

## ТЕМА № 3 «ДЕЙСТВИЯ НАСЕЛЕНИЯ МО ФИНЛЯНДСКИЙ ОКРУГ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.»»

### Вводная часть

В наши дни мировой научно-технический прогресс в определяющей степени способствует невиданному росту благосостояния людей. Но прогресс таит в себе и огромные опасности. Наиболее остро они проявились в области воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду и, в частности, на человека.

Известно, что человек и все живые организмы на Земле подвергаются постоянному воздействию ионизирующих излучений естественного фона. Дозы облучения, полученные живыми организмами от этих источников небольшие, и защита от них не требуется. Появление в последнее десятилетие мощных источников ионизирующих излучений и внедрение их практически во все сферы человеческой деятельности, создали потенциальную угрозу здоровью человека и предпосылки для загрязнения биосферы радиоактивными веществами. Реакция организма на воздействие ионизирующих излучений зависит от дозы облучения и возникает в интервале от нескольких десятков минут до нескольких десятков лет и может проявляться даже через несколько поколений.

### 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Ионизирующими** называют излучения, взаимодействие которых со средой приводит к образованию электрических зарядов различных знаков. Источники этих излучений широко используются в технике, химии, медицине, например, при изменении плотности почв, обнаружение течей в газопроводах, изменений толщины листов, труб и стержней, антистатической обработки тканей, радиационной терапии злокачественных опухолей. Однако, следует помнить, что источники ионизирующего излучения представляют существенную угрозу здоровью и жизни использующих их людей.

Существуют два вида ионизирующих излучений:

- корпускулярное, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа- и бета-излучение и нейтронное излучение);
- электромагнитное (гамма-излучение и рентгеновское) с очень малой длиной волны.

Рассмотрим основные характеристики указанных излучений.

*Альфа-излучение* представляет собой поток ядер гелия, обладающих большой скоростью. Эти ядра имеют массу 4 и заряд +2. Они образуются при радиоактивном распаде ядер или при ядерных реакциях. В настоящее время известно более 120 искусственных и естественных альфа-радиоактивных ядер, которые, испуская альфа-частицу, теряют 2 протона и 2 нейтрона.

Энергия альфа-частиц не превышает нескольких МэВ. Излучаемые альфа-частицы движутся практически прямолинейно со скоростью примерно 20000 км/с.

Под длиной пробега частицы в воздухе или других средах принято называть наибольшее расстояние от источника излучения, при котором еще можно обнаружить частицу до её поглощения веществом. Длина пробега частицы зависит от заряда, массы, начальной энергии и среды, в которой происходит движение. С возрастанием начальной энергии частицы и уменьшением плотности среды длина пробега увеличивается. Если начальная энергия излучаемых частиц одинакова, то тяжелые частицы обладают меньшими скоростями, чем легкие. Если частицы движутся медленно, то их взаимодействие с атомами вещества среды более эффективно и частицы быстрее растрачивают имеющийся у них запас энергии.

Длина пробега альфа-частиц в воздухе обычно не менее 10 см. Так, например, альфа-частицы с энергией 4 МэВ обладают длиной пробега в воздухе примерно в 2,5 см. В воде или в мягких тканях человеческого тела, плотность которых более чем в 700 раз превышает плотность воздуха длина пробега альфа-частиц составляет несколько десятков микрометров. За счет своей большой массы при взаимодействии с веществом альфа-частицы быстро теряют свою энергию. Это объясняет их низкую проникающую способность и высокую удельную ионизацию: при движении в воздушной сфере альфа-частица на 1 см своего пути образует несколько десятков тысяч пар заряженных частиц – ионов.

*Бета-излучение* представляет собой поток электронов или позитронов, возникающих при радиоактивном распаде. В настоящее время известно около 900 бета-радиоактивных изотопов.

Масса бета-частиц в несколько десятков тысяч раз меньше массы альфа-частиц. В зависимости от природы источника бета-излучений скорость этих частиц может лежать в пределах 0,3-0,99 скорости света. Энергия бета-частиц не превышает нескольких МэВ, длина пробега в воздухе составляет приблизительно 10 м. Проникающая способность бета-частиц выше, чем альфа-частиц (из-за меньших массы и заряда).

*Нейтронное излучение* представляет собой поток ядерных частиц, не имеющих электрического заряда. Масса нейтрона приблизительно в 4 раза меньше массы альфа-частиц. В зависимости от энергии различают медленные нейтроны (с энергией менее 1 КэВ), нейтроны промежуточных энергий (от 1 до 500 КэВ) и быстрые нейтроны (от 500 КэВ до 20 МэВ). Среди медленных нейтронов различают тепловые с энергией менее 0,2 эВ. Тепловые нейтроны находятся по существу в состоянии термодинамического равновесия с тепловым движением атомов среды. Наиболее вероятная скорость движения таких нейтронов при комнатной температуре составляют 2200 м/с. При неупругом взаимодействии нейтронов с ядрами атомов среды возникает вторичное излучение, состоящее из заряженных частиц и гамма-квантов (гамма-излучение). При упругих взаимодействиях нейтронов с ядрами может наблюдаться обычная ионизация вещества. Проникающая способность нейтронов зависит от их энергии, но она существенно выше, чем у альфа- или бета-частиц. Так, длина пробега нейтронов промежуточных энергий составляет около 15 м в воздушной среде и 3 см в биологической ткани, аналогичны показатели для быстрых нейтронов соответственно 120 м и 10 см. Таким образом, нейтронное излучение обладает высокой проникающей способностью и представляет для человека наибольшую опасность из всех видов корпускулярного излучения. Мощность нейтронного потока измеряется плотностью потока нейтронов (нейтр./см.с).

*Гамма-излучение* представляет собой электромагнитное излучение с высокой энергией и с малой длиной волны, но испускается при ядерных превращениях или взаимодействии частиц. Высокая энергия (0,01-3 МэВ) или малая длина волны обуславливает большую проникающую способность гамма-излучения. Гамма-лучи не отклоняются в электрических и магнитных полях. Это излучение обладает меньшей ионизирующей способностью, чем альфа- и бета-излучение.

*Рентгеновское излучение* может быть получено в специальных рентгеновских трубах, в ускорителях электронов, в среде, окружающей источник бета-излучения. Рентгеновские лучи представляют собой один из видов электромагнитного излучения. Энергия его обычно не превышает 1 МэВ.

Рентгеновское излучение, как и гамма-излучение обладает малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения.

Биологическое воздействие рассмотренных излучений на организм человека различно.

Альфа-частицы, проходя через вещество и сталкиваясь с атомами, ионизируют (заряжают) их, выбивая электроны. В редких случаях эти частицы поглощаются ядрами атомов, переводя их

в состояние с большей энергией. Эта избыточная энергия способствует протеканию различных химических реакций, которые без облучения не идут или идут очень медленно. Альфа-излучение производит сильное действие на органические вещества, из которых состоит человеческий организм (жиры, белки и углеводы). На слизистых оболочках это излучение вызывает ожоги и другие воспалительные процессы.

Под действием бета-излучений происходит радиолиз (разложение) воды, содержащейся в биологических тканях, с образованием водорода, кислорода, пероксида водорода, заряженных частиц. Продукты разложения воды обладают окислительными свойствами и вызывают разрушения многих органических веществ, из которых состоят ткани человеческого организма.

Действие гамма- и рентгеновского излучений на биологические ткани обусловлено в основном образующимися свободными электронами. Нейтроны, проходя через вещество, производят в нем наиболее сильные изменения по сравнению с другими ионизирующими излучениями.

Таким образом, биологическое действие ионизирующих излучений сводится к изменению структуры или разрушению различных органических веществ (молекул), из которых состоит организм человека. Это приводит к разрушению биохимических процессов, протекающих в клетках, или даже к их гибели, в результате чего происходит поражение организма в целом.

Различают *внешнее и внутреннее облучение организма*. Под внешним облучением понимают воздействие на организм ионизирующих излучений от внешних по отношению к нему источников. Внутреннее облучение осуществляется радиоактивными веществами, попавшими внутрь организма через дыхательные органы, желудочно-кишечный тракт или через кожные покровы. Источники внешнего излучения – космические лучи, естественные радиоактивные источники, находящиеся в атмосфере, воде, почве, продуктах питания; источники альфа-, бета-, гамма-, рентгеновского и нейтронного излучений, используемые в технике и медицине; ускорители заряженных частиц, ядерные реакторы (в том числе и аварии на ядерных реакторах) и ряд других.

Радиоактивные вещества, вызывающие внутреннее облучение организма, попадают в него при приеме пищи, курении, питье загрязненной воды. Поступление радиоактивных веществ в человеческий организм через кожу происходит в редких случаях (если кожа имеет повреждение или открытые раны). Внутреннее облучение организма длится до тех пор, пока радиоактивное вещество не распадется или не будет выведено из организма в результате процессов физиологического обмена. Внутреннее облучение опасно тем, что вызывает длительно незаживающие язвы различных органов и злокачественной опухоли.

### **Основные дозиметрические единицы**

**Радиоактивность** – самопроизвольное превращение (распад) ядер некоторых химических элементов (урана, тория, радия и др. элементов с порядковым номером  $Z > 82$ ), приводящие к изменению их атомного номера и массового числа.

Радиоактивные вещества распадаются с о строго определённой скоростью, измеряемой периодом полураспада –  $T_{1/2}$ , т.е. временем, в течение которого распадается половина атомов данного элемента. Следовательно, за каждый период полураспада распадающегося элемента становится в два раза меньше. Так за 5 периодов полураспада от исходного вещества останется  $(1/2)^5 = 1/32$  часть.

Каждый радиоизотоп имеет свой период полураспада. Так для  $U^{238}$  -  $T_{1/2} = 4,5$  млрд.лет;  $Sr^{90}$  -  $T_{1/2} = 29$  лет;  $Cs^{137}$  -  $T_{1/2} = 30$  лет;  $J^{131}$  -  $T_{1/2} = 8,5$  сут;  $K^{40}$  -  $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$  лет.

Следовательно, если взять 1 г Cs<sup>137</sup>, то в результате самопроизвольного распада через 30 лет его останется 0,5 г, а ещё через 30 лет – 0,25 г и т.д.

Как известно, что скорость распада  $A$  пропорциональна числу ядер радионуклида

$$A = \lambda \cdot N,$$

где  $N$  – число ядер радионуклида;

$\lambda$  – постоянная распада, характеризующая вероятность распада за единицу времени. Чем больше  $\lambda$ , тем быстрее происходит распад.

Постоянная распада  $\lambda$  связана с периодом полураспада соотношением:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}, \text{ тогда } A = \frac{0,693 \cdot N}{T_{1/2}}$$

Для каждого изотопа имеются свои значения  $\lambda$  и  $T_{1/2}$ .

На основании изложенного можно сказать, что активность ( $A$ ) – это мера количества радиоактивных превращений в единицу времени.

В системе СИ за единицу активности принято одно ядерное превращение (один распад) в секунду (расп/с). Эта единица получила название беккерель (Бк), т.е. 1 расп/с=1 Бк.

Вне системная единица измерения активности является кюри – Ки. 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  расп/с =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк. Единица активности 1 Ки соответствует активности 1 г Ra

Между активностью (Бк) и массой радиоактивного вещества (г) существует определённая связь.

Так общее количество радиоактивного вещества в граммах  $m$ , дающего активность вещества  $A=1$  Бк равно

$$m = \frac{N}{3,7 \cdot 10^{10}} (M / L_0)$$

где  $M$  – атомная масса данного радионуклида, г;  
 $L_0 = 6,02 \cdot 10^{23} (\text{моль})^{-1}$  – число Авагадро;  
 $A/L_0$  – масса одного атома.  
 Подставляя, получим массу вещества в граммах активностью 1 Бк (г/Бк):

$$m = 1 \frac{T_{1/2}}{0,693} \cdot \frac{M}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,24 \cdot 10^{-23} M T_{1/2}$$

Следовательно, активность  $A$  1 г любого радионуклида в системе СИ равна

$$A = \frac{1}{0,24 \cdot 10^{-23} M T_{1/2}} = \frac{4,17 \cdot 10^{23}}{M T_{1/2}}$$

**Пример 1.** Определить массу 1 Бк  $\text{Po}^{210}$  ( $T_{1/2}=138$  сут,  $M=210$ )

**Решение:**  $m=0,24 \cdot 10^{-23} \cdot 210 \cdot 138 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60=6,01 \cdot 10^{-15}$ , г

**Пример 2.** Определить активность 1 г  $\text{Ra}^{226}$  ( $T_{1/2}=1600$  лет,  $M=226$ )

**Решение.**

$$A = \frac{4,17 \cdot 10^{23}}{226 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1600} = 3,66 \cdot 10^{10} \text{ Бк} \approx 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

Рассмотрим основные показатели и единицы измерения, применяемые для характеристики ионизирующих излучений. Встречая на своём пути ту или иную преграду, они производят в её веществе различные изменения. Воздействие излучения на вещество будет тем больше, чем больше распадов происходит в единицу времени.

Для характеристики воздействия ионизирующего излучения на вещество введено понятие дозы излучения. **Дозой излучения** называется часть энергии, переданное излучением веществу и поглощенное им. Количественной характеристикой взаимодействия ионизирующего излучения и вещества является поглощенная доза излучения. Поглощенная доза является основной дозиметрической величиной.

До недавнего времени за количественную характеристику только рентгеновского и гамма-излучения, основанную на их ионизирующем действии, принималась экспозиционная доза  $D_x$ .

За единицу экспозиционной дозы в системе СИ принимается Кулон на килограмм (Кл/кг).

Кулон на килограмм – **экспозиционная доза** рентгеновского и гамма-излучения, при которой сопряжённая с этим излучением корпускулярная эмиссия на килограмм сухого атмосферного воздуха производит в воздухе ионы, несущие заряд в 1 Кл электричества каждого знака.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения является рентген (Р)

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р}$$

Поглощенная доза ( $D_n$ ) – количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы вещества. Данная характеристика определяет степень воздействия любых видов ионизирующих излучений на различные вещества, в том числе и на живые организмы.

В качестве единицы поглощенной дозы излучения в системе СИ предусмотрена специальная единица “грей” (Гр).

1Гр – это такая единица поглощенной дозы, при которой 1кг облучаемого вещества поглощает энергию в 1 джоуль (Дж). Следовательно, 1Гр=1Дж/кг. Используемая ранее внесистемная единица 1 рад=0,01Гр или 1Гр=100рад

Для решения различных практических задач требуется знать зависимость между единицами поглощенной и экспозиционной дозами. Для установления такой зависимости примем следующие допущения:

1. Погрешность дозиметрических приборов составляет (20÷30)%.
2. Коэффициент ослабления фотонного излучения для мягких тканей человека составляет 0,877.

Тогда, для фотонного излучения получим, что:  $D_n \approx D_s$  и  $1рад \approx 1Р$ .

Поглощенная доза излучения является основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия.

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

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

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

$W_R$  – взвешивающий коэффициент для данного вида излучения  $R$ .

Значение коэффициента  $W_R$  для различных видов ионизирующих излучений с неизвестным спектральным составом принято для фотонного излучения – 1, для бета-излучения – 1, для нейтронов с энергией (0,01÷0,1) МэВ – 10, для альфа-излучения с энергией менее 10 МэВ – 20.

Из приведенных цифровых значений коэффициента  $W_R$  видно, что при одной и той же поглощенной дозе нейтронное и альфа-излучение вызывают соответственно в 10 и 20 раз больше поражающий эффект, чем воздействие бета- или гамма-излучения.

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

Биологическое действие ионизирующих излучений

Известно, что в биологической ткани (70-75)% по массе составляет вода. В результате ионизации молекулы воды образуются свободные радикалы  $H\cdot$  и  $OH\cdot$  по следующей схеме:



В присутствии кислорода образуются также свободный радикал гидроперекиси ( $HO_2\cdot$ ) и перекись водорода ( $H_2O_2$ ), являющиеся сильными окислителями. Получающиеся в процессе радиолиза воды свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биологических процессов в организме.

Индукцированные свободными радикалами химические реакции развиваются с большим выходом и вовлекают в этот процесс многие сотни и тысяч молекул, не затронутых

излучением. Таким образом, специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты, заключающаяся в том, что производимый им эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается. Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приведет к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение. Например, смертельная доза ионизирующего излучения, которая для человека равна 6 Гр (600рад), соответствует тепловой энергии, заключенной в стакане горячего чая.

Диссоциация молекул, образование новых соединений под воздействием радикалов приводит к следующему этапу – изменениям в клеточной структуре биологической ткани. Это может вызвать нарушение кинетики клеточного деления, взаимодействие клеток, изменения их генетического аппарата или гибель.

Если в генетическом аппарате половых клеток происходят стойкие изменения, то в результате могут возникнуть генетические изменения (мутации) у потомства облученной особи.

Изменения в клеточной структуре ведет к нарушению обменных процессов в организме либо к ранним физиологическим эффектам. Это приводит к нарушению функций тканей и органов, в результате чего происходит поражение всего организма.

Накопленный к настоящему времени большой материал, полученный в экспериментах на животных, а также на основе обобщения многолетних данных о состоянии здоровья рентгенологов, радиологов и других лиц, которые подверглись действию ионизирующих излучений, показывает, что при однократном равномерном гамма-излучении всего тела в дозе до 0,25 Гр (25рад) нельзя обнаружить каких-либо изменений в состоянии здоровья человека. Не наблюдается также изменений крови, которая прежде всего реагирует на радиационное воздействие.

При поглощенной дозе 0,25-0,5 Гр (25-50рад) также отсутствуют внешние признаки радиационного поражения. Могут наблюдаться лишь временные изменения в составе крови, которые быстро нормализуются.

В интервале доз 0,5-1,0 Гр (50-100рад) возникает чувство усталости, без серьезной потери трудоспособности; менее у 10% облученных может появиться рвота, наблюдаются умеренные изменения в составе крови. Вскоре состояние здоровья нормализуется. Различные формы лучевой болезни развиваются при дозах однократного облучения выше 1,0 Гр (100рад).

Лучевая болезнь I (лёгкой) степени развивается при общей дозе однократного облучения 1-2 Гр (100-200рад). Скрытый период её длительный, достигает четырех недель и более. В 30-50% может наблюдаться общая слабость, головные боли, рвота в первые сутки после облучения. В период выраженных клинических изменений появляются отчетливые признаки нейрососудистой дистонии, стойкие изменения в крови. Восстановление нарушенных функций организма затягивается на 2-2,5 месяца.

Лучевая болезнь II степени (средней тяжести) возникает при общей дозе облучения 2-4 Гр (200-400рад). Характеризуется наличием чётко выраженных периодов болезни. Первичная реакция начинается в первые часы после облучения и продолжается 1-2 суток. Она проявляется общей слабостью, головными болями, головокружением, рвотой.

Скрытый период длится до 3-х недель. Период разгара болезни чаще всего начинается с повышения температуры тела, появления подкожных кровотечений. Нарушения в системе крови прогрессируют, обнаруживается гистоплазия костного мозга. Период разгара болезни продолжается от 2-х до 3-х недель в 20% случаев возможен смертельный исход. Трудоспособность восстанавливается через 4-5 месяцев после поражения.

Лучевая болезнь III (тяжелой) степени возникает при общей дозе облучения 4-6 Гр (400-600рад). Начальный период обычно характеризуется выраженной симптоматикой. Резко нарушена деятельность центральной нервной системы, рвота возникает повторно, а иногда приобретает неукротимый характер. Скрытый период укорочен до 1-2-х недель. При переходе болезни в период разгара ухудшается общее состояние, возникает стойкая лихорадка, сопровождающаяся ознобами и потами. Появляются кровоизлияния на коже, носовые, желудочные и кишечные кровотечения. Начинают выпадать волосы и возникает тонзиллит, пневмония. Происходят резкие изменения в крови. В течение месяца после облучения смертельный исход возможен в 50% случаев. Трудоспособность восстанавливается через 5-6 месяцев после поражения.

Лучевая болезнь IV (крайне тяжелой) степени возникает при облучении 6 Гр (600рад) и более. Характеризуется резко выраженной первичной реакцией, которая проявляется в виде неукротимой рвоты, адинамией, коллапсом. Эти симптомы первичной реакции продолжают в течение нескольких суток, и в дальнейшем без четко выраженного скрытого периода на них наслаиваются симптомы разгара болезни, характеризующиеся нарушением кроветворения и опустошением костного мозга, наличием инфекционных осложнений и возникновением кровоточивости. В течении двух недель смертельный исход возможен в 100% случаев. Причина смерти чаще всего – инфекционные заболевания и кровоизлияния.

Приведенные данные о последствиях радиационного воздействия относятся к случаям, когда отсутствует лечение.

В настоящее время имеется ряд препаратов и накоплен успешный опыт комплексного лечения лучевой болезни, позволяющий исключить смертельный исход при дозах около 10 Гр (1000рад).

Согласно установленным данным, реакция организма на воздействие ионизирующих излучений может проявиться и в отдаленный период (через 10-20 лет и более). Такими реакциями могут быть злокачественные опухоли различных органов и тканей, лейкозы, наследственные болезни, преждевременное старение организма.

Кроме того, специалисты считают, что при существующем уровне знаний о биологическом действии радиации невозможно обнаружить её вред для здоровья людей, в том числе и отдаленные последствия в течение долгого времени облучающихся в дозах, превышающих в 10-100 раз естественный радиационный фон, т.е, 0,01-0,1Зв в год (1-10бэр) в год.

Установлено воздействие ионизирующих излучений на живые организмы имеет следующие особенности:

1. Поглощенная энергия излучения, даже в небольших количествах, может вызывать глубокие биологические изменения в организме.
2. Наличие скрытого периода проявления действия ионизирующего излучения. Этот период часто называют периодом мнимого благополучия. Продолжительность его сокращается при облучении в больших дозах.
3. Различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению. При поглощенной дозе 0,25Гр-0,5Гр (25-50 рад) уже наблюдаются временные изменения в крови.
4. Облучение биологических организмов зависит от частоты получения дозы. Однократное облучение большой дозой вызывает более глубокие последствия.
5. Степень поражения организма зависит от размера облучаемой поверхности. С уменьшением облучаемой поверхности уменьшается и биологический эффект.
6. По истечении продолжительного промежутка времени 10-25 лет и более после радиационного воздействия, возможно появление злокачественных опухолей

различных органов и тканей, лейкозов, наследственных болезней, вероятность возникновения которых пропорциональны получаемой дозе излучения.

7. Воздействие малых доз может накапливаться в организме. Этот эффект называется кумуляцией.

В настоящее время в Российской Федерации действуют “Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), (СП 2.6.1. 758-99) утвержденные Главным государственным санитарным врачом РФ 2 июля 1999 г. Их цель – обеспечить безопасность человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения. Указанные Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв, а в хрусталике не более 15 мЗв.

Требования Норм не распространяются так же на космическое излучение на поверхности Земли и внутренне облучение человека, создаваемое природным калием, на который практически невозможно влиять.

Нормами устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все остальное население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

К персоналу группы А относятся лица непосредственно работающие с техногенными источниками излучения.

К персоналу группы Б относятся лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия техногенных источников излучения.

К населению относятся все лица, включая персонал вне работы с источниками ионизирующего излучения.

С целью снижения последствий воздействия ионизирующих излучений на организм человека в настоящее время применяют различные противорадиационные препараты. Эти химические препараты, предназначенные для повышения устойчивости организма к воздействию ионизирующих излучений или снижению тяжести клинического течения лучевой болезни, принято называть радиопротекторами.

Защитное действие радиопротекторов проявляется меньшим поражением организма при его облучении и более быстрым постлучевым восстановлением, что в целом приводит к снижению тяжести лучевого поражения.

Для оценки защитного эффекта тех или иных радиопротекторов (их насчитывается более 1500 соединений, обладающих в той или иной степени радиозащитными свойствами) являются:

- коэффициент защиты;
- фактор уменьшения дозы (ФУД) облучения.

$$A=(a-b)/a \text{ (28)}$$

Коэффициент защиты ( $A$ ) характеризует вероятность эффекта защиты и выражается отношением разности между показателем поражаемости без защиты ( $a$ ) и с защитой ( $b$ ) к величине поражаемости без защиты, т.е.:

ФУД представляет собой соотношение двух равнозначных по биологическому действию доз облучения, где в числителе представлена доза облучения без применения радиопротектора, а в знаменателе – доза облучения, вызывающая равноценный поражающий эффект при условии применения радиозащитного препарата. Практически ФУД показывает во сколько раз снижена доза облучения под влиянием радиопротектора.

Также важной характеристикой радиопротектора является понятие оптимальной дозы, т.е. такой дозы которая обеспечивает максимальный защитный эффект при отсутствии каких-либо выраженных токсических проявлений.

В настоящее время все радиозащитные препараты можно разделить на две большие группы, различающиеся по своей эффективности в зависимости от вида облучения. Первую группу составляют радиопротекторы высокоэффективные при импульсном и некоторых видах относительно непродолжительного облучения. Эти протекторы проявляют свою активность через несколько минут после введения, но их действие ограничивается от 30 минут до 5 часов.

Вторую группу составляют радиопротекторы пролонгированного действия. Эти препараты эффективны при протяженном облучении. От импульсного облучения они защищают, но в меньшей мере, чем препараты первой группы. Время действия этих препаратов от одних до нескольких суток.

Радиопротекторы кратковременного действия составляют довольно многочисленную группу противолучевых средств. Наиболее эффективными и практически перспективными препаратами являются радиопротекторы первой группы.

В настоящее время наиболее исследован препарат ЦИСТАМИН, который входит в состав индивидуальной аптечки АИ-1; АИ-2.

При нейтронном облучении достаточно эффективны тиофосфаты, типичными представителями которых являются ЦИСТАФОС и ГАММАФОС.

Учитывая механизм действия ионизирующих излучений на организм человека, прием серосодержащих радиопротекторов, играющих роль антиоксидантов, предотвращает образование перекисей ( $H_2O_2$ ;  $H_2O_4$ ).

Фактор уменьшения дозы радиопротекторов этой группы – ФУД равен  $1,5 \div 1,8$ .

Противолучевой эффект радиопротекторов можно существенно повысить, если сочетать их применение с физической защитой (экранированием) некоторых частей тела. Даже частичное экранирование тела обеспечивает сохранение в облученном организме участков

неповрежденных радиочувствительных тканей. В результате в постлучевом восстановлении участвуют не только клетки, сохранившие свою жизнеспособность по причине защиты их радиопротектором, но и неповрежденные клетки на экранированных участках. Всё это способствует более быстрому восстановлению функций облученного организма.

Особенно высокий эффект от применения экранов наблюдается при защите области живота, когда экранируются кишечник и значительная часть кроветворных тканей.

Экспериментально установлено, что если экран ( $K_{\text{эск}}=4$ ) обеспечивает защиту около 10÷15% кроветворных тканей и кишечника, то животные способны благотворно перенести абсолютно смертельные дозы.

Использование на этом фоне радиопротекторов приводит к тому, что организм способен перенести облучение в ещё более высоких дозах.

Кроме того, применение экранов позволяет обеспечить защиту от ИИ путем введения небольших доз радиопротекторов, которые при изолированном применении обычно практически не защищают. Это особенно важно, когда из-за плохой переносимости радиопротекторов нет возможности применять их в установленных дозах.

Важную роль в химической защите организма от действия источников ионизирующих излучений, поступивших внутрь организма, является их скорейшее выведение из организма.

Цезий-137 ( $\text{Cs}^{137}$ ) является бета-, гамма-источником с периодом полураспада 30 лет. При любом пути поступления изотопы цезия легко проникают в организм и всасываются в желудочно-кишечном тракте. В печени накапливается 5÷10% поступившего в организм цезия (период полувыведения  $T_{\text{пол}} \approx 90$  суток), в мышцах до 50% ( $T_{\text{пол}}$  до 40 суток).

Для профилактики и первой помощи при поступлении в организм радиоактивного цезия (а также рубидия) применяется ФЕРРОЦИН.

Ферроцин поглощает 95÷99% радиоактивного цезия, находящегося в желудочно-кишечном тракте и сокращает период полувыведения ( $T_{\text{пол}}$ ) у человека в 2 раза. Кроме того, ферроцин обладает способностью связывать изотопы рубидия и таллия.

Ферроцин назначают по 2 таблетки (0,5 г) 3 раза в день в течение 14÷21 суток, сочетая с промыванием желудка, форсированным диурезом, приёмом адсорбентов.

Весьма опасен, как фактор отдалённых последствий внутреннего облучения, стронций-90 ( $\text{Sr}^{90}$ ) с периодом полураспада  $T_{1/2}=29$  лет

Эффективный период полувыведения  $\text{Sr}^{90}$  из организма составляет  $T_{\text{эф}}=15,6$  лет.

Для ускорения выведения стронция из желудочно-кишечного тракта применяют ПОЛИСУРМИН, обладающий высокой избирательностью к ионам стронция и бария. Полисурмин не растворяется в желудочно-кишечном тракте.

Препарат применяют внутрь по 4 г на 0,5 стакана воды 3 раза в день в течение 7 суток.

Кроме этого, для защиты организма от изотопов стронция, радия, бария применяют АДСОБАР, а также АЛЬГИНАТ КАЛЬЦИЯ.

Весьма эффективным средством (до 87%) по защите организма от стронция является ФОСФАЛЮГЕЛЬ. Норма его приёма 100÷200 мл внутрь в течение суток.

При поступлении внутрь организма радиоизотопов альфа-излучателя плутония (прежде всего плутония-239), вызывающего гипоплазию костного мозга, нарушение функции печени, а при ингаляционном поступлении пневмосклероз, используют комплексообразующие соединения.

К числу наиболее эффективных средств, ускоряющих выведение из организма радиоактивного плутония (а также изотопов америция, итрия, церия, циркония) относится ПЕНТАЦИН, который применяют внутривенно, ингаляционно и перорально. Ингаляция эффективна в первые сутки (аэрозоль 10% раствора 5 мл). При невозможности внутривенного введения пентацина назначают перорально по 1 таблетке (0,25 г) 2 раза в день.

По механизму действия к комплексным соединениям близок препарат УНИТИОЛ, который применяют внутримышечно в виде 5% раствора из расчета 1 мл на 10 кг массы тела.

Для ускорения выведения полония-210 применяют вместо унитола ОКСАТИОЛ, внутривенно, капельно в виде 5% раствора по 7÷10 мл на 10 кг массы тела 3÷4 раза в сутки.

Кроме назначения антидота проводится промывание желудка, приём адсорбентов, слабительных, форсированный диурез и др. мероприятия.

Защита щитовидной железы и организма в целом от воздействия радиоактивных изотопов J-129 ... J-135 и в частности от J-131 подробно рассмотрена в учебном пособии «Йод и йодная профилактика», автор Подвигин Г.П., СПб, УМЦ по ГО, ЧС и ПБ, 2005 г.

### **Защита расстоянием**

Так как интенсивность излучения уменьшается с увеличением расстояния от источника излучения (в случае точечного источника по закону обратных квадратов  $J \sim 1/R^2$ ), то роль расстояния в её снижении становится значительной.

Поэтому целесообразно, при необходимости, проведение эвакуационных мероприятий из зон радиоактивного загрязнения, что позволит значительно уменьшить и далее исключить фактор воздействия ионизирующих излучений на человека.

-

### **ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Как показывает опыт работы атомной промышленности, а также выполнение работ по ликвидации радиационной аварии на Чернобыльской АЭС, рассмотренные в работе основные принципы и методы защиты производственного персонала и населения от воздействия ионизирующих излучений в основном себя оправдали. Это обусловлено тем, что человек еще не полностью овладел ситуацией при воздействии на него такого мощного источника, каким является атомная энергия как в мирное, так и в военное время.

Поэтому совершенствование методов защиты человека от ИИ, усиление ответственности при планировании и выполнении работ в радиационно опасных условиях, повышение образованности населения в области радиационной безопасности являются важным шагом на пути безопасного овладения ядерной энергией. И, как следствие этого, в случае радиационного воздействия на людей при ЧС мирного и военного времени, дозы излучения, полученные населением, не превысят значений, установленных нормативными документами (НРБ-99; ФЗ № 3 от 08.03.1993 г.).

## Приложение № 1.

Таблица № 1.

Органы и ткани	Значение коэффициента $W_T$
Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник	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
Остальное*	0,05

- При расчетах указывать, что “Остальное” включает надпочечники, головной мозг, экстраторакальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую железу и матку.

## Приложение 2

### Коэффициент пересчета $K$ , мощности дозы

на любое заданное время ( $t$ ), прошедшее после взрыва

$t, ч$	$K_t=P/P_t$	$t, ч$	$K_t=P/P_t$
0,25	0,19	8	12,13
0,3	0,24	8,5	13,04
0,5	0,43	9	13,96
0,75	0,71	9,5	14,9
1	1	10	15,85

1,25	1,31	12	19,72
1,5	1,63	15	25,73
1,75	1,66	20	36,44
2	2,3	24 (1 сут)	45,31
2,25	2,65	36	73,72
2,5	3	42	88,69
2,75	3,37	47	101,5
3	3,74	48 (2 сут)	104,1
3,25	4,11	60	136,1
3,5	4,5	72 (3 сут)	169,3
3,75	4,88	84	203,7
4	5,28	96	239,2
4,5	6,08	120 (5 сут)	312,6
5	6,9	132	350,5
5,5	7,73	144 (6 сут)	389,1
6	8,59	156	428,3
6,5	9,45	168 (7 сут)	468,1
7	10,33	192 (8 сут)	549,5
7,5	11,22	216 (9 сут)	633
		240 (10 сут)	718,1

**Примечание.**  $P_t$  – мощность дозы на  $t$  ч после взрыва;

$P_t$  – мощность дозы на время  $t$  после взрыва

Видео по теме №3 - <https://rutube.ru/video/397994efaa591650c23a3e4ed222b16a/?r=wd>