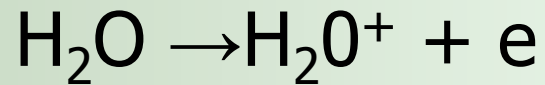
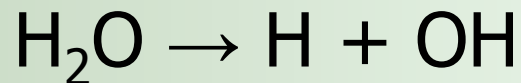


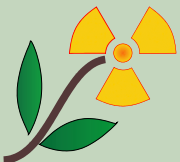
Под влиянием ионизирующего излучения молекула воды способна терять электрон с образованием положительно заряженного иона.



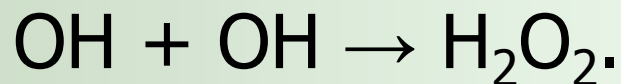
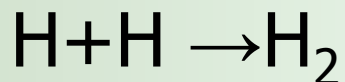
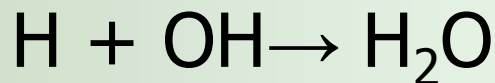
Освободившийся электрон, передавая энергию окружающим молекулам воды, переводит их в возбужденное состояние (H_2O^+). Возбужденная молекула – молекула, в которой один или несколько электронов входящих в нее атомов находятся в возбужденном состоянии, однако энергии возбуждения недостаточно для отрыва электрона от молекулы.

Возбужденные молекулы воды диссоциируют с образованием радикалов Н и ОН:

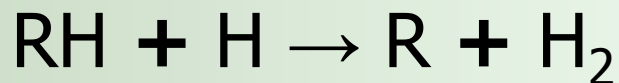
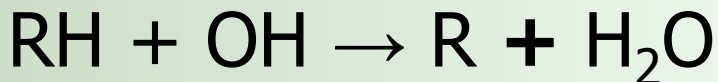


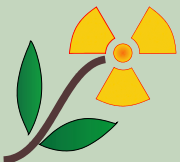


Образовавшиеся свободные радикалы Н и ОН химически активны и могут легко взаимодействовать друг с другом с образованием разнообразных продуктов (молекул воды, водорода и пероксида водорода):



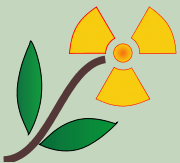
Если формулу органической молекулы условно представить в виде RH, где H – реакционноспособный атом водорода, а R – остальная часть молекулы, то взаимодействие с радикалами H и OH можно описать в таком виде:





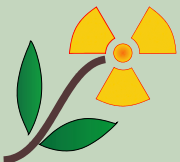
Периоды полураспада основных радионуклидов земной коры

| Радионуклид | Период полураспада |
|-------------------|-------------------------|
| ^{238}U | $4,47 \cdot 10^9$ лет |
| ^{232}Th | $1,4 \cdot 10^{10}$ лет |
| ^{40}K | $1,28 \cdot 10^9$ лет |
| ^{87}Rb | $4,8 \cdot 10^{10}$ лет |
| ^{234}U | $2,45 \cdot 10^5$ лет |
| ^{235}U | $7,04 \cdot 10^8$ лет |

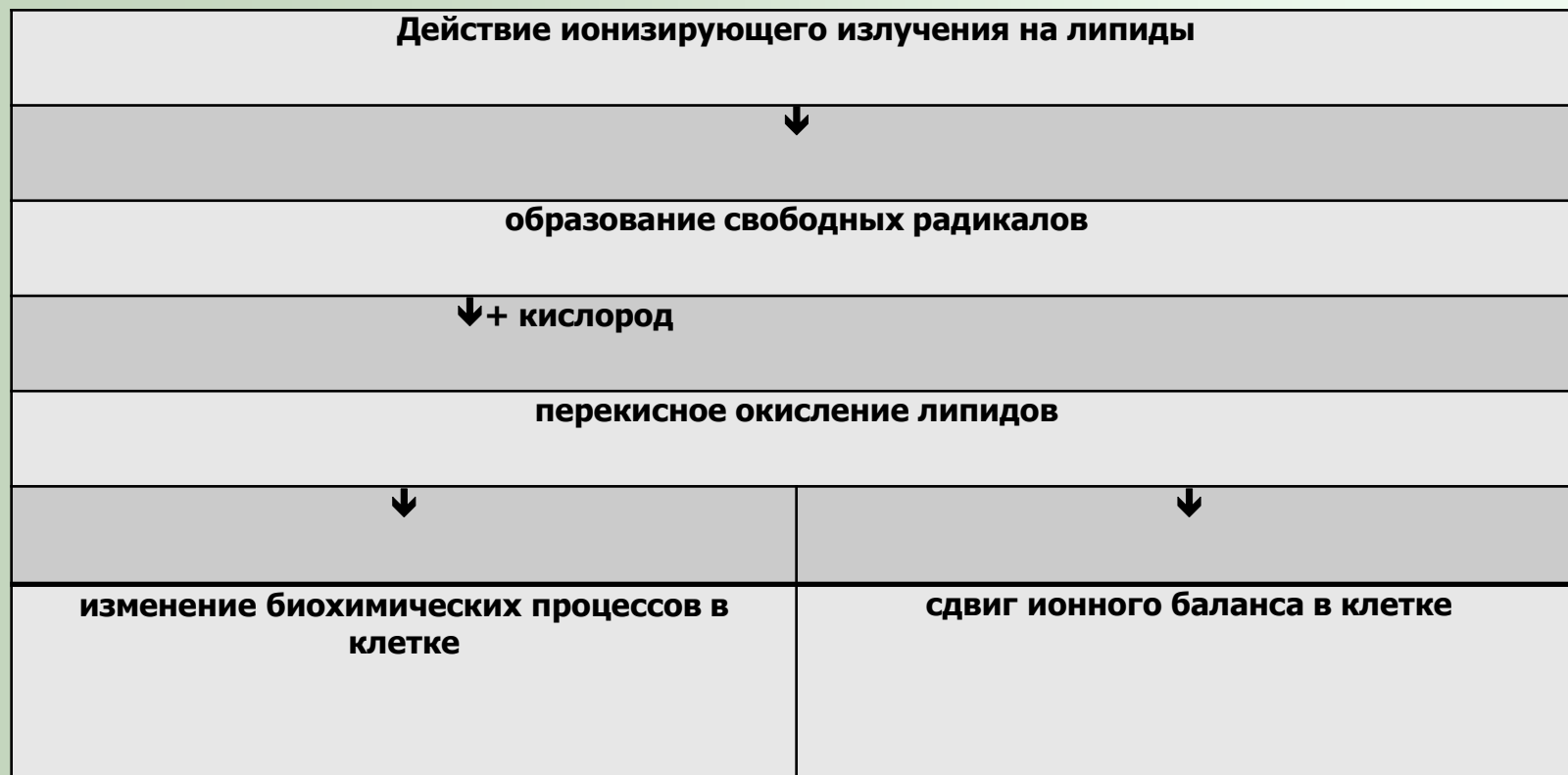


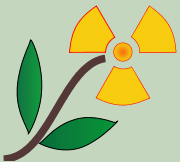
Изменение структуры белка

| Прямое | | | Косвенное | | |
|---|------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|----------------|
| возникновение свободных радикалов в цепях аминокислот | | | образование свободных радикалов в результате взаимодействия белковых молекул с продуктами радиолитиза воды | | |
| Изменение структуры белка | | | | | |
| разрыв водородных и дисульфидных связей | | модификации аминокислот в цепи | | образование сшивок и агрегатов | |
| Нарушение функций белка | | | | | |
| структурной | регуляторной (гормоны) | каталитической (ферменты) | защитной (антитела) | транспортной (гемоглобин) | энергетической |



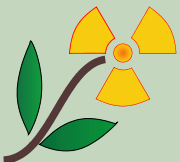
Действие ионизирующего излучения на ЛИПИДЫ





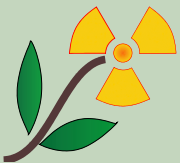
Градация клеток организма человека по способности к делению

| Клетки | | |
|--|--|---|
| Делящиеся (деление происходит непрерывно) | Слабоделящиеся (клетки не размножаются в обычных условиях, но при повреждении органов или тканей, в состав которых они входят, становятся способными к делению) | Неделящиеся (деление происходит на протяжении определенной части жизненного цикла) |
| половые клетки | клетки печени | нервные клетки |
| клетки костного мозга | клетки почек | мышечные клетки |
| клетки эпителия кишечника | | |



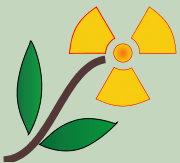
Реакция органов человека на действие *гамма-* (или рентгеновского)

| Орган или система органов | | Доза(Гр) | Эффекты |
|-----------------------------|-----------|----------|--|
| Печень | | 1 | Возникновение хромосомных аберрации в 15-20% клеток. Поскольку клетки печени практически не делятся, возникающие нарушения не ведут к гибели организма. |
| | | 40 | Развитие фиброза печени в течение одного месяца после облучения |
| Костный мозг | | 1 | Возникновение хромосомных аберрации в 15-20% клеток |
| Половые железы | семенники | 0,15 | Временная стерильность |
| | | 2 и выше | Вероятность постоянной стерильности |
| | яичники | 1-2 | Возникновение временного бесплодия |
| | | 2,5-6 | Развитие стойкого бесплодия |
| Кожа | | 5 | Клетки эпидермиса могут восстанавливать повреждения |
| | | 10 | Необратимые нарушения |
| Органы зрения | | 2 | Появление воспалительных процессов |
| | | 2-6 | Возникновение катаракты (помутнение хрусталика) |
| Сердце | | 5-10 | Появления изменений в миокарде |
| | | 20 | Поражение эндокарда и других структур сердца |
| Почки | | 30 | Развитие нефросклероза |
| Лёгкие | | 50 | 100%-ная смертность |
| Центральная нервная система | | 100 | Гибель клеток |



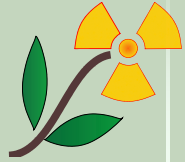
Радиационные синдромы

| 1-10 Гр | 10-80 Гр | 80-100 Гр |
|---|---|---|
| <p>костно-мозговой – гибель стволовых клеток костного мозга, поражение лимфатических узлов и селезенки</p> <p>↓</p> <p>– отсутствие в периферической крови необходимого для организма количества элементов крови</p> <p>↓</p> <p>кровоточивость, анемия, понижение иммунитета</p> | <p>желудочно-кишечный – торможение деления и сокращение образования дифференцированных клеток кишечного эпителия</p> <p>↓</p> <p>– крови образование очагов прободений в кишечнике, нарушение всасывания пищи, поступление содержимого кишечника в кровь, общее инфицирование организма</p> | <p>церебральный – гибель нервных клеток</p> <p>↓</p> <p>– поражение центральной нервной системы</p> |



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, слабая тошнота |
| 1-2 | Изменения в составе крови, рвота, явные патологические изменения. Развитие легкой степени лучевой болезни |
| 2-4 | Кровоизлияния. Стерильность |
| 3-5 | Тяжелая степень лучевой болезни. Смертность приближается к 50 % |
| 6 | Повреждения центральной нервной системы. Смертность приближается к 100 % |
| > 8 | Смерть практически неизбежна |



Период биологического полувыведения (T_B) и эффективный период полувыведения ($T_{эф}$) радионуклидов из организма человека

Период биологического полувыведения (T_B) :

промежуток времени, течение которого активность накопленного в организме (или в отдельном органе) радионуклида сокращается наполовину в результате естественных биологических процессов.

Эффективный период полувыведения:

это промежуток времени, в течение которого активность радионуклида в организме уменьшается вдвое за счет процессов биологического выведения и радиоактивного распада радионуклида:

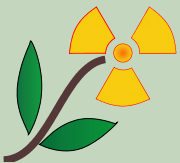
$$T_{эф} = \frac{T_{1/2} * T_B}{T_{1/2} + T_B}$$

The diagram shows the formula for effective half-life: $T_{эф} = \frac{T_{1/2} * T_B}{T_{1/2} + T_B}$. The variables T_1 and T_B are also present in the diagram, likely representing the physical and biological half-lives respectively.

Где $T_{эф}$ эффективный период полувыведения,

$T_{1/2}$ период полураспада,

T_B период биологического полувыведения радионуклида.



Периоды полураспада ($T_{1/2}$), биологического полувыведения (T_B) и эффективные периоды полувыведения ($T_{эф}$) некоторых радионуклидов из организма человека

| Радионуклид | Место накопления | $T_{1/2}$ | T_B | $T_{эф}$ |
|-------------------|-------------------|------------------------|-----------|-----------|
| ^{131}I | Все тело | 8,0 суток | 138 суток | 7,6 суток |
| | Щитовидная железа | | 138 суток | 7,6 суток |
| ^{40}K | Все тело | $1,28 \cdot 10^9$ года | 58 суток | 58 суток |
| ^{137}Cs | Все тело | 30,0 лет | 70 суток | 70 суток |
| ^{90}Sr | Кости | 28,5 года | 49,3 года | 18 лет |
| ^{238}Pu | Кости | 87,7 года | 200 лет | 61 год |
| ^{239}Pu | Кости | $2,41 \cdot 10^4$ года | 200 лет | 198 лет |
| ^{240}Pu | Кости | 6540 лет | 200 лет | 194 года |
| ^{241}Am | Кости | 432,2 года | 200 лет | 137 лет |
| ^{226}Ra | Кости | 1600 лет | 44,9 года | 44 года |