

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** λ , 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);

λ - 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.

- **α - частицы являются ядрами гелия, лишенными электронных оболочек.** α – частицы (He^{++}) обладают массой, определяемой массовым числом A , равным 4 (т.к. состоят из двух протонов и двух нейтронов), и электрическим зарядом $+2e$. Начальная скорость α - частиц составляет 10 - 20 тыс.км/с, энергия в момент вылета 4 - 9 МэВ. α - частица обладает очень высокой ионизирующей и очень низкой проникающей способностью . **β - частицы - это электроны (иногда и позитроны)** со скоростями близкими к световой и энергиями от нескольких кэВ до 3 МэВ. **Ионизирующая способность β - частиц умеренная, а проникающая -- низкая .**
- **γ - излучение представляет собой поток энергетических квантов электромагнитной энергии (фотонов) с длинами волн $\lambda=10^{-5}$ -: 10^{-7} мкм ($\lambda =10^{-1}$ -: 10^{-3} А⁰) и энергиями от нескольких десятков кэВ до нескольких МэВ и нулевой массой покоя.**
- **γ -кванты обладают очень высокой проникающей и умеренной ионизирующей способностью.**

Области ЭМ-излучений и их воздействие на вещество среды

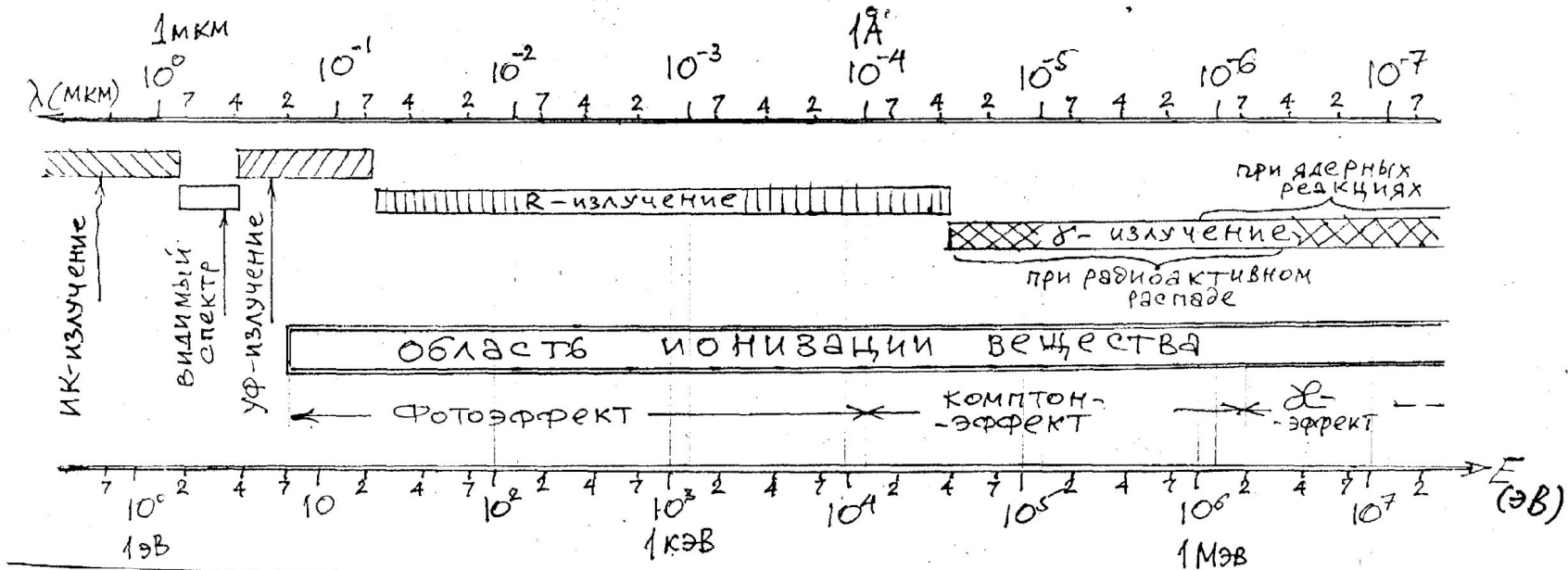


Рис.1. Области ЭМ-излучений и их воздействие на вещество среды.

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 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 γ -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

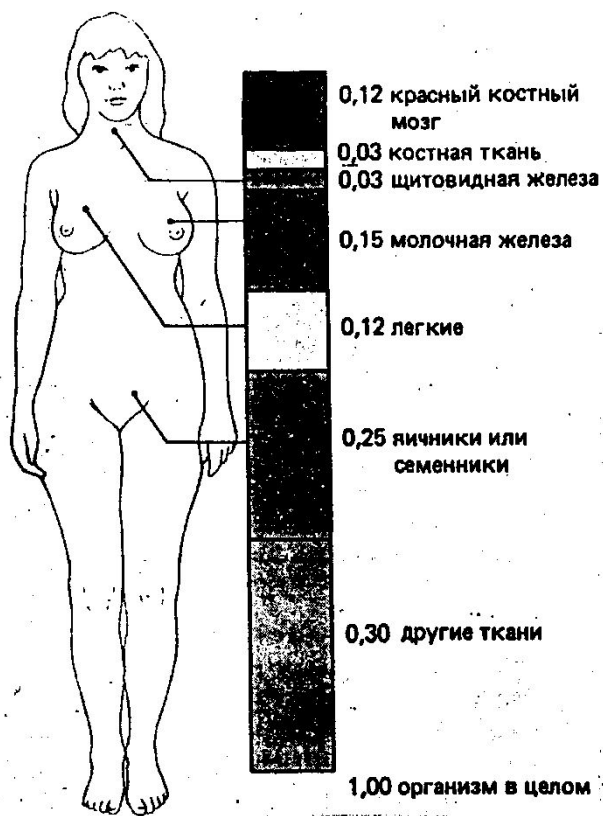
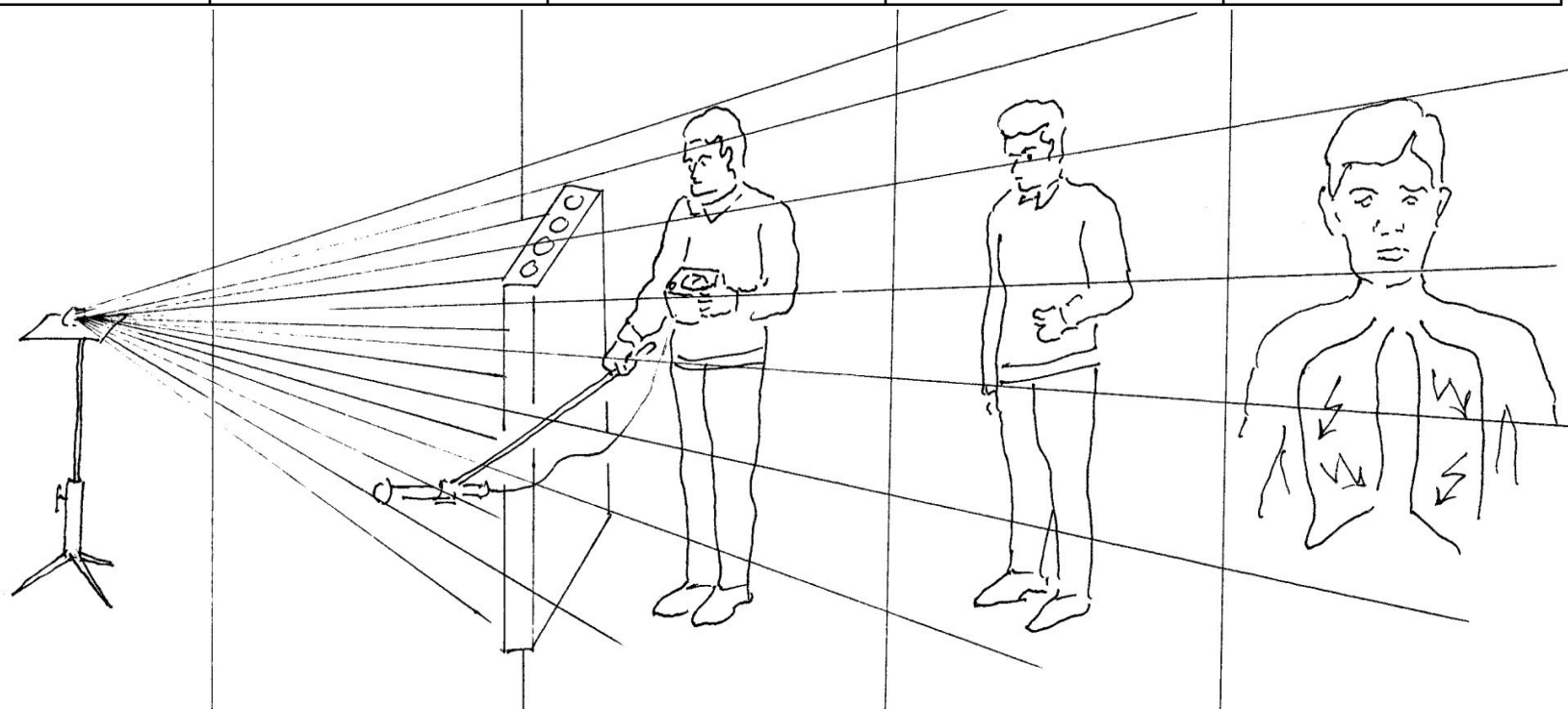


Рис.2. Взвешивающие коэффициенты для органов и тканей организма

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 – A кюри [Ки], беккерель [Бк]	Экспозиционная доза – X рентген [р]	Поглощённая доза – D грей [Гр], рад	Эквивалентная доза – H зиверт [Зв], бэр	Эффективная доза – E зиверт [Зв], бэр



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)**».

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