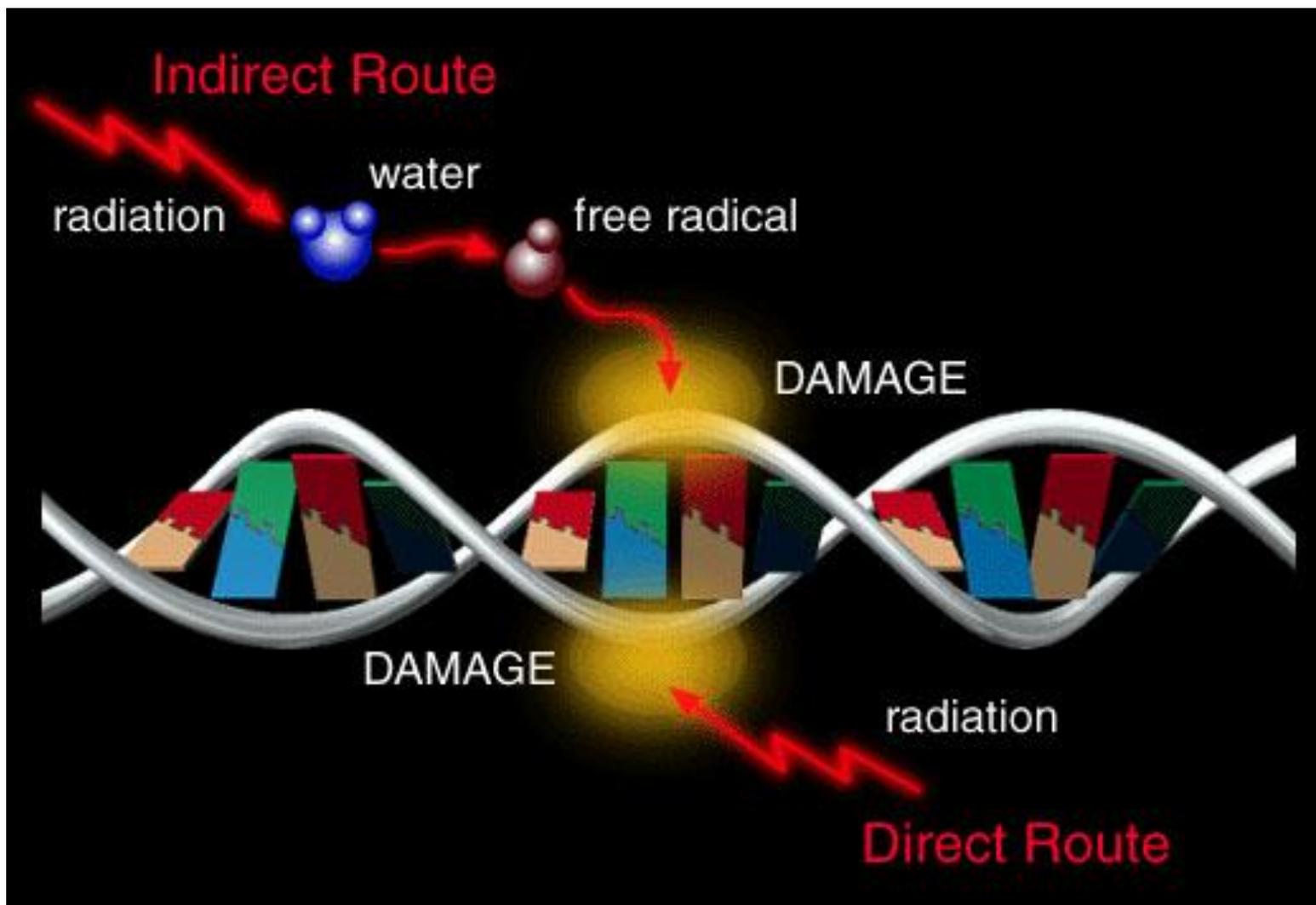


7. Биологическое действие ионизирующих излучений



- Под биологическим действием ионизирующих излучений понимают *связанную с облучением совокупность морфологических и функциональных изменений в живом организме.*

Особенности биологического действия радиации

- 1). Эффекты, связанные с облучением, обусловлены не столько количеством поглощенной энергии, сколько *формой, в которой она передается.*

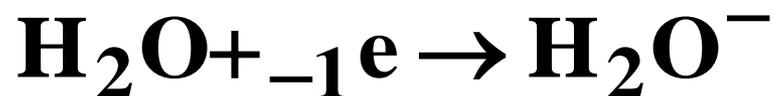
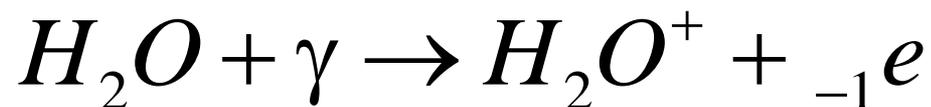
- **2). Действие ионизирующих излучений на организм в малых дозах не ощутимо человеком.**
- У людей отсутствуют органы чувств, которые воспринимали бы ионизирующие излучения.

- **3). Существует так называемый *скрытый (латентный) период* проявления первых симптомов поражения.**

- **4). Эффекты действия отдельных актов облучения суммируются, а полученная доза накапливается. При этом одноразовое облучение большой дозой вызывает более существенные повреждения, чем многократное (фракционированное) облучение с той же суммарной дозой.**

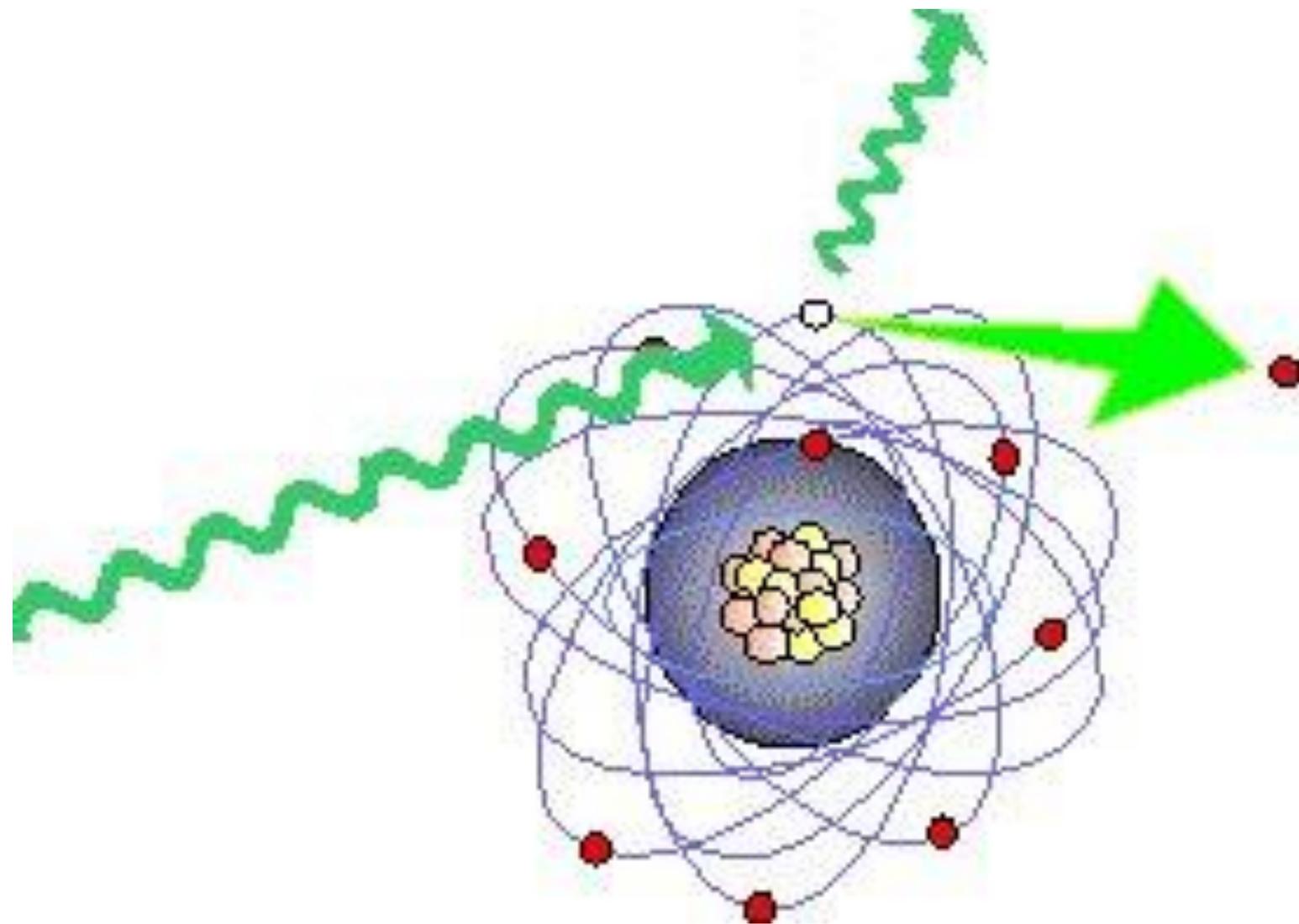
- **5). Органы живого организма, а также организмы в целом обладают различной чувствительностью к воздействию ионизирующих излучений.**

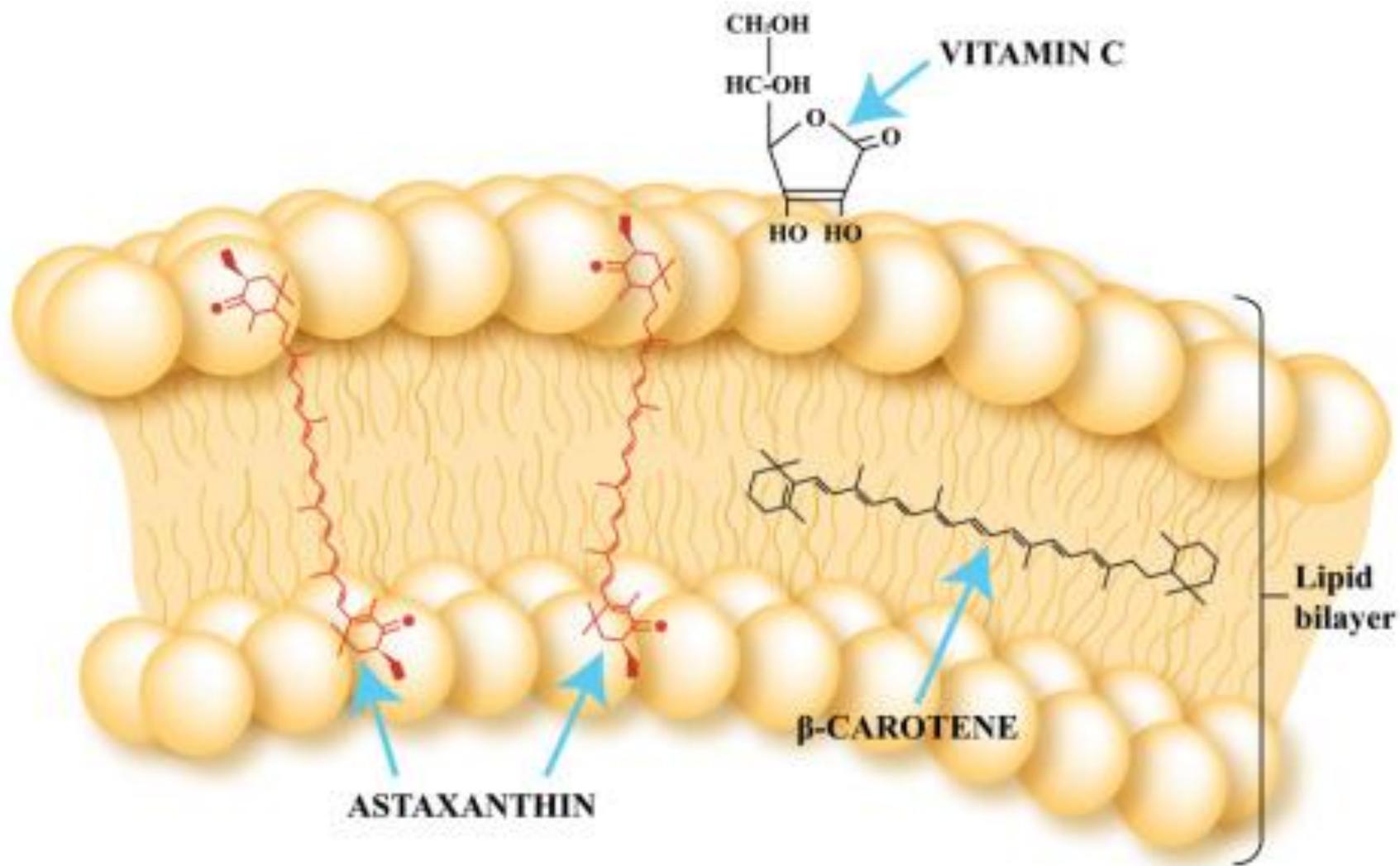
- **Физико-химический этап действия радиации:**

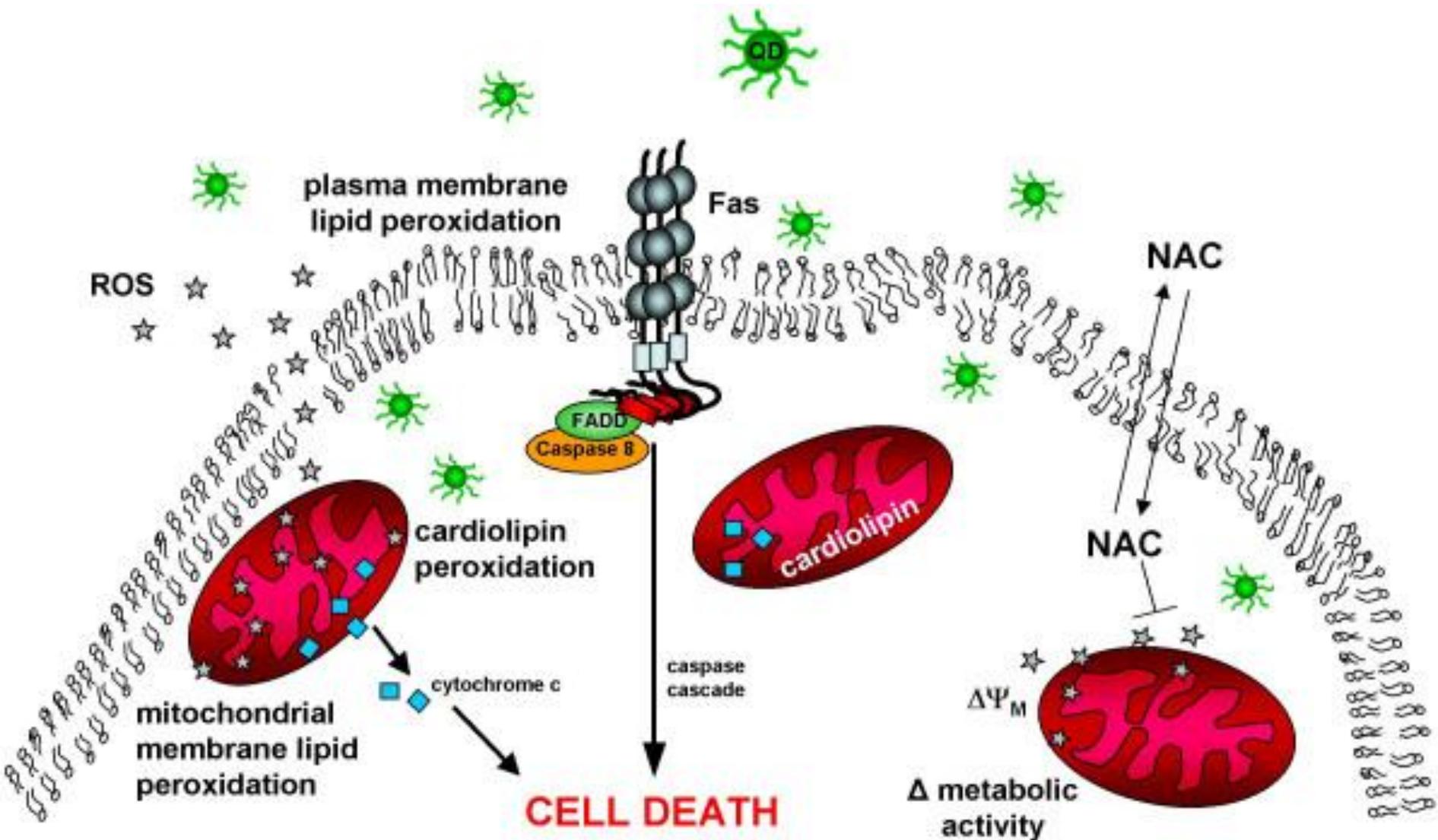


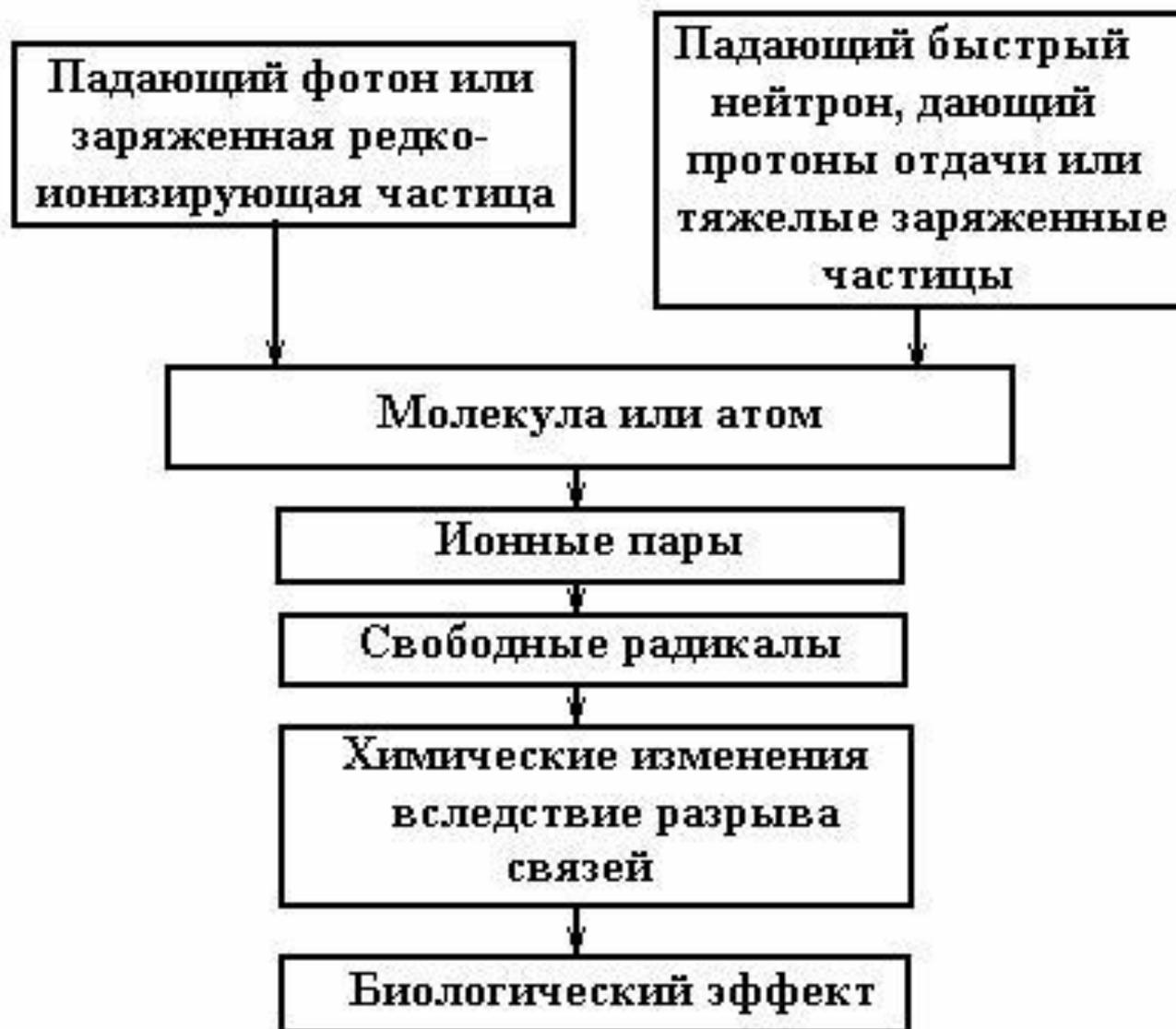
Под действием излучения образуются ионы (радиолиз воды) и свободные радикалы, оказывающие окислительное действие на биологическую клетку, вызывающие перекисное окисление липидов и пр.











Этапы действия ионизирующих излучений

| Этап | Явления | Длительность |
|-------------------------------------|---|-------------------------|
| 1. Физический (начальный) | ионизация и возбуждение атомов и молекул | $10^{-16} - 10^{-13}$ с |
| 2. Физико-химический | образование свободных радикалов | 10^{-10} – часы |
| 3. Биохимический | этап повреждения биологических молекул | 10^{-6} – часы |
| 4. Ранние биологические эффекты | от гибели отдельных клеток до гибели отдельных организмов | часы – недели |
| 5. Отдаленные биологические эффекты | возникновение онкологических заболеваний и генетические дефекты | годы – столетия |

Чувствительность некоторых организмов к радиации

| Класс | Представитель | Облучение, Гр | Эффект |
|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| Простейшие | Амеба | 1000 | <i>ЛД_{50/30}</i> |
| Ракообразные | Дафния | 65 | |
| Рыбы | Карась | 15 | |
| Земноводные | Лягушка | 7 | |
| | Тритон | 30 | |
| Пресмыкающиеся | Черепаша | 15 | |
| Птицы | Куры | 6 – 8 | |
| Млекопитающие | Кролик | 8 | |
| | Крыса | 6 | |
| | Обезьяна | 5.5 | |
| | Человек | 4.5 | |

Особенности действия радиации на человека

Весовой состав организма человека принимается следующим (в %): водород 10,1; углерод 11,1; азот 2,6; кислород 76,2.

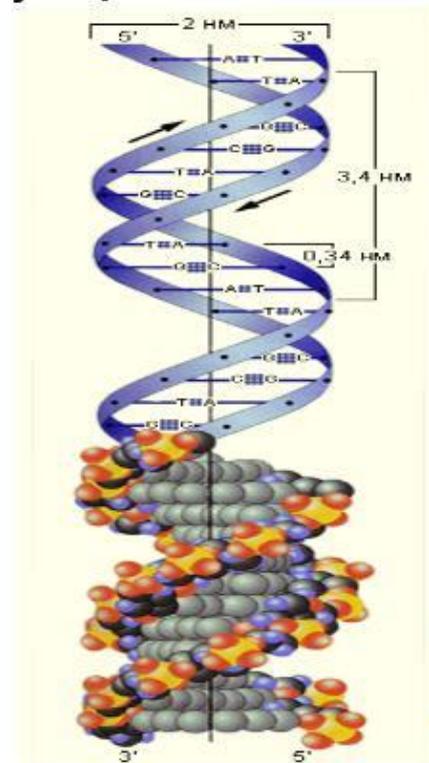
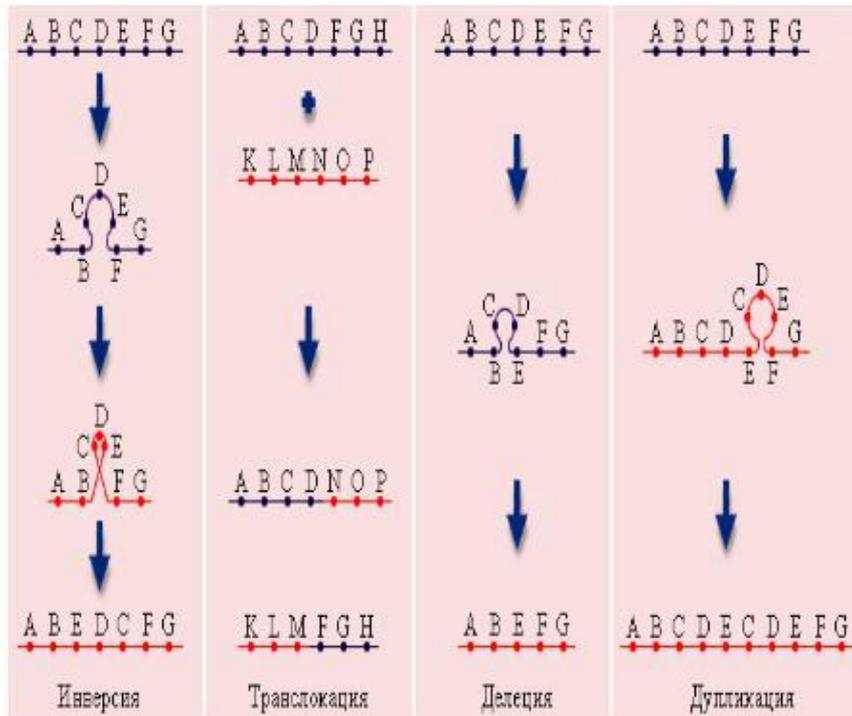
Соматические изменения — те изменения в состоянии здоровья, которые произошли у данного индивидуума в результате облучения.

Генетические изменения (мутации) затрагивают хромосомы половых клеток, т.е. проявляются в последующих поколениях.

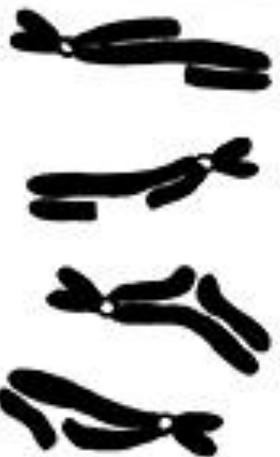


• МУТАЦИИ И ХРОМОСОМНЫЕ АБЕРРАЦИИ

- Хромосомные aberrации
- Генные мутации



Examples of 2-lesion *Chromatid-type* aberrations

| | INTERCHANGE | INTER-ARM INTRACHANGE | | INTRA-ARM INTRACHANGE | | "BREAK" DISCONTINUITY |
|----------|--|---|--|--|---|---|
| A |  <p>dicentric</p> | intra-chromatid  <p>(=centric ring)</p> | inter-chromatid  <p>(=dicentric)</p> | intra-chromatid  <p>interstitial deletion</p> | inter-chromatid  <p>isochromatid deletion</p> |  |
| S |  <p>reciprocal translocation</p> |  <p>pericentric inversion</p> |  <p>duplication/ deletion</p> |  <p>paracentric inversion</p> |  <p>(=duplication/ deletion)</p> |  <p>some are incomplete intra-arm intrachanges</p> |



Лучевая болезнь – комплексная реакция организма (затрагивающая многие органы и ткани) на облучение.



При дозе свыше 6.0 Гр развивается крайне тяжелая форма лучевой болезни. Через 2 – 4 часа проявляются сильные изменения в составе крови, почти полностью исчезают лейкоциты. Смерть наступает в 100 % случаев чаще всего по причине кровоизлияний и инфекционных заболеваний.

.

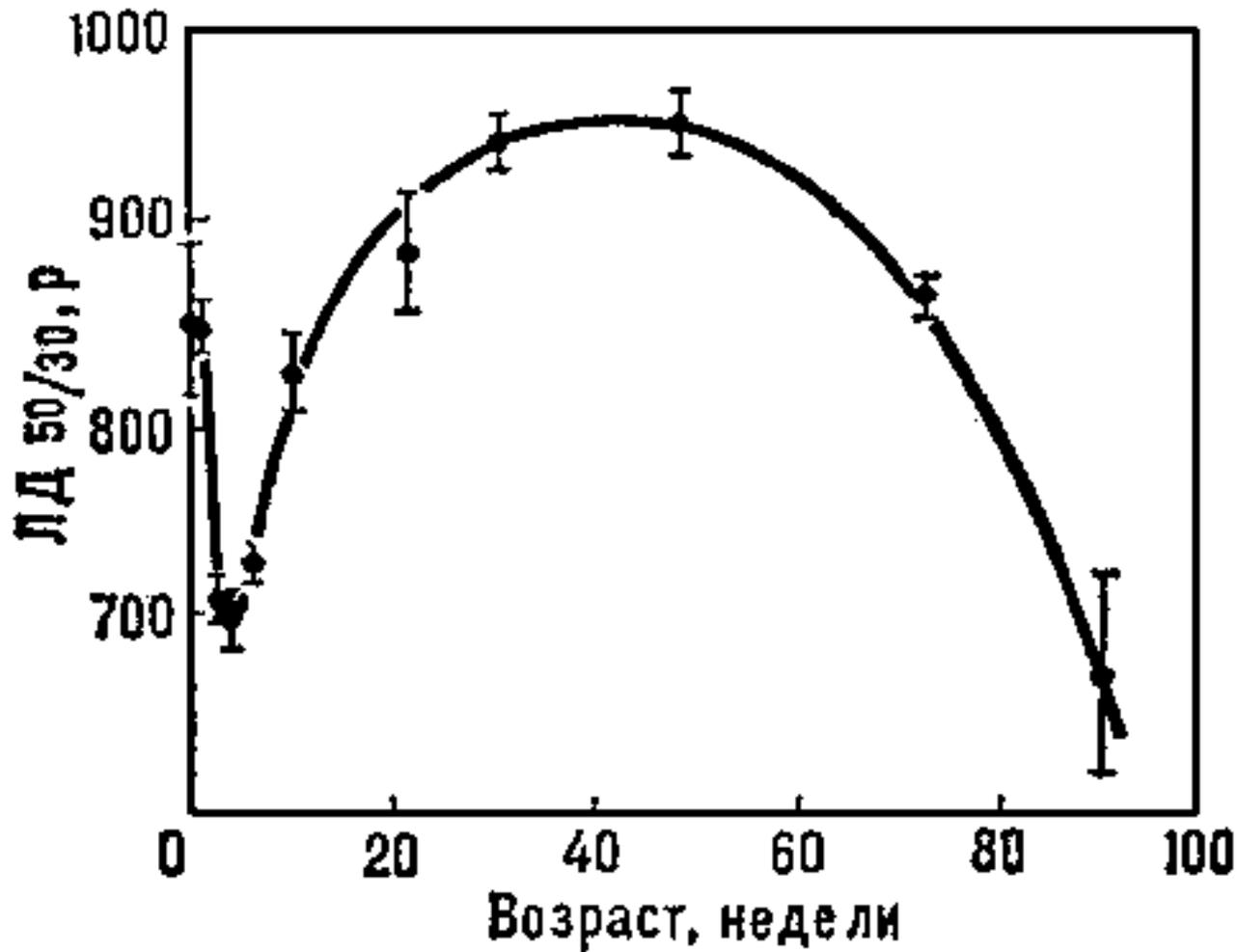
При дозе 4.0 – 6.0 Гр развивается тяжелая форма лучевой болезни. Летальный исход в 50 % случаев.

При дозе 2.5 – 4.0 Гр возникает лучевая болезнь средней тяжести. Летальный исход в 20 % случаев через 2 – 6 недель после облучения.

- При дозе **1.5 – 2.0 Гр** наблюдается **кратковременная форма лучевой болезни**. Она проявляется в виде выраженной, продолжающейся длительное время *лимфопении*. Смертельные исходы отсутствуют.

При дозе до 0.25 Гр какие-либо изменения в состоянии здоровья непосредственно не обнаруживаются. Нет и изменений в составе крови, которая прежде всего реагирует на облучение.

При надлежащем лечении в ряде случаев выздоравливали после получения дозы около 10 Гр



Выживаемость облученных мышей (ЛД 50/30) в зависимости от возраста.

- ***Критическими*** называются органы, первыми выходящие из строя в данном диапазоне доз облучения.

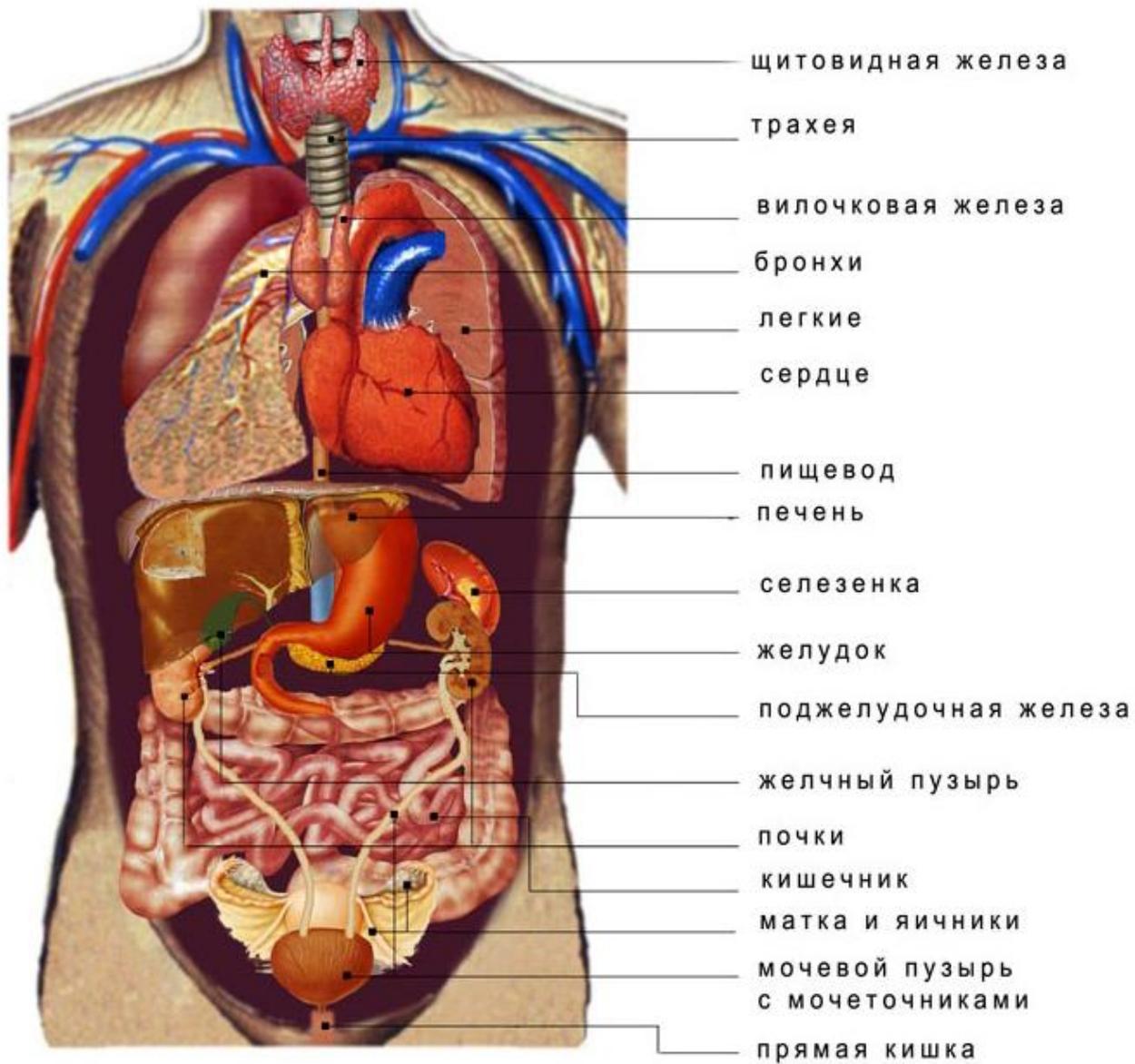
Красный костный мозг теряет способность нормально функционировать уже при дозах облучения **0.5 – 1 Гр** (обладает способностью к регенерации).

Репродуктивные органы и ***глаза*** также отличаются повышенной чувствительностью к облучению.

Уже однократное облучение дозой **0.1 Гр** может привести к временной стерилизации.

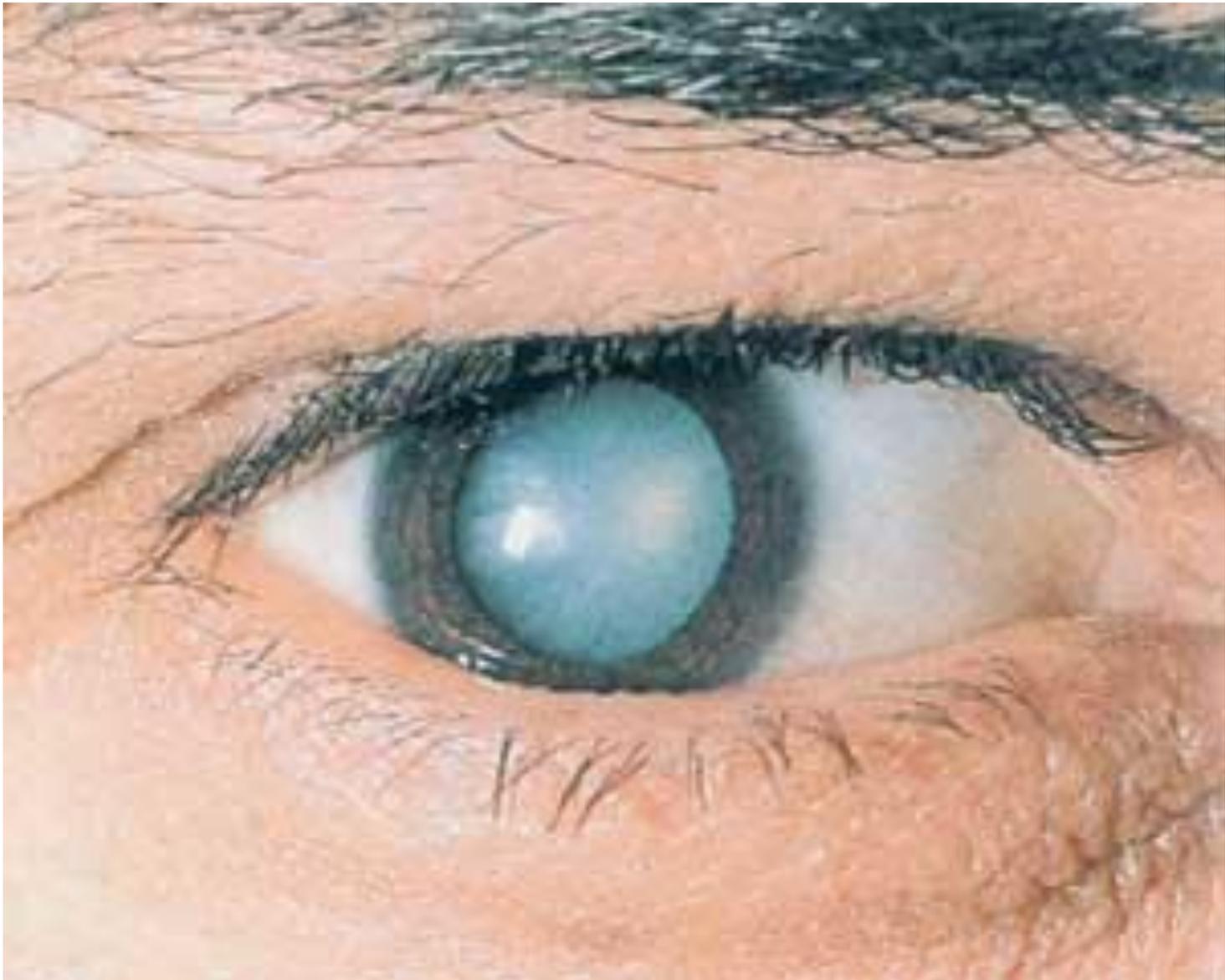
Вследствие необратимого поражения систем организма развиваются основные *клинические синдромы*:

- ***костно-мозговой или кроветворный*** (4-6 Гр, 40 сут. жизни, кровоточивость, анемия),
- ***желудочно-кишечный*** ($D > 10$ Гр, 8 сут. жизни, тошнота, рвота)
- ***и церебральный*** ($D > 30$ Гр, 2 сут. жизни, судороги, кома).



Почки выдерживают суммарную дозу около 23 Гр, полученную за 5 недель; печень – по меньшей мере 40 Гр за месяц; мочевой пузырь – 55 Гр за месяц; зрелая хрящевая ткань – до 70 Гр.

Легкие гораздо более уязвимы. Помутнение хрусталика глаз наступает при дозах менее 2 Гр, далее возможна прогрессирующая катаракта.

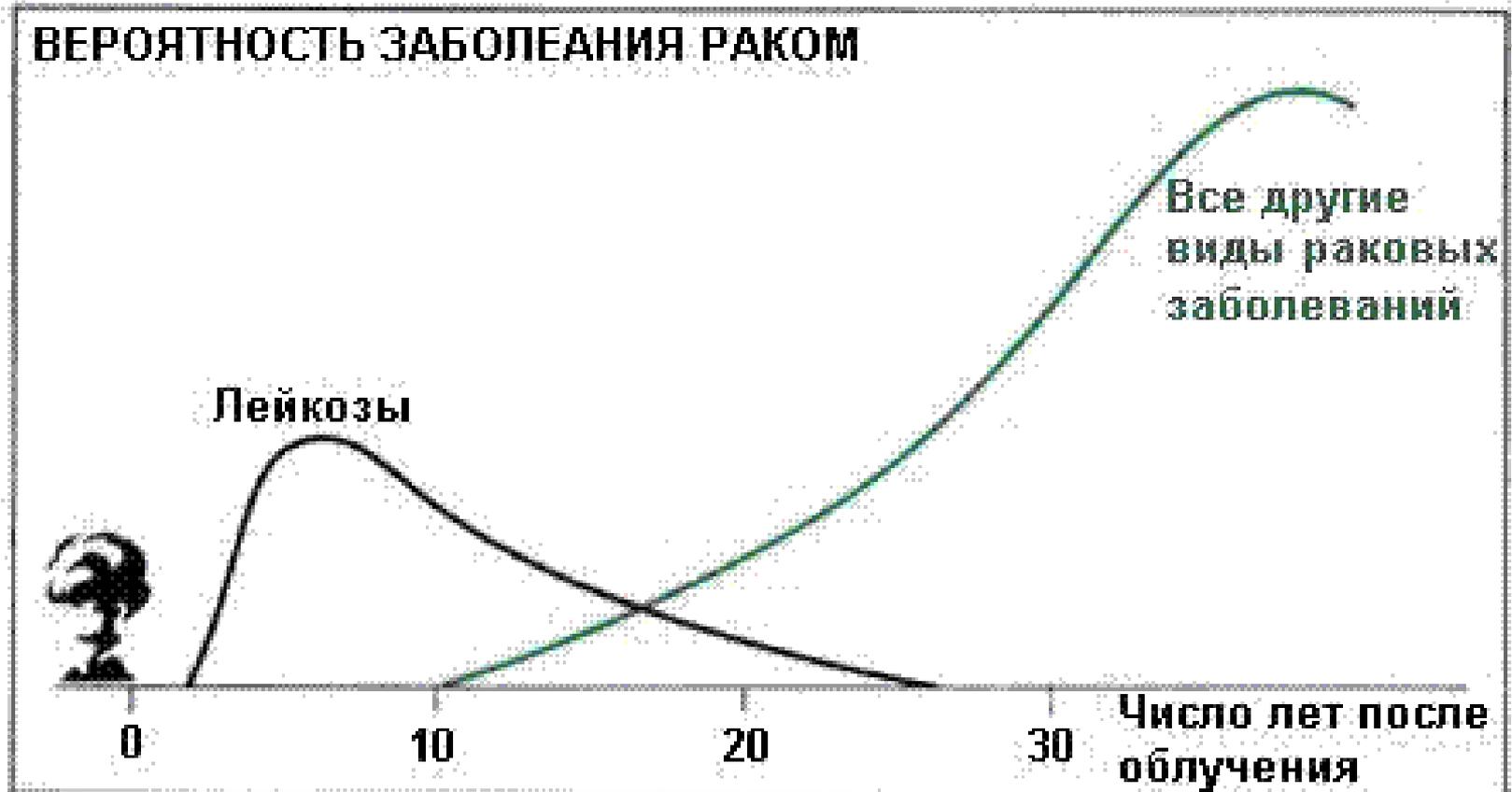


Влияние малых доз радиации на здоровье человека

| Доза | Последствия облучения |
|--|---|
| 0.01 Зв на год | Снижение неспецифической резистентности организма |
| 0.05 Зв на год | На протяжении 5 лет – сокращение продолжительности жизни (среднего человека) на 15 мес. |
| 0.025 Зв на год | У персонала атомного центра в США на треть больше, чем предполагалось, был уровень заболеваемости раком поджелудочной железы, легких, костного мозга и множественной миеломы |
| 0.02 Зв на год (20 мЗв на год) | Ежегодная дополнительная смерть от рака 1 человека из 1250; потеря к 70 годам полгода жизни |
| 0.001 Зв на год (1 мЗв на год) | Потеря 18 дней жизни к 70 годам; допустимый предел дозы искусственного внешнего облучения для населения |
| 0,0001 Зв на год (0,1 мЗв на год) | Допустимый предел дозы искусственного облучения в ряде штатов США |
| 0,00002 Зв на год | Теоретически допустимый предел дозы искусственного |

- На коже возникает *радиационный ожог*.
- Для небольшой дозы – радиационная эритема (покраснение), для больших – вплоть до обугливания.

Отдалённые последствия воздействия радиации – раковые заболевания



Относительная среднестатистическая вероятность заболевания раком после получения однократной в один рад (= 0,01 Гр)

Крайне чувствительны к облучению дети. У них возможно влияние радиации даже на костные ткани с последующими пороками в развитии скелета или вообще прекращением какого-либо развития скелета.

Дозовый предел для детей должен быть установлен 0.25 – 0.3 мЗв/год.

Международные нормы радиационной безопасности (1984 г.) и Рекомендации № 60 (1990 г.) Международной комиссии по радиационной защите населения (МКРЗ) установили допустимый дозовый предел 1 мЗв/год или 70 мЗв/за жизнь.

Недавно на основании наблюдений в Челябинске-65 (ПО "Маяк") было выяснено, что дети матерей, получивших во время беременности сравнительно небольшие дозы (около 0.05 Зв), имели устойчивые отклонения в соотношении роста, объема грудной клетки и веса.

Общая схема влияния средних и малых доз радиации на организм человека

| Доза на вес тела, Гр | Немедленный результат | Отдаленный результат |
|-----------------------------|--|--|
| 0.1 – 0.5 | У большинства нет реакции У радиочувствительных развивается лучевая болезнь | Поражение лимфоцитов и нейтрофилов. Преждевременное старение. Генетическое поражение потомства. Увеличение риска возникновения рака |
| До 0.1 | Нет реакции | Увеличение числа небольших мутаций (связанных с астмой, аллергиями и т.п.) в потомстве. Дополнительный риск возникновения рака. Возникновение уродств в потомстве |

Вероятность развития лейкемии (рака крови) в зависимости от возраста облучения

| Возраст облучения | Вероятность лейкемии при получении дозы в 1 Зв |
|--------------------------|---|
| В утробе матери | 1.25 % |
| До 10 лет | 0.65 % |
| 11 лет – 24 года | 0.35 % |

Некоторые данные по влиянию малых доз радиации на человека

| Доза | Последствия облучения |
|-----------------|---|
| 0.25 Гр | При разовом внешнем облучении временная (на 2 – 6 мес.) – стерильность у женщин; при суммарном облучении за 70 лет – гибель от рака (1 человек из 100) |
| 0.15 Гр | Разовое облучение, красный костный мозг, клинически значимое подавление кроветворения |
| 0.1 Гр | При разовом облучении – нарушения плодовитости мужчин (снижение числа сперматозоидов) на протяжении до 1 года; уродства у новорожденных; аккумулятивная доза за 70 лет – увеличение риска смерти от лейкемии на 22 % |
| 0.04 Гр | Аккумулятивная доза за 30 лет – повышение смертности от разных форм рака в сравнении с необлученным персоналом |
| 0.01 Гр | Улавливаемые существующими методами изменения биохимических процессов в клетке; при использовании йода-131 с диагностическими целями – повышение частоты аббераций в лимфоцитах; 50 – 350 наследственных аномалий в первом поколении на 1 млн новорожденных |
| 0.002 Гр | За время беременности на область живота матери – порог вероятности возникновения уродств у новорожденного |

- **Инкорпорированные радионуклиды – поступившие внутрь организма с пищей, водой и воздухом.**
- **Обеспечивают внутреннее облучение органов и тканей.**

- **Цезий накапливается в мышечной ткани, период полувыведения недели и месяцы (в зависимости от возраста).**
- **Стронций накапливается в костной ткани, период полувыведения более 1 года.**
- **Йод накапливается в щитовидной железе, период полувыведения около 4 мес.**

Период полураспада $T_{1/2}$. Период биологического выведения T_b
и эффективная энергия $E_{эфф}$ некоторых радионуклидов
при воздействии их излучения на критический орган

| Радионуклид | Критический орган и его масса | $T_{1/2}$, сут | T_b , сут | $E_{эфф}$, 10^{-13} Дж/расп. |
|-------------|--|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| ^{40}K | все тело, 70 кг мышечная ткань, 28 кг | $4,67 \cdot 10^{11}$ | 58 | 0,96 |
| ^{60}Co | все тело печень, 1,8 кг | $1,9 \cdot 10^3$ | 9,5 | 2,4 1,15 |
| ^{90}Sr | костная ткань, 7 кг все тело | $1 \cdot 10^4$ | $1,8 \cdot 10^4$ | 1,76 0,34 |
| ^{90}Y | костная ткань все тело | 2,67 | $1,8 \cdot 10^4$ | 7,04 1,42 |
| ^{131}I | все тело щитовидная железа, 20 г | 8,04 | 138 | 0,66 1,28 |
| ^{137}Cs | все тело мышечная ткань: взрослый чел. подросток новорожденный | $1,1 \cdot 10^4$ | 70 70 45 10 | 0,94 |
| ^{198}Au | все тело | 2,7 | 120 | 0,93 |
| ^{239}Pu | все тело костная ткань | $8,9 \cdot 10^8$ | $6,5 \cdot 10^4$ $7,3 \cdot 10^4$ | 84,8 43,2 |
| ^{238}U | все тело кости | $1,6 \cdot 10^{12}$ | 3300 300 | 68,8 352 |

Анализ результатов измерений на СИЧ накопления цезия-137 в организме детей Чернобыльской зоны Беларуси и в 4 раза большая дозовая нагрузка детей при одинаковом со взрослыми накоплении цезия-137 в организме указывают, что **дозовый предел для детей должен быть установлен 0.25 – 0.3 мЗв/г**





**Юридические документы,
регламентирующие воздействие
ионизирующих излучений.**

**Закон Республики Беларусь "О
радиационной безопасности
населения", введенный в
действие 5.01.1998 г.**

- **"Нормы радиационной безопасности" (НРБ-2000), утвержденные 5.01.2000 г.**
- **"Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности" (ОСП-2002), утвержденные 22.02.2002 г.**

- **Нарушение НРБ влечет за собой административную, а в случае грубых нарушений – уголовную ответственность. Никакие инструкции, издаваемые ведомствами и учреждениями, не должны противоречить положениям НРБ и ОСП.**

Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000)

НРБ-2000 распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;**
- в результате радиационной аварии;**
- от природных источников излучения;**
- при медицинском облучении.**

- **Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:**
- **персонал;**
- **все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.**

- **Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.**

- Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала.

- Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать $1/4$ значений, установленных для персонала.

- Лица, подвергшиеся облучению в эффективной дозе, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв за год.
- Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в год должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование

- В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать **200 Бк/м³**.

Прогнозируемые уровни облучения, при
которых
необходимо срочное вмешательство

| Орган или ткань | Поглощенная доза в органе или ткани за 2 сут, Гр |
|------------------------------|---|
| Все тело | 1 |
| Легкие | 6 |
| Кожа | 3 |
| Щитовидная железа | 5 |
| Хрусталик глаза | 2 |
| Гонады | 3 |
| Плод | 0,1 |