

## **Тема 4. Аварии на радиационноопасных объектах** (занятия 4.1-4.4)

### **Занятие 4.1. Опасности радиационных аварий**

#### *Часть 1. Радиоактивность и связанные с ней ионизирующие излучения*

1. Активность радионуклидов
2. Виды ионизирующих излучений (ИИ)
3. Дозовые характеристики ИИ
4. Биологическое действие ИИ
5. Эффекты воздействия ИИ на людей
6. Лучевая болезнь
7. Государственное регламентирование в области использования

# 1. Активность радионуклидов

Атомы одного и того же химического элемента отличающиеся массой (т.е. количеством нейтронов в ядре при равном количестве протонов) называются **изотопами** этого элемента. Среди этих изотопов один является устойчивым изотопом, тогда как остальные способны самопроизвольно распадаться, превращаясь в другие изотопы. Распад сопровождается излучением различной природы, поэтому **неустойчивые изотопы названы радиоизотопами** (от лат. radio – излучать), их ядра - **радионуклидами**, а процесс самопроизвольных превращений - **радиоактивностью** (иногда более кратко – **активностью**).

Процесс радиоактивности в любом конкретном образце вещества характеризуется числом распадов радионуклидов, измеренным на временном интервале, причем интенсивность процесса со временем уменьшается. Поскольку **каждый радиоизотоп распадается со строго определенной скоростью**, которая может характеризоваться либо **периодом полураспада** ( $T_{1/2}$ ), т.е. временем, в течение которого распадается половина всех радионуклидов в образце, либо **постоянной распада**  $\lambda$ , т.е. долей распадающихся в единицу времени радионуклидов от их общего числа, то **изменение радиоактивности образца любого радиоизотопа описывается законом радиоактивного распада:**

$$A(t) = A(t_0) \cdot e^{-\lambda t} = A(t_0) \cdot 2^{-t/T_{1/2}}, \text{ где}$$

$A(t_0)$  – активность образца радиоизотопа в момент времени ( $t_0$ );

$\lambda$  - постоянная распада данного радиоизотопа.

Период полураспада и постоянная распада связаны зависимостью:  $\lambda = (\ln 2) / T_{1/2} = 0,693 / T_{1/2}$

Единицей активности в системе СИ является **беккерель (Бк)**, равный одному распаду в секунду **1 Бк = 1 расп/с**.

Внесистемной единицей активности является **кюри (Ки)**, которой соответствует активность 1г радия: **1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк**.

## 2. Виды ионизирующих излучений

Радиоактивность сопровождается различными излучениями, воздействие которых на среду приводит к ионизации атомов и молекул, за что они были названы **ионизирующими излучениями**.

- **$\alpha$  - частицы являются ядрами гелия, лишенными электронных оболочек.**  $\alpha$  – частицы ( $\text{He}^{++}$ ) обладают массой, определяемой массовым числом  $A$ , равным 4 (т.к. состоят из двух протонов и двух нейтронов), и электрическим зарядом  $+2e$ . Начальная скорость  $\alpha$  - частиц составляет 10 - 20 тыс.км/с, энергия в момент вылета 4 - 9 МэВ.  $\alpha$  - частица обладает очень высокой ионизирующей и очень низкой проникающей способностью .  **$\beta$  - частицы - это электроны (иногда и позитроны)** со скоростями близкими к световой и энергиями от нескольких кэВ до 3 МэВ. **Ионизирующая способность  $\beta$  - частиц умеренная, а проникающая -- низкая .**
- **$\gamma$  - излучение представляет собой поток энергетических квантов электромагнитной энергии (фотонов) с длинами волн  $\lambda=10^{-5}$ -: $10^{-7}$  мкм ( $\lambda =10^{-1}$ -: $10^{-3}$ А<sup>0</sup>) и энергиями от нескольких десятков кэВ до нескольких МэВ и нулевой массой покоя.**
- **$\gamma$ -кванты обладают очень высокой проникающей и умеренной ионизирующей способностью.**

# Области ЭМ-излучений и их воздействие на вещество среды

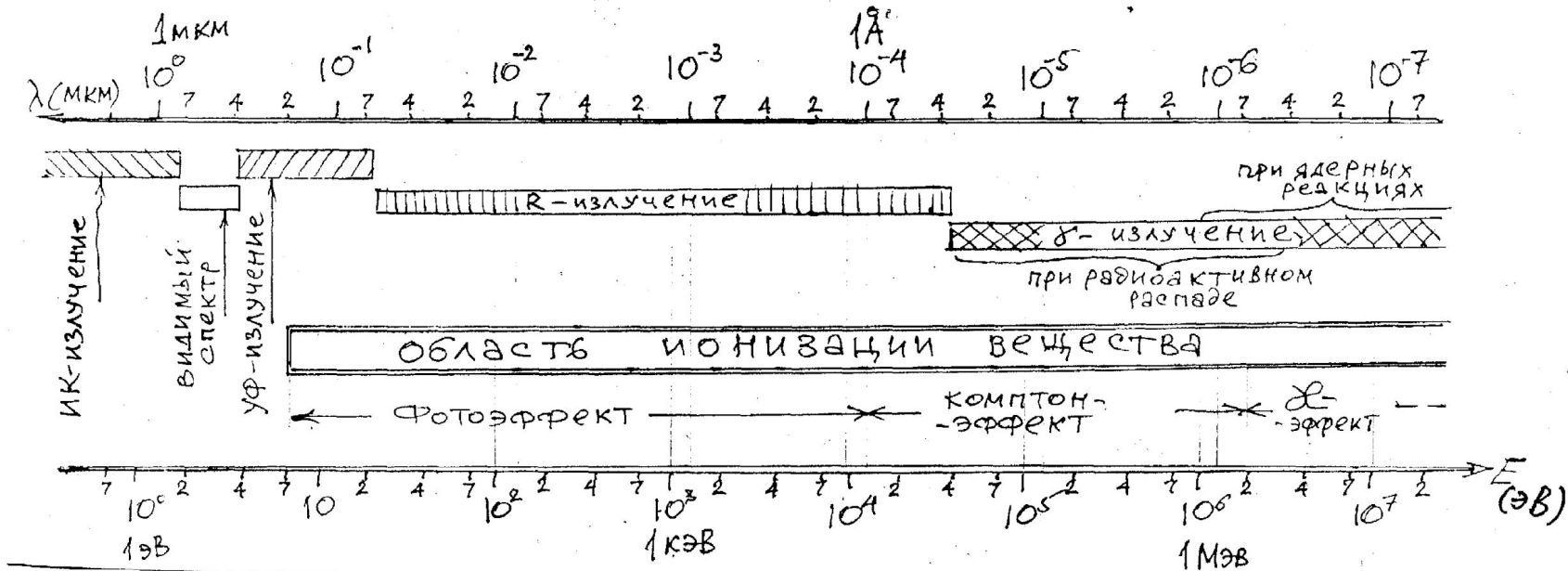


Рис.1. Области ЭМ-излучений и их воздействие на вещество среды.

# Дозовые характеристики ионизирующих излучений (часть I)

**Экспозиционная доза (X)** - количественная характеристика поля ионизирующего излучения, характеризующая его ионизирующие возможности.

Единицей экспозиционной дозы является **рентген (R)**, под воздействием которого в  $1 \text{ см}^3$  сухого воздуха при атмосферном давлении и температуре  $+18^\circ\text{C}$  возникают ионы, несущие суммарный заряд в 1 электростатическую единицу каждого знака, что соответствует  $2,083 \cdot 10^9$  пар ионов.

В практической дозиметрии применяется удобное правило: **доза в 1 R накапливается за 1 час на расстоянии 1 м от источника радия массой 1 г, т. е. имеющего активность  $\sim 1 \text{ Ки}$**

# Дозовые характеристики ионизирующих излучений (часть II)

**Поглощенная доза (D)** – количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела.

Грей равен дозе излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия, равная 1 Дж, т.е. 1 Гр = 1 Дж/кг.

Внесистемной единицей поглощенной дозы является **рад**:  
 $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г}$  или  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ , т.е.

$$D_{(\text{Гр})} = 0,01 D_{(\text{рад})}.$$

В СИ единица поглощенной дозы – **грей (Гр)**.

Для биологической ткани в поле рентгеновского или  $\gamma$ -излучения поглощенная доза 1 рад примерно равна экспозиционной дозе 1 Р:  $1 \text{ Р} \approx 1 \text{ рад}$  (точно:  $1 \text{ Р} = 0,93 \text{ рад}$ ), т.е. можно принять  $X_{(\text{Р})} = D_{(\text{рад})}$ .

Часто в поле излучения между источником и облучаемым объектом может находиться экран, ослабляющий энергию, достигающую объект. В этом случае связь между экспозиционной и поглощенной дозами будет:

$$D_{(\text{рад})} = X_{(\text{Р})} / K_{\text{осл}}$$

$$K_{\text{осл, или}} X_{(\text{Р})} = K_{\text{осл}} \cdot D_{(\text{рад})}.$$

где  $K_{\text{осл}}$  – коэффициент ослабления экранирующего тела.

# Дозовые характеристики ионизирующих излучений

( часть III)

На биологические объекты *равные поглощенные дозы различных видов ионизирующих излучений могут оказывать разный радиационный эффект.*

Для учета таких эффектов, производимых одинаковой поглощенной дозой разных видов (r) ионизирующих излучений, медицина ввела понятие **эквивалентной дозы (H)** и **взвешивающих коэффициентов ( $W_r$ )**, для каждого излучения:

$$H = W_r \cdot D,$$

где  $W_r$  – *взвешивающий коэффициент, равный отношению поглощенной дозы эталонного R-излучения, вызывающей определенный радиобиологический эффект, к дозе данного излучения, вызывающей тот же эффект* (см. табл.).

В системе СИ единицей эквивалентной дозы является **зиверт (Зв)**

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг},$$

а внесистемной единицей - **бэр** (биологический эквивалент рада),

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}.$$

# Взвешивающие коэффициенты $W_r$ для отдельных видов излучения

Вид излучения	$W_r$
Рентгеновское, гамма-излучение	1
Бета-излучение, электроны и позитроны	1
Нейтроны с энергией меньше 10 кэВ	5
Нейтроны с энергией от 10 кэВ до 100 кэВ	10
Нейтроны с энергией от 100 кэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны с энергией более 20 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления	20



# Дозовые характеристики ионизирующих излучений (часть IV)

Для учета меры риска от последствий облучения **отдельных органов человека** медицина ввела понятие **эффективной дозы ( $E_m$ )**, которая определяется **как произведение эквивалентной дозы в органе ( $H_m$ ) на взвешивающий коэффициент данного органа ( $W_m$ )**, (см. рис.)

$$E_T = H_T \cdot W_T$$

**Для внешнего облучения** организма в целом эффективная доза равна эквивалентной:  **$E = H$** .

Если же учитывается **и внутреннее облучение отдельных органов**, то  $E \neq H$ .

. В системе СИ единицей эффективной дозы является **зиверт (Зв)**

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг},$$

а внесистемной единицей - **бэр** (биологический эквивалент рада),

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}.$$

# Взвешивающие коэффициенты $W_t$

Взвешивающие коэффициенты  $W_t$

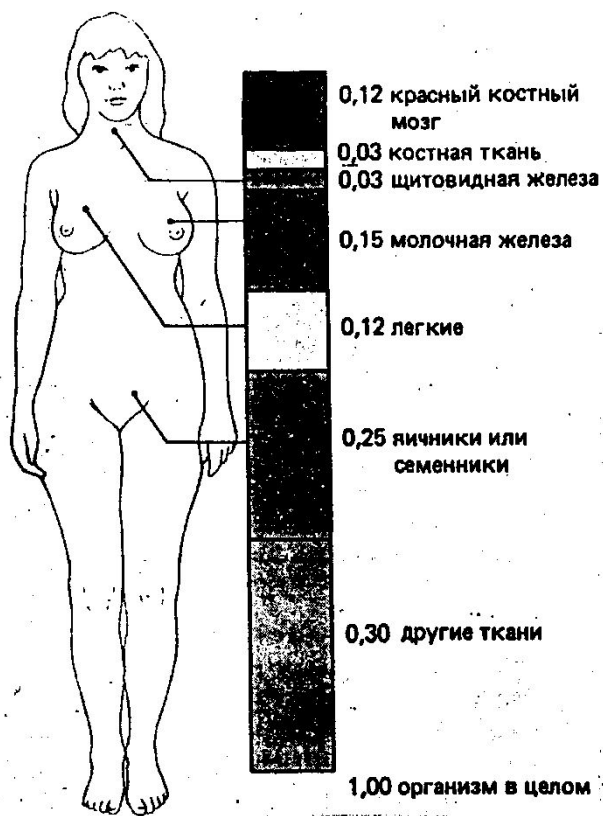
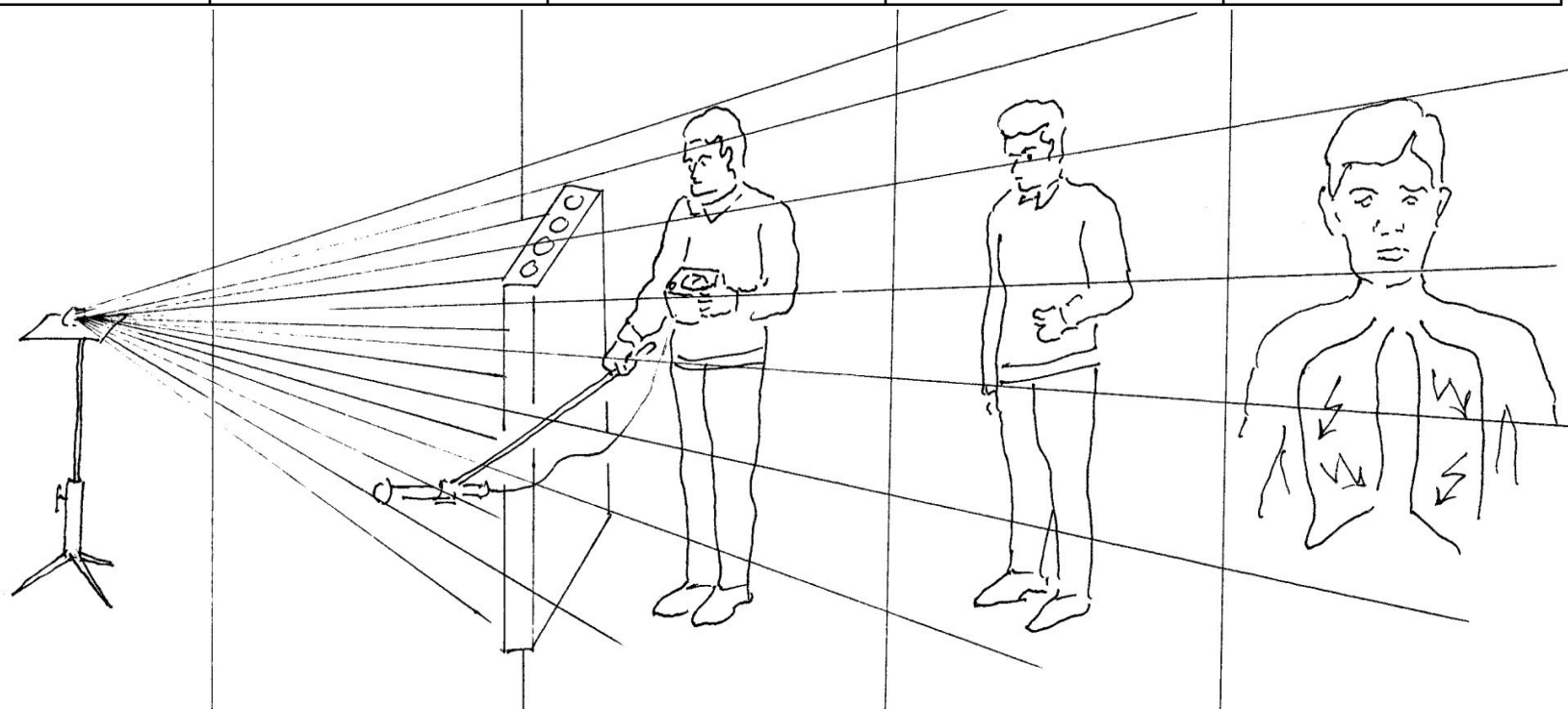


Рис.2. Взвешивающие коэффициенты для органов и тканей организма

# Связь понятий поля, дозы, радиобиологического эффекта и единиц их измерения

Источник радиоактивности	Поле ионизирующих излучений	Внешнее облучение	<u>Внешнее + внутр</u> на тело	<u>еннее облучение</u> на орган
Активность – <b>A</b> кюри [ <b>Ки</b> ], беккерель [ <b>Бк</b> ]	Экспозиционная доза – <b>X</b> рентген [ <b>р</b> ]	Поглощённая доза – <b>D</b> грей [ <b>Гр</b> ], <b>рад</b>	Эквивалентная доза – <b>H</b> зиверт [ <b>Зв</b> ], <b>бэр</b>	Эффективная доза – <b>E</b> зиверт [ <b>Зв</b> ], <b>бэр</b>



# Степени лучевой болезни и их последствия

Поглощённая доза, Гр	Степени лучевой болезни	Признаки поражения
1 – 2	I	Скрытый период продолжительностью до 2-3 недель, после чего появляется недомогание, общая слабость, периодически повышается температура. В крови уменьшается содержание лейкоцитов. Болезнь излечима в подавляющем числе случаев.
2 – 4	II	Скрытый период около недели. Затем – тяжёлое недомогание, расстройство функций нервной системы, головная боль, повышение температуры. Возможны летальные исходы – до 20%. При активном лечении выздоровление наступает через два месяца.
4 – 6	III	Скрытый период несколько часов. Затем наступает очень тяжёлое состояние: расстройство функций нервной системы, головная боль, потеря сознания или резкое возбуждение, кровоизлияния в слизистые оболочки и кожу. Количество лейкоцитов резко уменьшается, что ведёт к потере иммунитета и развитию инфекционных заболеваний. Продолжительность лечения 6-8 месяцев. Без лечения болезнь заканчивается летальным исходом в 70% случаев.
Более 6	IV	В зависимости от величины дозы в течение двух недель или раньше.

# Государственное регламентирование в области использования ионизирующих излучений

## Часть I

Правовые основы обеспечения радиационной безопасности в РФ закреплены законом «**О радиационной безопасности**» №3-ФЗ от 9.01.96г.

**Цель радиационной безопасности (РБ) (ст.1)** заключается в достижении состояния защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующих излучений.

**Пути достижения РБ (ст.22)** обеспечиваются за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов, а также выполнения гражданами и организациями требований к обеспечению РБ.

**Принципы обеспечения РБ (ст.3):**

**Принцип нормирования:** непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения.

**Принцип обоснования:** запрещение всех видов деятельности по использованию источников ИИ, при которых полученная польза не превышает возможного вреда.

**Принцип оптимизации:** поддержание на возможно низком и достижимом уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любых источников ИИ.

# Государственное регламентирование в области использования ионизирующих излучений

## Часть II

- Основным документом, регламентирующим уровни облучения профессиональных работников и населения, являются «**Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)**».

<b>Персонал Группа А -</b> лица, работающие с техногенными источниками ИИ	<b>Персонал Группа Б -</b> лица, находящиеся по условиям работы в сфере действия ИИ	<b>Население</b>
<b>20 мЗв в год</b> <i>в среднем за последовательные 5 лет</i> , но не более <b>50 мЗв в один год</b>	$\frac{1}{4}$ значений для персонала группы А	<b>1 мЗв в год</b> <i>в среднем за последовательные 5 лет</i> , но не более <b>5 мЗв в один год</b>