

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 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 ΔE — количество энергии, переданное излучением веществу в элементарном объеме;

Δm — 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 ΔD — изменение поглощенной дозы за промежуток времени Δt .

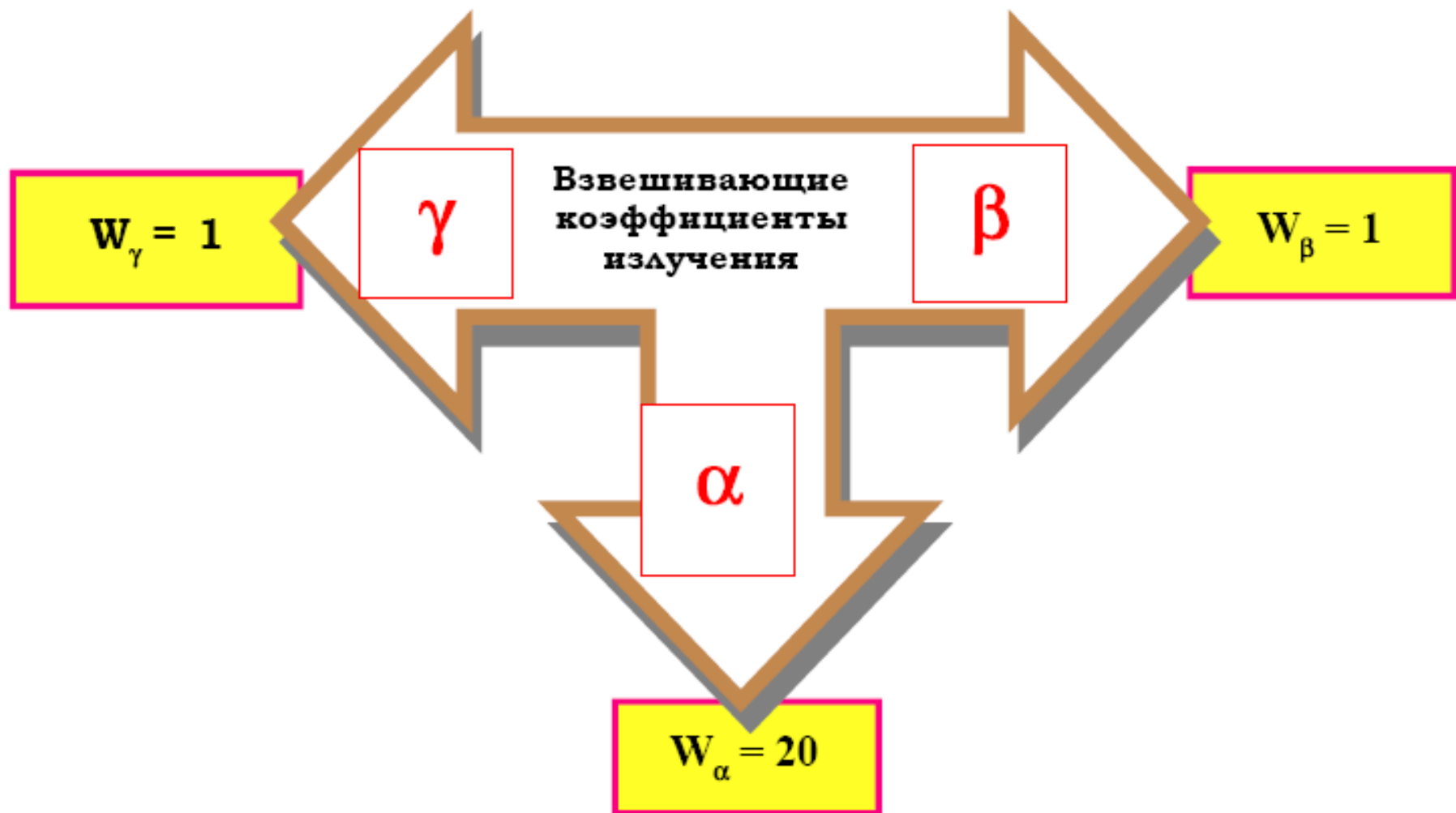
Обычно мощность поглощенной дозы измеряют в **миллигряях в час (мГр/ч)** или **мик로그ряях в час (мкГр/ч)**

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_γ , W_β , W_α .



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 (α , β , γ 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 (α , β , γ)
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 α -, β -, γ - излучения;

W_α , W_β , W_γ — 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

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

Организм в целом

1

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

Проникновение радионуклидов в организм

Атмосфера



Способы облучения:

- **Внешнее** (космическое, излучение почвы, загрязнения, мед.процедуры)
- **Внутреннее** (U, Th, K⁴⁰, C¹⁴...)

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

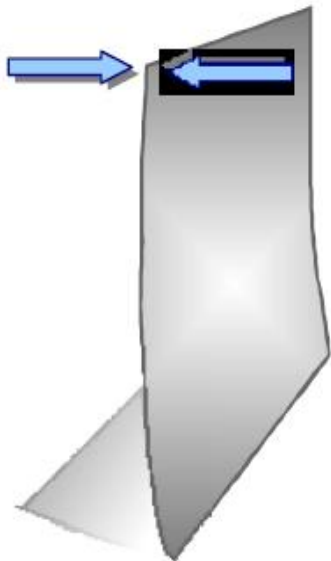
Характеристики основных видов ионизирующего излучения

Характеристики	Излучение		
	<i>альфа</i> -частицы (α)	<i>бета</i> -частицы (β)	<i>гамма</i> -кванты (γ)
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

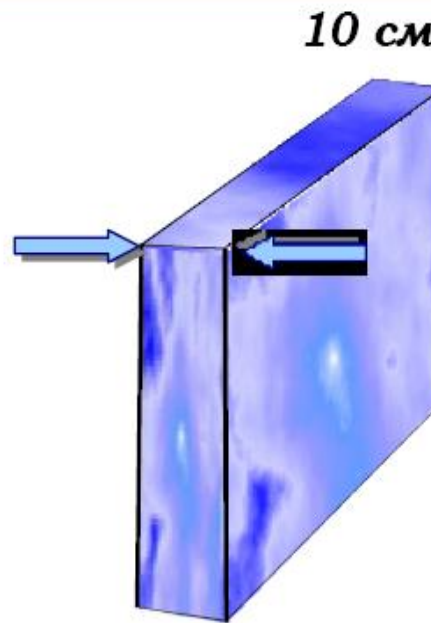


Слой алюминия

Несколько листов писчей бумаги



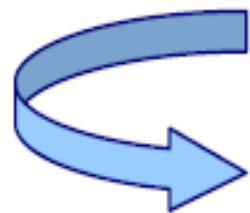
Слой воздуха



Одежда

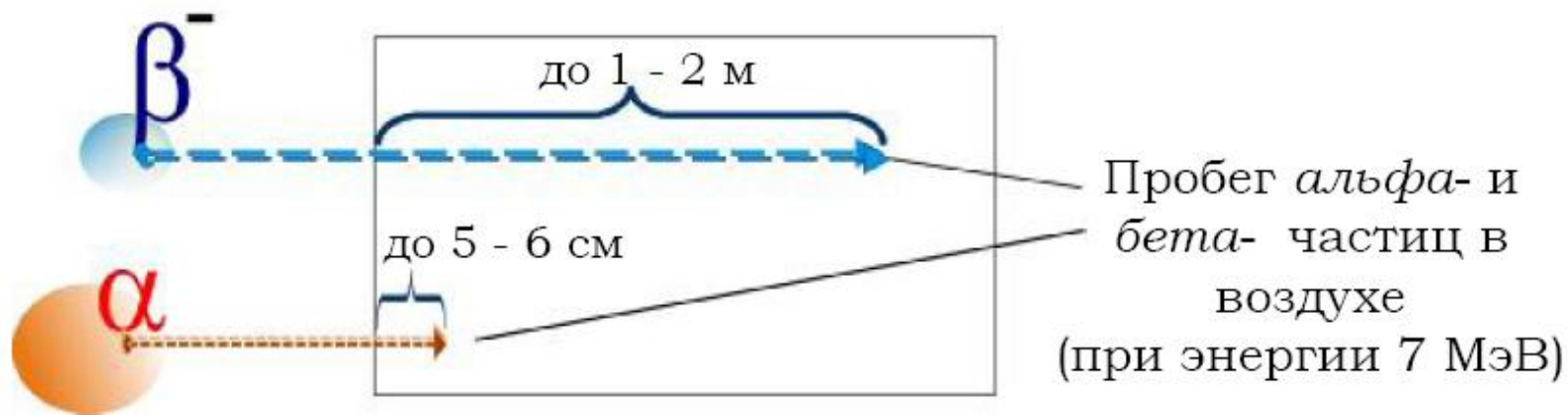
В биологические ткани *альфа*-излучение проникает на глубину менее 0,7 мм. Поэтому при внешнем облучении организма *альфа*-излучение, в основном, поглощается наружным слоем кожи и практически не представляет опасности, за исключением тех случаев, когда *альфа*-лучи попадают на слизистую оболочку глаз.

Альфа-излучающие радионуклиды могут проникать внутрь организма

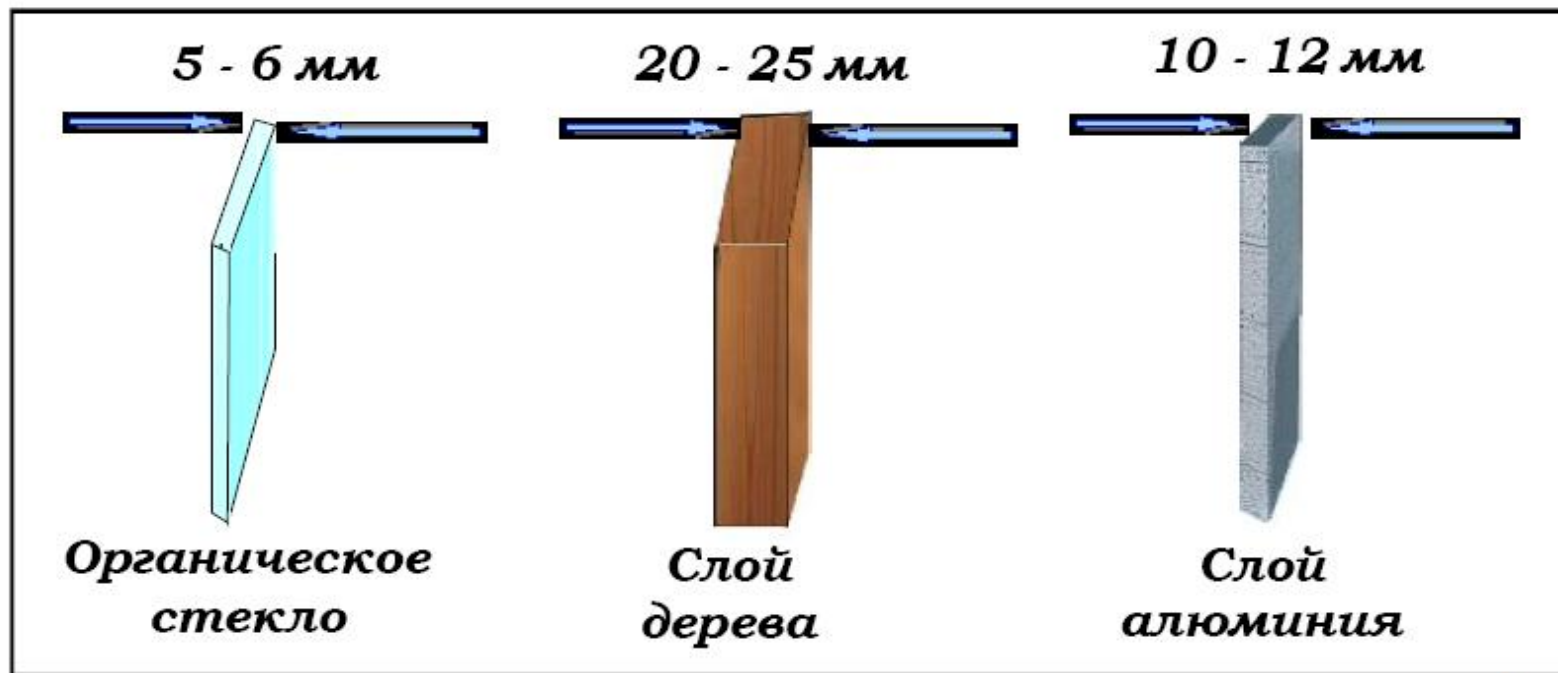


- через открытую рану,
- с пищей,
- с вдыхаемым воздухом.

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}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

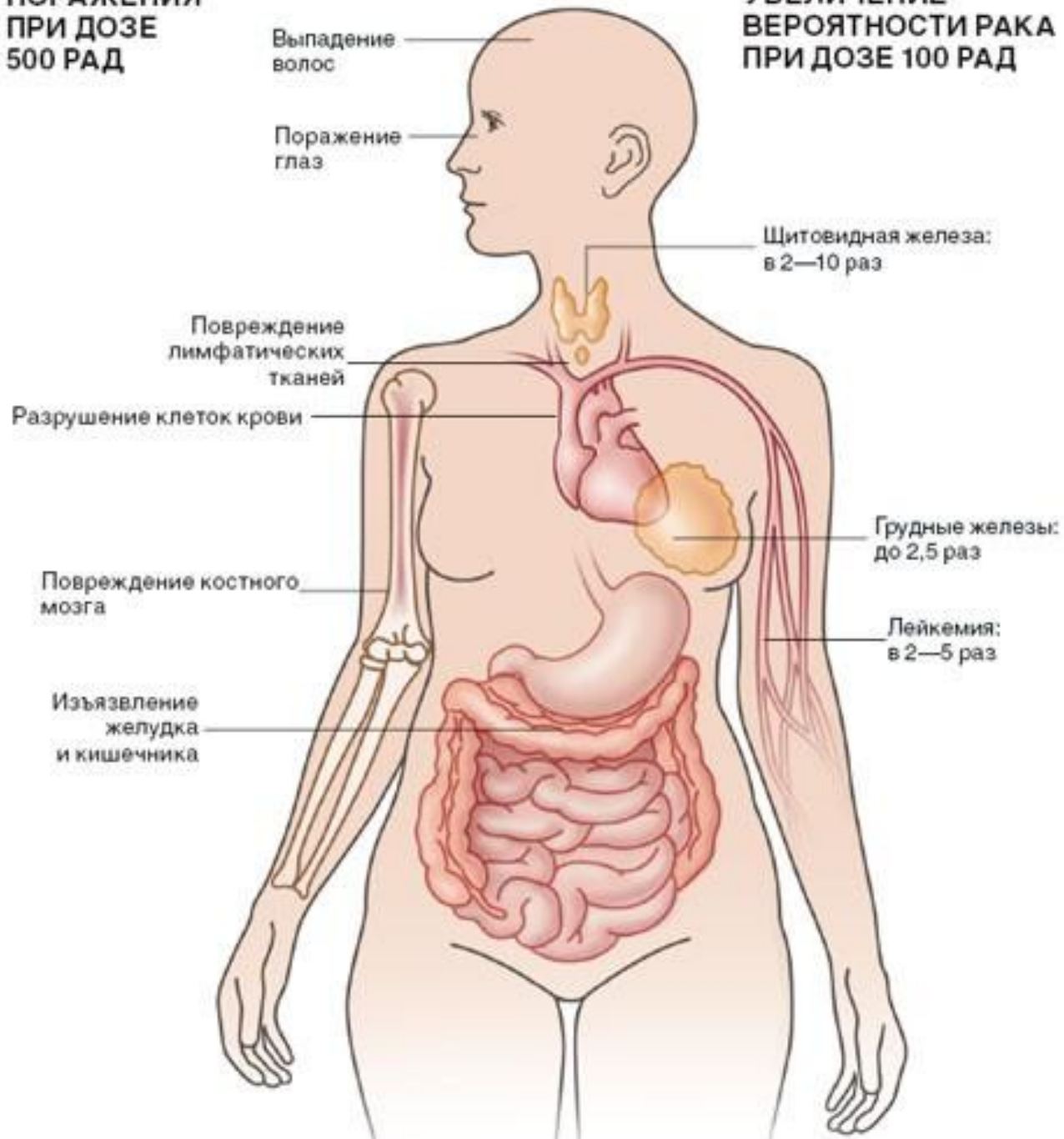
Стохастические

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

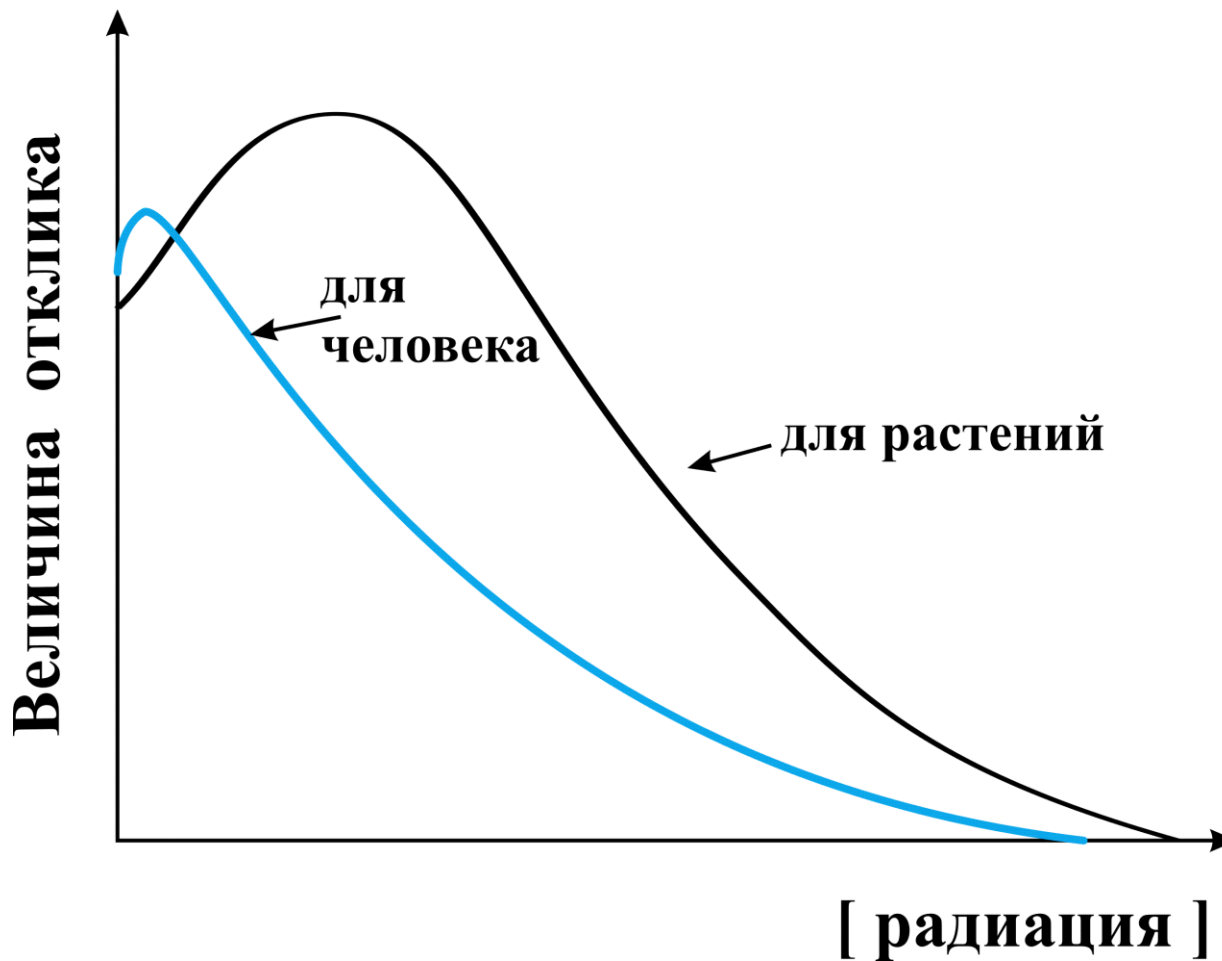
4. **Стохастические эффекты** могут возникать при любых, даже сколь угодно **малых** дозах облучения. Вероятность возникновения стохастических эффектов **возрастает (уменьшается) пропорционально увеличению (уменьшению) дозы**

**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

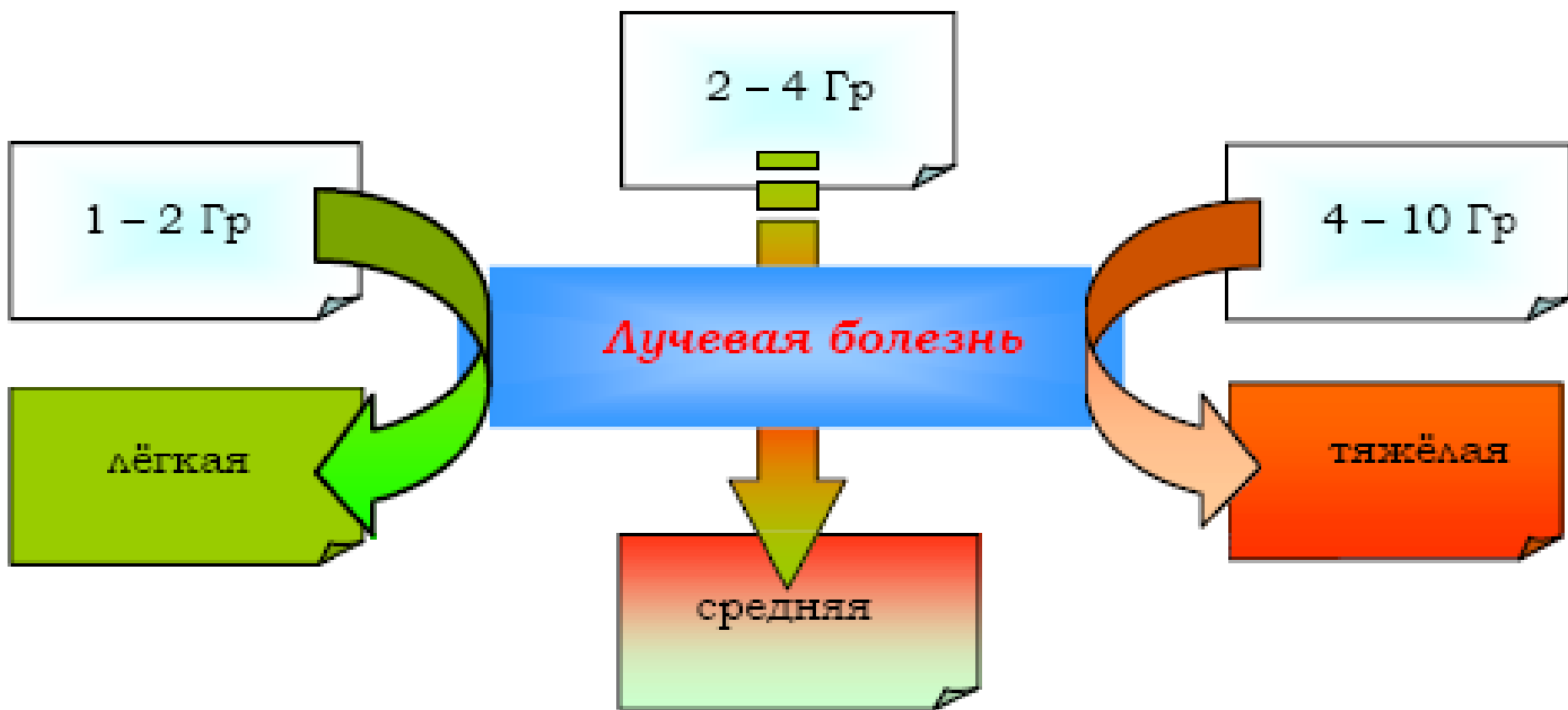
**Если суммарная доза
фракционирована, т.е. облучение
проводится многократно долями суммарной
дозы, то пороговая доза возрастает.**

**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