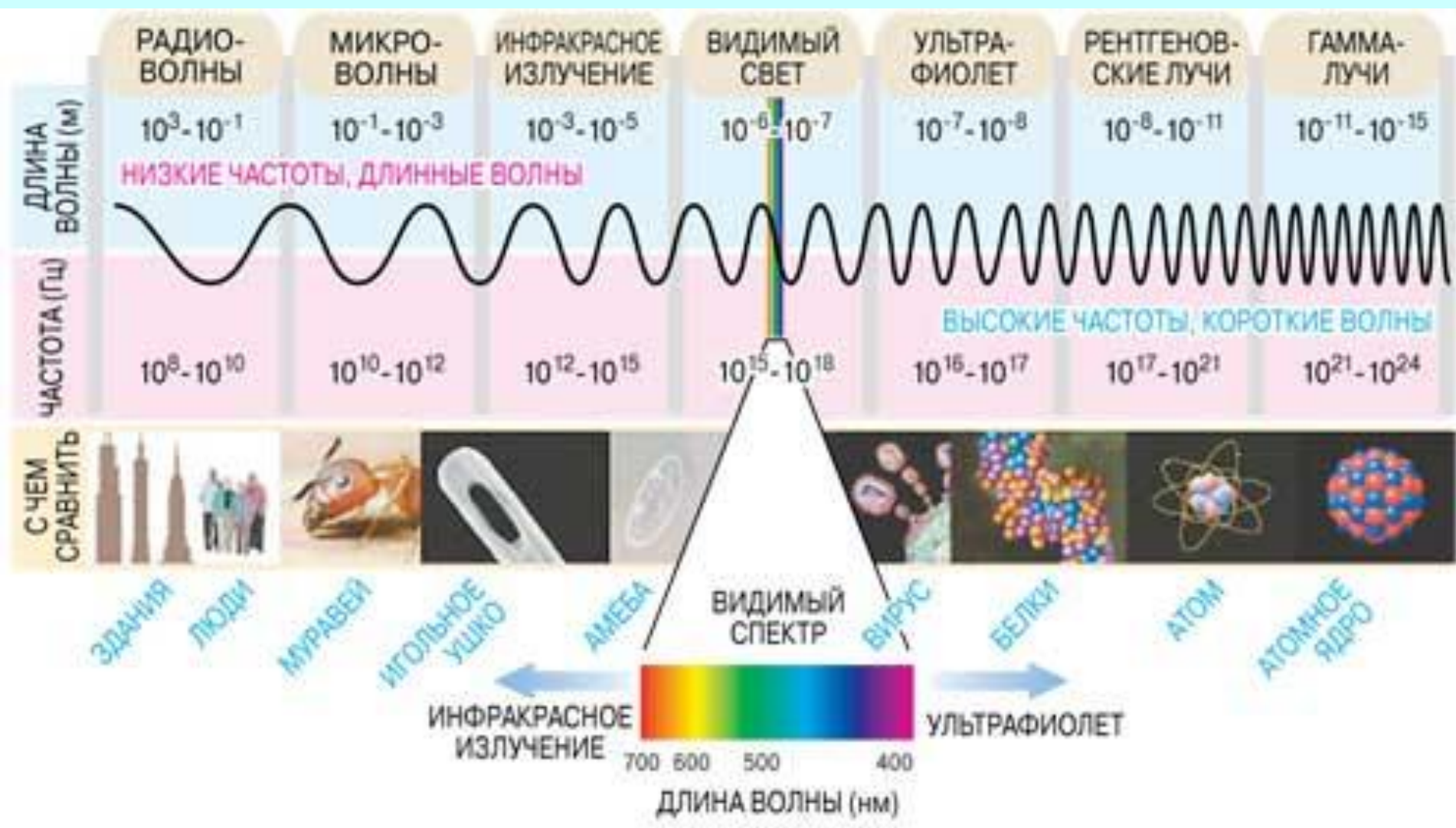


# **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ**

## **Лекция № 4**

### **Понятие дозы**

**Лащёнова Татьяна Николаевна  
Д-р биол.наук, канд.хим. наук,  
Профессор экологического факультета РУДН**



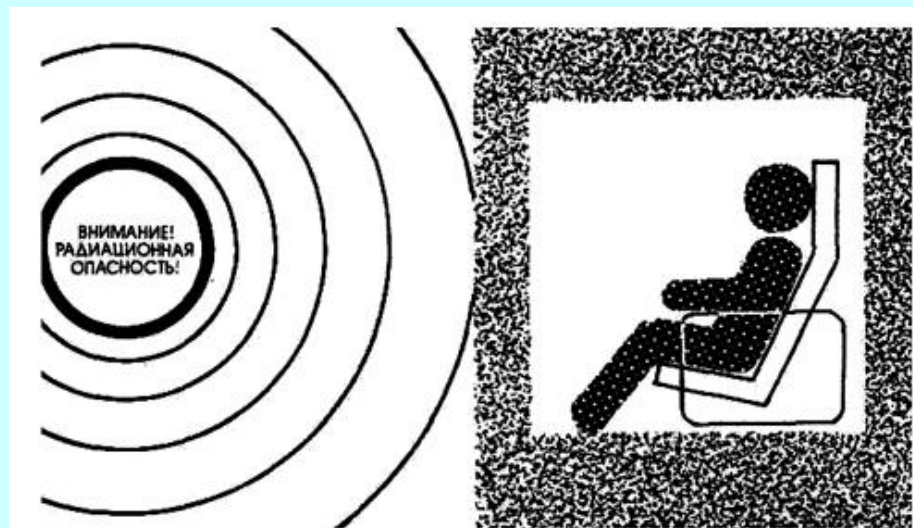
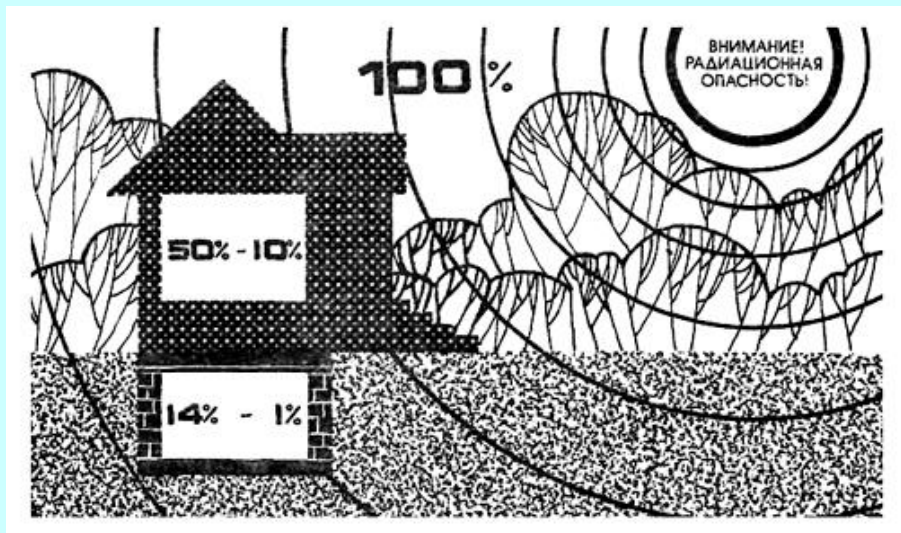
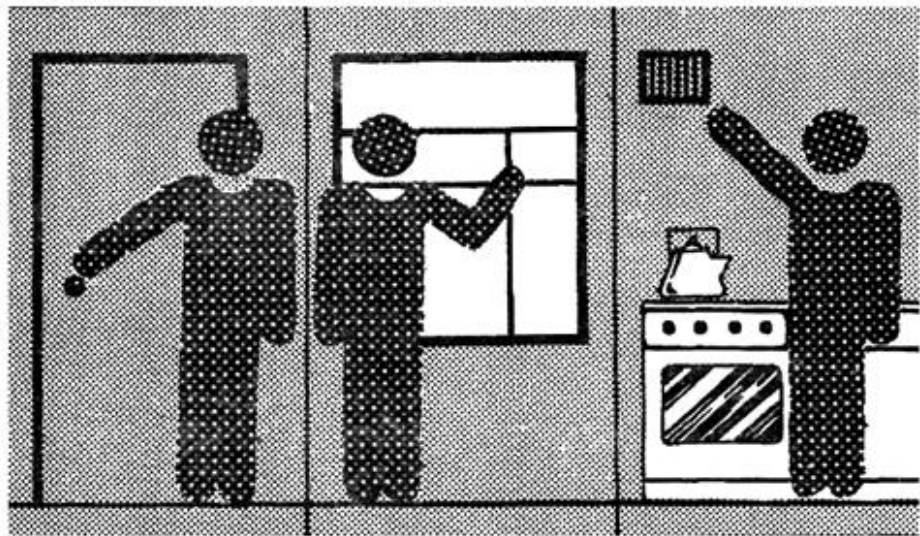
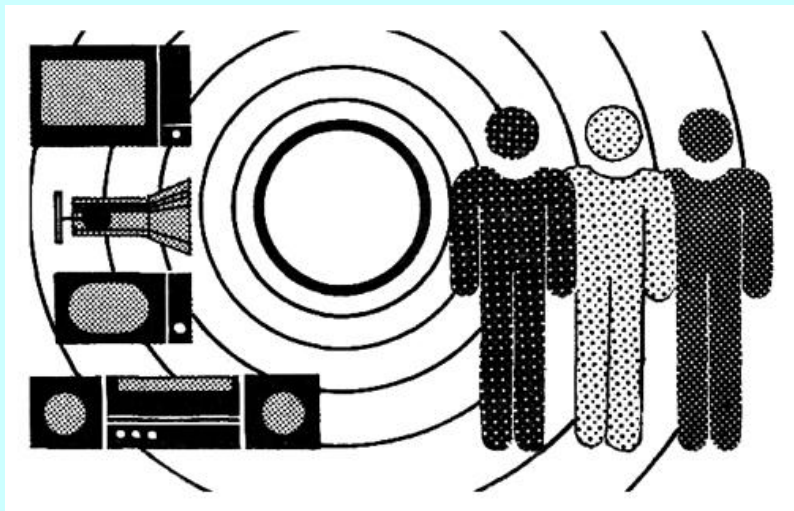


Рис. 5. Рекомендуем максимальное время находиться в помещении. Выходите на улицу только при крайней необходимости. Не ходите по обочинам дорог, по траве, в лес.

# Общее понятие поглощенной дозы

**Доза излучения (поглощенная доза) - энергия излучения, поглощенная в единице массы вещества (материи).**

**При одинаковых условиях облучения поглощенная доза зависит от вида облучаемого вещества.**

**Различают дозу в воздухе, дозу на поверхности (кожная доза) и в глубине облучаемого объекта (глубинная доза), очаговую и интегральную (общая поглощённая) дозы.**

# Энергетическое понятие поглощённой дозы (D)

Поглощённая доза (D) - величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу.

При воздействии на любую материю, разную по химическому составу, гамма-квантов или других частиц, которые имеют одинаковую энергию, единица массы вещества, поглощает разное количество энергии.

Для определения физического эффекта облучения в любой среде, в том числе и в биологических тканях. ввели универсальную единицу для любого вида ионизирующего излучения.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

где  $dE$  – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объёме  $dm$ ;  
 $dm$  – масса вещества в этом объёме.

## Единицы измерения поглощенной дозы

В системе СИ принят джоуль на килограмм ***Дж/кг*** – это такая поглощенная доза, при которой в 1 кг массы облученного вещества поглощается 1 Дж энергии излучения.

Этой единице присвоено собственное наименование Грей [Гр]

$$1 \text{ Дж/кг} = \text{Гр}$$

Внесистемная единица поглощенной дозы – рад.

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} \quad 1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$$

**Льюис Харольд Грэй  
(1905-1965)**



**британский физик,  
один из основателей  
радиобиологии.  
Исследовал  
биологическую  
эффективность  
излучений, ввёл  
понятие поглощённой  
дозы**

## Поглощенная доза. Производные единицы измерения

Единица *рад* (rad – radiation absorbent dose) – поглощенная доза любого вида ионизирующего излучения, при которой в 1 г массы вещества поглощается энергия излучения, равная 100 эрг.

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$$

Производные единицы *рад*:

*килорад* (1 *крад* =  $10^3$  *рад*),

*миллирад* (1 *мрад* =  $10^{-3}$  *рад*),

*микрорад* (1 *мкрад* =  $10^{-6}$  *рад*).



# **Дозы облучения для биологических объектов**

**Установлено, что биологическое действие одинаковых доз различного вида излучения на организм неодинаково.**

**Это связано с удельной ионизацией излучения. Чем выше удельная ионизация, тем больше поражение биологической ткани.**



**Рольф  
Максимилиан  
Зиверт (1896-1966)**

**шведский  
радиофизик,  
изучавший  
воздействие  
радиационного  
излучения на  
биологические  
организмы, один из  
родоначальников  
радиобиологии.**

# Дозы облучения для биологических объектов

**ЭКВИВАЛЕНТНАЯ  
ДОЗА (H)**

$$H = D \cdot W_R$$

зиверт [Зв]  
1 Зв = 100 бэр

**ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА  
(E)**

$$E = H \cdot W_T$$

зиверт [Зв]  
1 Зв = 100 бэр

# Эквивалентная доза

Рассчитывается эквивалентная доза путем умножения поглощенной дозы  $D$  в органе или ткани на соответствующий взвешивающий коэффициент  $W_R$  для данного вида излучения:

$$H = D \cdot W_R,$$

$W_R$  - взвешивающий коэффициент для отдельных видов излучения

Коэффициент  $W_R$  показывает, во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или гамма-излучения при одинаковой поглощенной

# Эквивалентная доза

**Введена для характеристики неблагоприятных последствий воздействия излучения на человеческий организм.**

**Эквивалентная доза характеризует максимальное воздействие излучения на все тело (органы или ткани).**

**Для бета (гамма)-излучения коэффициент качества излучения равен 1.**

**Для альфа-излучения -20.**

# Взвешивающие коэффициенты $W_R$ для отдельных видов излучения

Излучение	$W_R$
Фотоны любых энергий	1
Электроны любых энергий	1
Нейтроны с энергией <10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжёлые ядра	20

# Эквивалентная доза

При воздействии различных видов излучений эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучений:

$$H = \sum_R H_R = \sum_R D_R \cdot W_R$$

## Эквивалентная доза. Единицы измерения

Единица измерения эффективной дозы имеет специальное наименование - **Зиверт (Зв)**.

В системе СИ за единицу измерения эквивалентной дозы принят *Зиверт [Зв]*;

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг} \cdot WR$$

Внесистемная единица эквивалентной дозы – биологический эквивалент рентгена – **бэр**

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$



## Эквивалентная доза.

Производные единицы измерения

**На практике используют дольные единицы:**

**миллизиверт ( $1 \text{ мЗв} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Зв}$ ),**

**микрозиверт ( $1 \text{ мкЗв} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Зв}$ ),**

**нанозиверт ( $1 \text{ нЗв} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Зв}$ ),**

**$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$**

**миллибэр ( $1 \text{ мбэр} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ бэр}$ ),**

**микробэр ( $1 \text{ мкбэр} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ бэр}$ ),**

**нанобэр ( $1 \text{ нбэр} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ бэр}$ ).**

# Эффективная доза

Эффективная доза (E)- величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органе  $H_T$  на соответствующий взвешивающий коэффициент

для данного органа или ткани  $W_T$ :

$$E = \sum_T H_T \cdot W_T$$

где  $H_T$  - эквивалентная доза в органе  $T$  с

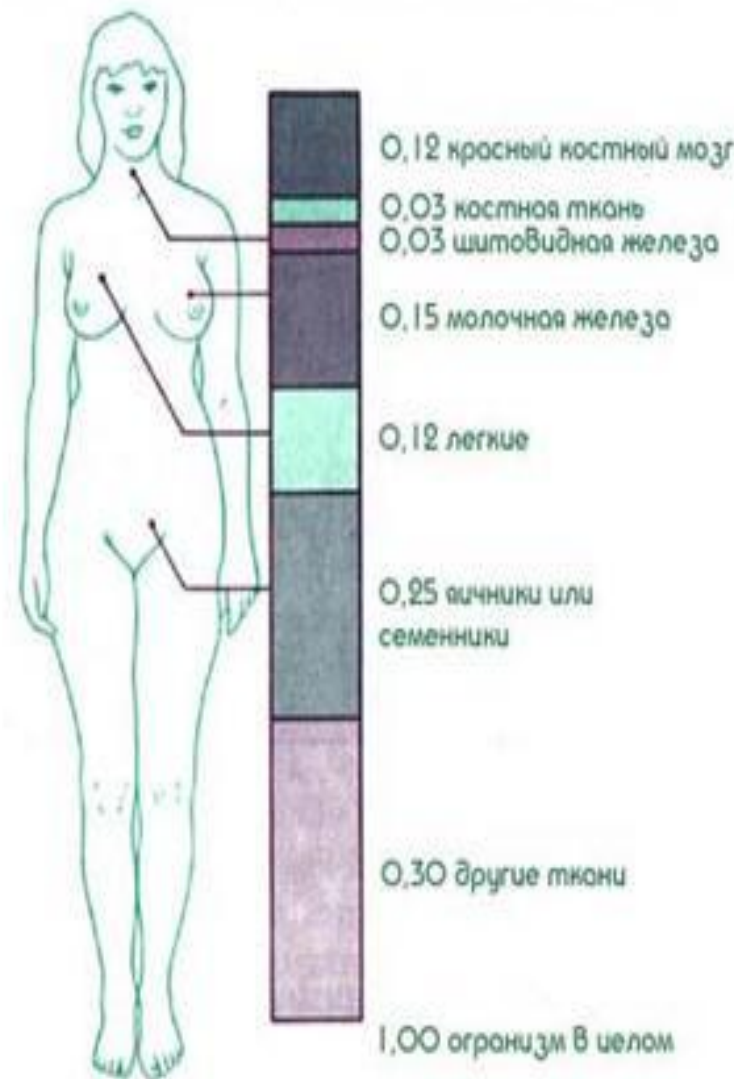
# Эффективная доза. Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы  $W_T$  используются в радиационной защите для учёта различной предрасположенности разных органов и тканей к возникновению стохастических эффектов действия ионизирующих излучений.

Наиболее чувствительны к радиации гонады, костный мозг, лёгкие и желудочно-кишечный тракт. Это означает, что при облучении именно этих органов существует наибольшая вероятность неблагоприятных последствий для организма: бесплодия, злокачественных новообразований и т.д.

# Взвешивающие коэффициенты $W_T$ для тканей и органов

Ткани и органы	$W_T$
Гонады	0,2
Красный костный мозг	0,12
Лёгкие	0,12
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Всё тело	1



# Эффективная доза. Единицы измерения

Единица измерения эффективной дозы системе СИ принят Зиверт [Зв];

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг} \cdot W_T$$

*Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (WR)* - используемые в радиационной защите множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании

*Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (WT)* - множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации.

# Соотношение эффективной и эквивалентной дозы

Сумма всех коэффициентов  $W_T$  равна единице.

То есть, при облучении всего тела произойдет наибольшее поражение организма, и эффективная доза численно будет равна эквивалентной.

Эквивалентная доза  $H_T = E_T$  - эффективная доза при поражении всего организма

## Мощность дозы.

Мощность дозы (интенсивность облучения) — приращение соответствующей дозы под воздействием данного излучения за единицу времени.

Имеет размерность соответствующей дозы (**поглощенной, эффективная, эквивалентной экспозиционной и т. п.**), делённую на единицу времени.

Допускается использование разных производных специальных единиц:

**Зв/час, мЗв/час, мЗв/год,  
бэр/мин, сЗв/год и др.**



# Коллективная доза

Рассмотренные выше понятия дозы описывают только индивидуально получаемые дозы.

При необходимости изучения эффектов действия ионизирующих излучений на большую группу людей вводится понятие *коллективной эффективной или эквивалентной дозы*.

*Коллективная доза* равна сумме индивидуальных эффективных эквивалентных доз и измеряется в *человеко-зивертах [чел-Зв]*.

# Экспозиционная доза

Измерить ионизацию непосредственно в глубине тканей живого организма трудно.

Для количественной характеристики рентгеновского и гамма-излучений, действующих на объект, введена *экспозиционная* доза, которая характеризует ионизирующую способность рентгеновских и гамма-лучей в воздухе.

От экспозиционной дозы с помощью соответствующих коэффициентов переходят к дозе, поглощенной в объекте.

Экспозиционная доза применяется только для воздуха и энергий фотонного излучения не выше 3 МэВ.

## Экспозиционная доза.

За единицу экспозиционной дозы в СИ принят

**кулон на килограмм [Кл/кг],**

Это такая интенсивность рентгеновских и гамма-лучей, при которой в 1 кг сухого воздуха образуются ионы, несущие заряд в один кулон электричества каждого знака.

**Рентген** - такая доза фотонного (рентгеновского и гамма-излучения), при которой в 1 см<sup>3</sup> сухого атмосферного воздуха, в результате ионизации образуется количество пар ионов ( $2,08 \cdot 10^9$ ) с суммарным зарядом равным

# Экспозиционная доза

**излучения** - величина, используемая для оценки воздействия ИИ на любые вещества, ткани и живые организмы по величине ионизации воздуха



**Экспозиционная доза (X)** – мера ионизирующей способности фотонного излучения в воздухе,

[Кл/кг].  $1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} Кл/кг$

- **Мощность дозы экспозиционной дозы.**  
Мощность экспозиционной дозы - мкР/ч
- $1 мкР/ч = 0,01 мкЗв/ч$

## Единицы измерения экспозиционная доза

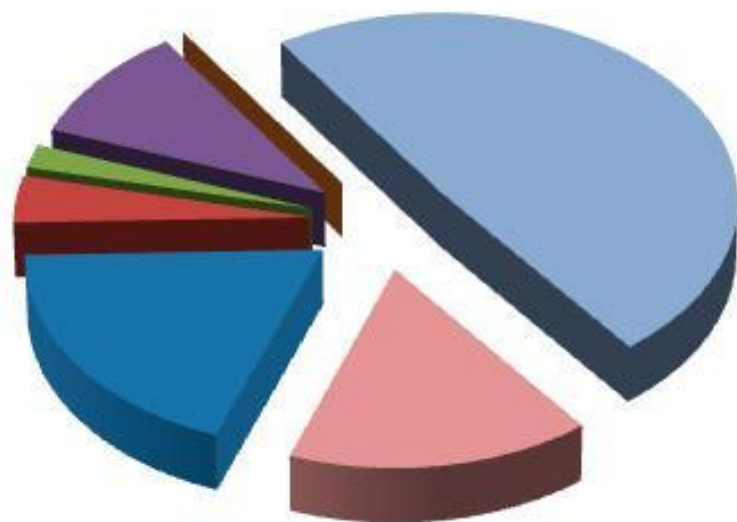
На практике чаще применяют внесистемную единицу – *рентген* ( $1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ ), принятую в 1928 г.

*Рентген [R]* – экспозиционная доза рентгеновского или гамма-излучения, при которой в 1 см<sup>3</sup> воздуха (0,001293 г сухого воздуха) при нормальных условиях (0 °С и 1013 ГПа) образуется  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов.

На образование одной пары ионов в воздухе в среднем затрачивается 34 эВ, энергетический эквивалент рентгена в 1 см<sup>3</sup> воздуха составляет  $2,08 \cdot 10^9 \cdot 34 = 7,08 \cdot 10^4 \text{ МэВ} = 0,114 \text{ эрг}$ , или в 1 г воздуха 88 эрг ( $0,114/0,001293 = 88 \text{ эрг}$ ).

Производные единицы рентген: *килорентген* ( $1 \text{ кР} = 10^3 R$ ), *миллирентген* ( $1 \text{ мР} = 10^{-3} R$ ), *микрорентген* ( $1 \text{ мкР} = 10^{-6} R$ )

## Распределение вклада дозообразующих факторов в общую дозу облучения населения



- медицинские исследования 18,9%
- содержащийся в организме  $^{40}\text{K}$  4,32%
- пища и питьевая вода 1,52%
- космическое излучение 10,15%
- деятельность предприятий использующих ИИИ 0,03%
- глобальные выпадения 0,13%
- радон 48,75%
- внешнее  $\gamma$ -излучение 16,2%

**Спасибо за внимание!**