



ТЕМА 2.2

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ, БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА



Изучаемые вопросы



1. Взаимодействие фотонного излучения с веществом.
2. Механизм и особенности воздействия фотонного излучения на организм человека.
3. Последствия воздействия ионизирующего излучения на организм человека.
4. Детерминированные и стохастические биологические эффекты.
5. Факторы, определяющие степень воздействия ионизирующего излучения на организм человека.

Часть 1

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ



Генерация рентгеновского излучения



Рентгеновское излучение – это электромагнитное излучение с широким диапазоном длин волн (от $8 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-14} м), возникающее при взаимодействии заряженных частиц, чаще всего электронов, движущихся с большими скоростями, с веществом. Наиболее широко распространенным генератором рентгеновского излучения является рентгеновская трубка.

Для рентгеновских трубок, работающих при номинальном анодном напряжении до 300 кВ, энергия электронов, бомбардирующих поверхность анода, а следовательно, и максимальная энергия испускаемых фотонов рентгеновского излучения не превышает 300 кэВ.

Высокоэнергетическое рентгеновское излучение получают с помощью сложных систем генерации, в которых электроны разгоняются до больших энергий порядка несколько единиц МэВ. При этом базовые физические принципы создания потока рентгеновских лучей такие же, как и в рентгеновской трубке.

В настоящее время наиболее распространенные ускорители электронов обеспечивают генерацию импульсного рентгеновского излучения энергии до 10 МэВ.



Свойства рентгеновского излучения



Определяющие механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом:

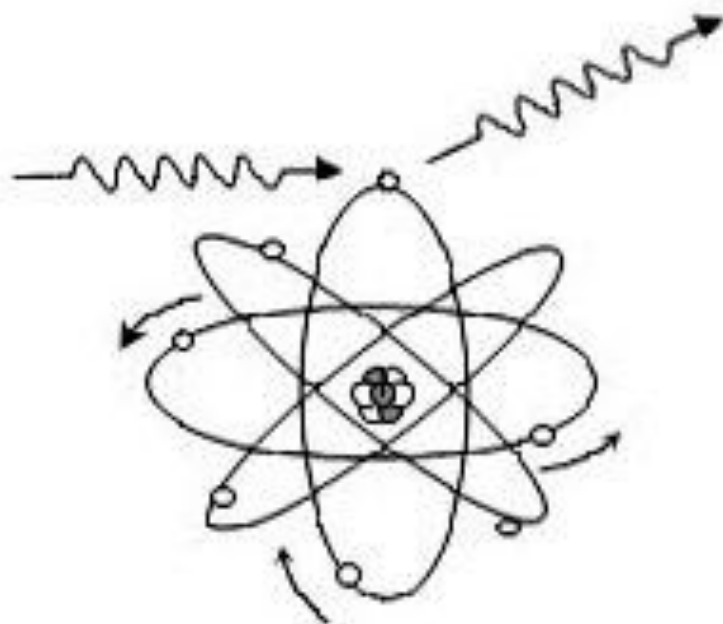
- ✓ *отсутствие массы покоя;*
- ✓ *отсутствие электрического заряда;*
- ✓ *скорость квантов рентгеновского излучения не зависит от их энергии, поэтому они не могут замедляться в среде.*

В зависимости от соотношения энергии фотона ($h\nu$) и энергии ионизации (A_u) атомов вещества (энергии, необходимой для удаления электрона из атома или молекулы), при прохождении рентгеновского излучения через вещество имеют место процессы **рассеяния** и **поглощения** квантов:

- когерентное (классическое) рассеяние;
- фотоэффект;
- некогерентное рассеяние (эффект Комптона);
- образование электрон-позитронных пар;
- поглощение рентгеновского излучения веществом.



Когерентное (классическое) рассеяние

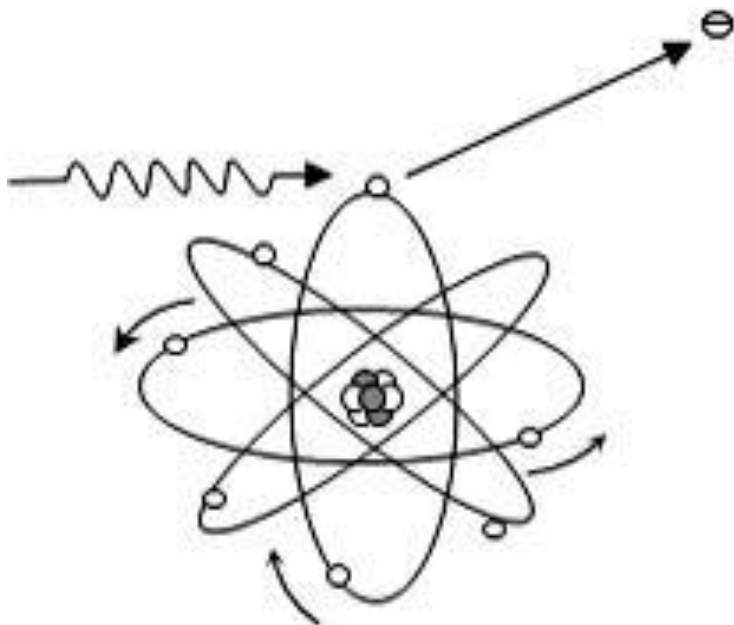


Когерентное (упругое) рассеяние происходит тогда, когда фотоны рентгеновских лучей имеют меньшую энергию, чем энергия связи электронов с ядром атома, т.е. $h\nu < A_u$.

В таком случае, энергия фотона оказывается не достаточной для освобождения электронов из атомов вещества. Фотон не поглощается атомом, но изменяет направление распространения. При этом энергия фотона, и, следовательно, длина волны рентгеновского излучения остается неизменной.



Фотоэлектрический эффект (фотоэффект)

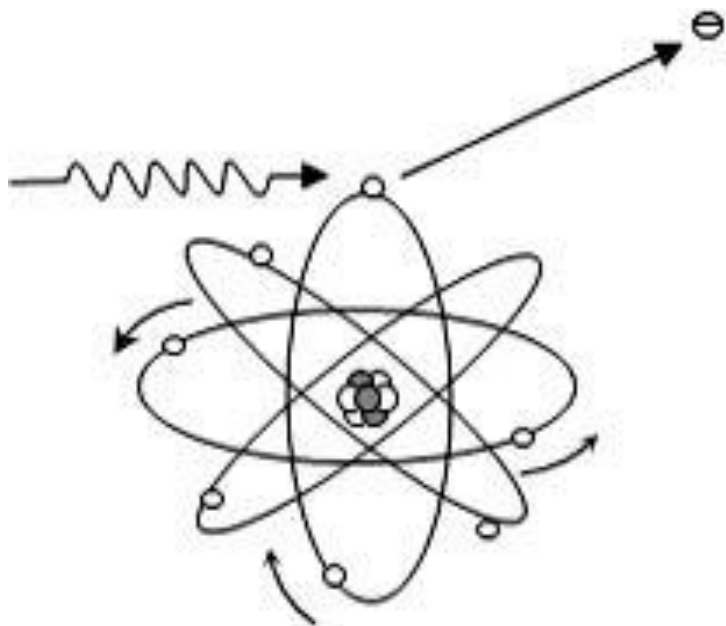


Фотоэффектом называется такое взаимодействие фотона рентгеновского излучения с веществом, при котором рентгеновский квант, имеющий энергию $h\nu$ больше энергии ионизации атома $h\nu > A_u$, полностью поглощается атомом и передает свою энергию одному из электронов, выбивая его из атома

Атом, который теряет один из своих электронов, становится положительно заряженным ионом. Испущенный электрон, называемый **фотоэлектроном**, приобретает кинетическую энергию $E_k = h\nu - A_u$.



Фотоэлектрический эффект (фотоэффект)



□ Фотоэффект является преобладающим видом взаимодействия рентгеновского излучения с веществом при малой энергии рентгеновских квантов – меньше **0,1 – 0,5 МэВ**.

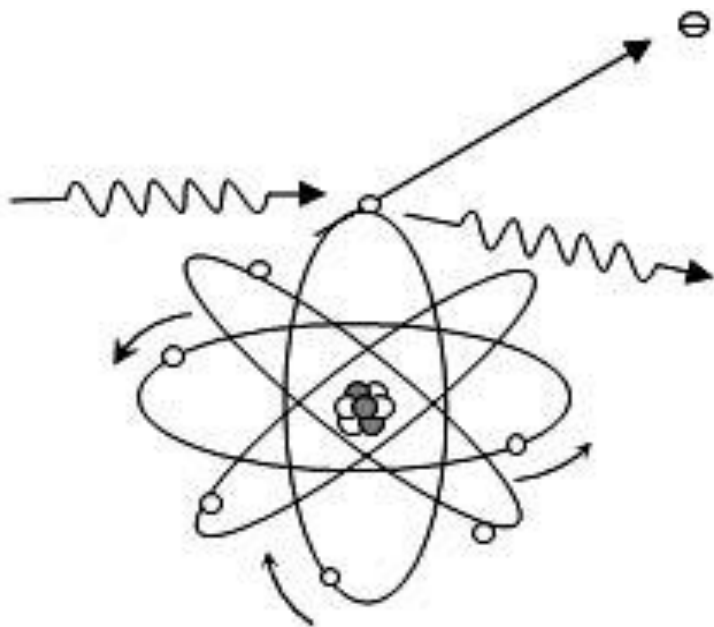
□ Результатом фотоэлектрического эффекта является интенсивная ионизация вещества.

Если фотон рентгеновского излучения поглощается веществом, но его энергии недостаточно для отрыва электрона ($h\nu < A_u$), то происходит возбуждение атома или молекулы.

Это часто приводит к последующему излучению фотона в области видимого света (**рентгенолюминесценция**).



Некогерентное рассеяние (эффект Комптона)

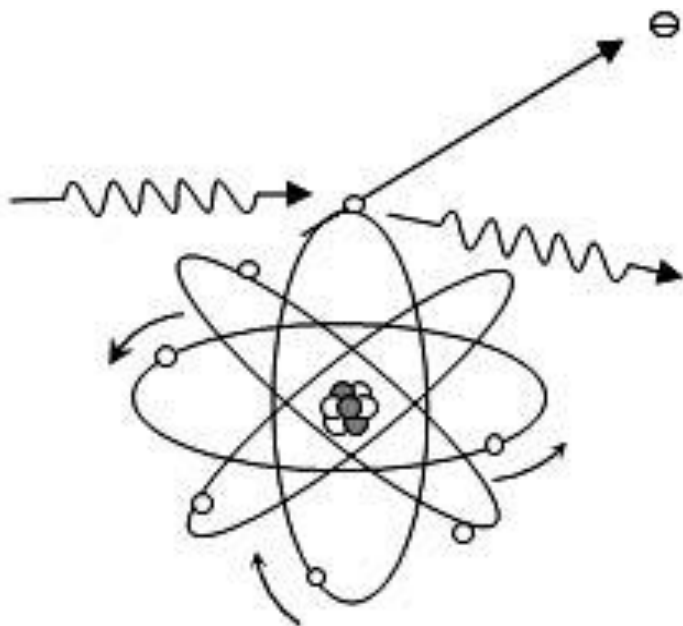


Некогерентное рассеяние (эффект Комптона) происходит тогда, когда энергия фотона рентгеновского излучения $h\nu$ намного больше энергии ионизации атомов среды, т.е. $h\nu \gg A_u$. При этом электрон выбивается из атома (такие электроны называются электронами отдачи), приобретая кинетическую энергию E_k , и образуется рентгеновский фотон с меньшей энергией $h\nu' = h\nu - A_u - E_k$.

Имеет место при $h\nu \gg A_u$.



Некогерентное рассеяние (эффект Комптона)



□ Эффект Комптона является преобладающим видом взаимодействия для широкого диапазона средних энергий рентгеновских квантов: для воздуха в диапазоне энергий от $0,1$ до 20 МэВ, для свинца примерно от $0,5$ до 5 МэВ.

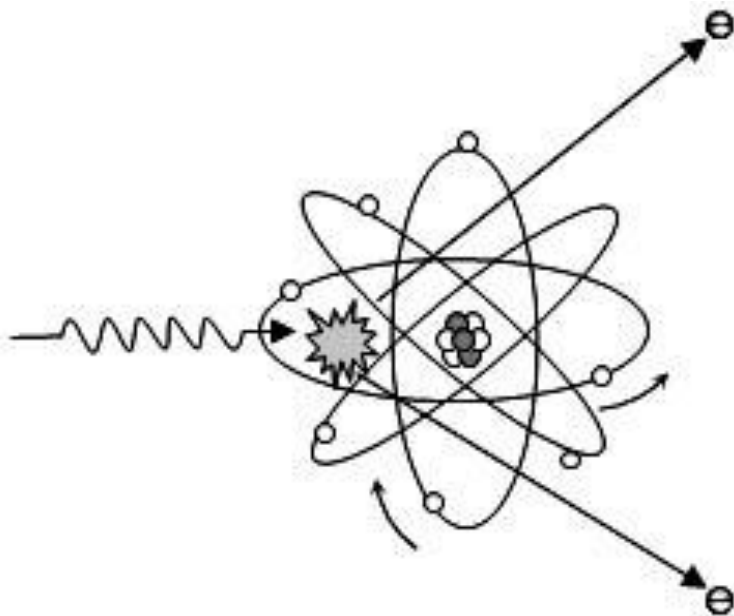
- При некогерентном рассеянии образуется рентгеновский квант с меньшей энергией.
- Результатом некогерентного рассеяния является ионизация и возбуждение атомов вещества.



Образование электрон-позитронных пар



При взаимодействии высокоэнергетических фотонов рентгеновского излучения с веществом имеет место процесс образования электрон-позитронных пар. Позитрон – античастица электрона, имеющая элементарный положительный электрический заряд и массу, равную массе электрона.



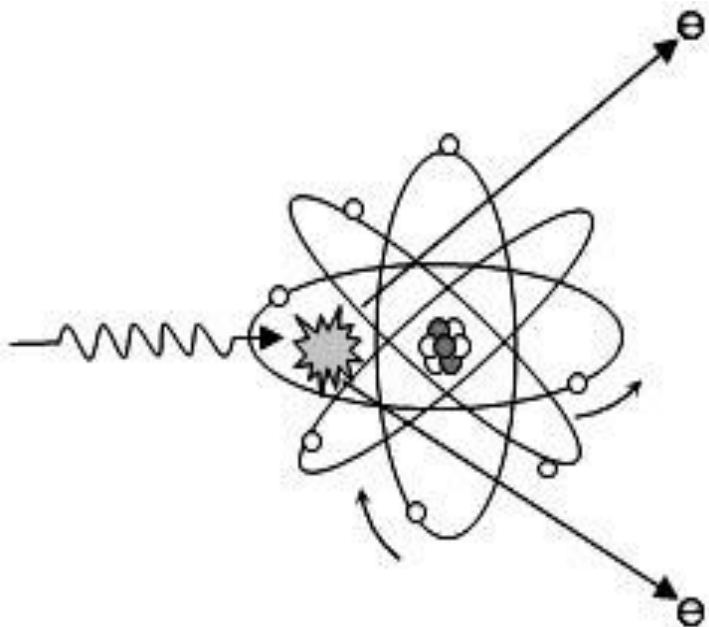
Обычно образование пар электрон-позитрон фотоном происходит в кулоновском поле атомного ядра.

Для осуществления такой реакции энергия фотона должна быть не меньше сумм масс покоя электрона и позитрона, т.е. $2mc^2 = 1,022 \text{ МэВ}$.

Указанное значение энергии является порогом для этого процесса.



Образование электрон-позитронных пар



Имеет место при $h\nu \gg A_u$,
 $h\nu > 1,022 \text{ МэВ}$.

Возникновение пары электрон-позитрон приводит к исчезновению фотона рентгеновского излучения. За вычетом энергии покоя пары (1,022 МэВ), энергия фотона передается электрону и позитрону.

Образовавшиеся электрон и позитрон теряют свою энергию посредством вторичной ионизации.

Образование электрон-позитронных пар является преобладающим процессом потери энергии фотонов рентгеновского излучения при энергиях **выше 3 МэВ** в материалах с высоким атомным номером.



Поглощение рентгеновского излучения веществом

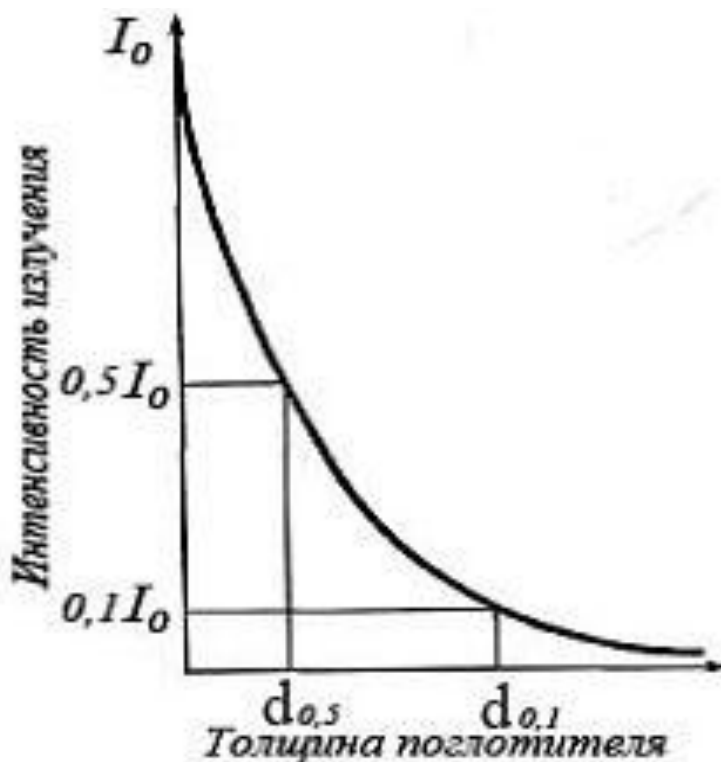


При прохождении рентгеновских лучей через вещество их энергия уменьшается из-за процессов поглощения и рассеяния, в результате чего интенсивность рентгеновского излучения постепенно падает.

Закон ослабления интенсивности рентгеновского излучения в веществе:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

I_0 – начальная интенсивность
 I – интенсивность рентгеновских лучей, прошедших через слой вещества толщиной d ;
 μ – линейный коэффициент ослабления.



$$\mu = \tau_{\phi} + \tau_{\kappa} + \tau_{\text{HK}}$$



Поглощение рентгеновского излучения веществом



Для практических расчетов в качестве характеристики ослабления используют **массовый коэффициент ослабления μ_m** , равный отношению линейного коэффициента ослабления к плотности вещества, т.е. $\mu_m = \mu/\rho$.

У одноатомных веществ массовый коэффициент ослабления определяется по формуле:

$$\mu_m = kZ^3\lambda^3,$$

где λ – длина волны фотона, Z – атомный номер химического элемента, k – некоторая константа.

Различные ткани организма человека по-разному ослабляют рентгеновское излучение. Это позволяет на фотопленке в теневой проекции видеть изображение внутренних органов. Так, массовые коэффициенты ослабления кости и мягкой ткани (воды) отличаются в 68 раз. Линейные коэффициенты ослабления еще в большей степени различаются между собой. Именно на этом основана рентгенодиагностика.



Поглощение рентгеновского излучения веществом



Закон ослабления может быть выражен также через слой половинного ослабления $d_{0,5}$.

Слоем половинного ослабления называется такая толщина поглотителя, после прохождения которого интенсивность излучения ослабляется в два раза. Между линейным коэффициентом ослабления и слоем половинного ослабления существует следующая взаимосвязь:

$$d_{0,5} = 0,693/\mu, \text{ или } \mu = 0,693/ d_{0,5}.$$

Зная слой половинного ослабления, можно легко определить, какой нужно взять слой поглотителя, чтобы ослабить излучение в данное число раз. Например, один слой уменьшает интенсивность излучения в 2 раза, два слоя – в 4 раза и т. д., n слоев – в 2^n раз. Величина $d_{0,5}$ зависит от энергии рентгеновского фотона и вещества, ослабляющего излучение. Например, $d_{0,5}$ при напряжении на рентгеновской трубке 60 кВ составляет 1 мм для алюминия и 10 мм для воды.

Часть 2

ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЧЕЛОВЕКА.

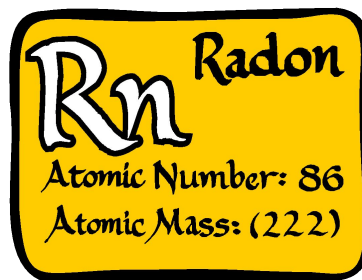




Вклад в дозу облучения от естественного радиационного фона



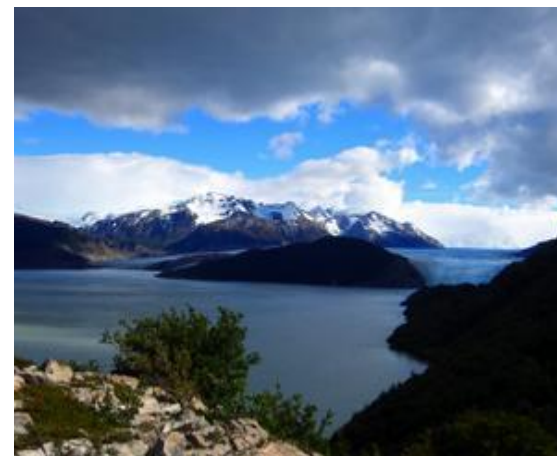
Космос – 0,32 мЗв/г



Радон – 2,6 мЗв/г



Пища – 0,33 мЗв/г



От естественных
радионуклидов – 0,35 мЗв/г

Средняя годовая доза (мировая) = 3,6 мЗв



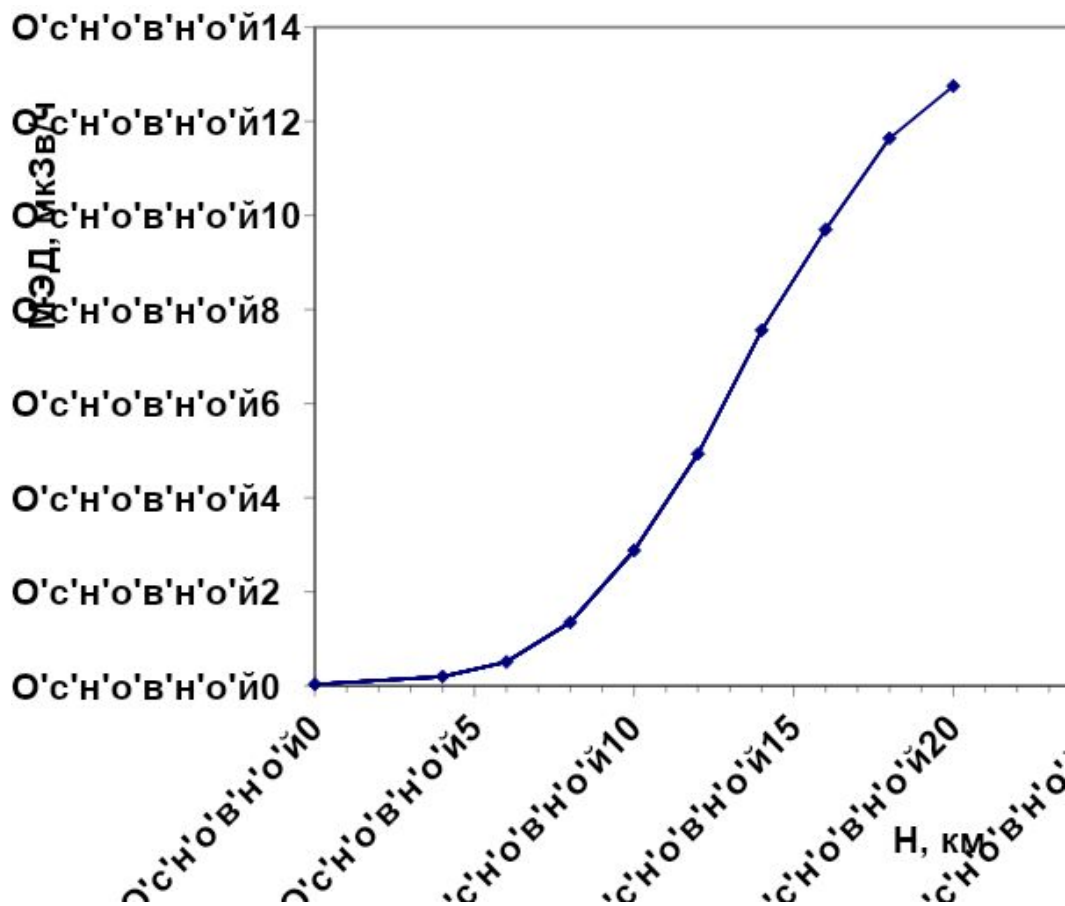
Годовые эффективные дозы (мЗв) от природных источников



Источники излучения	Среднемировая доза	Типичный диапазон
	(мЗв)	
<u>Внешние</u>		
Космическое излучение	0,3	0,3 ÷ 1,0
Наземные источники	0,4	0,3 ÷ 0,6
<u>Внутренние</u>		
Ингаляция (преим. радон)	2,6	0,2 ÷ 10
Пищевые (преим. К-40 и ряды U-238 и Th-232)	0,3	0,2 ÷ 0,8
Всего	3,6	1 ÷ 12,4



Изменение мощности эквивалентной дозы в зависимости от высоты над уровнем моря



Высота, км	МЭД, мкЗв/ч
0	0,035
4	0,200
6	0,510
8	1,350
10	2,880
12	4,930
14	7,560
16	9,700
18	11,640
20	12,750



Некоторые даты



1895	Вильгельм фон Рентген открывает рентгеновское излучение
1896	Беккерель открывает естественную радиоактивность урана
1898	Мария и Пьер Кюри выделяют радий
1928	Основание Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ, ICRP)
1942	Построен первый ядерный реактор (США)
1945	Сброшены атомные бомбы на Хиросиму и Нагасаки
1954	Запуск первой в мире промышленной атомной станции (г. Обнинск)
1956	Авария в Уиндскейле (Великобритания, объект военного производства)
1957	Авария на производственном объединении «Маяк»
1979	Авария на АЭС «Три-Майл-Айленд» в США
1986	Авария на Чернобыльской АЭС
2011	Авария на АЭС «Фукусима-1» в Японии



Вклад техногенных источников излучения в дозу облучения



Курение ~ 1,3 мЗв/г



Индустрия < 0,1 мЗв/г



Медицина ~ 0,53 мЗв/г



АЭС < 0,01 мЗв/г
(нормальный режим работы)



Радиоактивные осадки < 0,01 мЗв/г

Строительные материалы ~ 0,04 мЗв/г



Примеры доз, полученных от медицинских обследований



п/п	Объект облучения	Доза за процедуру, мЗв
1	Рентген зубов	0,02
2	Обследование щитовидной железы	30
3	Рентген грудной клетки	3
4	Флюорография	0,4
5	Рентген сердца	30



Соотношение доз облучения человека от природных и техногенных источников



Источники радиации



Часть 3

МЕХАНИЗМ И ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА.





Воздействие ионизирующих излучений на организм человека



Ионизирующая радиация существовала на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовала в космосе еще до возникновения самой Земли. Все живое на Земле возникло и развивалось в условиях воздействия ионизирующей радиации.

Общим свойством ионизирующего излучения является способность проникать в облучаемую среду и производить ионизацию. Рентгеновские и гамма-лучи проникают в тело человека на разную глубину в зависимости от энергии излучения, а также плотности вещества или тканей. Ионизирующее излучение не просто проходит сквозь ткани, а взаимодействует с веществом, молекулами тканей, вызывая появление в них на короткое время электрически заряженных частиц – ионов. Отсюда и термин «ионизирующее излучение». В отличие от него видимый свет и ультрафиолетовые лучи не являются ни проникающими, ни тем более ионизирующими.



Первичный процесс воздействия ионизирующих излучений



Первичный процесс воздействия ионизирующих излучений на живые клетки, приводящий к радиационному поражению, состоит в передаче клетке энергии в результате процесса ионизации и возбуждения атомов вещества, из которого она состоит. Ионизация происходит либо непосредственно при воздействии заряженных частиц (α -, β -частиц, протонов, ядер отдачи), либо в результате косвенных процессов при воздействии фотонов и нейтронов на атомы и ядра вещества биологической ткани.

Первичный процесс не может полностью объяснить биологическое воздействие и поражающее действие ионизирующего излучения: так, летальная доза облучения для человека повышает температуру тела только на $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ и разрушает одну молекулу из 10 млн. молекул.

При этом смертельная энергия ионизирующего излучения будет меньше тепловой энергии, поглощенной организмом после выпитой чашки горячего кофе, или после нескольких минут принятия солнечных ванн в теплый день.



Вторичные процессы воздействия ионизирующих излучений



Важнейшими действиями излучений на живые клетки являются **вторичные процессы** – химические и биологические процессы. Ионизация и возбуждение молекул и атомов живой ткани являются только первым этапом в дальнейшей цепи изменений и реакций.

Ионизирующее излучение может воздействовать непосредственно (прямое действие) или косвенно.

Энергия ионизирующего излучения превышает энергию внутримолекулярных и внутриатомных связей. Результатом этого являются ионизация, возбуждение, разрыв наименее прочных связей в молекулах, отрыв радикалов, называемых свободными. **Это прямое действие радиации.**



Особенности воздействия фотонного излучения на организм человека



Из всех первичных радиохимических превращений наибольшее значение имеет ионизация и распад молекул воды (радиолиз воды), являющейся основным растворителем в биологических средах и составляющей 65–70 % от массы тела. В результате ионизации молекулы воды образуются свободные радикалы (OH^\cdot , H^\cdot), которые преобразуются в исключительно вредные для организма и реакционноспособные перекисные соединения, которые запускают целую цепь последовательных биохимических реакций.

Следующие друг за другом химические и биохимические реакции могут быстро нарастать, приобретая характер цепных разветвленных реакций, и постепенно приводят к разрушению клеточных мембран (стенок клеток и других структур).

Действие ионизирующего излучения, обусловленное продуктами радиолиза воды, называется ***непрямым (косвенным) действием радиации***.



Этапы воздействия ионизирующих излучений на организм



Таким образом, первичные радиохимические реакции заключаются в прямом и опосредованном (через продукты радиолиза воды (окислители) и свободные радикалы) повреждении важнейших биохимических компонентов клетки – нуклеиновых кислот, белков, ферментов. В дальнейшем изменяются ферментативные реакции – усиливается распад белков и нуклеиновых кислот, снижается синтез ДНК, нарушается биосинтез белков и ферментов.

Наиболее важно нарушение клеточного деления – **митоза**. При облучении в сравнительно малых дозах наблюдается временная остановка митоза. Большие дозы могут вызвать полное прекращение деления или гибель клеток.

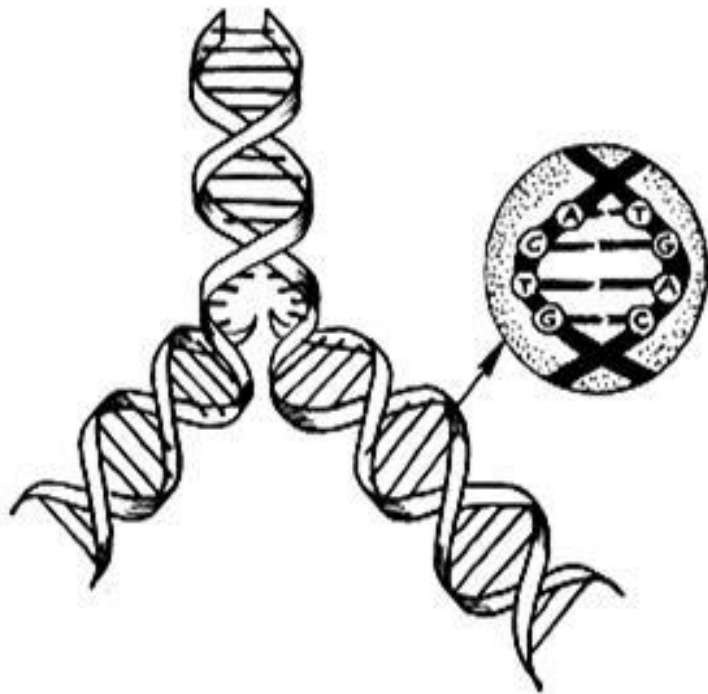


Клетка и молекула ДНК живого организма



Молекулы ДНК

При делении клетки спирали молекулы ДНК являются эталоном для строительства новой клетки



Клетка - самая маленькая частица организма, которая обладает способностью к жизнедеятельности и размножению. Она поглощает питательные вещества и кислород из крови и преобразует их в энергию. Чтобы позволить тканям тела и органам поддерживать свои функции, клетка делится с образованием двух нормальных, здоровых дочерних клеток, идентичных материнской клетке, которые заменяют поврежденную клетку.

Когда клетка делится, обе цепочки каждой молекулы ДНК разделяются, каждая затем становится частью новой спирали ДНК и в результате - мы имеем две новые клетки.



Факторы, воздействующие на ДНК





Особенности лучевого повреждения ДНК



Среди молекулярных повреждений особое место занимает радиационное поражение дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), представляющие главную составную часть наследственного вещества высших организмов, имеют нитевидную форму в виде двойных спиралей.

Количество повреждений ДНК, возникающих в результате облучения, достаточно велико. Так, например, при облучении в дозе 1 Гр в каждой клетке человека возникает около тысячи одиночных и ста-двухсот двойных разрывов. Однако существование в клетках механизмов и ферментных систем, обеспечивает восстановление большинства начальных повреждений ДНК.

Непосредственной причиной репродуктивной гибели клеток являются невосстанавливаемые повреждения ДНК, прежде всего, двойные разрывы цепей.

Еще одним важным для организма результатом лучевого повреждения ДНК является возникновение наследуемых повреждений генетического материала - мутаций, следствием которых может быть злокачественное перерождение соматических клеток (клетки тела) или дефекты развития у потомства.



Особенности лучевого повреждения ДНК



Некоторые клетки являются более чувствительными к ионизирующему излучению, и все они особенно чувствительны в период деления. Это означает, что растущая ткань или ткань, которая имеет высокую скорость деления клеток, более чувствительна к ионизирующему излучению, чем другие ткани. Вот почему дети, а особенно плод беременной женщины наиболее восприимчивы к излучению. По той же причине клетки раковой опухоли более чувствительны к излучению, чем здоровая ткань, так как раковая опухоль растет очень быстро за счет частого деления раковых клеток. Это особенность опухоли используется для лечения рака при помощи облучения раковых клеток.

Серьезные поражения клеточных структур приводят к нарушению деятельности организма в целом, его нервной системы, органов кроветворения и, как следствие, нарушению регуляции деятельности тканей и органов. В результате могут прекратиться процессы нормального физиологического функционирования организма.



Основные этапы воздействия ИИ 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

Часть 4

НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА.





Эффекты облучения детерминированные



С точки зрения неблагоприятного воздействия на организм человека различают эффекты **детерминированные** (пороговые) и **стохастические** (вероятностные).

Эффекты облучения детерминированные – клинически выявляемые, вызванные ионизирующим излучением, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы (лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие и т.п.).

Так, после разового облучения дозой свыше $0,15 \text{ Зв}$ у облученных появляется помутнение хрусталика, при дозе облучения свыше $0,2 \text{ Зв}$ - стерильность яичников, при дозе более $0,4 \text{ Зв}$ - угнетение функции костного мозга.



Эффекты облучения стохастические



Эффекты облучения стохастические – вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения. Вероятность их возникновения пропорциональна полученной дозе, при этом тяжесть проявления не зависит от дозы

(злокачественные опухоли, лейкозы, нарушение механизма передачи наследственной информации).

Наиболее опасным отдаленным эффектом облучения является **рак**. Рак, индуцируемый радиацией, не имеет каких-либо отличий от обычного спонтанного рака. Рак развивается у незначительного числа людей, подвергшихся облучению спустя 10-20 лет, но формально каждый облученный имеет дополнительный шанс заболеть раком, что в определенной степени зависит от полученной дозы.



Биологические воздействия ИИ на организм человека



Биологическое воздействие может быть **соматическим** («сома» – тело), если радиационный эффект облучения проявляется у самого облученного лица; и **наследственным (генетическим)** – если радиационный эффект облучения проявляется у его потомства.

Под соматическим воздействием ионизирующего излучения понимают непосредственное воздействие излучения на организм человека, подвергшегося облучению. Соматическое воздействие излучения проявляется в виде лучевой болезни, в повреждении отдельных органов или тканей.

Под генетическим воздействием ионизирующего излучения понимают такое воздействие, последствия которого незаметны у человека, а проявляются у его потомков.



Факторы, определяющие соматическое воздействие



Соматическое воздействие определяется следующими факторами:

- доза облучения;
- вид излучения;
- продолжительность (периодичность) облучения;
- размеры облучаемой поверхности;
- индивидуальная чувствительность организма.

Чтобы вызвать лучевое поражение организма, дозы облучения должны превышать определенный уровень, своеобразный порог.

Накопленные в настоящее время данные позволяют сделать вывод, что при однократном облучении всего тела дозой до 250 мЗв не обнаруживаются изменения в состоянии здоровья человека.



Биологические эффекты радиации



Доза (Зв)	Действие на человека
0 ÷ 0,25	Без видимых последствий
0,25 ÷ 0,5	Изменения состава крови, усталость, слабая тошнота
> 1,00	Изменения в крови, рвота. Возможна потеря трудоспособности. Первая степень лучевой болезни.
> 2,00	Нетрудоспособность (кровоизлияния, временная стерильность)
> 4,00	Смертность до 50 % облученных людей. Тяжелая степень лучевой болезни
> 6	Повреждение центральной нервной системы, смертность около 100 %
8	Смерть неизбежна



Виды доз облучения



При облучении организма человека ионизирующим излучением организм поглощает энергию ионизирующих излучений.

Количественной характеристикой этого процесса, а также показателем возможного ущерба организма от облучения, является доза облучения.

Различают дозы нескольких видов:

- поглощенная доза;
- эквивалентная доза;
- эффективная доза.



Поглощенная доза



Поглощенная доза – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D = \frac{dE}{dm},$$

где dE – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме;
 dm – масса вещества в этом объеме.

В единицах СИ поглощенная доза измеряется в Дж/кг.

Имеет специальное название – грей (Гр).

Ранее использовалась единица – рад (1 рад = 0,01 Гр).

Мощность дозы – доза излучения за единицу времени (секунду, минуту, час).



Эквивалентная доза



Поглощенная доза не является мерой для оценки вызванного ущерба для организма, так как должен быть учтен также вид излучения. Вид излучения (гамма-, рентгеновское, альфа-, бета-, нейтронное), имеет весьма важное значение, т.к. линейная плотность ионизации и проникающая способность у разных видов излучения различна.

Для учета этого различия вводятся взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения.

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (W_R) – это множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.



Виды радиации, воздействующей на человека



Бета- и гамма-излучения
(низкая плотность
ионизации)

Альфа-излучение
(высокая плотность
ионизации)



Так, например, 1 Грей альфа-излучения наносит гораздо больший вред организму, чем 1 Грей гамма- или бета-излучения.



Взвешивающий коэффициент от вида и энергии излучения



Вид и энергия излучения	Взвешивающий коэффициент W_R
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией с E менее 10 кэВ	5
10–100 кэВ	10
0,1–2,0 МэВ	20
2,0–20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с E более 2 МэВ	5
α -частицы	20
Продукты деления	20



Эквивалентная доза



Эквивалентная доза ($H_{T,R}$) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на взвешивающий коэффициент для данного вида излучения (W_R):

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R},$$

где $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани T ;

W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R .

Единицей эквивалентной дозы является Зиверт (Зв).



Эффективная доза



Часто ионизирующее излучение воздействует только на определенный орган (например, в медицине). При этом следует учитывать, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны к излучению, чем другие. Таким образом, имеется важное различие между дозой на орган и дозой на все тело. Для учета различной чувствительности разных органов и тканей к излучению используют взвешивающие коэффициенты для тканей и органов.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (W_T) – множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации.



Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов



Орган или ткань	Значение коэффициента W_T
Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник (прямая, сигмовидная, нисходящая)	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальные	0,05
Сумма всех W_T	1,00



Эффективная доза



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

$$E = \sum W_T \cdot H_T$$

где H_T – эквивалентная доза в органе или ткани T;

W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T.

Единицей эквивалентной дозы является *зиверт* (Зв).



Дозиметрические величины

Поглощенная доза (единица измерения – грей) (1 Гр = 100 рад)	Показывает количество энергии, поглощенной телом
Эквивалентная доза (единица измерения – зиверт) (1 Зв = 100 бэр)	Учитывает неодинаковое действие разных видов излучения
Эффективная доза (единица измерения – зиверт)	Учитывает различия чувствительности органов и тканей к облучению



Продолжительность (периодичность) облучения



Следует отметить, что тяжесть поражения организма зависит от того, получает ли организм одну и ту же дозу сразу – в течение нескольких минут или часов (острое облучение) или в несколько приемов (дробное, пролонгированное облучение) или в течение месяцев или лет (хроническое облучение).

Большинство органов успевает в той или иной степени залечить радиационные повреждения.

Поэтому дробное облучение вызывает меньшее повреждение, чем разовое воздействие той же суммарной дозы (например, для собаки – 6 Зв смертельно, но если ее ежедневно облучать по 0,1 Зв, то суммарная летальная доза превысит однократную в несколько раз).



Размеры облучаемой поверхности



Имеют значение размеры облучаемой поверхности. Так, при облучении человека дозой в десятки раз превышающей летальную, он гибнет во время облучения. Но, если облучать малые участки (при злокачественных опухолях), то смертельные исходы не отмечались.



Летальные дозы гамма-излучения для разных биологических видов



Индивидуальной чувствительности организма

Биологический вид	Летальная доза (Зв)
Овца	2 – 4
Собака	5 – 6
Человек	6 – 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



Различные способы облучения организма человека



Воздействие ионизирующего излучения на организм человека можно условно подразделить на внешнее, контактное и внутреннее, хотя на практике встречаются случаи и комплексного воздействия:

внешнее облучение (воздействие на организм ионизирующего излучения, приходящего извне: бета-, гамма-, нейтронное, рентгеновское);

контактное облучение (радиоактивное вещество или источник ионизирующего излучения непосредственно соприкасается с кожными покровами организма);

внутреннее облучение (проникание радионуклидов в организм через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и кожные покровы). Опасность внутреннего облучения организма значительно выше, чем при внешнем облучении (т.к. сократить время облучения, увеличить расстояние до источника, использовать защитные экраны - затруднительно, кроме того некоторые радионуклиды могут избирательно накапливаться в различных органах человека).

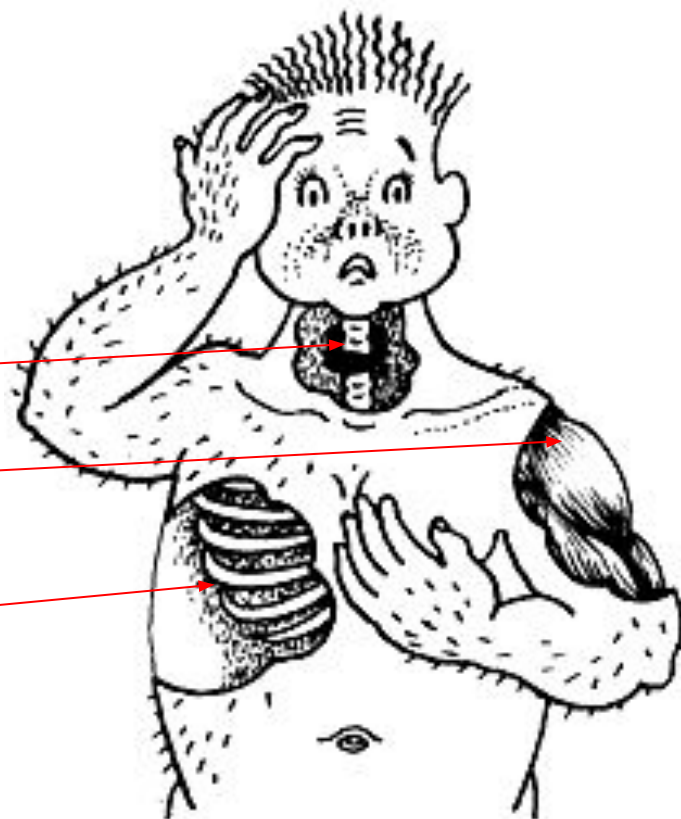


Радиоактивные вещества накапливаются в различных частях тела



**Радиоактивные изотопы, поступающие
внутрь организма, избирательно
накапливаются в различных органах**

- некоторые изотопы равномерно распределяются в организме человека (тритий, углерод, железо);
- в щитовидной железе (йод);
- другие остаются в мышцах (калий, рубидий, цезий);
- некоторые накапливаются в костях (радий, фосфор, стронций);
- в печени, почках, селезенке (рутений, полоний, ниобий).





Острая лучевая болезнь



Острая лучевая болезнь наблюдается при разовом облучении большой дозой.

Нарушения кроветворения, функций нервной и пищеварительной систем отмечаются при всех формах лучевого поражения. Однако степень изменения, скорость их развития и прогноз зависят от поглощенной дозы тотального облучения.

Костномозговая форма (доза 8÷10 Гр). Различают четыре клинических периода: период первичных реакций, скрытый период, период развернутых клинических признаков, исход болезни.

Кишечная форма (доза 10÷20 Гр). При этих формах поражения происходит прекращение митотического деления клеток кишечного эпителия и их массовая интерфазная гибель, потеря белков, электролитов, дегидратация тканей. Обнажается поверхность слизистой оболочки кишок, что способствует проникновению инфекции. Летальность составляет 100%.

Токсемическая форма (доза 20÷80 Гр). Токсемия обуславливает нарушения мозгового кровообращения и отёк мозга, прогрессирующие признаки которого наблюдаются до смертельного исхода, наступающего в течение 4-7 суток. В связи со значимостью расстройств циркуляции в развитии токсемической формы ОЛБ её называют ещё сосудистой.

Церебральная форма (доза более 80 Гр). Смертельный исход может произойти в ходе самого облучения или через несколько минут (часов) после него. В результате прямого повреждающего действия ионизирующей радиации на нервную ткань наиболее тяжелые изменения наблюдаются в нервной системе.



Хроническая лучевая болезнь



Хроническая лучевая болезнь является следствием повторных облучений небольшими дозами. Патогенез нарушений и клиника по существу не отличаются от таковых при остром заболевании, однако динамика развития болезни и степень выраженности отдельных признаков имеют отличия.

При заболевании **первой степени** нарушения носят характер функциональных обратимых расстройств со стороны наиболее чувствительных систем.

Заболевание **второй степени** характеризуется более выраженными изменениями со стороны нервной и кроветворной систем, а также снижением иммунитета.

Заболевание **третьей степени** характеризуется тяжелыми необратимыми изменениями в органах, глубокой дистрофией тканей. В нервной системе выражены признаки органического поражения. Функция гипофиза и надпочечных желез истощена. Кроветворение резко угнетено, тонус сосудов понижен, а проницаемость стенки их резко повышена.



Основные факторы, угрожающие здоровью и жизни людей



Число случаев с летальным исходом в год в США	
Курение	150 000
Употребление спиртных напитков	100 000
Автомобили	50 000
Огнестрельное оружие	17 000
Электричество	14 000
Мотоциклы	3 000
Хирургическое вмешательство	2 800
Рентгеновское облучение	2 300
Железные дороги	1 950
Охота	800
Бытовые травмы	200
Атомная энергия	100
Альпинизм	30

Риск, связанный с воздействием радиации, небольшой, но пренебрегать им не следует.



Контрольные вопросы

1. Назовите пути проникновения радиоактивного излучения в организм человека.
2. Какие существуют природные источники ионизирующего излучения?
3. Какие существуют техногенные источники ионизирующего излучения?
4. Назовите этапы воздействия ИИ на биологические объекты.
5. Какими факторами определяется соматическое действие на биологические объекты?
6. Какие имеются способы облучения человека и их особенности?
7. Каково соотношение влияния облучения человека ионизирующим излучением с другими опасными факторами?



**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ!**