**Ионизирующие излучения**

**Источники и область применения ионизирующих излучений**

Развитие ядерной энергетики и широкое применение источников ионизирующих излучений (ИИ) в различных областях науки и техники создали потенциальную угрозу радиационной опасности для человека и загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами.

Основными нормативными документами, регулирующими радиационную безопасность, являются:

· ГН 2.6.1.054-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99);

· ОСП-72/87. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;

· федеральный закон “О радиационной безопасности населения” (№ 3-ФЗ от 9 января 1996 года).

Радиация (от латинского слова radiatio - излучение) характеризуется лучистой энергией. Ионизирующим излучением называют потоки частиц и электромагнитных квантов, образующихся при ядерных превращениях, т.е. в результате радиоактивного распада. Чаще всего встречаются такие разновидности ионизирующих излучений, как рентгеновское и гамма-излучение, потоки альфа-частиц, электронов, нейтронов и протонов. Ионизирующее излучение прямо или косвенно вызывает ионизацию среды, т.е. образование заряженных атомов или молекул - ионов.

Альфа-частицы имеют незначительный пробег (данные пробега альфа-частиц приведены в зависимости от энергии.):

· в воздухе - до 11 см;

· в биологических тканях - 30-130 мкм;

· в алюминии - 16-69 мкм.

Бета-частицы обладают большей проникающей и меньшей ионизирующей способностью, чем альфа-частицы.

Пробег бета-частиц составляет:

· в воздухе несколько метров;

· в биологических тканях – несколько сантиметров;

· в алюминии – несколько миллиметров.

Важнейшим свойством рентгеновского излучения является его большая проникающая способность.

Источниками ИИ могут быть природные и искусственные радиоактивные вещества, различного рода ядерно-технические установки, медицинские препараты, многочисленные контрольно-измерительные устройства (дефектоскопия металлов, контроль качества сварных соединений). Они используются также в сельском хозяйстве, геологической разведке, при борьбе со статическим электричеством и др.

Специалисты и другие работники могут сталкиваться с ионизирующими излучениями при выполнении работ на ускорителях заряженных частиц (синхрофазотронах), а также на атомных электростанциях, урановых рудниках и др.

Некоторые характеристики основных радиоактивных элементов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики основных радиоактивных элементов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название  элемента | Характеристика элемента и меры предосторожности | Период  полураспада |
| 1 | 2 | 3 |
| Радон-222 | Газ, испускающий альфа-частицы. Постоянно образуется в горных породах. Газ опасен при накоплении в шахтах, подвалах, на 1 этаже. Необходима вентиляция (проветривание). | 3,8 суток |
| Ксенон-133 | Газообразные изотопы. Постоянно образуются и распадаются в процессе работы атомного реактора. В качестве защиты используют изоляцию. | 5 суток |
| Йод-  131 | Испускает бета-частицы и гамма-излучение. Образуется при работе атомного реактора. Накапливается в щитовидной железе человека. В качестве защиты от внутреннего облучения применяют “йодную диету”, т.е. вводят в рацион человека стабильный йод. | 8 суток |
| Криптон-85 | Тяжёлый газ, испускающий бета-частицы и гамма излучение. Входит в состав отработанного топливного элемента реактора. Выделяется при их хранении. Защита в использовании изолированных помещений. | 10 лет |
| Стронций-90 | Металл, испускающий бета-частицы. Основной продукт деления в радиоактивных отходах. Накапливается в костных тканях человека. Защита, прежде всего, в контроле пищи и т.п. | 29 лет |
| Цезий-  137 | Металл, испускающий бета-частицы и гамма-излучение. Накапливается в клетках мышечной ткани. Защита, прежде всего, в контроле пищи и т.п. | 30 лет |
| Радий-  226 | Металл, испускающий гамм-аизлучение, альфа и бета-частицы. Защита укрытия и убежища. | 1600 лет |
| Углерод-14 | Испускает бета-частицы. Естественный природный изотоп углерода. Используется при определении возраста археологического материала. | 5500 лет |
| Плутоний-239 | Испускает альфа-частицы. Содержится в радиоактивных отходах. Защита качественное захоронение радиоактивных отходов. | 24000 лет |
| Калий-  40 | Испускает бета-частицы и гамма-излучение. Содержится и замещается (выводится) во всех растениях и животных. | 1,3 млрд. лет |

Рентгеновское излучение представляет собой электромагнитное излучение высокой частоты и короткой длиной волны, возникающее при бомбардировке вещества потоком электронов. Важнейшим свойством рентгеновского излучения является его большая проникающая способность. Рентгеновские лучи могут возникать в рентгеновских трубках, электронных микроскопах, мощных генераторах, в выпрямительных лампах, электронно-лучевых трубках и др.

Гамма-излучение относится к электромагнитному излучению и представляет собой поток квантов энергии, распространяющихся со скоростью света. Они обладают более короткими длинами волн, чем рентгеновское излучение. Гамма-излучение свободно проходит через тело человека и другие материалы без заметного ослабления и может создавать вторичное и рассеянное излучение в средах, через которые проходит. Интенсивность облучения гамма-лучами снижается обратно пропорционально квадрату расстояния от точечного источника.

Нейтронное излучение - это поток нейтральных частиц. Эти частицы вылетают из ядер атомов при некоторых ядерных реакциях, в частности, при реакциях деления ядер урана и плутония. Вследствие того, что нейтроны не имеют электрического заряда, нейтронное излучение обладает большой проникающей способностью. В зависимости от кинетической энергии нейтроны условно делятся на: быстрые; сверхбыстрые; промежуточные; медленные и тепловые. Нейтронное излучение возникает при работе ускорителей заряженных частиц и реакторов, образующих мощные потоки быстрых и тепловых нейтронов. Отличительной особенностью нейтронного излучения является способность превращать атомы стабильных элементов в их радиоактивные изотопы, что резко повышает опасность нейтронного облучения.

**Единицы измерения радиоактивности и доз облучения**

Вещества, способные создавать ионизирующие излучения, различаются активностью (А), т.е. числом радиоактивных превращений в единицу времени. В системе СИ за единицу активности принято одно ядерное превращение в секунду (распад/с). Эта единица получила название беккерель (Бк). Внесистемной единицей измерения активности является кюри (Ки), равная активности нуклида, в котором происходит 3,7 \* 1010 актов распада в одну секунду, т.е.

1 Ки = 3,7 \* 1010 Бк.

Единице активности кюри соответствует активность 1 г радия (Ra). Для характеристики ионизирующих излучений введено понятие дозы облучения. Различают три дозы облучения: поглощённая, эквивалентная и экспозиционная.

Степень, глубина и форма лучевых поражений, развивающихся среди биологических объектов при воздействии на них ионизирующего излучения, в первую очередь зависят от величины поглощённой энергии излучения или поглощённой дозы (Дпогл).

Поглощенная доза - энергия, поглощённая единицей массы облучаемого вещества. За единицу поглощённой дозы облучения принят грей (Гр), определяемый как джоуль на килограмм (Дж/кг). Соответственно:

1 Гр = 1 Дж/кг.

В радиобиологии и радиационной гигиене широкое применение получила внесистемная единица поглощённой дозы - рад.

Рад - это такая поглощённая доза, при которой количество поглощённой энергии в 1 г любого вещества составляет 100 эрг независимо от вида и энергии излучения.

Соразмерность грея и рада следующая: 1 Гр = 100 рад.

В связи с тем, что одинаковая поглощённая доза различных видов ионизирующего излучения вызывает в единице массы биологической ткани различное биологическое действие, введено понятие эквивалентной дозы (Дэкв), которая определяется как произведение поглощённой дозы на средний коэффициент качества действующих видов ионизирующих излучений. Коэффициент качества (Ккач) характеризует зависимость неблагоприятных биологических последствий облучения человека от способности ионизирующего излучения различного вида передавать энергию облучаемой среде (табл. 4). По существу, биологические эффекты, вызываемые любыми ионизирующими излучениями, сравниваются с эффектом от рентгеновского излучения.

Таблица 4

Значения Ккач для разных видов ионизирующего излучения

|  |  |
| --- | --- |
| Вид излучения | Коэффициент  качества (Ккач) |
| Рентгеновское и гамма-излучения  Электроны и позитроны, бета-частицы  Протоны  Нейтроны тепловые  Нейтроны быстрые  Альфа-частицы и тяжёлые ядра отдачи | 1  1  10  3  10  20 |

В качестве единицы измерения эквивалентной дозы в системе СИ принят зиверт (Зв).

Зиверт - эквивалентная доза любого вида ионизирующего излучения, поглощённая 1 кг биологической ткани и приносящая такой же биологический эффект (вред), как и поглощённая доза фотонного излучения в 1 Гр. Существует также внесистемная единица эквивалентной дозы ионизирующего излучения - бэр (биологический эквивалент рентгена). При этом соразмерность следующая:

Дэкв = Дпогл \* Ккач или 1 Зв = 1 Гр \* Ккач ;

1 Зв = 100 рад \* Ккач = 100 бэр.

Для оценки эквивалентной дозы, полученной группой людей (персонал объекта народного хозяйства, жители населённого пункта и т.п.), используется понятие коллективная эквивалентная доза (Дэкв.к.) - это средняя для населения доза, умноженная на численность населения (в человеко-зивертах).

Понятие экспозиционная доза (Дэксп) служит для характеристики рентгеновского и гамма-излучения и определяет меру ионизации воздуха под действием этих лучей. Она равна дозе фотонного излучения, при котором в 1 кг атмосферного воздуха возникают ионы, несущие заряд электричества в 1 кулон (Кл). Соответственно:

Дэксп = Кл/кг.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения является рентген (Р). При этом соразмерность следующая:

1 Р = 2,58 \* 10-4 Кл/кг или 1 Кл/кг = 3,88 \* 103 Р.

Поглощённая, эквивалентная и экспозиционная дозы, отнесённые к единице времени, носят название мощности соответствующих доз. Например:

· мощность поглощённой дозы (Рпогл) -- Гр/с или рад/с;

· мощность эквивалентной дозы (Рэкв) -- Зв/с или бэр/с;

· мощность экспозиционной дозы (Рэксп) -- Кл/(кг \* с) или Р/с.

Для упрощенной оценки информации по однотипному ионизирующему излучению можно использовать следующие соотношения:

· 1 Гр (100 рад) = 100 бэр = 100 Р = 1 Зв (с точностью до 10-15%);

· радиоактивное загрязнение плотностью 1 Ки/м2 эквивалентно мощности экспозиционной дозы 10 Р/ч, или мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения 1 Р/ч соответствует загрязнению в 10 мкКи/см2.

**Биологическое действие ионизирующих излучений и способы защиты от них**

Различают два вида эффекта воздействия на организм ионизирующих излучений: соматический и генетический. При соматическом эффекте, негативные последствия проявляются непосредственно у облучаемого, при генетическом - у его потомства.

Соматические эффекты могут быть ранними или отдалёнными. Ранние возникают в период от нескольких минут до 60 суток после облучения. К ним относят покраснение и шелушение кожи, помутнение хрусталика глаза, поражение кроветворной системы, лучевая болезнь, летальный исход. Отдалённые соматические эффекты проявляются через несколько месяцев или лет после облучения в виде стойких изменений кожи, злокачественных новообразований, снижения иммунитета, сокращения продолжительности жизни.

При изучении действия излучения на организм были выявлены следующие особенности:

1. Высокая эффективность поглощённой энергии, даже малые её количества могут вызвать глубокие биологические изменения в организме.

2. Наличие скрытого (инкубационного) периода проявления действия ионизирующих излучений.

3. Действие от малых доз может суммироваться или накапливаться.

4. Генетический эффект - воздействие на потомство.

5. Различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению.

6. Не каждый организм (человек) в целом одинаково реагирует на облучение.

7. Облучение зависит от частоты воздействия. При одной и той же дозе облучения вредные последствия будут тем меньше, чем более дробно оно получено во времени.

Ионизирующее излучение может оказывать влияние на организм как при внешнем (особенно рентгеновское и гамма-излучение), так и при внутреннем (особенно альфа-частицы) облучении. Внутреннее облучение происходит при попадании внутрь организма через лёгкие, кожу и органы пищеварения источников ионизирующего излучения. Внутреннее облучение более опасно, чем внешнее, так как попавшие внутрь источники ИИ подвергают непрерывному облучению ничем не защищённые внутренние органы.

Под действием ионизирующего излучения вода, являющаяся составной частью организма человека, расщепляется, и образуются ионы с разными зарядами. Полученные свободные радикалы и окислители взаимодействуют с молекулами органического вещества ткани, окисляя и разрушая её. Нарушается обмен веществ. Происходят изменения в составе крови - снижается уровень эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов и нейтрофилов. Поражение органов кроветворения разрушает иммунную систему человека и приводит к инфекционным осложнениям.

Местные поражения характеризуются лучевыми ожогами кожи и слизистых оболочек. При сильных ожогах образуются отёки, пузыри, возможно, отмирание тканей (некрозы).

Смертельные поглощённые дозы для отдельных частей тела следующие:

· голова - 20 Гр;

· нижняя часть живота - 50 Гр;

· грудная клетка - 100 Гр;

· конечности - 200 Гр.

При облучении дозами, в 100-1000 раз превышающую смертельную дозу, человек может погибнуть во время однократного облучения (“смерть под лучом”).

Биологические нарушения в зависимости от суммарной поглощённой дозы облучения представлены в таблице 5.

Таблица 5

Биологические нарушения при однократном (до 4-х суток) облучении всего тела человека

|  |  |
| --- | --- |
| Доза  облучения, (Гр) | Характер биологических последствий облучения |
| До 0,25 | Видимых нарушений нет |
| 0,25-0,50 | Возможны изменения в крови |
| 0,50-1,00 | Изменения в крови, трудоспособность нарушена |
| 1 - 2 | Лёгкая степень лучевой болезни (выздоровление у 100% пострадавших) |
| 2 - 4 | Средняя степень лучевой болезни (выздоровление у 100% пострадавших при условии лечения) |
| 4 - 6 | Тяжёлая степень лучевой болезни (выздоровление у 50-80% пострадавших при условии специального лечения) |
| более 6 | Крайне тяжёлая лучевая болезнь (выздоровление у 30-50% пострадавших при условии специального лечения) |
| 6 -10 | Переходная форма (исход непредсказуем) |
| более 10 | 100%-ный смертельный исход через несколько суток |
| 100 | Смертельный исход через несколько часов |
| 1000 | Смертельный исход через несколько минут |

В зависимости от типа ионизирующего излучения могут быть разные меры защиты:

· уменьшение времени облучения;

· увеличение расстояния до источников ионизирующего излучения;

· ограждение или герметизация источников ионизирующего излучения

· оборудование и устройство защитных средств;

· организация дозиметрического контроля;

· применение мер гигиены и санитарии.

В России на основе рекомендаций Международной комиссии по радиационной защите применяется метод защиты населения нормированием. Разработанные нормы радиационной безопасности учитывают три категории облучаемых лиц:

А - персонал, т.е. лица, постоянно или временно работающие с источниками ионизирующего излучения;

Б - ограниченная часть населения, т.е. лица, непосредственно не занятые на работе с источниками ионизирующих излучений, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могущие подвергаться воздействию ионизирующих излучений;

В - всё население.

Предельно допустимая доза - это наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которая при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Каждый житель Земли (категория В) на протяжении всей своей жизни ежегодно облучается дозой в среднем 250-400 мбэр. Полученная доза складывается из природных и искусственных источников ионизирующего излучения.

Природные источники дают суммарную годовую дозу примерно 200 мбэр (космос до 30 мбэр, почва до 38 мбэр, радиоактивные элементы в тканях человека до 37 мбэр, газ радон до 80 мбэр и другие источники).

Искусственные источники добавляют ежегодную эквивалентную дозу облучения примерно в 150-200 мбэр (медицинские приборы и исследования порядка 100-150 мбэр, просмотр телевизора около 1-3 мбэр, ТЭЦ на угле до 6 мбэр, последствия испытаний ядерного оружия до 3 мбэр и другие источники).

Всемирной организацией здравоохранения предельно допустимая (безопасная) эквивалентная доза облучения для жителя планеты определена в 35 бэр, при условии её равномерного накопления в течение 70 лет жизни.

Ниже предлагаются рекомендации общего характера по защите от ионизирующего излучения разного типа.

От альфа-частиц можно защититься путём:

1) увеличения расстояния до источников ионизирующих излучений, т.к. альфа-частицы имеют небольшой пробег;

2) использования спецодежды и спецобуви, т.к. проникающая способность альфа-частиц невысока;

3) исключения попадания источников альфа-частиц с пищей, водой, воздухом и через слизистые оболочки, т.е. применение противогазов, масок, очков и т.п.

В качестве защиты от бета-частиц используют:

1) ограждения (экраны), с учётом того, что лист алюминия толщиной несколько миллиметров полностью поглощает поток бета-частиц;

2) методы и способы, исключающие попадание источников бета-частиц внутрь организма.

Защиту от рентгеновского и гамма-излучения необходимо организовывать с учётом того, что эти виды излучения отличаются большой проникающей способностью. Наиболее эффективны следующие мероприятия (как правило, используемые в комплексе):

1) увеличение расстояния до источника излучения;

2) сокращение времени пребывания в опасной зоне;

3) экранирование источника излучения материалами с большой плотностью (свинец, бетон и др.);

4) использование защитных сооружений (противорадиационных укрытий, подвалов и т.п.) для населения;

5) использование индивидуальных средств защиты органов дыхания, кожных покровов и слизистых оболочек;

6) дозиметрический контроль внешней среды и продуктов питания.

При использовании различного рода защитных сооружений следует учитывать, что мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения снижается в соответствии с величиной коэффициента ослабления (Косл).

Некоторые величины Косл приведены в таблице 6.

Таблица 6

Средние значения коэффициента ослабления дозы радиации

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование укрытий и транспортных средств или  условия расположения населения (войск) | Косл |
| Открытое расположение на местности  Заражённые траншеи, канавы, окопы, щели  Вновь отрытые траншеи, канавы, окопы, щели  Перекрытые траншеи, канавы, окопы и т.п.  ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА  Железнодорожные платформы  Автомобили, автобусы и крытые вагоны  Пассажирские вагоны  Бронетранспортёры  Танки  ПРОМЫШЛЕННЫЕ И АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ЗДАНИЯ  Производственные одноэтажные здания (цехи)  Производственные и административные трёхэтажные здания  ЖИЛЫЕ КАМЕННЫЕ ДОМА  Одноэтажные  (подвал)  Двухэтажные  (подвал)  Трёхэтажные  (подвал)  Пятиэтажные  (подвал)  ЖИЛЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ ДОМА  Одноэтажные  (подвал)  Двухэтажные  (подвал)  В СРЕДНЕМ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ  Городского  Сельского | 1  3  20  50  1,5  2  3  4  10  7  6  10  40  15  100  20  400  27  400  2  7  8  12  8  4 |