

РАДИАЦИЯ В БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

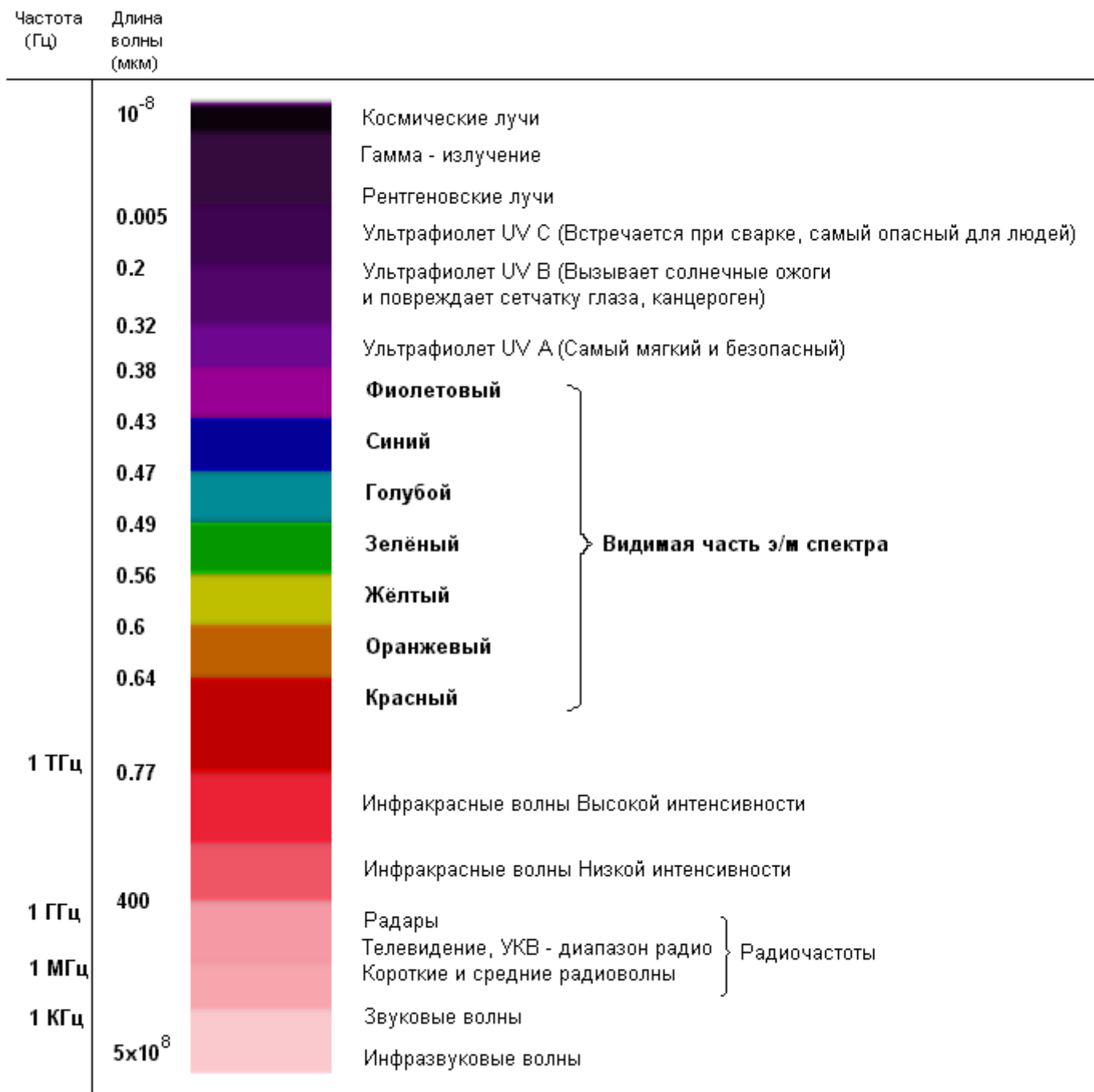
(к.х.н., доцент В.Ю. Александров)

Радиация, за этим, красивым на слух словом скрывается самый опасный вид энергии губительный для всего живого, при этом его никто не видел. Радиация подкрадывается и убивает не заметно, чем же она опасна? **Радиация** в переводе с латинского "*сияние*", "*излучение*" – процесс распространения потока элементарных частиц и квантов электромагнитного излучения. Радиация вторгается в молекулы и атомы любого вещества повстречавшегося на её пути, вызывает возбуждение атомов и появление ионов (*ионизацию*), отсюда произошло другое название **ионизирующее излучение**.

Радиация – это естественный фактор окружающей среды, существовавший задолго до появления человечества и существующий на всём протяжении его развития (есть, даже теории что радиации принадлежит не последняя роль в появлении жизни на Земле). Согласно теориям об эволюции Вселенной, все химические элементы произошли в результате термоядерных процессов при взрывах гибнущих звезд. Ядра некоторых из элементов, начиная с момента образования, были нестабильны и начали выбрасывать избыток энергии в виде радиоактивного распада с переходом в стабильное состояние. Таким образом, радиационное воздействие постоянно сопутствует жизни на протяжении всей ее эволюции до настоящего времени Из этого следует важнейший вывод, что существует порог радиационного воздействия ниже которого радиация не представляет опасности для жизни.

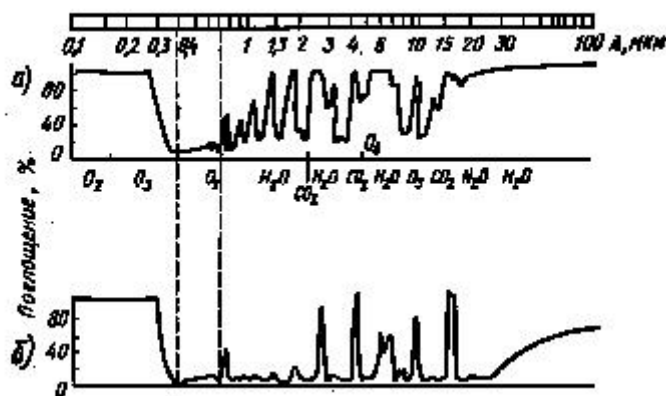
В общем смысле под определение радиации подпадает любой вид излучения: инфракрасное (тепловое), ультрафиолетовое (солнечная радиация), видимое световое излучение, но только один вид – **ионизирующее излучение** несёт серьёзную опасность, вторгаясь в любую материю на своём пути, ионизируя и тем самым разрушая её. Ионизирующее излучение возникает в результате радиоактивного распада ядер некоторых элементов и, в зависимости от частиц его составляющих, подразделяется на два вида: **коротковолновое электромагнитное излучение** (рентгеновские лучи, гамма-излучение) и **корпускулярное излучение**, представляющее собой потоки частиц (альфа-частиц, бета-частиц (электронов), нейтронов, протонов, тяжелых ионов и других). Наибольшее распространение имеют: *альфа, бета, гамма и рентгеновское излучение*.

Шкала электромагнитного излучения



Длина волны: 1 мкм (1 μ) = 1/1000 мм

Частота: 1 Гц = число колебаний волны за секунду



Источники ионизирующего излучения

По природе происхождения Источники ионизирующего излучения делятся на естественные и техногенные.

Естественные источники, не связанные с деятельностью человека, определяются космическим излучением, приходящим из Вселенной и не задержанным озоновым слоем планеты. Кроме того, в земной коре существующих радиоактивные изотопы калий-40, торий-232, уран-235 и 238, распад которых создает ионизирующее излучение и производит другие радиоактивные изотопы – радон-222. Они представляют угрозу безопасности жизнедеятельности.

Техногенные источники связаны с многоплановой деятельностью человека по использованию радиации для производства энергии, оборонных целей, потребностей науки, здравоохранения, контрольных приборов – это далеко не полный перечень. Наибольшую угрозу для безопасности жизнедеятельности имеют последствия радиационных катастроф (АЭС в Чернобыле и Фукусиме), взрывы атомных бомб до запрета испытаний.

Виды ионизирующего излучения

Альфа частицы (ядра гелия), представляют собой часть атома, состоящую из 2-ух протонов и 2-ух нейтронов, имеющую положительный заряд и обладающую большой энергией (и разрушительной силой), но довольно громоздки и потому легко уловимы (даже плотная одежда или лист бумаги является для них преградой, при попадании на кожу частицы застревают в ней). Опасно лишь попадание альфа-частиц с пищей, чего и стоит остерегаться.

Бета-излучение – это поток заряженных частиц (электронов), имеет большую проникающую способность, для защиты от этого вида радиации, понадобится более толстая защита: лист алюминия толщиной в несколько мм, дерево в несколько см и т.д.

Гамма-излучение и близкое к нему по свойствам **рентгеновское излучение**, обладает наибольшей проникающей способностью – это высокоэнергетическое коротковолновое электромагнитное излучение, представляющее собой поток фотонов, имеет нулевой заряд и поэтому не отклоняется при воздействии магнитным полем. Для защиты от такого вида излучения понадобится толстый слой материала с тяжёлыми ядрами (свинец, обеднённый уран, вольфрам). Есть ряд веществ (бор, графит, кадмий), которые способны улавливать гамма-излучение.

Нейтронное излучение – поток электрически нейтральных частиц с достаточно большой массой и высокой энергией. Для защиты от такого вида излучения понадобится толстый слой бетона или парафина.

Единицы измерения радиации

Для количественной характеристики радиации введено большое количество единиц, основные из которых рассмотрим в лекции:

Поскольку радиоактивные элементы все время распадаются, их концентрация в объекте среды (образце) все время уменьшается. Важнейшей характеристикой для определения времени существования радиоактивного элемента является **Период полураспада ($T_{1/2}$)**, промежуток времени, в течение которого количество радиоактивных ядер в среднем уменьшается вдвое. Период полураспада позволяет оценить очень важный для нормирования защиты окружающей среды период, а именно – **через какое время распадется такое количество конкретного радиационного материала, после которого радиация не будет представлять угрозы для объектов окружающей среды и человека. Расчетами и эмпирическим путем доказано что это время равно $10 T_{1/2}$.** Рассмотрим этот критерий в применении к катастрофе на Чернобыльской АЭС (26.04.1986 года), где наибольший экологический вред наносят изотопы цезий – 137 и стронций – 90, для которых $T_{1/2}$ составляет около 30 лет, т.е $10 T_{1/2}$ составит 300 лет, что обезопасит загрязненную зону к 2286 году!!!!

Другой важнейшей количественной характеристикой радиации является **Активность радиоактивного источника в Международной системе единиц (СИ)**. имеет единицу измерения **Беккерель** (русское обозначение: **Бк**; международное: **Bq**) — **Один беккерель определяется как активность источника, в котором за одну секунду происходит в среднем один радиоактивный распад.**

Беккерель — производная единица, имеющая специальное наименование и обозначение, через основные единицы СИ выражается следующим образом:

$$\text{Бк} = \text{с}^{-1}.$$

Беккерель — очень маленькая единица измерения, на практике, как правило, используются кратные единицы, образованные с помощью десятичных приставок. Однако в исследованиях крайне редких радиоактивных процессов используются и дольные единицы (милли- и микробеккерели).

Для измерения активности используется также внесистемные единицы измерения кюри:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк (точно).}$$

$$1 \text{ Бк} \approx 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки.}$$

$$1 \text{ Рд} = 1 \cdot 10^6 \text{ Бк (точно)} = 1 \text{ МБк.}$$

Для измерения удельной (массовой), объёмной и поверхностной активности используются соответственно единицы беккерель на килограмм (Бк/кг), беккерель на кубический метр (Бк/м³), беккерель на квадратный метр (Бк/м²), а также их различные производные (Бк/г, Бк/т; Бк/л, Бк/см³; Бк/м² и т. д.).

Для понимания степени опасности радиации на живые организмы и нормирования порога допустимого воздействия воздействие на живые организмы радиация измеряется в единицах энергии, которая поглощается веществом (выделяется в веществе) при прохождении через него ионизирующего излучения. Поглощённая доза измеряется в грях (Гр), считается, что вещество получило дозу облучения в 1 грэй (Гр), если в результате облучения 1 кг вещества (организма) получил 1 Дж энергии. До перехода к международным единицам использовалась единица Рад, 1 Гр = 100 Рад. Для понимания насколько мала эта доза энергии можно, условно, перевести ее в температуру. **Оценка показывает, что мгновенно поглощенная смертельная доза нагреет тело человека всего на 0,01 градуса. Это доказывает, насколько уязвима жизнь для энергии, преобразованной в радиацию.**

Практические примеры для усвоения материала:

Лампочка 100 Ватт за 1 час совершает работу = $100 \cdot 3600 = 360$ кДж.

Взрослому человеку в среднем требуется 2500 калорий в день. Одна калория = 4,1868 Дж. Следовательно, один человек потребляет **10467** Джоулей в день.

Для того, чтобы подняться человеку массой 80 кг на высоту 3 метра (один этаж) нужно потратить минимум 2400 Джоулей.

.....

Применяется, также такое понятие, как **экспозиционная доза излучения** – величина, показывающая, какой заряд создаёт гамма- или рентгеновское излучение в единице объёма

воздуха (степень ионизации). В международной системе СИ, единицей измерения является "кулон на кг" (Кл/кг),

.....

1 Кл равен заряду $6,24151 \cdot 10^{18}$ электронов

Простой пересчет показывает:

1 г/моль нейтрального вещества содержит $6 \cdot 10^{23}$ молекул

Для того чтобы облучение привело к заряду 1 Кл должно получить отрицательный заряд $6 \cdot 10^{18}$ молекул, т.е. 10^{-5} часть 1 моля, или 1 молекула из 100 тысяч!

.....

Внесистемной единицей измерения является "рентген", или равная ей ещё одна внесистемная единица "бэр". $1 \text{ Кл/кг} = 3880 \text{ рентген (Р)}$.

Эквивалентная доза – доза, рассчитывается с учётом коэффициентов и зависит от вида излучения, например, рентгеновское, гамма, бета-излучения, имеют коэффициент 1, а альфа-частицы 20. Э.д. измеряется в Зивертах,

$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр}$, или бэрах.

В Международной системе единиц (СИ) поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название — **грэй (Гр)**. Для измерения эффективной и эквивалентной доз ионизирующего излучения в СИ используется **зиверт (Зв)**.

1 зиверт — это количество энергии, поглощённое килограммом биологической ткани, равное по воздействию поглощённой дозе гамма-излучения в 1 Гр. Через другие единицы измерения СИ зиверт выражается следующим образом: $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж} / \text{кг} = 1 \text{ м}^2 / \text{с}^2$.

Итого: **$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Зв} = 100 \text{ Бэр} = 100 \text{ Рентген}$.**

Эффективная доза – коэффициент, рассчитываемый индивидуально для каждого органа в зависимости от риска возникновения отдаленных последствий облучения. Э.д. кожи и щитовидной железы – 0.01, для половых органов – 0.2, для лёгких, желудка, кишечника – 0.12, для головного мозга – 0.025, для остальных тканей – 0.05.

Эффективная (эквивалентная) доза годовая – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего излучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Активность. Мерой активности радионуклида в соответствии с системой измерений СИ, является его активность, которая измеряется в Беккерелях (Бк). **Один Бк равен 1 ядерному распаду в секунду.** Кроме того, в качестве меры радиоактивности широко используется несистемная величина Кюри (Ки) – (это активность 1 г радия) и ее производные (милли кюри, микро кюри и т.д.). **Численно 1 Кюри = $3.7 \cdot 10^{10}$ Бк, а 1 Бк = 0.027 нКи (нано Кюри).**

Поглощенная доза – это количество энергии ионизирующего излучения, которое поглощено в элементарном объеме, отнесенной к массе вещества в этом объеме. **Системной единицей является грей (Гр) - поглощенная доза излучения, соответствующая энергии 1 Дж ионизирующего излучения любого вида, переданной облученному веществу массой 1 кг.** Внесистемная единица – рад. Рад - соответствует поглощенной энергии 100 эрг (эрг – единица энергии в системе СГСЕ, $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$) на 1 г вещества, $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$.

Эквивалентная доза. Системная единица – зиверт (Зв). **Зиверт – эквивалентная доза любого вида излучения, поглощенная в 1 кг биологической ткани и создающая такой же биологический эффект, что и поглощенная доза в 1 Гр фотонного излучения;** несистемная - бэр, энергия любого вида излучения, поглощенная в 1 г ткани, при которой наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощенной дозе в 1 рад фотонного излучения, $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Зв}$.

Мощность поглощенной дозы. Под мощностью поглощенной дозы следует понимать приращение дозы в единицу времени: Гр/с; Рад/с.

Период полураспада – время, в течение которого распадается половина ядер радионуклида. Эта величина, обозначаемая $T_{1/2}$, является константой для данного радиоактивного ядра (изотопа). Величина $T_{1/2}$ наглядно характеризует скорость распада радиоактивных ядер и эквивалентна двум другим константам, характеризующим эту скорость: среднему времени жизни радиоактивного ядра (τ) и вероятности распада радиоактивного ядра в единицу времени (λ).

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{T_{1/2}}{0,693} = \frac{1}{\lambda}.$$

Период полураспада может изменяться от миллиардных долей секунды до миллиона и миллиарда лет. Понятие периода полураспада можно применять и к элементарным частицам, испытывающим распад.

.....

Допустимые и смертельные дозы для человека

Правовая основа радиационной безопасности населения России установлена **ФЗ «О радиационной безопасности населения» №3-ФЗ от 09.01.96 г.** в котором раскрыто понятие «радиационная безопасность населения», как состояние защищенности настоящего и будущего поколения людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения» (ст. 1).

В ст. 22 Закона определено право граждан России на радиационную безопасность. Это право обеспечено комплексом мероприятий по предотвращению воздействия на человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов.

Основным нормативным документом, действующем в настоящее время в России, являются **«Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99)** нормативный документ, регламентирующий требования Федерального закона "О радиационной безопасности населения" в форме основных пределов доз, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучения человека. НРБ применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения. Требования и нормативы, установленные Нормами, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для администраций субъектов РФ, органов местного самоуправления, граждан РФ, иностранных граждан и лиц без гражданства, проживающих на территории РФ.

Нормативы радиационной безопасности устанавливаются для двух категорий облучаемых лиц:

- персонал, лица, которые заняты в сфере эксплуатации источников ионизирующего излучения (ИИИ)
- население – лица вне сфер этой деятельности

Ионизирующее излучение не может быть обнаружено органами чувств человека, только техническими средствами. Для регистрации и измерения ионизирующего излучения применяются специальные детекторы-дозиметры – **счетчики Гейгера-Мюллера**.

Естественное фоновое излучение (создается естественными и техногенными источниками) составляет, в зависимости от места 10-30 мкР/час (0,1-0,3 мкЗв/час), уровень в 10 мкР/час даёт дозу облучения за год в 0,8 мЗв. При этом предельно допустимой годовой дозой облучения для населения считается 1 мЗв. Для оценки риска медицинских процедур принято, что за сеанс Флюорографии пациент получает дозу 0,06 мЗв.

В соответствие с п. 3.1.4. НРБ-99 Эффективная (эквивалентная) доза годовая не должна превышать:

- для персонала **1000 мЗв (1 Зв)** за период трудовой деятельности 50 лет;
- для населения **70 мЗв** за период жизни (70 лет)

.....

Пересчет на годовые дозы:

Персонал - $1000/50 = 20 \text{ мЗв/год}$

Население - $70/70 = 1 \text{ мЗв/год}$

Таким образом, Эффективная (эквивалентная) доза (ЭД), полученная персоналом за год от всех источников, как на производстве, так и вне производств, должна превышать нормативный показатель для населения **не более чем в 20-ть раз!**

Для примера Белоруссия:

5.1. Законодательство Республики Беларусь по обеспечению радиационной безопасности населения

Основными документами, регламентирующими воздействие ионизирующих излучений на население являются: Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000),

Согласно этим документам для населения **средняя эффективная доза дополнительного внешнего и внутреннего облучения за календарный год не должна превышать 1 мЗв (0,1 бэр)** или эффективная доза за период жизни (70 лет) - 70 мЗв (7 бэр). Эта доза не включает в себя дозы, создаваемые естественным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами при медицинских процедурах - *Аналогично России.*

В Китае Закон «Радиационный контроль загрязнения окружающей среды»:

- для персонала **2500 мЗв (1 Зв)** за период трудовой деятельности 50 лет;
- для населения **70 мЗв** за период жизни (70 лет)

Пересчет на годовые дозы:

Персонал - $1000/50 = 50 \text{ мЗв/год}$ – в 2,5 раза выше России

Население - $1050/70 = 1,5 \text{ мЗв/год}$

$1050 \text{ мЗв/70 лет} = 15 \text{ мЗв/год}$ – 15 раз выше РФ!!!

Тогда разница персонал/население = 3.3.раза

Важным нормативом установленным НРБ-99 для **персонала**, являются предел годового поступления с воздухом (ПГП) и допустимая объемная активность (ДОВА) в

воздухе отдельных радионуклидов. Рассмотрим эти величины для самых стабильных изотопов:

Радионуклид	Период полураспада	ППП (Бк/год)	ДОО (Бк/м ³)
Калий- 40	$1,28 \cdot 10^9$ лет	$9,5 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^3$
Торий - 232	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	$4,8 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^{-1}$
Уран-238 <i>Соответствуют пределу годового поступления 500 мг/год</i>	$4,47 \cdot 10^9$ лет	$6 \cdot 10^3$	2,4

Кроме того, для населения установлены пределы годового поступления установленны пределы годового поступления с воздухом и пищей (ППП), допустимая объемная активность во вдыхаемом воздухе (ДОО) и уровень вмешательства (УВ) при поступлении с водой отдельных радионуклидов:

Радионуклид	Поступление с воздухом		Поступление с водой и пищей	
	ППП (Бк/год)	ДОО (Бк/м ³)	ППП (Бк/год) <i>вода</i>	УВ (Бк/кг) <i>пища</i>
Калий- 40	$5,9 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^1$	$2,4 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^1$
Торий - 232	$4,0 \cdot 10^1$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^{-1}$
Уран-238	$2,9 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^3$	3,1

Сравнение для воздуха нормативов установленных персоналу и населению показывает их различие в десятки раз более «жесткие» для населения. Например, для урана-238 эта величина составляет 60 раз.

Расчеты весового норматива поступления Уран-238 с водой и пищей показывают:

- ППП с водой 0,7 г U-238/год
- УВ с пищей 0,2 мг U-238/кг пищи

Приложение 5 НРБ-99 устанавливает **Критерии вмешательства** на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий.

3.1. На разных стадиях аварии вмешательство регулируется зонированием загрязненных территорий, основанным на величине годовой эффективной дозы, которая может быть получена жителями в отсутствии мер радиационной защиты. Под годовой дозой здесь понимается эффективная доза, средняя у жителей населенного пункта за текущий год, обусловленная искусственными радионуклидами, поступившими в окружающую среду в результате радиационной аварии.

3.2. На территории, где годовая эффективная доза не превышает 1 мЗв (т.е. норматива установленного для населения), производится обычный контроль радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, по результатам которого оценивается доза облучения населения. Проживание и хозяйственная деятельность населения на этой территории по радиационному фактору не ограничивается. Эта территория не относится к зонам радиоактивного загрязнения.

При величине годовой дозы более 1 мЗв/год загрязненные территории по характеру необходимого контроля обстановки и защитных мероприятий подразделяются на зоны.

3.4. Зонирование на восстановительной стадии радиационной аварии.

3.4.1. Зона радиационного контроля - от 1 до 5 мЗв/год (т.е. до 5-ти кратного норматива ЭД для населения). В этой зоне помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внешнего и внутреннего облучения населения и его критических групп **осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения.**

3.4.2. Зона ограниченного проживания населения - от 5 до 20 мЗв/год (т.е. от $\frac{1}{4}$ до 1 ЭД для персонала). В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, что и в зоне радиационного контроля. **Добровольный въезд на указанную территорию для постоянного проживания не ограничивается. Лицам, въезжающим на указанную территорию для постоянного проживания, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации.**

3.4.3. Зона отселения - от 20 до 50 мЗв (т.е. от 1 до 2,5 ЭД для персонала) **Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляются радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.**

3.4.4. Зона отчуждения - более 50 мЗв (т.е. более 2,5 ЭД для персонала)

В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируются специальными актами. Осуществляются меры мониторинга и защиты работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

Поражение человека радиацией

Воздействие радиации на организм человека, прежде всего, направлено на генетический аппарат клетки. Выделяются три уровня воздействия:

- прямое действия, при котором радиоактивная частица сталкивается с цепочкой ДНК и разрывает ее фактически разрушая механизм деления;

- опосредованное действие при котором радиоактивная частица вызывает образование свободных радикалов воды, которые взаимодействуют с ДНК непредсказуемым образом и разрушает ее структуру;

- ферментативное действие, при котором образованные из поврежденных излучением клеток ферменты разрушают ДНК.

Эти химические воздействия на ДНК приводят к лучевой болезни.

Если, условно, предположить, что сотрудник персонала, например в результате аварии, получит разово всю эффективную дозу нормированную на 50 лет трудовой деятельности - **1 Зв**, то это вызовет у него **лучевую болезнь 1-й степени (легкая форма)**. Симптомы: недомогание, тошнота, головокружение, температура. Обычно эта форма излечивается за 3 недели амбулаторного лечения.

Лучевая болезнь 2-й степени (средней тяжести) возникает после разового получения эффективной дозы **2-4 Зв**. Симптомы заболевания выражены более ярко. Для излечения необходима госпитализация до 2 месяцев.

Лучевая болезнь 3-й степени возникает после разового получения эффективной дозы **4-6 Зв**. Симптомы заболевания выражены в тяжелой форме. Для излечения необходима госпитализация до 8 месяцев.

Лучевая болезнь 4-й степени возникает после разового получения эффективной дозы **7-10 Зв**. Симптомы заболевания выражены в крайне тяжелой форме. Часто заканчивается смертью пораженного человека.

Для защиты населения от источников радиоактивного воздействия в «**Нормах радиационной безопасности**» (НРБ-99) установлены пределы годового поступления с воздухом и пищей допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе и уровне вмешательства при поступлении с водой отдельных радионуклидов для населения. Нормы установлены для всех изотопов, которые могут поступать в организм человека с воздухом, водой и пищей. Как пример рассмотрим изотоп уран-238, с периодом полураспада 4,5 млрд. лет, который содержится в земной коре в количестве 0,0003%, воде и воздухе (пыль). Предел годового поступления с воздухом установлен 290 Бк/год. Допустимая объемная активность изотопа в воздухе составляет 0,04 Бк/куб.м. Предел годового поступления изотопа с пищей 8400 Бк/год. Уровень вмешательства при содержании в воде в питьевой воде 3,1 Бк/л.

Соблюдение нормативов контролируют органы санитарно-эпидемиологического надзора России.

Проблема радона

Основная проблема возможного повышенного облучения населения возникает от радона. Эта проблема локальна и возможна в районах, где геологически залегают граниты с повышенным содержанием урана-238, продуктом распада которого является радон-222. Причем, радиационную опасность представляет не сам радон-222 (период полураспада 4 суток), а дочерние продукты его распада – короткоживущие изотопы висмута, свинца, полония. Они оседают на мелких частицах пыли и попадают в органы дыхания, где распадаются с облучением внутренних органов. Распад вызывает риск возникновения рака.

В соответствие с НРБ-99 для эксплуатируемых зданий объемная активность продуктов распада радона не должна превышать **200 Бк/куб.м.**, для питьевой воды допустима концентрация радона **40 Бк/л.**

На основании геологических исследований определены особо радоноопасные районы России. Город Новосибирск и окрестности, а также некоторые населенные пункты области (п.г.т. Колывань, ст. Мочище, с. Скала) входят в эти районы. Другой ближайший от нас радоноопасный район находится на курорте Белокуриха.

В подземных водах вблизи п.г.т. Колывань выявлены экстремально высокие содержания радона до 10 000 Бк/л, при норме питьевой воды 40 Бк/л (*25-ти кратное превышение нормы*).

Курортные особенности Белокурихи связаны с лечебными слаборадоновыми водами, активность которых при приеме ванн доводится до 5 нКи/л (*по материалам из буклетов*). Пересчет на Бк дает активность:

$$1 \text{ Бк} = 0,027 \text{ нКи}$$

5 нКи в Бк составит: $5/0,027 = 185 \text{ Бк/л}$ или $185/40 = 4,6$ *раз вода в курортной ванне превышает норматив питьевой воды*

Органы санитарно-эпидемиологического надзора контролируют содержание радона в жилых помещениях и на участках строительства. Здесь необходимо отметить, что **факторы риска от радона особенно значимы в подвальных помещениях и на первых этажах зданий. Поскольку радон в 9 раз тяжелее воздуха на более высокие этажи он практически не поднимается. Другой мерой снижения радонового риска является вентиляция, которая снижает содержание радона до безопасных концентраций.**

Для обеспечения радоновой безопасности воды, необходимо обеспечить ее выдержку несколько суток перед употреблением для питья. Это приведет к распаду накопленного радона.

Проведенные на территориях геологически наиболее высокого риска в черте г. Новосибирска измерения концентрации радона в 74 зданиях и сооружениях позволили выявить:

- 9 объектов (это 12% обследованных) высокого риска где объемная активность продуктов распада радона превысила 200 Бк/куб.м.;
- 26 объектов (35%) среднего риска – от 50 до 200 Бк/куб.м.;
- 40 объектов (54%) низкого риска – менее 50 Бк/куб.м.

Риски развития рака легких при проживании в доме в повышенной концентрацией радона в атмосфере помещений (США).

Всемирная организация здравоохранения (WHO, 2009) констатирует, что:

- Радон является второй по значимости причиной рака легких во многих странах в зависимости от среднего уровня концентрации радона на территориях.
- **Радон является основной причиной рака легких среди некурящих людей, но в первую очередь вызывает рак легких у курильщиков.**
- Основная причина рака легких – вовсе не высокие концентрации радона, а средние или умеренные его концентрации в жилых помещениях. Не известен пороговый уровень концентрации радона, экспозиция которому не несет никакого риска.

Радон является причиной 10% случаев возникновения рака легких в США и является второй по величине причиной возникновения рака легких после курения. По данным Института онкологии США, внутренне облучение радоном уносит больше жизней в США, чем пожары, наводнения и авиакатастрофы вместе взятые. Прямые и косвенные расходы в США на лечение радон-индуцированного рака легких составляют 2 миллиардов долларов в год.

Для того чтобы осознать реальные риски от проживания в доме с повышенной концентрацией радона в атмосфере помещений, обратимся к данным американского Агентства по охране окружающей среды (EPA, 2012):

Таблица №1. Оценка рисков при проживании в помещении с повышенной концентрацией радона

Концентрация радона в помещениях, пКи/л	Количество человек (курящих) на 1000 человек, у которых может развиваться рак легких в течение жизни	Количество человек (некурящих) на 1000 человек, у которых может развиваться рак легких в течение жизни	Сравнение вероятности риска развития рака легких с другими факторами рисков, курящие/некурящие	Необходимые мероприятия для снижения риска развития рака легких
20 (740 Бк/м ³)	260	36	В 250 / 35 раз вероятнее, чем смерть от утопления.	Бросить курить (для курящих) и защитить дом от поступления радона.
10	150	18	В 200 / 20 раз вероятнее, чем смерть при пожаре.	Бросить курить (для курящих) и защитить дом от поступления радона.
8	120	15	В 30 / 4 раз вероятнее, чем смерть от падения.	Бросить курить (для курящих) и защитить дом от поступления радона.
4	62	7	В 5 / 1 раз вероятнее, чем смерть в ДТП.	Бросить курить (для курящих) и защитить дом от поступления радона.
2	32	4	В 6 / 1 раз вероятнее, чем смерть от отравления.	Снижение концентрации радона ниже 2 пКи/л технически затруднительно.
1,3	20	2		
0,4	Средний уровень концентрации радона в атмосферном воздухе вне помещений.			

Радонопасные территории и территории с повышенной концентрацией радона в России

Установить насколько безопасен ваш дом, расположенный в конкретном месте вне зависимости от того классифицируется ли регион как радонопасный или нет, возможно только с помощью приборного исследования атмосферы в помещениях. По данным Федеральной службы России по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в 2010 году были выявлены критические группы населения, дозы

облучения которых значительно превышают средние по Российской Федерации за счет высокой концентрации изотопов радона в воздухе жилых помещений.⁴ Такие группы населения были выявлены в Республике Тыва, в Алтайском крае (9,54 мЗв/год), в Еврейской АО (7,20 мЗв/год), в Воронежской и Кемеровской областях. Высокие показатели годовых эффективных доз облучения населения также отмечались в республиках Бурятия, Ингушетия, Калмыкия, Северная Осетия, Тыва, в Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республике, в Ставропольском крае, в Ивановской, Иркутской, Калужской, Кемеровской, Липецкой, **Новосибирской**, Ростовской и Свердловской областях. На основании геологического районирования Европейской части России по степени радоноопасности выделяются следующие радоноопасные территории: Ленинградская область, часть Карелии, Мурманской, Вологодской, Архангельской, Уфимской, Курганской, Свердловской и Оренбургской областей. Потенциально радоноопасными являются следующие территории Европейской части России: части республики Коми, части Самарской, Ульяновской, Саратовской, Пензенской, Тамбовской, Воронежской, Рязанской, Липецкой, Курской, Белгородской, Орловской, Тульской, Брянской, Калужской, Смоленской, Тверской, Новгородской, Псковской, Ростовской областей, Краснодарского края, Ставропольского края, республики Калмыкии.

Конструкционные способы защиты дома от радона

В отечественных строительных нормах и правилах необходимость защиты дома от радона предусмотрена в следующих документах:

1. Пункт 4.18 СП 50-101-2004 "Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений": На участках, где по данным инженерно-экологических изысканий имеются выделения почвенных газов (радона, метана, торина), должны быть приняты меры по изоляции соприкасающихся с грунтом конструкций или другие меры, способствующие снижению концентрации газов в соответствии с требованиями санитарных норм.

2. Согласно пункта 5.1.6 СП 2.6.1.2612-10 "Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)" при выборе участков территорий под строительство зданий жилищного и общественного назначения выбираются участки с мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения менее 0,3 мкЗв/ч и плотностью потока радона с поверхности грунта не более 80 мБк/(м²/с). При проектировании здания на участке с мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения выше 0,3 мкЗв/ч, плотностью потока радона с поверхности грунта более 80 мБк/(м²/с) в проекте должна быть предусмотрена система защиты здания от повышенных уровней гамма-излучения и радона.

3. СП 31-105-2002 "Проектирование и строительство энергоэффективных одноквартирных жилых домов с деревянным каркасом" (раздел 5.9 Защита от почвенных газов): 5.9.1 При наличии на площадке строительства грунтовых газов конструкции помещений (кроме гаражей и неогражденных участков дома), соприкасающиеся с грунтом (стены подвалов, полы по грунту, покрытия подземных сооружений), должны иметь изоляционный слой для предотвращения проникновения грунтовых газов. Функции изоляционного слоя могут выполнять влагоизоляционные и гидроизоляционные слои. Там, где не имеется этих слоев, изоляционный слой может выполняться из пароизоляционного материала, например, из полиэтиленовой пленки толщиной 0,15 мм. (Внимание! По данным зарубежных исследований полиэтиленовая пленка является худшим вариантом защиты от радона среди других полимерных пленок!)

4. Требования по обеспечению радиационной безопасности при строительстве в Московской области ТСН РБ-2003 МО ТСН, 23-354-2004 МО. Способы защиты дома от радона подробно описываются в таких документах как Пособие по проектированию противорадоновой защиты жилых и общественных зданий (Гулабянц Л. А., 2013)⁶, Пособие к МГСН 2.02-97 "Проектирование противорадоновой защиты жилых и общественных зданий" и в "Методических рекомендациях по проектированию защиты от радона новых жилых, общественных и коммунальных зданий", разработанных Лабораторией охраны недр ГУП Институт «БашНИИСтрой» по заданию МУП ИСК г. Уфы.

Принципиально пониженное содержание радона во внутренней атмосфере помещений может быть обеспечено за счет:

- выбора для строительства участка с низким выделением радона из грунтов;
- применения ограждающих конструкций, эффективно препятствующих проникновению радона из грунтов в здание;
- снижение концентрации радона с помощью вентиляции или препятствие его поступлению с помощью создания подпора давления внутри помещения.

Противорадоновая защита здания может быть пассивной (в виде повышения сопротивления конструкций переносу радона в помещение) или активной, заключающейся в отведении или удалении насыщенного радонов воздуха из грунтов под зданием или из помещений.

Устраивать пассивные препятствия проникновению радона в помещения путем диффузии (при разнице концентрации радона в его источнике и помещении) можно используя барьеры для проникновения радона из материалов с низкими значениями коэффициента диффузии радона. Для уменьшения поступления радона в помещение с конвекцией, обусловленной разностью плотностей смеси газов в источнике и в помещении

(например, в подполье и в комнате) применяются различные способы уплотнения и герметизации стыков и швов между элементами конструкций и в местах прохода коммуникаций.

Перечень общих рекомендуемых сочетаний технических решений защиты зданий от радона согласно Пособия к МГСН 2.02-97 приведены в таблице:

Таблица №2 Перечень рекомендуемых сочетаний технических решений противорадиной защиты (порядок расположения в таблице - от менее эффективных к более эффективным)

№	Типы технических решений и их сочетания	Используемые элементы конструкций и / или оборудование
1	Естественная вентиляция подвальных помещений и подполий	Вентиляционные проемы в цокольных стенах, обеспечивающие кратность воздухообмена в зимнее время не менее 0,5 м ³ /ч. В радоноопасных районах суммарная площадь продухов для вентиляции подвала должна составлять минимум 1/100 – 1/150 от площади подвала [пункт 3.1 Пособие к МГСН 2.02-97].
2	Принудительная вентиляция подвальных помещений и подполий	Система принудительной приточно-вытяжной вентиляции, обеспечивающие кратность воздухообмена в зимнее время не менее 1,0 м ³ /ч.
3	Покрытие	Защитный слой из бетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, покрытие из мастичного материала (Вента-У, Битурэл, Гикром, Гидрофор, Поликров и т.п.), выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка
4	Мембрана	Защитный слой из бетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 1-2 слоя рулонного гидроизоляционного материала (Унифлекс, Бикроэласт, Биполь, Техноэласт, Стеклоизол и т.п.), выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка.
5	Барьер	Сплошная монолитная плита из трещиностойкого железобетона, бетонная подготовка, песчаная подсыпка.
6	Барьер + покрытие	Сплошная монолитная плита из трещиностойкого железобетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 2-3 слоя мастичного материала, выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка.
7	Барьер + мембрана	Сплошная монолитная плита из трещиностойкого железобетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 2-3 слоя рулонного гидроизоляционного материала, выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка
8	Барьер + мембрана (покрытие) + коллектор радона + депрессия коллектора естественной вытяжки	Сплошная монолитная плита из монолитного железобетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 2-3 слоя рулонного гидроизоляционного материала (или обмазочного материала), выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, стяжка из тощего

	почвенного газа	бетона, слой гравия + вытяжные трубы, песчаная подсыпка.
9	то же + депрессия коллектора путем принудительной вытяжки почвенного газа	то же + вентиляционное оборудование

Противорадоновые мероприятия в проектируемых и строящихся зданиях

Основными противорадоновыми мероприятиями в проектируемых и строящихся зданиях являются:

1. Создание положительной разности давлений между конструкцией здания и наружной атмосферой;
2. Герметизация путей поступления радона в здание;
3. Депрессия почвенного основания фундамента.
4. Вентиляция помещений и подполий.

Приборы и методики определения радона будут рассмотрены на практических работах.