

Тема 3.4. Опасность ионизирующих излучений

С каждым годом увеличивается количество искусственных источников излучения, используемых в разных сферах деятельности человека. Трагические события на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. стали причиной резко возросшего интереса к проблеме воздействия радиации на живые организмы, в первую очередь на человека. В средствах массовой информации стали появляться закрытые ранее для широких масс данные о радиационных авариях и испытаниях ядерного оружия; упоминаться научные термины из области дозиметрии и радиобиологии; обсуждаться экологические последствия развития атомной энергетики, захоронения ядерных отходов и т. п. В повседневную жизнь вошли понятия «радиологический мониторинг окружающей среды», «радиационный фон», «предельно-допустимая доза облучения» и др. В условиях мирного использования источников ионизирующих излучений формируются современные представления о радиологической безопасности населения.

Ионизирующее излучение – это излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию положительных и отрицательных ионов или электронов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Ионизирующие излучения подразделяются на *фотонные*, представляющие собой электромагнитные волны, и *корпускулярные*, представляющие собой потоки частиц. Наиболее распространенные ионизирующие излучения и их характеристики представлены в Таблице 7 Приложения.

Ионизирующие излучения и их характеристики

Таблица 7

Вид излучения	Природа	Ионизирующая способность	Проникающая способность
α - альфа	поток ядер гелия	очень высокая: 30 тыс. пар ионов в 1 см пробега	низкая: до 10 см в воздухе 0,1 мм в воде, 0,1мм в биоткани
β - бета	поток электронов	невысокая: 40-150 пар ионов в 1см пробега	умеренная: до 15м в воздухе; 15 мм в биоткани; 0,5мм в алюминии
γ -гамма	электромагнитное излучение	низкая: до 100 пар ионов в 1см пробега	высокая: до 3 км в воздухе
n нейтронное	поток нейтронов	высокая	высокая: до 3 м бетона

Действие радиации на организм – это комплекс взаимосвязанных физических, физико-химических, химических и биологических процессов разной интенсивности и продолжительности. Во всех случаях воздействия ионизирующих излучений на живую ткань в основе первичных изменений, возникающих в клетках, лежит передача энергии в результате процессов ионизации и возбуждения атомов ткани. Энергию, непосредственно передаваемую атомам и молекулам биотканей, называют прямым действием радиации. Косвенное действие радиации связано с передачей энергии не непосредственно от излучения, а от другой молекулы. Поскольку 70% массы человека составляет вода, то ионизация молекул воды связана с образованием свободных радикалов OH^\times и H^\times , отличающихся исключительно высокой химической активностью. Незначительное количество свободных радикалов организм контролирует, вырабатывая ферменты. Попадая в клетки, свободные радикалы участвуют в процессах окисления белков и ферментов, нарушают баланс кальция и кодирование генетической информации. Образующиеся в организме токсичные вещества, ослабляют работу иммунной системы, при этом снижается сопротивляемость организма. В процесс вовлекаются клетки других тканей, что приводит к нарушению их функций.

Вместе с тем, жизнь на Земле всегда подвергалась фоновому облучению и вряд ли смогла бы существовать в абсолютно радиационно стерильной среде. В Институте молекулярной генетики РАН (г. Пущино) была доказана радиобиологическая гипотеза о естественном радиационном фоне как жизненно важном факторе биосферы.

Радиационный фон складывается из двух составляющих: *природного радиационного фона* и *техногенного радиационного фона*. При изучении данного раздела следует обратить внимание на источники природной и искусственной радиации, долю каждой составляющей радиационного фона в суммарной годовой дозе облучения человека.

В зависимости от расположения источника излучения различают *внешнее* и *внутреннее облучение* организма. Возможны три пути попадания радионуклидов в организм:

1. через органы дыхания
2. через органы пищеварения
3. через кожный покров и слизистые оболочки

Наибольшую опасность при внешнем облучении представляют излучения, обладающие высокой проникающей способностью (γ - и

нейтронное излучение), при внутреннем облучении - излучения, обладающие высокой ионизирующей способностью (α - и β - излучения). Следует знать, почему при одинаковых концентрациях радионуклидов внутреннее облучение во много раз опаснее, чем внешнее.

В зависимости от продолжительности воздействия ионизирующих излучений на организм различают острое и хроническое облучение.

Острым (однократным) считается облучение, продолжительность которого не превышает 4 суток.

Хроническое (многократное) облучение длится свыше 4 суток, при этом не имеет значения процесс облучения происходит постоянно или дробно.

Одна и та же доза, полученная при остром облучении опаснее, чем при хроническом, поскольку здоровый организм человека вырабатывает новые клетки взамен погибших при облучении, а попавшие в организм радионуклиды выводятся из него за счет радиоактивного распада, либо в результате биологических процессов выведения. Выведение происходит благодаря обмену веществ, через выделительные системы организма.

Органы и ткани человека по-разному подвержены радиационному воздействию. Коэффициенты радиационного риска для разных тканей и органов человека при равномерном облучении всего тела приведены в Таблице 8 Приложения.

Коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела

Таблица 8

Органы и ткани	K_{pp}
Половые железы	0,25
Красный костный мозг, толстый кишечник, желудок, легкие	0,12
Костная ткань, щитовидная железа	0,03
Кожа	0,01
Другие ткани (в сумме)	0,23
Организм в целом	1

Во многом такая чувствительность к облучению связана с действием биологического правила избирательного поглощения схожих элементов: если в нашем организме не хватает какого-нибудь химического элемента, то

происходит его компенсация за счет другого похожего элемента (Таблица 9 Приложения).

Стабильные химические элементы и их радиоактивные аналоги
Таблица 9

Стабильный элемент	Радиоактивный элемент
Кальций	Стронций-90
Йод	Йод-131
Железо	Плутоний-238, 239
Калий	Цезий-137
Цианокобаламин (витамин В12)	Кобальт-60
Цинк	Цинк-65

Радиоактивные вещества концентрируются в соответствующих органах и тканях, усиливая их облучение, а следовательно, и общий радиационный эффект. Органы (ткани), наиболее подверженные действию радиоактивных веществ, называют *критическими органами*. Необходимо иметь представление о трех группах критических органов, обладающих различной радиочувствительностью.

Действие ионизирующих излучений в определенных дозах может вызвать следующие неблагоприятные биологические эффекты:

- соматические
- генетические
- пороговые (детерминированные)
- стохастические.

Для оценки радиационного воздействия ионизирующего излучения на человека используется понятие *дозы излучения*. Вследствие количественного и качественного многообразия биологических эффектов облучения, в дозиметрии используется несколько видов доз, представленных в Таблице 10 Приложения.

Виды доз ионизирующих излучений

Таблица 10

Вид дозы	Формула	Единицы измерения в СИ	Внесистемные единицы измерения	Соотношение единиц измерения
<p>Поглощенная доза $D_{п}$</p> <p>Характеризует количество энергии, переданной единице массы облучаемого вещества</p> <p>Поглощенная доза накапливается со временем.</p>	$D_{п} = dW/dm,$ <p>где W-энергия ионизирующего излучения m-масса вещества</p>	Грей (Гр)	рад (аббревиатура от англ. radiation adsorbed dose)	1 Гр=100 рад
<p>Экспозиционная доза $D_{экс}$</p> <p>Характеризует ионизационное действие фотонного излучения (γ и рентгеновского)</p>	$D_{экс} = dQ/dm,$ <p>где Q-энергия фотонного излучения m-масса вещества</p>	Кулон/килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Кл/кг = $3,88 \cdot 10^3$ Р
<p>Эквивалентная доза $D_{экр}$</p> <p>Характеризует биологический эффект различных ионизирующих излучений.</p>	$D_{экр} = D_{п} \cdot K_{обз}^*$ <p>где $D_{п}$ -поглощенная доза $K_{обз}$ -коэффициент относительной биологической эффективности излучения</p>	Зиверт (Зв)	бэр (биологический эквивалент рада)	1 Зв=100 бэр
<p>Эффективная доза $D_{эфф}$</p> <p>Характеризует возможные отдаленные последствия облучения с учетом радиочувствительности отдельных органов</p>	$D_{эфф} = \sum D_{экр n} \cdot K_{рр n}^{**}$ <p>где $D_{экр n}$ -эквивалентная доза в органе (ткани) n $K_{рр n}$ -коэффициент радиационного риска органа (ткани) n</p>	Зиверт (Зв)	бэр	1 Зв=100 бэр
* $K_{обз}$ показывает, во сколько раз данное ионизирующее излучение эффективнее поражает биологические ткани по сравнению с такой же дозой образцового рентгеновского излучения.		** $K_{рр}$ учитывает радиочувствительность отдельных органов и тканей (см. Таблицу 8).		

При облучении человека в дозах, превышающих предельно-допустимые значения, возникает *лучевая болезнь* (см. Таблицу 11 Приложения).

**Степени острой лучевой болезни,
вызванной однократным равномерным облучением**

Таблица 11

Степень тяжести	Доза, Зв	Симптомы	Ожидаемый эффект
I Легкая	1-2	Через 2-3 нед. после облучения - недомогание, слабость, утомляемость, ухудшение аппетита, расстройство сна, сухость и шелушение кожи, ломкость костей	100% облученных излечивается
II Средняя	2-4	Через 1 нед. после облучения - расстройства нервной системы, головные боли, ухудшение памяти, болезненные ощущения в области сердца, обратимое выпадение волос, подкожные кровоизлияния	80% облученных излечивается
III Тяжелая	4-6	Через несколько часов после облучения - резкая слабость, апатия, головные боли с головокружением, тошнота, рвота, кровоизлияния в слизистых оболочках, некроз десен	До 50% облученных погибает от инфекционных осложнений и кровотечений
IV Крайне тяжелая	6-10	Острое проявление симптомов III степени, язвы в местах многочисленных кровоизлияний, отсутствие сопротивляемости к инфекциям	При отсутствии лечения гибель облученных в течение 14 дней

Различают две формы лучевой болезни: острую и хроническую. Лечение лучевой болезни связано с активизацией процессов поглощения свободных радикалов и выведения их из организма. В этих целях назначают курс антибиотиков, витаминную терапию, в тяжелых случаях – кровозамещение, пересадку костного мозга.

Безопасность населения во всех условиях воздействия на него ионизирующих излучений искусственного и природного происхождения регламентируется Нормами радиационной безопасности (*НРБ-99*). Необходимо знать, какие *категории облучаемых лиц* и *пределы доз* для каждой категории устанавливает этот документ.

Радиационная защита строится по следующим основным принципам:

1. защита временем - означает сокращение продолжительности пребывания человека в поле излучения;

2. защита экранированием - означает размещение между облучателем и человеком препятствия;
3. защита расстоянием - означает, что чем дальше человек находится от внешнего источника излучения, тем меньшей опасности он подвержен;
4. медицинская защита - применение радиопротекторов (цистамин, серотонин, метионин, бекаптан, ламбратен, мексамин и др., также витаминов и гормонов, стабильных химических элементов – аналогов радиоактивных).

Контрольные вопросы к теме 3.4:

1. Ионизирующие излучения: понятие, природа происхождения, примеры.
2. Какие ионизирующие излучения обладают наибольшей проникающей способностью: β или γ ?
3. Фоновое облучение человека: естественный, природный и техногенный радиационный фон, источники, значения.
4. Биологические эффекты облучения: внешнее и внутреннее, острое и хроническое облучение, последствия облучения (соматические, генетические – доминантные и рецессивные, стохастические, детерминированные).
5. Лучевая болезнь, виды, степени, симптомы, значения доз.
6. Понятие дозы излучения. Виды доз, их сравнительная характеристика, единицы измерения.
7. Что характеризует поглощенная (экспозиционная, эквивалентная, эффективная) доза радиации? Единицы измерения.
8. Понятие критических органов, группы критических органов, примеры.
9. Какой орган более подвержен облучению: лимфатические узлы или хрусталики глаз?
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): категории облучаемых лиц, дозовые пределы.