

# **ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**

**Изучение действия  
ионизирующих и неионизирующих  
излучений на биологические  
объекты — предмет радиационной  
биологии или радиобиологии**

# Основные направления в радиобиологии

- **Общая (фундаментальная) радиобиология:** радиационная биохимия и молекулярная биология, радиационная цитология, радиационная генетика, радиационная экология, космическая радиобиология
- **Медицинская радиобиология:** противолучевая защита и радиотерапия, радиационная иммунология и гематология, радиационная гигиена и эпидемиология, радиобиология опухолей
- **Прикладная радиобиология:** сельскохозяйственная радиобиология
- **Радиобиология неионизирующих излучений**

# Краткое содержание курса:

- 1. Предмет курса. Этапы развития радиобиологии.**
- 2. Характеристика ионизирующих и неионизирующих излучений. Основные дозиметрические понятия. Методы радиобиологических исследований.**
- 3. Основные биологические эффекты ионизирующего излучения.**
- 4. Роль излучений в в зарождении и поддержании жизни на Земле.**
- 5. Основные теоретические аспекты действия ионизирующих излучений на биообъекты.**

# Краткое содержание курса:

- 6. Стадии формирования радиобиологического эффекта**
- 7. Действие ионизирующих излучений на биомолекулы и клетки**
- 8. Действие ионизирующих излучений на ткани, органы и системы органов**
- 9. Действие ионизирующих излучений на организм человека**
- 10. Последствия действия ионизирующих излучений на организм**
- 11. Химическая защита от лучевого поражения**
- 12. Действие неионизирующих излучений на биообъекты**

# РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

## **а) Основная**

- Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. М. ВШ. 1997.
- Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) /Под ред.В.К. Мазурика, М.Ф. Ломанова. – М.: Физматлит, 2004. -448с.
- Кудряшов Ю.Б. и др. Радиационная биофизика (радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения) – М.: Физматлит, 2008. -184с.
- Календо Г.С. Ранние реакции клеток на ионизирующее излучение и их роль в защите и сенсибилизации. М. ЭАИ, 1982.
- Когл Дж. Биологические эффекты радиации. М. Мир. 1986.
- Дертингер Г., Юнг Х. Молекулярная радиобиология.М.АН.1973.
- Тимофеев-Ресовский Н.В. Введение в молекулярную радиобиологию. М.ВШ.1981.
- Газпев А.И. и др. Открытие и изучение явления восстановления клеток и их генетических структур от повреждений, вызываемых ионизирующими излучениями. Пущино, 1987.

## **б) Дополнительная**

- Красавин Е.А Проблема ОБЭ и репарация ДНК. М. АЭИ. 1989
- Красавин Е.А., Козубек С. Мутагенное действие излучений с разной ЛПЭ. М.АЭИ. 1991.
- МКРЗ публ.41. Нестохастические эффекты ионизирующих излучений. М. 1997.
- Нестеренко В.Б. Чернобыльская катастрофа: радиационная защита населения. Мн. 1997.
- Яворский З. Жертвы Чернобыля: реалистическая оценка медицинских последствий Чернобыльской аварии. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 1999. №1. с.18-30.
- Гофман Д. Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящего и будущего поколений . ВШ. Мн. 1999.
- Смирнов С. Радиационная экология. Серия физические основы экологии. М. МНЭПУ. 2000.

# ***Литература для самостоятельной работы студентов***

## ***при изучении избранных разделов с/к***

- **А.В. Яблоков. Миф о безопасности малых доз радиации. М. Центр экологической политики России. 2002.**
- **Л.А. Булдаков, В.С. Калистратова. Радиоактивное излучение и здоровье. М. Информ-атом. 2003.**
- **А.М. Кузин. Проблемы малых доз и идеи гормезиса в радиобиологии. //Радиобиология. 1991. т.31. Вып.1. с.16-21.**
- **К. Штреффер. Канцерогенез после воздействия ионизирующих излучений. //Международный журнал. Радиационная медицина. 1999. №3-4. с.4-6.**
- **К.П. Хансон, В.Е.Комар. Молекулярные механизмы радиационной гибели клеток. М. Энергоатомиздат. 1985.**
- **Ю.Н. Москалев. Отдаленные последствия ионизирующих излучений. М. Медицина.1991.**
- **Ионизирующие излучения. Источники и биологические эффекты. НКДАР ООН. т.І и ІІ. 1994.**
- **И.Б. Керим-Маркус. Новые сведения о действии на людей малых доз ионизирующего излучения – кризис господствующей концепции регламентации облучения. //Мед.радио. и радиац. безопасность. 1997. т.42.№2. с.18-23.**
- **И.Б. Керим-Маркус. О книге Джона Гофмана «Рак, вызываемый облучением в малых дозах: независимый анализ проблемы». //Бюлл. Центра обществ. информ. по атомной энергии. 1997. №1.с.25-34.**
- **Л.К. Бездобная и др.Хромосомный мутагенез в лимфоцитах крови жителей сел зоны отчуждения ЧАЭС. Тез. докл. 3-й Междунар. конф. «Мед. последствия Чернобыльской катастрофы». Киев. Украина.2001.**

# **Предмет курса «ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ»:**

**Изучение общих закономерностей и механизмов действия ионизирующих и неионизирующих излучений на биологические объекты**

## **Фундаментальными задачами, составляющими предмет курса, являются:**

- **вскрытие общих закономерностей биологического ответа на воздействие ионизирующих излучений**
- **овладение способами управления реакциями организма на действие излучений.**

# Объекты исследований:

В соответствии с объектами радиобиологических исследований (уровней организации живого) в нашем курсе можно выделить **3 раздела:**

- **Действие излучений на сложные системы** (экологические системы, популяции, многоклеточные организмы, органы и ткани)
- **Действие излучений на клеточном уровне** (клетки, клеточные органеллы, биологические мембраны)
- **Действие излучений на молекулярном уровне** (макромолекулы, "малые" молекулы).

# Этапы развития радиобиологии

**Первый этап 1890—1922 г.г.:**

**описательный этап, связанный с накоплением данных и первыми попытками осмысления биологических реакций на облучение. ( В. К. Рентген, А. Беккерель, М. Склодовская, П. Кюри и др.)**

## **Второй этап 1922—1945 г.г.:**

**становление фундаментальных принципов количественной радиобиологии, характеризующийся стремлением связать эффекты с величиной поглощенной дозы; открытие мутагенного действия ионизирующих излучений, развитие радиационной генетики**

(Ф. Дессауэр, Н.В. Тимофеев-Ресовский, Б. Н. Тарусов | Н.М. Эмануэль, Г. Мюллер и др.)

# **Третий этап с 1945 г. по настоящее время:**

- **дальнейшее развитие количественной радиобиологии на всех уровнях биологической организации:**
- **Молекулярная и клеточная радиобиология**
- **разработка биологических способов противолучевой защиты**
- **разработка способов лечения лучевых поражений**
- **создание ускорителей ядерных частиц**
- **разработка радиосенсибилизирующих агентов**
- **развитие радиобиологических принципов лучевой терапии опухолей**

# **Характеристика ионизирующих и неионизирующих излучений**

**(повторить самостоятельно!)**

# **Основные дозиметрические величины**

# Единицы радиоактивности:

**Активность – число распадов радионуклида в единицу времени:**

$$A = \frac{dN}{dt}$$

***Система СИ:***

**1 Беккерель (Бк) = 1 распад/ с, мБк, кБк**

***Внесистемная единица:***

**1 Ки (Cu) =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк**

**(1 Ки соответствует активности 1 г радия)**

## Экспозиционная доза

– это величина отношения суммарного заряда всех ионов одного знака  $Q$ , которые образуются излучением в некотором объёме, к массе воздуха  $dm$  в этом объёме:

$$X = dQ/dm$$

**Единица измерения в системе СИ – Кулон/кг** (1 кулон на 1 кг облучённого воздуха), **внесистемная единица – Рентген.**

- **Экспозиционная доза** -  
количественная характеристика поля  
ионизирующего излучения

*(используют для оценки радиационной обстановки на местности, в производств. или жилых помещениях)*

**Воздействие на объект (организм) оказывает только та часть радиации, которую этот объект или организм поглотил. Поэтому наиболее удобной характеристикой, которая определяет степень воздействия излучения на объект, является поглощенная энергия излучения.**

## Поглощенная доза

**Поглощенная доза излучения ( $D$ ) — это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной облучаемым объектом, в расчете на единицу его массы.**

$$D = \Delta E / \Delta m,$$

где  $\Delta E$  — количество энергии, переданное излучением веществу в элементарном объеме;

$\Delta m$  — масса вещества в этом объёме.

**В системе СИ: 1 Грей (Гр) — это поглощенная доза любого ионизирующего излучения, которая соответствует поглощению 1 Дж энергии излучения в расчете на 1 кг (Дж/кг).**

**1 Гр соответствует 100 рад**

# **Мощность поглощенной дозы ( МД)**

— это изменение поглощенной дозы в единицу времени

$$\text{МД} = \Delta D / \Delta t,$$

где  $\Delta D$  — изменение поглощенной дозы за промежуток времени  $\Delta t$ .

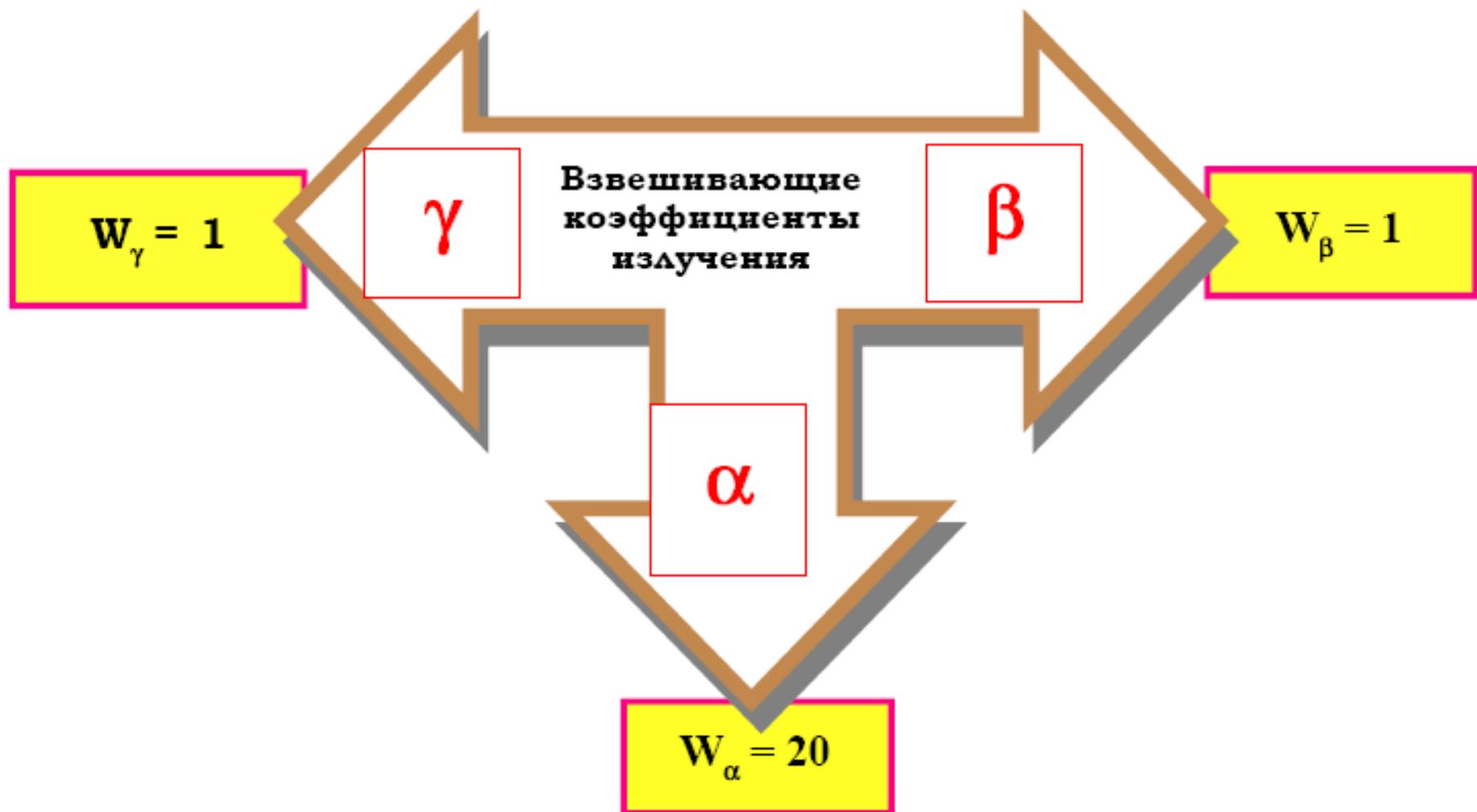
Обычно мощность поглощенной дозы измеряют в **миллигряях в час (мГр/ч)** или **мик로그ряях в час (мкГр/ч)**

# *Эквивалентная доза облучения*

**Радиационные эффекты, вызываемые облучением организма, зависят не только от величины поглощенной дозы, но и от вида излучения: при одинаковой поглощенной дозе различные виды излучения могут вызывать неодинаковые биологические эффекты**

# Эквивалентная доза облучения

Биологические последствия при действии **различных видов** ионизирующего излучения на биологические ткани ( или органы ) учитывают с помощью **взвешивающих коэффициентов излучения ( $W_R$ )**. Соответствующие коэффициенты для **гамма-, бета- и альфа-излучений** обозначают  $W_\gamma$ ,  $W_\beta$ ,  $W_\alpha$ .



$$W_{\gamma} = 1$$

$\gamma$

Взвешивающие  
коэффициенты  
излучения

$\beta$

$$W_{\beta} = 1$$

$\alpha$

$$W_{\alpha} = 20$$

# Эквивалентная доза облучения

— это доза облучения, которая учитывает особенности действия любого вида ионизирующего излучения на биологическую ткань (или орган) человека с помощью  $W_R$ :

$$H_T = D_T \cdot W_R,$$

где  $D_T$  — средняя поглощенная доза излучения  $R$  типа ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  или др.), действующего на биологическую ткань (или орган) человека;

$W_R$  — взвешивающий коэффициент излучения.

# Эквивалентная доза облучения

В системе СИ единицей измерения поглотенной дозы является Грей, а единицей измерения эквивалентной дозы — Зиверт (Зв), по имени шведского ученого Рольфа Зиверта.

**1 Зиверт** соответствует поглотенной дозе величиной в **1 Грей** для ионизирующего излучения, взвешивающий коэффициент которого равен единице.

При одновременном действии  
нескольких видов излучения ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )  
*эквивалентная доза*  $H_T$  :

$$H_T = D_{T\alpha} \cdot W_\alpha + D_{T\beta} \cdot W_\beta + D_{T\gamma} \cdot W_\gamma$$

где  $D_{T\alpha}$ ,  $D_{T\beta}$ ,  $D_{T\gamma}$  — поглощенные дозы  
соответственно  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$  - излучения;

$W_\alpha$ ,  $W_\beta$ ,  $W_\gamma$  — взвешивающие  
коэффициенты этих излучений.

**Величина эквивалентной дозы позволяет характеризовать действие ионизирующего излучения на конкретную биологическую ткань (или орган) без указания вида излучения, поскольку радиационные эффекты от разных видов излучения уже учтены с помощью взвешивающих коэффициентов излучения ( $W_R$ ), т. е. приведены к единому биологическому эквиваленту.**

# *Эффективная доза облучения (E)*

**введена для оценки биологических  
последствий действия  
ионизирующего излучения на  
организм человека в целом**

**Эффективная доза облучения ( $E$ )** — это сумма эквивалентных доз облучения ( $H_{Ti}$ ) отдельных биологических тканей (или органов), умноженных на соответствующие взвешивающие коэффициенты для тканей и органов ( $W_{Ti}$ ).

$$E = H_{T1} \cdot W_{T1} + H_{T2} \cdot W_{T2} + H_{T3} \cdot W_{T3} + \dots,$$

$H_{T1}$ ,  $H_{T2}$  и т. д. — **эквивалентные дозы** в биологических тканях или органах человека, обозначенных индексами  $T1$ ,  $T2$  и т. д.;

$W_{T1}$ ,  $W_{T2}$  и т. д. — взвешивающие коэффициенты для соответствующих биологических тканей и органов.

## Коэффициенты радиационного риска для разных тканей человека при равномерном облучении всего тела

<b>Ткань или орган</b>	<b>Коэффициент <math>W_{TI}</math></b>
<b>Половые железы</b>	<b>0,20</b>
<b>Красный костный мозг</b>	<b>0,12</b>
<b>Толстый кишечник</b>	<b>0,12</b>
<b>Легкие</b>	<b>0,12</b>
<b>Желудок</b>	<b>0,12</b>
<b>Мочевой пузырь</b>	<b>0,05</b>
<b>Молочные железы</b>	<b>0,05</b>
<b>Печень</b>	<b>0,05</b>
<b>Пищевод</b>	<b>0,05</b>
<b>Щитовидная железа</b>	<b>0,05</b>
<b>Кожа, клетки костных поверхностей</b>	<b>0,01</b>
<b>Остальные органы</b>	<b>0,01</b>

**Организм в целом**

**1**

<b>Величины</b>	<b>Международные единицы</b>	<b>Внесистемные единицы</b>	<b>Соотношение единиц</b>
<b>Активность А</b>	<b>Беккерель (Бк)</b>	<b>Кюри (Ки)</b>	$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
<b>Экспозиционная доза, Х</b>	<b>Кулон на кг (Кл/кг)</b>	<b>Рентген (Р)</b>	$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$ $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
<b>Поглощенная доза, D</b>	<b>Грей (Гр)</b>	<b>Рад (рад)</b>	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$
<b>Эквивалентная доза, Н</b>	<b>Зиверт (Зв)</b>	<b>Бэр (бэр)</b>	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$

# **Проникновение радионуклидов в организм**

# Атмосфера



## Способы облучения:

- **Внешнее** (космическое, излучение почвы, загрязнения, мед.процедуры)
- **Внутреннее** (U, Th, K<sup>40</sup>, C<sup>14</sup>...)

# Проникновение радионуклидов:

1. наиболее опасно вдыхать с воздухом;
2. с водой;
3. проникновение через кожу (менее опасно, чем 1)

# Методы радиобиологических исследований

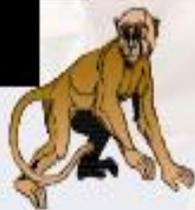
- В радиобиологии используют специфические методы, используемые в различных ее разделах. Важной чертой РБ-методов исследования является **количественное сопоставление** рассматриваемого эффекта с вызвавшей его **дозой излучения, ее распределением во времени и объеме реагирующего объекта.**

**Чтобы выяснить, как ионизирующее излучение действует на организм человека и другие биологические объекты, проводятся исследования на:**

- молекулярном,**
- клеточном,**
- организменном уровнях,**
- а также**
- на группах организмов**

# Чтобы выяснить, как ионизирующее излучение действует на организм человека и другие биологические объекты, проводятся:

Радиобиологические эксперименты на животных



Позволяют выявить общие закономерности возникновения радиационных эффектов в живых организмах

Исследования заболеваемости в группах облученных людей

Жители Хиросимы и Нагасаки, пострадавшие от применения ядерного оружия в 1945 году

Шахтеры урановых рудников

Больные, подвергшиеся терапевтическому облучению

Жертвы радиационных аварий

Работники предприятий ядерной энергетики

Позволяют получить фактический материал по действию ионизирующего излучения на человека

# **Основные закономерности действия ионизирующих излучений на организм**

# Характеристики основных видов ионизирующего излучения

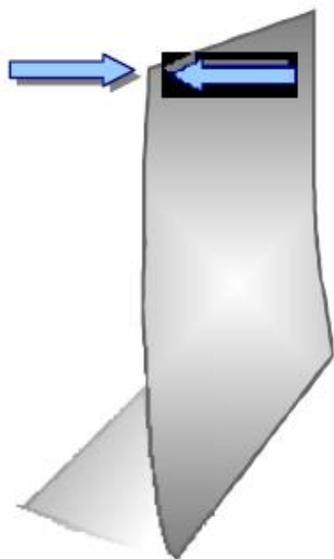
## Характеристики основных видов ионизирующего излучения

Характеристики	Излучение		
	<i>альфа</i> -частицы ( $\alpha$ )	<i>бета</i> -частицы ( $\beta$ )	<i>гамма</i> -кванты ( $\gamma$ )
Вид излучения	ядра атомов гелия	электроны	электромагнитное излучение
Заряд, отн. ед.	+2	-1	0
Масса покоя, г	$6,64 \cdot 10^{-24}$	$9,11 \cdot 10^{-28}$	0
Относительная проникающая способность при одинаковой энергии	1	100	1 000

**Способность альфа-излучения проникать в вещество зависит от энергии альфа-частиц и свойств облучаемого вещества (в основном, от его плотности).**

**Альфа-излучение задерживают:**

**0,002 — 0,007 см**

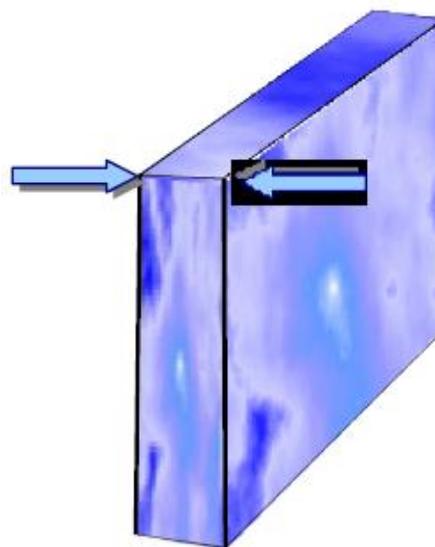


**Слой алюминия**

**Несколько листов писчей бумаги**



**10 см**



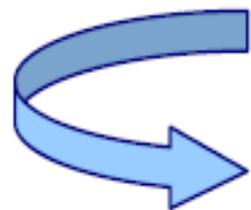
**Слой воздуха**



**Одежда**

В биологические ткани *альфа*-излучение проникает на глубину менее 0,7 мм. Поэтому при внешнем облучении организма *альфа*-излучение, в основном, поглощается наружным слоем кожи и практически не представляет опасности, за исключением тех случаев, когда *альфа*-лучи попадают на слизистую оболочку глаз.

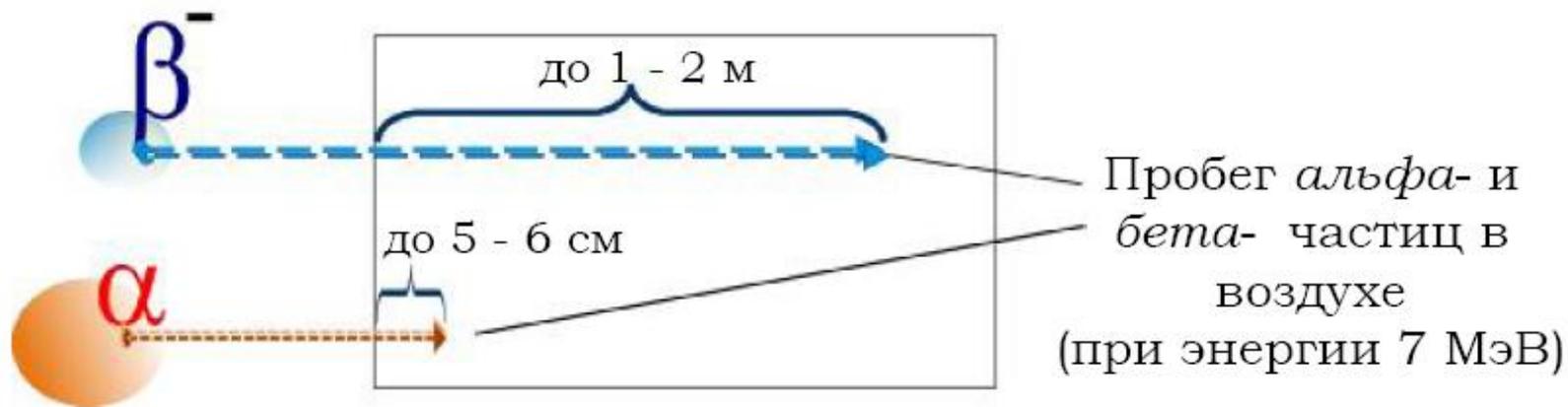
*Альфа*-излучающие радионуклиды могут проникать внутрь организма



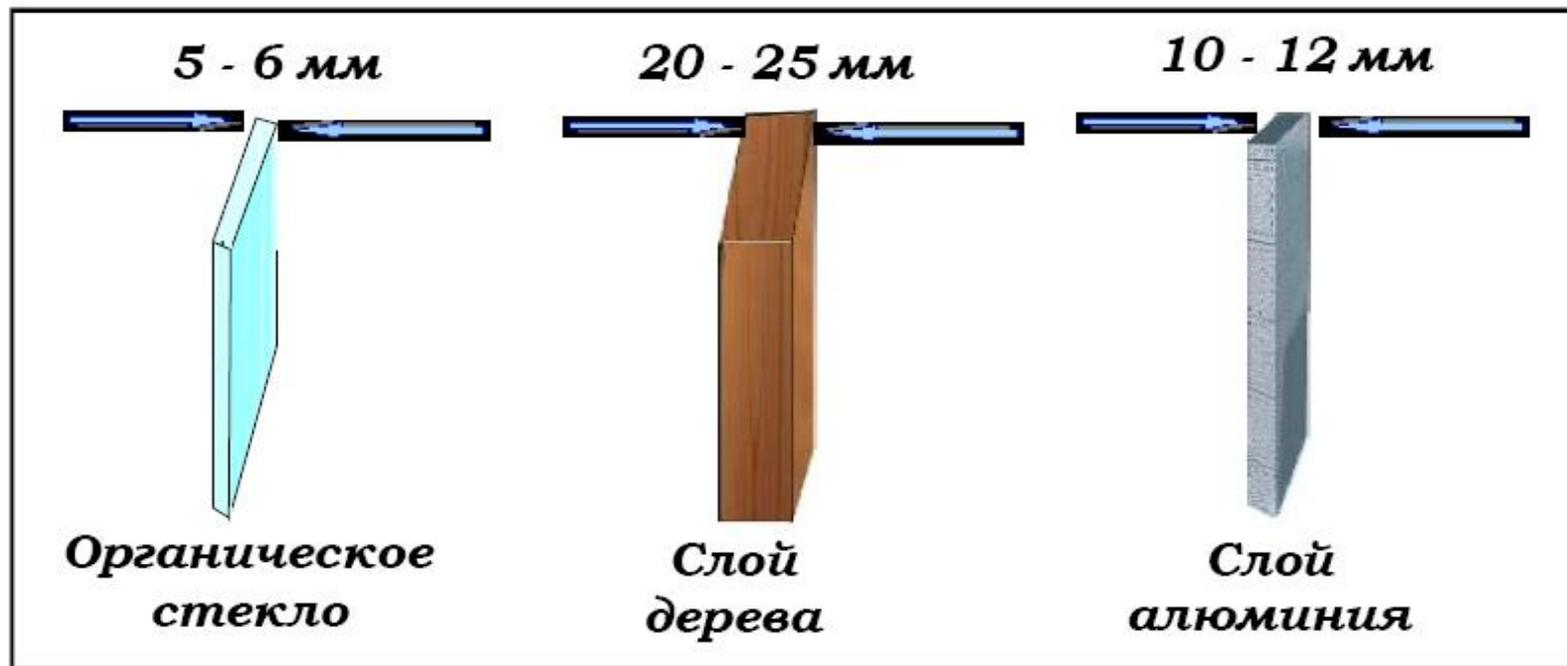
- через открытую рану,
- с пищей,
- с вдыхаемым воздухом.

Облучая внутренние органы человека, *альфа*-частицы могут вызывать серьезные нарушения в клетках биологических тканей. От *альфа*-излучения радионуклидов, проникших в легкие, могут пострадать участки легочной ткани и пронизывающие ее капилляры. Специалисты в области радиационной безопасности полагают, что при одинаковой энергии *альфа*-излучение примерно в 20 раз превосходит *бета*- и *гамма*-излучения по способности вызывать нарушения в биологических тканях человека.

---



**Бета-излучение задерживают:**



Если человек одет в легкую одежду, она задерживает часть *бета*-частиц. Остальные *бета*-частицы могут проникать через кожу на глубину в несколько миллиметров. При облучении обнаженных участков тела *бета*-частицы могут проникать на глубину 1 - 2 см, вызывая незначительные повреждения биологических тканей. Таким образом, при внешнем облучении *бета*-излучение радионуклидов не представляет значительной опасности для человека.

Гамма-излучение обладает высокой проникающей способностью.

***Из-за высокой проникающей способности защититься от гамма-излучения можно лишь толстым слоем плотного материала (например, свинца или бетона).***

Слой половинного ослабления *гамма*-излучения с энергией *гамма*-квантов 1 МэВ для разных веществ составляет:

- свинец — 13 см,
- железо — 3,3 см,
- бетон — 26 см,
- вода — 26 см.

Слой бетона толщиной 50 см более чем в 100 раз ослабляет *гамма*-излучение, сопровождающее распад  $^{137}\text{Cs}$ .

# **Действие радиации на организм может быть:**

- 1. Острым,**
- 2. Хроническим,**
- 3. Дробным,**
- 4. Общим (на весь организм),**
- 5. Локальным**

Различают два основных вида радиационных эффектов, которые возникают в организме человека:

- *детерминированные (соматические)*  
(предопределенные)
- *стохастические* (случайные).

*Детерминированные  
(предопределенные)*

*Характерны для больших доз облучения (1 Гр и более).*

**1. Появляются в результате повреждения значительного числа клеток органов или биологических тканей, что приводит к серьезным физиологическим нарушениям в организме**

*Стохастические  
(возникающие случайно)*

*Характерны для средних (0,2 –1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) доз.*

**1. Проявляются в виде раковых и генетических (наследственных) заболеваний, которые сокращают продолжительность жизни человека.**

***Детерминированные  
(предопределенные)***

***Характерны для больших доз облучения (1 Гр и более).***

**2. Как правило, возникают непосредственно после воздействия ионизирующего излучения на организм (в течение нескольких часов или нескольких дней).**

***Стохастические  
(возникающие случайно)***

***Характерны для средних (0,2 – 1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) доз.***

**2. Возникновение заболевания является случайным событием, которое может реализоваться по истечении продолжительного периода после облучения (*латентный период*). После завершения латентного периода человек может заболеть,**

## *Детерминированные*

3. При превышении **определенного порогового значения дозы** заболевание неизбежно (предопределено).

4. При дальнейшем **увеличении дозы** **возрастает тяжесть поражения**.

Чем больше величина дозы, тем больше нарушений возникает в организме человека и тем тяжелее протекает заболевание, возникающее в результате облучения

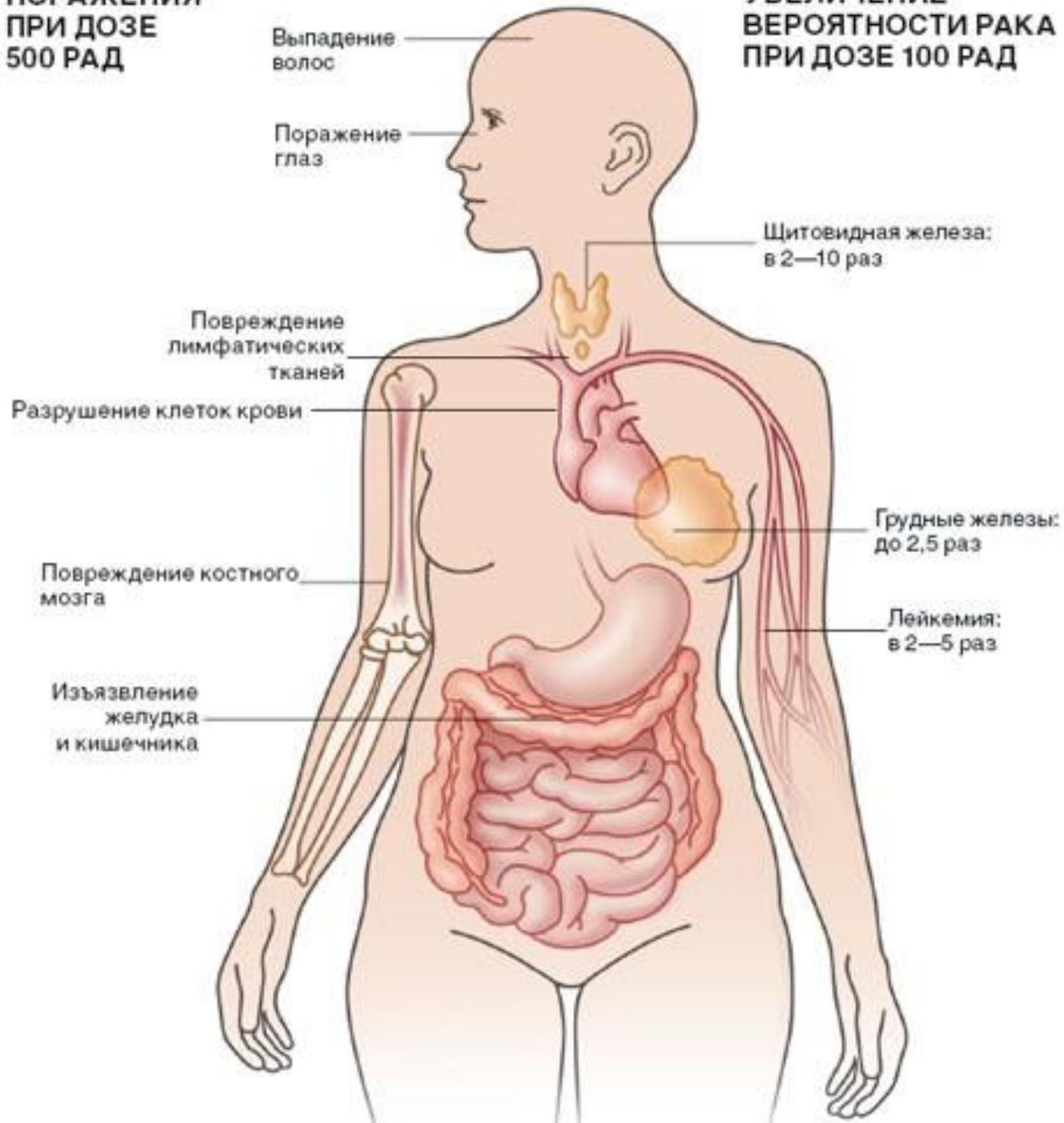
## *Стохастические*

3. Протекание заболевания (**его тяжесть**) **не зависит от величины дозы**.

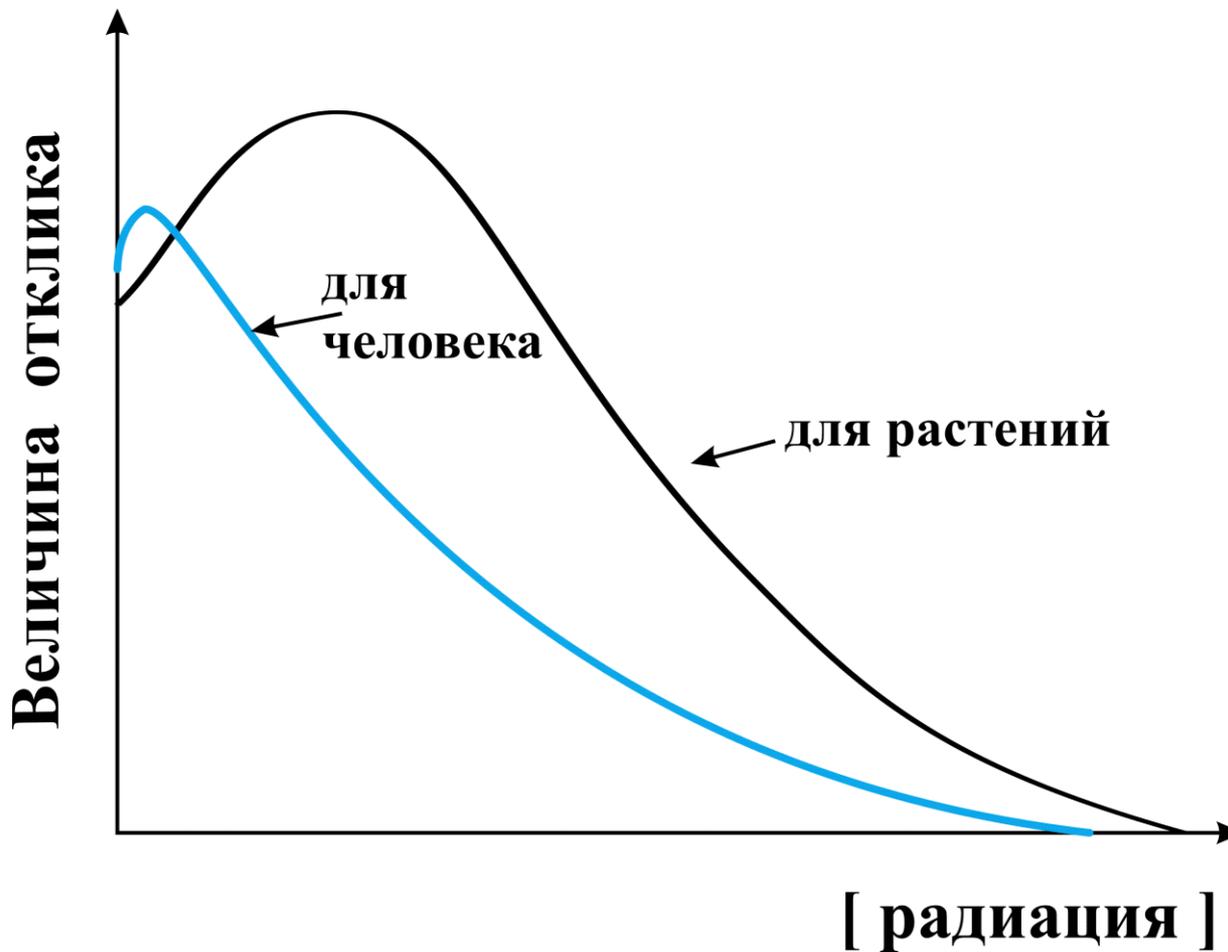
4. **Стохастические эффекты** могут возникать при любых, даже сколь угодно **малых** дозах облучения. Вероятность возникновения стохастических эффектов **возрастает (уменьшается) пропорционально увеличению (уменьшению) дозы**

**ПОРАЖЕНИЯ  
ПРИ ДОЗЕ  
500 РАД**

**УВЕЛИЧЕНИЕ  
ВЕРоятНОСТИ РАКА  
ПРИ ДОЗЕ 100 РАД**



# Стимулирующее (?) действие низких доз радиации



# Эффект гормезиса

радиационный гормезис - это стимулирующий эффект малых доз радиации (своего рода **адаптивный ответ**):

*универсальная реакция организма на облучение в малых дозах, выражающаяся в приобретении устойчивости к поражающему действию излучения в большой дозе или других агентов нерадиационной природы*

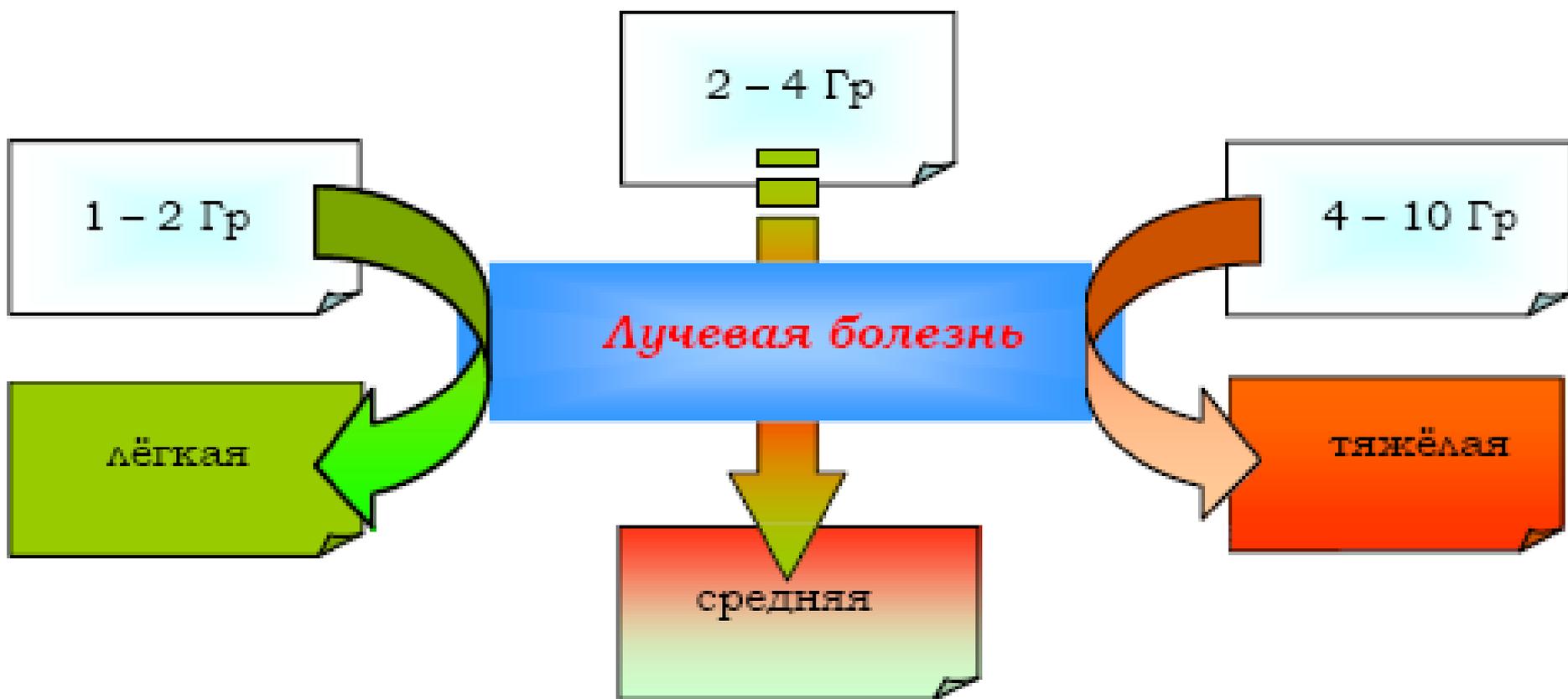
**Если суммарная доза  
*фракционирована*, т.е. облучение  
проводится многократно долями суммарной  
дозы, то пороговая доза возрастает.**

**Это свидетельствует о том, что  
*организм обладает эффективным  
механизмом посттрадиционного  
восстановления*, который за период между  
моментами новых облучений *ликвидирует  
последствия облучения*.**

# Реакция организма человека на равномерное внешнее облучение

Поглощенная доза, Гр	Реакция организма
0 - 0,25	Отсутствие явных повреждений
0,2 - 0,5	Возможное изменение состава крови
0,5 - 1	Изменения в крови, усталость, слаб.тошнота
1 - 2	Изменения в составе крови, рвота, явные патологич. изменения. Развитие легкой степени лучевой болезни
2 - 4	Кровоизлияния. Стерильность. Средняя ст.луч.болез.
4 - 5	Тяжелая степень лучевой болезни. Смертность ~ 50 %
6	Повреждения ЦНС. Смертность ~ 100 %
> 8	Смертность практически неизбежна

*Лучевая болезнь* — это комплексная реакция организма на большие дозы ионизирующего излучения.



## Лучевая болезнь может быть

- *острой*
- *хронической.*

Кратковременное действие ионизирующего излучения в больших дозах может приводить к *острой лучевой болезни.*

## Реакция организма человека на действие ионизирующего излучения в больших дозах

Ядерные  
взрывы,  
аварии

Равномерное  
внешнее  
облучение

**Первичная реакция:** тошнота,  
рвота, общая слабость, головные  
боли, потливость, сонливость

**Фаза выраженных клинических  
последствий:** резкое ухудшение  
самочувствия, слабость, повыше-  
ние температуры, кровоизлия-  
ния, поражение кишечника,  
снижение содержания лейко-  
цитов и лимфоцитов в крови,  
анемия, ослабление иммунитета,  
возникновение воспалительных  
процессов.

Данная фаза продолжается от  
одной до трех недель.

**Фаза клинического благополучия:**  
исчезновение всех симптомов.  
Изменения состава крови и костного  
мозга.

**Стадия раннего восстановления**  
(в случае благоприятного исхода)

Возможность отдалённых  
последствий облучения

## Две особенности хронического облучения:

- 1). Радиационная доза облучения накапливается в организме со временем;
- 2). Чем меньше ежедневная доза и чем больше промежутки между облучениями, тем большая суммарная доза, приводящая к тем же последствиям, что и в предыдущих случаях

# Локальное облучение:

## Некоторые примеры:

рентгенография зуба – (0,03–3) мЗв,  
рентгеноскопия желудка – до 0,25 мЗв,  
флюорография – (0,1–0,5) мЗв,  
рентгеноскопия грудной клетки – (0,1–  
1) мЗв.

Это значительные дозы, полученные  
одноразово