ТЕМА: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ. ПРЯМОЕ И КОСВЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ПЛАН:

1. ПОНЯТИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ
2. ПОТЕНЦИАЛ ИОНИЗАЦИИ
3. ВОЗБУЖДЕНИЕ АТОМОВ ИЛИ МОЛЕКУЛ
4. ОБРАЗОВАНИЕ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ
5. ПРЯМОЕ И КОСВЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ПОНЯТИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

- **ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ** – излучения, способные вызывать ионизацию атомов и молекул в облучаемом веществе.
- **Ионизация** – это превращение нейтральных атомов или молекул в частицы, которые несут «+» или «–» заряд.

ПОТЕНЦИАЛ ИОНИЗАЦИИ

- **Энергия освобождения электрона**:

$W = \Delta E - Ee^{-}$, где ΔE – количество энергии, передаваемое излучением электрону;

Ee^{-} – энергия связи электрона с атомом (молекулой)

- **Потенциал ионизации** – энергия, которая затрачивается на отрыв электрона от атома или молекулы (**Е**e^{-})

Для ионизации большинства элементов, входящих в состав биосубстрата необходим потенциал ионизации 10 -12 эВ.

эВ (электронвольт) – внесистемная единица измерения излучения: 1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{12}$ эрг; 1 эВ $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж (СИ).

КэВ = 10^3 эВ МэВ = 10^6 эВ.

Отрыв одного e^{-} от нейтрального атома характеризуется 1-м потенциалом ионизации, отрыв другого e^{-} описывается 2-м потенциалом ионизации и т.д. Очередной потенциал ионизации с переходом к электронам более глубокой (внутренней) электронной оболочки резко возрастает.

ВОЗБУЖДЕНИЕ АТОМОВ ИЛИ МОЛЕКУЛ

- Электрон, оторванный от атома, при столкновении с другими молекулами или атомами ионизирует их, пока не исчерпает свою критическую Е и не присоединится к нейтральной молекуле с образованием «–» иона.
- В том случае, если передаваемая атому или молекуле Е кванта излучения меньше потенциала ионизации облучаемого вещества, происходит их **возбуждение**.
- Возбужденным называют такое состояние атомов или молекул, когда они имеют Е больше, чем в основном состоянии.
- Повышение Е в системе атомов или молекул осуществляется путем электронных переходов из основного состояния в возбужденное. Это происходит при перескоке **е** с ближней к ядру атома орбитали на более далекую (внешнюю), происходит возбуждение. При этом Е затрачивается.

ОБРАЗОВАНИЕ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ

Поскольку возбужденные атомы или молекулы на внешних орбиталях имеют неспаренные **е,** они характеризуются повышенной реакционной способностью. Состояние атомов и молекул, для которого характерно наличие на орбиталях электронов с неспаренными спинами называют **свободнорадикальным**.

Это состояние нестабильное. Поэтому из состояния возбуждения молекула может вернуться в основное состояние (перескок **е** на ближнюю орбиталь, при этом Е выделяется) несколькими способами:

- превращением Е электронного возбуждения в тепловую (*тепловая конверсия*);
- излучением кванта Е (*флуоресценция*);
- передачей Е возбуждения другим молекулам;
- превращением возбужденной молекулы в молекулу или молекулы других веществ (*фотохимическая реакция*).

ВЫВОДЫ:

- В результате поглощения ионизирующего излучения в веществе образуются свободные **е**, «+» заряженные ионизированные частицы, а также молекулы и атомы в возбужденном состоянии, превращение которых сопровождаются выделением тепла, фотонов флуоресценции и фотохимическими реакциями.
- Возбуждение и ионизация – основные процессы, в которых расходуется Е излучений, поглощенная в облучаемом объекте.

ПРЯМОЕ И КОСВЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

- В основе первичных радиационно-химических изменений молекул лежат 2 основных механизма: **прямое и косвенное действие ИИ.**
- Под **прямым действием** понимают такие изменения, которые возникают в результате поглощения энергии излучения самими исследуемыми молекулами (мишенями).
- Под **косвенным действием** понимают изменения молекул в растворе, вызванные продуктами радиационного разложения (радиолиза) воды или растворенных веществ, а не энергией излучения, поглощенной самими исследуемыми молекулами.

Действие ИИ на клетку:

мишень

прямое

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$

косвенное

Радиолиз воды

- При косвенном действии наиболее существенен процесс радиолиза воды, составляющей 90% вещества в клетках.
- При радиолизе воды молекула ионизируется заряженной частицей, теряя электрон:

$$\rightsquigarrow \rightarrow H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$$

$$H_2O^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH^\bullet$$

$$H_2O + e^- \rightarrow H_2O^* \rightarrow H^0 + OH^0$$

- Образовавшийся электрон постепенно теряет в воде энергию в результате разных процессов до тех пор, пока его не захватит другая молекула, которая превратится в отрицательно заряженную молекулу воды:

$$e^- + H_2O \longrightarrow H_2O^-$$

- В присутствии кислорода образуются и другие продукты радиолиза, обладающие окислительными свойствами, гидропероксидный радикал HO_2, пероксид водорода H_2O_2 и атомарный кислород 2O.

$$H^0 + O_2 \longrightarrow HO_2^{\circ}$$

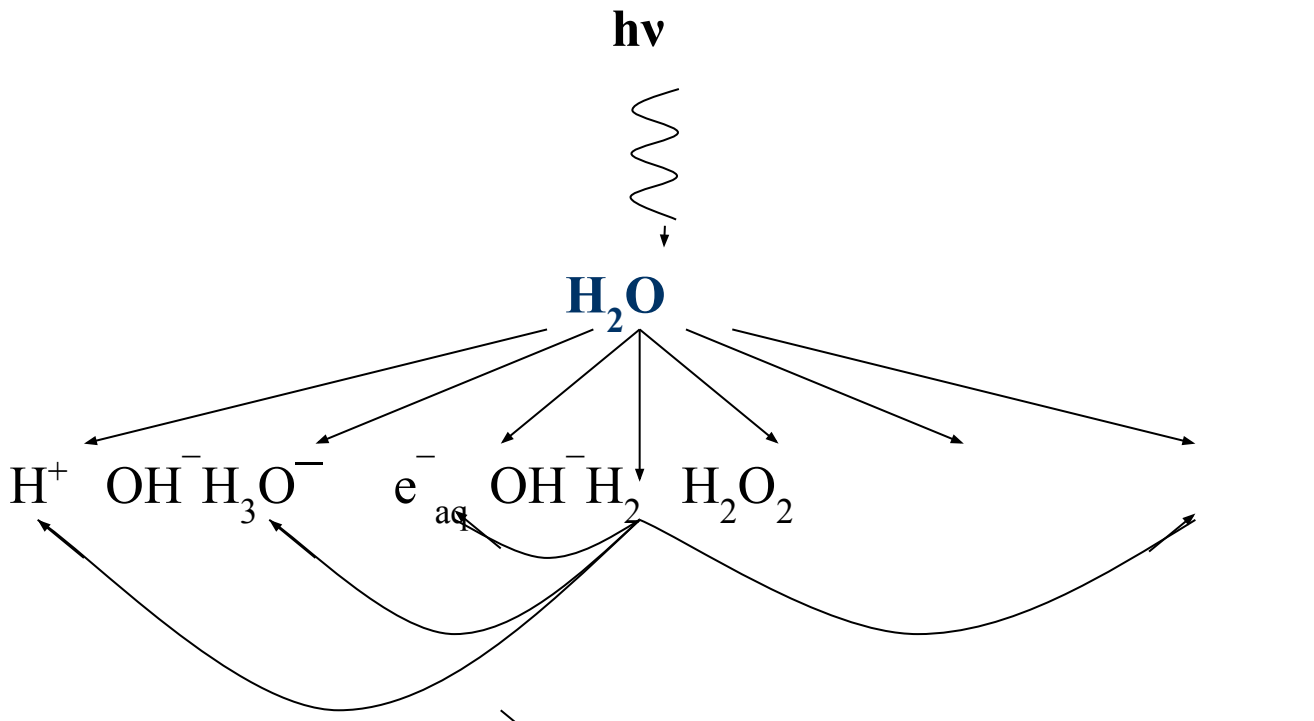
$$HO_2^0 + HO_2^0 \rightarrow H_2O_2 + 2O$$

- Таким образом, O_2 принимает участие в образовании биологически активных свободных радикалов, а также органических и неорганических пероксидов.
- Ни H_2O-, ни H_2O+ не являются стабильными молекулами и каждая из них распадается, образуя ион и свободный радикал:

$$H_2O+ \rightarrow H+ + OH^{\circ},$$

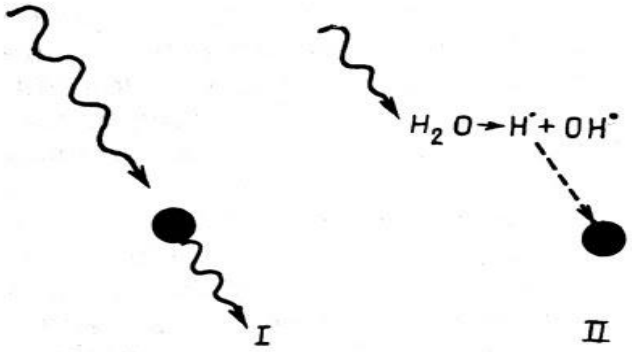
$$H_2O- \rightarrow H^{\circ} + OH-$$

Схема процесса радиолиза воды



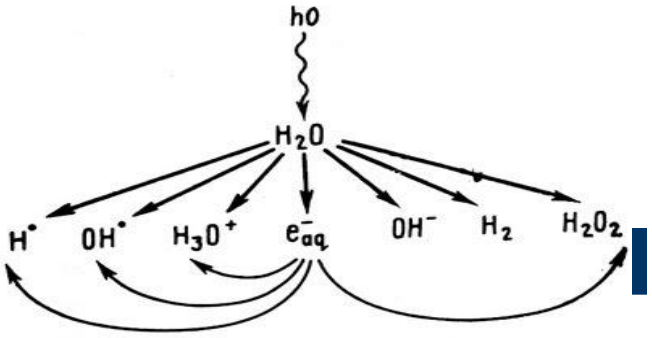
Возможные реакции гидратированного электрона

Прямое (*I*) и косвенное (*II*) действия ионизирующего излучения на клетку

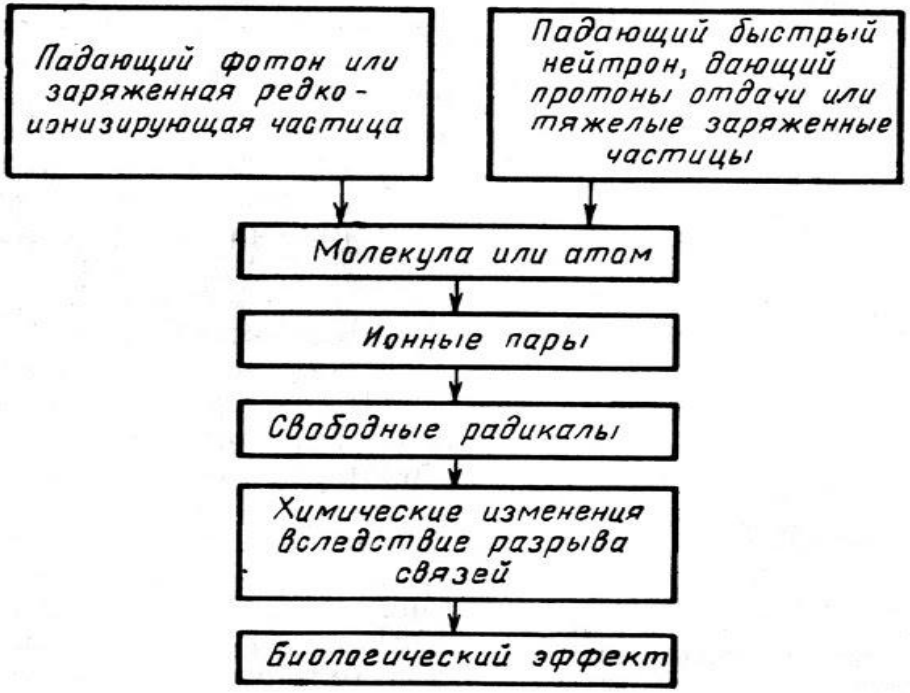


черным кружком обозначена мишень, волнистой стрелкой — излучение, пунктирной стрелкой — диффузия свободных радикалов к молекуле-мишени

Продукты радиолиза воды



тонкими стрелками показаны возможные реакции гидратированного электрона



При каждых 1000 эВ энергии, поглощаемых чистой водой, образуются следующие продукты: 26 гидратированных электронов ($e^{-\cdot}_{aq}$), 26 гидроксильных радикалов (OH°), 4 радикала водорода (H°) и небольшое количество H2 и H2O. Наиболее реакционноспособны $e^{-\cdot}_{aq}$, OH°, H°, имеющие продолжительности жизни около нескольких миллисекунд.

- Они могут также вступать в реакцию друг с другом или димеризоваться (образовывать пары):

$H^\circ + H^\circ \rightarrow H_2$, $OH^\circ + OH^\circ \rightarrow H_2O_2$, $H^\circ + OH^\circ \rightarrow H_2O$

или вступать в реакцию с другими молекулами воды, например,

$$H_2O + H^\bullet \rightarrow H_2 + OH^\bullet$$

а также реагировать с продуктами предыдущих реакции, в которых участвовали радикалы:

$$H_2O_2 + OH^\bullet \rightarrow H_2O + HO_2^\bullet$$

H_2O° - гидроперекисный радикал

Взаимодействие свободных радикалов с органическими молекулами

Свободные радикалы способны вырывать атом водорода из органических молекул типа RH:

$RH + OH^{\circ} \longrightarrow R^{\circ} + H_2O$

$RH + H^{\circ} \longrightarrow R^{\circ} + H_2$

Такие реакции ведут к появлению новых радикалов. Независимо от своего происхождения свободные радикалы R° могут вступать в реакцию с биологическими молекулами и приводить впоследствии к радиобиологическому поражению клеточных структур.

Анион радикал и гидроперекисный радикал способны окислять молекулы органических веществ. Если в веществе присутствуют липиды, то увеличивается ПОЛ

$R + HO_2^{\circ} \rightarrow ROOH$ гидропероксид