

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского"**

Научно-исследовательский институт химии

Учебное пособие

РАДИОАКТИВНОСТЬ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ. РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

**Составители: Сулейманов Е.В.
Коршунов А.О.**

Подготовлено в рамках выполнения проекта «Мониторинг и прогнозирование состояния хранилища радиоактивных отходов Нижегородской области и разработка мер по предотвращению попадания радионуклидов в объекты окружающей природной среды» (соглашение №14.37.21.0812 от 31 августа 2012 г.)

Оглавление

Воздействие ионизирующего излучения на вещество	3
Дозы и единицы дозы.....	6
Факторы естественного радиационного фона	8
Космическое излучение.....	10
Радионуклиды земного происхождения	11
Космогенные радионуклиды	15
Другие источники радиоактивного воздействия на человека	16
Внутреннее облучение	18
Внешнее облучение	19
Радон и его биологическое действие.....	21
Нормы радиационного фона	30
Литература	31

Воздействие ионизирующего излучения на вещество

Радияция – излучение энергии в виде быстрых элементарных частиц или электромагнитных волн.

Радиоактивный распад – это процесс самопроизвольного распада неустойчивых ядер атомов в другие ядра (в конечном итоге, стабильные).

При превращениях (распадах) радиоактивных ядер атомов возникают различные виды излучения: альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское излучение, нейтроны, тяжелые ионы. При взаимодействии с веществом энергия излучения передается атомам и молекулам, превращая их в заряженные частицы – ионы. В результате ионизации разрываются химические связи молекул в живых организмах, и тем самым вызываются биологически важные (соматические и генетические) изменения.

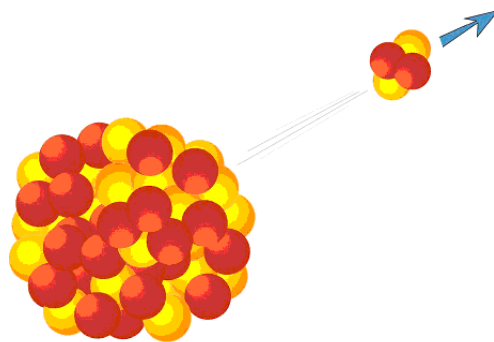
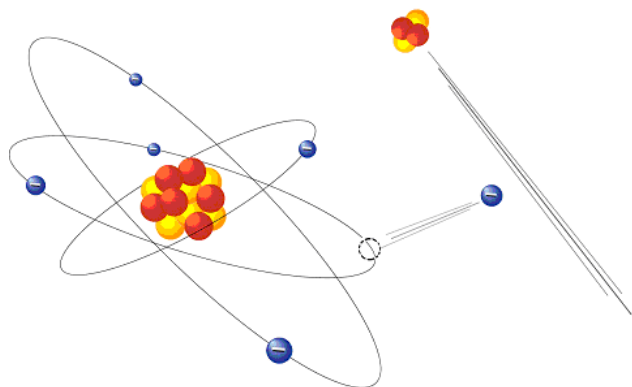
Излучение, которое несет достаточное количество энергии, способно к удалению электронов из атомов. Этот процесс называется **ионизацией**, а излучение, способное удалить электрон из атома, называется **ионизирующим**.

Расстояние, на которое ионизирующее излучение может проникать в вещество, называется его **проникающей способностью**. Оно зависит от энергии излучения и свойств вещества, через которое излучение проникает.

Процессы воздействия α -, β - и γ -излучения на вещество

α -излучение

α -частицы – положительно заряженные ядра гелия, обладающие высокой энергией. Когда α -частица проходит в непосредственной близости от электрона, она



притягивает его и может вырвать с нормальной орбиты. Атом теряет электрон и таким образом преобразуется в положительно заряженный ион. Так α -частицы обычно ионизируют вещество.

Ионизация атома требует

приблизительно 30–35 эВ энергии. Таким образом, α -частица, обладающая, например, 5 000 000 эВ энергии в начале ее движения, может стать источником создания более чем 100 000 ионов прежде, чем она перейдет в состояние покоя.

Масса α -частиц примерно в 7 000 раз больше массы электрона. Большая масса α -частиц определяет прямолинейность их прохождения через электронные оболочки атомов при ионизации вещества. α -частица теряет маленькую часть своей первоначальной энергии на каждом электроны, который она отрывает из атомов вещества, проходя через него. Кинетическая энергия α -частицы и ее скорость при этом непрерывно уменьшаются. Когда вся кинетическая энергия израсходована, α -частица приходит в состояние покоя. В этот момент она

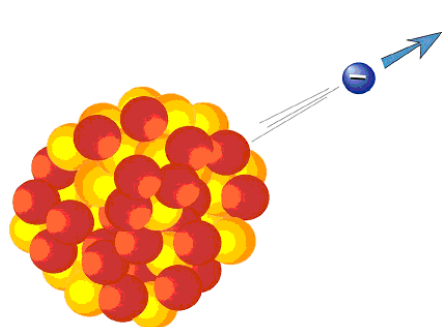
захватит два электрона и, преобразовавшись в атом гелия, теряет свою способность ионизировать материю.

В воздухе пробег α -частицы равен нескольким сантиметрам. Толстый лист бумаги остановит частицу полностью.

В тканях тела человека пробег частицы – менее 0,7 мм. α -излучение, воздействующее на незащищенную часть тела, не может проникнуть даже через внешний слой клеток кожи и не причиняет вреда организму.

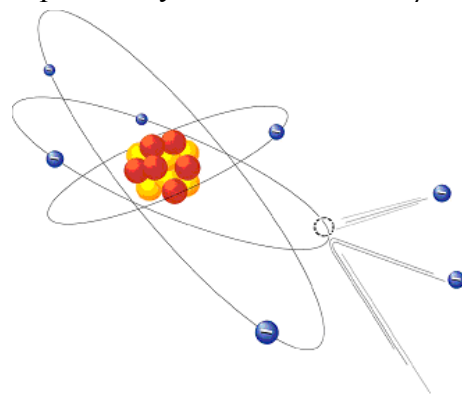
Поэтому альфа-излучение опасно только тогда, когда альфа-частицы попадают внутрь организма (с воздухом, питьевой водой и пищевыми продуктами) и напрямую воздействуют на клетки органов, вызывая их повреждения.

β -излучение



β -излучение - это процесс испускания электронов непосредственно из ядра атома. Электрон в ядре создается при распаде нейтрона на протон и электрон. Протон остается в ядре, в то время как электрон испускается в виде β -излучения.

Вылетевший из ядра радионуклида электрон (β -частица) выбивает один из орбитальных электронов стабильного химического элемента. Эти два электрона имеют одинаковый электрический заряд и массу. Поэтому, встретившись, электроны оттолкнутся друг друга, изменив свои первоначальные направления движения. Когда атом теряет электрон, то он превращается в положительно заряженный ион.

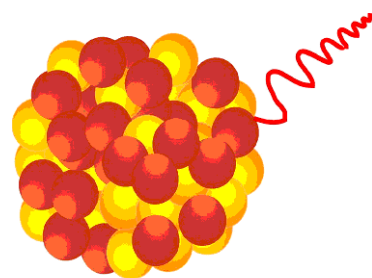


Проникающая способность β -частицы значительно больше, чем α -частицы, потому что электрический заряд β -частицы - вдвое меньше заряда α -частицы. Кроме того, масса β -частицы - приблизительно в 7000 раз меньше массы α -частицы. Из-за ее маленькой массы и маленького заряда ионизация, вызванная β -частицей меньше, и, как следствие, энергия β -частицы расходуется на более значительном расстоянии. Проникающая способность β -частицы в воздухе изменяется от 0,1 до 20 метров в зависимости от начальной энергии частицы.

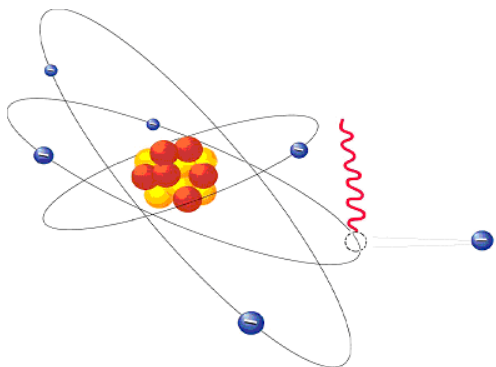
В большинстве случаев средства индивидуальной защиты и обувь обеспечивают достаточную защиту от внешнего облучения организма β -частицами. Большой риск облучения β -частицами связан с попаданием их внутрь организма при приеме пищи.

γ -излучение

γ -излучение это - электромагнитное (фотонное) излучение, состоящее из γ -квантов и испускаемое при переходе ядер из возбужденного состояния в основное при ядерных реакциях или аннигиляции частиц. Это излучение имеет высокую проникающую способность вследствие того, что оно обладает значительно меньшей длиной волны, чем свет и радиоволны.



Энергия γ -излучения может достигать больших величин, а скорость распространения γ -квантов равна скорости света. Как правило, γ -излучение сопутствует α и β -излучениям, так как в природе практически не встречаются атомы, излучающие только γ -кванты. γ -излучение сходно с рентгеновским излучением, но отличается от рентгеновского излучения природой происхождения, длиной электромагнитной волны и частотой.



γ -излучение, проходящее через вещество, имеет возможность ионизировать это вещество, передавая свою энергию электронам атомов, составляющих его. Энергия излучения постепенно уменьшается. Поскольку γ -излучение не имеет никакого электрического заряда, его способность ионизировать атомы вещества намного меньше, чем у α - и β -излучения.

Защититься от воздействия γ -излучения сложнее, чем от воздействия α - и β -частиц. Проникающая способность его очень высока, и γ -излучение способно насквозь пронизывать живую человеческую ткань.

Толщина материала, требуемого, чтобы уменьшить излучение в два раза - называется *слоем половинного ослабления*. Толщина слоя половинного ослабления, естественно, изменяется в зависимости от применяемого материала защиты и энергии излучения.

Уменьшить мощность γ -излучения на 50% могут, например, 1 см свинца, 5 см бетона, или 10 см воды.

Дозы и единицы дозы

Процесс радиоактивного распада происходит с постоянной скоростью, присущей данному виду радиоактивных ядер (радионуклидов). Количество распадающихся радионуклидов в единицу времени в веществе определяют термином **активность**. Единицы измерения активности радиоактивных веществ – Кюри (Ки) и Беккерель (Бк).

Численному значению активности 1 Ки соответствует активность 1 г ^{226}Ra в равновесии с продуктами его распада. За масштаб единицы 1 Бк принят 1 распад в секунду.

Между единицами активности существует взаимосвязь: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$, $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$.

Понятие активности ничего не говорит о виде радиоактивного излучения или о величине его энергии, а указывает лишь число атомов, распадающихся в секунду.

Количественную характеристику излучения, обычно называемую **дозой**, измеряют в величинах энергии, поглощенной в одном килограмме тканей организма.

Поглощенная доза – количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого вещества. Единицы измерения поглощенной дозы – грей (Гр) и рад.

$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г}$, $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$, $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$.

Существует также внесистемная количественная характеристика поля ионизирующего излучения. Единицей измерения является Рентген (Р).

Доза 1 Р соответствует, примерно, 1 млрд пар положительно и отрицательно заряженных ионов в см^3 воздуха. Доза 1 Р накапливается за 1 час на расстоянии 1 м от источника радия массой 1 г, активность которого 1 Ки.

Отдельные виды излучений отличаются друг от друга различной способностью повреждать ткани организма. Обычно при одинаковой величине поглощенной дозы рентгеновские лучи, гамма- и бета-излучение вызывают меньшие повреждения по сравнению с излучением тяжелых заряженных частиц. Нейтронное излучение занимает промежуточное положение.

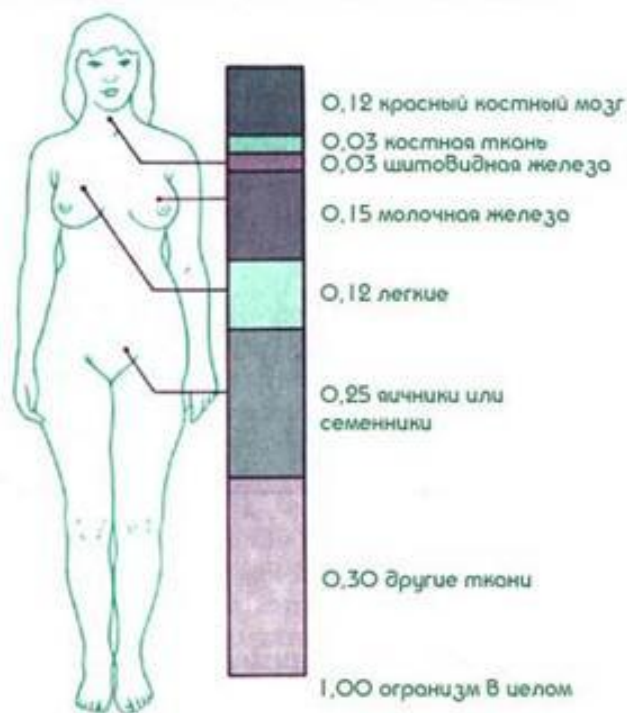
Поэтому, при одной и той же поглощенной дозе, радиобиологический эффект тем выше, чем плотнее ионизация, создаваемая излучением. Для количественной оценки этого влияния вводится коэффициент, **относительная биологическая эффективность (ОБЭ)** или **коэффициент качества (КК)** излучения

ОБЭ (КК). – численный коэффициент, который устанавливает некий эквивалент между различными видами излучений и равен отношению поглощенной дозы эталонного излучения), вызывающей определенный радиобиологический эффект, к дозе рассматриваемого излучения, вызывающей тот же биологический эффект.

Поэтому мерой биологического воздействия каждого вида радиационного облучения служит **эквивалентная доза**, которая определяется как поглощенная доза, умноженная на коэффициент качества. Коэффициент качества ионизирующего излучения равен 1 для рентгеновского, бета- и гамма-излучения, $3 \div 10$ – для протонов и быстрых нейтронов, 20 – для альфа-частиц.

Единицами измерения эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада) и Зиверт (Зв). 1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Дж/кг. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$, $1 \text{ бэр} = 10 \text{ мЗв}$. $1 \text{ бэр} = 10^3 \text{ мбэр} = 10^6 \text{ мкбэр}$.

Органы и ткани человека имеют разную чувствительность к облучению. Например, при одинаковой дозе облучения возникновение заболевания легких более вероятно, чем щитовидной железы, а облучение гонад опасно из-за возможности генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами, так называемыми **коэффициентами радиационного риска для различных органов и тканей**.

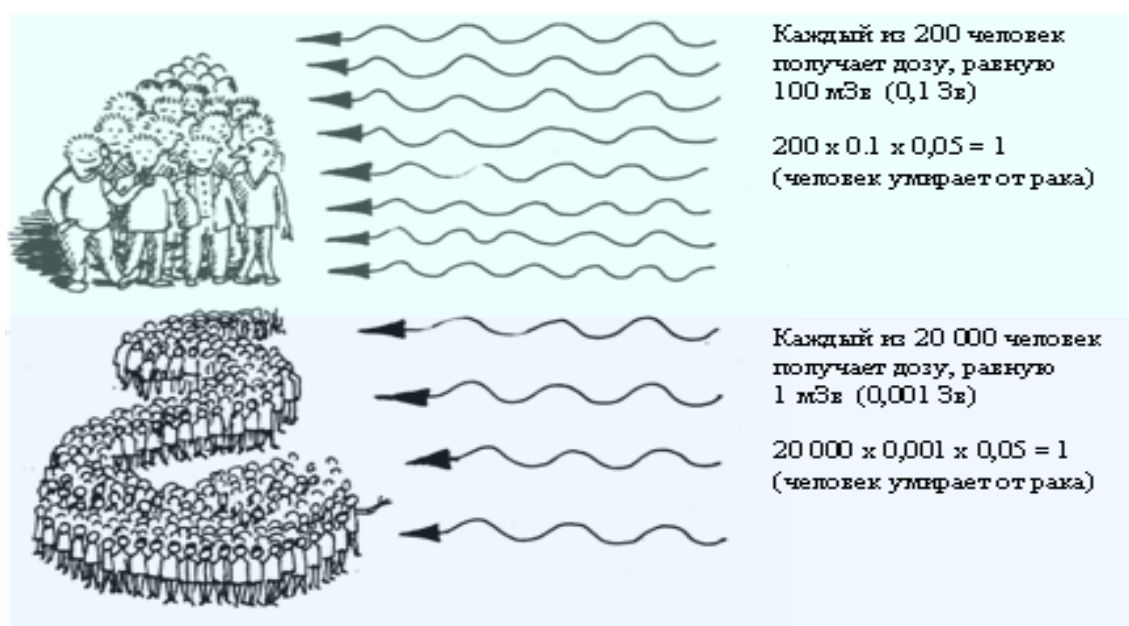


Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав их по всем органам и тканям, получим **эффективная эквивалентная доза**, отражающую суммарный эффект облучения для организма; она также измеряется в Зивертах или бэрах. Эти понятия описывают индивидуальные дозы облучения.

Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные каждым человеком, определяют **коллективная эффективная эквивалентная доза**, которая измеряется в человеко-бэрах (чел·бэр) или человеко-Зивертах (чел·Зв).

Ожидаемая (полная) коллективная эффективная эквивалентная доза – это коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают многие поколения людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования.

Определенная коллективная доза всегда влечет за собой тот же самый риск независимо от того, как распределены дозы внутри этой группы лиц



Факторы естественного радиационного фона

Естественной радиоактивностью называется самопроизвольное превращение атомных ядер одного химического элемента в ядра атомов другого химического элемента, сопровождаемое радиоактивным излучением.

Факторы естественного радиационного фона

Космическая составляющая:

1. Первичная
2. Вторичная

Земная составляющая:

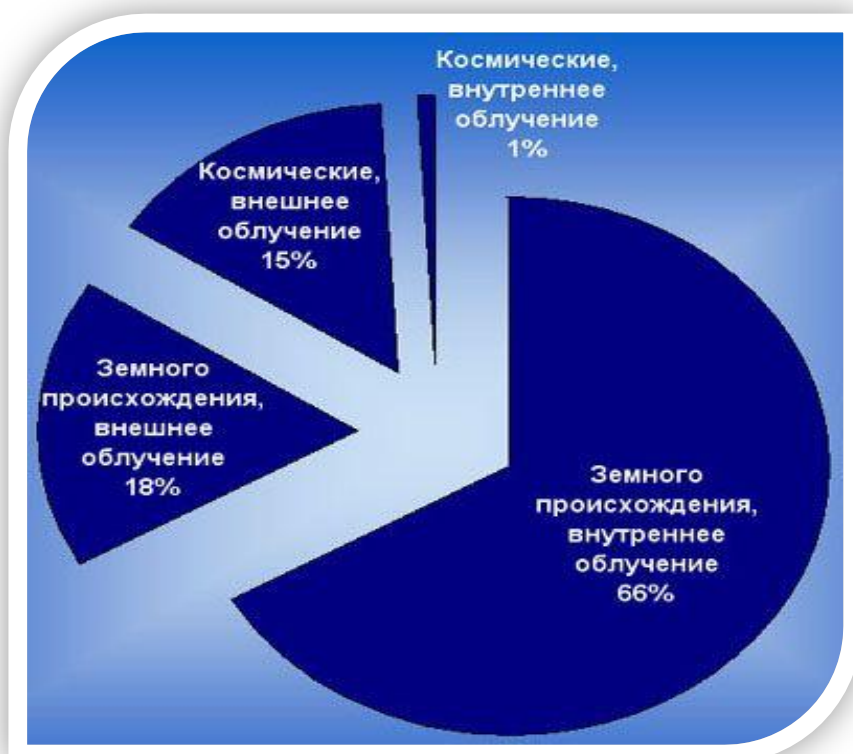
1. Элементы, относящиеся к радиоактивным семействам
2. Високорадиоактивные элементы
3. Непрерывно образующиеся в атмосфере ^{14}C и ^3H

Зависимость от:

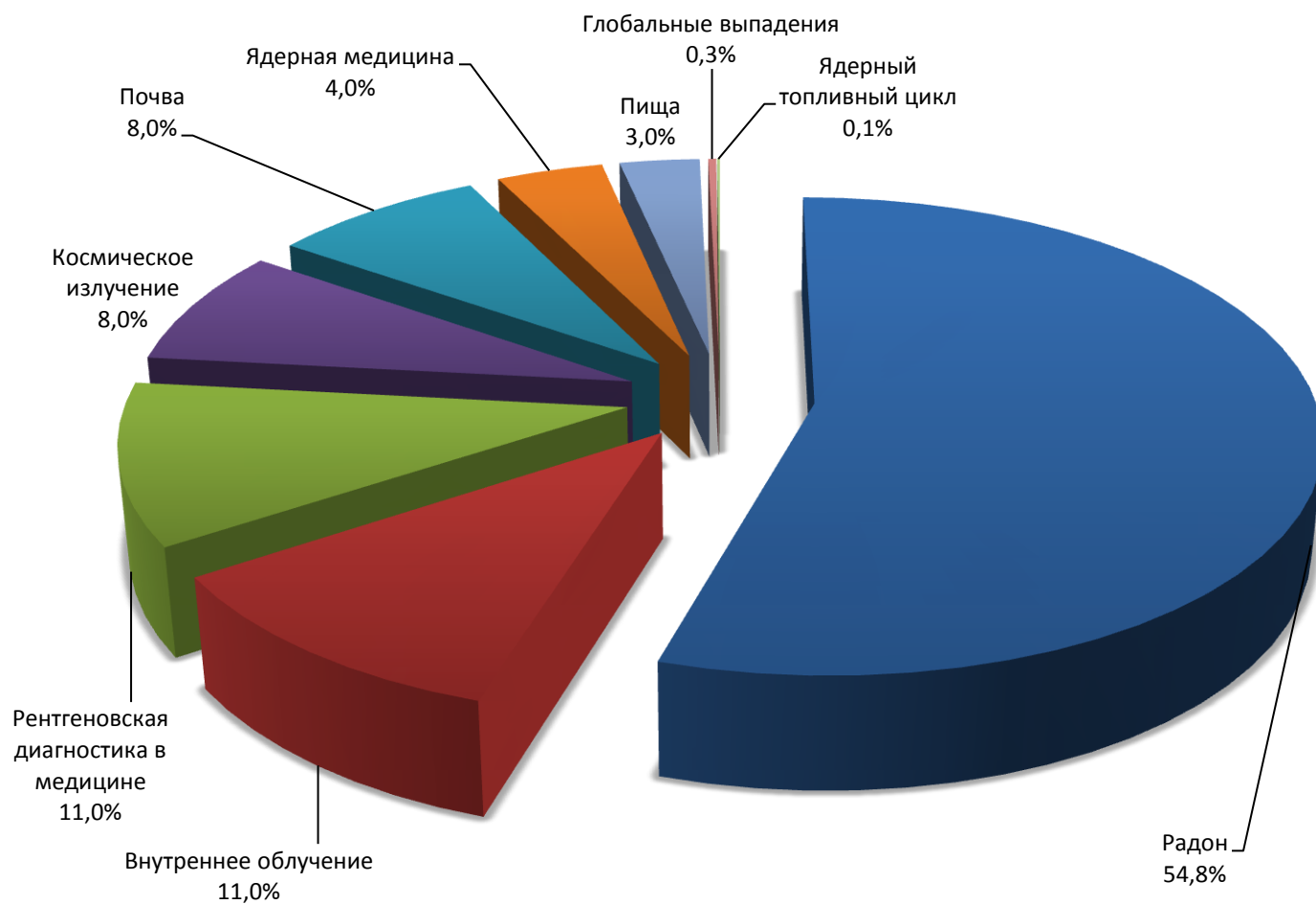
- 1) Широты местности. На полюсах - на 15 % выше, чем на экваторе.
- 2) От высоты над уровнем моря. Чем больше высота над уровнем моря, тем больше радиационный фон.
- 3) От солнечной активности. При увеличении солнечной активности увеличивается космическое излучение.

Зависимость от:

1. Характера почвы. Имеются места, где сосредоточены элементы радиоактивных семейств, при этом фон может быть в сотни и тысячи раз выше среднего.
2. Характера залегающих пород. Например, гранит обладает существенно большей природной активностью, чем другие породы.



Все указанные факторы воздействуют на человека, в различной степени, что детализировано на приведенном ниже рисунке.



Процентная доля облучения тела человека дозами, получаемыми от разных источников излучения

Космическое излучение

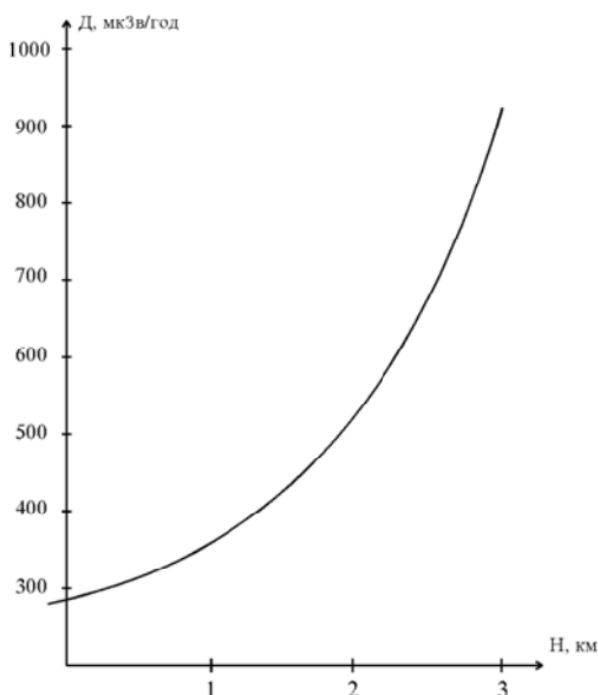
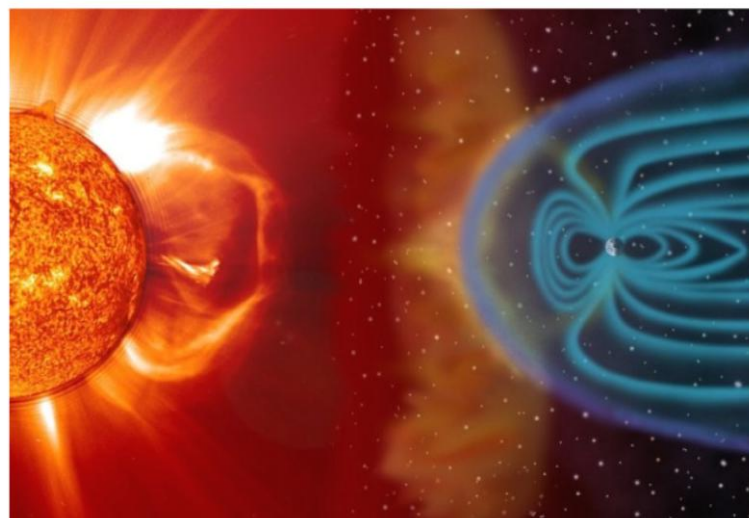
Это ионизирующее излучение, непрерывно падающее на поверхность Земли из мирового пространства и образующееся в земной атмосфере в результате взаимодействия излучения с атомами воздуха.

Первичное космическое излучение представляет собой поток элементарных частиц, которые приходят на земную поверхность из разных областей всемирного пространства. Оно образуется вследствие извержения и испарения материи с поверхности звезд и туманностей космического пространства. Оно состоит из протонов (92%), альфа-частиц (7%), ядер атомов лития, бериллия, бора, углерода, азота, кислорода и др. (1%). Первичное космическое излучение отличается большой проникающей способностью.

Космические излучения подразделяются на галактическое, солнечное и излучение заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли.

Большая часть первичного космического излучения возникает в пределах нашей Галактики, энергия их чрезвычайно высокая – до 10^{19} эВ. Солнечное излучение возникает в основном при вспышках на Солнце, которые происходят с характерным 11-летним циклом. Энергия их не превышает 40 МэВ. Оно не приводит к заметному увеличению дозы излучения на поверхности Земли. Средняя энергия космических лучей 1010 эВ, поэтому они губительны для всего

живого. Атмосфера служит своеобразным щитом, предохраняющим биологические объекты от воздействия космических частиц, поэтому лишь немногие частицы достигают поверхности Земли.



Первичные космические лучи, врываясь в атмосферу, постепенно теряют свою энергию, растрачивая ее на многочисленные столкновения с ядрами атомов воздуха. Получаемые осколки, приобретая часть энергии первичной частицы, сами становятся факторами ионизации, разрушают и ионизируют другие атомы газов воздуха, т.е. превращаются в частицы вторичного космического излучения.

Вторичное космическое излучение состоит из мезонов, электронов, позитронов, протонов, нейтронов, гамма-квантов, т.е. из практически всех известных в настоящее время частиц.

Вторичное космическое излучение возникает в результате электронно-фотонных и электронно-ядерных взаимодействий. При

электронно-фотонном процессе заряженная частица взаимодействует с полем ядра атома, рождая фотоны, которые образуют пары электронов и позитронов.

При высоте менее 20 км космическое излучение является вторичным; с уменьшением высоты его интенсивность понижается, поскольку вторичные частицы по мере продвижения к поверхности Земли испытывают поглощение.

Мощность эффективной дозы, вызванной ионизирующей компонентой космического излучения на открытом воздухе на уровне моря, составляет на экваторе величину порядка 260-270 мкЗв/год, в северных широтах - 270-290 мкЗв/год.

С высотой, в пределах колебаний рельефа Земли, на каждые сто метров над уровнем моря, годовая эффективная доза увеличивается на 10 мкЗв за счет уменьшения слоя атмосферы. Начиная с высоты 1,5-2,0 км, этот прирост увеличивается.

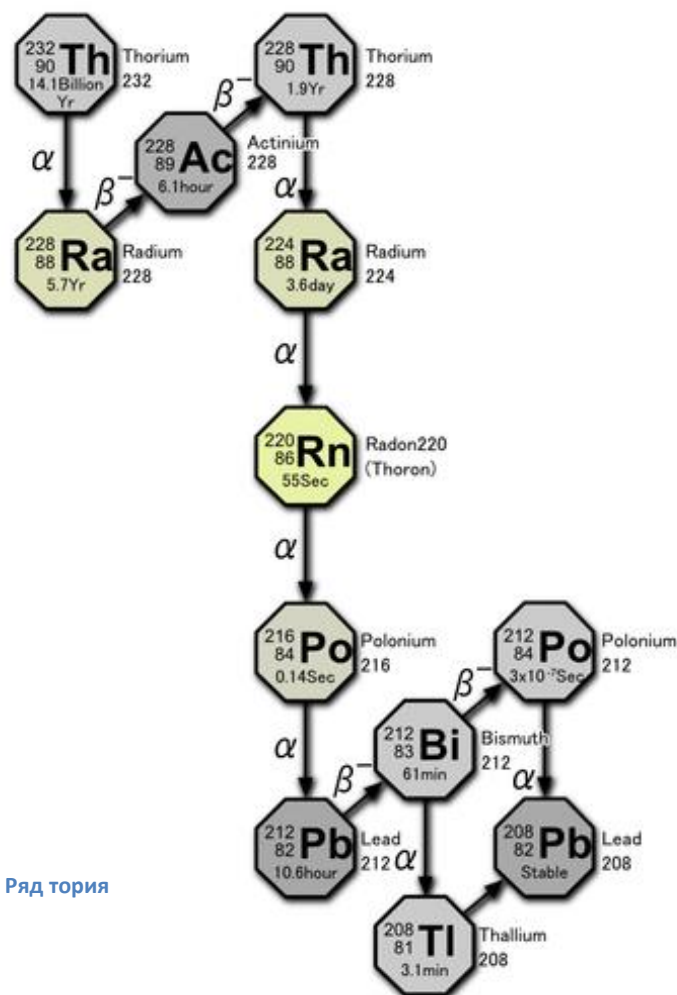
Радионуклиды земного происхождения

Самая большая дозовая нагрузка приходится на радионуклиды из радиоактивных семейств – радия, тория и актиния. Образуется 45 радионуклидов с периодами полураспада от $3 \cdot 10^{-7}$ сек до $2,5 \cdot 10^5$ лет.

Радиоактивный ряд нуклидов с массовым числом, представимым в виде $4n$, называется рядом тория.

Ряд начинается с встречающегося в природе тория-232 и завершается образованием стабильного свинца-208. Радиоактивный ряд нуклидов с массовым числом, представимым в виде $4n+3$, называется рядом актиния. Ряд начинается с урана-235 и завершается образованием стабильного свинца-207.

Радиоактивный ряд нуклидов с массовым числом, представимым в виде $4n+2$, называется рядом радия (урана). Ряд начинается с урана-238 (встречается в природе) и завершается образованием стабильного свинца-206.



Ряд тория

[illegible]

Ряд актиния

Калий является очень распространенным в литосфере (земной коре толщиной 15-70 км) и биосфере. Является типичным биологическим элементом.

Природный калий состоит из трех изотопов (^{39}K , ^{40}K , ^{41}K), из которых только калий-40 – радиоактивен. В земной коре содержится 2,6% калия. Радиоактивный калий вносит значительный вклад в облучение человека при поступлении через желудочно-кишечный тракт. Содержание ^{40}K в организме человека зависит от пола, возраста, массы тела, характера мышечной деятельности и т. д. ^{40}K вносит значительный вклад в радиационный фон. Эквивалентная доза за счет ^{40}K составляет 0,3 мЗв/год (за счет внешнего облучения – 0,12 мЗв/год, внутреннего – 0,18 мЗв/год).

Разумеется, уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основной массы населения оно примерно одного порядка. Так, согласно исследованиям, проведенным во Франции, Италии, Японии и США, примерно 95% населения этих стран живет в местах, где мощность дозы облучения составляет в среднем от 0,3 до 0,6 миллизиверта (тысячных зиверта) в год. Есть, однако, такие места, где уровни земной радиации намного выше (рис. 3.5).

Неподалеку от города Посус-ди-Калдас в Бразилии, расположенного в 200 км к северу от Сан-Паулу, есть небольшая возвышенность. Как оказалось, здесь уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 250 миллизивертов в год. По каким-то причинам возвышенность оказалась необитаемой. Однако лишь чуть меньшие уровни радиации были зарегистрированы на морском курорте, расположенном в 600 км к востоку от этой возвышенности.

Гуарапари – небольшой город с населением 12 000 человек – каждое лето становится местом отдыха примерно 30 000 курортников. На отдельных участках его пляжей зарегистрирован уровень радиации 175 миллизивертов в год. Радиация на улицах города оказалась намного ниже от 8 – 15 миллизивертов в год, – но все же значительно превышала средний уровень. Сходная ситуация наблюдается в рыбацкой деревушке Меаипе, расположенной в 50 км к югу от Гуарапари. Оба населения пункта стоят на песках, богатых торием.

В другой части света, на юго-западе Индии, 70 000 человек живут на узкой прибрежной полосе длиной 55 км, вдоль которой также тянутся пески, богатые торием. Исследования, охватившие 8513 человек из числа проживающих на этой территории, показали, что данная группа лиц получает в среднем 3,8 миллизивертов в год на человека. Из них более 500 человек получают свыше 8,7 миллизивертов в год.

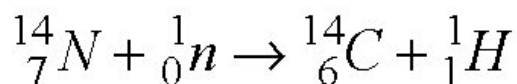
Эта территория в Бразилии и Индии являются наиболее хорошо изученными "горячими точками" нашей планеты. Но в Иране, например в районе городка Рамсер, где бьют ключи, богатые радием, были зарегистрированы уровни радиации до 400 миллизивертов в год.

Известны и другие места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например во Франция, Нигерии, на Мадагоскаре.

По подсчетам НКДАР ООН средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников естественной радиации, составляет примерно 350 микрозивертов, т.е. чуть больше средней индивидуальной дозы облучения из-за радиационного фона, создаваемого космическими лучами на уровне моря.

Космогенные радионуклиды

Космогенные радионуклиды образуются в результате ядерных реакций протонов и нейтронов, входящих в состав первичного и вторичного космического излучения, с ядрами элементов воздуха (N, O, Ar и др.). К космогенным радионуклидам относятся 14 изотопов – тритий, дейтерий, бериллий-7, углерод-14, углерод-13, натрий-22, фосфор-32, фосфор-33, хлор-35 и др.



Полученные углерод-14 и тритий являются космогенными радионуклидами, поступая в организм, они являются источниками внутреннего облучения. Бериллий-7, натрий-22, 24 относятся к источникам внешнего облучения.

Среднее годовое поступление космогенных радионуклидов в организм человека		
Нуклид	Поступление, Бк/год	Годовая эффективная доза, мкЗв
Тритий	250	0,004
Бериллий-7	50	0,002
Углерод-14	20000	12
Натрий-22	50	0,15

Другие источники радиоактивного воздействия на человека

Уголь, подобно большинству других природных материалов, содержит ничтожные количества первичных радионуклидов. Последние, извлеченные вместе с углем из недр земли, после сжигания угля попадают в окружающую среду, где могут служить источником облучения людей.

Хотя концентрация радионуклидов в разных угольных пластах различается в сотни раз, в основном уголь содержит меньше радионуклидов, чем земная кора в среднем. Но при сжигании угля большая часть его минеральных компонентов спекается в шлак или золу, куда в основном и попадают радиоактивные вещества. Большая часть золы и шлаки остаются на дне топки электросиловой станции. Однако более легкая зольная пыль уносится тягой в трубу электростанции. Количество этой пыли зависит от отношения к проблемам загрязнения окружающей среды и от средств, вкладываемых в сооружение очистных устройств.

Облака, извергаемые трубами тепловых электростанций, приводят к дополнительному облучению людей, а оседая на землю, частички могут вновь вернуться в воздух в составе пыли. Согласно текущим оценкам, производство каждого гигаватт-года электроэнергии обходится человечеству в 2 чел-Зв ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы облучения, т.е. в 1979 году, например, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза от всех работающих на угле электростанций во всем мире составила около 2000 чел-Зв.

На приготовление пищи и отопление жилых домов расходуется меньше угля, но зато больше зольной пыли летит в воздух в пересчете на единицу топлива. Таким образом, из печек и каминов всего мира вылетает в атмосферу зольной пыли, возможно, не меньше, чем из труб электростанции. Кроме того, в отличие от большинства электростанций жилые дома имеют относительно невысокие трубы и расположены обычно в центре населенных пунктов, поэтому большая часть загрязнений попадает непосредственно на людей. До последнего времени на это обстоятельство почти не обращали внимания, но по весьма предварительной оценке из-за сжигания угля в домашних условиях для приготовления пищи и обогрева жилищ во всем мире в 1979 году ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения населения Земли возросла на 100 000 чел-Зв.

Не много известно также о вкладе облучения населения от зольной пыли, собираемой очистными устройствами. В некоторых странах более трети ее используется в хозяйстве. Все эти применения могут привести к увеличению радиационного облучения, но сведений по этим вопросам публикуется крайне мало.

Еще один источник облучения населения – термальные водоемы. Некоторые страны эксплуатируют подземные резервуары пара и горячей воды для производства электроэнергии и отопления домов; один такой источник вращает турбины электростанции в Лардерелло в

Италии с начала двадцатого века. Измерения эмиссии радона на этой и еще на двух, значительно более мелких, электростанциях в Италии показали, что на каждый гигаватт-год вырабатываемой ими электроэнергии приходится ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза 6 чел-Зв, т.е. в три раза больше аналогичной дозы облучения электростанций, работающих на угле. Однако, поскольку в настоящее время суммарная мощность энергетических установок, работающих на геотермальных источниках, составляет всего 0,1% мировой мощности, геотермальная энергетика вносит ничтожный вклад в радиационное облучение населения. Но этот вклад может стать весьма весомым, поскольку ряд данных свидетельствует о том, что запасы этого вида энергетических ресурсов очень велики.

Добыча фосфатов ведется во многих местах земного шара; они используются главным образом для производства удобрений, которых в 1977 году во всем мире было получено около 30 млн. т. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий там в довольно высокой концентрации. В процессе добычи и переработки руды выделяется радон, да и сами удобрения радиоактивны, и содержащиеся в них радиоизотопы проникают из почвы в пищевые культуры. Радиоактивное загрязнение в этом случае бывает обыкновенно незначительным, но возрастает, если удобрения вносят в землю в жидком виде или если содержащие фосфаты вещества скармливают скоту. Такие вещества действительно широко используются в качестве кормовых добавок, что может привести к значительному повышению содержания радиоактивности в молоке. Все эти аспекты применения фосфатов дают за год ожидаемую коллективную эффективную эквивалентную дозу, равную примерно 6000 чел-Зв, в то время как соответствующая доза из-за применения фосфогипса, полученного только в 1977 году, составляет около 300 000 чел-Зв.

Внутреннее облучение

В среднем примерно $2/3$ эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступавших в организм с пищей, водой и воздухом.

Совсем небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальное поступает от источников земного происхождения. В среднем человек получает около 180 микрозивертов в год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Однако значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232.

Некоторые из них, например нуклиды свинца-210 и полония-210, поступают в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие 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 довольно высокой концентрации. Эти изотопы попадают в организм оленя зимой, когда они питаются лишайниками, в которых накапливаются оба изотопа. А в другой 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 требуху овец и кенгуру.

Прежде чем попасть в организм человека, радиоактивные вещества, как и в рассмотренных выше случаях, проходят по сложным маршрутам в окружающей среде, и это приходится учитывать при оценке доз облучения, полученных от какого-либо источника. В качестве примера на рис. 3.6 представлена одна из схем распространения радиоактивных веществ в окружающей среде.

Внешнее облучение

Радиоактивные элементы, содержащиеся в строительных материалах, из которых сооружены наши дома, испускают лучи, образуя внешний источник гамма-радиации.

Большинство строительных материалов непосредственно являются природными компонентами экосистемы и поэтому имеют свои специфические радиационные свойства.

Например, все строительные материалы минерального состава содержат в различном количестве химические элементы, изотопы которых радиоактивны.

Наиболее опасными в этом отношении могут быть строительные материалы из природного камня и материалы на основе минеральных вяжущих. Кроме того, необходимо знать, что для одного и того же вида материала показатели по радиоактивности могут отличаться в зависимости от местоположения месторождения, поэтому возможен некоторый разброс данных от средних фоновых значений. Радиационную активность СМ можно прогнозировать по их химическому составу и содержанию в них называемых элементов тяжелых металлов, изотопы которых наиболее радиационно активны.

Удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th в различных строительных материалах

Вид строительного материала	^{226}Ra , Бк · кг ⁻¹	^{232}Th , Бк · кг ⁻¹
Газобетон на основе квасцовых глинистых сланцев	320–2620	24–115
Фосфогипс	24–555	3–22
Летучая зола	110–610	74–320
Цемент	9–168	4–81
Легкий заполнитель	36–195	37–182
Наполнитель бетона (гравий, щебень, галька)	4–167	4–463
Кирпич	33–152	21–178
Шлаковый заполнитель	84–151	32–182
Газобетон на основе песка	7–130	4–155
Черепица	63–91	32–64
Бетон	11–80	9–105
Известковый кирпич	6–25	4–29
Изоляционный материал (каменный, стеклянный войлок)	13–15	5–15
Штукатурка из природного гипса	1–13	1–12
Дерево	0,3–0,5	0,2–1,2

Для строительных работ регламентируется радиационная безопасность по ГОСТ 8267-93, в котором устанавливаются требования для этапа производства строительных материалов на основе минеральных вяжущих — бетона, строительного раствора в соответствии с областями применения.

Классификация строительных материалов по удельной активности радионуклидов и допустимым видам использования

Класс	A_{Σ} , Бк/кг	Мощность дозы, мкР/ч	Удельная активность урана, %	Допустимые виды строительства
I	<370	<20	<0,003	Все виды, включая строительство жилых и общественных зданий
II	10–740	<40	<0,006	Промышленное и дорожное строительство
III	20–2220	<120	<0,018	Дорожное строительство вне населенных пунктов, в пределах населенных пунктов, строительство подземных сооружений, покрытых грунтом толщиной более 0,5 м, где исключено пребывание людей
IV	60–3700	<200	<0,03	Основания дорог, плотин и пр. вне населенных пунктов, при условии покрытия низкоактивным материалом толщиной более 0,5 м
V	>3700	>200	>0,03	Не должны использоваться строительными организациями. Внутриотраслевое использование допустимо

Радон и его биологическое действие

Ученые давно установили, что наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ (в 7,5 раза тяжелее воздуха) радон с периодом полураспада 3,8 суток.

Согласно текущей оценке НКДАР ООН, радон вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответствен 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 непроветриваемых помещениях.

Радон не имеет стабильных изотопов. Наиболее устойчив ^{222}Rn ($T_{1/2}=3,8235$ дня), входящий в природное радиоактивное семейство урана-238 (семейство урана-радия) и являющийся непосредственным продуктом распада радия-226. В семейство тория-232 входит ^{220}Rn ($T_{1/2}=55,6$ с), иногда его называют торон (Tn). В семейство урана-235 (урана-актиния) входит ^{219}Rn ($T_{1/2}=3,96$ с), его называют актинон (An). В одну из побочных ветвей семейства урана-радия входит также очень короткоживущий ($T_{1/2}=35$ мс) радон-218.

Все отмеченные изотопы радона испытывают альфа-распад. Этими четырьмя нуклидами исчерпывается список природных изотопов радона. Известны ещё 30 искусственных изотопов Rn с массовым числом от 195 до 228. Преобладающие моды распада у лёгких изотопов Rn — альфа-распад, позитронный распад и электронный захват. Начиная с массового числа $A=212$ альфа-распад становится доминирующим.

Радон-222 примерно в 20 раз больше вносит суммарную дозу облучения, чем радон-220. Вообще говоря, большая часть облучения исходит от дочерних продуктов распада радона, а не от самого радона.

При равновесной объёмной активности в воздухе свыше 100 Бк/м^3 радон, согласно НРБ-99, уже представляет значимую радиационную опасность. Именно эта величина является пороговой допустимой концентрацией при проектировании новых зданий. Для старых построек допустима объёмная активность до 200 Бк/м^3 . При превышении этой величины обязательны защитно-профилактические мероприятия.

Возникает вопрос: почему радон так опасен? Он же инертный газ, и, естественно, ни в каких биохимических процессах участвовать не может. Дело в том, что некоторая его часть растворяется в крови легочной ткани и разносится по всему организму. Кроме того, он сорбируется на любых пылевых, аэрозольных и смолистых отложениях в дыхательных путях. Именно поэтому радоновая опасность резко повышается для шахтеров, у

которых запыленность легких, увы, нередкое явление, и для курящих – из-за смолистых и аэрозольных отложений, обусловленных табачным дымом.

У радона сравнительно малый период полураспада, и его собственное излучение не создало бы и десятой доли возникающих проблем, даже с учетом того, что он, как и любой α -излучатель, достаточно опасен при внутреннем облучении. Однако, по-настоящему страшны радиоактивные продукты его распада, в особенности α -активные полоний-218 и полоний-214. Вот они-то, в отличие от собственно радона, химически активны, достаточно прочно удерживаются организмом и эффективно воздействуют на живые ткани (в том числе на жизненно важные) опаснейшим α - излучением.

Чем это грозит человеку? В первую очередь – раком. По оценкам, сделанным на основе ЛБГ, только в США за счет проживания людей в жилых помещениях с объёмной активностью радона свыше 100 Бк/м³ насчитывается около 10 000 дополнительных случаев заболевания раком легких.

Для СНГ эта цифра составляет приблизительно 15 000, и предстоит еще выявить несколько миллионов жителей, которые, сами того не ведая, получают за счет радонового облучения дозу больше, чем в чернобыльской зоне. По указанным оценкам, объёмная активность радона в воздухе жилых помещений, равная 400 Бк/м³ (что для очень многих стран, и не только в СНГ, отнюдь не редкость), влечет такой же дополнительный риск, как выкуривание пачки сигарет в день.

Радон в окружающей среде

Основные источники радона:

- грунт
- строительные материалы
- грунтовые воды
- природный газ, уголь
- рудники, отвалы, образующиеся при добыче фосфорных удобрений
- растения
- геотермальные электростанции
- предприятия ядерного топливного цикла.

Главный источник поступления радона в атмосферу - *почва и грунтовые породы*.

Больше всего урана в гранитах, поэтому местности, расположенные над такими грунтами классифицируются как радоноопасные территории.

Радон хорошо растворяется в воде, а значит, если слой подземных межпластовых вод контактирует с породами, содержащими радон, то артезианские скважины дадут воду, богатую этим газом.

Средние концентрации радона в почвенном воздухе на несколько порядков выше его концентраций в атмосферном воздухе, вследствие чего происходит постоянное выделение почвенного радона в атмосферу путем диффузии. После выхода газа в окружающую водную или воздушную среду дальнейшее перемещение происходит за счет диффузии, конвекции и геомеханических сил.

Факторы, влияющие на процесс попадания радона в воздух из почвы:

- А) снижающие интенсивность эксгаляции радона: дождь, снег, мороз, повышение атмосферного давления (поэтому в почве радона больше зимой и в периоды дождей)
- Б) усиливающие интенсивность эксгаляции радона: повышение температуры, увеличение скорости ветра

Перенос и рассеяние радона в воздухе зависят от:

- А) вертикального градиента температур
- Б) направления и силы ветра
- В) турбулентности воздуха.

Суточный максимум концентрации наблюдается в ночные часы, когда атмосфера наименее подвижна, а минимум наблюдается днем, когда вертикальное смешивание благодаря турбулентной диффузии максимально.

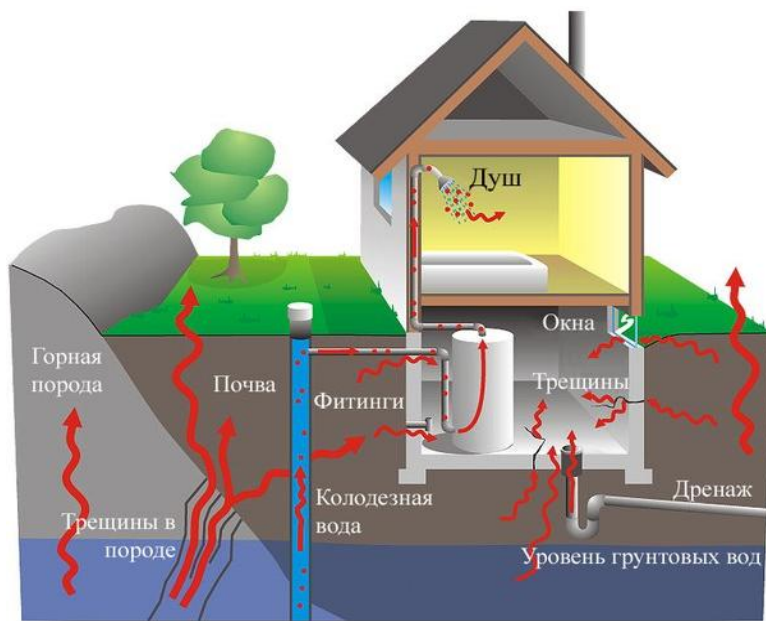
На высоте нескольких метров от земли концентрация радона падает уже в десятки раз.

Вклад радона в суммарную дозу облучения населения в некоторых странах	
Страна	Вклад
Весь мир	36%
США	55%
Англия	50%
Финляндия	90%
Россия	30%
Украина	70-75%

Радон в помещении

Основные источники радона в помещениях:

- трещины в плитах фундамента
- поры в кирпичных стенах
- трещины в строительных блоках
- неполная изоляция грунта
- дренажная плитка
- плохое цементирование блоков
- плохая герметизация труб
- открытый верх фундамента
- строительные материалы
- вода
- дым от сжигаемого в здании топлива



Источники попадания радона в помещении

Поступая внутрь помещения тем или иным путем, радон накапливается в нем. В результате в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или если 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. В конце 70-х годов строения, внутри которых концентрация радона в 5000 раз превышала среднюю его концентрацию в наружном воздухе, были обнаружены в Швеции и Финляндии. В 1982 году, ко времени выхода последнего доклада НКДАР, строения с уровнями радиации, в 500 раз превышающими типичные значения в наружном воздухе, были выявлены в Великобритании и США.

В обеих странах были обнаружены жилища с концентрацией радона, примерно равной его максимальной концентрации в жилых домах скандинавских стран. При дальнейших обследованиях такого рода выявляется все больше домов с очень высокой концентрацией радона.

Радиовый эквивалент ряда минеральных материалов и строительных материалов на их основе

Материал	Радиовый эквивалент, пКи/г
строительный камень	0,9-15,9
бетон	0,5-10,1
глина	1,4-6,7
кирпич глиняный (красный)	2,2-7,0
цемент	0,8-4,3
щебень известняковый	0,1-3,2
известь	0,1-2,6
песок	0,2-5,6
кирпич силикатный	0,3-2,8
отходы промышленности и изделия на их основе	0,9-11,6
шлак, пепел и фосфогипс	до 60

Самые распространенные строительные материалы – дерево, кирпич и бетон – выделяют относительно немного радона. Гораздо большей удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза.

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

Средняя концентрация радона, Бк/м³



Радон в разных помещениях

В среднем концентрация радона в ванной комнате примерно в три раза выше, чем на кухне, и приблизительно 40 раз выше, чем в жилых комнатах.

Суммарно концентрация радона в воздухе жилых помещений зависит от четырех факторов:

- активной и пассивной диффузии радона из грунта через фундамент и поверхности подвальных помещений зданий
- эксгаляции радона из строительных материалов и изделий, из которых построено здание
- эксгаляции радона из воды и газа
- влияния климата, образа жизни, степени вентиляции помещения

Меры, направленные на снижение концентрации радона в воздухе помещений (оптимизация дозовых нагрузок):

- тщательная изоляция жилых помещений от почвы и грунта
- изоляция стройматериалов (покраска и оклеивание стен обоями)
- улучшение вентиляции жилых помещений и активная вентиляция погребов
- регулярная влажная уборка
- использование материалов, отвечающих требованиям радиационной безопасности.

Радон в воде и природном газе

Дополнительным источником радона может быть водопроводная вода. Высокая подвижность благородного газа приводит к существенному повышению концентрации радона в воде, по сравнению со слабо растворимыми в воде материнскими нуклидами радона.

В мире содержание радона в воде колеблется от 100 рКи до 1000000 рКи на литр.

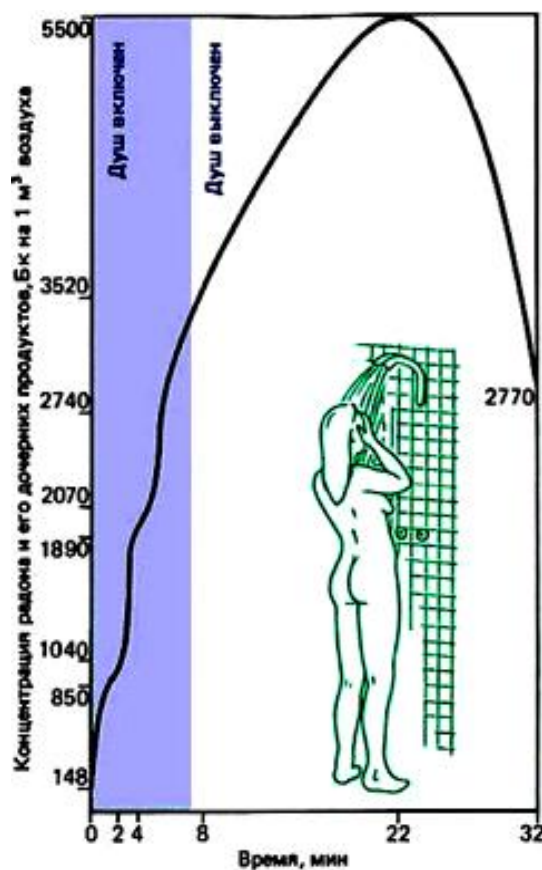
Растворенный в воде радон поступает через пищеварительный тракт в организм человек, но в этом количестве радон неопасен, потому что из вытекающей из крана воды он практически весь и сразу же переходит в воздух

Растворенный в воде радон действует двояко. С одной стороны, он вместе с водой попадает в пищеварительную систему, а с другой стороны, люди вдыхают выделяемый водой радон при ее использовании. Дело в том, что в тот момент, когда вода вытекает из крана, радон выделяется из нее, в результате чего концентрация радона в кухне или ванной комнате может в 30-40 раз превышать его уровень в других помещениях.

Мгновенный риск для здоровья от потребления воды, содержащей невысокую активность радона, невысок. Основное воздействие радона из воды на человека связано с его ингаляционным поступлением. Если количество радона в воде соответствует нормативу 60 Бк/л, это дает дополнительное количество радона в воздух помещения равное 6 Бк/м³, что меньше фоновое содержание радона в жилых помещениях. Только при значительном превышении норматива по радону в воде, его вклад в дозу облучения может быть сравнимым с вкладом радона, который поступает из почвы и / или строительных материалов.

При высоком содержании радона в воде он может накапливаться в ванной комнате и на кухне в больших количествах. Так, при обследовании ряда домов в Финляндии, было выяснено, что концентрация радона в ванной комнате в три раза выше, чем на кухне и в 40 раз выше, чем в жилой. Всего за 22 минуты пользования душем концентрация радона достигает величины, которая в 55 раз превышает предельно допустимую концентрацию.

Радон проникает также в природный газ под землей. В результате предварительной переработки и в процессе хранения газа перед поступлением его к потребителю большая часть радона улетучивается, но концентрация радона в помещении может заметно возрасти, если кухонные плиты, отопительные и другие нагревательные устройства, в которых сжигается газ, не снабжены вытяжкой.



Зависимость концентрация радона от времени применения душа в ванной комнате

А также только в тех случаях, когда газ перед подачей потребителю не выдерживался в искусственных хранилищах (т.е. вне контакта с геологическими структурами) в течение месяца (одного месяца вполне достаточно для распада любых изотопов радона).

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

Уровень радона в природном газе составляет 1850 Бк/м³. Средняя концентрация в атмосфере США составляет 10 Бк/л на высоте 1 м от поверхности.

Лечебные свойства радона

Люди использовали целебные свойства радона, не зная о его существовании, с древних времён. Они замечали, что после купания в некоторых источниках и пребывания в отдельных пещерах, у них прибавлялось сил, проходило недомогание, и отступали болезни.

С 40-х годов XX века люди научились обогащать воду, воздух и другие лечебные среды радоном, полученным из различных препаратов радия. Началось исследование действия на организм человека разных доз радона при различных заболеваниях.

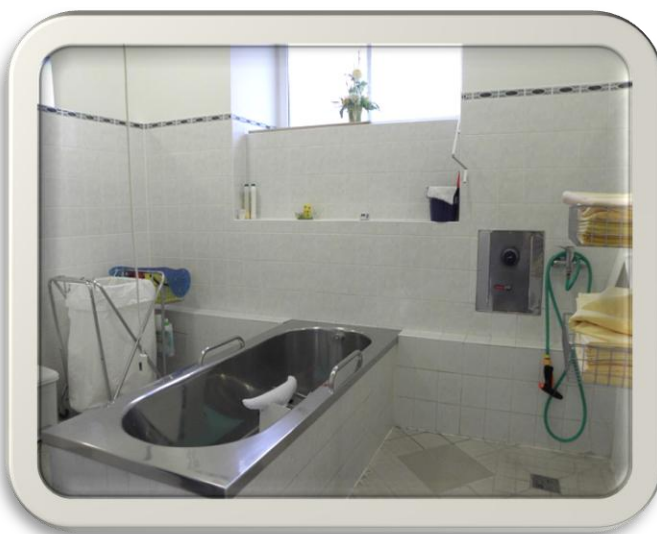
Появились новые радоновые процедуры (питье радоновой воды, орошения, микроклизмы, свечи, мази, аппликации), стало возможным дозировать активность радона для каждого пациента с учётом вида заболевания и особенностей его организма.

Действие радона на живой организм многогранно. Нет ни одной клетки, ни одной системы, на которую не воздействовал бы радон. При разных заболеваниях на первое место выходят разные аспекты лечебного действия радоновых процедур.

Так радиация радона в малых дозах помогает человеку восстановить здоровье. Важно только, чтобы попадала эта радиация куда нужно и никак не наоборот. Поэтому чаще всего радон для медицинских целей растворяют в воде.

Ванны или минеральные воды с радоном можно испытать во многих санаториях, которые расположены в местах геологических разломов — именно там лечебный газ выходит

на поверхность наиболее интенсивно.



Радоновая ванна

Радоновые ванны – это ванны в воде которых содержится радон и продукты его распада (радий А, В, С, С1, С) в лечебных дозах.

Механизм действия радоновых ванн обусловлен α -излучением радона и продуктами его распада, которые проникают в организм через кожу, слизистые оболочки, дыхательные пути.

Во время приёма радоновых ванн неустойчивые продукты распада радона образуют на коже так называемый активный налёт, возрастающий при движении больного в ванне. Он довольно прочно фиксируется на коже и сохраняется в течение 2-3 часов.

При этом происходит ионизация молекул биологической среды, в первую очередь воды, являющейся составной частью всех тканей организма. Под воздействием ионизирующего излучения в коже происходят биофизические и биохимические сдвиги, изменяются обменные процессы и образуются различные вазоактивные вещества, что в свою очередь приводит к изменению температуры кожи, тактильной и болевой чувствительности.

Радоновые ванны оказывают успокаивающее действие, тормозящее действие на центральную нервную систему, углубляют сон, уменьшают боль, причем их действие напоминает действие брома. Они благоприятно действуют на центральную и периферическую нервную систему. Так под их влиянием ускоряется регенерация нервов, улучшается течение воспалительных и трофических процессов.

Показания к лечебному применению радоновых вод:

- заболевания сердечно-сосудистой системы
- заболевания опорно-двигательного аппарата
- заболевания органов пищеварения
- заболевания эндокринной системы и обмена веществ
- заболевания нервной системы

Нормы радиационного фона

Типичные значения радиационного фона:

- на улице (открытой местности) – 8-12 мкР/час;
- в помещении – 15-20 мкР/час.

Допустимая норма радиации – 25-30 мкР/ч.

Нормы по радону:

- для эксплуатации зданий не больше 200 Бк/м³,
- для вновь строящихся зданий не больше 100 Бк/м³,
- для производственных зданий не больше 310 Бк/м³

Нормы гамма-излучения:

- для открытой местности - не больше 0,3 мкЗв/ч,
- в помещениях жилых и общ. зданий не должен превышать мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч,
- в помещениях производственных зданий не более 2,5 мкЗв.

Литература

- Радиация. Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990.-79с.
- Несмеянов Ан.Н. Радиохимия. М.: Химия, 1972. - 592 с.
- Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек.- М.:Энергоатомиздат, 1990.
- Петьков, В.И. Энергетика и окружающая среда.- Н.Новгород: ННГУ, 1994.- 56 с.
- Кириянов, К.В. Аварии на атомных реакторах.-Н.Новгород:ННГУ, 1996.- 80 с.
- Шарова, Т.В. Радиоактивность и экология. Радиоактивность в окружающей среде: Для студентов гуманитарных специальностей.- Н.Новгород: ННГУ, 1994.-56 с.
- Лукутцов, А.А. Радиоактивность и экология. Радиоактивность в природе.-Н.Новгород: ННГУ, 1994.- 31 с.
- Шарова, Т.В. Радиоактивность и экология. Радиоактивный фон внутри помещений: Методическая разработка.-Н.Новгород: Нижегородский государственный университет, 1993.- 37 с.
- Егоров, Н.П. Современные экологические проблемы.-Н.Новгород: ННГУ, 1993.- 32 с.

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

- <http://www.bp.com>
- <http://ru.wikipedia.org>
- <http://www.chornobyl.ru>
- <http://www.atomic-energy.ru>
- <http://rad-stop.ru>
- <http://www.xumuk.ru>
- <http://www.dozimetr.biz>
- <http://www.greenpeace.org>
- <http://rb.mchs.gov.ru>
- <http://profbeckman.narod.ru>
- <http://globalproblems.narod.ru/>
- <http://www.world-nuclear.org/>
- <http://alternenergy.ru/>