

**Санкт-Петербургский государственный педиатрический  
медицинский университет  
кафедра мобилизационной подготовки здравоохранения  
и медицины катастроф**

**старший преподаватель  
И. А. МАГДИЧ**

**Методическая разработка практического занятия  
по радиобиологии**

**Тема №7**

**ВВЕДЕНИЕ В РАДИОБИОЛОГИЮ.  
ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ  
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.**

# Литература:

1. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика. М.: Физматлит, 2004. – 443 с.
2. Бак З., Александер П. Основы радиобиологии: Пер. с англ.. – М: Иностранная литература, 1963. – 500 с.
3. Бак З. Химическая защита от ионизирующей радиации: Пер. с англ.. – М.: Атомиздат, 1968. – 263 с.
4. Владимиров В.Г., Джаракьян Т.К. Об изыскании радиопротекторов в США // Воен. мед. журн., 1974. - № 6. – С. 86-88.
5. Действие атомной бомбы в Японии / Под ред. Э. Отерсона и Ш.Уоррена: Пер. с англ.. – М: Медгиз, 1960. – 418 с.
6. Немёнов М.И. Рентгеновы лучи и радий.- М.-Л.: Государственное издательство, 1927. – 111 с.
7. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита. С.А. Куценко (ред.). СПб.: 2004.
8. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. – 3-е изд., перераб., доп.. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.

# Учебные вопросы

- 1. Введение. Предмет и задачи радиобиологии.**
- 2. История развития радиобиологии, ее современное состояние.**
- 3. Виды и механизмы лучевого поражения клеток.**
- 4. Нарушения клеточного метаболизма в результате облучения.**
- 5. Формы гибели облученных клеток. Хромосомные абберации.**
- 6. Выводы и заключение.**

**Радиобиология – наука, изучающая механизмы взаимодействия ионизирующих излучений с биологическими объектами.**

**Предметом радиобиологии является вскрытие закономерностей ответа биологических объектов на радиационное воздействие, на основе которых можно научиться регламентировать радиационный фактори овладеть искусством управления лучевыми реакциями организма.**

**Военно-  
полевая  
терапия**

**Онкология**

**Военно-  
полевая  
хирургия**

**Социальная гигиена**

**Радиационная  
гигиена**

**Лучевая  
диагностика**

**Гематология**

**Лучевая  
терапия**

**Радиобиология**

**Гистологи  
я**

**Физиолог  
ия**

**Биофизик  
а**

**Биохимия**

**Физика**

**Биология**

**Химия**

# Этапы развития радиобиологии

*Первый – с 1895 г. по 1922 г. – описательный этап*

- Открытие X-лучей (В. Рентген, 1895), явления радиоактивности (А. Беккерель 1896) и синтез радионуклидов (М. Кюри, 1898)
- Применение X-лучей для оценки роста скелета (В. Тонков, 1896)
- Описание биологического действия X-лучей (И. Тарханов, 1896)
- Первые описания лучевых поражений кожи (Г. Вальхов, 1896) и радиационно-индуцированного рака кожи (Г. Фрибен, 1902)

- Применение X-лучей для лечения рака
- (Дж. Джиллман, Е. Груббе, 1896) и радия для лечения волчанки (К. Бушар, В. Бальтазар, 1901)
- Развитие азооспермии и стерильности (Г. Альберс-Шонберг, 1903)
- Летальное действие радиации (Е. Лондон, 1903; Г. Хейнеке, 1904)
- Роль поражения ядра клеток в их гибели (Д. Бун, 1903)
- Торможение клеточного деления (М. Корнике, 1905)
- Реакции клеток на облучение (И. Бергонье, Л. Трибондо, 1906)
- Защита от вредного действия радиации (Н. Кульбин, 1907)

## **Второй – с 1922 г. по 1945 г. – становление принципов количественной радиобиологии**

- Дискретность актов ионизации в элементарном объеме вещества (Ф. Дессауэр, 1922) и разработка принципа попаданий и теории мишеней (Н. Тимофеев-Ресовский, К. Циммер, Д. Ли и др.)
- Действие радиации на генетический аппарат клетки (Г. Надсон и Г. Филлипов, 1925), мутагенный эффект радиации (Г. Меллер, 1927)
- Обоснование фракционирования дозы при проведении лучевой терапии опухолей (К. Риго, 1927, А. Кутар, 1928)
- Введение единицы экспозиционной дозы – *рентгена* (1928)
- Описание радиационно-индуцированного рака костей (20-е гг.)
- Описание рака печени и лейкемии вследствие перорального поступления радионуклидов (30-е гг.)
- Появление лейкемии среди пионеров радиобиологии (40-е гг.)

# Применение атомного оружия в Японии (1945)



**Хиросима, 6.08.1945**  
**Нагасаки, 9.08.1945**

# *Гретии – с 1945 г. по 1986 г. – становление радиобиологии организма (радиационной медицины)*

- **Возможность использования ионизирующих излучений в военных целях – бомбардировка гг. Хиросимы и Нагасаки (1945)**
- **Изучение патогенеза лучевых поражений (П. Александер, В. Бонд, Л. Орбели, А. Лебединский, П. Горизонтов, Т. Джаракьян и др.)**
- **Разработка проблем диагностики и терапии радиационных поражений человека (Г. Байсоголов, А. Гуськова, Ж.Матэ и др.)**
- **Открытие радиозащитного эффекта у химических соединений (Г. Пэтт, З. Бак, П. Жеребченко, А. Мозжухин, Ф. Рачинский и др.)**
- **Обоснование необходимости нормирования радиационных воздействий на человека (Л. Грей, Ф. Кротков, Л. Ильин и др.)**

**Четвертый – с 1986 г. по настоящее время –  
появление проблемы малых доз и интенсивностей,  
развитие радиационной экологии, генетики и**

- **Возможность возникновения крупномасштабных радиационных аварий при использовании ионизирующих излучений в мирное время (26 апреля 1986 г.)**
- **Проблема малых доз и интенсивностей (Е. Бурлакова и др.)**
- **Создание медико-дозиметрических регистров, развитие радиационной эпидемиологии (А. Цыб, А. Иванов и др.)**
- **Развитие радиационной иммунологии (Р. Петров, А. Ярилин и др.)**
- **Развитие радиационной генетики (В. Шевченко, А. Газиев и др.)**
- **Радиационная экология (Х. Одум, А. Кузин, Р. Алексахин и др.)**

# Типы и виды ионизирующих излучений

## Корпускулярные излучения

- электроны и позитроны ( $\beta$ -частицы), мезоны, протоны, дейтроны, ядра гелия ( $\alpha$ -частицы), тяжелые ионы – ускоренные заряженные частицы, имеющие массу и большую кинетическую энергию
- нейтроны – электрически нейтральные частицы с большой кинетической энергией

## Электромагнитные излучения

- рентгеновское и гамма-излучение – энергия электромагнитного поля, которая распространяется в пространстве со скоростью света

# Прямо и косвенно ионизирующие излучения

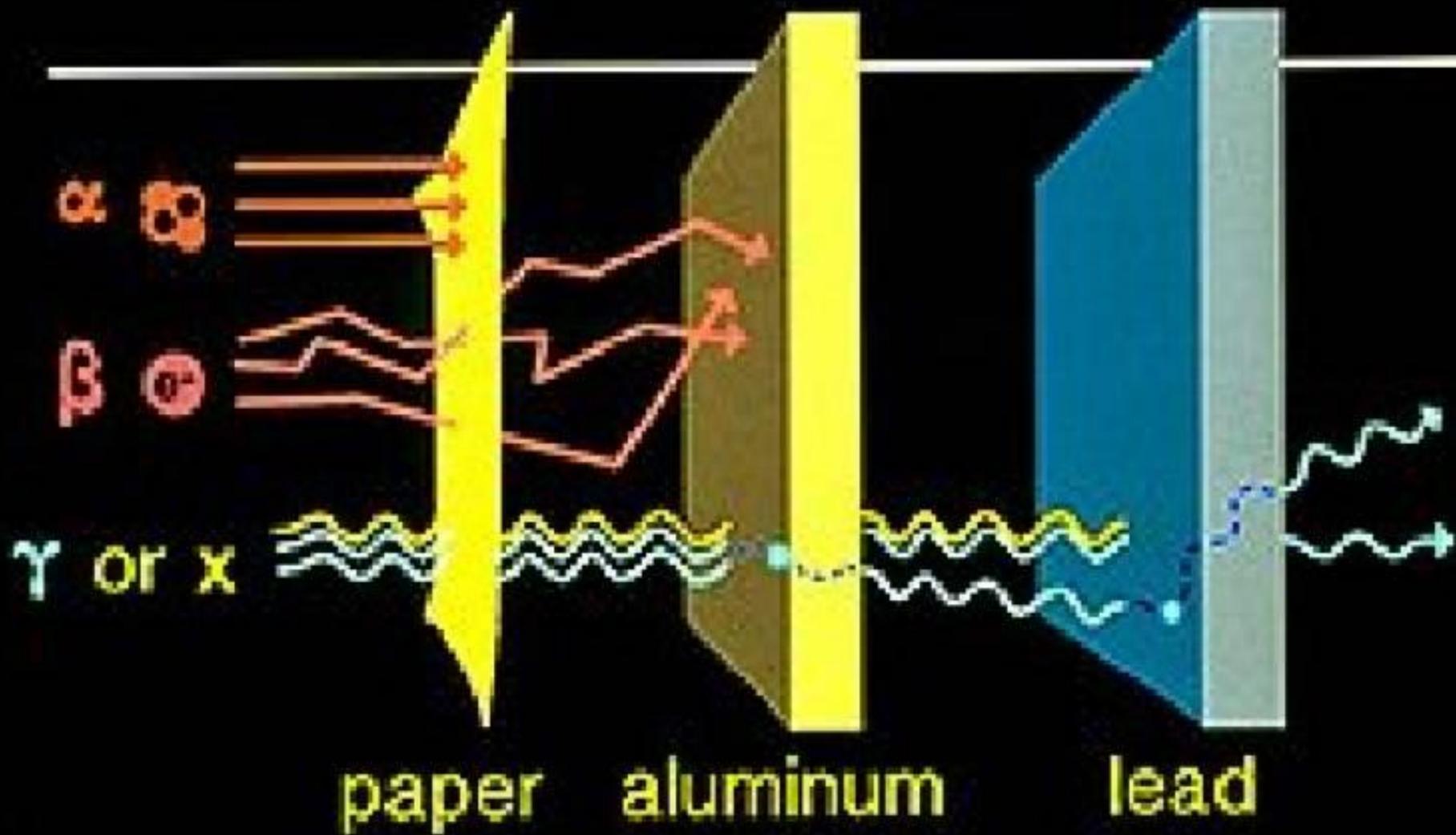
## Прямо ионизирующие излучения

- ускоренные заряженные частицы –  $\alpha$ -частицы,  $\beta$ -частицы,  $\pi$ -мезоны, тяжелые ионы и др. – непосредственно взаимодействуют с электронами атомных оболочек, прямо вызывая возбуждение и ионизацию атомов и молекул

## Косвенно ионизирующие излучения

- рентгеновское и гамма-излучение, а также нейтроны возбуждают и ионизируют атомы и молекулы не сами, а посредством инициируемых ими ускоренных заряженных частиц (комптоновских электронов, ядер отдачи)

# Защита экранированием



- **Защита расстоянием** – основана на обратной зависимости интенсивности излучения от квадрата расстояния до его источника.
- **Защита временем** – минимизация продолжительности действия ионизирующих излучений.

**Доза поглощенная** – это количество энергии, переданной излучением единичной массе вещества:

- Если поглощенная доза распределяется в каком-то одном участке тела – **локальное (или местное) облучение**.
- Если облучению подвергается все тело или большая его часть – **тотальное (или общее) облучение**.
- Вариантами тотального облучения являются **равномерное** (неравномерность по дозе на отдельные части тела не превышает 10 %) и **неравномерное облучение**

**Эквивалентная доза (H)** – это поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.

**Эффективная доза (E)** – это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности, **Зв.**

**Коллективная эффективная доза (E)** – это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных эффективных доз, **чел.-Зв.**

**Мощность дозы (P)** – это доза (экспозиционная, поглощенная эквивалентная), регистрируемая за единицу времени. Ее единицей в системе СИ является **Кл/(кг·с)**, то есть **А/кг**. Используется и внесистемная единица мощности экспозиционной дозы – **Р/час** и ее производными (**мР/час, мкР/час**).

# Виды облучения

- **Кратковременным** облучением считается импульсное воздействие  $\gamma$ -нейтронного излучения ядерного взрыва, а также облучение с мощностью дозы свыше 0,02 Гр/мин.
- Непрерывное радиационное воздействие в течение нескольких месяцев или лет называют **хроническим**, а промежуточное положение между кратковременным и хроническим, занимает **пролонгированное** облучение.
- Если не менее 80 % всей дозы организм человека получает не более чем за 4 суток и перерывов в облучении нет или они очень непродолжительны (измеряются минутами, часами), то такое облучение называют **однократным или острым**.
- Если получаемая доза разделена на части (фракции), чередующиеся с длительными промежутками времени, в течение которых облучение не происходит, то такое облучение

# Количество радиоактивных веществ

В основу измерения количеств радиоактивных веществ положено свойство радиоактивности, то есть способности к испусканию ионизирующих излучений. В системе СИ за единицу радиоактивности принят 1 распад в секунду (**Бк**), а традиционной единицей является кюри (**Ки**).

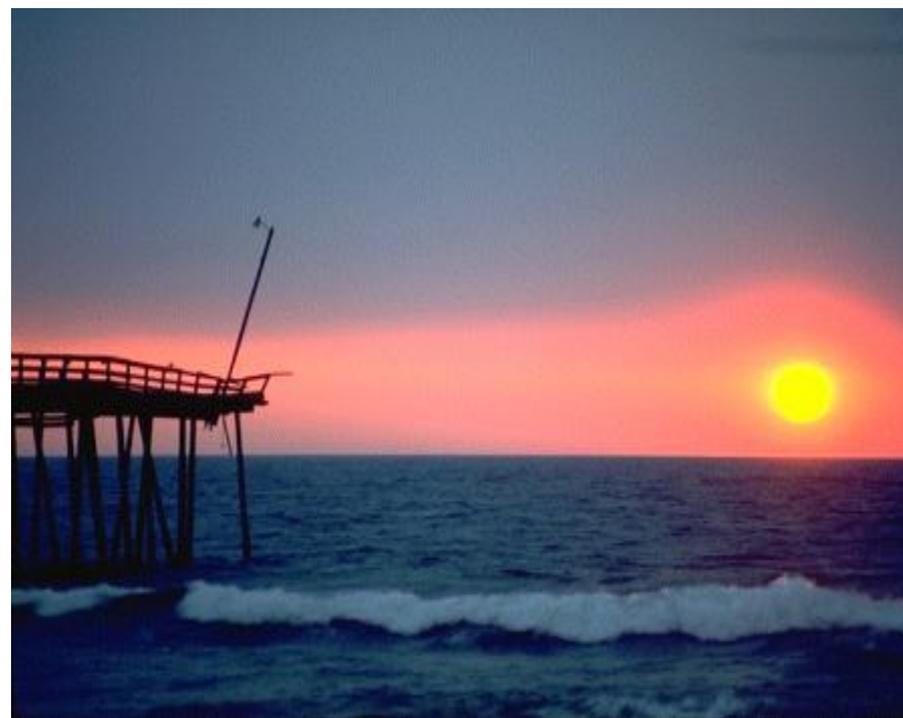
Активность, отнесенная к единице объема или единице массы зараженного радионуклидами вещества, называется **удельной активностью вещества**, **Бк/кг** или **Бк/м<sup>3</sup>**.

Активность, приходящаяся на единицу площади зараженной радионуклидами поверхности, называется **плотностью поверхностного**

# Основные источники ионизирующих излучений



# Космическое излучение: внешнее облучение



# Продукты питания, вода, воздух: внутреннее облучение



**Калий-40**

**Уран-238 и  
продукты его  
распада**

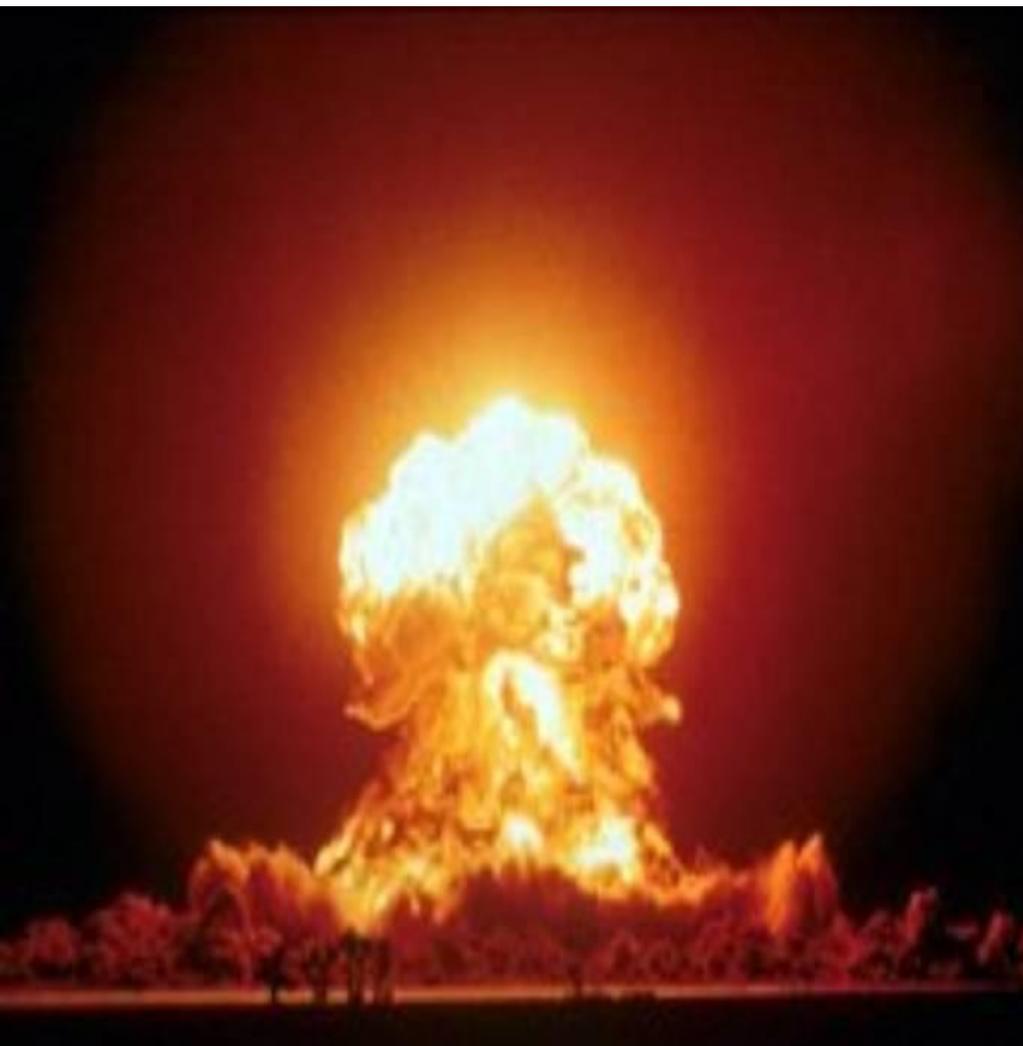
**Свинец-210**

**Полоний-210**

# Источники ионизирующих излучений, использующиеся в медицине

<b>Медицинская процедура</b>	<b>Доза излучения, сГр</b>
<b>Флюорография грудной клетки</b>	<b>1</b>
<b>Ортопантографы</b>	<b>5</b>
<b>Рентгеноскопия грудной клетки</b>	<b>10</b>
<b>Рентгеноскопия брюшной полости</b>	<b>15</b>
<b>Лечение злокачественных опухолей</b>	<b>до 5 000</b>

# Общее число ядерных взрывов за период с 1945 по 1998 год



<b>Страна</b>	<b>Число взрывов</b>
<b>США</b>	<b>1030</b>
<b>СССР – Россия</b>	<b>716</b>
<b>Франция</b>	<b>210</b>
<b>Великобритания</b>	<b>44</b>
<b>Китай</b>	<b>45</b>
<b>Индия</b>	<b>6</b>
<b>Пакистан</b>	<b>5</b>

**Всего 2056 ядерных**

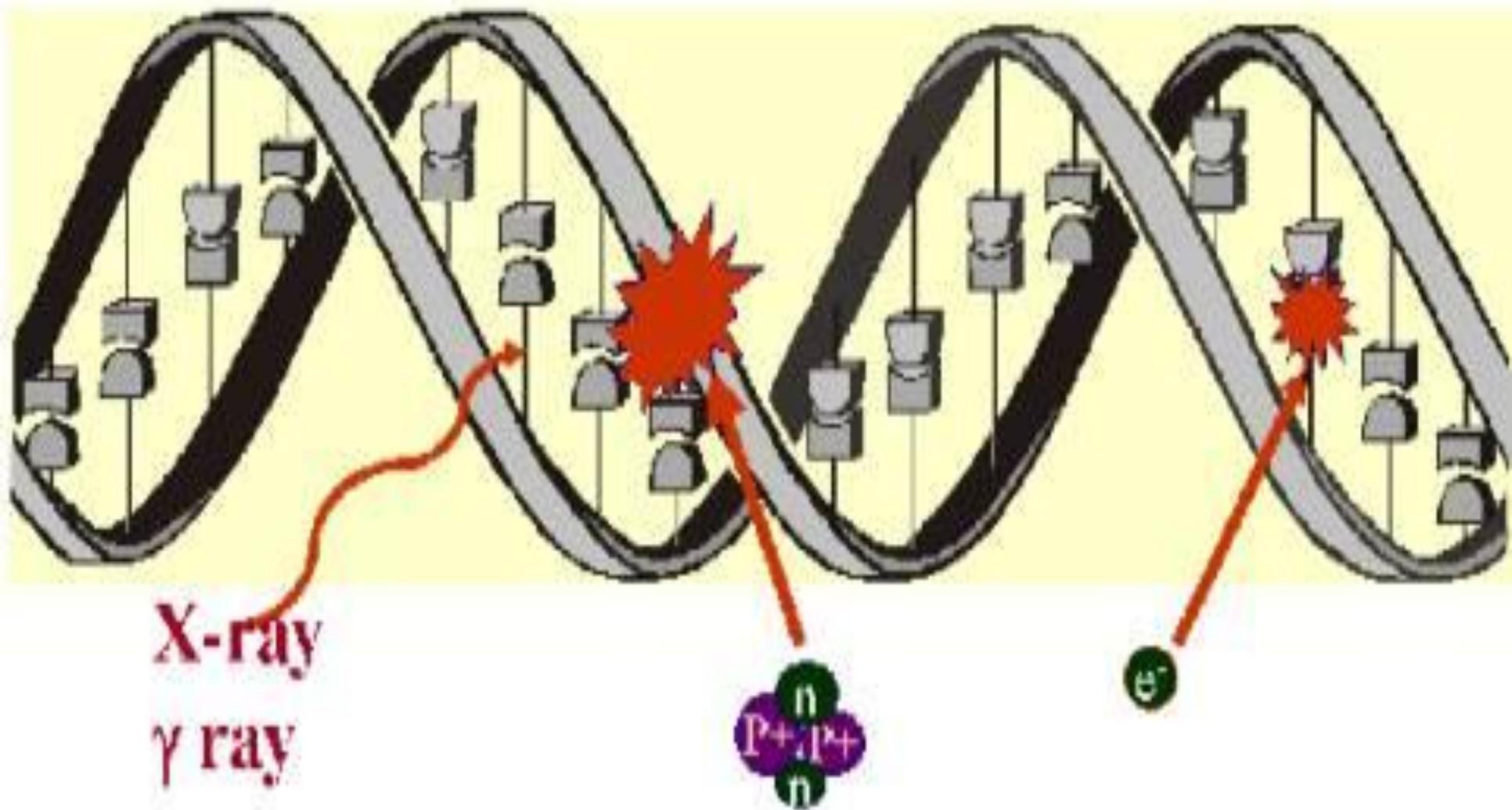
# Общая характеристика радиационных аварий

- Радиационные аварии случаются весьма редко
- За период с 1944 по 2004 годы во всем мире произошло **428 радиационных инцидентов** со сверхнормативным облучением людей
- Во всех радиационных авариях радиационные поражения различной степени тяжести получили немногим более **3 000 людей**
- От действия радиации при радиационных авариях погибло **133 человека**

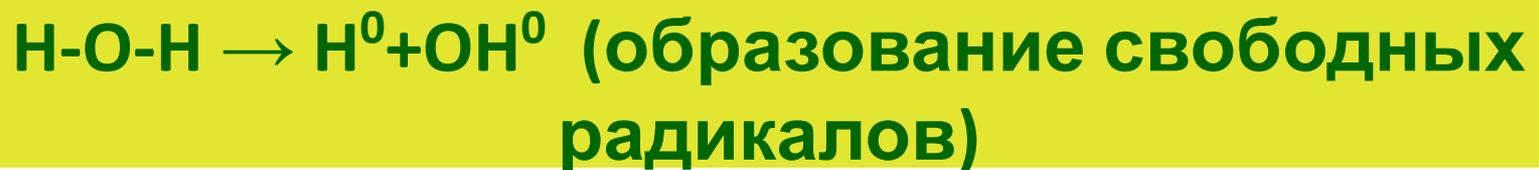
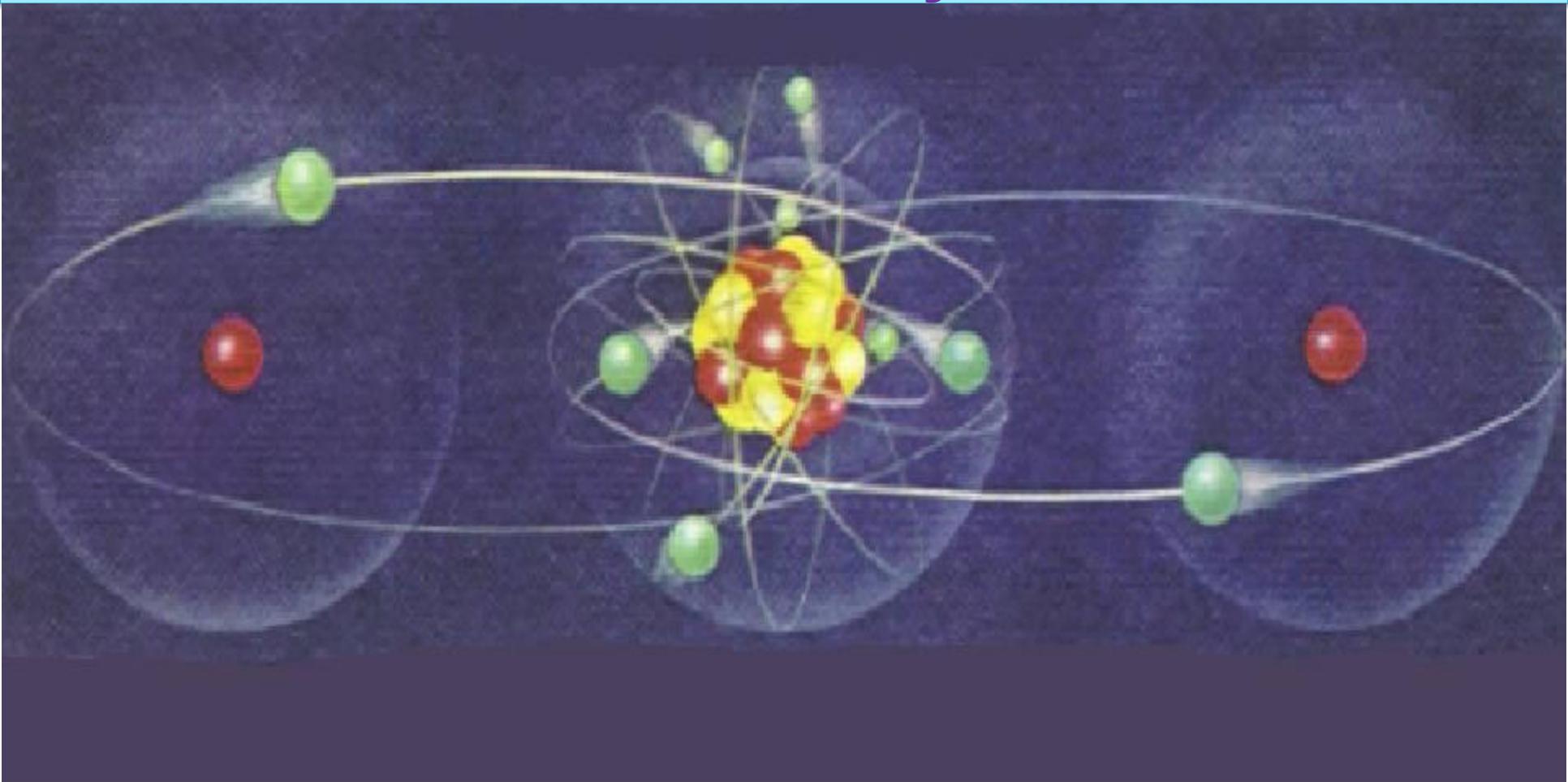
# Стадии действия ионизирующих излучений

<b>Физическая</b>	Поглощение энергии излучения; образование возбужденных и ионизированных атомов и молекул	$10^{-16}$ – $10^{-15}$ с
<b>Физико-химическая</b>	Перераспределение поглощенной энергии внутри молекул и между ними, образование свободных радикалов	$10^{-14}$ – $10^{-11}$ с
<b>Химическая</b>	Реакции между свободными радикалами и интактными молекулами. Образование молекул с измененными структурой и функциями	$10^{-6}$ – $10^{-3}$ с
<b>Биологическая</b>	Развитие поражения на всех уровнях биологической организации: от субклеточного до организменного.	<b>Секунды</b> – <b>годы</b>

# Прямое действие радиации



# Радиолиз молекул воды



# Влияние кислорода на свободные радикалы

Кислород модифицирует реакции свободных радикалов, в результате чего образуются новые свободные радикалы с более высокой стабильностью и более продолжительным временем существования

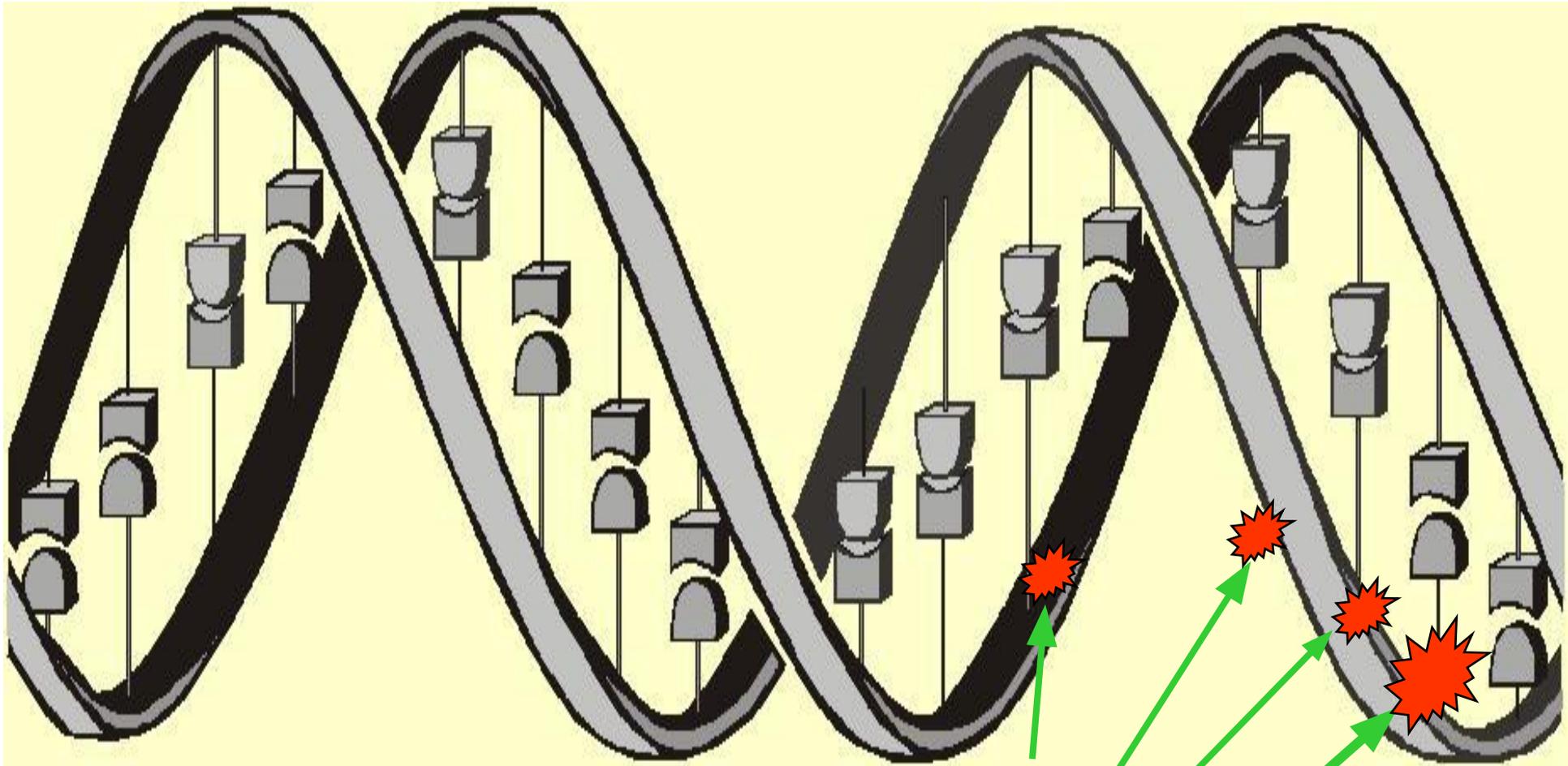


(органический пероксид-радикал)

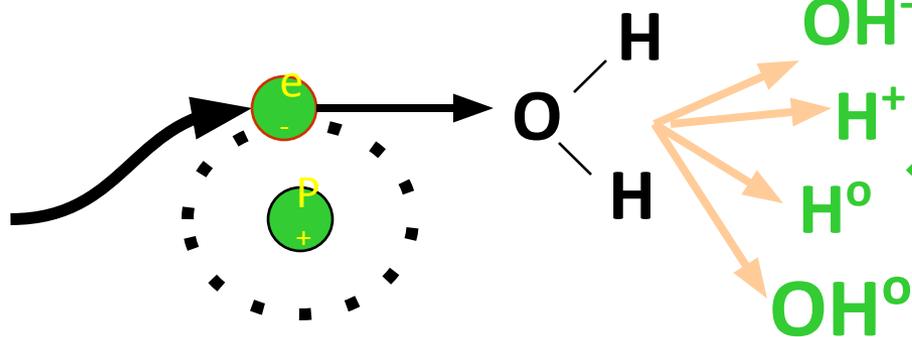
**Гидроксильный радикал  $\text{OH}^{\bullet}$  – сильнейший окислитель**

**Радикал водорода  $\text{H}^{\bullet}$  и  $\text{e}^-_{\text{гидр}}$  – сильные**

# Непрямое действие радиации



X ray  
γ ray



# Тип действия радиации зависит от линейной передачи энергии

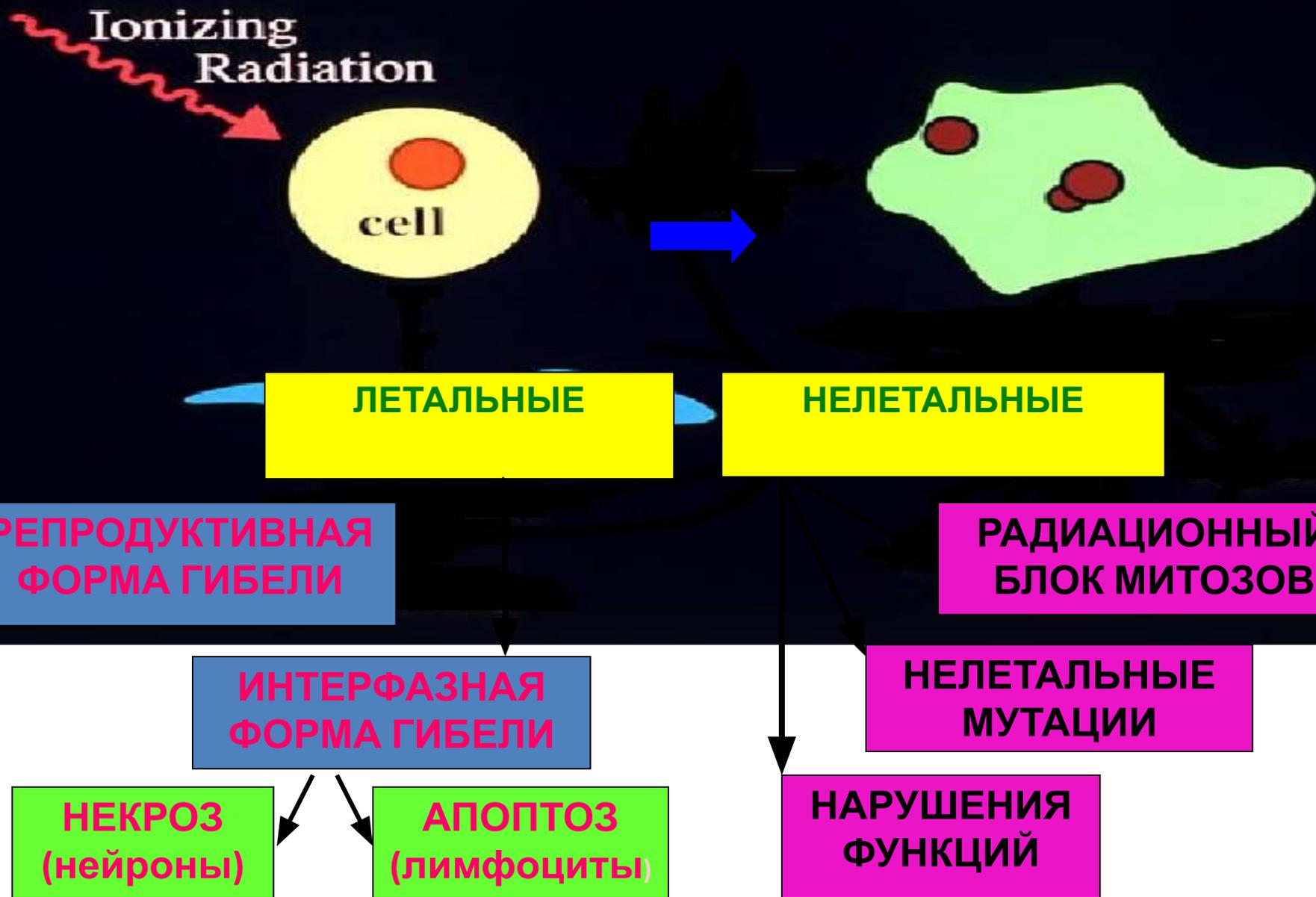
Прямое действие доминирует у излучений с высокой ЛПЭ, в частности –

**альфа-частиц и нейтронов**

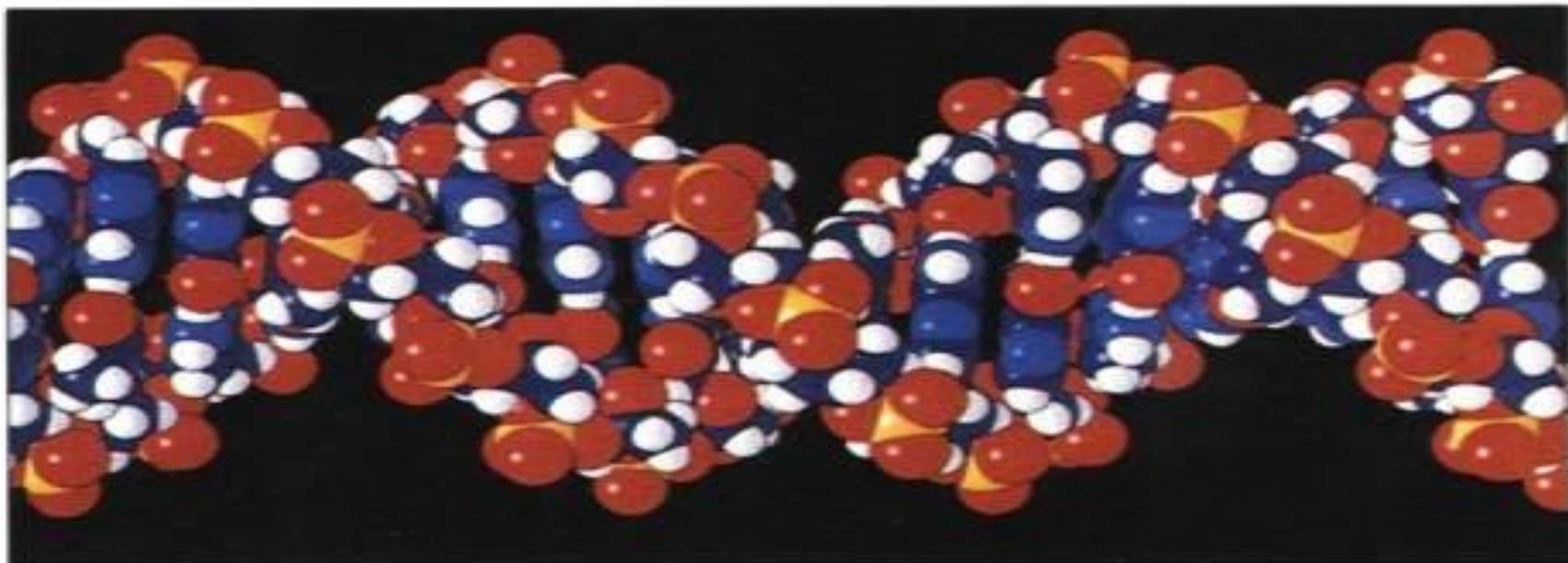
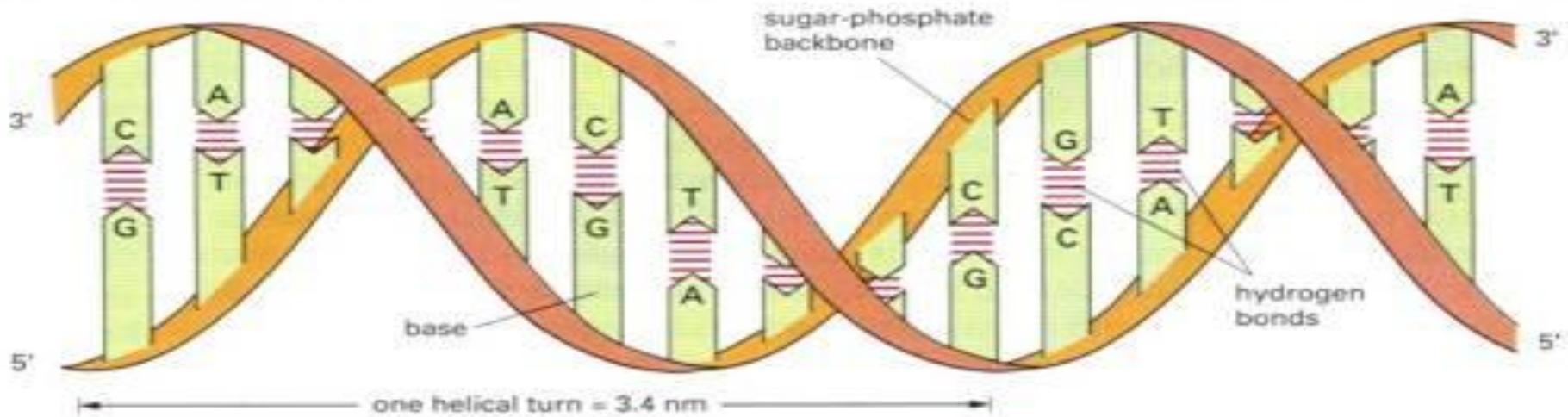
Непрямое действие лежит в основе поражающего эффекта излучений с низкой ЛПЭ, в частности –

**рентгеновского излучения и гамма  
квантов**

# Реакции клеток на облучение



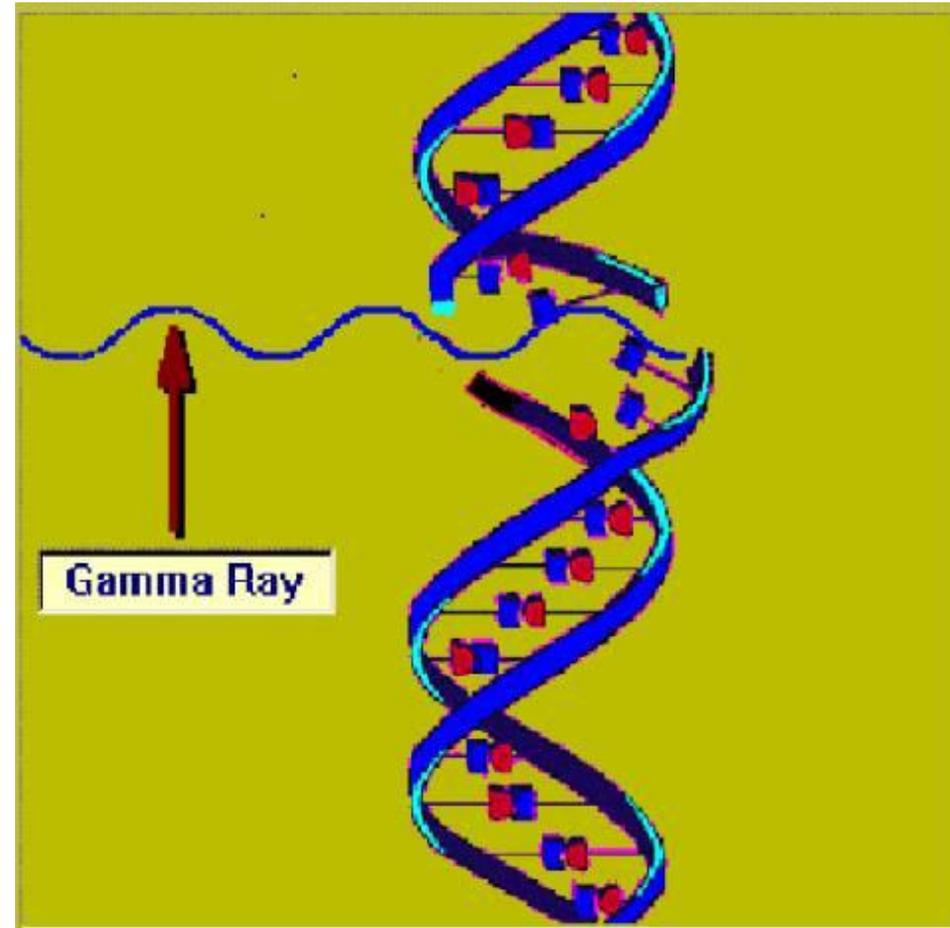
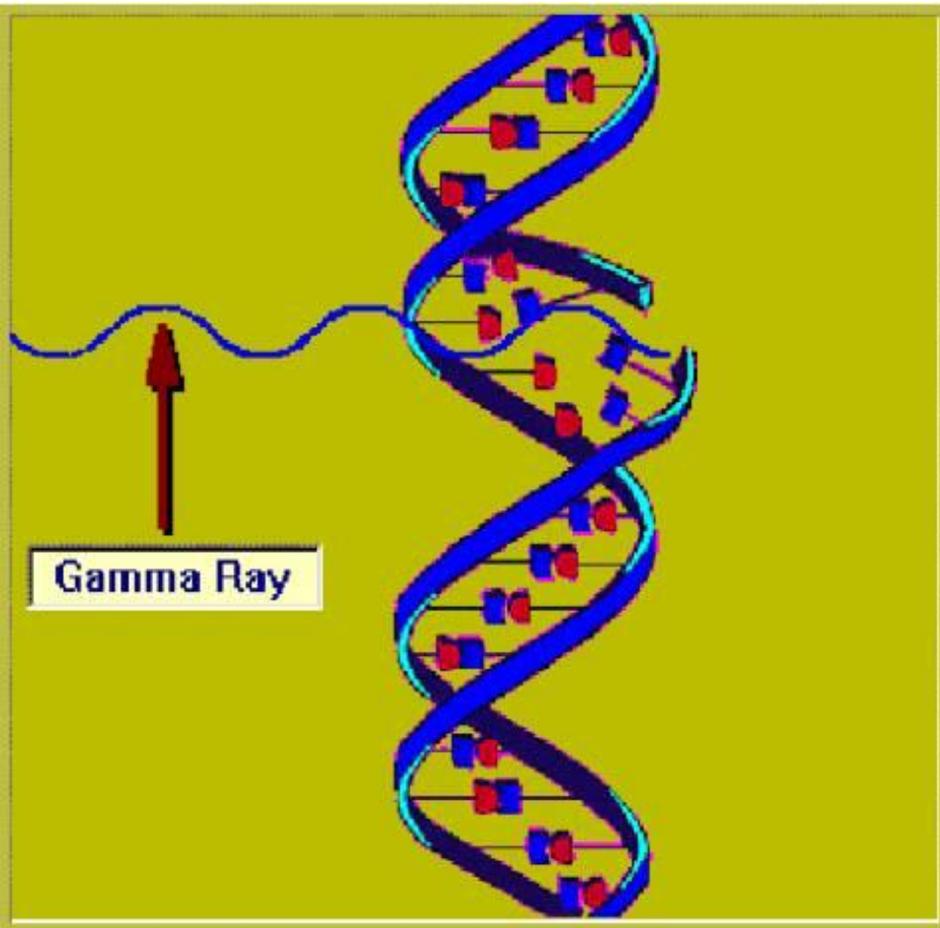
# Молекула ДНК – первичная мишень поражения клеток ионизирующими излучениями



major groove

minor groove

# Типы и виды повреждений ДНК, вызванных действием радиации



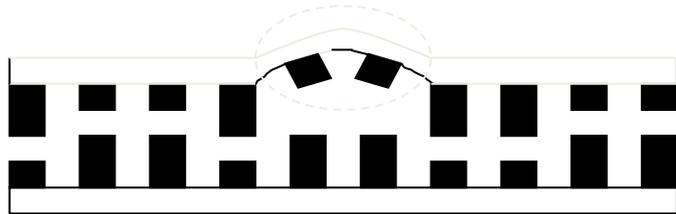
**Однонитевый разрыв ДНК**

**Двунитевый разрыв ДНК**

**Сшивки ДНК-ДНК, ДНК-белок, ДНК-мембранный комплекс**

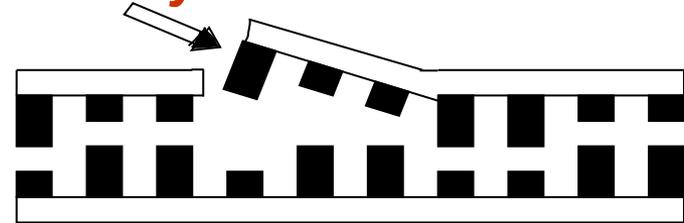
# Механизмы репарации радиационных повреждений ДНК

1



2

Эндонуклеаза



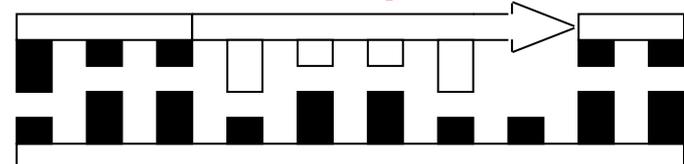
3



Экзонуклеаза

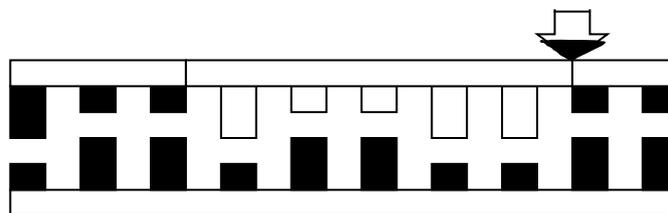
4

ДНК - полимераза



5

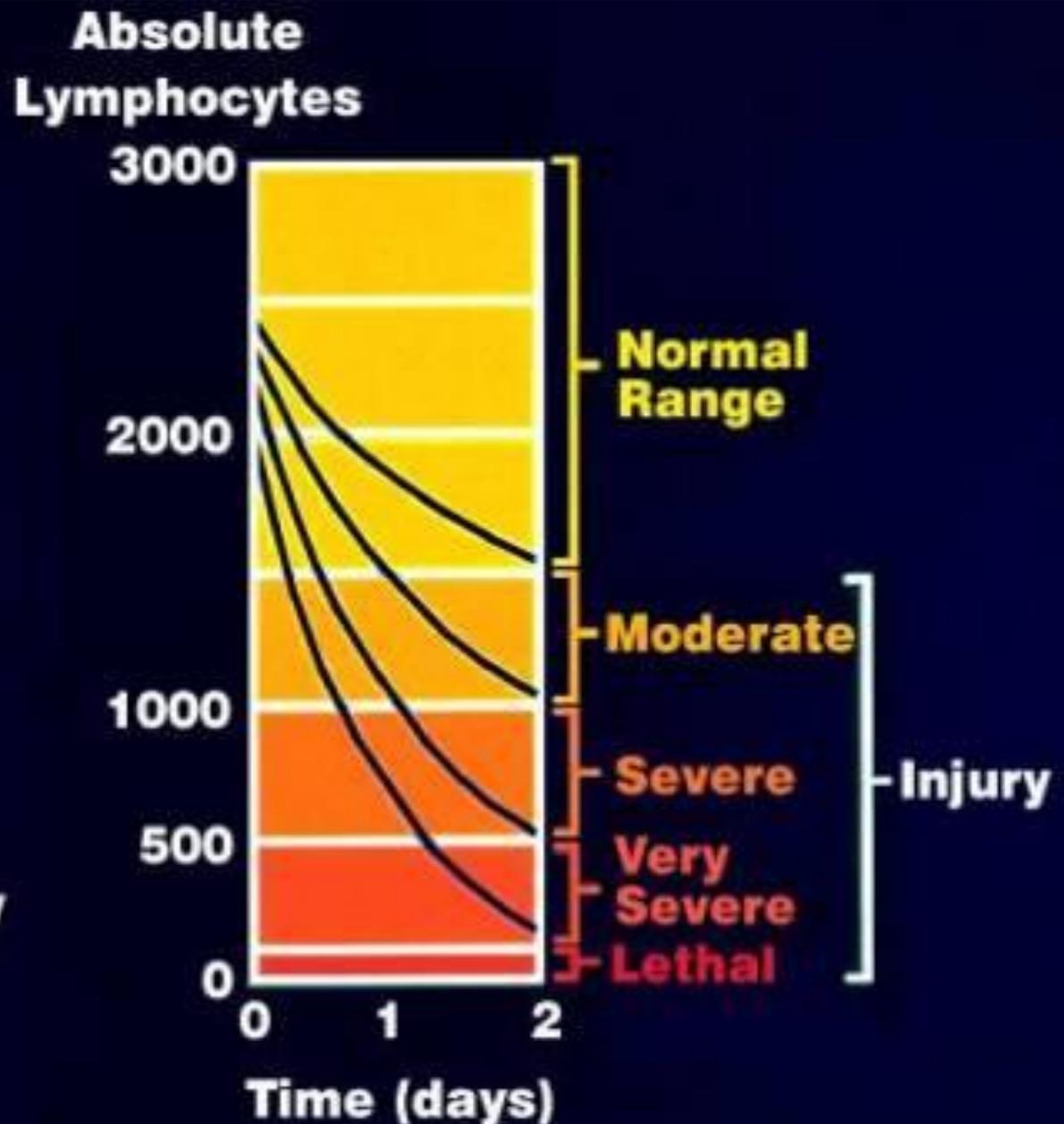
ДНК - лигаза



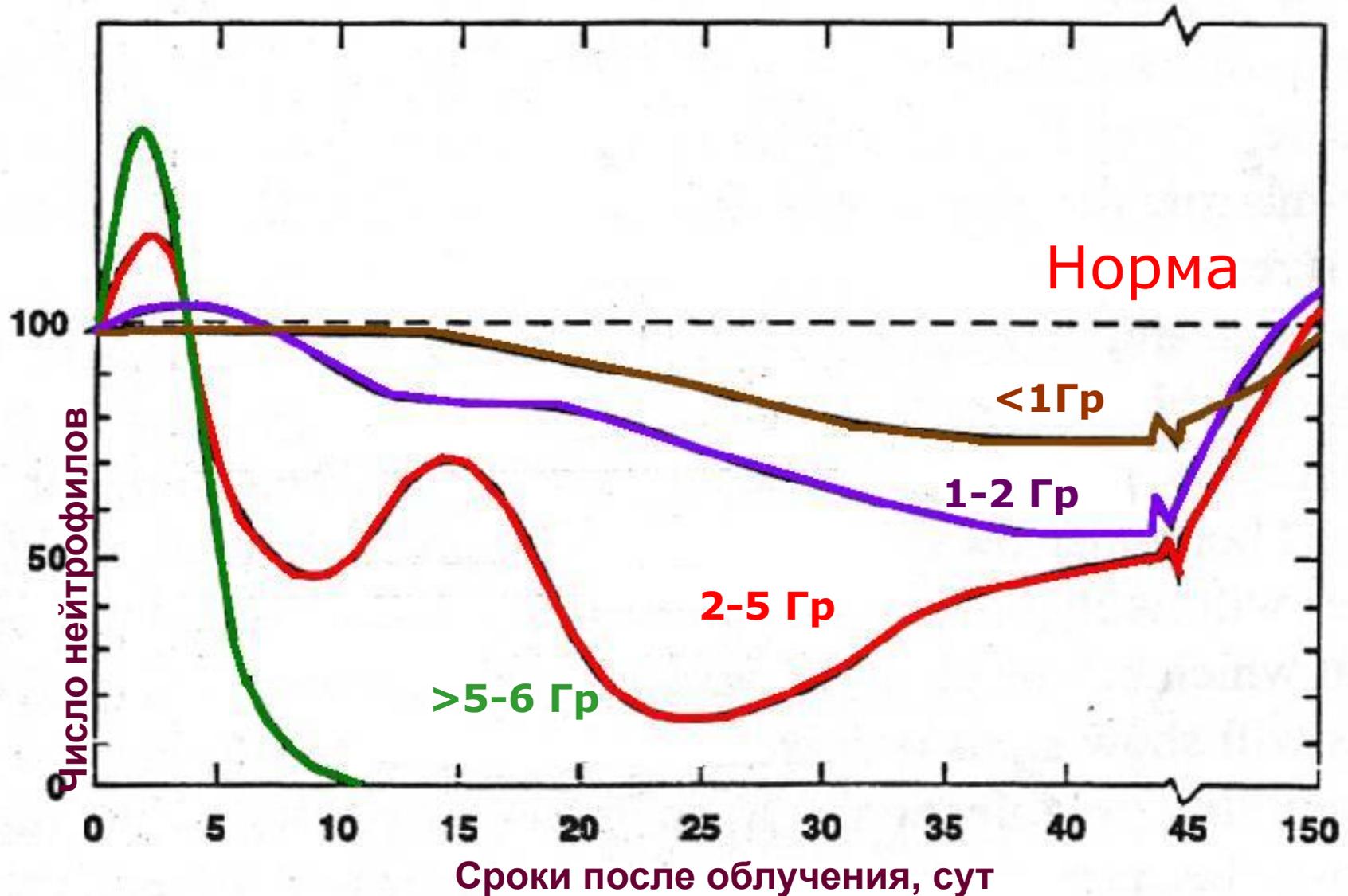
Невозможность репарации → гибель клеток  
Неправильная репарация → появление мутаций

# Интерфазная форма гибели клеток

Relationship  
Between  
**Early Changes  
in Peripheral  
Blood  
Lymphocyte  
Counts**  
and  
**Degree of  
Radiation Injury**

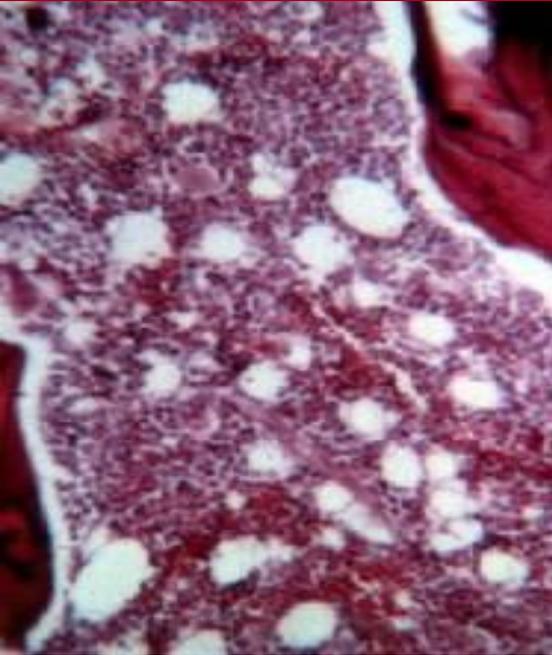


# Динамика числа нейтрофилов после облучения в различных дозах



# Радиочувствительность тканей

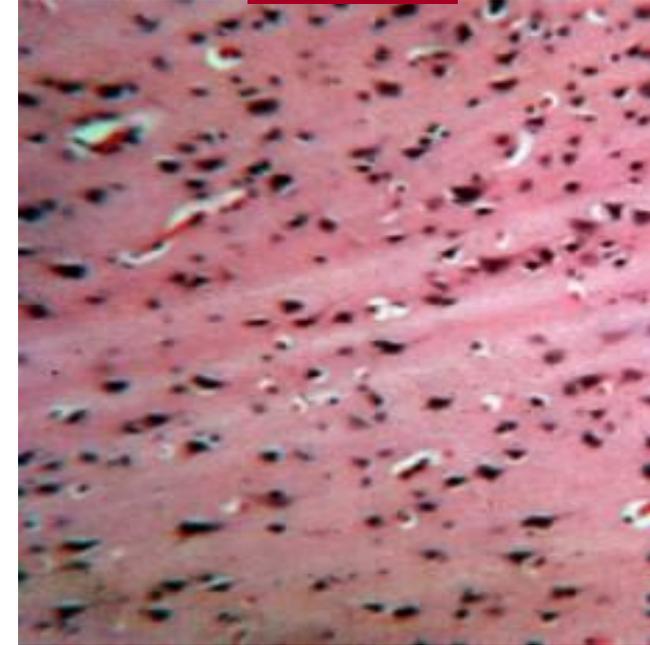
## Костный мозг



## Кожные покровы



## ЦНС



### Высокая радиочувствительность

- Лимфоидная ткань
- Костный мозг
- Эпителий ЖКТ
- Гонады
- Эмбрион

### Средняя радиочувствительность

- Кожные покровы
- Эндотелий сосудов
- Легкие
- Почки
- Печень
- Орган зрения (глаз)

### Низкая радиочувствительность

- Центральная нервная система
- Мышцы
- Костная ткань
- Соединительная ткань

# Классификация радиобиологических эффектов

<b>По значению для судьбы облученного организма</b>	<b>Патологические</b> <b>Горметические</b>
<b>По возможности наследования</b>	<b>Соматические</b> <b>Генетические</b>
<b>По срокам проявления</b>	<b>Ближайшие</b> <b>Отдаленные</b>
<b>По локализации</b>	<b>Общие (тотальные)</b> <b>Местные (локальные)</b>
<b>По характеру связи с дозой облучения</b>	<b>Детерминированные</b> <b>Стохастические</b>

# Критический орган (критическая ткань)

**Критическим** называется орган (ткань), поражение которого в данном диапазоне доз определяет клиническую симптоматику и исход радиационного поражения всего организма.

**1 – 10 Гр – костный мозг**

**10 – 20 Гр – эпителий тонкого кишечника**

**более 50 Гр – центральная нервная система**

**Детерминированные эффекты облучения** – это поражения, которые являются результатом коллективного повреждения значительного числа клеток облученной ткани или организма в целом; проявляются при превышении порога дозы; вероятность их возникновения и степень выраженности зависят от дозы облучения.

## Дозовые пороги различных детерминированных эффектов

- **< 0,1 Гр** – клинических эффектов и лабораторных изменений не выявляется
- **> 0,2 Гр** – определяется увеличение числа хромосомных aberrаций
- **> 0,4 Гр** – развитие временной (обратимой) стерильности у мужчин
- **> 0,5 Гр** – определяется преходящая депрессия кроветворения с лимфопенией и неспецифическая клиническая симптоматика (острая лучевая реакция)
- **> 1,0 Гр** – лучевое поражение организма