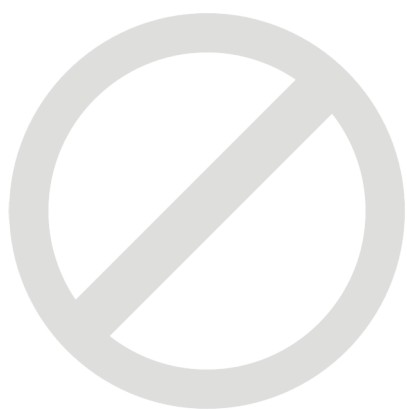




# ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

Астана  
2014



обратная сторона  
обложки

## Введение

Радиоактивность неотъемлемо присутствует в нашей жизни, но без знания закономерностей процессов, связанных с радиационным излучением, невозможно адекватно оценивать связанные с нею явления. Без предварительного знакомства с основами атомной физики здесь не обойтись, как бы ни хотелось упростить объяснения, определенную работу, по вниканию в содержание, читателю придется проделать. Наградой же ему будет осознание того, что он начал разбираться в одной из самых загадочных, противоречивых и вызывающих бурные дискуссии, тем.

Очень трудным является следующий вопрос: с чего начинать, что включать в перечень основных понятий, какие свойства излучения и радиоактивности в оптимальном объеме позволят читателю освоить предложенный материал, ведь атомная физика – сложная и многогранная наука, ее годами изучают в специальных институтах.

Для восприятия и понимания предложенного материала необходимо знание общей физики, в объеме средней школы, и внимательное отношение к новым терминам и определениям, которые здесь представлены.

В данной работе, без использования сложных формул по физике и математике, рассказывается:

- кое-что про планету Земля, которая объята радиоактивным галактическим и солнечным ветром, что магнитосфера и атмосфера Земли частично позволяет проникать потокам радиации на ее поверхность;
- о том, что по своему происхождению, Земля состоит из радиоактивных элементов;
- о том, что естественные радиоактивные элементы присутствуют во всем земном живом и неживом;
- о подзабытых временах, когда люди по-другому воспринимали радиоактивность;
- о свойствах радиации;
- о биологическом и химическом воздействии облучения на человека;
- о радоновой пользе и о радоновой опасности.

Приводимые данные о дозах облучения, получаемые людьми от различных источников излучения, взяты из объективных источников информации, при этом, здесь будут честно изложены негативные и позитивные аспекты того, или иного вопроса.

## Радиация и доза

В этом разделе рассматриваются понятия «радиация», «доза» облучения, объясняется их смысл и единицы их измерения.

Радиация – обобщенное понятие, и, в некотором смысле, обывательский термин. Специалисты предпочитают определение «*ионизирующее излучение*».

Ионизирующее излучение – это поток частиц (электронов, протонов, нейтронов, и др.) или электромагнитных квантов (электромагнитное излучение). Понятие «ионизирующее излучение» включает различные виды излучений, одни из которых встречаются в природе, а другие – создаются искусственным путем. Такое излучение способно ионизировать среду, в которой оно распространяется, т.е. превращать нейтральные атомы и молекулы среды в частицы, имеющие положительный или отрицательный заряд (ионы).

При воздействии ионизирующего излучения на организм человека процесс ионизации идет непосредственно в клетках его тканей и органов, и если источник излучения обладает достаточной мощностью, ни к чему хорошему это не приводит. Но не будем забежать вперед, перед этим необходимо познакомиться с основными характеристиками излучений и понять, откуда они возникают.

Прежде всего, следует различать *корпускулярное излучение*, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля, и *электромагнитное излучение*, обладающее волновыми свойствами. Корпускулярное излучение может состоять как из заряженных, так и из нейтральных частиц, оно испускается различными радиоактивными атомами, называемыми радионуклидами или радиоактивными изотопами.

## Корпускулярное излучение

Радиоактивные изотопы могут испускать корпускулярное излучение следующих типов:

- *альфа-излучение* – поток  $\alpha$ -частиц, (ядер гелия  ${}^4_2\text{He}$ ), обладающих высокой энергией;

- *бета-излучение* – поток  $\beta$ -частиц (электронов  $e^-$  или, реже, позитронов  $e^+$ ), также имеющих большую энергию;
- *нейтронное излучение* – поток нейтронов ( $n^0$ ), обладающих большой энергией (образуются при ядерных реакциях деления, например, в активной зоне реакторов, при ядерных взрывах) и электромагнитное излучение:

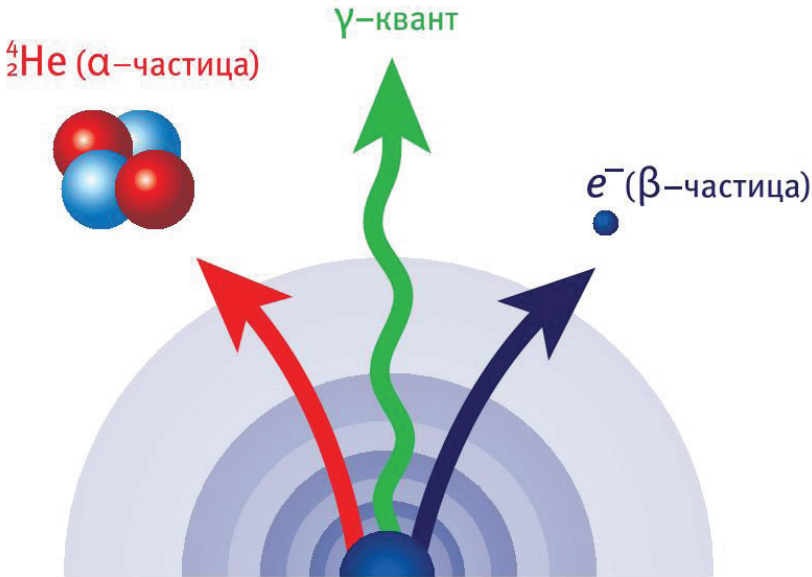


Рис. 1 Схема образования  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения

### Электромагнитное излучение

Электромагнитное излучение имеет широкий спектр энергий и различные источники: гамма-излучение атомных ядер и тормозное излучение ускоренных электронов, радиоволны (рис. 2), основные характеристики электромагнитных излучений приводятся в таб. 1.



Рис. 2. Шкала электромагнитного излучения

Таблица 1. Характеристики электромагнитных излучений

Название диапазона		Длина волны	Частота	Источники
Радиоволны	Сверхдлинные	более 10 км	менее 30 кГц	Атмосферные и магнитосферные явления.
	Длинные	10 км – 1 км	30 кГц – 300 кГц	
	Средние	1 км – 100 м	300 кГц – 3 МГц	
	Короткие	100 м – 10 м	3 МГц – 30 МГц	Радиосвязь.
	Ультракороткие	10 м – 1 мм	30 МГц – 300 ГГц	
Инфракрасное излучение		1 мм – 780 нм	300 ГГц – 429 ТГц	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях.
Видимый свет		780 нм – 380 нм	429 ТГц – 750 ТГц	
Ультрафиолетовое излучение		380 нм – 10 нм	$7,5 \cdot 10^{14}$ Гц – $3 \cdot 10^{16}$ Гц	Излучение атомов под воздействием ускоренных электронов.
Рентгеновское излучение		10 нм – 5 пм	$3 \cdot 10^{16}$ – $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц.
Гамма-излучение		менее 5 пм	более $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Ядерные и космические процессы, радиоактивный распад.

**Гамма-излучение** – поток  $\gamma$ -квантов, высокоэнергетическое электромагнитное ионизирующее излучение, природа которого аналогична природе света.

Обратим внимание на то, что видимый свет, рентгеновское и гамма-излучение имеют одну и ту же природу и являются частью спектра электромагнитных излучений.

### Доза излучения

В представлении многих людей единственным источником опасной радиации является ядерная отрасль, радиоактивные изотопы,

образующиеся в процессе работы атомных электростанций, радиохимических производств, испытаний ядерного оружия. При этом многие считают опасным проживание вблизи атомного объекта, а если они подверглись какому-либо техногенному облучению и получили незначительную дозу, то считают себя пострадавшими независимо от ее величины.

Однако ионизирующее излучение совсем не обязательно связано с техногенными радионуклидами. В каждой вещи, в каждом предмете, которые нас окружают, в том числе, и в питьевой воде и в самом воздухе, содержатся природные или естественные, радиоактивные изотопы, которые изначально присутствовали на Земле и сопровождают жизнь с момента ее зарождения. Наибольший вклад в годовую дозу облучения обычного человека вносят именно природные источники: их доля составляет более 80%. Причем, это справедливо даже для регионов, наиболее пострадавших от Чернобыльской аварии или, например, для жителей Семипалатинского региона.

А что является незначительной дозой? А бывают ли вообще дозы незначительными и неопасными для здоровья? И если бывают, то какую дозу можно считать незначительной? Где грань между реальной и вымышленной опасностью?

Слово «доза» знакомо всем, и даже неспециалист понимает: чем выше доза, тем хуже для организма. Поэтому, определив понятие «доза», как одно из ключевых, для несведущего читателя, можно двигаться дальше. Для того, чтобы определить вред (а это главное, что нас интересует), который радиация наносит нашему организму, используется понятие *эффективной эквивалентной дозы*.

*Эффективная эквивалентная доза* учитывает три аспекта:

- количество энергии излучения (в джоулях), поглощенной органом или тканью (на единицу массы);
- вид излучения (разные виды излучений отличаются по степени опасности);
- чувствительности разных органов и тканей человека к излучению.

Формула, по которой рассчитывается эффективная эквивалентная доза, следующая:

$$E = W_R \times W_T \times D$$

где:

$W_R$  – коэффициент, учитывающий опасность излучения (коэффициент качества);

$W_T$  – коэффициент, учитывающий чувствительность к излучению органа или ткани;

$D$  – поглощенная доза.

*Мощность дозы* – приращение дозы излучения за единицу времени. Эта величина имеет размерность соответствующей дозы (поглощенной, эквивалентной), отнесенной к единице времени (например, мкЗв/час, мЗв/год).

Для измерения дозы (или мощности дозы) используются специальные приборы – дозиметры. Дозиметры, в основном, измеряют эквивалентную дозу, т.е. поглощенную дозу, умноженную на коэффициент качества (или *тканевый коэффициент*).

Каждому сотруднику, работающему на радиационно-опасном объекте, выдается индивидуальный дозиметр. Такие дозиметры выдаются персоналу АЭС, врачам и техникам, обслуживающим рентгеновские аппараты и медицинские установки для лучевой терапии и т.п.

Эффективная доза измеряется в *зивертах* (Зв) – по имени шведского радиофизика Рольфа Зиверта, одного из родоначальников радиобиологии, она, как правило, всегда определяется расчетным путем.

На практике применяются еще несколько видов доз, их параметры приведены в табл.2.

Сразу поясним, что эффективная эквивалентная доза в 1 Зв – это очень большая доза облучения, поэтому на практике используются ее производные величины: *микрзиверт* (мкЗв) и *миллизиверт* (мЗв).

Какую дозу можно считать относительно безвредной? По действующим нормам, принятым в Республике Казахстан для обычного человека, не работающего с источниками ионизирующего излучения, допустимая эффективная годовая доза составляет **1 мЗв** в год, причем, полученную только от техногенных источников излучения. Эта величина не включает в себя дозы, полученные от естественного радиоактивного фона и от медицинского облучения.

Для тех, кто профессионально работает с источниками ионизирующего излучения, допустимая доза составляет **20 мЗв** в год (в среднем за любые последовательные пять лет). Можно отметить,



что в некоторых западных странах аналогичный порог составляет 50 мЗв в год.

Теперь, вооружившись понятиями о радиоактивности и дозе, логично перейти к следующему вопросу: что является источником радиации?

Таблица 2. Единицы измерения активности и доз облучения

Величина	Наименование и обозначение единицы измерения		Соотношения между единицами
	Внесистемные	В системе СИ	
<b>Поглощенная доза</b> – величина энергии, передаваемая единице массы вещества ионизирующим излучением	Рад (рад)	Грей (Гр)	1 рад = $10^{-2}$ Гр 1 Гр = 1 Дж/кг
<b>Эквивалентная доза</b> – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения	Бэр (бэр)	Зиверт (Зв)	1 бэр = $10^{-2}$ Зв 1 Зв = 100 бэр
<b>Эффективная доза*</b> – величина, используемая, как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей, с учетом их радиочувствительности	Бэр (бэр)	Зиверт (Зв)	1 бэр = $10^{-2}$ Зв 1 Зв = 100 бэр
<b>Доза эффективная коллективная</b> – сумма индивидуальных эффективных доз для рассматриваемой группы населения или персонала	чел·Бэр	чел·Зв	1 чел·бэр = $10^{-2}$ чел·Зв 1 чел·Зв = 100 чел·бэр

\* **Примечание:** Эффективная доза может быть получена суммированием произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на взвешивающие коэффициенты, которые измеряются в пределах от 0,2 (половые железы) до 0,01 (кожа, клетки костных поверхностей).

## Источники радиационного фона

Избежать облучения ионизирующим излучением невозможно. Жизнь на Земле возникла и продолжает развиваться в условиях постоянного облучения.

Радиационный фон на Земле складывается из следующих компонентов (рис. 3):

- космического излучения;
- излучения земного происхождения от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
- излучение от искусственных (техногенных) радионуклидов.

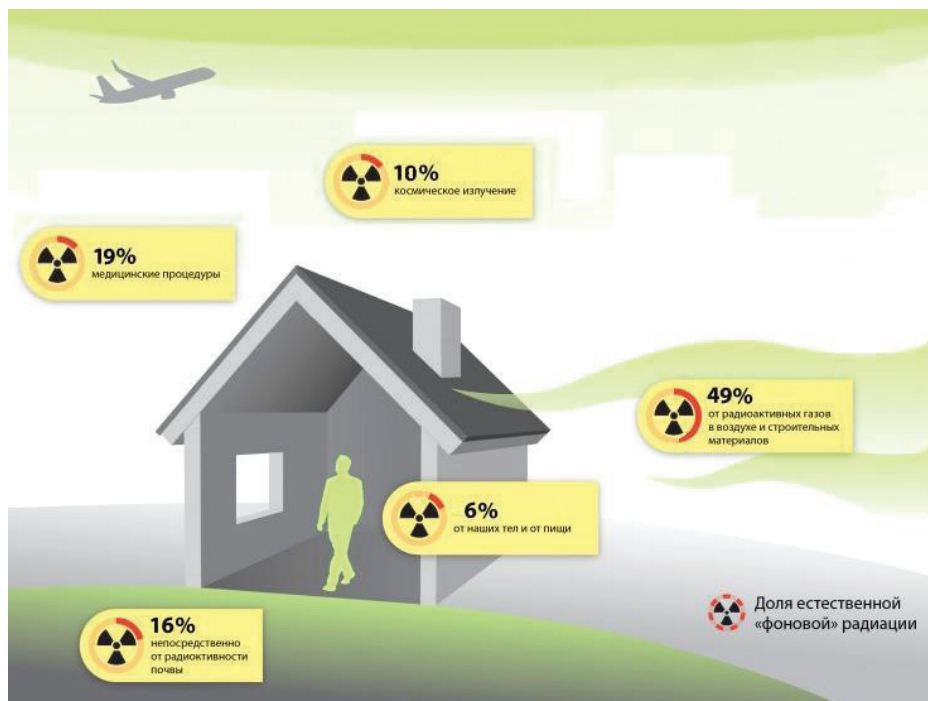


Рис. 3. Составляющие радиационного фона

Рассмотрим по порядку эти компоненты.

### Естественные источники радиации

#### *Космическое излучение*

Космическое излучение образуется из частиц галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца, захваченных магнитным полем Земли. В его состав входят, в основном,

электроны, протоны и альфа-частицы. Это так называемое *первичное* космическое излучение. Оно, взаимодействуя с газами, формирующими атмосферу Земли, порождает *вторичное* излучение, которое состоит, в основном, из нестабильных *мюонов* и  $\gamma$ -квантов.

Поглощенная мощность дозы космического излучения в воздухе, на уровне моря, равна  $3,2 \cdot 10^{-8}$  Гр/час и формируется, в основном,  $\gamma$ -квантами. За счет космического излучения большинство населения получает дозу, равную около 0,35 мЗв в год.

Космическому внешнему облучению подвергается вся поверхность Земли. Однако облучение это неравномерно. Интенсивность космического излучения зависит от солнечной активности, географического положения объекта и возрастает с высотой над уровнем моря. Наиболее интенсивно оно на Северном и Южном полюсах, менее интенсивно в экваториальных областях. Причина этого – магнитосфера Земли (рис. 4 и 5), которая формирует т.н. *радиационные* пояса Земли.

Земля – это огромный постоянный магнит. Необходимое усло-

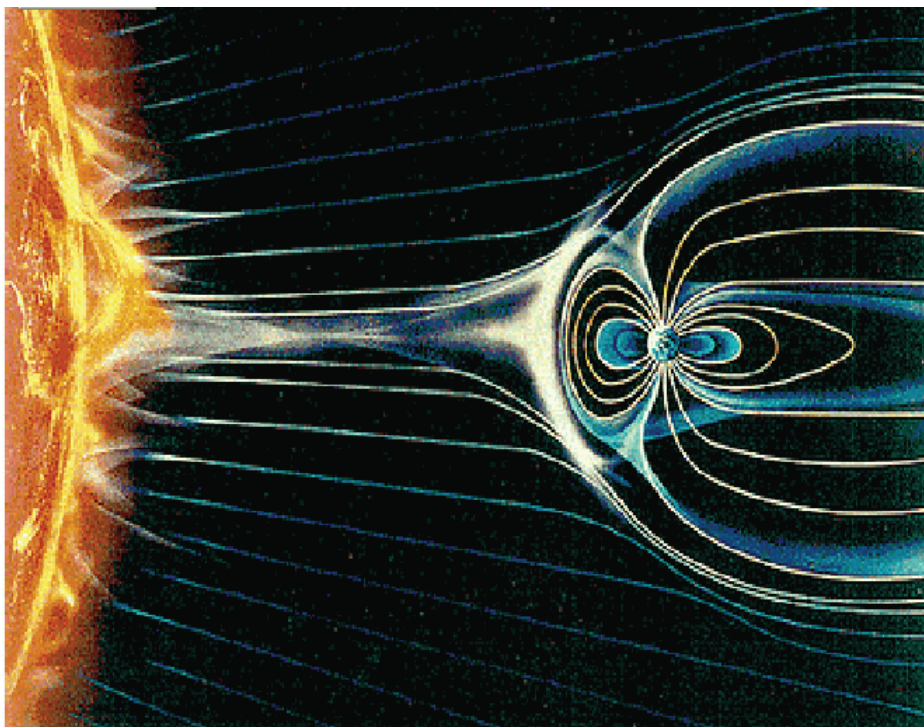


Рис. 4. Магнитное поле Земли

вие поддержания магнитного поля – вращение Земли и наличие насыщенной железом жидкой массы, сосредоточенной в ее центре. Как и в поле линейного магнита, основной геомагнитный поток направлен от центра Земли в Южном полушарии и к центру – в Северном.

Источник магнитного поля спрятан в центре Земли. Наша планета, подобно другим телам Солнечной системы, создает свое магнитное поле с помощью внутреннего генератора, принцип работы которого такой же, как и обычного электрического, преобразующего кинетическую энергию своих движущихся частиц в электромагнитное поле. В электро-генераторе движение происходит в витках катушки, а внутри нашей планеты – в проводящей жидкой субстанции. Огромная масса расплавленного железа объемом в 5 раз больше Луны циркулирует в ядре Земли, образуя, так называемое, *геодинамо*.

### *Радиационные пояса Земли*

*Естественные радиационные пояса Земли (ЕРПЗ)* представляют собой внутренние области земной магнитосферы, в которых магнитное поле Земли захватывает и удерживает заряженные частицы (протоны, электроны, альфа-частицы и ядра более тяжелых химических элементов), обладающие высокой кинетической энергией от десятков килоэлектрон-вольт (кэВ) до сотен мегаэлектрон-вольт



Рис. 5. Конфигурация магнитосферы Земли

(МэВ). Выходу заряженных частиц из радиационного поля Земли мешает особая конфигурация силовых линий геомагнитного поля, создающего для заряженных частиц *магнитную ловушку*. Схема строения магнитосферы и радиационных поясов Земли, в общих чертах, приведена на рис. 5.

Радиационные пояса Земли были открыты в 1958 году американскими и советскими учеными. Потоки частиц радиационных поясов были зарегистрированы счётчиками Гейгера, установленными на искусственных спутниках Земли.

Принципиальная возможность существования магнитной ловушки в магнитном поле Земли сначала была показана расчётами, а затем эксперименты на спутниках показали, что ловушка реально существует и заполнена частицами высоких энергий. Более наглядно радиационные пояса Земли показаны на рис. 6.

Различают *внешний* и *внутренний* радиационные пояса.

### *Внешний радиационный пояс Земли*

Внешний радиационный пояс Земли начинается на высотах около 10 тыс. км (вблизи геомагнитного экватора) и простирается, в зависимости от солнечной активности, до высот 60-85 тыс. км.

Захваченные в магнитную ловушку Земли, частицы, под действием силы Лоренца, совершают сложное движение, которое можно

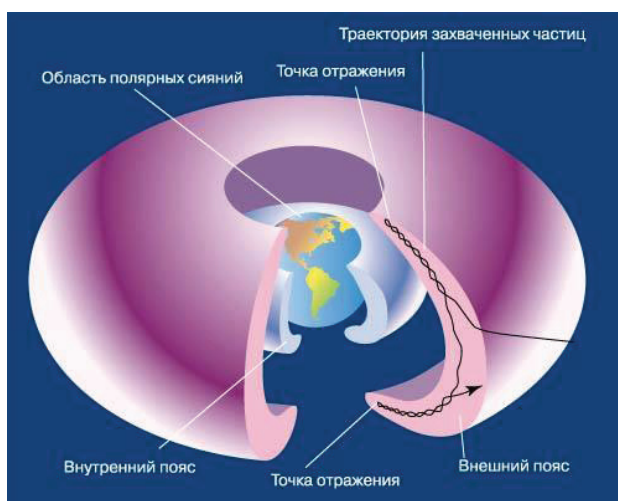


Рис. 6. Радиационные пояса Земли

представить, как колебательное движение по спиральной траектории, вдоль силовой линии магнитного поля из Северного полушария – в Южное и обратно. Одновременно с этим совершается более медленное перемещение частиц (долготный дрейф) вокруг Земли.

Когда частица движется по спирали в сторону увеличения магнитного поля (приближаясь к Земле), радиус спирали и её шаг уменьшаются. Вектор скорости частицы, оставаясь неизменным по величине, приближается к плоскости, перпендикулярной направлению поля. Наконец в некоторой точке, называемой зеркальной, происходит «отражение» частицы (рис. 6). Она начинает двигаться в обратном направлении – к сопряжённой зеркальной точке в другом полушарии. Одно колебание вдоль силовой линии из Северного полушария в Южное протон с энергией 100 МэВ совершает за время 0,3 с. Время нахождения («время жизни») такого протона в геомагнитной ловушке может достигать 100 лет ( $3 \cdot 10^9$  с), за это время он может совершить до  $10^{10}$  колебаний. Долготный дрейф происходит со значительно меньшей скоростью. В зависимости от энергии, частицы совершают полный оборот вокруг Земли за время от нескольких минут до суток.

### *Внутренний радиационный пояс Земли*

С внешней стороны этот пояс ограничен магнитной оболочкой, которая пересекается с поверхностью Земли на геомагнитных широтах  $\sim 45^\circ$ . На нижней границе внутреннего пояса (на высотах 200-300 км) частицы, испытывая частые столкновения с атомами и молекулами атмосферных газов, теряют свою энергию, рассеиваются и «поглощаются» атмосферой.

Нижняя граница внутреннего пояса, в зависимости от географической широты, расположена на расстоянии от 600 до 1500 км от поверхности Земли. Верхняя граница пояса простирается до высоты 10 тыс. км.

Внешний пояс электронов и пояс протонов ближе всего (до высоты 200-300 км) подходит к Земле на широтах  $50-60^\circ$ , там мы наблюдаем интересное явление, которое называется *полярным сиянием* (рис. 7, 8).

Состав, плотности потоков и энергетические спектры частиц в радиационных поясах Земли зависят от временных вариаций, свя-

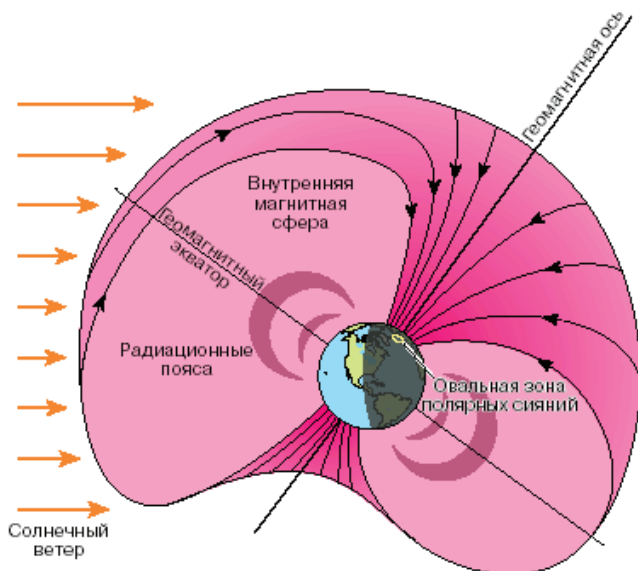


Рис. 7 Зона полярных сияний

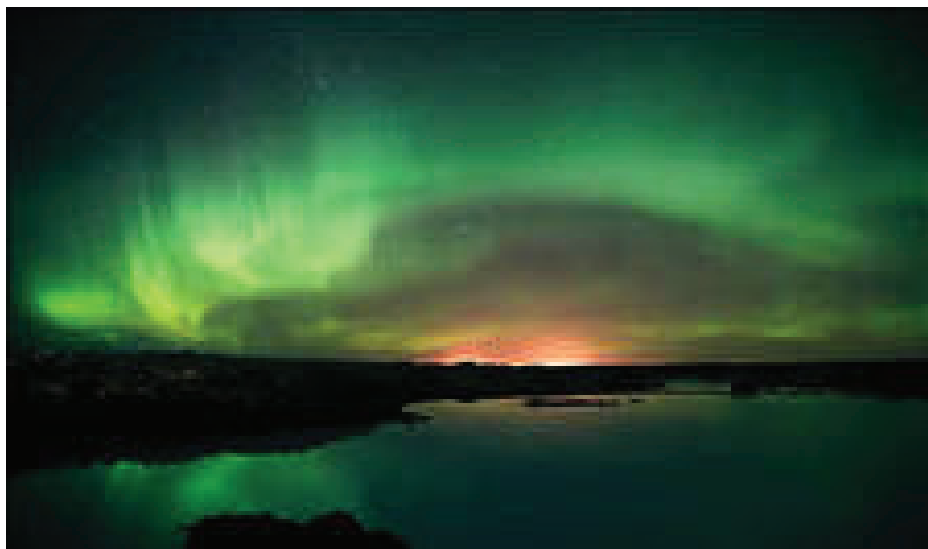


Рис. 8 Проявление полярных сияний и их внешний вид

занных, в основном, с протекающими на Солнце процессами. При этом внутренний радиационный пояс практически не подвержен временным вариациям, а внешний меняется во времени существенно.

По этой причине радиационные пояса представляют собой серьёзную опасность при длительных полётах в околоземном пространстве. Потоки протонов малых энергий могут вывести из строя солнечные батареи и вызвать помутнение тонких оптических покрытий. Длительное пребывание во внутреннем поясе под воздействием протонов высоких энергий может привести к лучевому поражению живых организмов внутри космического корабля.

**Интересный факт**, для сравнения:

насколько велика сила магнитного поля Земли?

- магнитное поле Земли – 0,5 мкТл;
- магнитное поле Юпитера – 4,2 мкТл (масса планеты в 318 раз больше земной);
- магнитное поле звезд – 100-200 мкТл;
- магнитное поле на белых карликах – 10 000 000 мкТл;
- поле магнитных щелей шкафа – 100 мкТл;
- поле между полюсными наконечниками мощного электромагнита – 30 000 мкТл;
- поле в сверхпроводящих магнитах – 200 000 мкТл.

Все вышесказанное изложено, чтобы показать, какие магнитно-радиоактивные вихри охватывают нашу планету, что они определенным образом воздействуют на все, что существует на поверхности Земли; что северное сияние, в частности, – одно из радиационных явлений, происходящих в магнитосфере.

Различные эффекты, связанные с воздействием солнечного излучения с атмосферой Земли, можно видеть на рис. 9.

**Искусственные радиационные пояса Земли** (ИРПЗ) образуются в результате высотных ядерных и термоядерных взрывов. Объем и координаты ИРПЗ зависят от места взрыва в пространстве и определяются мощностью боеприпасов. Осколки деления являются источником электронов со спектром до 10 МэВ. Плотность потоков электронов в ИРПЗ может достигать  $10^{19}$  электрон/см<sup>2</sup>·с и выше, однако, она сравнительно быстро спадает во времени (за два месяца плотность снижается примерно на 50%).

Теперь посмотрим, какую **дозовую нагрузку** может оказывать на человека радиация космического происхождения.





Рис. 9. Взаимодействие солнечного излучения с атмосферой Земли

Наибольший эффект действия **космического внешнего облучения** связан с зависимостью космического излучения от высоты (рис. 10).

Величина дозы космического радиоактивного облучения, получаемая человеком, зависит от географического местоположения,

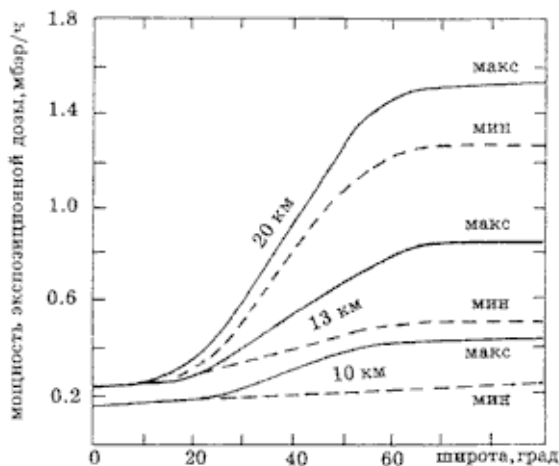


Рис. 10. Величина солнечного излучения во время максимальной и минимальной активности солнечного цикла в зависимости от высоты местности над уровнем моря и географической широты

образа жизни и характера труда. Например, на высоте 8 км мощность эффективной дозы составляет 2 мкЗв/час, что приводит к дополнительному облучению при авиаперелетах.

Например, при длительном ( $T_{\text{полета}} \approx 7,5$  ч) перелете на обычном турбовинтовом самолете, летящем со скоростью ниже скорости звука, индивидуальная доза, получаемая пассажиром, составит ~50 мкЗв. Эта доза на ~20 % больше, чем доза 40 мкЗв, получаемая пассажиром сверхзвукового самолета ( $T_{\text{полета}} \approx 2,5$  ч), хотя он подвергается более интенсивному облучению из-за большей высоты полета. Коллективная эффективная доза в год от глобальных авиоперевозок достигает  $10^4$  чел.·Зв. Это означает, что в мире на душу населения за счет них, дополнительно, в среднем, приходится доза ~ 1 мкЗв за год, (в Северной Америке люди летают чаще и получают за год дозу около 10 мкЗв).

В среднем, каждый житель Земли получает, за счет *внешнего* космического излучения, индивидуальную эффективную дозу ~0,35 мЗв в год.

### *Внутреннее облучение космического происхождения*

Мало кто знает, что, если человека поместить в свинцовую камеру с толстыми стенками, и никакой радон в его легкие попадать не будет, он все равно будет облучаться. Источник этого облучения – радионуклиды в его собственном теле, которые попали к нему при рождении и продолжают пополняться всю его жизнь. Избавиться от них невозможно принципиально, как, например, невозможно избавить человека от кальция или фосфора в его организме.

Таких радионуклидов, вносящих основной вклад во внутреннее облучение, всего два. Это калий-40 и углерод-14 (т.н. *радиоуглерод*). Их них только углерод-14 имеет космическое происхождение. Почему?

В результате ядерных реакций, например, таких:



которые происходят в атмосфере под влиянием космических лучей, образуются следующие космогенные радионуклиды:  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^7\text{Be}$ ,  ${}^{14}\text{C}$  и  ${}^{22}\text{Na}$ . Данные элементы, затем, в небольших количествах, через вдыхаемый воздух, воду и продукты питания попадают в организм человека (рис. 11). Количество поступающих космогенных радионуклидов отражено в табл. 3.

Таблица 3. Среднегодовое поступление космогенных радионуклидов в организм человека

Радионуклид	Поступление, Бк/год
$^3\text{H}$	250
$^7\text{Be}$	50
$^{14}\text{C}$	~20 000
$^{22}\text{Na}$	50

Как видно из таблицы 3, основной вклад во внутреннее облучение человека вносит радионуклид  $^{14}\text{C}$ . Интересно, какую дозу получает человек, в среднем, от этого облучения?

Приведем простые рассуждения и расчеты, выполненные И.А. Леенсоном в его статье «Радиоактивность внутри нас» (журнал «Химия и жизнь», №7, 2009 г.).

Итак, в нашем теле всегда присутствует радиоактивный углерод-14 с периодом полураспада 5 730 лет, избавиться от которого невозможно. Земля, как уже известно, подвергается непрерывному облучению космическими частицами. Из разнообразных ядерных реакций, идущих в верхних слоях атмосферы, нас по данному воп-

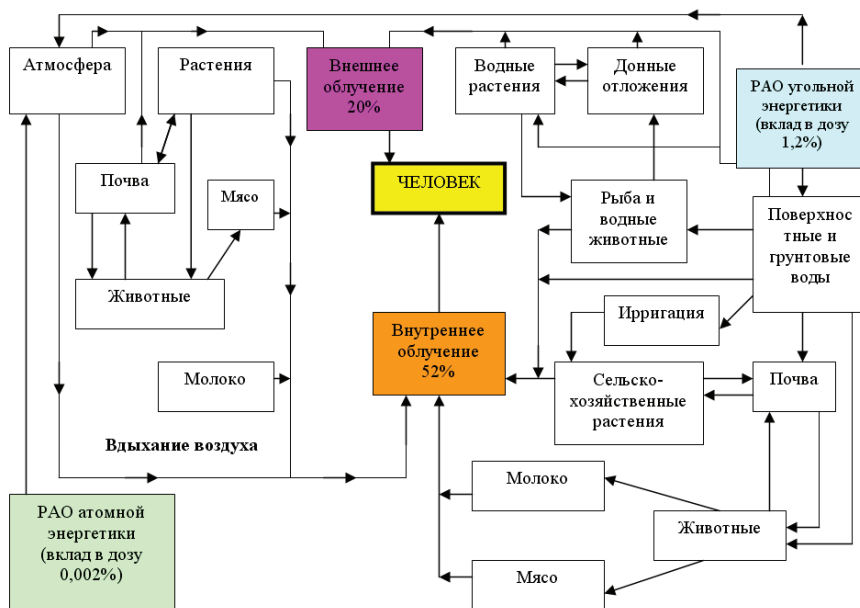
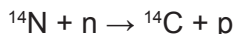


Рис. 11. Пути миграции радионуклидов в природе

росу интересует уже знакомая реакция: захват нейтронов атомами азота, при котором из ядра вылетает один протон:



Ядро составляет малую часть объема атома, поэтому нейтроны, даже при высокой плотности потока, редко попадают в ядро, и над 1 см<sup>2</sup> земной поверхности за 1 с образуется в среднем всего 2,4 ядра <sup>14</sup>C. Если учесть площадь поверхности Земли, то получится, что ежегодно в атмосфере образуется примерно 8 кг этого нуклида. Земля существует миллиарды лет, и если бы ядра <sup>14</sup>C были бы стабильными, то их масса на Земле исчислялась бы десятками миллионов тонн. Однако, нуклид <sup>14</sup>C радиоактивен и непрерывно распадается.

Поэтому, всего на Земле имеется около 60 тонн <sup>14</sup>C, из которых ежегодно распадается 8 кг – столько же, сколько его образуется (в этом случае говорят о радиоактивном равновесии). Для Земли 60 тонн – крайне малая величина. Так, в атмосферном углекислом газе количество радиоуглерода, в среднем, составляет лишь около 1 тонны, или 3•10<sup>-11</sup>% от «обычного» атмосферного углерода (<sup>12</sup>C+<sup>13</sup>C); остальной радиоуглерод, в основном, находится в растворенном состоянии в воде океанов. Содержание <sup>14</sup>C нарушалось в 50-60-е годы XX века в результате испытаний ядерного оружия, и лишь к началу XXI века оно почти вернулось к прежнему уровню.

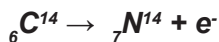
Большинству из вновь образовавшихся атомов <sup>14</sup>C предстоит долгая жизнь – на многие тысячи лет. После образования они почти мгновенно окисляются в воздухе до <sup>14</sup>CO, а затем в течение нескольких недель – до <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, молекулы которого равномерно перемешиваются с воздухом. Углекислый газ атмосферы – основной источник углерода, который в огромных количествах усваивается растениями в процессах фотосинтеза. По такой схеме <sup>14</sup>C попадает в биосферу. Растениями питаются животные, поэтому вся живая органическая материя содержит <sup>14</sup>C, хотя и в ничтожных количествах (1,18•10<sup>-14</sup>% относительно стабильного углерода-12). Причем, большое время его жизни и здесь способствует его равномерному распределению. Очень важно, что в результате обменных процессов, протекающих в живой природе, содержание C в растениях и животных в течение их жизни остается постоянным. Но, как только обмен с окружающей средой прекращается, содержание радиоуглерода начинает очень медленно снижаться – вдвое каждые 5 730 лет.

$^{14}\text{C}$  входит также в состав неорганических соединений, которые растворены в воде морей и океанов, в подземных водах, и находятся в обменном равновесии с углекислым газом атмосферы. В основном, это растворимые гидрокарбонаты, которыми так богаты минеральные воды. Но, как только обмен прекращается (например, углерод вошел в состав минерала), происходит аналогичный процесс, как и в живой природе после гибели организма – содержание  $^{14}\text{C}$  в обычном углероде со временем начинает убывать. Подробное рассмотрение закономерностей образования и распада радиоуглерода позволило американскому физико-химику У.Ф. Либби (1908–1980) совершить в конце 40-х годов выдающееся открытие, и через несколько лет получить Нобелевскую премию по химии за разработку метода использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других областях науки.

Вернемся теперь к «среднему» человеку, и посчитаем скорость распада  $^{14}\text{C}$  в его теле. Известно, что в 1 г природного «живого» углерода происходит 15,3 распада  $^{14}\text{C}$  в минуту. Такая малая активность (намного меньше фона) сильно затрудняла измерения с помощью счетчиков, поэтому в настоящее время для точного определения содержания радиоуглерода используются масс-спектрометрические методы. В человеке массой 70 кг содержится около 14 кг углерода. Следовательно, в минуту в нем будет распадаться:

$$15,3 \cdot 10^3 \times 70 = 1,07 \cdot 10^6 \text{ атомов, а в год} - 5,63 \cdot 10^{11} \text{ атомов } ^{14}\text{C}$$

Углерод-14 претерпевает  $\beta$ -распад с энергией 0,156 МэВ =  $0,156 \cdot 10^6$  эВ:



Значит, суммарная энергия всех  $\beta$ -частиц равна:

$$0,156 \cdot 10^6 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5,63 \cdot 10^{11} = 0,014 \text{ Дж,}$$

вся энергия поглощается телом массой 70 кг. Поглощенная доза, отнесенная к массе, по определению, и есть эффективная эквивалентная доза облучения:

$$0,014 \text{ Дж} / 70 \text{ кг} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Зв} = 0,2 \text{ мЗв}$$

Запомним эту величину, и еще, выделим одну цифру из этих расчетов – число распадов радиоактивных атомов углерода в на-

шем теле за минуту составляет  $1,07 \cdot 10^6$ , следовательно, за секунду происходит  $1,07 \cdot 10^6 / 60 \sim 17\,830$  распадов!

Что это означает? Это означает, что внутри тела среднего человека за каждую секунду, в среднем, только за счет радиоуглерода, происходит примерно 17800 распадов, т.е. ядерных превращений.

### ***Тело человека является радиоактивным!***

Далее будет показано, что это – только часть внутреннего облучения, потому что еще свой вклад в него дает радионуклид  $^{40}\text{K}$  и другие элементы.

На этом мы завершаем разговор про космическое излучение и его влияние на наш организм.

### Облучение от радионуклидов земного происхождения

Доля облучения, обусловленная содержанием естественных радионуклидов в земле и строительных материалах жилищ.

В настоящее время на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 107 лет и выше. Физические характеристики некоторых из них представлены в табл. 4.

*Таблица 4. Радиоактивные изотопы, изначально присутствующие в Земле*

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

В трех радиоактивных семействах: урана ( $^{238}\text{U}$ ), тория ( $^{232}\text{Th}$ ) и актиния ( $^{235}\text{Ac}$ ) в процессах радиоактивного распада постоянно образуется 40 радиоактивных изотопов.

Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников такого типа, составляет около **0,35 мЗв**.

Однако, уровень земной радиации неодинаков в различных районах. Так, например, в 200 километрах к северу от города Сан-Пауло (Бразилия) есть небольшая возвышенность, где уровень радиации в 800 раз превосходит средний, и достигает 260 мЗв в год. На юго-западе Индии около 70 000 человек живут на узкой прибрежной полосе, вдоль которой тянутся пески, богатые торием. Жители этих мест получают, в среднем, 3,8 мЗв в год.

Как показали исследования во Франции, ФРГ, Италии, Японии и США около 95% населения живут в местах с дозой облучения от 0,3 до 0,6 мЗв в год. Около 3% населения получает дозу, в среднем, 1 мЗв в год и около 1,5% – более 1,4 мЗв в год.

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

- экранирование внешнего излучения зданием;
- облучение за счет естественных радионуклидов, находящихся в материалах, из которого построено здание.

В зависимости от концентрации изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в различных строительных материалах, мощность дозы в домах изменяется от  $4 \cdot 10^{-8}$  до  $12 \cdot 10^{-8}$  Гр/ч. В среднем, в кирпичных, каменных и бетонных зданиях мощность дозы в 2-3 раза выше, чем в деревянных. В табл. 5 приведены данные о фоновом облучении в некоторых городах.

*Таблица 5. Среднегодовые дозы внешнего фонового облучения в некоторых городах*

Город	Среднегодовая доза, мЗв
<b>Алматы</b>	<b>1,6 ± 0,1</b>
Астрахань	0,8 ± 0,06
Вильнюс	1,0 ± 0,06
Ереван	0,75 ± 0,06
Кишинев	0,6 ± 0,02
Москва	0,9 ± 0,05
Новосибирск	0,8 ± 0,03

Рига	$1,1 \pm 0,11$
Санкт-Петербург	$1,2 \pm 0,08$
Таллин	$0,9 \pm 0,05$
Якутск	$0,7 \pm 0,06$

Внутреннее облучение от радионуклидов земного происхождения

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды **земного** происхождения, поступающие, как мы уже знаем, через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ , и радионуклиды рядов распада  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  (табл. 6).

Таблица 6. Среднегодовая эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения

Радионуклид, тип излучения	Период полураспада	Среднегодовая эффективная эквивалентная доза, мЗв
$^{40}\text{K}$ ( $\beta, \gamma$ )	$1,28 \cdot 10^9$ лет	0,36
$^{87}\text{Rb}$ ( $\beta$ )	$4,8 \cdot 10^{10}$ лет	0,006
$^{210}\text{Po}$ ( $\alpha$ )	160 суток	0,13
$^{220}\text{Rn}$ ( $\alpha$ )	54 сек	0,17 – 0,22
$^{222}\text{Rn}$ ( $\alpha$ )	3,8 суток	0,8 – 1,0
$^{226}\text{Ra}$ ( $\alpha$ )	1 600 лет	0,013

Рассмотрим, какую долю облучения вносит калий-40.

*Облучение калием  $^{40}\text{K}$*

Калий – один из наиболее распространенных элементов в земной коре: его в ней содержится 2,1%. Калий представлен в природе тремя изотопами (табл. 7):

Таблица 7. Виды изотопов калия

Нуклид	$^{39}\text{K}$	$^{40}\text{K}$	$^{41}\text{K}$
Содержание в природном калии, %	93,2581	0,0117	6,7302
Относительная атомная масса (округленная)	38,9637	39,9640	40,9618



В среднем, относительная атомная масса калия, с учетом распространенности его изотопов, равна 39,0983. Один из этих изотопов,  $^{40}\text{K}$ , радиоактивен, хотя его активность и невелика, поскольку очень велик период полураспада ( $t_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$  лет). Исходя из приведенных данных, можно рассчитать, какую дозу мы получаем за счет распада калия в собственном теле. В человеческом теле массой 70 кг содержится примерно 0,2% калия, или 140 г. Следовательно, средний человек всегда носит в своем теле 0,0164 г радиоактивного калия-40, или  $2,47 \cdot 10^{20}$  его атомов.

Скорость радиоактивного распада – определяется дифференциальным уравнением первого порядка, то есть она пропорциональна числу имеющихся радиоактивных атомов ( $N$ ):

$$dN/dt = -kN$$

знак минус показывает, что число атомов уменьшается со временем. Константа  $k$  связана с периодом полураспада простым соотношением:

$$k = \ln 2 / t_{1/2} = 0,693 / 1,28 \cdot 10^9 = 5,41 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$$

Таким образом, в теле человека, за счет  $^{40}\text{K}$ , распадается  $5,41 \cdot 10^{10} \times 2,47 \cdot 10^{20} = 1,34 \cdot 10^{11}$  атомов за год – больше ста миллиардов, или 4 250 атомов каждую секунду!

(Вспомним про радиоуглерод: 17 830 распадов в секунду. Значит, в итоге  $^{14}\text{C}$  и  $^{40}\text{K}$  осуществляют внутри нас  $17\,830 + 4\,250 \approx 22\,000$  ядерных превращений в секунду!)

Какая же энергия выделяется при этом? Нуклид  $^{40}\text{K}$  распадается по двум путям: на 11% он претерпевает электронный захват (его еще называют К-захватом, по номеру оболочки, с которой происходит захват электрона):  $^{40}\text{K} + e \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ . Именно в результате такого распада  $^{40}\text{K}$  в земной коре и образовалась основная часть атмосферного аргона. Этот процесс является также основой, т.н. калий-аргонового метода в геохронологии. Остальные 89%  $^{40}\text{K}$  ( $1,2 \cdot 10^{11}$  атомов в год) распадаются с испусканием бета-излучения:



Энергия этих  $\beta$ -частиц равна  $1,314 \text{ МэВ} = 1,314 \cdot 10^6 \text{ эВ}$ . Как известно, 1 эВ соответствует 96 500 Дж/моль, или  $96\,500/6 \cdot 10^{23} =$

$1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж в расчете на одну частицу. Следовательно, энергия всех испущенных за год в теле человека  $\beta$ -частиц составит:

$$1,314 \cdot 10^6 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,2 \cdot 10^{11} = 0,025 \text{ Дж, или } 0,36 \text{ мЗв}$$

### *Облучение изотопами свинца и полония*

Радионуклиды свинца-210 и полония-210 могут поступать в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие в пищу много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения.

Десятки тысяч людей на Крайнем Севере питаются, в основном, мясом северного оленя (карибу), в котором оба упомянутых выше радиоактивных изотопа присутствуют в относительно высокой концентрации. Особенно велико в таком мясе содержание полония-210. Эти изотопы попадают в организм оленей зимой, когда они питаются лишайниками, в которых накапливаются оба этих радионуклида. Дозы внутреннего облучения человека от полония-210 в этих случаях могут в 35 раз превышать средний уровень. А в другом полушарии люди, живущие в Западной Австралии, в местах с повышенной концентрацией урана, получают дозы облучения, в 75 раз превосходящие средний уровень, поскольку едят мясо и трюху овец и кенгуру.

### *Облучение радоном*

Лишь относительно недавно ученые поняли, что наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха, тяжелый газ (в 7,5 раза тяжелее воздуха) **радон**. Согласно текущей оценке научного комитета по действию атомной радиации при Организации Объединенных наций (НКДАР ООН), радон, вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада, ответственен примерно за 3/4 годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непрветриваемых помещениях.

В природе радон встречается в двух основных формах: в виде радона-222, члена радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и в виде радона-220, члена радиоактивного ряда тория-232. Вклад в суммарную дозу облучения радона-222 больше, чем радона-220, однако для удобства оба изотопа в дальнейшем будем рассматривать вместе, и называть просто радоном. На самом деле, большая часть облучения исходит от дочерних продуктов распада радона, а не от самого радона.

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается для разных мест земного шара. Как ни парадоксально, но основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непрветриваемом помещении. В зонах с умеренным климатом концентрация радона, в закрытых помещениях, в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Для тропических стран подобные измерения не проводились; можно, однако, предположить, что, поскольку климат там гораздо теплее, и жилые помещения намного более открытые, концентрация радона внутри их не сильно отличается от его концентрации в наружном воздухе.

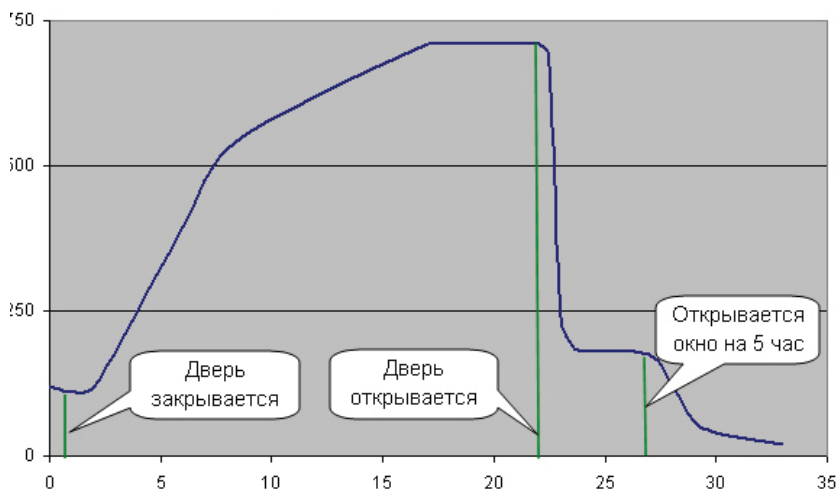


Рис. 12. Концентрация радона в воздухе помещения

Радон концентрируется в воздухе внутри помещений лишь тогда, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды (рис.12). Влияние проветривания на содержание радона в воздухе жилой комнаты одноквартирного дома.

Поступая внутрь помещения тем или иным путем (просачиваясь через фундамент и пол из грунта или, реже, высвобождаясь из материалов, использованных в конструкции дома), радон накапливается в нем (рис. 13). В результате, в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов, или, если



Рис. 13. Схема проникновения радона на земную поверхность и в жилище

при его постройке использовали материалы с повышенной радиоактивностью, герметизация помещений с целью утепления только усугубляет дело, поскольку при этом еще более затрудняется выход радиоактивного газа из помещения.

Очень высокие концентрации радона регистрируют последнее время все чаще. Так, строения, внутри которых концентрация радона в 5 000 раз превышала среднюю его концентрацию в наружном воздухе, были обнаружены в Швеции и Финляндии. Строения с

уровнями радиации, в 500 раз превышающими типичные значения в наружном воздухе, были выявлены и в Великобритании, и в США. Кроме того, были обнаружены жилища с концентрацией радона, примерно равной его максимальной концентрации в жилых домах в скандинавских странах. При дальнейших обследованиях такого рода выявляется все больше домов с очень высокой концентрацией радона и других странах, в том числе и в Казахстане.

Самые распространенные строительные материалы – дерево, кирпич и бетон – выделяют относительно немного радона. На рис. 14 показаны средние удельные значения активности строительных материалов, применяемых в разных странах (Бк/кг). Гораздо большей удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, используемые в качестве строительных материалов, например, в России и Западной Германии.

А некоторые материалы преподнесли строителям, ученым и, конечно же, жителям домов, построенных из этих материалов, неприятные сюрпризы, оказавшись особенно радиоактивными.

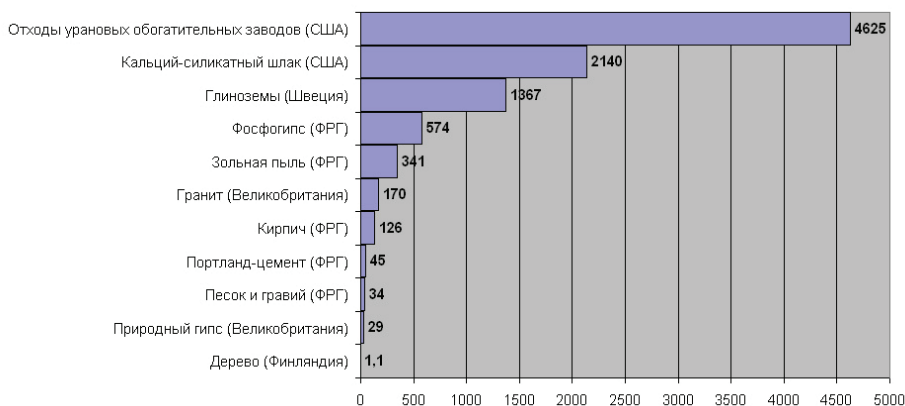


Рис. 14. Содержание радона в различных строительных материалах в разных странах

В течение нескольких десятков лет, например, глиноземы, использовались в Швеции при производстве бетона, с применением которого было построено 350-700 тысяч домов. Затем неожиданно обнаружили, что глиноземы очень радиоактивны. В середине 80-х годов их применение было резко сокращено, а затем они вовсе перестали использоваться в строительстве. Кальций-силикатный шлак – побочный продукт, получаемый при переработке фосфорных руд и обладающий, как выяснилось, довольно высокой удельной

радиоактивностью, – применялся в качестве компонента бетона и других строительных материалов во многих странах. Еще один побочный продукт, образующийся при другой технологии переработки фосфорных руд, – широко применялся при изготовлении строительных блоков, сухой штукатурки, перегоронок и цемента. Он дешевле природного гипса, и его применение приветствовалось защитниками окружающей среды, поскольку фосфогипс относится к разряду промышленных отходов и, таким образом, его использование помогает сохранить природные ресурсы и уменьшить загрязнение окружающей среды. В одной только Японии в 1974 году строительная промышленность израсходовала 3 млн. тонн этого материала. Однако, фосфогипс обладает гораздо большей удельной радиоактивностью, чем природный гипс, который он был призван заменить, и, по-видимому, люди, живущие в домах, построенных с его применением, подвергаются облучению, на 30% более интенсивному, чем жильцы других домов.

Среди других промышленных отходов с высокой радиоактивностью, применявшихся в строительстве, следует назвать кирпич из красной глины-отхода производства алюминия, доменный шлак – отход черной металлургии и зольную пыль, образующуюся при сжигании угля.

Конечно, радиационный контроль строительных материалов заслуживает самого пристального внимания, однако главный источник радона в закрытых помещениях – это грунт. В некоторых случаях дома возводились прямо на старых отвалах горнодобывающих предприятий, содержащих радиоактивные материалы. Так, в некоторых странах дома оказались построенными на отходах урановых рудников, или ходах переработки глинозема, на отходах, оставшихся после извлечения радия, на регенерированной после добычи фосфатов территории. Но даже и в менее экзотических случаях просачивающийся сквозь пол радон представляет собой главный источник радиоактивного облучения населения в закрытых помещениях.

В Хельсинки максимальные концентрации радона, более чем в 5000 раз превосходящие его среднюю концентрацию в наружном воздухе, были обнаружены в домах, где единственным сколь угодно значительным его источником мог быть лишь грунт. Даже в Швеции, где при строительстве домов использовали глиноземистые цементы, главной причиной радиации, как показали недавние исследования, является эмиссия радона из земли.

Концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов, как правило, ниже, чем на первом этаже. Исследования, проведенные в Норвегии, показали, что концентрация радона в деревянных домах даже выше, чем в кирпичных, хотя дерево выделяет совершенно ничтожное количество радона, по сравнению с другими материалами. Это объясняется тем, что деревянные дома, как правило, имеют меньше этажей, чем кирпичные, и, следовательно, комнаты, в которых проводились измерения, находились ближе к земле – основному источнику радона.

Скорость проникновения исходящего из земли радона в помещения фактически определяется толщиной и целостностью (т.е. количеством трещин и микротрещин) межэтажных перекрытий. Этот вывод подтвердился при инспекции домов, построенных на регенерированных после добычи фосфатов землях, а иногда, например, в домах, стоящих прямо на земле, с земляными подвалами, были зарегистрированы концентрации радона, в 100 раз превышающие его средний уровень в наружном воздухе, хотя удельная радиоактивность грунта была самая обычная.

Из всего сказанного следует, что после заделки щелей в полу и стенах какого-либо помещения концентрация радона там должна уменьшиться. Исследования в этом направлении продолжаются, но некоторые обнадеживающие результаты уже получены. Особенно эффективным средством уменьшения количества радона, просачивающегося через щели в полу, – являются вентиляционные установки в подвалах. Кроме того, эмиссия радона из стен уменьшается в 10 раз при облицовке стен пластиковыми материалами типа полиамида, поливинилхлорида, полиэтилена или после покрытия стен слоем краски на эпоксидной основе, или тремя слоями масляной краски. Даже при оклейке стен обоями скорость эмиссии радона уменьшается примерно на 30%.

Еще один, как правило, менее 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 много радона.

Такое высокое содержание радона было обнаружено, например, в воде артезианских колодцев в Финляндии и США, в том числе в системе водоснабжения Хельсинки. Наибольшая зарегистрированная удельная радиоактивность воды в системах водоснабжения сос-

твляет  $10^8$  Бк/м<sup>3</sup>, наименьшая равна нулю. По оценкам НКДАР ООН, среди всего населения Земли менее 1% жителей потребляет воду с удельной радиоактивностью более  $1 \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup> и менее 10% – пьют воду с концентрацией радона, превышающей 100 000 Бк/м<sup>3</sup> (рис. 15).

Однако, основная опасность, как это ни удивительно, исходит вовсе не от питья воды, даже при высоком содержании в ней радона. Обычно люди потребляют большую часть воды в составе пищи и в виде горячих напитков (кофе, чай). При кипячении же воды или приготовлении горячих блюд радон в значительной степени улетучивается и, поэтому, поступает в организм в основном с некипяченой водой. Но даже и в этом случае радон очень быстро выводится из организма.

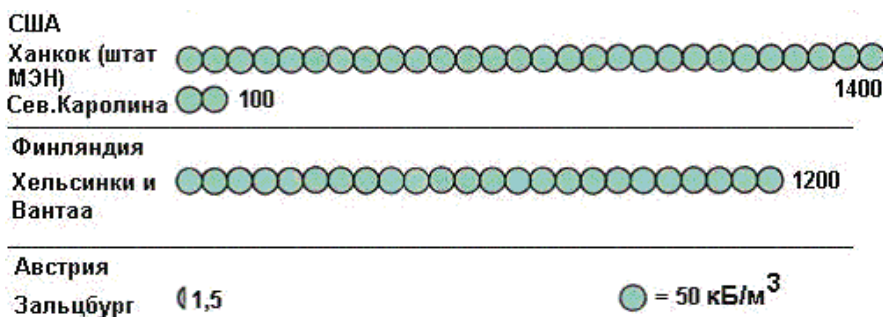


Рис. 15. Содержание радона в воде различных стран

Еще большую **опасность представляет попадание паров воды с высоким содержанием радона в легкие вместе с вдыхаемым воздухом**, что чаще всего происходит в ванной комнате. При обследовании домов оказалось, что, в среднем, концентрация радона в ванной комнате примерно в три раза выше, чем на кухне; и приблизительно в 40 раз выше, чем в жилых комнатах (рис. 16).

А 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 вновь упало до исходного уровня (рис. 17).



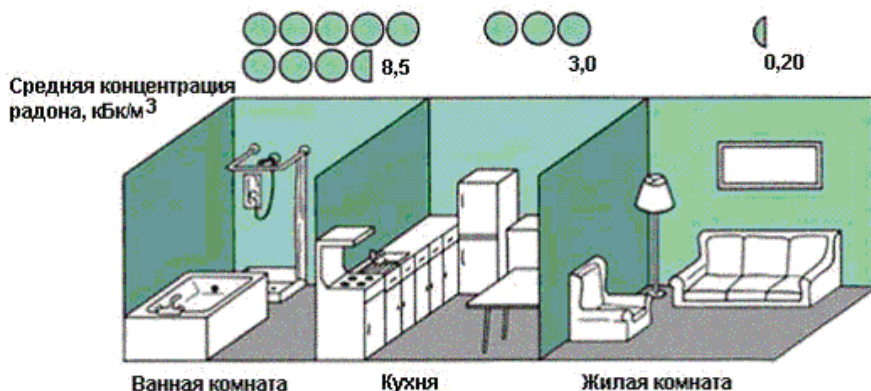


Рис. 16. Содержание радона в жилых помещениях

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 возрастать, если кухонные плиты, отопительные и другие нагревательные устройства, в которых сжигается газ, не снабжены вытяжкой. При наличии же вытяжки, которая сообщается с наружным воздухом, пользование газом 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, 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.

К значительному повышению концентрации радона внутри помещений могут привести меры, нап-

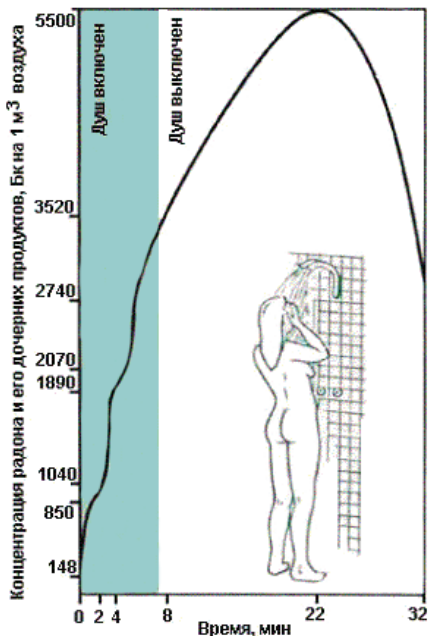


Рис. 17. Зависимость содержания радона от времени в душевом помещении

равленные на экономию энергии. При герметизации помещений и отсутствии проветривания скорость вентилирования помещения уменьшается. Это позволяет сохранить тепло, но приводит к увеличению содержания радона в воздухе.

Особенно это касается тех домов, где они герметизируются особенно тщательно. Долгие годы считалось, что не существует проблем, связанных с чрезмерным содержанием радона внутри домов, несмотря на присутствие глинозема в составе строительных материалов. Проведенные обследования, показали, что для беспокойств такого рода нет достаточных оснований, при существовавших в то время скоростях вентилирования помещений. Однако, с проведением кампаний за экономию энергии, скорости вентилирования помещений в домах постоянно уменьшались, и, как следствие этого, концентрация радона внутри домов увеличилась более чем в три раза (рис. 18). По оценкам, на каждый гигавайт-год электроэнергии, сэкономленной благодаря герметизации помещений, можно получить дополнительную дозу облучения в 5600 чел·Зв.

Эта проблема объясняется тщательной герметизацией помещений, относительно высоким выходом радона из земли при малой этажности зданий, и использованием глинозема в качестве добавки к строительным материалам. Согласно данным НКДАР ООН, концентрация радона вместе с его дочерними продуктами внутри домов в 90% случаев составляет менее 50 Бк/м<sup>3</sup>, т.е. примерно в 25 раз выше среднего уровня в наружном воздухе, и всего лишь

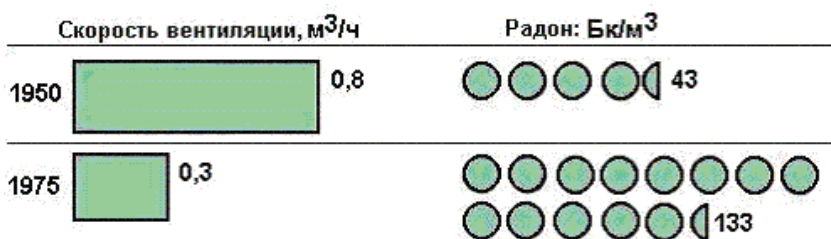


Рис. 18. Зависимость концентрации радона в помещении от его вентилирования

в нескольких процентах домов удельная радиоактивность воздуха внутри помещений превышает 100 Бк/м<sup>3</sup>.

Доля домов, внутри которых концентрация радона и его дочерних продуктов составляет от 1 000 до 10 000 Бк/м<sup>3</sup>, лежит в пределах от 0,01 до 0,1% в различных странах. Это означает, что немалое

количество людей подвергаются заметному облучению из-за высокой концентрации радона внутри домов, где они живут. Однако в странах, где этот вопрос не стоит так остро, как в Швеции, 3/4 коллективной эквивалентной дозы, получаемой населением этих стран за счет радона, складывается из доз облучения в домах с удельной радиоактивностью воздуха в помещениях менее 100 Бк/м<sup>3</sup>. Эффективная эквивалентная доза облучения от радона и его дочерних продуктов составляет в среднем около 1,2 мЗв в год, т.е., согласно текущим оценкам, около половины всей годовой дозы, получаемой человеком в среднем от всех естественных источников радиации.

В подтверждение этому приведем следующую публичную информацию, озвученную МООС РК:

- по словам министра МООС РК «...на 30% территории Казахстана существует потенциальная возможность повышенного выделения природного радиоактивного газа – радона, который представляет реальную угрозу для здоровья человека»;
- из Национального отчета по использованию инструментов «зеленого роста» в РК (2010г.): «...природные источники ионизирующего излучения могут являться основной причиной ряда заболеваний. По оценке экспертов около 70% суммарной дозы, получаемой населением от всех источников радиации, и около 20% всех заболеваний раком легких обусловлены воздействием радона и его дочерних продуктов в воздухе помещений»;
- «...снизить риски облучения казахстанцев «природными радиоактивными источниками» призвана комплексная пятилетняя программа Министерства охраны окружающей среды РК, которая в 2012 г. начала выполнять специальную программу «Радон». Декларируемая цель – «оперативное определение концентрации радона в 8000 жилых домов Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Алматинской областей». Реализация программы рассчитана на 5 лет и предполагает систематическую инспекцию жилых помещений указанных регионов со специальными устройствами мониторинга», ...соответствующий опыт у МООС уже имеется – в 2008-2009 годах мониторинг реализовывался в 572 сельских поселениях Кызылординской, Алматинской, Южно-Казахстанской, Восточно-Казахстанской, Карагандинской и Жамбыльской областей. В результате, выявлено превышение уровня альфа-активности в питьевой воде 203 поселков, в 123-х – повышенная концентрация радона в воздухе.

Завершая этот раздел, можно подвести итоги и суммировать все составляющие по облучению человека от естественных радионуклидов, рассмотренные выше:

от внешнего космического излучения	0,35 мЗв
от внутреннего (космического и земного происхождения) излучения	$0,2 + 0,36 = 0,56$ мЗв
внешнего облучения от земли	0,35 мЗв
от внутреннего облучения радоном	1,2 мЗв
<b>ИТОГО:</b>	<b>~2,46 мЗв</b>

Еще раз обращаем внимание, что это усредненные величины, максимальное превышение над средним уровнем может достигать одного порядка. Для сравнения на рис. 19 показаны средние дозы, полученные за год, в среднем, жителем Казахстана и в мире в целом от естественных и техногенных источников.

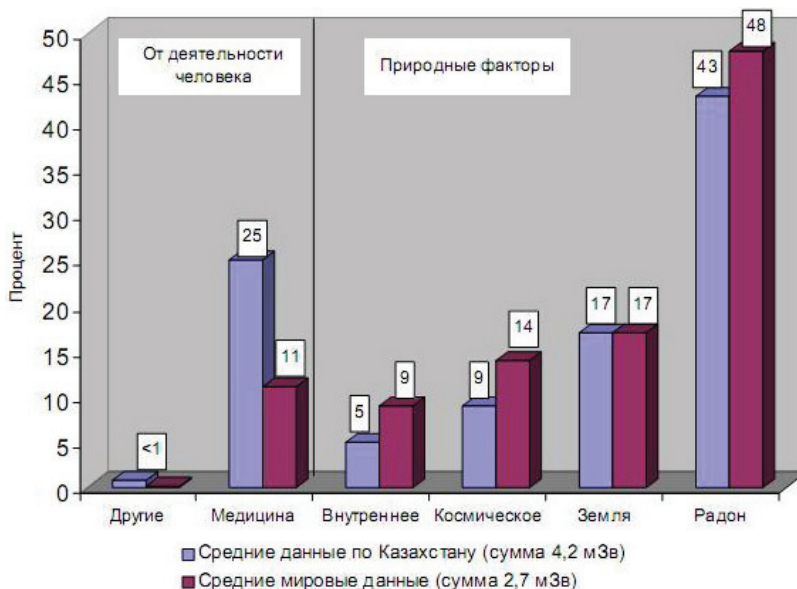


Рис. 19. Вклад различных источников ионизирующей радиации в облучение населения всей Земли и населения Республики Казахстан.



ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК



обратная сторона  
обложки

Формат 148x210 мм  
Гарнитура Arial, кегль 11  
Тираж 2000.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:  
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,  
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.