый режим со звуковой сигнализацией превышения порога (100 Бк/м³ и 200 Бк/м³).

ЭРОАР_n – эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона в воздухе помещений.



PPA-01M-01



PPA-04



PPA-10



КАМЕРА



СИРАД МР-106

СУММАРНЫЕ ДОЗЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Суммарная годовая эквивалентная доза от естественных источников радиации = 2 мЗв (200 мбэр), в том числе и от внешнего облучения 0,65 мЗв, внутреннего 1,34 мЗв.

Основной вклад дает в эффективную дозу дает облучение легких вследствие вдыхания ^{222}Rn и ^{220}Tn . Уровни облучения различных органов и тканей Естеств. Ист. радиации в единицах эквивалентной дозы, являются мерой выраженности биологического эффекта, при воздействии ИИ различного качества

Таблица 3.3. Годовая эквивалентная доза, создаваемая природным источником ионизирующих излучений, мЗв (мбэр)

Облучение	Гонады	Красный костный мозг	Эндостальные клетки	Легкие
Внешнее	$6.3 \cdot 10^{-1}$ (63)			
Внутреннее	$3.5 \cdot 10^{-1}$ (35)	$4.9 \cdot 10^{-1}$ (49)	1,58 (158)	6,87 (687)
Сумма	$9.8 \cdot 10^{-1}$ (98)	1,12 (112)	2,21 (221)	7,5 (750)

Радиация от источников, созданных человеком

В природную среду стали поступать в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из недр Земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами. Сюда относятся геотермические электростанции, создающие в среднем выброс около $4 \cdot 10^{14}$ Бк изотопа ^{222}Rn на 1 ГВт выработанной электроэнергии; фосфорные удобрения, содержащие ^{226}Ra и ^{238}U (до 70 Бк/кг в Кольском апатите и 400 Бк/кг в фосфорите); уголь, сжигаемый в жилых домах и электростанциях, содержит естественные радионуклиды ^{40}K , ^{232}U и ^{238}U в равновесии с их продуктами распада.

Источник излучения.	Доза, мЗв/год (мбэр/год)
Природный радиационный фон	2 (200)
Стройматериалы	1,4 (140)
Атомная энергетика	0,002 (0.2)
Медицинские исследования	140 (140)
Ядерные испытания	0,025 (2.5)
Полеты в самолетах	0,005 (0.5)
Бытовые предметы	0,04 (4)
Телевизоры и мониторы ЭВМ	0,001 (0.1)
Общая доза	5 (500)

Среднегодовые дозы, получаемые от естественного радиационного фона и различных искусственных источников излучения.

Облучение, обусловленное технологическими повышением естественным радиационным фоном.

Годовое потребление угля в мире составляет несколько миллиардов тонн, из которых 70% сжигается в топках электростанций, 20% - в коксовальных печах и 10 % используется для целей отопления. Современная ТЭС, работающая на угле, потребляет 3млн. т. угля на производство 1ГВт электроэнергии в год и выбрасывает 0,1 млн. т золы в воздух.

В каменном угле, как и в других земных породах, содержатся естественные радионуклиды, в том числе ^{238}U от 3 до 520 Бк/кг и ^{232}Th от 3 до 320 Бк/кг, находящиеся в равновесии со своими продуктами распада, а также ^{40}K – от 0,7 до 70 Бк/кг. В золе угля содержание естеств. радионуклидов возрастает примерно на порядок величины вследствие исключения органического компонента при сжигании.

Нуклид	Концентрация Бк/кг
K-40	265
U-238	200
Ra-226	226
Pb-210	930
Po-210	1700
Th-232	70
Th-228	110
Ra-228	130

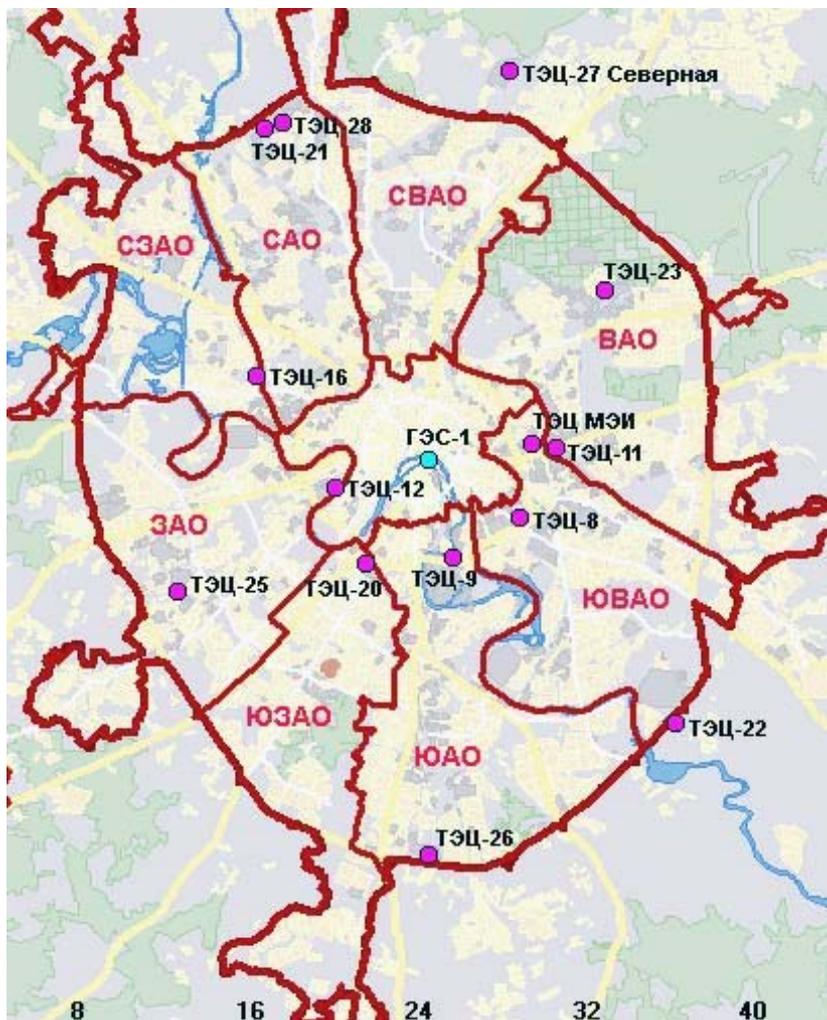
Среднеарифметическая
концентрация естественных
радионуклидов в летучей фракции
золы, образующейся при сжигании
каменного угля

Выбросы естественных радионуклидов и их содержание в атмосфере в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт

Нуклид	Концентрация в воздухе		Плотность загрязнения территории	
	10^{-5} Бк/кг	10^{-18} Ки/л	10^7 Бк/м ²	мКи/км ²
К-40 (калий)	---	---	389	105
Ra-226 (радий)	6,3	1,7	39	10,5
Pb-210 (свинец)	15	4,0	115	31
Po-210 (полоний)	14,4	3,9	70	19
Th-232 (торий)	6,3	1,7	----	----
Ra-228 (радий)	4,1	1,1	389	105

Если принять, что выбрасываемая зола равномерно оседает вокруг ТЭС, на территории 15-20 км, то годовая индивидуальная эквивалентная доза облучения различных органов и тканей населения, проживающего в этом районе составит 0,0145 мЗв (1,45 мбэр) для красного костного мозга, 0,42 мЗв (42 мбэр) на легкие, и 0,005 мЗв (0,5 мбэр) на все тело.

ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ (ТЭЦ) МОСКВЫ НА КАРТЕ



ТЭЦ-12 (1941г.)
Бережковская наб.,
д. 16

Топливо - природный газ, мазут,
уголь, торф

Некоторые действующие
энергетические установки Московской
области, использующие уголь

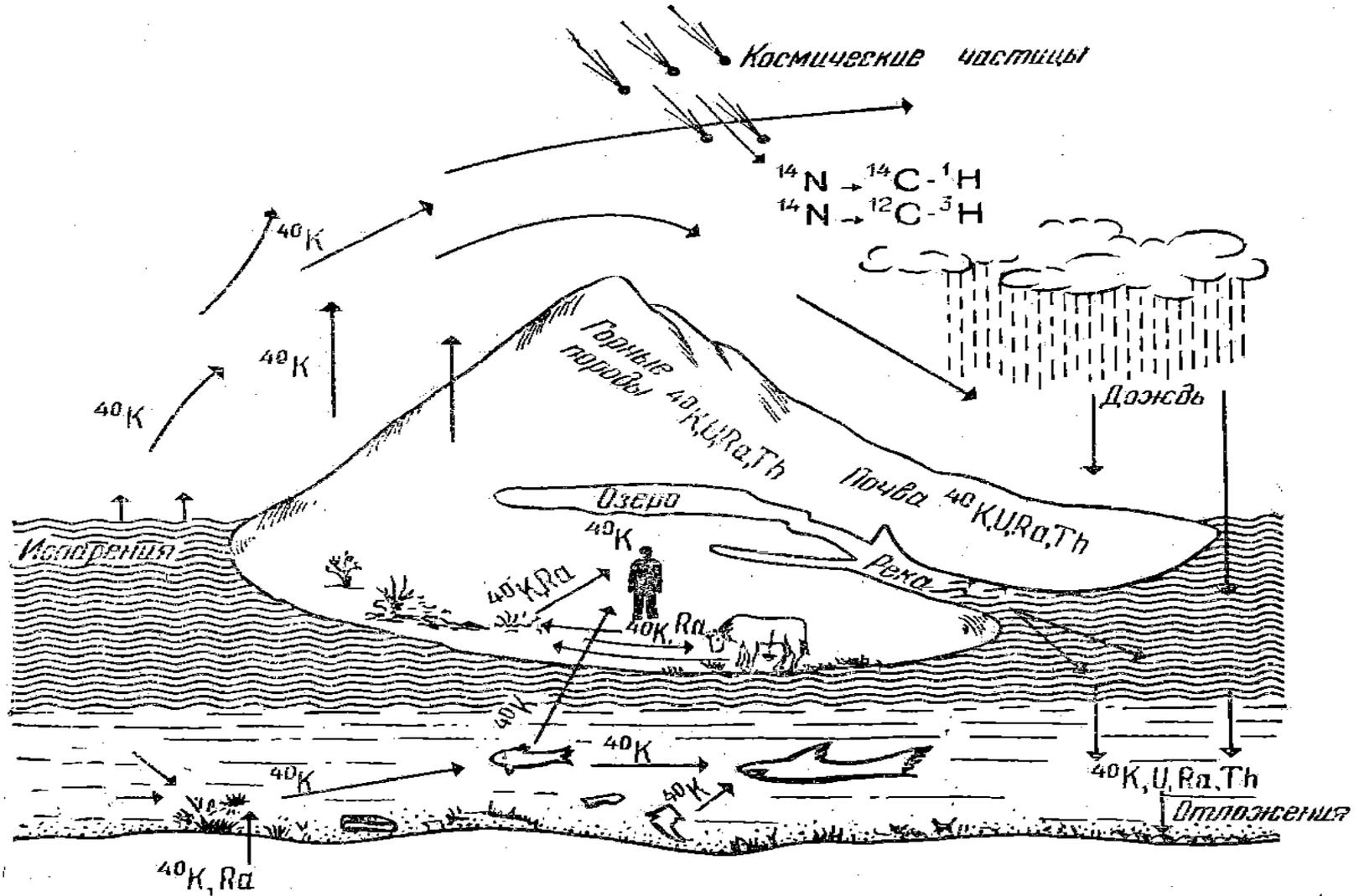
г. Дзержинский	Дзержинская ТЭЦ-22
г. Кашира	Каширская ГРЭС
г. Ступино	Ступинская ТЭЦ
г. Шатура	Шатурская ГРЭС

<http://mosenergoinform.ru/>

<http://www.protown.ru/information/>

Кто знает, где в Москве находится АЭС?

КРУГОВОРОТ РАДИОИЗОТОПОВ В ПРИРОДЕ



В качестве удобрений ежегодно используются несколько десятков млн. тонн фосфатов. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий в довольно высокой концентрации. Содержащиеся в удобрениях радиоизотопы проникают из почвы в пищевые продукты, приводят к повышению радиоактивности молока и других продуктов питания.

Таким образом, эффективная доза от внутреннего облучения за счет естественных источников (1.35 мЗв/год) в среднем примерно в два раза превышает дозу внешнего облучения от них (0.65 мЗв/год). Следовательно, суммарная доза внешнего и внутреннего облучения от естественных источников радиации в среднем равна 2 мЗв/год. Для отдельных контингентов населения она может быть выше. Причем максимальное превышение над средним уровнем может достигать одного порядка.

Пути поступления радионуклида в организм человека.



Правильная организация технологического процесса, проведение необходимых защитных мероприятий, обеспечение тщательного контроля за условиями труда могут уменьшить степень воздействия ионизирующего излучения на человека.

Источник (II) с технологически повышенным ЕСТЕСТВЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ

○ Промышленное использование продуктов фосфорита

Залежи фосфоритов содержат продукты распада U-238. Добыча фосфорной руды велика и растет из года в год. В процессе переработки фосфорной руды основные и побочные продукты и отходы также содержат радионуклиды в повышенной концентрации.



В жилом доме, при строительстве которого вместо обычных материалов использовались гипсовые отходы, дополнительная годовая доза облучения жильцов составит $7 \cdot 10^{-2}$ мГр (7мрад).

Фосфорные удобрения — минеральные удобрения, соли кальция и аммония фосфорной кислоты. В качестве удобрений используются фосфорные руды и продукты их переработки.

Сырьём для фосфорных удобрений служат фосфориты и апатиты ($\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$, где X — фтор, реже хлор или гидроксогруппа).

Самые крупные месторождения фторапатитов находятся в Хибинах (Кольский полуостров). Мощность рудного тела — 200 м. Также крупные месторождения есть в Казахстане, Курской, Брянской и Калужской областях.

Применение фосфатных удобрений приводит к небольшому увеличению дозы внешнего облучения — всего $3 \cdot 10^{-3}$ мГр (0,3 мрад) в год вследствие вымывания с водой.

Следует отметить, что поглощенная годовая доза в воздухе хранилищ удобрений может достигать 0,5 мГр (50 мрад).

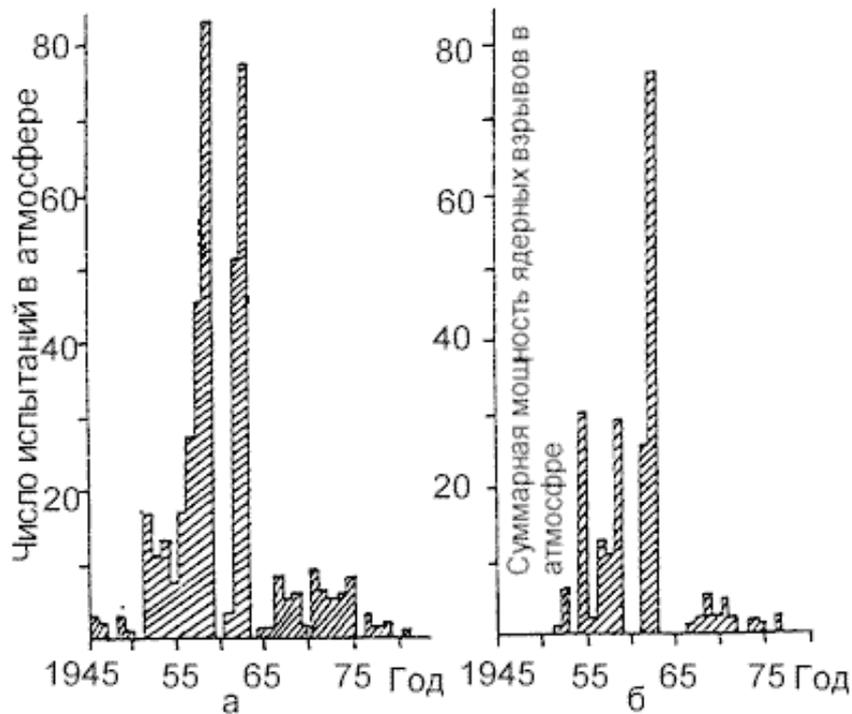
Годовая коллективная эффективная эквивалентная доза, создаваемая излучением естественных радионуклидов, при различных видах человеческой деятельности по данным (НКДАР).

Область производственной деятельности	Годовая коллективная эффективная эквивалентная доза	
	чел*Зв	чел*бэр
Сжигание угля: на электростанциях в жилых домах	2000	200 000
	10 000	1 000 000
Сжигание: нефти на электростанциях природного газа на электростанциях	100	10 000
	3	300
Использование: фосфатных удобрений фосфогибса в жилищном строительстве	7000	700 000
	600 000	60 000 000
ВСЕГО (округленно)	$8 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^6$

В каждом конкретном случае необходимо оценивать обусловленное этими факторами (см.табл.) облучение как в глобальном масштабе, так и применительно к отдельным регионам, что позволит более разумно, с точки зрения обеспечения радиационной безопасности, планировать развитие той или иной технологии, приводящей к повышению естественного радиационного фона.

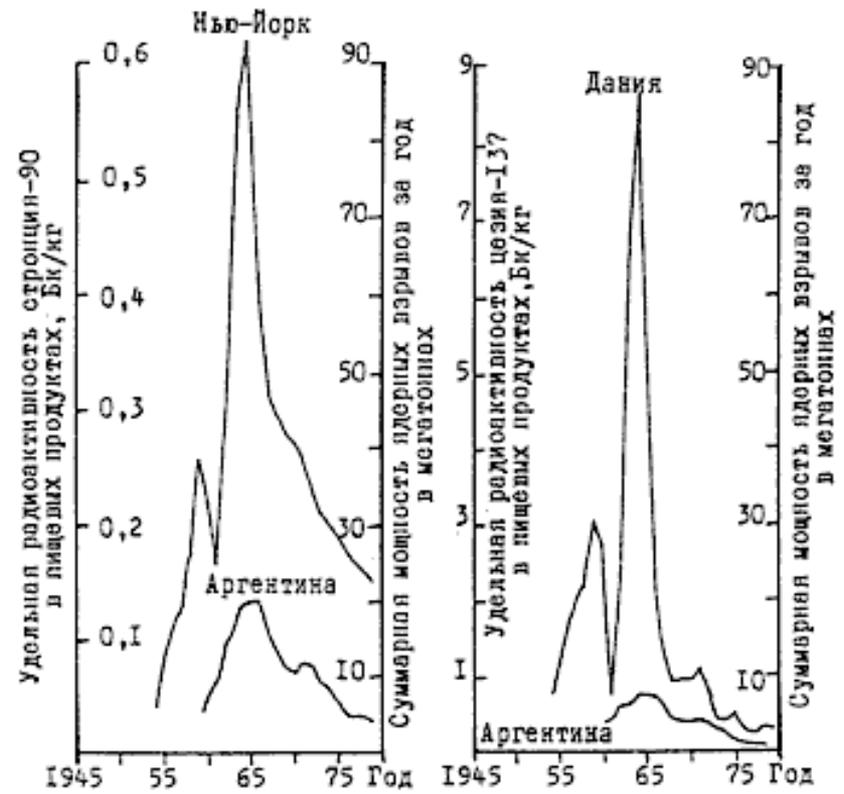
ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ

- Радиологические последствия испытаний ядерного оружия определяются количеством испытаний, суммарными энерговыделением и активностью осколков деления, видами взрывов (воздушные, наземные, подводные, надводные, подземные) и геофизическими факторами окружающей среды в период испытаний (район, метеообстановка, миграция радионуклидов и др.).
- Испытания ядерного оружия, которые особенно интенсивно проводились в период 1954-1958 и 1961-1962 гг. стали одной из основных причин повышения радиационного фона Земли и, как следствие этого, глобального повышения доз внешнего и внутреннего облучения населения.
- В США, СССР, Франции, Великобритании и Китае в общей сложности проведено не менее 2060 испытаний атомных и термоядерных зарядов в атмосфере, под водой и в недрах Земли, из них непосредственно в атмосфере 501 испытание. **Испытания в атмосфере в СССР были завершены в 1962 г., подземные взрывы на Семипалатинском полигоне - в 1989 г., на Северном полигоне - в 1990 г.** По оценкам во второй половине 20-го века за счет ядерных испытаний во внешнюю среду поступило $1.81 \cdot 10^{21}$ Бк продуктов ядерного деления (ПЯД), из них на долю атмосферных испытаний приходится 99.84 %. Распространение радионуклидов приняло планетарные масштабы



Данные по ядерным испытаниям в атмосфере:

- а) число испытаний в атмосфере;
- б) суммарная мощность ядерных взрывов за год в мегатоннах

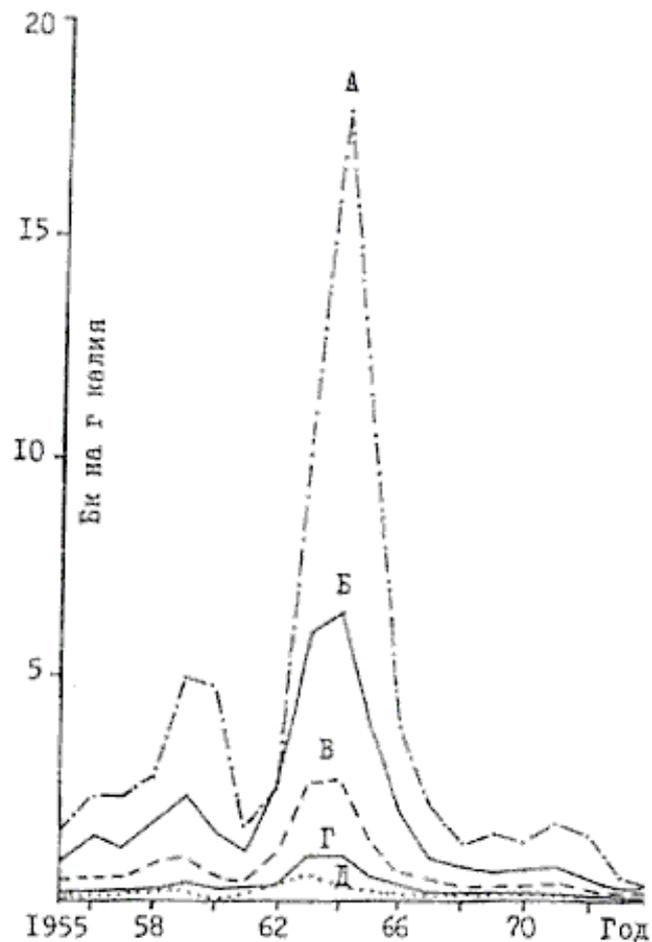


Содержание стронция-90 ($T_{1/2}=30$ лет) и цезия-137 ($T_{1/2}=30,2$ лет) в продуктах питания и суммарная годовая мощность ядерных взрывов в атмосфере.

Основные поставщики стронция-90 ($T_{1/2}=30$ лет) и цезия-137 ($T_{1/2}=30,2$ лет) – хлеб и молоко, а для цезия-137 ($T_{1/2}=30,2$ лет) и мясо. С водой поступает 5%, а с воздухом вдыхаем 1%.

Содержание цезия-137 в различных продуктах питания:

А - зерновые продукты, Б - мясо, В - молоко, Г - фрукты, Д - овощи.



Продукты ядерного деления (ПЯД) - сложная смесь более чем 200 радиоактивных изотопов 36 элементов (от цинка до гадолиния). Большую часть активности составляют короткоживущие радионуклиды. Так, через 7, через 49 и через 343 суток после взрыва активность ПЯД снижается соответственно в 10, 100 и 1000 раз по сравнению с активностью через час после взрыва. Кроме ПЯД радиоактивное загрязнение обусловлено радионуклидами наведенной активности (^3H , ^{14}C , ^{28}Al , ^{24}Na , ^{56}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co и др.) и неразделившейся частью урана и плутония.

Элемент	Заряд	Период полураспада	Выход на одно деление, %	Активность на 1 Мт, (10^{15} Бк)
Стронций-89	38	50.5 сут	2.56	590
Стронций-90	38	28.6 лет	3.5	3.9
Цирконий-95	40	64 сут	5.07	920
Рутений-103	44	39.5 сут	5.2	1500
Рутений-106	44	368 сут	2.44	78
Иод-131	53	8 сут	2.90	4200
Цезий-136	55	13.2 сут	0.036	32
Цезий-137	55	30.2 лет	5.57	5.9
Барий-140	56	12.8 сут	5.18	4700
Церий-141	58	32.5 сут	4.58	1600
Церий-144	58	284 сут	4.69	190
Водород-3	1	12.3 лет	0.01	$2.6 \cdot 10^{-2}$

При ядерных взрывах в атмосфере значительная часть осадков (при наземных взрывах до 50%) выпадает вблизи района испытаний. Часть радиоактивных веществ задерживается в нижней части атмосферы и под действием ветра перемещается на большие расстояния, оставаясь примерно на одной и той же широте. Находясь в воздухе примерно месяц, радиоактивные вещества во время этого перемещения постепенно выпадают на Землю. Большая часть радионуклидов выбрасывается в стратосферу (на высоту 10-15 км), где происходит их глобальное рассеивание и в значительной степени распад. Нераспавшиеся радионуклиды выпадают по всей поверхности Земли. **Дозы облучения населения от глобальных выпадений незначительны.**

Дозы облучения населения от глобальных выпадений в год.

Зона	Индивидуальная ожидаемая доза, мЗв	Вклады отдельных видов облучения, %		
		внешнее	внутреннее.	
			пища	воздух
Умеренный пояс Северного полушария	4.5	24	71	5
Умеренный пояс Южного полушария	3.1	8	90	2
Весь земной шар	3.8	18	79	3

Годовые дозы облучения населения коррелируют с частотой испытаний. В 1963 году коллективная среднегодовая доза, связанная с ядерными испытаниями, составила $\approx 7\%$ дозы облучения от естественных источников. К 1966 году она снизилась до 2%, а к началу 80-ых годов уменьшилась до 1%. В дальнейшем формирование доз будет происходить практически только за счет ^{14}C .

Суммарная ожидаемая коллективная эффективная доза от всех испытаний, произведенных к настоящему времени, составит в будущем около $3 \cdot 10^7$ чел-Зв. К 1980г. человечество получило лишь $\approx 12\%$ этой дозы. Из этой суммарной дозы основной вклад дадут следующие радионуклиды:

^{14}C	$T_{1/2} = 5730$ лет	69% общей дозы;
^{137}Cs	$T_{1/2} = 30$ лет	14%;
^{95}Zr	$T_{1/2} = 65$ дней	5.3%;
^{90}Sr	$T_{1/2} = 28$ лет	3.2%;
^{106}Ru	$T_{1/2} = 373$ дня	2.2%;
^{144}Ce	$T_{1/2} = 285$ дней	1.4%;
^3H	$T_{1/2} = 12$ лет	1.2%;
^{131}I	$T_{1/2} = 8$ дней	0.9%;

Источники радиационного фона

Радиационный фон — ионизирующее излучение земного и космического происхождения



ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ - ЗАДАЧИ №2,1; 2,3; 2,5; 2,7; 2,9.

§ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ

1. Эффективный атомный номер сложного вещества по фотоэффекту равен

$$Z_{эф} = \sqrt[3]{\sum_i a_i Z_i^3}, \quad (2.1)$$

где Z_i — атомный номер i -го элемента; a_i — относительное число электронов i -го элемента в сложном веществе, или

$$Z_{эф} = \sqrt[3]{\left(\sum_i a_i Z_i^4\right) / \left(\sum_i a_i Z_i\right)}, \quad (2.2)$$

где a_i — относительное число атомов i -го элемента в сложном веществе.

2. Эффективный атомный номер сложного вещества по эффекту образования пар

$$Z_{эф} = \sum a_i Z_i = (\sum a_i Z_i^2) / (a_i Z_i). \quad (2.3)$$

3. Соотношение между поглощенной энергией в различных веществах при тождественных условиях облучения.

Если ΔE_1 и ΔE_2 — поглощенная энергия в единице массы первого и второго вещества соответственно, то

$$\frac{\Delta E_1}{\Delta E_2} = \frac{n_1}{n_2} \frac{\mu_{ke1}}{\mu_{ke2}}, \quad (2.4)$$

2.1. Вычислить эффективный атомный номер воды и мягкой биологической ткани по фотоэффекту и эффекту образования пар.

2.3. Найти плотность потока электронов, возникающих в воде в изотропном поле фотонного излучения

с энергией 400 кэВ в условиях электронного равновесия, если мощность дозы равна 15 рад/с.

2.5. Найти среднее значение ЛПЭ электронов в воде, возникающих под действием фотонного излучения, если при мощности дозы 2 мрад/ч плотность потока электронов составляет 8,7 [1/(см²·с)].

где n_1 и n_2 — электронная плотность первого и второго веществ соответственно; μ_{ke1} и μ_{ke2} — соответствующие коэффициенты передачи энергии, рассчитанные на один электрон среды.

4. Связь между дозой излучения D и плотностью потока заряженных частиц Φ определяется выражением

$$D = L\Phi t, \quad (2.5)$$

где L — усредненное по энергетическому спектру значение линейной передачи энергии (ЛПЭ) заряженных частиц; t — время облучения.

5. Коэффициенты качества для излучений с различным ЛПЭ имеют регламентированные значения (ГОСТ 12631—67), приведенные в таблице. Коэффициент качества для промежуточных значений ЛПЭ находят путем линейного интерполирования.

Среднее значение ЛПЭ в воде, кэВ/мкм	Коэффициент качества	Среднее значение ЛПЭ в воде, кэВ/мкм	Коэффициент качества
3,5	1	23—53	5—10
3,5—7,0	1—2	53—175	10—20
7,0—23	2—5		

6. Формулы для вычисления пробега электронов R [г/см²] в зависимости от их энергии E_0 :

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{1}{1500} E_0^{5/3}; E_0 < 0,2 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,15E_0 - 0,0028; 0,03 < E_0 < 0,15 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,407E_0^{1,88}; 0,15 < E_0 < 0,8 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,542E_0 - 0,133; E_0 > 0,8 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,571E_0 - 0,161; E_0 > 1 \text{ МэВ}. \end{aligned} \right\} (2.6)$$

2.7. Вычислить коэффициент качества нейтронов с энергией 5 МэВ, принимая во внимание только упругое рассеяние на ядрах элементов, входящих в формулу ткани, и считая, что пробег протонов в ткани $r_{\text{пр}} \approx 250$ мкм, а коэффициент качества ядер отдачи углерода и кислорода равен каждый 15.

Примерный состав мягкой биологической ткани можно выразить формулой «воображаемой тканевой молекулы» $(C_5H_{40}O_{18}N)_x$

2.9. Найти коэффициент качества первичного излучения, принимая во внимание, что доза в ткани обусловлена заряженными частицами четырех видов, дающих вклад в дозу 30, 40, 20 и 10% и имеющих коэффициент качества соответственно равным 7, 1, 20 и 10.

§ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ

1. Эффективный атомный номер сложного вещества по фотоэффекту равен

$$Z_{\text{эф}} = \sqrt[3]{\sum_i a_i Z_i^3}, \quad (2.1)$$

где Z_i — атомный номер i -го элемента; a_i — относительное число электронов i -го элемента в сложном веществе, или

$$Z_{\text{эф}} = \sqrt[3]{\left(\sum_i a_i Z_i^4\right) / \left(\sum_i a_i Z_i\right)}, \quad (2.2)$$

где a_i — относительное число атомов i -го элемента в сложном веществе.

2. Эффективный атомный номер сложного вещества по эффекту образования пар

$$Z_{\text{эф}} = \sum a_i Z_i = (\sum a_i Z_i^2) / (a_i Z_i). \quad (2.3)$$

3. Соотношение между поглощенной энергией в различных веществах при тождественных условиях облучения.

Если ΔE_1 и ΔE_2 — поглощенная энергия в единице массы первого и второго вещества соответственно, то

$$\frac{\Delta E_1}{\Delta E_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\mu_{ke1}}{\mu_{ke2}}, \quad (2.4)$$

где n_1 и n_2 — электронная плотность первого и второго веществ соответственно; μ_{ke1} и μ_{ke2} — соответствующие коэффициенты передачи энергии, рассчитанные на один электрон среды.

4. Связь между дозой излучения D и плотностью потока заряженных частиц Φ определяется выражением

$$D = L\Phi t, \quad (2.5)$$

где L — усредненное по энергетическому спектру значение линейной передачи энергии (ЛПЭ) заряженных частиц; t — время облучения.

5. Коэффициенты качества для излучений с различным ЛПЭ имеют регламентированные значения (ГОСТ 12631—67), приведенные в таблице. Коэффициент качества для промежуточных значений ЛПЭ находят путем линейного интерполирования.

Среднее значение ЛПЭ в воде, кэВ/мкм	Коэффициент качества	Среднее значение ЛПЭ в воде, кэВ/мкм	Коэффициент качества
3,5	1	23—53	5—10
3,5—7,0	1—2	53—175	10—20
7,0—23	2—5		

6. Формулы для вычисления пробега электронов R [г/см²] в зависимости от их энергии E_0 :

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{1}{1500} E_0^{5/3}; E_0 < 0,2 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,15E_0 - 0,0028; 0,03 < E_0 < 0,15 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,407E_0^{1,38}; 0,15 < E_0 < 0,8 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,542E_0 - 0,133; E_0 > 0,8 \text{ МэВ}; \\ R &= 0,571E_0 - 0,161; E_0 > 1 \text{ МэВ}. \end{aligned} \right\} (2.6)$$

В.И. Иванов, В.П. Машкович
Сборник задач по дозиметрии и
защите от ионизирующих
излучений. Москва. Атомиздат 1980.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

