


Биологическое действие излучения

Тема 5.

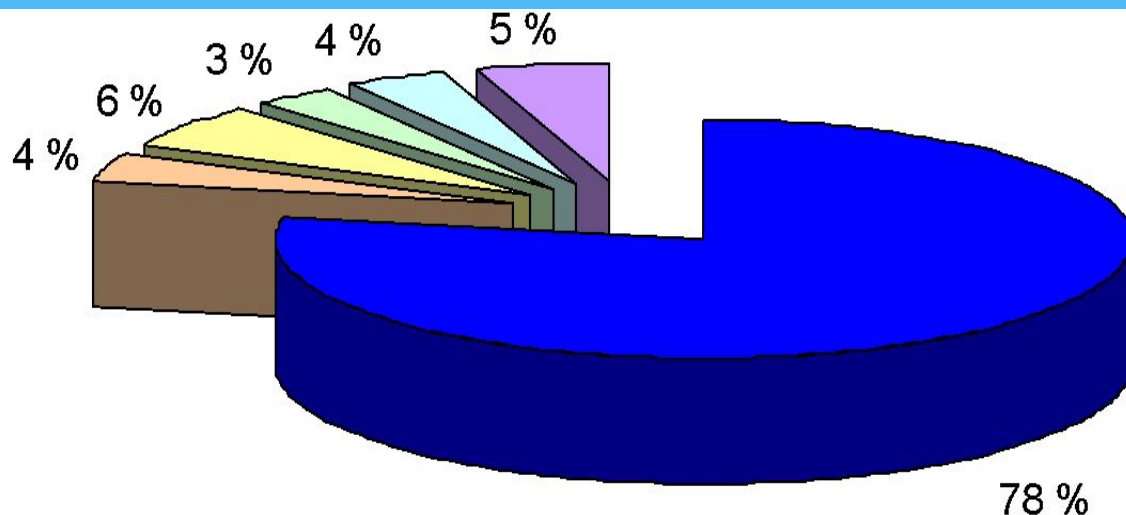
Ионизирующее излучение

– излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к ионизации атомов и молекул, т.е. к возникновению в облученном веществе ионов разных знаков:

- **косвенно** ионизирующие (нейтроны и фотоны)
- **непосредственно** ионизирующие (заряженные частицы)

- 
- * **Особенность биологического действия ионизирующих излучений** состоит в том, что любой живой объект может быть убит этим излучением.

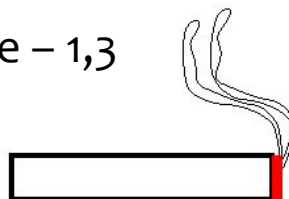
Вклад различных природных источников в суммарную дозу облучения



- Внутреннее β -облучение – 0,20 мЗв (4 %)
- Космическое излучение – 0,30 мЗв (6 %)
- Природный γ -фон – 0,15 мЗв (3 %)
- U-234, U-238, Ra-226, Rn-222 в воде – 0,17 мЗв (4 %)
- Радиоактивность строительных материалов – 0,27 мЗв (5 %)
- Rn-222 в воздухе – 3,8 мЗв (78 %)
- Суммарная доза от природных источников – 4,88 мЗв (100 %)**

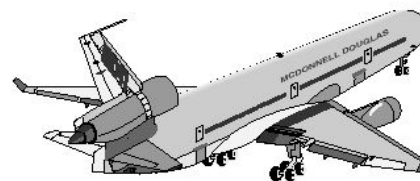
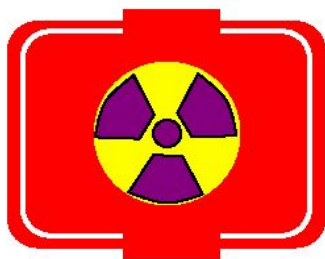
Вклад искусственных источников излучения в общую дозу облучения (мЗв/год)

Курение – 1,3



Авиaperелёт Москва–Владивосток
– 0,05 мЗв за перелёт

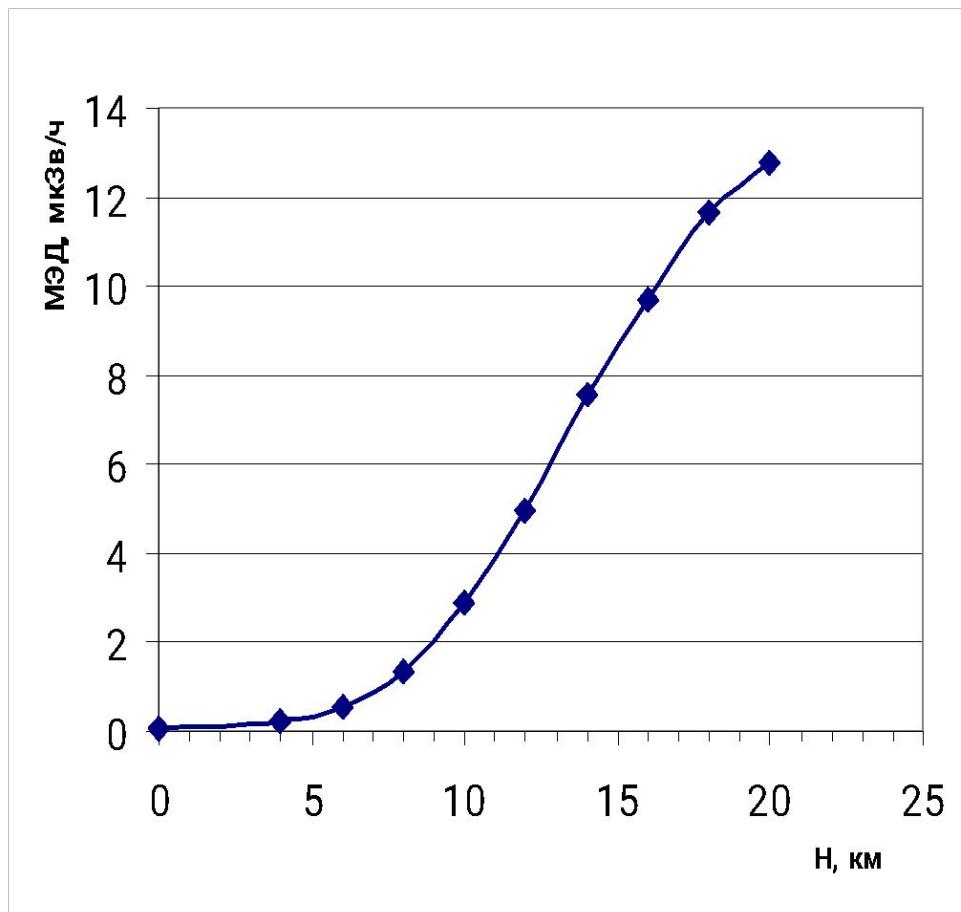
Медицинские приборы – 0,53



Глобальные осадки < 0,01



Мощность дозы космического излучения на разной высоте



Высота, км МЭД, мкЗв/ч

0 0,10

4 0,20

6 0,51

8 1,35

10 2,88

12 4,93

14 7,56

16 9,70

18 11,64

20 12,75

РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

- * **Под радиочувствительностью понимают** степень реакции клеток, тканей, органов и организмов на воздействие ионизирующего излучения.
- * **Доза облучения** - мера количественной оценки радиочувствительности, при которой возникает регистрируемый эффект.

РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

- * **Видовая радиочувствительность** - свойственная каждому биологическому объекту (клеткам, тканям, органам или организмам) своя мера восприимчивости к воздействию ионизирующей радиации.

Воздействие радиации на ткани и органы человека, восприимчивость к ионизирующему излучению.

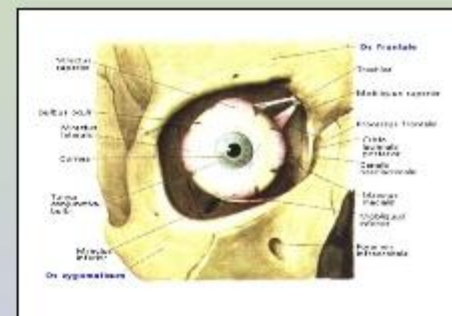
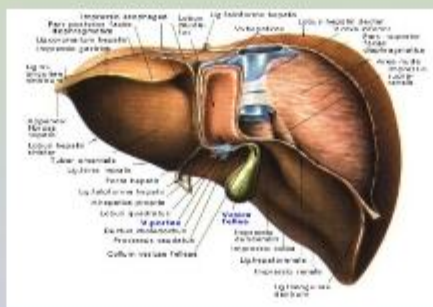
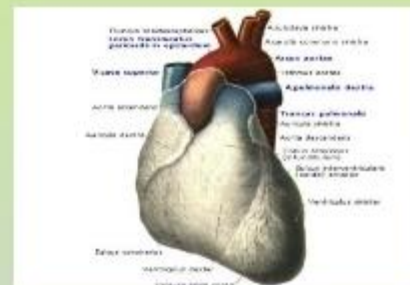
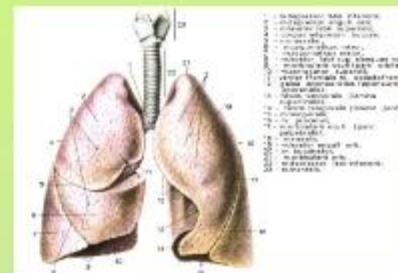
Органы, подвергающиеся облучению



Рис. 1. Коэффициенты радиационного риска для разных органов человека при равномерном облучении (1,00 — организм в целом)

Радиочувствительность клеток к излучению

Орган	Допустимая доза
Красный костный мозг	0,5-1 Гр
Хрусталик глаза	1-3 Гр
Почки	23 Гр
Печень	40 Гр
Мочевой пузырь	55 Гр
Зрелая хрящевая ткань	>70 Гр
Кожа и её производные	10 Гр
Семенники	2-4 Гр
Яичники	2,5-6 Гр



РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

- * Более радиоустойчивые ткани (мышечная, нервная, костная) принято называть **радиорезистентными**.
- * Ткани, относящиеся к радиорезистентным по непосредственным лучевым реакциям, могут оказаться весьма радиочувствительными по отдаленным последствиям воздействия излучения.

Виды лучевого поражения

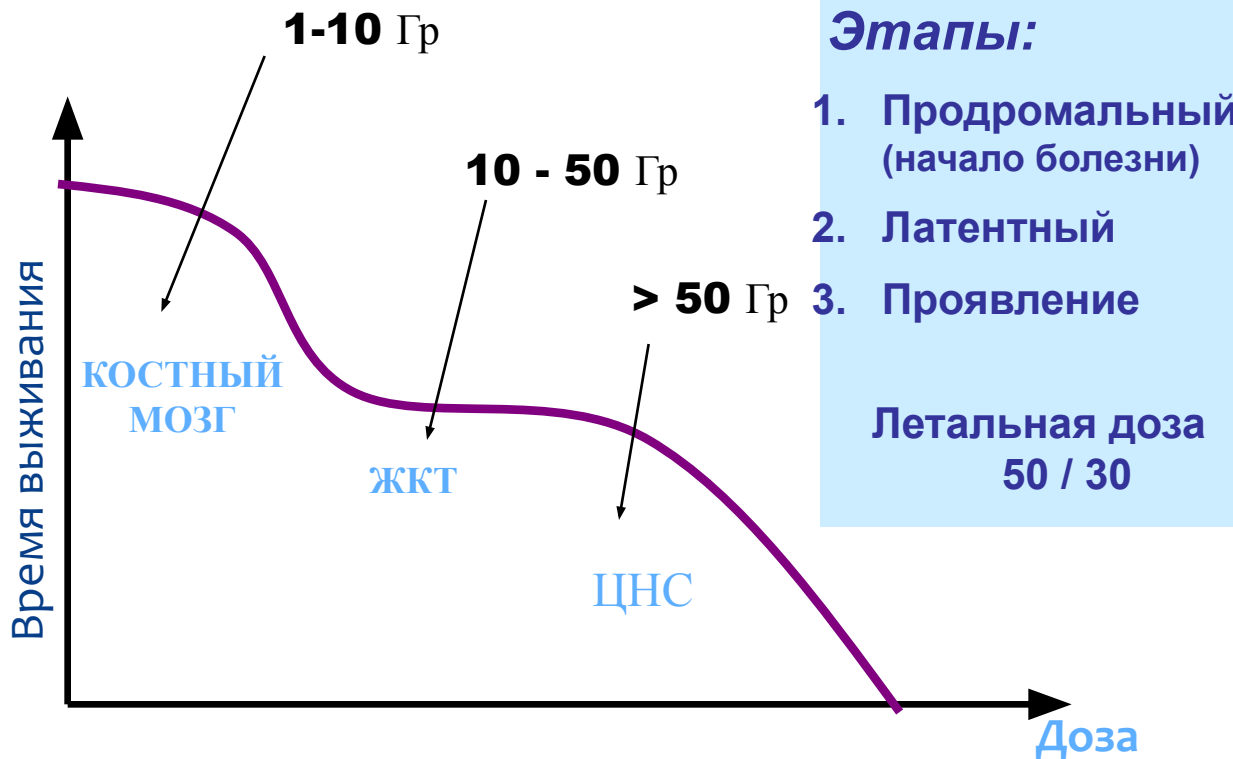
В зависимости от вида излучений, дозы облучения и его условий возможны различные виды лучевого поражения:

- * **острая лучевая болезнь (ОЛБ)** - от внешнего и внутреннего облучения,
- * **хроническая лучевая болезнь;**
- * **отдаленные последствия** (злокачественные опухоли);
- * **дегенеративные и дистрофические процессы** (катаракта, стерильность, склеротические изменения);
- * **генетические последствия**, наблюдаемые у потомков облученных родителей.

Облучения всего тела: взрослые



Острая лучевая болезнь



Синдром хронического облучения

- Клинические проявления частичного облучения тела человека
- Механизм: нейровегетативное расстройство
- Подобно чувству тошноты
- Довольно часто в случае фракционированной радиотерапии

Системные эффекты

Эффекты

- * Немедленные (обычно обратимы): < 6 месяцев
например.: воспаление, кровотечение.
- * Отсроченные (обычно необратимы): > 6 месяцев
например: атрофия, склероз, фиброз

Классификация доз

- * < 1 Гр: МАЛАЯ ДОЗА
- * 1-10 Гр: СРЕДНЯЯ ДОЗА
- * > 10 Гр: ВЫСОКАЯ ДОЗА

Регенерация означает замещение оригинальной тканью, в то время как репарация означает замещение соединительной тканью.

Реакции на облучение

Конечный результат облучения часто во многом зависит от

- * мощности дозы,
- * от природы излучений.

Радиация по-разному действует на людей в зависимости от

- * пола и возраста,
 - * состояния организма,
 - * его иммунной системы и т. п.,
- но особенно сильно - на младенцев, детей и подростков.

Источники радиационного фона

Радиационный фон – природное явление.

Давайте разберемся в его происхождении и влиянии на человека.



Естественные источники ИИ (космические лучи, естественная радиоактивность почвы, воды, воздуха, радиоактивность, содержащаяся в теле человека) создают в среднем мощность эквивалентной дозой 125 мбэр в год.

Предельно допустимые дозы

- * *Эквивалентная доза в 400—500 бэр, полученная за короткое время при облучении всего организма, может привести к смертельному исходу (без специальных мер лечения).*
- * *Однако такая же эквивалентная доза, полученная человеком равномерно в течение всей его жизни, не приводит к видимым изменениям его состояния.*
- * *Эквивалентная доза в 5 бэр в год считается предельно допустимой дозой (ПДД) при профессиональном облучении.*

Дозы, приводящие к гибели в ранние и поздние сроки

Доза облучения, бэр, более	Признаки поражения человека
50	Видимых признаков поражения нет
100	При многократном облучении (10–30 суток) внешних признаков нет; при однократном возможна тошнота, рвота, слабость
200	При многократном (в течение 3 месяцев) — внешних признаков нет; при однократном — признаки лучевой болезни I степени
300	При многократном — первые признаки лучевой болезни; при однократном — лучевая болезнь II степени
400–700	Лучевая болезнь III степени; головная боль, температура, слабость, тошнота, рвота, понос, изменение состава крови; при отсутствии лечения — смерть
700	В большинстве случаев — смертельный исход
1000	Молниеносная форма лучевой болезни, гибель в первые сутки

Закон радиочувствительности

- * Каждому биологическому виду свойственна своя радиочувствительность.
- * Чем выше уровень биологического развития организма, тем выше его радиочувствительность (за некоторым исключением) - **закон радиочувствительности** (правило Бергонье-Трибондо):
 1. Клетки тем более радиочувствительны, чем больше у них способность к размножению.
 2. Клетки тем более радиочувствительны, чем менее определено выражена их морфология и функции.

Летальные дозы

Одним из критериев оценки биологической эффективности излучений является гибель организмов.

- * Доза ионизирующей радиации, при которой гибнет половина организмов, называется **полулетальной** (LD_{50}).
- * Минимальная доза, смертельная для всех облученных организмов, называется **летальной** (LD_{100}).

Летальные дозы гамма-излучения для разных биологических видов

Биологический вид	Летальная доза (Зв)
Овца	2 ÷ 4
Собака	5 ÷ 6
Человек	5 ÷ 8
Мыши	12 ÷ 26
Кролик	18 ÷ 20
Птицы	16 ÷ 24
Рыбы	16 ÷ 40
Змеи	160 ÷ 400
Насекомые	200 ÷ 2000
Растения	20 ÷ 3000
Простейшие	2000 ÷ 6000

ДЕТАЛЬНЫЕ И ПОЛУДЕТАЛЬНЫЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ, Гр

Вид	ЛД ₅₀ (50%)	ЛД ₁₀₀ (100%)
Морская свинка	1.5...3.0	4.0...6.0
Овца	1.5...4.0	5.5...7.5
Ягнята до 3 месяцев	1.5...3.0	6.0
Крупный рогатый скот	1.6...5.5	6.5
Телята до 5 месяцев	2.0...5.5	8.0
Осел	2.0...5.5	7.5
Коза	2.5	—
Верблюды	2.5...4.0	6.0
Человек	2,5...5,5	4,0...6.0
Обезьяна	2.5...6.0	8.0
Свинья	2.5...3.0	4.5
Поросята до 2 месяцев	2.5...6.0	—
Лошадь	3.5...4.0	5.0...6.5
Собака	2.0...3.5	4.0...5.0
Щенки до 3 мес	4.5...7.0	8.0...10.5
Мышь	4.6...7.5	7.0
Крыса	5.0...7.0	10.0
Кошка	5.0...7.5	8.0
Летучая мышь	5.0...8.0	9.5
Хомяк	5.5...8.0	—
Полевка	6.0...9.0	9.0...10.0
Суслик	6.0...9.5	9.0...11.5
Сурок	8.0...10.0	11.0...12.0
Кролик	10.0...1	14.0
Птицы, рыбы	8.0...20.0	—
Насекомые	10.0...100.0	—
Змеи	80,0...200,0	—

Уровни биологического действия ИИ

Биологическое действие ионизирующих излучений (альфа- и бета- частицы, гамма- кванты, протоны и нейтроны) в живом организме условно можно подразделить на три уровня

- *молекулярный,
- *клеточный,
- *организменный (системный)

ЭТАПЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Этап	Явление	Длительность
1	Ионизация и возбуждение молекул вдоль траектории излучения	10^{-15} – 10^{-8} с
2	Химические повреждения (свободные радикалы, возбужденные молекулы)	10^{-7} –10 с
3	Биомолекулярные повреждения (белки, нуклеиновые кислоты)	10^{-6} с –10 час
	Ранние биологические эффекты (гибель клеток, гибель живого организма)	часы – недели
	Отдаленные биологические эффекты (возникновение опухолей, генетические эффекты)	годы – столетия

Воздействие излучения на живые клетки

«Радиобиологический парадокс»

Полулетальная доза для человека = 4 Гр = 270 Дж = 67 кал

По энергетическим затратам:

гибель в 50% случаев

1 чайная ложка
горячего кофе

2 секунды на пляже



=



=

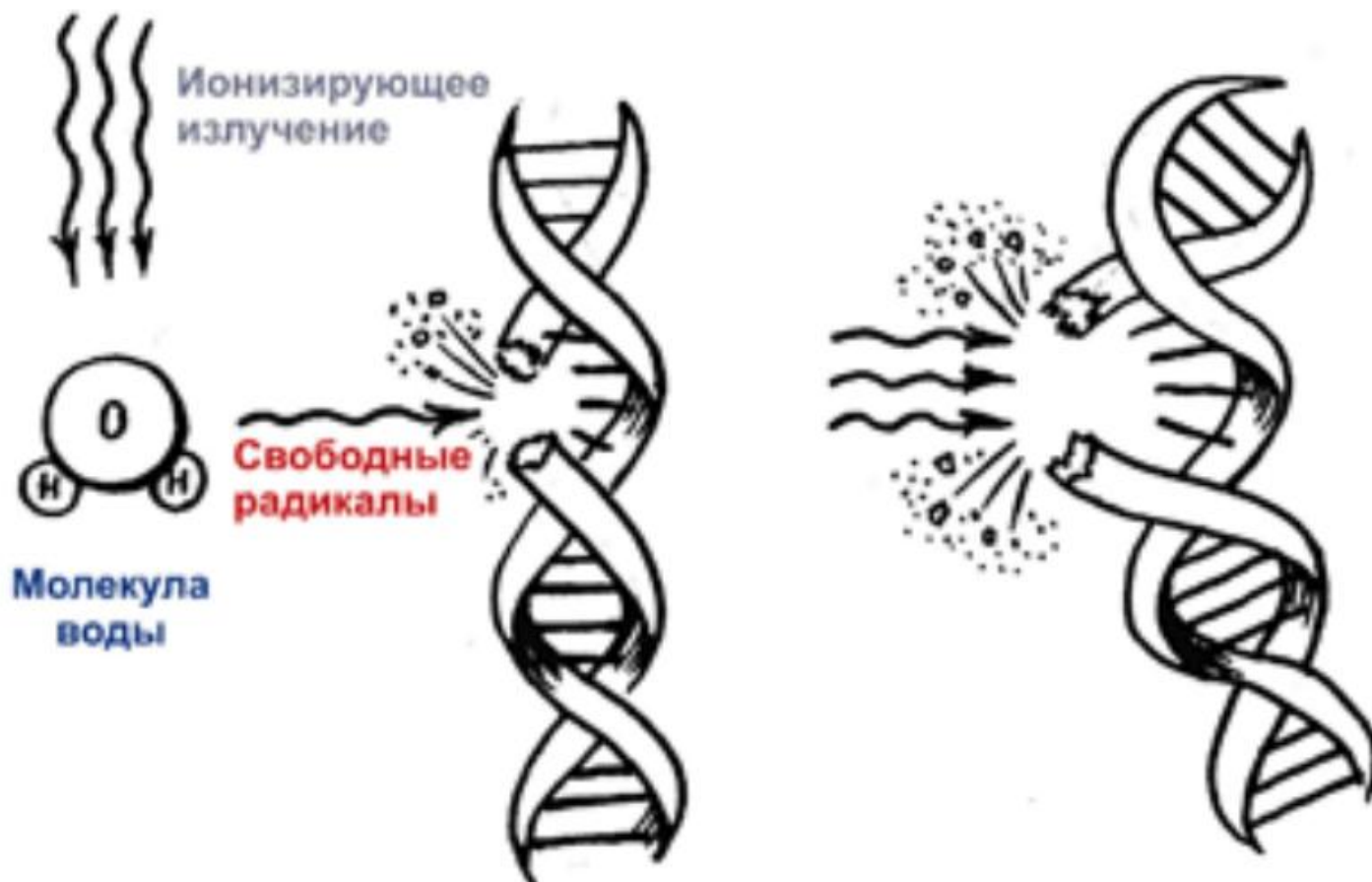


Энергия ионизирующих излучений оказывается несопоставимо малой при сравнении с тем же биологическим эффектом, вызываемым тепловой энергией.

«Теория мишени» (30-е годы XX столетия)

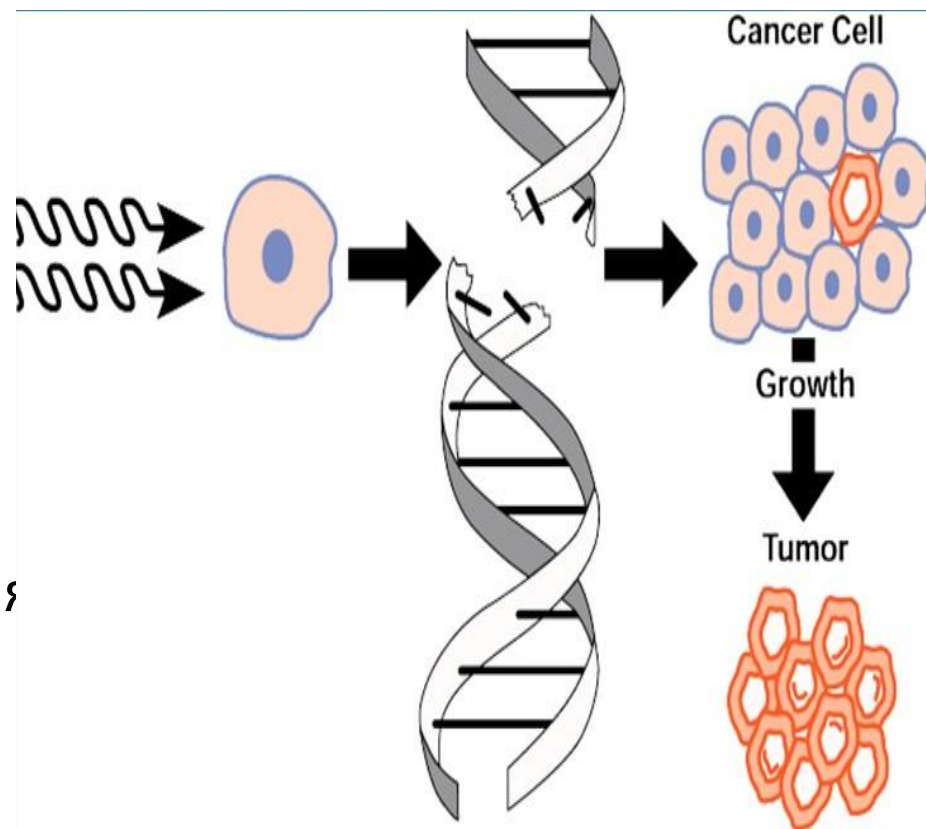
- * Согласно теории мишени, в биологических объектах имеются особо чувствительные объёмы — «мишени», поражение которых приводит к поражению всего объекта.
- * Дискретная природа ИИ и их взаимодействий с веществом позволяет исходить из представлений об «обстреле» вещества частицами различных энергий (фотоны, быстрые электроны или другие частицы), а в связи с этим — из *принципа попадания* и «мишени».
- * Т.о. даже небольшие дозы ИИ могут вызвать гибель клетки или какие-либо редкие специфические реакции в ней

Прямое и косвенное биологическое действие радиации

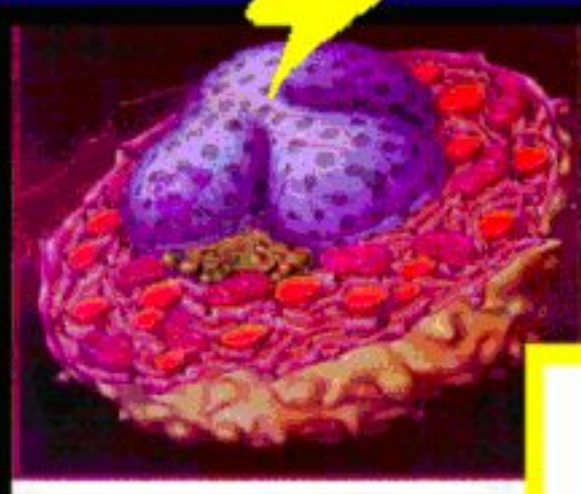


Прямое действие ионизирующего облучения

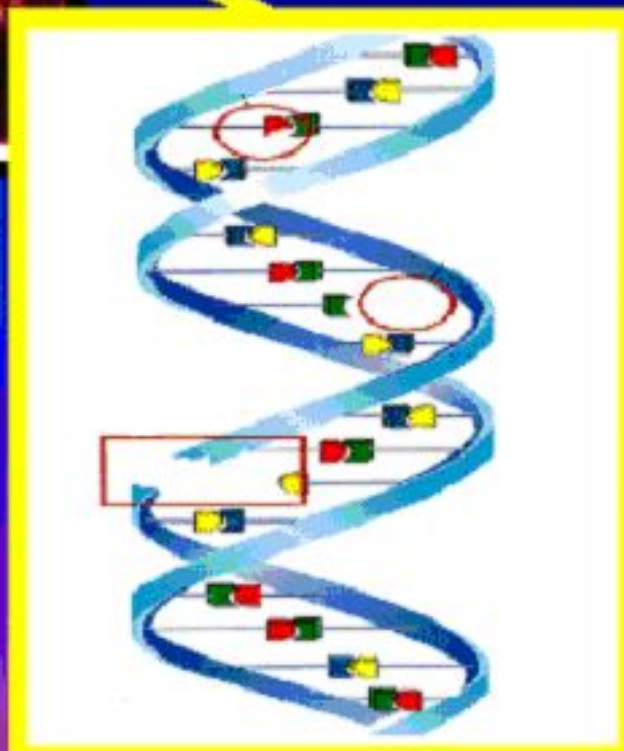
- * Прямое действие ИИ может вызвать непосредственно гибель или повреждение (обратимое или необратимое) клеток организма.
- * Под действием физиологических процессов в клетках возникают функциональные изменения, или гибель клеток, и отклонения в жизнедеятельности организма.



Биологические Эффекты Радиации



Удар радиации
по клетке



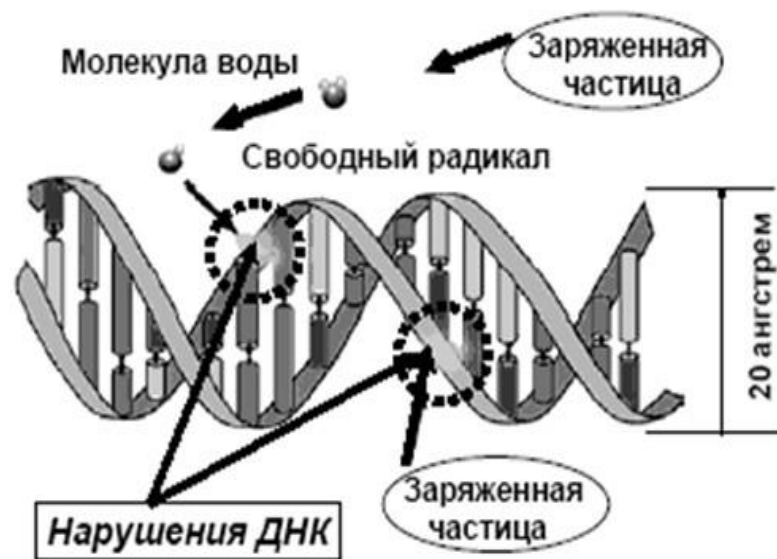
ИИ может привести к разрушению отдельных химических связей в ДНК – к разрыву одной или обеих ее нитей → инактивация макромолекулы

Одиночные разрывы ДНК

- при воздействии излучений с *низкой ЛПЭ* (фотонов, электронов, быстрых протонов)

Двойные разрывы ДНК

- при воздействии излучения с *высокой ЛПЭ* (α -частиц, медленных протонов)



Base alteration
Повреждение
основания



Abasic site
Выпадение



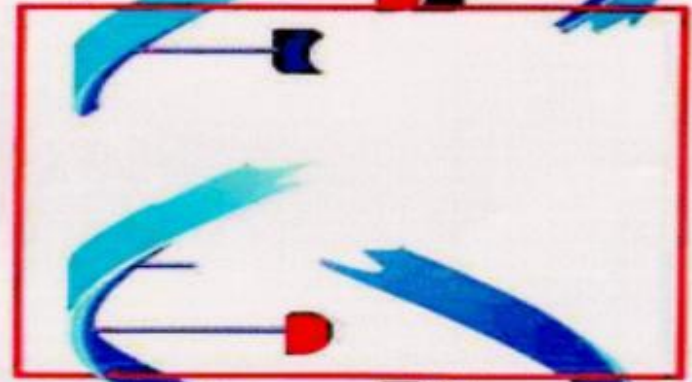
Однонитевой
разрыв



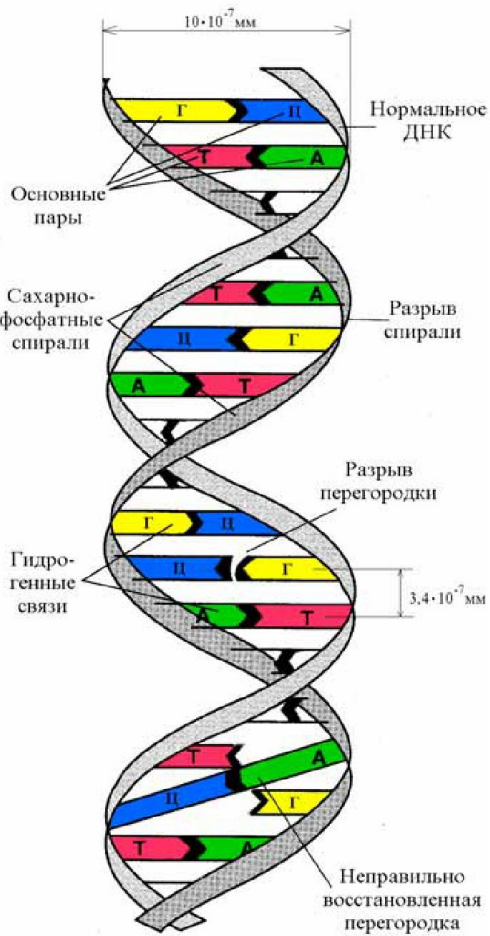
Простой двунитевой
разрыв



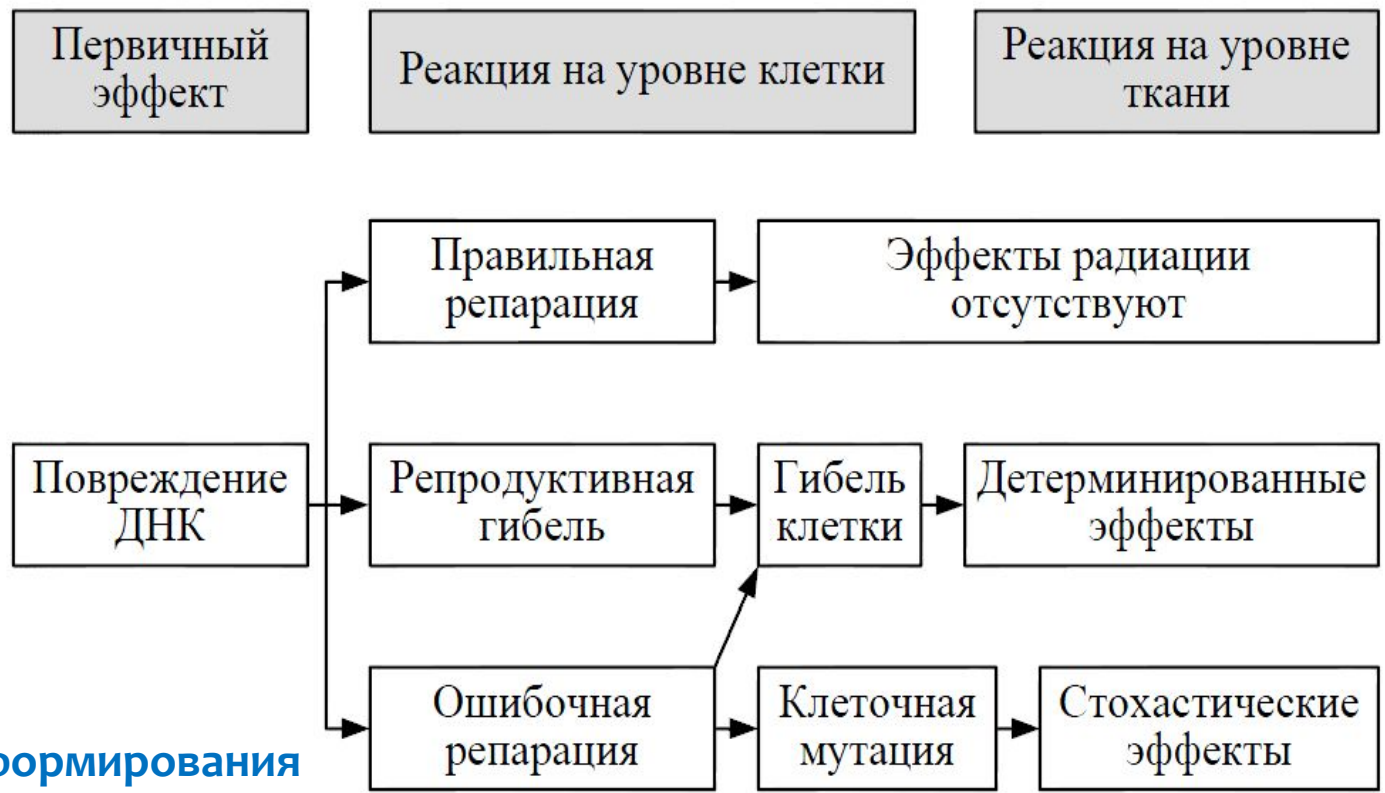
Комплексное повреждение



Фундаментальный радиобиологический закон: при любой дозе есть отличная от нуля вероятность того, что какие-то из облученных объектов останутся неповрежденными.



**Стадии формирования
эффектов радиации**



Первичный эффект

Реакция на уровне клетки

Реакция на уровне ткани

Повреждение ДНК

Правильная репарация

Эффекты радиации отсутствуют

Репродуктивная гибель

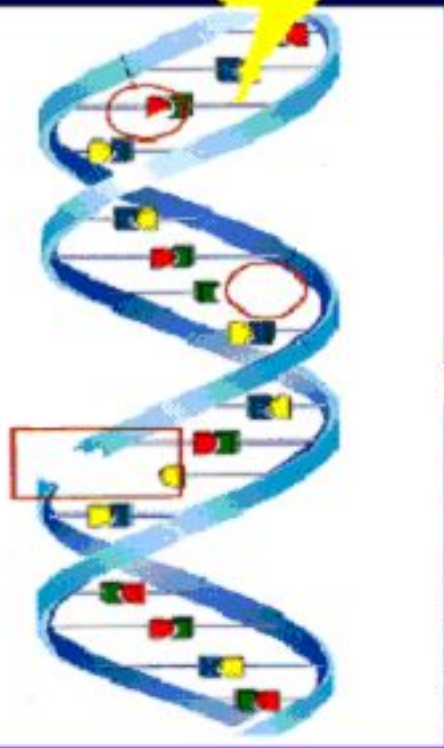
Гибель клетки

Детерминированные эффекты

Ошибочная репарация

Клеточная мутация

Стохастические эффекты



Эффект = f (Доза)



Репарация
разрушения



Нет эффектов



Гибель
клеток



Детерминированные
эффекты (> 1Зв)



Клетки
выживают, но
мутируют



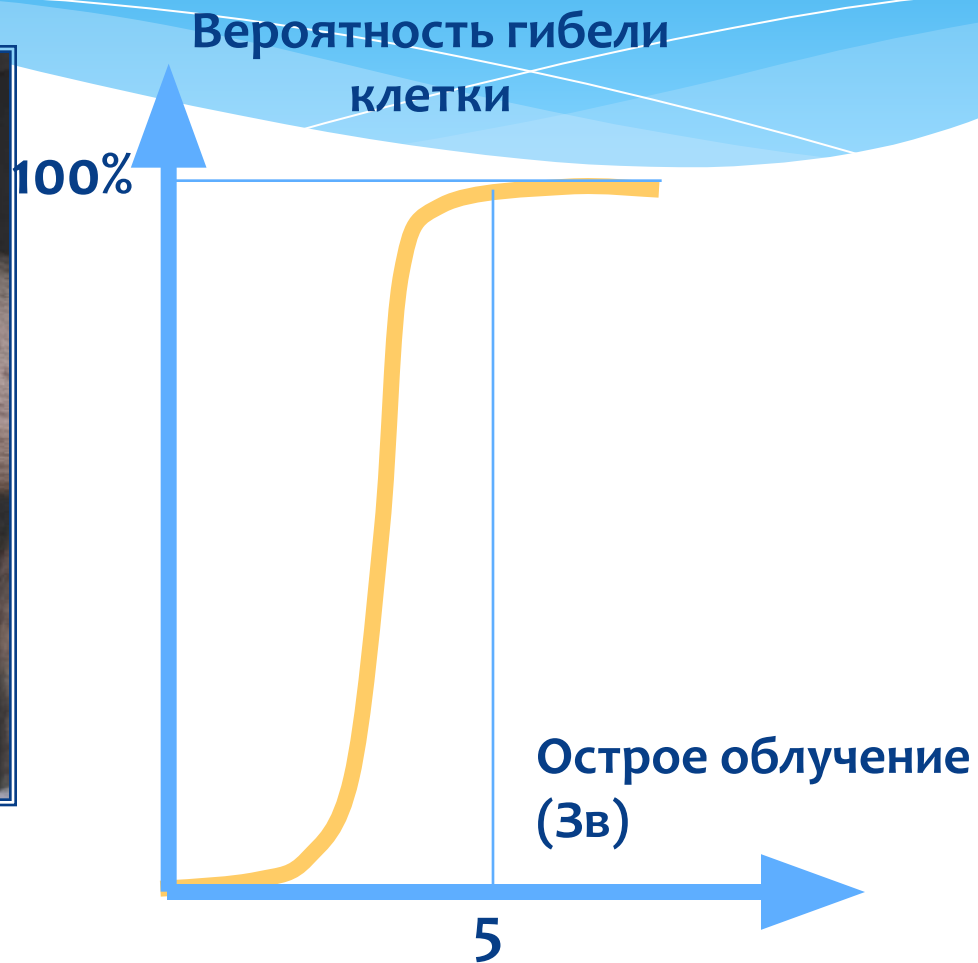
Стохастические
эффекты

Репарация поврежденной ДНК



* РАДИОБИОЛОГИ
СЧИТАЮТ, ЧТО
РЕПАРАЦИОННАЯ
СИСТЕМА НЕ ЯВЛЯЕТСЯ
ЭФФЕКТИВНОЙ НА 100%.

Результат гибели клеток



Повреждение биомолекул непрямым (косвенным) действием излучения

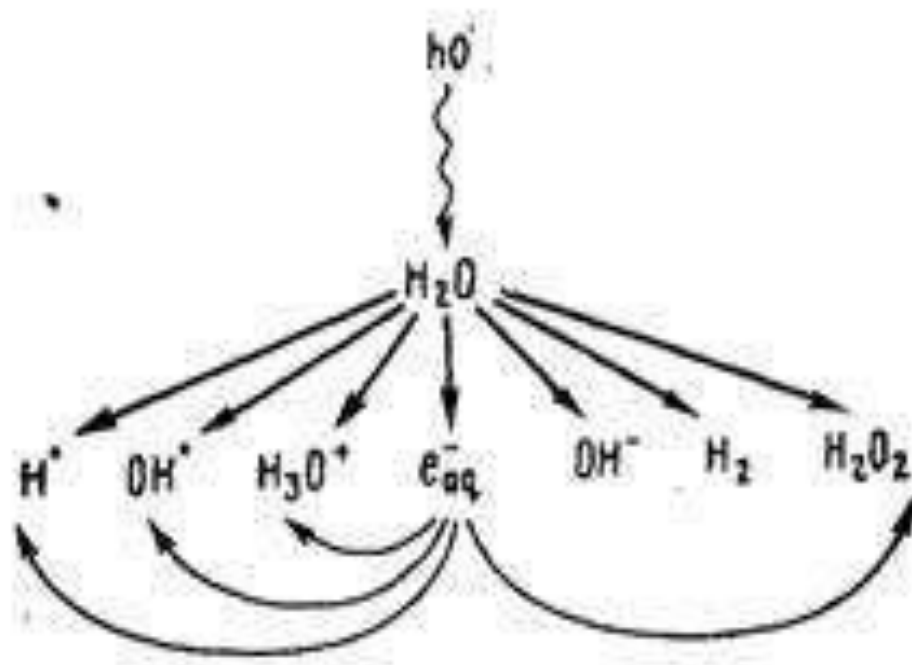


Клетка организма состоит
на 60 – 70% воды

- * у человека основную часть массы тела составляет вода (порядка 75%)

Повреждение биомолекул непрямым (косвенным) действием излучения


- * Ионизация молекул воды приводит к образованию высокоактивных радикалов типа OH^\cdot и H^\cdot , свободных радикалов гидроперекиси ($\text{H}_2\text{O}_2^\cdot$) и перекись водорода (H_2O_2), являющиеся сильными окислителями.



Повреждение биомолекул непрямым (косвенным) действием излучения

- * Продукты радиолиза активно вступают в реакцию с белковыми молекулами, образуя токсичные соединения, которые приводят к разрушению клеточных мембран (стенок клеток и других структур), нарушениям жизнедеятельности отдельных функций или систем организма в целом.



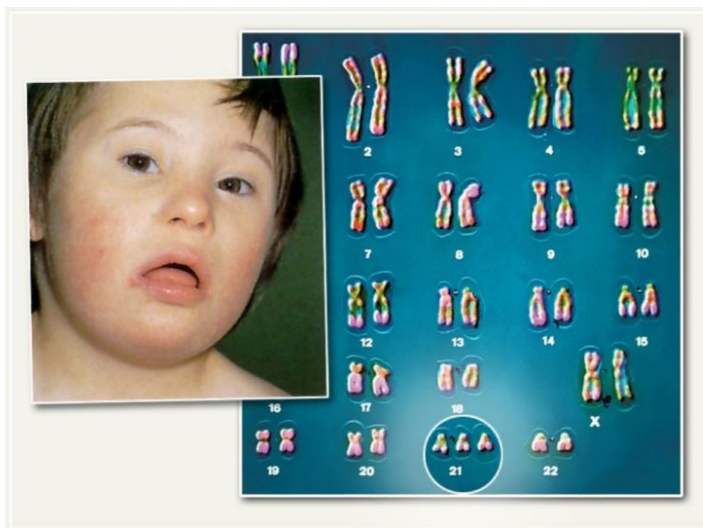


* На долю непрямого действия приходится 55% суммарного биологического эффекта ионизирующей радиации.

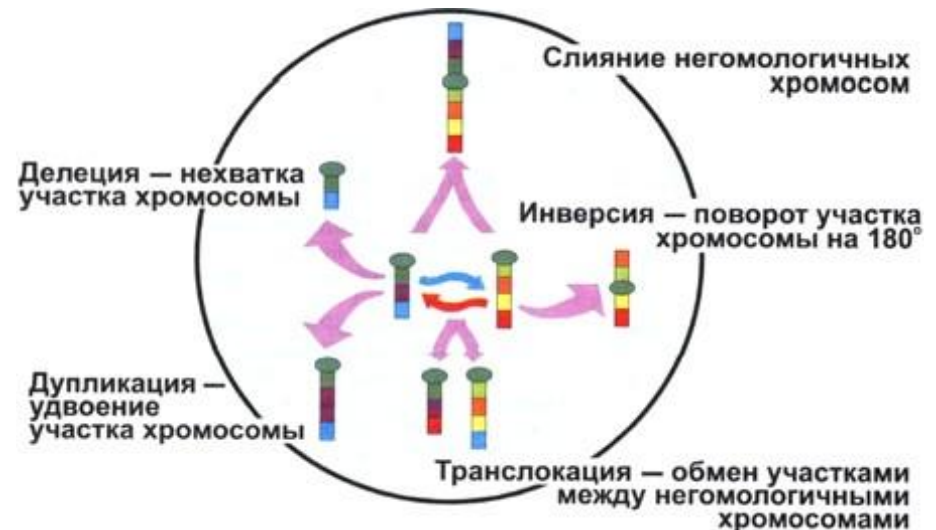
Детерминированные, стохастические и генетические эффекты

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЛЮДЕЙ

Соматические	Соматико-стохастические	Гентические
Локальные лучевые поражения	Сокращение продолжительности жизни	Генные мутации
Острая лучевая болезнь	Лейкозы	Хромосомные абберации
Хроническая лучевая болезнь	Опухоли разных органов и клеток	



Присутствие лишней хромосомы 21-й пары приводит к развитию синдрома Дауна.



Эффекты воздействия радиации на человека:

Соматические

(телесные) – возникающие в организме человека, который подвергался облучению.

- Они проявляются либо через сравнительно короткий промежуток времени после облучения (часы, дни), либо через несколько лет или даже десятилетий (соматико-стохастические эффекты)

Генетические

– связанные с повреждением генетического аппарата

- проявляются в следующем или последующих поколениях: дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению.

Факторы соматического действия ИИ

- * доза облучения;
- * вид облучения;
- * продолжительность облучения;
- * размеры облучаемой поверхности;
- * индивидуальная чувствительность организма.

Различают пороговые (детерминированные) и стохастические эффекты.

В основе развития **стохастических эффектов** лежит мутагенное действие излучения.

В основе **детерминированных эффектов** – гибель клеток органов и тканей под действием излучения.

Общая классификация биологических эффектов ионизирующего излучения

Клетки-мишени	Эффекты излучения	
	Детерминированные	Стохастические
Соматические клетки человека	Лучевые поражения органов и тканей	Злокачественные опухоли и лейкозы
Соматические клетки человеческого эмбриона и плода	Тератогенные эффекты	Злокачественные опухоли и лейкозы
Половые клетки родителей		Наследуемые заболевания у потомков

* Тератогенный эффект радиации — это возникновение пороков развития и уродств вследствие облучения *in utero* («в утробе», от лат «uterus» — матка)

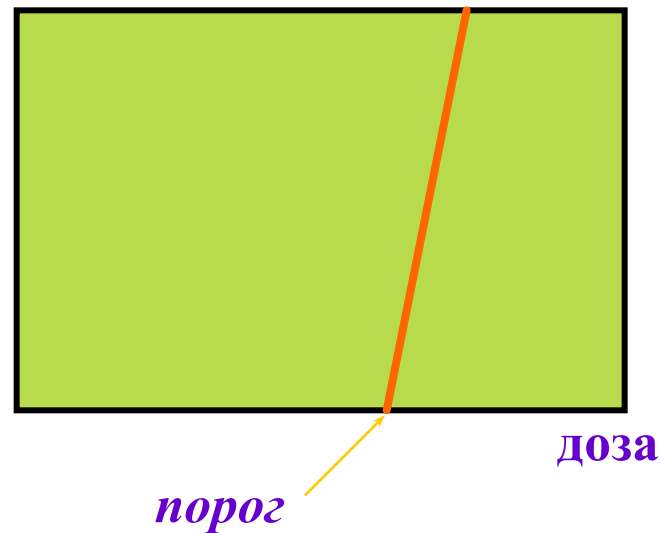
Детерминированные эффекты

- * Пороговые эффекты.
- * Ниже порога эффект отсутствует, а выше - тяжесть эффекта зависит от дозы.
- * Значение *пороговой дозы* определяется радиочувствительностью клеток пораженного органа или ткани и способностью организма компенсировать или восстанавливать такое поражение.

Пороги доз детерминированных эффектов

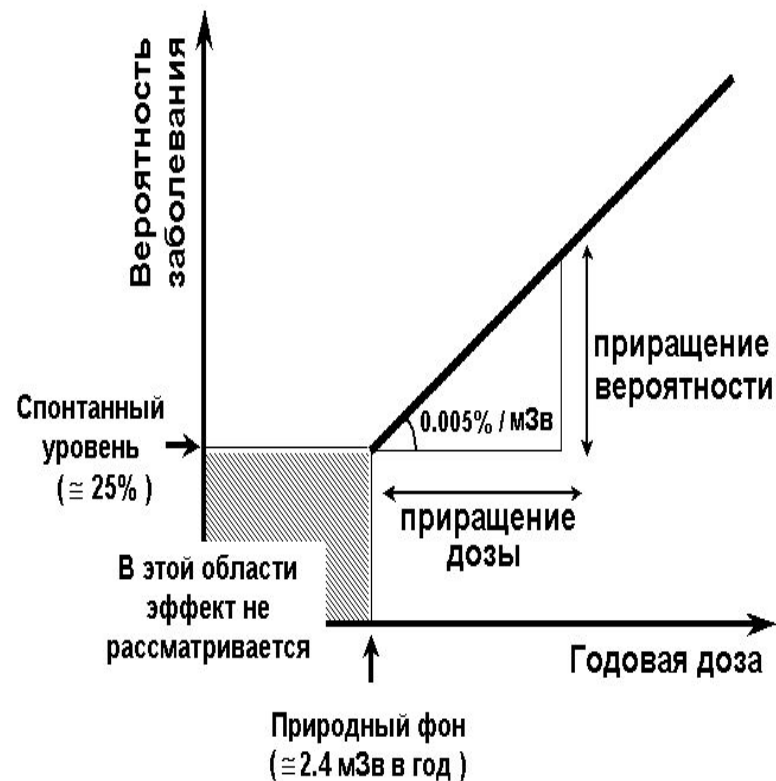
- Катаракта 2-10 Гр
- Постоянная стерильность
 - мужчины 3,5 - 6 Гр
 - женщины 2,5 - 6 Гр
- Временное бесплодие
 - мужчины 0,15 Гр
 - женщины 0,6 Гр

Тяжесть
эффекта



Стохастический эффект

- * Стохастические эффекты (беспороговые)
- * Нет дозового порога
- * Вероятность возникновения эффекта возрастает с дозой
- * Как правило, все начинается с одной клетки
- * Примеры: злокачественные опухоли (раки), генетические эффекты

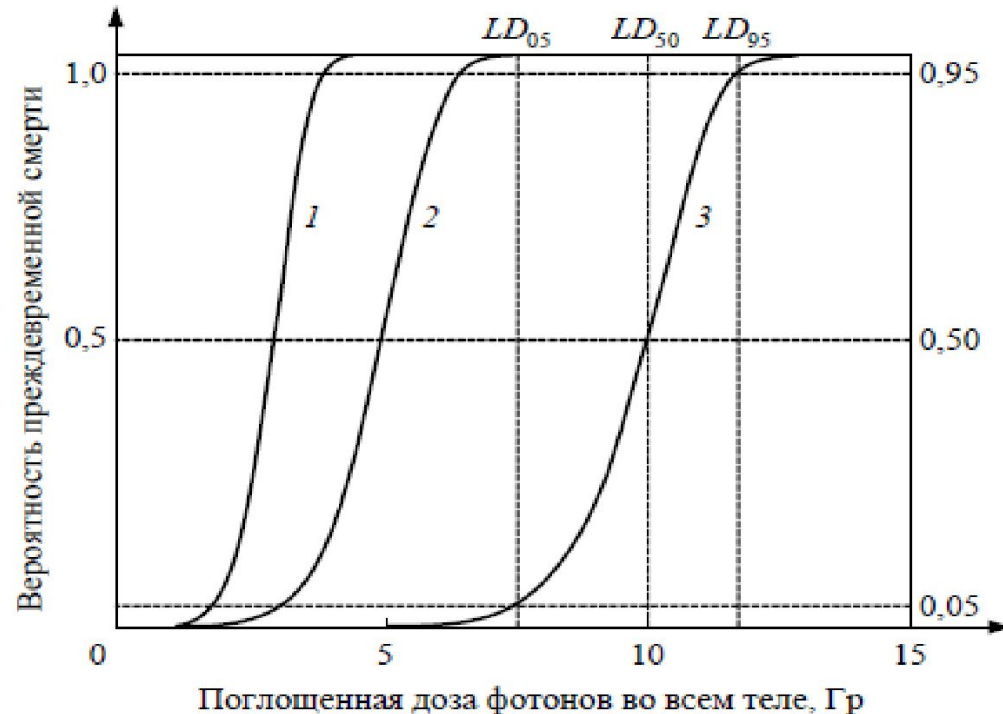


Биологические эффекты радиационного воздействия

Доза (Зв)	Действие на человека
0–0,25	Отсутствие явных повреждений
0,25–0,50	Возможные изменения состава крови
0,50–1,00	Изменение в крови, усталость, слабая тошнота
1,00–2,00	Изменения в крови, рвота, явные патологические изменения. Возможна потеря трудоспособности. Нижний уровень развития легкой степени лучевой болезни
2,00–4,00	Нетрудоспособность (кровоизлияния, временная стерильность)
4	Смертность около 50 %, тяжелая степень лучевой болезни
6	Повреждение центральной нервной системы, смертность около 100 %
более 8	Смерть неизбежна

Дозовые зависимости, характерные для детерминированных эффектов при равномерном облучении всего тела фотонами

- * LD_{50} – медианна дозы, при которой рассматриваемый эффект (например, преждевременная смерть) возникает у 50% облученных;
- * LD_{95} – смертельной дозой;
- * LD_{05} – пороговой дозой.



- 1 – быстрая гибель от поражения костного мозга при отсутствии специальной медицинской помощи;
- 2 – быстрая гибель от поражения костного мозга при наличии специальной медицинской помощи;
- 3 – скорая гибель от поражения желудочно-кишечного тракта и легких

Нормативные документы

Государственное
санитарно-эпидемиологическое нормирование
Российской Федерации
Государственные санитарно-эпидемиологические
правила и нормативы



2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Нормы
радиационной безопасности
(НРБ-99/2009)**

Санитарные правила и нормативы
СанПиН 2.6.1.2523 – 09

★
ИЗДАНИЕ
ОФИЦИАЛЬНОЕ

МОСКВА
2009

Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование
Российской Федерации
Государственные санитарно-эпидемиологические
правила и нормативы

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**ОСНОВНЫЕ
САНИТАРНЫЕ ПРАВИЛА
ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РАДИАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ
(ОСПОРБ 99 / 2010)**

Санитарные правила и нормативы
СП 2.6.1.2612 – 10

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

Москва
2010

**санитарные
правила**

**ОБРАЩЕНИЯ
С РАДИОАКТИВНЫМИ
ОТХОДАМИ
(СПОРО-2002)
СП 2.6.6.1168-02**

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА РОССИИ



Допустимые дозы облучения

Пределы доз

Нормируемые величины	Персонал группы А	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последо- вательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза в год		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
в коже	500 мЗв	50 мЗв
в кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Пределы доз для персонала Б равны 1/4 значений для персонала А.

