

# **Радиационная медицина**

**Минск 2000**

**Министерство здравоохранения Республики Беларусь**

**Минский государственный медицинский институт**

**Кафедра радиационной медицины и экологии**

# **Радиационная медицина**

Под общ. ред. проф. А.Н. Стожарова

"Допущено Министерством образования  
Республики Беларусь в качестве учебного пособия  
для студентов медицинских высших учебных заведений"

**Минск 2000**

УДК 616-073.75 (075.8)

ББК 53.6 я 73

P15

**Р е ц е н з е н т ы:** ректор ГГМИ, д-р. мед. наук, проф. С.В. Жаворонок;  
зав.каф. патол. физиол. МГМИ, д-р. мед. наук, проф. Ф.И. Висмонт.

**Авторы:** А.Н. Стожаров, Л.А. Квиткевич, Г.А. Солодкая, А.Р. Аветисов,  
О.К. Синякова, С.И.Сычик.

**Стожаров А.Н. и др.**

P15 Радиационная медицина: Учеб. пособие /А.Н.Стожаров, Л.А. Квиткевич, Г.А. Солодкая и др. Под общ. ред. проф. А.Н.Стожарова.- Мн.: МГМИ, 2000.- 154 с.

ISBN

Издание включает основные программные теоретические разделы радиационной медицины, необходимые для понимания процессов формирования лучевого повреждения и, соответственно, для проведения профилактических мероприятий, снижающих негативные последствия воздействия ионизирующих излучений.

Учебное пособие предназначено для студентов всех факультетов, изучающих радиационную медицину, а также для аспирантов и научных сотрудников соответствующего профиля.

УДК 616-073.75(075.8)

ББК 53.6 я 73

ISBN

© Коллектив авторов, 2000

© Минский государственный медицинский институт, 2000

## Предисловие

Современный этап развития общества, строительство предприятий ядерного топливного цикла, применение новых технологий ( в том числе и в медицине) связаны с возрастающими масштабами применения источников ионизирующего излучения. Эта тенденция увеличивает риск облучения в тех или иных масштабах персонала и населения.

Чернобыльская катастрофа по размерам и последствиям загрязнения окружающей среды - крупнейшая в истории ядерной энергетики. Во внешнюю среду поступило радиоактивных веществ общей активностью около 10 ЭБк. Наибольшее их количество (около 70%) выпало на территорию Беларуси. Ущерб, причиненный Республике Беларусь чернобыльской катастрофой, относит территорию республики к зоне экологического бедствия. Значительная коллективная доза, сформированная на жителей Беларуси за счет облучения различными радионуклидами, обуславливает во многом медицинские последствия катастрофы, связанные с ростом заболеваемости и, в частности, с онкологической патологией щитовидной железы у детей и взрослых, увеличением общесоматической заболеваемости и др.

Следовательно, совершенно неотъемлемая часть процесса подготовки врачей - подробное рассмотрение механизмов действия ионизирующего излучения на организм человека, а также последствий такого воздействия.

Радиационная медицина находится в тесной связи с биохимией, молекулярной биологией, патофизиологией, клиническими дисциплинами, радиационной гигиеной и другими дисциплинами. Одна из главных целей радиационной медицины - стремление побудить студентов к пониманию взаимосвязи между первичными повреждающими механизмами действия ионизирующей радиации и формированием эффектов в виде ближайших и отдаленных последствий, к пониманию способов предупреждения и нивелирования таких эффектов. Врач должен понимать основные принципы приемлемого риска при действии такого мощного физического фактора, каким является ионизирующее излучение.

Настоящее учебное пособие отражает основной программный материал по радиационной медицине. В его основу положен лекционный курс, читаемый авторами на всех факультетах Минского государственного медицинского института в течение 10 лет существования кафедры. Особенность изложения

материала - его структурирование и более тесная интеграция с другими медико-биологическими дисциплинами.

Авторы хотели бы выразить искреннюю признательность руководству ЗАО "Медфарминвест" (Мартыросовой Л.В., Кузавко С.С. и Ржевскому В.Л.) за информационную поддержку и предоставление постоянного доступа в Интернет.

# ГЛАВА 1

## ВВЕДЕНИЕ В РАДИАЦИОННУЮ МЕДИЦИНУ. РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА. ДОЗИМЕТРИЯ. РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ЗЕМЛИ. УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИАЦИОННОГО ФОНА.

**Радиационная медицина** - наука, изучающая особенности воздействия ионизирующего излучения на организм человека, принципы лечения лучевых повреждений и профилактики возможных последствий облучения населения.

Радиационная медицина изучает широкий круг вопросов и тесно связана с радиобиологией, ядерной физикой и биофизикой, биоорганической и биологической химией, клиническими дисциплинами, эпидемиологией. Большой раздел радиационной медицины - радиационная гигиена, которая выделена как самостоятельная гигиеническая наука.

Термин «ионизирующие излучения» используется для описания переноса через пространство энергии в виде электромагнитных волн либо субатомных частиц. Ионизирующие излучения - это разновидности излучения, способные вызвать ионизацию атомов в любой среде, через которую они проходят.

По природе ионизирующие излучения делятся на два основных вида:

- а) корпускулярные, например: альфа, бета;
- б) электромагнитные, например: гамма и рентгеновское.

Основной характеристики ионизирующих излучений являются:

- для корпускулярных излучений - заряд частицы, ее масса, а также энергия;
- для электромагнитных излучений – энергия (табл.1-1).

Эти параметры определяют особенности взаимодействия ионизирующих излучений с веществом и, соответственно, степень и вероятность их повреждающего действия.

### **Характеристика основных видов излучения:**

1) **альфа-частицы** (ядра гелия) имеют заряд +2, массу 4 а.е.м., энергию, измеряемую в МэВ; обладают высокой ионизационной способностью, имеют незначительную проникающую способность: пробег в воздухе измеряется в сантиметрах, в биологической ткани - в микрометрах;

2) **бета-частицы** - это электроны и позитроны, имеющие пренебрежимо малую массу и заряд -1, или +1 соответственно; энергия чаще измеряется в кэВ; удельная плотность ионизации, создаваемая бета-частицами, примерно в 1000 раз меньше, чем у альфа-частиц той же энергии; проникающая способность у

бета-частиц больше, чем у альфа-частиц: пробег в воздухе составляет метры, в биологической ткани - сантиметры;

3) **нейтроны** имеют массу, равную 1 а.е.м., заряд 0; нейтрон может иметь энергию от 0,025 эВ до 300 и более МэВ. По энергии выделяют медленные и быстрые нейтроны, граница между ними лежит примерно в области 1 МэВ. Энергия нейтрона определяет характер его взаимодействия с веществом;



Рис.1-1. Проникающая способность разных видов ионизирующего излучения.

4) **гамма-излучение** образуется при ядерных превращениях и имеет длину волны  $10^{-10}$ - $10^{-14}$  м; обладает высокой проникающей способностью, длина пробега в воздухе достигает сотен метров;

5) **рентгеновское излучение** имеет длину волны  $10^{-9}$ - $10^{-12}$  м. Различают характеристическое рентгеновское излучение и тормозное. Характеристическое рентгеновское излучение образуется за счет изменения энергетического состояния электрона при его переходе на энергетически более выгодную орбиталь. Тормозное излучение образуется при столкновении заряженных частиц с частицами вещества, через которое они проходят. Чем меньше длина волны, тем выше энергия излучения и больше его проникающая способность (рис.1-1).

С понятием «ионизирующие излучения» тесно связано понятие «радиоактивность». Исторически радиоактивность является первым ядерным процессом, обнаруженным человеком (А. Беккерель, 1896 г.). В изучение данного процесса большой вклад внесли Мария Складовская-Кюри и Пьер Кюри.

Характеристика основных видов ионизирующего излучения.

Излучение	Вид излучения	Масса (а.е.м.)	Заряд	Защитные материалы
Альфа	Частица	4	+2	Бумага, кожа, одежда
Бета	Частица	1/1836	-1, +1	Пластмасса, стекло, легкие металлы.
Гамма, рентгеновское	Электро- магнитная волна	0	0	Тяжелые металлы, бетон, грунт.
Нейтрон	Частица	1	0	Для замедления быстрых нейтронов: вода, парафин, бетон, пластмассы; для поглощения тепловых нейтронов: бораль, борная сталь, борный графит, сплав кадмия со свинцом.

Радиоактивность - самопроизвольное превращение ядер одних элементов в другие, при котором ядро переходит в более устойчивое состояние. Процесс сопровождается испусканием ионизирующих излучений (корпускулярных либо электромагнитных).

Радиоактивные превращения характеризуются:

- 1) способом выделения избыточной энергии, которая отдается либо в виде альфа- или бета-частиц определенной энергии, либо электромагнитного излучения;
- 2) временем протекания радиоактивного распада и вероятностью распада ядра за единицу времени. Радиоактивный распад - явление статистическое. Нельзя предсказать, когда именно распадется данное нестабильное ядро. Для описания статистических закономерностей радиоактивного распада используется естественная статистическая величина называемая постоянной распада  $\lambda$ , она не зависит от времени. Смысл величины  $\lambda$  состоит в том, что если взять большое число  $N$  одинаковых нестабильных ядер, то за единицу времени в

среднем будет распадаться  $\lambda N$  ядер. Величина  $\lambda N$  называется активностью и характеризует излучение препарата в целом, а не отдельного ядра.

За единицы радиоактивности приняты:

а) системная - **Беккерель (Бк, Вq)**. 1 Бк равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит 1 акт распада (1 Бк = 1 расп/сек). Единица названа в 1975 г. в честь французского ученого А. Беккереля (А. Becquerel, 1852-1908 г.).

б) традиционная (внесистемная) - **Кюри (Ки, Ci)**. Единица названа в честь французских ученых П. Кюри и М. Складовской-Кюри и введена в 1910 г. С 1956 г. означает такое количество радиоактивного вещества, которое распадается с интенсивностью  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 секунду, т.е.  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ ,  $1 \text{ Бк} = 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ .

Уменьшение количества активных ядер с течением времени происходит в соответствии с законом радиоактивного распада, который описывается экспоненциальной кривой (рис.1-2) и формулируется следующим образом: за равные промежутки времени происходит превращение равных долей активных атомов. Закон радиоактивного распада имеет следующее математическое выражение:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad [1]$$

где  $N_0$  - исходное количество радиоактивных ядер;  $N_t$  - количество активных ядер, оставшихся спустя время распада  $t$ ;  $e$  - основание натуральных логарифмов;  $\lambda$  - постоянная распада,  $t$  - время распада.

Постоянная распада  $\lambda$  связана с периодом полураспада ( $T_{1/2}$  или  $T_f$ ). Периодом полураспада называется время, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается вдвое. После математических преобразований формула [1] приобретает следующий вид:

$$N_t = N_0 \cdot e^{\frac{-0.693t}{T_f}} \quad [2]$$

Этой формулой пользуются для практических целей, когда дают рекомендации о возможности использования загрязненных радионуклидами

территорий, продуктов питания, воды и т.п. Так как через  $10 T_{1/2}$  остается практически чистая среда (т.е. остается меньше 0,1% от исходного количества

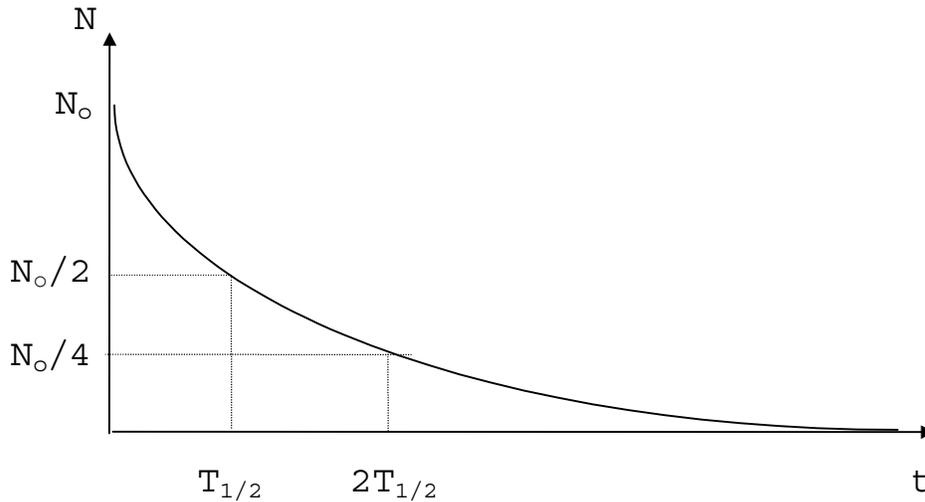


Рис.1-2. Изменение количества радиоактивных ядер с течением времени.

радионуклида). Например: I-131 имеет период полураспада, равный 8,05 суток; цельное молоко и листовые овощи местного производства запрещают использовать в течение 2-3 месяцев после выброса радиоактивного йода; у Cs-137 период полураспада равен 30,1 г; у Sr-90 период полураспада равен 29,12 г; т.е. земли, загрязненные Cs-137 и Sr-90 можно будет использовать спустя 300 лет после аварии на ЧАЭС.

Прежде чем разбирать типы превращения ядер, необходимо вспомнить, что основной характеристикой атома (Рис. 1-3) являются 2 числа: массовое число ( $A$ ), равное сумме протонов и нейтронов ядра, и атомный номер ( $Z$ ) в периодической системе элементов Менделеева, равный числу протонов в ядре, т.е. соответствующий заряду ядра. Любая частица, входящая в состав ядра (как протон, так и нейтрон), называется нуклоном. Изотопы - атомы с одним и тем же

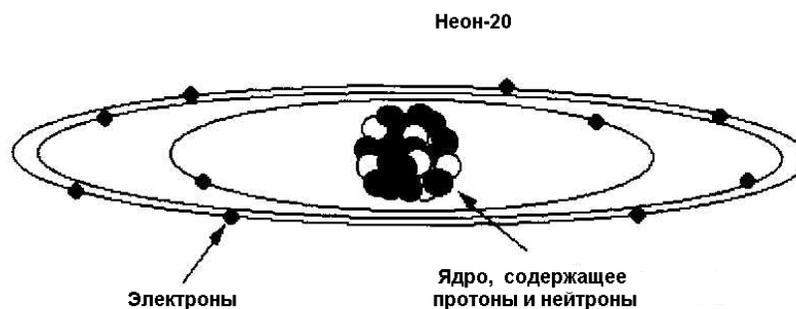
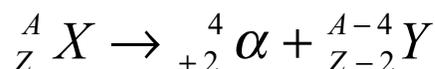


Рис. 1-3. Строение атома неона-20.

зарядом ядра, но разным массовым числом, т.е. они отличаются количеством нейтронов в ядре. Радионуклиды - ядра радиоактивных атомов. Различают естественные и искусственные радионуклиды. Радионуклиды, которые образовались и постоянно образуются без участия человека, принято называть естественными радионуклидами. К настоящему времени известно более 900 радиоактивных изотопов, полученных искусственным путем. Особенно много искусственных радионуклидов получают в ядерных реакторах различного назначения, в том числе в реакторах АЭС, где создаются мощные потоки нейтронов. В настоящее время практически не существует таких элементов, у которых не было бы радиоактивного изотопа. По химическим свойствам радиоизотопы не отличаются от стабильных, то есть стабильный и радиоактивный изотопы следуют вместе по всем цепочкам в соответствии с химическими и биологическими законами круговорота в природе.

Нестабильные ядра претерпевают 4 основных типа радиоактивных превращений: альфа-распад, бета-превращение, гамма-превращение и спонтанное деление ядер. Тип радиоактивного превращения определяется видом частиц, испускаемых при распаде. Процесс радиоактивного распада всегда экзотермичен, т.е. идет с выделением энергии. Исходное ядро называется материнским (в нижеприведенных схемах обозначено символом X), а получающееся после распада ядро - дочерним (в схемах - символ Y).

1. Альфа-распад состоит в том, что тяжелое ядро самопроизвольно



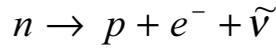
испускает альфа-частицу, т.е. это чисто ядерное явление.

Известно более 200 альфа-активных ядер, почти все они имеют порядковый номер больше 83. Энергия альфа-частиц тяжелых ядер чаще всего находится в интервале от 4 до 9 МэВ. Например, альфа-излучающими радионуклидами являются Am-241; Ra-226; Rn-222; U-238 и 235; Th-232; Pu-239 и 240:



2. Бета-превращение ядер - это внутринуклонный процесс, то есть в ядре распадается одиночный нуклон, происходит внутренняя перестройка ядра, вылетающие из ядра при  $\beta$ -распаде частицы (электрон  $e^-$ , позитрон  $e^+$ , нейтрино  $\nu$ , антинейтрино  $\bar{\nu}$ ) рождаются во время распада. Возможность

распада одиночного нуклона хорошо иллюстрирует распад свободного нейтрона с периодом полураспада 11,7 мин.:



Различают следующие виды бета-превращения ядер:

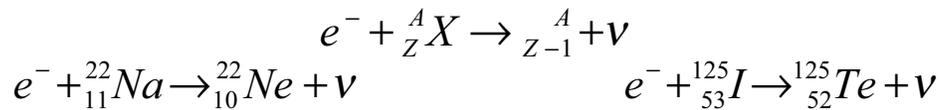
а) электронный распад:



б) позитронный распад:



в) электронный захват (называют К-захватом, т.к. ядро поглощает один из электронов атомной оболочки, обычно из К-оболочки):



Примерами радионуклидов, претерпевающих бета-превращение являются тритий (H-3); C-14; радионуклиды натрия (Na-22, Na-24); радионуклиды фосфора (P-30, P-32); радионуклиды серы (S-35, S-37); радионуклиды калия (K-40, K-44, K-45); Rb-87; радионуклиды стронция (Sr-89, Sr-90); радионуклиды йода (I-125, I-129, I-131, I-134); радионуклиды цезия (Cs-134, Cs-137).

Энергия бета-частиц варьирует в широком диапазоне: от 0 до  $E_{\max}$  (полная энергия, выделяющаяся при распаде) и измеряется в кэВ, МэВ. Для одинаковых ядер распределение вылетающих электронов по энергиям является закономерным и называется спектром электронов  $\beta$ -распада, или бета-спектром (Рис.1-4).

По спектру энергии бета-частиц можно провести идентификацию распадающегося элемента (Рис. 1-5).

3. Гамма-распад: за счет энергии возбуждения ядро испускает гамма-квант, переходя в более стабильное состояние. Массовое число и атомный

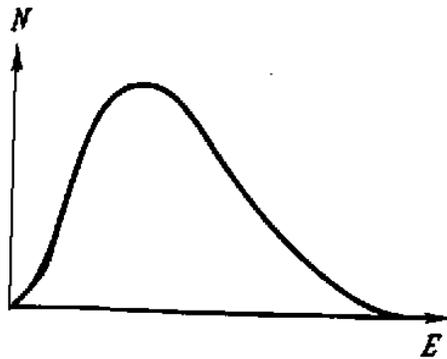


Рис. 1-4.  
Спектр распределения  
бета-частиц по их  
энергиям.  
E - энергия частицы; N - число импульсов в минуту.

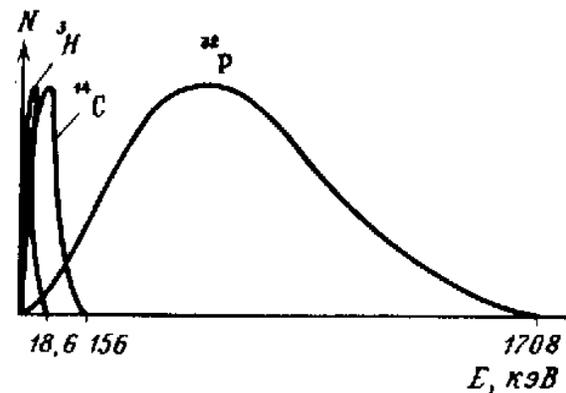
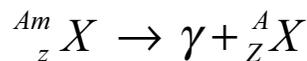


Рис. 1-5.  
Энергетические спектры  
бета-частиц для H-3,  
C-14 и P-32.

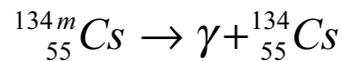
номер при этом не изменяются:

Гамма-излучение - явление внутриядерное, спектр гамма-излучения



всегда дискретен. Испускаемые ядрами гамма-кванты обычно имеют энергию от десятков кэВ до нескольких МэВ. Индекс «m» означает метастабильное состояние ядра.

Гамма-превращение (или изомерный переход) претерпевают ядра следующих изотопов: Rb-81m; Cs-134m; Cs-135m; In-113m; Y-90m. Например:



4. Спонтанное деление тяжелых ядер возможно у ядер, начиная с массового числа 232. Ядро делится на 2 сравнимых по массам осколка. Именно спонтанное деление ядер ограничивает возможности получения новых трансурановых элементов. В ядерной энергетике используется процесс деления тяжелых ядер при захвате ими нейтронов:



В результате деления образуются осколки с избыточным количеством нейтронов, которые затем претерпевают несколько последовательных превращений (чаще - бета-распад).

**ДОЗИМЕТРИЯ** - это определение дозы или ее мощности (т.е. дозы в единицу времени).

В настоящее время различают следующие дозы:

**ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА (X)** - количественная характеристика поля источника ионизирующего излучения (гамма или рентгеновского), характеризующая величину ионизации сухого воздуха при атмосферном давлении.

Традиционная (внесистемная) единица экспозиционной дозы - **рентген (Р, R)**. Единица названа в честь немецкого физика В.К. Рентгена (1825-1923 гг.), была введена в 1928 г. 1 рентген равен экспозиционной дозе рентгеновского и гамма-излучения в воздухе, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия образует на 0,001293 г воздуха ионы, несущие заряд, равный 1 единице заряда СГС каждого знака (0,001293 г - это масса 1 см<sup>3</sup> атмосферного воздуха при температуре 0° С и давлении 760 мм рт. ст.).

Системная единица - **кулон на килограмм (Кл/кг, C/kg)**. 1 Кл/кг равен экспозиционной дозе фотонного излучения, при которой сумма электрических зарядов всех ионов одного знака, созданных электронами, освобожденными в облученном воздухе массой 1 кг, при полном использовании ионизирующей способности всех электронов, равна 1 Кл.

Соотношение единиц:  $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$  (точно);

$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$  (приблизительно).

Часто пользуются понятием **мощность экспозиционной дозы** - величиной, выраженной в мР/ч или мкР/ч. Обычные фоновые показатели мощности экспозиционной дозы для Беларуси - до 18-20 мкР/ч.

Традиционно экспозиционная доза применялась в рентгенодиагностике благодаря тому, что ионизирующая способность рентгеновского излучения для воздуха и биологической ткани приблизительно одинакова. Однако при переходе к высокоэнергетическим типам излучения выяснилась ограниченность использования этой характеристики при оценке поглощенной дозы, особенно в живых организмах. В связи с этим экспозиционная доза, как и прежде, применяется для оценки поля источника излучения, а для определения взаимодействия ионизирующих излучений со средой используется другое

понятие - **ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА (D)**, представляющая количество энергии, поглощаемое единицей массы облучаемого вещества.

Единицей СИ поглощенной дозы является джоуль на килограмм (Дж/кг) со специальным наименованием **грей (Гр, Gy)**.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ . Единица названа в 1975 г. в честь английского физика Л. Грея (1905-1965 гг.). В качестве внесистемной (традиционной) единицы используется **рад (rad, rd)** равный 0,01 Гр (табл.1-4). Наименование rad образовано от начальных букв выражения radiation absorbed dose - поглощенная доза излучения. Для мягких тканей в поле рентгеновского или  $\gamma$ -излучения поглощенная доза в 1 рад примерно соответствует экспозиционной в 1 Р (точнее  $1 \text{ Р} = 0,93 \text{ рад}$ ).

Являясь энергетической характеристикой, поглощенная доза не зависит от вида и энергии ионизирующего излучения и определяет степень радиационного воздействия, т.е. является мерой ожидаемых последствий облучения. Учитывая существенные различия в механизме взаимодействия разных типов излучения с веществом, ионизирующей способностью, длиной свободного пробега и т.д., следует ожидать, что одна и та же поглощенная доза может дать разный биологический эффект. Для количественной оценки такого различия вводится понятие **ОТНОСИТЕЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ (ОБЭ)** или **КОЭФФИЦИЕНТА КАЧЕСТВА (КК, k) ИЗЛУЧЕНИЯ**. ОБЭ или КК какого-либо излучения - численный коэффициент, который равен отношению поглощенной дозы образцового излучения  $D_0$ , вызывающей определенный радиобиологический эффект, к дозе рассматриваемого излучения  $D$ , вызывающей тот же радиобиологический эффект.  $\text{КК} = D_0/D$ . В качестве образцового принято рентгеновское излучение с энергией 200 кэВ. Для него  $\text{КК} = 1$ . Следовательно, поглощенная доза другого излучения может быть эквивалентна поглощенной дозе образцового излучения, но с учетом КК. Таким образом вводится понятие эквивалентной дозы.

**ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА (H)** есть мера выраженности эффекта облучения и равна поглощенной дозе, умноженной на коэффициент качества данного вида излучения:

$$H = D \cdot k$$

В настоящее время МКРЗ рекомендует использовать для расчета эквивалентной дозы **ВЕСОВЫЕ МНОЖИТЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ  $W_R$**  (табл. 1-2).

Эквивалентная доза  $H_{TR}$  в органе или ткани Т, созданная излучением R, определяется соотношением

$$H_{TR} = W_R \cdot D_{TR}$$

где  $D_{TR}$ - средняя доза от излучения R в ткани или органе Т;

$W_R$  - весовой множитель излучения.

Так как  $W_R$  - безразмерный множитель, единица СИ для эквивалентной дозы та же, что и для поглощенной дозы - Дж/кг, со специальным названием **зиверт (Зв, Sv)**, введена в 1979 г.. До этого использовали внесистемную единицу - **бэр (rem)**, равную 0,01 Зв (табл.1-4).

Табл. 1-2.

Весовые множители излучения.

Вид излучения и диапазон энергии	Весовой множитель излучения $W_R$
Фотоны всех энергий	1
Электроны всех энергий	1
$\alpha$ - частицы	20
Нейтроны с энергией:	
< 10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
> 100 кэВ до 2 МэВ	20
>2 МэВ до 20 МэВ	10
> 20 МэВ	5

Риск развития стохастических эффектов зависит не только от эквивалентной дозы, но и от радиочувствительности тканей или органов, подвергшихся облучению. Для нормирования дозы по стохастическим эффектам введено понятие **ЭФФЕКТИВНАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА ( $H_E$ )**, которое по рекомендации МКРЗ (публикация 60) заменено на более простое наименование - **ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА (E)**. E представляет собой сумму взвешенных эквивалентных доз во всех тканях и органах тела и выражается соотношением:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

где  $H_T$  - эквивалентная доза в ткани или органе Т;

$W_T$  - весовой множитель ткани Т.

$W_T$  характеризует отношение стохастического риска поражения какого-либо органа или ткани к риску поражения всего организма при равномерном

облучении всего тела. Риск поражения всего организма принимают равным 1, то есть сумма тканевых весовых множителей равна 1. Рекомендуемые МКРЗ (публикация 60) значения тканевых весовых множителей приведены в таблице 1-3.

Системная единица эффективной дозы - Зиверт (Зв, Sv); внесистемная единица – бэр. Один Зв равен 100 бэр (табл.1-4).

При облучении отдельного человека говорят об индивидуальной дозе. При радиационном воздействии на группу людей рассчитывают коллективные дозы:

а) **коллективная эквивалентная доза ( $S_T$ )** в ткани Т применяется для выражения общего облучения конкретной ткани или органа у группы лиц, она равна

Табл.1-3.

Тканевые весовые множители.

Ткань или орган	$W_T$	Ткань или орган	$W_T$
Половые железы	0.20	Молочные железы	0.05
Красный костный мозг	0.12	Печень	0.05
Толстый кишечник	0.12	Пищевод	0.05
Легкие	0.12	Щитовидная железа	0.05
Желудок	0.12	Кожа	0.01
Мочевой пузырь	0.05	Остальные органы	0.05

произведению числа облученных лиц на среднюю эквивалентную дозу в органе или ткани;

б) **коллективная эффективная доза (S)** относится, в целом, к облученной популяции. Она равна произведению средней эффективной дозы на число лиц в облученной группе.

В определении коллективной эквивалентной и коллективной эффективной доз не указано время, за которое получена доза. Поэтому при расчете коллективных доз всегда должно быть четкое указание на период времени и группу лиц, по которым проводился данный расчет.

Коллективные дозы используют для оценки лучевой нагрузки на популяцию и риска развития стохастических последствий действия ионизирующих излучений. Единицы коллективных доз - чел\*Зв и чел\*бэр.

## РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ЗЕМЛИ. УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИАЦИОННОГО ФОНА.

Ионизирующие излучения от природных источников, а также от радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека,

Табл. 1-4.

Соотношение между системными и внесистемными единицами доз.

Величина и ее символ	Единица СИ	Внесист. единица	Соотношение между единицами
Экспозиционная доза, X	Кл/кг	Р	$1 \text{ Кл/кг} = 3.88 \cdot 10^3 \text{ Р}$ $1 \text{ Р} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза, D	Гр (Дж/кг)	рад	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ $1 \text{ рад} = 0.01 \text{ Гр}$
Эквивалентная доза, H	Зв	бэр	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ бэр} = 0.01 \text{ Зв}$
Эффективная доза, E	Зв	Бэр	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ бэр} = 0.01 \text{ Зв}$

создают радиационный фон (РФ). РФ воздействует на все население земного шара, в настоящее время имеет относительно постоянный уровень. В прошлом он претерпевал неоднократно резкие изменения.

РФ имеет 2 составляющих:

- 1) естественный РФ;
- 2) техногенно измененный РФ.

Оба компонента РФ участвуют в формировании эффективных доз облучения человека как за счет внешнего, так и за счет внутреннего облучения. В среднем эффективная доза от различных источников РФ оценивается в 3,6 мЗв в год.

**ЕСТЕСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН (ЕРФ)** - совокупность ионизирующих излучений от естественных источников внеземного и земного происхождения.

Источником ионизирующих излучений внеземного происхождения является первичное космическое излучение, которое в окрестности Земли состоит из галактического космического излучения (генерированного в еще точно неизвестных, но удаленных от Земли объектах) и солнечных космических лучей. Средняя энергия космических частиц около  $10^8 - 10^9$  эВ. Первичное космическое излучение состоит в основном из протонов (90%) и альфа-частиц; встречаются ядра лития, бериллия, бора и другие. Поток электронов составляет около 1.5% потока всех космических частиц; позитронов в 5 раз меньше; в небольшом количестве обнаружены также гамма-кванты.

Магнитное поле Земли заметно влияет на первичное излучение, препятствуя вхождению в атмосферу низкоэнергетических частиц. В магнитном поле Земли существуют "ловушки", т.е. области пространства, характеризующиеся тем, что заряженные частицы не могут ни влетать в них извне, ни вылетать из них. Магнитные ловушки - естественный резервуар для накопления заряженных частиц (в основном протонов и электронов). Такие зоны называют радиационными поясами Земли.

Первичное космическое излучение взаимодействует (а, точнее, поглощается) с атмосферой, в результате чего формируются вторичное космическое излучение (которое состоит из пионов, протонов, нейтронов, мюонов, электронов и фотонов) и космогенные радионуклиды, воздействующие на человека.

Интенсивность вторичного космического излучения зависит от толщины атмосферы: космическое излучение на уровне моря примерно в 100 раз менее интенсивно, чем на границе атмосферы и состоит в основном из мюонов; Северный и Южный полюса получают больше ионизирующих излучений, чем экваториальные области (за счет магнитного поля Земли).

При воздействии космических лучей на атмосферу в ее верхних слоях происходят различные ядерные реакции, в результате чего образуются космогенные радионуклиды. Основное значение из них имеют: тритий (H-3), C-14, P-32, S-35, Be-7, Na-22 и Na-24.

В целом, человек, живущий на уровне моря, получает 0,315 мЗв/год за счет источников ионизирующего излучения внеземного происхождения, в том числе за счет внешнего облучения – 0,3 мЗв и за счет внутреннего облучения – 0,015 мЗв.

Естественные источники ионизирующего излучения земного происхождения представлены радионуклидами 2 групп:

А. Радионуклиды, входящие в радиоактивные ряды.

Б. Радионуклиды, не входящие в радиоактивные ряды.

#### А. Радионуклиды радиоактивных рядов.

Радиоактивный ряд - это последовательность радионуклидов, образующихся в результате альфа- или бета-распада предыдущего элемента. Наиболее долгоживущие изотопы называются начальными для каждого из радиоактивных рядов.

Существует 4 радиоактивных ряда и, соответственно, 4 их родоначальника:

- ториевый ряд: наиболее долгоживущий изотоп – торий-232 (Th-232),  $T_{1/2} = 1.4 \cdot 10^{10}$  лет;
- 2 урановых ряда:
  - а) наиболее долгоживущий изотоп – уран-238 (U-238),  $T_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9$  лет (рис.1-7);
  - б) наиболее долгоживущий изотоп – уран-235 (U-235),  $T_{1/2} = 7 \cdot 10^8$  лет;
- нептуниевый ряд: наиболее долгоживущий изотоп – нептуний-237 (Np-237),  $T_{1/2} = 2.2 \cdot 10^6$  лет.

Из сравнения периодов полураспада родоначальников радиоактивных рядов со временем существования Земли видно, что в настоящий момент Th-232 почти весь сохранился, U-238 распался лишь частично, а U-235 распался большей частью (т.е., в настоящий момент в земной коре U-238 больше, чем U-235 в 140 раз), изотоп Np-237 распался практически весь. В процессе превращения этих элементов в качестве промежуточных продуктов распада образуются радиоактивные изотопы радия, радона, полония, висмута, свинца, которые формируют значительную дозу облучения человека. Уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. Повышенным содержанием радионуклидов характеризуются породы вулканического происхождения - гранит, базальт; гораздо меньше радиоактивных элементов в осадочных породах (известняк, песчаник; табл.1-5). Наиболее высокие уровни земной радиации наблюдаются в Бразилии (на пляжах морского курорта Гуарапари - до 175 мЗв/год), на юго-западе Индии - на их территории есть богатые торием пески (монацитовые пески). Известны и другие места с высоким уровнем радиации, например: во Франции, в Нигерии, на Мадагаскаре. Повышенным содержанием радионуклидов уранового ряда отличается территория Скандинавских стран и Англии.

По подсчетам НКДАР ООН средняя эффективная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников естественной радиации, составляет 0,35 мЗв, в том числе за счет радионуклидов уранового ряда 0,09 мЗв и 0,14 мЗв за счет радионуклидов ториевого ряда. Продукты распада урана и тория по пищевым цепочкам, а также с воздухом и водой поступают в организм человека, обуславливая внутреннее облучение: за

счет семейства урана эффективная доза составляет 0,95 мЗв/год, за счет семейства тория – 0,19 мЗв/год. При пероральном поступлении радиоактивных элементов важно учитывать их растворимость и, соответственно, коэффициент всасывания.

Табл.1-5.

Содержание урана, тория и радия в породах и почвах.

Тип породы, почвы	Активность U-238, Бк/кг	Активность Th-232, Бк/кг	Активность Ra-226, Бк/кг
<i>Вулканические:</i>			
Гранит	59	81,4	96 - 114
Базальт	11	11,1	18,5 - 40,7
<i>Осадочные:</i>			
Сланцы	44	44,4	14,8
Песчаники	18	11,1	11,1 - 25,9
<i>Почвы:</i>			
Черноземы	21	35,8	
Дерново-подзолистые	15	22,2	
Торфяные	6	6,3	

Наибольшее значение в формировании дозы внутреннего облучения имеют радий-226; радон-220; полоний-210; свинец-210.

Радий-226 (Ra-226 претерпевает альфа-распад с образованием Rn-222,  $T_{1/2}$  - 1620 лет) широко распространен в природе, может поступать в организм через желудочно-кишечный тракт (коэффициент всасывания в желудочно-кишечном тракте - 0,2), органы дыхания и неповрежденную кожу. Его источником для человека в основном служат зерновые культуры и хлеб, куриные яйца; среднее поступление с жидкостями и пищей -  $2.3 \cdot 10^{-12}$  г/сут; радий, независимо от химической формы соединения при поступлении, депонируется в костной ткани, из которой выводится с  $T_6$ , равным 17,13 лет ( $T_6$  – время, в течение которого из организма выводится половина введенного вещества).

Радон (Rn-222 претерпевает альфа-распад с образованием Po-218, период полураспада Rn-222 - 3,8 суток) - вносит основной вклад в естественную радиоактивность атмосферного воздуха и уровни облучения человека за счет естественных источников радиации. В организм радон и короткоживущие продукты его распада поступают в основном через органы дыхания, но могут поступать через желудочно-кишечный тракт (например, при питье радоновой

воды) и через кожу (например, при приеме радоновых ванн). Выведение радона из организма независимо от способа его поступления осуществляется главным образом через легкие. Более подробную информацию о радоне можно получить в приложении 1.

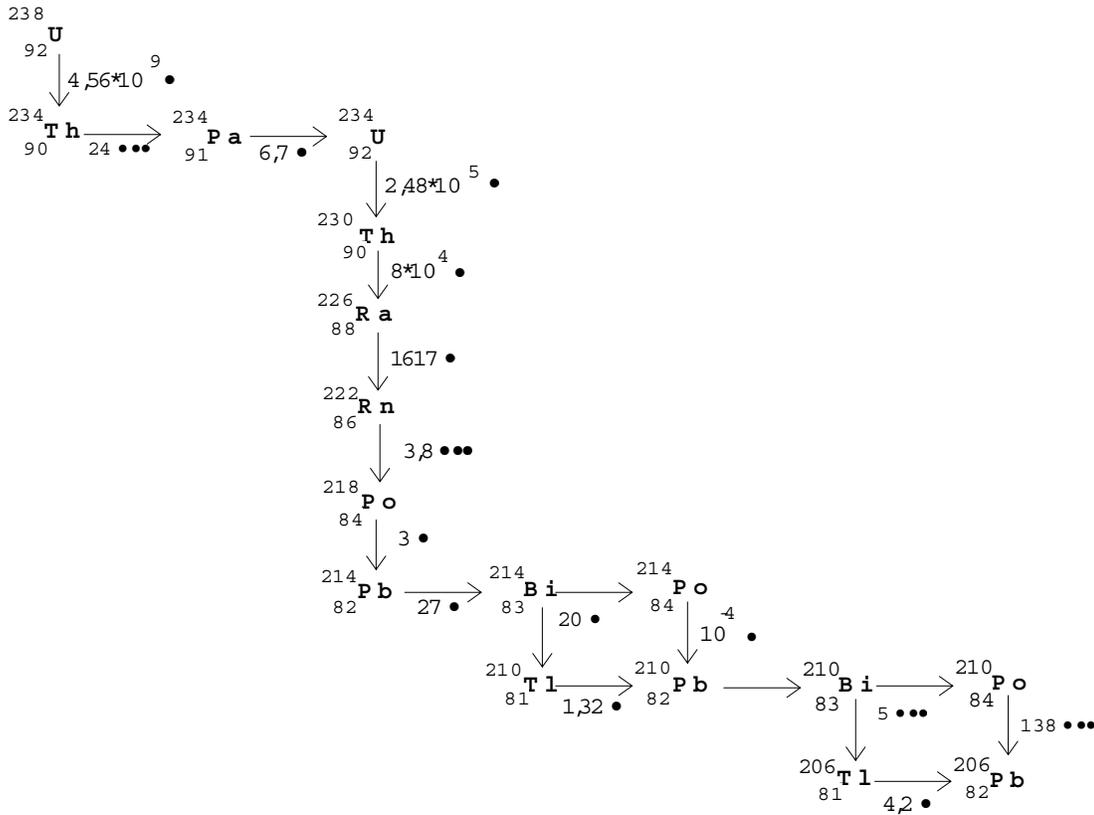


Рис. 1-7. Последовательность радиоактивных превращений в ряду U-238 - Pb-206.

Указаны типы превращений (альфа-превращения обозначены вертикальной стрелкой, бета-превращения обозначены горизонтальной стрелкой) и периоды полураспада элементов (л, г - годы, сут. - сутки, ч - часы, м - минуты, с - секунды).

Полоний-210 ( $\text{Po-210}$ ) подвергается альфа-распаду с образованием стабильного  $\text{Pb-206}$ ,  $T_{1/2}$  - 138,38 сут.; коэффициент всасывания из желудочно-кишечного тракта – 0,2. В среднем за сутки в организм человека с пищей поступает 0,037-0,37 Бк  $\text{Po-210}$  (т.н. нормальное поступление). В регионах, где человек потребляет пищу морского происхождения, а также питается мясом северных оленей наблюдается повышенное поступление  $\text{Po-210}$  в организм - 2,2-11,1 Бк/сут.; например: в диете японцев содержание  $\text{Pb-210}$  в 11-18 раз превышает среднестатистические цифры. Курение увеличивает поступление  $\text{Po-210}$  в организм человека: в легких курильщика, выкуривающего 10 - 60

сигарет в сутки, создаются концентрации Po-210 1,66 мБк/г, что в 2-3 (вплоть до 7 - 9) раза выше, чем у некурящих, и соответствует дозам 0,027-0,04 мГр/год.

Из организма человека Po-210 выводится с  $T_6$ , равным приблизительно 80 сут.

Свинец-210 [ядро Pb-210 подвергается бета-превращению (электронный распад) с образованием Bi-210], распадается с  $T_{1/2}$  - 22,3 года; коэффициент всасывания в желудочно-кишечном тракте - 0,2 (для всех соединений); элемент остеотропен связан с обменом кальция и фосфора; из организма (в том числе и из костной ткани) выводится с  $T_6$ , равным 12 - 10000 сут. Pb-210 - один из источников появления в организме Po-210.

#### Б. Радионуклиды, не входящие в радиоактивные ряды.

Эта группа в основном состоит из 11 долгоживущих радионуклидов (период полураспада от  $10^7$  до  $10^{15}$  лет). Из них наибольший вклад в формирование эффективной дозы вносят K-40 и Rb-87.

Калий-40 (ядро K-40 претерпевает бета-распад, период полураспада  $1,32 \cdot 10^9$  лет, K-40 является бета- и гамма-источником облучения биоты), занимает 2 место как источник излучений, обуславливающих природный радиоактивный фон. В природе K-40 всегда сопутствует стабильному K-39 (доля K-40 - около 0,01%), формируя годовую эффективную дозу за счет внешнего облучения 0,12 мЗв и 0,18 мЗв за счет внутреннего облучения.

Калий-40 часто обуславливает активность поверхностного слоя почвы, равную 1-2 Ки/км<sup>2</sup>. Активность растительного покрова Земли по K-40 равна  $(0,5-1) \cdot 10^{-8}$  Ки/кг сырого веса. Активность пищевых продуктов по K-40 составляет  $10^{-9}$  Ки/кг сырых продуктов. Наибольшая активность K-40 регистрируется в клюкве, орехах, фасоли, картофеле (табл.1-6).

Из почвы K-40 поступает в растения, а затем, с пищей - в организм животных и человека. Радиоактивные изотопы калия поступают в организм, главным образом, с пищей и водой. Калий практически полностью всасывается из желудочно-кишечного тракта и равномерно распределяется в органах и тканях.  $T_6$  калия составляет 58 суток.

Суточная потребность человека в калии составляет около 3 г, т.е. в организм может поступать и значительное количество K-40 (табл.1-7). Например, средняя активность K-40 в красном костном мозге человека оценивается в 121 Бк/кг (содержание калия в красном костном мозге - 4 г/кг), в скелетных мышцах - 90 Бк/кг (содержание калия - 3 г/кг).

Рубидий-87 (Rb-87,  $T_{1/2}$  -  $4,8 \cdot 10^{10}$  г, ядро претерпевает  $\beta$ -превращение) входит в состав продуктов деления урана (до 6%). При пероральном поступлении

практически полностью всасывается из желудочно-кишечного тракта и равномерно распределяется в органах и тканях (табл.1-7).  $T_{1/2}$  из мягких тканей человека составляет 44 (от 32 до 57) суток.

Табл. 1-6.

Содержание К-40 в окружающей среде.

Источник калия-40	Активность К-40, Бк/кг
Известняк	30 - 40
Гранит	925 – 1200
Песчаники	300 – 400
Фосфатно-калийные удобрения	5900
Азотно-фосфорно-калийные удобрения	1200 – 5900
Почва	37 – 1100
Зерновые	18,5 – 159
Фасоль	229
Овощи свежие	40 – 174
Картофель	174
Орехи	210
Клюква	355
Грибы	277

Табл. 1-7.

Средняя удельная активность К-40 и Rb-87 в органах и тканях взрослого мужчины и создаваемые годовые эквивалентные дозы.

Орган или ткань	К-40		Rb-87	
	Средн.УА <sup>1</sup> , Бк/кг	ГЭД <sup>2</sup> , мЗв	Сред.УА,Бк/кг	ГЭД, мЗв
Организм в целом	60	0,18 <sup>3</sup>	8,5	0,006 <sup>3</sup>
Гонады	64	0,18	18	0,01
Легкие	64	0,18	8,1	0,0045
Красный костный мозг	130	0,27	7,0	0,007
Щитовидная железа	33	0,1	5,3	0,003

Примечание: 1. УА - удельная активность; 2. ГЭД - годовая эквивалентная доза; 3. Годовая эффективная доза.

**ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН** формируется в результате деятельности человека, в основном, за счет источников ионизирующих излучений, используемых в медицине; глобальных выпадений радионуклидов; стройматериалов; телевидения; авиации.

Источники, используемые в медицине, являются основным источником

искусственного облучения и превышают воздействие всех других искусственных источников. Среднемировое значение индивидуальной дозы облучения всего тела вследствие медицинских процедур (главный вклад дает диагностика) составляет 0,4 - 1,0 мЗв/год; в некоторых странах составляет от 50 до 100% ЕРФ. В 1996 году облучение населения Беларуси за счет медицинских источников оценивалось в 2,0 - 2,5 мЗв/год. (Для сравнения: по данным индивидуального дозиметрического контроля в этом же году индивидуальные дозы работников рентгенкабинетов и радиоизотопных лабораторий составляли 2,5 - 6,3 мЗв/год). Для жителей Беларуси важно снижать дозовые нагрузки за счет медицинских источников.

Стройматериалы формируют эффективную дозу, равную 0,1 мЗв/год.

Если человек находится в помещении, доза внешнего облучения изменяется под влиянием двух противоположно действующих факторов:

- а) экранирование внешнего излучения зданием;
- б) излучение естественных радионуклидов, находящихся в материалах, из которых построено здание.

В зависимости от концентрации К-40, Ra-226, U-238 и Th-232 в различных стройматериалах мощность дозы в домах меняется от  $4 \cdot 10^{-8}$  до  $12 \cdot 10^{-8}$  Гр/ч (0,04-0,12 мкГр/ч). В среднем, в кирпичных, бетонных зданиях мощность дозы в 2-3 раза больше, чем в деревянных домах и в домах из синтетических материалов, где она обычно составляет 0,04-0,05 мкГр/ч. Активность естественных радионуклидов не должна превышать утвержденных нормативов: Ra-226 - 0,37 Бк/г, Th-232 - 0,259 Бк/г, К-40 - 48,1 Бк/г. Необходимо отметить, что, чем больше отходов производства пошло на изготовление стройматериала, тем выше может быть его удельная активность.

Табл. 1-8.

Удельная активность Ra-226 и Th-232 в различных стройматериалах (Бк/кг).

Стройматериал	Ra-226	Th-232
Дерево	0,3 - 0,5	0,2 - 1,2
Кирпич	33 - 152	21 - 178
Бетон	11 - 80	9 - 105
Штукатурка из природного гипса	1 - 13	1 - 12
Фософгипс	24 - 255	3 - 22
Газобетон на основе квасцовых глинистых сланцев	320 - 2620	24 - 115

Глобальные выпадения радионуклидов делят на 2 группы:

А. Глобальные выпадения радионуклидов за счет испытаний ядерного оружия.

Б. Глобальные выпадения радионуклидов за счет деятельности предприятий ядерно-топливного цикла.

Глобальными называют выпадения радионуклидов, обнаруживаемые вдали от места выброса, т.е. практически в любой точке Земного шара. Это происходит, когда радионуклиды попадают в верхние слои тропосферы (они могут находиться там до 30 суток) и стратосферу (в стратосфере они задерживаются долго - до нескольких месяцев или лет). Эти радионуклиды долгое время выпадают в различном количестве на различные участки поверхности всего Земного шара.

А. Глобальные выпадения радионуклидов за счет испытаний ядерного оружия.

Начиная с 1945 года каждый из нас подвергался облучению за счет радиоактивных осадков, связанных с испытанием ядерного оружия (ЯО) в атмосфере. Максимум этих испытаний приходится на 2 периода:

- 1) 1954 - 1958 гг., когда взрывы проводили США, СССР и Великобритания;
- 2) 1961 - 1962 гг., когда взрывы проводили в основном США и СССР.

В настоящее время эффективная доза от испытаний ЯО составляет менее 1% от дозы за счет естественных источников излучения и оценивается в 0,02 мЗв/год. Вклад в ожидаемую коллективную эффективную дозу облучения населения от ядерных взрывов, превышающий 1%, дают только 4 радионуклида: С-14, Cs-137, Zr-95, Sr-90.

Дозы облучения при испытаниях ЯО в разные периоды после взрыва формируются за счет разных радионуклидов:

а) максимальное значение в ближайшее время после взрыва имеют радионуклиды с  $T_{1/2}$  от нескольких суток до 2 месяцев, такие как I-131, Ba-140, Sr-89, т.е. они имеют максимальное значение в ближайшее время после взрыва; сюда примыкает Zr-95 ( $T_{1/2} = 64$  дня);

б) Cs-137 и Sr-90 ( $T_{1/2}$  примерно 30 лет) будут давать вклад в облучение приблизительно до конца века, они представляют наибольшую потенциальную опасность;

в) С-14 ( $T_{1/2} = 5730$  лет) будет оставаться источником радиоактивных излучений (хотя и с низкой мощностью дозы) даже в отдаленном будущем, так как к 2000 году он потеряет лишь 7% своей активности.

Б. Глобальные выпадения радионуклидов за счет деятельности предприятий ядерно-топливного цикла.

Ядерный топливный цикл (ЯТЦ) включает следующие стадии: добыча урановой руды; переработка ее в обогащенное U-235 ядерное топливо; производство тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), которые состоят из урана в металлической, карбидной или оксидной форме, заключенного в оболочку из циркония, магниевое сплава или нержавеющей стали; использование ТВЭЛов на АЭС (нормальная эксплуатация АЭС); переработка отработанного ядерного топлива (для последующего использования извлеченного делящегося материала, извлекают в основном уран и плутоний), переработка и захоронение образующихся радиоактивных отходов. Обязательно надо помнить о транспортировке радиоактивных материалов для обеспечения всех этих стадий. Загрязнение окружающей среды радионуклидами происходит на всех стадиях ЯТЦ, но наибольший вклад вносят:

- а) переработка отработанного ядерного топлива на радиохимических заводах; основное значение имеют радионуклиды C-14, Kr-95, H-3, I-129;
- б) нормальная эксплуатация АЭС; при нормальной работе реактора в окружающую среду удаляются (после прохождения системы очистки) газообразные (частично аэрозольные) и жидкие отходы. Основное значение имеют радионуклиды I-131, Cs-137 и 134, Sr-90, а также радиоактивные инертные газы.

В настоящее время эффективная доза за счет использования ядерной энергетики оценивается в 0,1 мкЗв/год.

Оценивая опасность нормальной работы АЭС для человека, необходимо отметить, что проживание вблизи угольной ТЭС мощностью 1000 МВт, с учетом выбросов природных радионуклидов (K-40, U-238, Th-232, Pb-210, Po-210) и химических канцерогенов (бенз[а]пирены), в сотни раз более опасно, чем проживание вблизи АЭС аналогичной мощности (табл.1-9). Ситуация может существенно измениться в результате крупных аварий.

Телевидение - источник мягкого рентгеновского излучения. Мощность эффективной дозы облучения всего тела от цветного телевизора на расстоянии 250 см от экрана равна  $2,5 \cdot 10^{-3}$  мкЗв/ч. Ежедневный в течение года трехчасовой просмотр цветных телепрограмм формирует дозу 5 - 7 мкЗв. За счет телевидения формируется средняя взвешенная годовая эффективная доза, равная 0,01 мЗв.

Использование авиации увеличивает облучение человека за счет радиационного фона, создаваемого космическими лучами, что ведет к формированию годовой эффективной дозы, равной 0,05 мЗв. Во время полета на самолете мощность дозы облучения всего тела составляет 1,35 мкЗв/ч на

высоте 8 км; 5 мкЗв/ч - на высоте 12 км , 13 мкЗв/ч - на высоте 20 км. За 7 час 25 мин. трансатлантического перелета Нью-Йорк - Париж на турбореактивном

Табл. 1-9.

Сравнительная оценка общего ущерба здоровью от ядерного и угольного топливного циклов (ЯТЦ и УТЦ), отнесенная к выработке 1 ГВт\*год.

Вид ущерба*	ЯТЦ	УТЦ
число случаев преждевременной смерти	1	300 (20-600)
общее сокращение продолжительности жизни, чел.*год	20	$1 \cdot 10^4 / (0,06-1,8) \cdot 10^4 /$
общие потери трудоспособности чел.*год	10	$7 \cdot 10^3 / (0.4-12) \cdot 10^3 /$

\* - без учета возможного ущерба здоровью от нераковых заболеваний, вызываемых неканцерогенными компонентами выбросов ТЭС (SO<sub>2</sub>, NO, Hg, Pb, Cd и др.)

Табл. 1-10.

Источники радиационного фона и годовые эффективные дозы облучения населения.

Источник радиационного фона	Годовая эффективная доза , мЗв		
	Внешн. облуч.	внутр. облуч.	сумма
<i>Естественный радиационный фон:</i>			
Внеземное излучение	0,3	0,015	0,315
Земное излучение в том числе: семейство U-238 семейство Th-232 ингаляция Rn-222 K-40 Rb-87	0,35	2,326	2,676
	0,09	0,95	1,04
	0,14	0,19	0,33
		1,0	1,0
	0,12	0,18	0,30
		0,006	0,006
<b>ВСЕГО источники ЕРФ</b>	<b>0,65</b>	<b>2,341</b>	<b>2,991</b>
<i>Техногенно измененный радиационный фон:</i>			
медицинские манипуляции			0,4
строительные материалы			0,1
испытания ЯО и предприятия ЯТЦ			0,02
Телевидение			0,01
Полеты на самолетах			0,05
<b>ВСЕГО источники ТИРФ</b>			<b>0,6</b>
<b>ВСЕГО</b>			<b>3,6</b>

самолете пассажир получает около 50 мкЗв, а пассажир сверхзвукового самолета (время полета - 2 ч 35 мин) около 40 мкЗв, хотя подвергается более интенсивному облучению. Вклад различных источников радиационного фона в формирование годовых эффективных доз облучения иллюстрирует таблица 1-10.

## ГЛАВА 2

# ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.

Принципиальной особенностью действия ионизирующих излучений, в отличие от других повреждающих факторов внешней среды, является дистанционность воздействия источника на организм, т.е. способность проникать в биологические ткани, клетки, субклеточные структуры и повреждать их, вызывая одномоментную ионизацию атомов и молекул за счет физических взаимодействий и радиационно-химических реакций. Причем биологическое действие ионизирующих излучений нельзя рассматривать как элементарный акт. В его формировании выделяют несколько следующих друг за другом стадий:

1. **Физическая стадия.** Длительность стадии составляет примерно  $1 \cdot 10^{-16}$  сек., в течение которых происходит поглощение энергии излучения облучаемой средой с возбуждением и ионизацией её молекул. Этот процесс практически не зависит от условий окружающей среды.
2. **Физико-химическая стадия.** Продолжительность  $1 \cdot 10^{-7}$  сек. Заключается в возникновении активных в химическом отношении свободных радикалов, которые взаимодействуют между собой и с органическими молекулами клетки. Этот процесс слабо зависит от условий окружающей среды.
3. **Химическая стадия.** Длится, как правило, несколько секунд. На этой стадии появляются биохимические повреждения биологически важных макромолекул (белков, нуклеиновых кислот, липидов, углеводов). Этот процесс существенно зависит от условий окружающей среды: температуры, фазового состояния и т.д. Например, свободные радикалы, образующиеся в зубной эмали под действием ионизирующего излучения на физико-химической стадии, практически не видоизменяются со

временем на химической стадии, что позволяет использовать данный факт в биологической дозиметрии.

4. **Биологическая стадия.** Заключается в формировании повреждений на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях, формировании отдаленных последствий облучения. Длительность этой стадии может сильно варьировать (часы, недели, годы), что связано с особенностями протекания патофизиологических процессов в различных органах и тканях. Например, для развития опухоли или лучевой катаракты требуется значительно больше времени, чем для развития острой лучевой болезни.

Основная часть энергии заряженных частиц и гамма-квантов, взаимодействующих с веществом, идёт на его ионизацию и возбуждение. Под *ионизацией* понимают отрыв электрона от атома или молекулы, в результате чего они преобразуются в положительно заряженные ионы. Если энергии излучения недостаточно для полного отрыва электрона, то происходит *возбуждение*, т.е. переход электрона на удалённую от ядра орбиталь. Заряженные частицы (альфа- и бета-частицы) производят ионизацию непосредственно и относятся к так **называемым *прямо ионизирующим излучениям***. Механизм потери энергии этих частиц в поглотителе в основном обусловлен кулоновским взаимодействием с орбитальными электронами атомов вещества. Электрически нейтральные излучения (гамма, рентгеновское, нейтронное) ионизируют атомы среды в результате вторичных процессов. По этой причине они носят название ***косвенно ионизирующих излучений***. Степень ионизации зависит как от свойств самого излучения (энергия, заряд частиц), так и от структуры облучаемого объекта. Основными свойствами излучений являются линейная плотность ионизации и линейная передача энергии.

*Линейная плотность ионизации* (удельная ионизация) - это число пар ионов, образованных заряженной частицей на микрометр пробега в веществе.

*Линейная передача энергии* (ЛПЭ) - средняя энергия, теряемая заряженной частицей на единице длины её пробега в веществе. За единицу измерения принимают килоэлектрон-вольт на микрометр пути (кэВ/мкм). Для электрически нейтральных видов излучения ЛПЭ не применяется, но используется значение ЛПЭ вторичных заряженных частиц, образующихся в веществе. В зависимости от ЛПЭ все излучения делятся на *редкоионизирующие* (ЛПЭ < 10 кэВ/мкм) и *плотноионизирующие* (ЛПЭ > 10 кэВ/мкм) (пограничная величина 10 кэВ/мкм). К Редкоионизирующим излучениям относят бета-, гамма- и рентгеновское излучения, к плотноионизирующим относят альфа- и нейтронное излучения. ЛПЭ заряженных частиц возрастает по мере снижения их скорости, поэтому в конце пробега отдача энергии заряженной частицей максимальна.

Рассмотрим особенности взаимодействия с веществом различных видов излучений.

**Альфа-излучение** представляет собой поток альфа частиц и обладает высокой ионизирующей способностью, образуя несколько десятков тысяч пар ионов на микрометр пробега в веществе. По мере продвижения альфа-частицы в веществе плотность ионизации возрастает в несколько раз (с 20 000 до 80 000 пар ионов на 1 мкм пути) и затем, практически при завершении пробега, резко падает (рис.2-1).

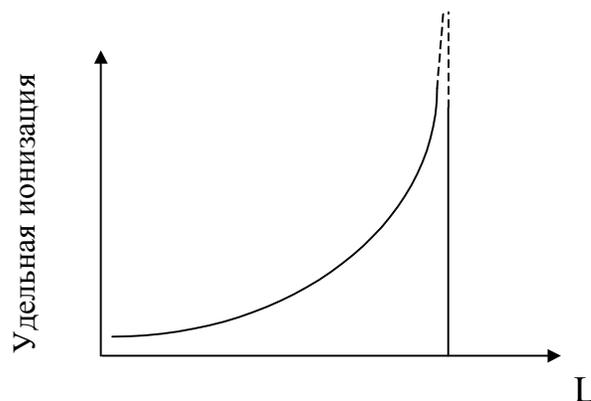


Рис 2-1. Зависимость Удельной ионизации от пробега (L) альфа-частицы в веществе.

График, отражающий зависимость ЛПЭ альфа-излучения от пройденного в веществе пути, носит название кривой Брега.

Эту особенность взаимодействия используют при лечении опухолей, т.к. она позволяет сосредоточить значительную энергию на глубине поражённой ткани при минимальном рассеянии в здоровых тканях. Траектории альфа-частиц в веществе прямолинейны, что связано с их большой массой. Пробег в воздухе составляет несколько сантиметров, в жидкостях и биологических тканях - от 10 до 100 мкм. Несмотря на небольшую глубину проникновения альфа-частиц в живую ткань, их разрушительное действие весьма значительно из-за высокой ионизирующей способности. Элементарной защитой от внешнего  $\alpha$ -излучения может служить любой плотный материал даже незначительной толщины, например, лист бумаги.

**Бета-излучение** представляет собой поток  $\beta$ -частиц. Бета-излучение обладает меньшей ионизирующей способностью по сравнению с  $\alpha$ -излучением. Бета-частица образует несколько десятков пар ионов на микрометр пробега в веществе. При этом кроме ионизации, за счёт торможения электронов в веществе (особенно в веществе, состоящем из атомов с большим порядковым номером) возникает тормозное рентгеновское излучение. Чем выше энергия излучения, тем более жестким будет тормозное излучение. Это свойство потока электронов используется в рентгеновских трубках. Из-за малой массы  $\beta$ -частицы при продвижении в веществе отклоняются на большие углы, поэтому траектория их очень извилиста. Проникающая способность  $\beta$ -частиц в воздухе измеряется метрами, в биологической ткани составляет несколько сантиметров. Элементарная защита от  $\beta$ -излучателей - тонкий слой легкого металла (алюминиевая фольга).

**Гамма-излучение** представляет собой поток  $\gamma$ -квантов и является

одним из наиболее проникающих. Его проникающая способность зависит как от энергии  $\gamma$ -квантов, так и от свойств вещества. В процессе прохождения через вещество  $\gamma$ -кванты (фотоны) взаимодействуют с электронами атомов, электрическим полем ядра, а также с нейтронами и протонами, входящими в состав ядра. В результате этих взаимодействий происходит ослабление плотности потока излучения благодаря рассеянию  $\gamma$ -квантов и передачи их энергии атомам среды. Гамма-кванты относятся к косвенно ионизирующему излучению. По отношению к фотонному излучению говорить о длине свободного пробега некорректно, так как какой бы толщины ни была среда, данное излучение полностью не поглощается, а лишь ослабляется в любое заданное число раз. Ослабление гамма-излучения в веществе происходит за счёт различных эффектов взаимодействия: фотоэффекта, эффекта Комптона, эффекта образования пары «электрон-позитрон».

При *фотоэлектрическом поглощении* (фотоэффекте) фотоны ( $\gamma$ -кванты) полностью передают свою энергию электронам внутренней орбитали атома. В результате фотон поглощается, а его энергия расходуется на отрыв электрона и сообщение ему кинетической энергии. При этом электрон вырывается из поля атома и производит в дальнейшем ионизацию вещества (рис.2-2).

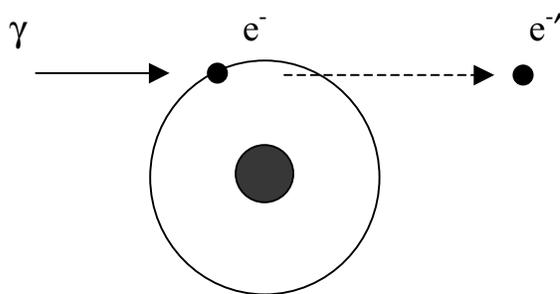


Рис. 2-2. Схема фотоэффекта.

Место выбитого фотоэлектрона занимает другой электрон, с более высокой орбитали, что сопровождается испусканием низкоэнергетического характеристического рентгеновского излучения или Оже-электронов. Чем

больше энергия связи электрона, чем ближе он находится к ядру, тем больше вероятность передачи ему всей энергии  $\gamma$ -кванта. По этой же причине с ростом номера элемента или его заряда вероятность фотоэффекта возрастает. Очевидно в то же время, что с увеличением энергии излучения она быстро падает.

Возникновение фотоэффекта наиболее характерно для мягкого  $\gamma$ -излучения (до 0,5 Мэв). Учитывая тот факт, что для биологических тканей энергия выбивания электрона не превышает 0,5 Мэв, можно говорить о наибольшей вероятности именно этого эффекта при поглощении мягкого  $\gamma$ -излучения.

Суть *комptonовского рассеивания* (Комптон-эффекта) заключается в том, что фотон ( $\gamma$ -квант) передает электрону лишь часть своей энергии, а сам меняет направление своего движения. В отличие от фотоэффекта такое рассеивание происходит в основном на электронах внешних оболочек атомов с минимальной энергией связи. С ростом энергии излучения вероятность такого взаимодействия снижается, но медленнее, чем при фотоэффекте.

При *эффекте Комптона*  $\gamma$ -квант передаёт часть своей энергии орбитальному электрону, выбивая его из атома, трансформируясь во вторичный квант с меньшей энергией (рис.2-3).

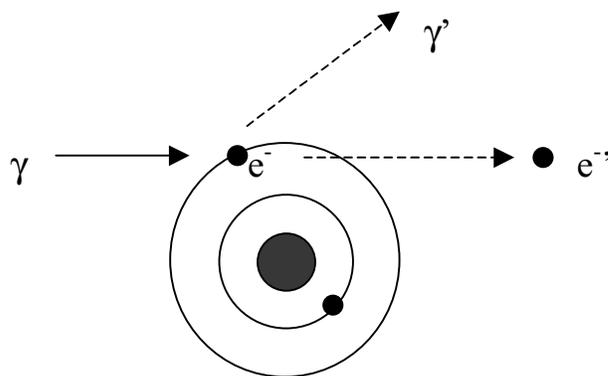


Рис. 2-3. Схема Комpton-эффекта.

Выбитый электрон производит в дальнейшем ионизацию. Затем

вторичный фотон может вновь претерпевать эффект Комптона и т.д. Этот эффект наиболее вероятен при энергии  $\gamma$ -квантов 0,5-1 МэВ.

Образование пары электрон-позитрон возможно только при значительной энергии  $\gamma$ -кванта ( $>1$  МэВ). Такой квант взаимодействует с атомным ядром и в его поле преобразуется в пару частиц - электрон и позитрон (рис. 2-4).

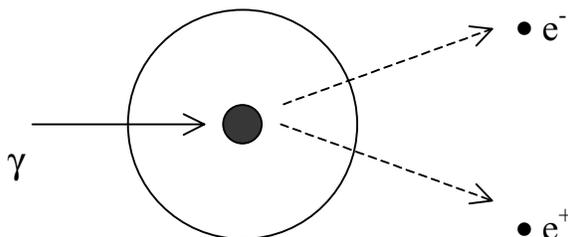


Рис. 2-4. Схема эффекта образования электрон-позитронной пары.

Эти частицы производят в дальнейшем ионизацию. Позитрон, встречая на своем пути электрон, соединяется с ним и превращается в 2 фотона (аннигиляция). Образующиеся фотоны поглощаются средой в результате эффекта Комптона или фотоэффекта.

**Нейтронное излучение** представляет собой поток нейтронов. Нейтроны не имеют заряда, поэтому беспрепятственно проникают вглубь атомов, взаимодействуя непосредственно с ядрами. При этом возможны следующие эффекты взаимодействия:

- упругое рассеяние;
- неупругое рассеяние;
- поглощение (радиационный захват).

При *упругом рассеянии* нейтрон передаёт ядру часть своей энергии и отклоняется от первоначального направления (рис. 2-5). Ядро, с которым взаимодействует нейтрон (так называемое ядро отдачи), начинает двигаться и ионизировать другие атомы и молекулы.

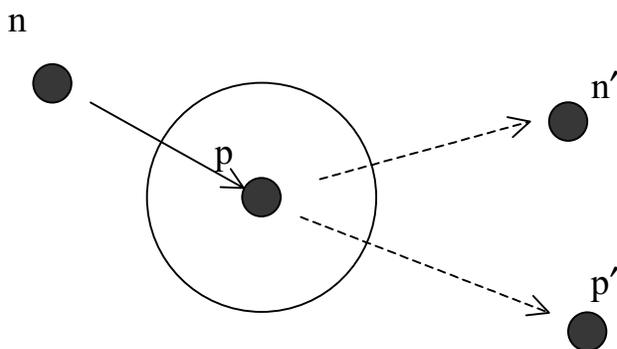


Рис. 2-5. Схема упругого рассеяния нейтрона на ядре атома водорода.

Такой эффект наиболее характерен для быстрых нейтронов. Самый важный пример упругого рассеяния -

рассеяние на ядрах водорода (протонах). При этом нейтрон передаёт протону более половины своей энергии с образованием протона отдачи. Поэтому для замедления быстрых нейтронов используют вещества, содержащие водород (вода, парафин).

При *неупругом рассеянии* часть кинетической энергии нейтрона тратится на возбуждение ядра отдачи, которое затем переходит в стабильное состояние, излучая гамма-квант (рис. 2-6).

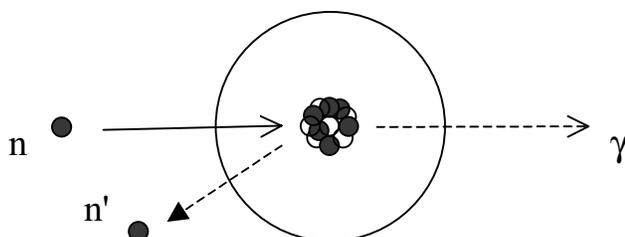


Рис. 2-6. Схема неупругого рассеяния нейтронного излучения.

Нейтроны могут поглощаться ядрами (*радиационный захват*). При этом ядро переходит в возбуждённое состояние и испускает гамма-квант (рис. 2-7) или частицы (протон, нейтрон, альфа-частицу).

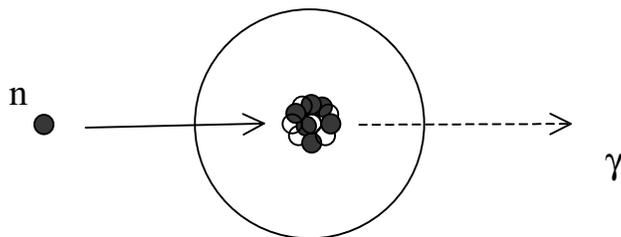


Рис. 2-7. Схема радиационного захвата нейтронного излучения.

Следовательно, в результате радиационного захвата многие вещества становятся радиоактивными с образованием так называемой наведенной активности. Этот эффект наиболее характерен для медленных нейтронов. Лучшими поглотителями медленных нейтронов являются кадмий и бор.

### **Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений. Радиоллиз воды.**

#### **Кислородный эффект.**

На этой стадии происходит образование свободных радикалов. Свободные радикалы - это электрически нейтральные атомы или молекулы с неспаренным электроном на внешней орбитали. Они являются весьма реакционноспособными, т.к. имеют тенденцию спаривать этот электрон с аналогичным электроном в другом свободном радикале, либо удалять его из атома путём электронного излучения. Следовательно, свободные радикалы могут быть как окислителями (акцепторами), так и восстановителями (донорами).

В основе первичных радиационно-химических изменений на данной стадии могут лежать 2 механизма действия ионизирующих излучений:

- 1) прямое действие - когда молекула претерпевает изменения непосредственно при взаимодействии с ионизирующим излучением;
- 2) косвенное действие - когда молекула непосредственно не поглощает энергию от ионизирующих излучений, а получает её от других молекул.

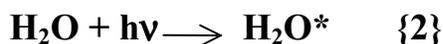
Поскольку живая материя на 70-90% состоит из воды, то большая часть энергии излучения первично поглощается именно молекулами воды.

Таким образом, в основе косвенного действия ионизирующего излучения лежит воздействие продуктов *радиолиза воды* на биомолекулы. Механизм радиолиза воды заключается в следующем.

При воздействии ионизирующего излучения в воде идут процессы *ионизации* или *возбуждения*. В результате ионизации из молекулы воды выбивается электрон и образуется положительно заряженная молекула воды:



Если энергии для ионизации недостаточно, то возможно образование возбуждённой молекулы воды :



Освободившийся при ионизации молекулы воды электрон {1} постепенно теряет свою энергию и может быть захвачен другой молекулой воды, которая превращается в отрицательно заряженную молекулу воды:



Все перечисленные первичные продукты взаимодействия молекулы воды с излучением ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}^*$ ) являются нестабильными и распадаются с образованием ионов и свободных радикалов:

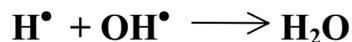
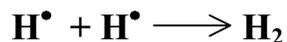


Кроме того, выбитый электрон может окружить себя четырьмя молекулами воды и превратиться в гидратированный электрон  $e^-_{\text{aq}}$  и может быть захвачен молекулой  $\text{H}_2\text{O}^+$  с образованием возбужденной молекулы воды:

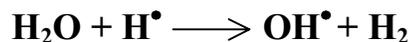


Возбуждённая молекула воды распадается на атомарный водород  $\text{H}^\bullet$  и

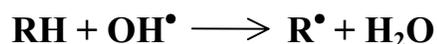
гидроксильный радикал  $\text{OH}^\bullet$  {6}. Далее радикалы могут реагировать друг с другом. Это в первую очередь касается радикалов  $\text{H}^\bullet$  и  $\text{OH}^\bullet$ , образующихся при распаде  $\text{H}_2\text{O}^*$ , после реакции {2}:



Образовавшиеся радикалы могут вступать в реакцию с другими молекулами воды:



Продукты радиолиза воды способны вырывать атом водорода из органических молекул, превращая их в радикалы:



Продукты радиолиза воды могут также реагировать с молекулами растворенного кислорода, в результате чего образуются перекисные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью:



В целом для продуктов радиолиза воды наиболее характерны реакции окисления или восстановления субстрата, образования радиотоксинов. К окислителям относят следующие продукты радиолиза воды:



К восстановителям относят  $\text{H}^\bullet, e^-_{\text{aq}}$ .

Образование радиотоксинов происходит в результате реакции с хиноном и убихиноном;

Необходимо отметить, что в присутствии кислорода

образуются дополнительные реакционноспособные радикалы, которые обладают выраженным поражающим действием. Кроме того, молекула кислорода обладает электронакцепторными свойствами, активно взаимодействует с образующимися при действии излучения радикалами биологических молекул, как бы фиксирует возникшие в них потенциальные повреждения и делает их труднодоступными для репарации.

Следовательно, в присутствии кислорода отмечается усиление лучевого повреждения по сравнению с анаэробными условиями. Это явление известно в радиобиологии как *кислородный эффект*.

Количественной мерой кислородного эффекта служит коэффициент кислородного усиления. При облучении отдельных клеток он равен 3, т.е. в присутствии кислорода лучевое повреждение усиливается втрое.

Для проявления такого действия кислород должен присутствовать в клетке в момент облучения. Однако в дальнейшем кислород играет положительную роль: он необходим для нормальной работы системы репарации ДНК.

Таким образом, в формировании лучевого повреждения кислород ведёт себя двояко: усиливая первичные процессы повреждения в момент воздействия излучения, он одновременно стимулирует процессы внутриклеточного восстановления после облучения.

Кислородный эффект зависит от ЛПЭ: с увеличением ЛПЭ он уменьшается и при действии, например, альфа-излучения исчезает.

На кислородном эффекте основаны методы управления тканевой радиочувствительностью, используемые в лучевой терапии опухолей – оксигенорадиотерапия и гипоксиррадиотерапия.

*Оксигенорадиотерапия* (оксибарорадиотерапия). Во время сеанса лучевой терапии больной дышит чистым кислородом при нормальном или увеличенном в 2-3 раза атмосферном давлении. Напряжение кислорода в

здоровых тканях при этом увеличивается незначительно (есть предел насыщения). В опухоли давление кислорода поднимается до такого же уровня, но по сравнению с исходным уровнем его содержание возрастает во много раз, следовательно, повышается и радиочувствительность опухолевой ткани.

*Гипооксирадиотерапия.* Во время сеанса лучевой терапии больной дышит гипоксической газовой смесью (содержание кислорода 7-10% вместо 21%). Напряжение кислорода в здоровой ткани уменьшается, а в опухоли останется прежним, что позволяет повысить дозу облучения на опухоль.

### **Действие ионизирующих излучений на белки.**

До 20% поглощенной энергии связано с повреждением белков. Под действием ионизирующего излучения из молекулы белка выбивается электрон. Образуется дефектный участок, лишенный электрона, который мигрирует по полипептидной цепи за счет переброски соседних электронов до тех пор, пока не достигнет участка с повышенными электрон-донорными свойствами. В этом месте в боковых цепях аминокислот возникают свободные радикалы. Такие события происходят в результате прямого действия ионизирующих излучений. При косвенном действии образование свободных радикалов происходит при взаимодействии белковых молекул с продуктами радиолитического распада воды. Образование свободных радикалов влечет за собой изменения структуры белка:

- разрыв водородных, гидрофобных, дисульфидных связей;
- модификация аминокислот в цепи;
- образование сшивок и агрегатов;
- нарушение вторичной и третичной структуры белка.

Такие нарушения в структуре белка приводят к нарушению его функций (ферментативной, гормональной, рецепторной и др.).

### **Действие ионизирующих излучений на нуклеиновые кислоты.**

Около 7% поглощенной дозы приходится на ядерную ДНК. Механизм повреждения сходен с повреждением белка: выбивание электрона, миграция дефектного участка по полинуклеотидной цепи (несколько сотен азотистых оснований) до участка с повышенными электрон-донорными свойствами. Таким местом является чаще всего участок локализации тимина или цитозина, где и образуются свободные радикалы этих оснований. При косвенном действии ионизирующих излучений на нуклеиновые кислоты к образованию свободных радикалов приводит взаимодействие с продуктами радиолиза воды. Образование свободных радикалов приводит к нарушению структуры ДНК, в основе которого лежат следующие механизмы:

- одно- и двунитевые разрывы;
- модификация азотистых оснований;
- образование тиминовых димеров;
- сшивки ДНК–ДНК, ДНК-белок.

При дозе 1 Гр в каждой клетке человека повреждается около 5000 азотистых оснований, возникает примерно 1000 одиночных и от 10 до 100 двойных разрывов.

Определенное число одиночных разрывов образуется даже при малых дозах излучения, но они не приводят к поломкам молекулы ДНК, т.к. куски поврежденной молекулы прочно удерживаются на месте водородными связями с комплементарной нитью ДНК и хорошо поддаются восстановлению.

Репарация повреждений в ДНК является сложным процессом. Все механизмы репарации в клетке многократно продублированы и могут идти

разными путями, находящимися под генетическим контролем. Некоторые виды репарации являются практически безошибочными. К ним относят фотореактивацию и эксцизионную репарацию коротких участков. В отличие от них, так называемая SOS-репарация часто бывает ошибочной, т.к. является попыткой восстановить структуру ДНК любой ценой при серьезных массивных повреждениях.

Репарация генетических повреждений обеспечивается десятками ферментов, многие из которых участвуют также в процессах репликации и рекомбинации. Известно 7 основных групп ферментов, участвующих в репарации:

1. нуклеозидазы (производят выщепление оснований по N-гликозидной связи с образованием, так называемых, АП-сайтов - апуриновых или апириимидиновых участков);
2. инсертазы (производят встраивание оснований в АП-сайты);
3. лиазы (производят расщепление пиримидиновых димеров)
4. эндонуклеазы (проводят инцизию - разрез ДНК возле повреждения);
5. экзонуклеазы (проводят эксцизию - удаление поврежденного участка);
6. ДНК-полимеразы (проводят синтез ДНК по комплементарной матрице);
7. ДНК-лигазы (производят сшивку нуклеотидов).

Рассмотрим основные типы репарации ДНК.

1. **Прямая репарация.** К ней относят несколько видов репарации:

- **Фотореверсия.** Происходит за счет работы фотолиаз, причем начальный этап - образование фермент-субстратного комплекса - может идти и в темноте:



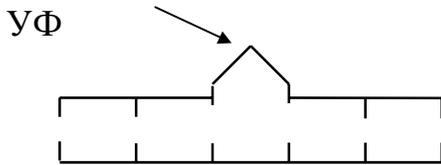
E – фермент (энзим),

S – субстрат

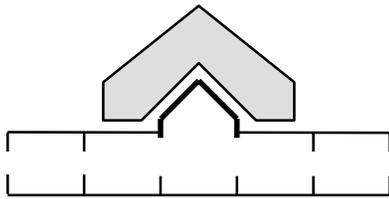
P - продукт реакции

Для работы фотолиазы требуется свет с длиной волны  $\approx 350$  нм. Этапы фотореверсии представлены ниже:

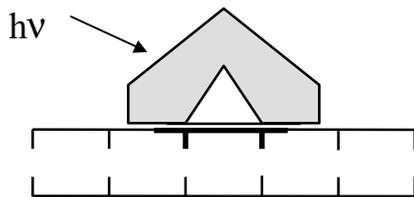
А. Повреждение ДНК с образованием димера под действием УФ-излучения:



Б. Образование фермент-субстратного комплекса с эндонуклеазой:



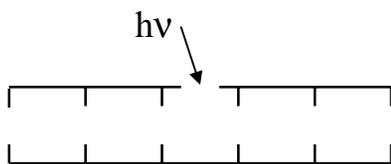
В. Восстановление структуры ДНК:



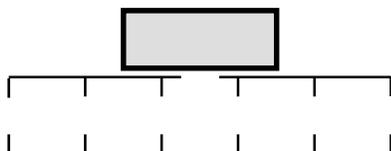
• **Восстановление одиночных разрывов (с участием ДНК-лигазы).**

Данный вид репарации весьма характерен при действии ионизирующих излучений, вызывающих образование большого числа односторонних разрывов ДНК. Его этапы представлены ниже.

А. Повреждение ДНК с образованием одиночного разрыва:



Б. Образование фермент-субстратного комплекса с ДНК-лигазой:



## В. Восстановление структуры ДНК:

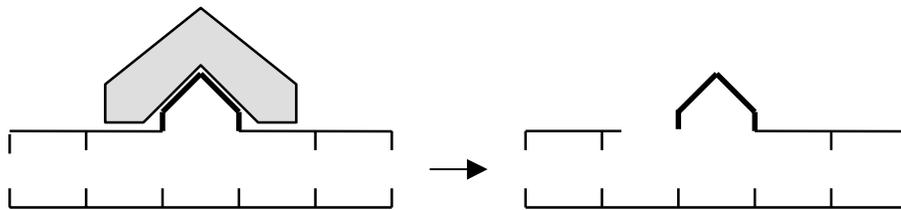
Другие виды прямой репарации:

- Восстановление структуры азотистых оснований (удаление лишних метильных групп, восстановление разрывов циклических структур);
- Замена азотистых оснований (с участием ДНК-гликозидаз).

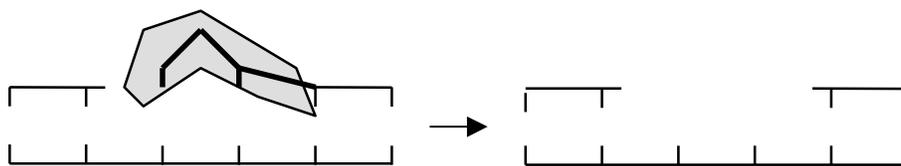
### 2. Репарация с использованием комплементарной цепи (эксцизионная репарация).

Существует несколько разновидностей эксцизионной репарации, наиболее изученной из которых является «темновая репарация». Основные этапы этого процесса одинаковы у различных видов организмов:

1 этап - *incisio* (разрезание) - эндонуклеаза "узнает" поврежденный участок и производит разрез:

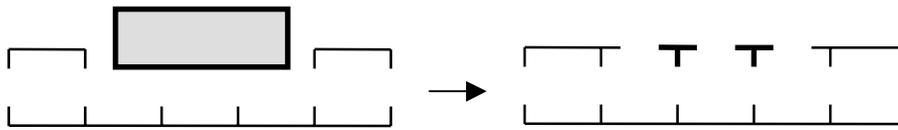


2 этап – *excisio* (вычленение) - экзонуклеаза удаляет поврежденный участок:

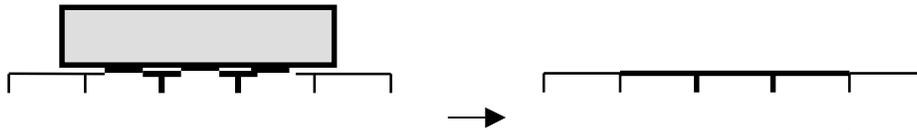


3 этап - репаративный синтез с помощью ДНК-полимеразы:



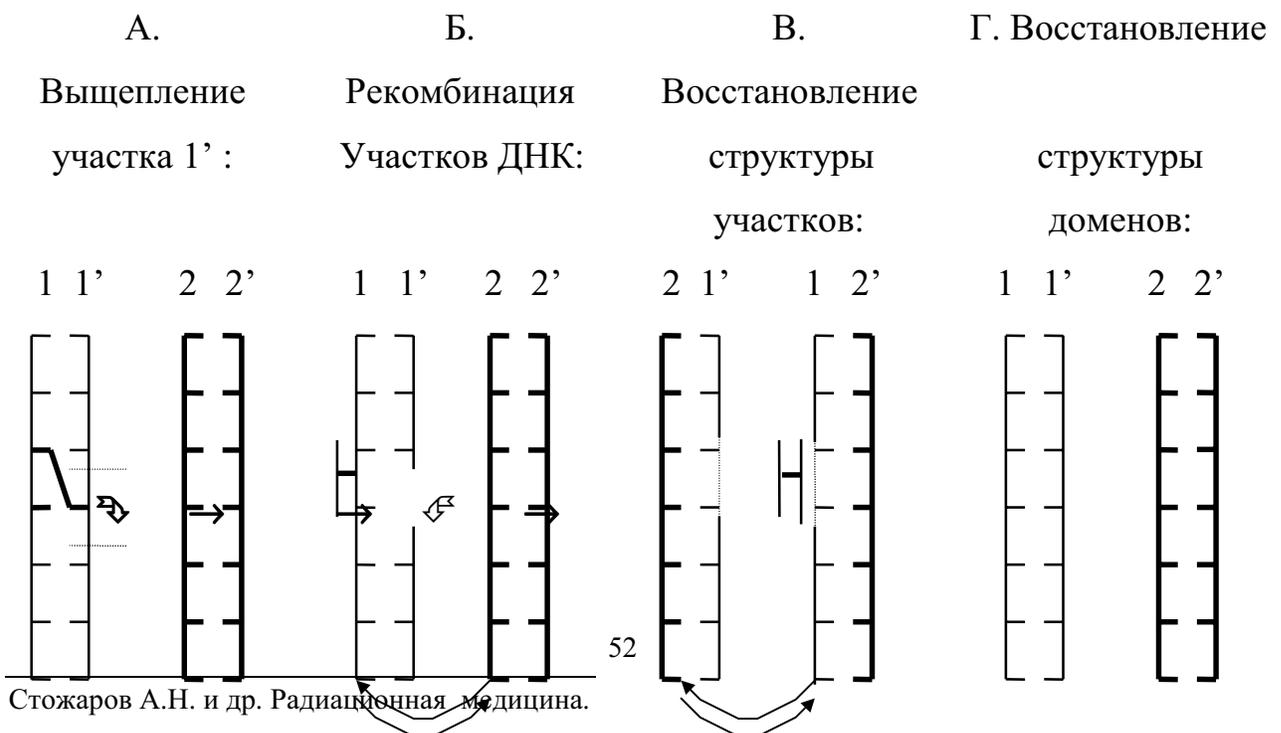


4 этап - сшивка восстановленных участков ДНК-лигазой:



3. **Репарация с использованием межмолекулярной информации.** К этому типу репарации относят восстановление двойных разрывов и репарацию поперечных сшивок.

- Восстановление двойных разрывов возможно только тогда, когда имеется копия генетической информации (например, при диплоидном наборе хромосом). В этом случае основой репарации является достаточно сложный процесс рекомбинации с реципрокным обменом нитей ДНК и последующим восстановлением повреждений. При этом образуются, так называемые, структуры Холидея, которые в дальнейшем подвергаются разделению с образованием 2 нормальных нитей ДНК.
- Репарация поперечных сшивок внутри ДНК происходит по схеме «выщепление-рекомбинация-синтез». Ее этапы представлены ниже:



**4. Индуцибельная репарация.** К этому виду репарации относят SOS-репарацию и постадаптационную репарацию.

- SOS-репарация запускается в клетке при наличии сигнала бедствия - появления свободных фрагментов полинуклеотидной цепи, что указывает на серьезные повреждения ДНК. При этом клетка пытается восстановить структуру ДНК, невзирая на степень ее повреждения. Достигается это, в частности, снижением 3'-5' - корректорской функции ДНК-полимеразы, что помогает быстро, но не всегда безошибочно, восстанавливать структуру.
- Постадаптационная репарация впервые была описана при исследовании культуры лимфоцитов, которые, как известно, обладают повышенной чувствительностью к воздействию ионизирующих излучений. Оказалось, что после предварительного облучения культуры лимфоцитов при суммарной дозе около 30 сГр с низкой интенсивностью в течение 4 часов развивалась повышенная устойчивость к повреждению ДНК, длившаяся около 66 часов (3 клеточных цикла). Механизм этого явления еще до конца не изучен.

Таким образом, механизмы репарации генетических повреждений представляют собой сложную продублированную систему защиты генетической информации клетки и, следовательно, являются основой обеспечения надежности биологических систем. Именно поэтому большинство одиночных разрывов репарируются даже в летально облученных клетках и не являются причиной, определяющей гибель клетки. Однако нерепарированные одиночные разрывы могут в последующем привести к образованию двойных разрывов, плохо поддающихся

восстановлению. Двойные разрывы могут возникнуть в результате единичного акта ионизации либо при совпадении одиночных разрывов на комплементарных нитях. Двойные разрывы опасны для клетки, т.к. они не всегда поддаются репарации и служат непосредственной причиной возникновения хромосомных aberrаций. Основными видами хромосомных aberrаций являются:

- Фрагментация хромосом;
- Образование хромосомных мостов, дицентриков, кольцевых хромосом (рис. 2-8);
- Появление внутри- и межхромосомных обменов.



Рис. 2-8. Изменение структуры хромосом под действием ионизирующего излучения.

Часть aberrаций (например, мосты) механически препятствуют делению клетки. Появление обменов, ацентрических фрагментов приводит к неравномерному разделению хромосом и утрате генетического материала, а это вызывает гибель клеток из-за недостатка метаболитов, синтез которых кодировался утраченной частью ДНК.

### **Действие ионизирующих излучений на липиды.**

Под влиянием облучения происходит образование свободных радикалов ненасыщенных жирных кислот, которые при взаимодействии с кислородом образуют перекисные радикалы, а они, в свою очередь, реагируют с нативными жирными кислотами. Это процесс перекисного окисления липидов.

Так как липиды являются основой биомембран, то перекисное окисление повлечет за собой изменение их свойств. А поскольку клетка представляет собой систему взаимосвязанных мембран и многие процессы клеточного метаболизма проходят именно на мембранах, то в клетке нарушаются биохимические процессы. Выражено нарушение энергетического обмена, что связано с повреждением митохондрий.

Нарушение целостности наружной мембраны клетки приводит к сдвигу ионного баланса клетки из-за выравнивания концентраций натрия и калия.

### **Действие ионизирующего излучения на углеводы.**

Под действием ионизирующего излучения происходит отрыв атома водорода от кольца углеводной молекулы, образуются свободные радикалы, а затем перекиси. Из продукта распада углеводов - глицеринового альдегида - синтезируется метилглиоксаль - вещество, ингибирующее синтез ДНК и белка и подавляющее деление клеток. Чувствительна к облучению гиалуроновая кислота, являющаяся составным элементом соединительной ткани.

### **Реакция клеток на облучение**

(биологическая стадия)

Возможны три типа реакции клетки на облучение:

- 1) Радиационный блок митозов;
- 2) Митотическая (репродуктивная) гибель клетки;

### 3) Интерфазная гибель клетки.

Наиболее универсальной реакцией клетки на воздействие ионизирующих излучений является временная задержка деления или *радиационный блок митозов*. Длительность его зависит от дозы: на каждый Грей дозы клетка отвечает задержкой митоза в 1 час. Проявляется этот эффект независимо от того, выживет ли клетка в дальнейшем. Причем с увеличением дозы облучения увеличивается не число реагирующих клеток, а именно время задержки деления каждой облученной клетки. Эта реакция имеет огромное приспособительное значение: увеличивается длительность интерфазы, оттягивается вступление клетки в митоз, создаются благоприятные условия для нормальной работы системы репарации ДНК.

При больших дозах, чем необходимы только для развития радиационного блока митозов, развивается *митотическая гибель клетки*. Это *полная потеря клеткой способности к размножению*. Данный тип реакции не относится к клеткам, не делящимся или делящимся редко. В клетке не выражены дегенеративные процессы. Показателем выживаемости клетки является ее способность проходить 5 и более делений.

Варианты митотической гибели: 1) клетка гибнет в процессе одного из первых четырех пострадиационных митозов, невзирая на отсутствие видимых изменений;

2) облученные клетки после первого пострадиационного митоза формируют так называемые "гигантские" клетки (чаще в результате слияния "дочерних" клеток). Такие клетки способны делиться не более 2-3 раз, после чего погибают.

Основная причина митотической гибели клетки - повреждение хромосомного аппарата клетки, приводящее к дефициту синтеза ДНК.

*Интерфазная гибель клетки* наступает до вступления клетки в митоз. Для большинства соматических клеток человека она регистрируется после

облучения в дозах в десятки и сотни Гр. Лимфоциты (радиочувствительные клетки) гибнут по этому механизму даже при небольших дозах. В клетке наблюдаются различные дегенеративные процессы вплоть до её лизиса.

Механизм интерфазной гибели следующий. За счёт разрывов в молекуле ДНК нарушается структура хроматина. В мембранах идёт процесс перекисного окисления липидов. Изменения ДНК-мембранного комплекса вызывают остановку синтеза ДНК. Повреждение мембраны лизосом приводит к выходу из них ферментов - протеаз и ДНК-аз. Эти ферменты разрушают ДНК, что ведёт к пикнозу ядра. Повреждение мембран митохондрий ведёт к выходу из них кальция, который активирует протеазы. Все это приводит к гибели клетки.

### ГЛАВА 3

## РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ.

### РАДИАЦИОННОЕ ПОРАЖЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА.

Проблема радиочувствительности занимает центральное место в радиобиологии и радиационной медицине. Познание природы радиочувствительности и механизмов ее регуляции имеет как теоретическое, так и практическое значение, т.к. позволяет разрабатывать методы управления лучевыми реакциями тканей.

**Радиочувствительность** - это чувствительность биологических объектов к действию ионизирующих излучений. Синонимом данного понятия служит **радиопоражаемость**. Альтернативными понятиями являются **радиоустойчивость** или **радиорезистентность**.

При сравнении радиочувствительности различных биосистем необходимо использовать адекватные критерии, в качестве которых можно использовать либо непосредственное изменение выживаемости изучаемых объектов в результате облучения в определенных дозах, либо количественные показатели поражения, которые в данном диапазоне доз связаны с выживаемостью. Наиболее часто в качестве меры радиочувствительности используется  $LD_{50}$  — доза облучения, вызывающая гибель 50% облучённых организмов за различное время после облучения (в зависимости от вида живых организмов).

Различные виды живых организмов существенно различаются по своей радиочувствительности, о чем можно судить, сравнив величины  $LD_{50}$  (табл.3-1). Степень радиочувствительности сильно варьируется в пределах одного вида (индивидуальная радиочувствительность), в пределах одного организма клетки и ткани также значительно различаются по своей радиочувствительности.

Следовательно, чтобы правильно оценить последствия облучения организма человека, необходимо оценить радиочувствительность на различных уровнях - клеточном, тканевом, органном, организменном. На клеточном уровне радиочувствительность зависит от ряда факторов:

- организация генома (в т.ч. кариопикнотический индекс);
- состояние системы репарации ДНК;
- содержание в клетке антиоксидантов;

- активность ферментов, утилизирующих продукты радиолиза воды (например, каталаза, разрушающая перекись водорода, или супероксиддисмутаза, инактивирующая супероксидный радикал);
- интенсивность окислительно-восстановительных процессов.

Табл. 3-1.

Диапазоны радиочувствительности различных организмов.

Разновидность живых организмов	ЛД <sub>50</sub> , Гр
Овца	1,5-2,5
Рыбы	8,0-20,0
Собака	2,5-3,0
Змея	80-200
Насекомые	10-100
Растения	10-1500
Птицы	8-20
Бактерии	1000-3000
Обезьяна	2,5-6,0
Человек	2,5-4,0

На тканевом уровне выполняется **правило Бергонье-Трибондо**: радиочувствительность ткани прямо пропорциональна пролиферативной активности и обратно пропорциональна степени дифференцировки составляющих ее клеток.

Следовательно, наиболее радиочувствительными в организме будут ткани, имеющие резерв активно размножающихся малодифференцированных клеток, например: кроветворная ткань, гонады, эпителий тонкого кишечника. Наименее радиочувствительными (наиболее радиорезистентными) будут высокоспециализированные малообновляющиеся ткани, например: мышечная, костная, нервная. Исключением из правила Бергонье-Трибондо являются лимфоциты. Эти высоко специализированные клетки отличаются высокой радиочувствительностью.

На органном уровне радиочувствительность зависит не только от радиочувствительности тканей, составляющих данный орган, но и от его функций. Следует рассмотреть действие излучения на отдельные органы и системы при внешнем облучении.

- **Семенники.** В них постоянно идёт размножение сперматогониев, которые обладают высокой радиочувствительностью. Напротив, сперматозоиды (зрелые

клетки) являются более радиорезистентными. Уже при дозах облучения свыше 0,15 Гр происходит клеточное опустошение семенников. При облучении в дозах 3,5 - 6 Гр возникает постоянная стерильность. При этом не следует смешивать радиационную стерильность с половой потенцией, на которую (как установлено в экспериментах на животных) облучение не оказывает видимого влияния.

- **Яичники.** В яичниках взрослой женщины содержится популяция незаменимых овоцитов (их образование заканчивается в ранние сроки после рождения). Воздействие однократного облучения в дозе 1 - 2 Гр на оба яичника вызывает временное бесплодие и прекращение менструаций на 1-3 года. При остром облучении в диапазоне доз 2,5 - 6 Гр развивается стойкое бесплодие.

- **Органы пищеварения.** Наибольшей радиочувствительностью обладает тонкий кишечник. Далее по снижению радиочувствительности следуют полость рта, язык, слюнные железы, пищевод, желудок, прямая и ободочная кишки, поджелудочная железа, печень.

- **Сердечно-сосудистая система.** В сосудах большей радиочувствительностью обладает наружный слой сосудистой стенки, что объясняется высоким содержанием коллагена. Сердце считается радиорезистентным органом, однако при локальном облучении в дозах 5-10 Гр можно обнаружить изменения миокарда. При дозе 20 Гр отмечается поражение эндокарда.

- **Органы дыхания.** Лёгкие взрослого человека - стабильный орган с низкой пролиферативной активностью. Последствия облучения легких проявляются не сразу. При локальном облучении может развиваться радиационный пневмонит, сопровождающийся потерей эпителиальных клеток, воспалением дыхательных путей и легочных альвеол, приводящий к фиброзу. Это часто лимитирует лучевую терапию. При однократном воздействии гамма-излучения LD<sub>50</sub> для человека составляет 8-10 Гр, а при фракционировании в течение 6-8 недель - 30-30 Гр.

- **Органы выделения.** Почки достаточно радиорезистентны. Однако облучение почек в дозах более 30 Гр за 5 недель может привести к развитию хронического нефрита (это может быть лимитирующим фактором при проведении лучевой терапии опухолей органов брюшной полости).

- **Орган зрения.** Возможны два типа поражений глаз: воспалительные процессы в конъюнктиве и склере (при дозах 3 - 8 Гр) и катаракта (при дозах 3 - 10 Гр). У человека катаракта появляется при облучении в дозе 6 Гр. Наиболее опасным является нейтронное облучение.

- **ЦНС.** Эта высоко специализированная ткань человека радиорезистентна. Клеточная гибель наблюдается при дозах свыше 100 Гр.
- **Эндокринная система.** Основной характеристикой данной ткани является относительная радиорезистентность.
- **Кости, сухожилия.** У взрослых они радиорезистентны. В пролиферативном состоянии ( в детском возрасте или при заживлении переломов) радиочувствительность этих тканей повышается. Наибольшая радиочувствительность скелетной ткани характерна для эмбрионального периода, так как особенно интенсивная пролиферация остеобластов и хондробластов у человека происходит на 38-85 сутки эмбрионального развития.
- **Мышцы.** Высокорадиорезистентны.

На популяционном уровне радиочувствительность зависит от следующих факторов:

- особенности генотипа (в человеческой популяции 10 - 12% людей отличаются повышенной радиочувствительностью). Связано это с наследственно сниженной способностью к ликвидации разрывов ДНК, а также со сниженной точностью процесса репарации. Повышенная радиочувствительность сопровождает такие наследственные заболевания как атаксия-телеангиэктазия, пигментная ксеродерма.);
- физиологическое (например, сон, бодрость, усталость, беременность) или патофизиологическое состояние организма (хронические заболевания, ожоги);
- пол (мужчины обладают большей радиочувствительностью);
- возраст (наименее чувствительны люди зрелого возраста).

Следует обратить внимание на на особенностях радиочувствительности во **внутриутробном периоде развития**. Опасность внутриутробного облучения обусловлена высокой радиочувствительностью малодифференцированных тканей плода, что проявляется врожденными пороками развития, цитогенетическими и сомато-стохастическими эффектами, нарушением физического и умственного развития, снижением адаптационных возможностей организма. Эти эффекты могут выявляются либо сразу после рождения (неонатальная и постнатальная смерть, пороки развития, нарушение роста), либо в отдаленные сроки после облучения (онкологические заболевания, нарушения гомеостаза, умственная отсталость).

Из наиболее вероятных эффектов, возникающих у ребенка при внутриутробном облучении, следует отметить: пренатальную смерть, задержку психического и физического развития, микроцефалию, микроофтальмию, тератогенный и мутагенный эффекты.

Характер развивающихся отдаленных эффектов будет зависеть от физических характеристик ионизирующего излучения (мощность, вид энергии, характер облучения, пролонгированность во времени) и от возраста плода на момент облучения. Особенно важна стадия внутриутробного развития, потому что дифференцировка систем и органов происходит в определенные сроки развития, и это будет определять тип повреждения.

При облучении беременных женщин выделяют четыре классических эффекта у потомства:

1. эмбриональная, неонатальная и постнатальная гибель плода;
2. врожденные пороки развития;
3. нарушения роста и физического развития;
4. нарушение функции центральной нервной системы.

#### *Эмбриональная, неонатальная и постнатальная гибель плода.*

Наиболее высокий риск внутриутробной смерти наблюдается при облучении в преимплантационный период. Полученные на эмбрионах животных данные указывают, что радиационно-индуцированные случаи пренатальной гибели плода наблюдаются в дозах менее 10 рад (0,1 Зв) при облучении до имплантации.

Во избежание пренатального облучения на ранних, нераспознанных стадиях беременности плановые рентгенодиагностические процедуры у женщин детородного возраста рекомендуется проводить только в первые 10 суток после начала менструации («правило 10 дней»).

#### *Врожденные пороки развития (ВПР).*

Чаще всего встречаются следующие ВПР:

- Нарушение строения головы: черепно-мозговая грыжа, нарушения строения формы черепа, расщепление верхнего неба и губы, нарушения строения уха;
- ЦНС - анэнцефалия, микроцефалия, гидроцефалия;
- Орган зрения - микроофтальмия, анофтальмия;
- Скелет - полидактилия, уменьшение роста и веса плода.

Кроме того, у пренатально облученных животных отмечены ВПР сердца и крупных сосудов, уrogenитальной системы, грудная, паховая и пупочная

грыжа. ВПР наблюдаются в основном при облучении в период основного органогенеза (9-60 день после оплодотворения). В настоящее время считается, что облучение в период основного органогенеза даже при невысоких поглощенных дозах на плод ( порядка 10 рад) является риском для развития микроцефалии и врожденных пороков развития со стороны ЦНС.

#### *Нарушения роста и физического развития.*

Наряду со снижением веса и размеров тела обнаружено уменьшение массы внутренних органов (особенно селезенки и головного мозга), уменьшение окружности головы .

#### *Нарушение функции центральной нервной системы.*

Радиационные эффекты могут возникать при гибели глиальных или нейронных клеток-предшественников во время митоза либо в результате гибели постмитотических, но все еще незрелых нейронов или гибели "клеток-поводырей" - мигрирующих нейронов. Кроме того, при высоких дозах (1,8 - 5,5 Гр) может наступить поражение красного костного мозга и снижение эритропоэза с уменьшением транспорта кислорода к головному мозгу плода.

Считается, что серьезная задержка умственного развития может быть вызвана внутриутробным облучением на 8-26 неделях развития при дозах свыше 1,5 Гр. Наиболее высокий риск развития умственной отсталости наблюдается у детей, облученных на 8-15 неделях эмбриогенеза (может наблюдаться уже при дозах 0,12-0,23 Гр). Определение интеллектуального показателя IQ (intelligence quotient) у переживших атомную бомбардировку в эти сроки показало снижение IQ на 21-29 пунктов на 1 Гр. Высокая вероятность нарушения умственного развития отмечена у детей, облученных на 16 - 24 неделях гестации. Пороговая доза для развития синдрома Дауна среди лиц, облученных in utero в результате атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки, была установлена в диапазоне 0,29 - 0,56 Гр.

Кроме перечисленных выше эффектов, при внутриутробном облучении возможно развитие и другой патологии, например:

- онкологическая патология. Риск развития рака достоверно увеличивается в группе внутриутробно облученных при дозах на матку матери 0,3 Гр и выше. Заболеваемость в этой группе по сравнению с контролем выше в 3,9 раза. Относительный риск рака на 1 Гр был равен 3,77;
- нарушение течения беременности;

- отклонение функции иммунной (нарушения лимфопоэза) и эндокринной систем (снижение йодпоглотительной и гормонсинтезирующей функции щитовидной железы).

### **Реакция организма на облучение. Радиационные синдромы.**

Особенности поражения организма в целом определяются двумя факторами: 1) радиочувствительностью тканей, органов и систем, непосредственно подвергающихся облучению; 2) поглощённой дозой излучения и её распределением во времени.

При облучении страдают все органы и ткани, но ведущим для организма является поражение одного или нескольких критических органов.

*Критические органы - это жизненно важные органы и системы, которые повреждаются первыми в данном диапазоне доз, что обуславливает гибель организма в определенные сроки после облучения.*

В зависимости от критического органа выделяют 3 основных радиационных синдрома:

1. **Костно-мозговой** - развивается при облучении в диапазоне доз 1 - 10 Гр, средняя продолжительность жизни - не более 40 сут, на первый план выступают нарушения гемопоэза.

2. **Желудочно-кишечный** - развивается при облучении в диапазоне доз 10 - 80 Гр, средняя продолжительность жизни около 8 сут, ведущим является поражение кишечника.

3. **Церебральный** - развивается при облучении в дозах более 80 - 100 Гр, продолжительность жизни менее 2 сут, развиваются необратимые изменения в ЦНС.

### **Костно-мозговой синдром.**

В костном мозге находится два типа клеток: молодые делящиеся клетки и зрелые функциональные клетки периферической крови. В соответствии с правилом Бергонье-Трибондо первые отличаются высокой радиочувствительностью, а зрелые клетки (за исключением лимфоцитов) будут несомненно более резистентны.

Уменьшение численности клеток костного мозга начинается тотчас после облучения и постепенно достигает минимума. Основная причина катастрофического опустошения костного мозга на самых ранних стадиях облучения состоит в резком торможении клеточного деления при продолжающемся поступлении зрелых элементов на периферию.

Несомненно, изменения в костном мозге коснутся морфологического состава периферической крови (рис. 3-1). На характер изменения морфологического состава крови, в основном, влияет время жизни зрелых клеток (или скорость их выбывания из кровеносного русла). Наиболее долгоживущими форменными элементами являются эритроциты (среднее время жизни 120 дней). Их численность падает довольно медленно, т.к. даже при полном отсутствии продукции скорость их падения будет

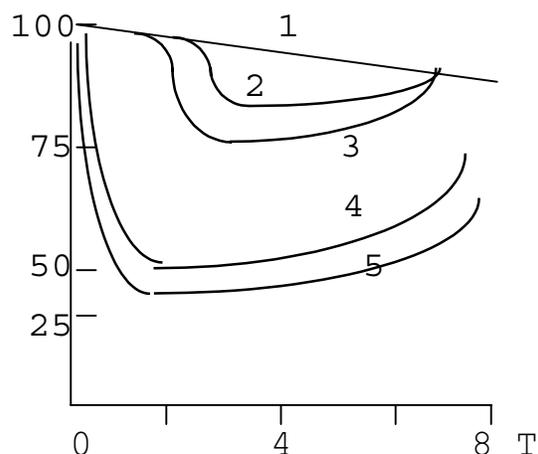


Рис. 3-1. Динамика изменения морфологического состава периферической крови в различные сроки после облучения.

(Д – доля выживших клеток, в %; Т – время после облучения, сут; 1 – эритроциты; 2 – тромбоциты; 3 – нейтрофилы; 4 – лейкоциты (общее число); 5 – лимфоциты.)

около 1% в сутки.

Число гранулоцитов падает значительно быстрее, т.к. они имеют короткую продолжительность жизни. В динамике их изменения можно выделить несколько фаз:

- фаза дегенерации - характеризуется небольшим порогом и быстрым спадом, в крови обнаруживаются только повреждённые клетки;
- фаза абортного подъёма - обусловлена размножением в костном мозге повреждённых облучением клеток со сниженной пролиферативной способностью, продолжающими деление еще некоторое время. Когда эти клетки исчерпают свой пролиферативный потенциал (сами и все их потомки погибнут), число гранулоцитов вновь снизится до минимального (или нулевого) уровня;
- фаза восстановления - обеспечивается небольшим количеством стволовых

клеток, сохранившихся в костном мозге и полностью сохранивших пролиферативную способность.

Тромбоциты по своей кинетике занимают промежуточное положение между гранулоцитами и эритроцитами.

Лимфоциты - наиболее радиочувствительные клетки крови - гибнут даже при небольших дозах не только в местах их образования (лимфоузлы, костный мозг), но и в периферической крови.

### **Желудочно-кишечный синдром.**

Наиболее важные изменения возникают в тонком кишечнике и заключаются в клеточном опустошении ворсинок и крипт, основную роль в котором играет интерфазная гибель клеток сразу после облучения.

Для летального исхода, помимо оголения ворсинок, важны также такие факторы как проникновение инфекции, поражение кровеносных сосудов, нарушение баланса жидкостей и электролитов.

### **Церебральный синдром.**

ЦНС состоит из высокодифференцированных непролиферирующих клеток, отличающихся высокой радиорезистентностью, поэтому при облучении выраженных клеточных потерь не будет. Гибель нервных клеток происходит при огромных дозах порядка сотен Гр. В летальном исходе важную роль играет поражение кровеносных сосудов с быстрым развитием отека мозга.

## **ОСТРАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ (ОЛБ).**

Под лучевой болезнью человека понимают комплекс проявлений поражающего действия ионизирующих излучений на организм. Многообразие проявлений зависит от ряда факторов: вид облучения – местное или общее, внешнее или внутреннее (от инкорпорированных радионуклидов); время облучения – однократное, пролонгированное, хроническое; пространственный фактор – равномерное или неравномерное; объем и локализация облученного участка.

Острая лучевая болезнь при однократном внешнем равномерном облучении - наиболее типичный пример радиационного поражения человека. Данный вариант ОЛБ развивается при облучении в дозе свыше 1 Гр. При дозе менее 1 Гр может возникнуть острая лучевая травма, сопровождающаяся небольшой лейкопенией и тромбоцитопенией без признаков заболевания.

Выделяют четыре основные формы ОЛБ

1. Костно-мозговая (доза 1-10 Гр);

2. Кишечная (доза 10-20 Гр);
3. Токсемическая (доза 20-80 Гр);
4. Церебральная (доза более 80 Гр).

В зависимости от поглощённой дозы костно-мозговая форма ОЛБ подразделяется по степеням тяжести:

- I (лёгкая) - 1-2 Гр;
- II (средней тяжести) - 2-4 Гр;
- III (тяжёлая) - 4-6 Гр;
- IV (крайне тяжёлая) - 6-10 Гр.

В течении ОЛБ выделяют 3 периода: 1) период формирования; 2) период восстановления; 3) период исходов и последствий.

Период формирования можно чётко разделить на 4 фазы: 1 - фаза первичной острой реакции; 2 - фаза мнимого благополучия (латентная); 3 - фаза разгара болезни; 4 - фаза раннего восстановления.

1. *Фаза первичной острой реакции.* В первые минуты и часы после облучения могут появиться следующие симптомы: тошнота, рвота, потеря аппетита, сухость во рту, головная боль, головокружение, слабость,

Табл.3-2

Показатели степени тяжести ОЛБ в фазе первичной острой реакции.

Показатель	Степень тяжести ОЛБ			
	I (1-2 Гр)	II(2-4 Гр)	III(4-6 Гр)	IV(6-10 Гр)
Рвота	Через 2 ч и более, однократн.	Через 1-2 ч, повторная	Через 0,5-1ч, многократн.	Через 15-20 сек, неукротим.
Диарея	Нет	Нет	Чаще нет	Может быть
Головная боль	Кратковременная,не-большая	Небольшая	Выраженная	Сильная, сознание спутанное
Температура тела	Норма	Субфебрильная	Субфебриль-ная	38-39 <sup>0</sup> С
Состояние кожи	Норма	Слабая преходящая гиперемия	Умеренная Гиперемия	Выраженная гиперемия
Продолжит. первичной реакции	Несколько часов	1 сутки	2-3 суток	2-3 суток

сонливость (табл.3-2). Наибольшее диагностическое и прогностическое

значение среди указанных признаков имеет диспептический синдром (время появления и выраженность тошноты и рвоты).

При высокой степени тяжести (III-IV) возможно развитие шокоподобного состояния с падением артериального давления, кратковременная потеря сознания, субфебрильная температура, понос. На участках кожи, подвергшихся облучению в дозах 6-10 Гр, возникает преходящая гиперемия по типу загара.

Изменения в периферической крови следующие:

- нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом влево (как следствие перераспределительного сдвига нервно-рефлекторного характера);
- абсолютная и относительная лимфопения.

Изменения в костном мозге наиболее заметны на 2-3 сутки: уменьшение общего числа миелокариоцитов, снижение митотического индекса, исчезновение молодых форм клеток. Продолжительность фазы - 1-3 дня.

## *2. Латентная фаза (фаза мнимого благополучия).*

Самочувствие больных улучшается, ослабевают симптомы первичной реакции. Может сохраняться неспецифическая неврологическая симптоматика, снижение аппетита, потливость, лабильность пульса и артериального давления. Начинается выпадение волос на участках кожи, облученных в эпиляционной дозе (табл. 3-3).

Поражения кожи вновь проявляются на 8-15 день. На пораженных участках появляется болезненная отечность, развивается интенсивная и стойкая краснота с багрово-синюшным оттенком. При дозах облучения около 6 Гр эти симптомы держатся в течение недели, а затем исчезают, оставляя пигментацию и шелушение. При дозах облучения 8 Гр и более, на пораженных участках кожи появляются пузыри и изъязвления, которые длительно не заживают.

Изменения в периферической крови следующие:

- выраженная лимфопения;
- лейкопения. На 15 день возможен abortивный гранулоцитоз с последующим падением лейкоцитов до минимума;
- тромбоцитопения.

В костном мозге выражена аплазия, однако со 2-3 недели появляются признаки регенерации.

Отмечается подавление ранних стадий сперматогенеза, может наблюдаться выпадение цикла месячных.

Показатели степени тяжести ОЛБ в латентной фазе.

Показатель	Степень тяжести ОЛБ			
	I (1-2 Гр)	II (2-4 Гр)	III (4-6 Гр)	IV (6-10 Гр)
Лимфоциты, *10 <sup>9</sup> /л	1,6–0,6	0,5–0,3	0,2–0,1	0,1
Лейкоциты, *10 <sup>9</sup> /л	4,0–3,0	2,9–2,0	1,9–0,5	0,5
Эпизодия, время нач.	Не выражена	На 12-20 сутки	На 10-20 сутки	На 7-10 сутки
Продолжит. Латентной фазы (сут.)	30	15-25	8-17	Нет или до 6 суток

Продолжительность латентной фазы - 14-30 суток. При IV степени тяжести эта фаза может отсутствовать.

### 3. Фаза разгара болезни.

О переходе в эту фазу болезни судят по развитию агранулоцитоза (уменьшение количества лейкоцитов ниже  $1 \cdot 10^9/\text{л}$ ). Самочувствие больных ухудшается, повышается температура, увеличивается СОЭ, появляется резкая слабость, головная боль, головокружение, нарушается сон. Возобновляются и усугубляются желудочно-кишечные расстройства: усиливается рвота, извращается или исчезает аппетит, развивается понос со слизистыми или кровянистыми выделениями, что приводит к обезвоживанию и потере массы тела. Ведущими в клинической картине являются 2 синдрома:

- 1) геморрагический – кровоизлияния в кожу, слизистые оболочки, желудочно-кишечный тракт, мозг, сердце, легкие;
- 2) инфекционный, вызванный как присоединением экзогенной инфекции, так и активацией собственной микрофлоры. На слизистых оболочках возникают язвенно-некротические образования, которые осложняются воспалительными процессами – язвенным гингивитом, стоматитом, эзофагитом, гастроэнтеритом, некротической ангиной. Продолжается выпадение волос, начавшееся в латентной фазе.

В фазу разгара в периферической крови происходят следующие изменения (табл.3-4):

Показатели степени тяжести ОЛБ в фазе разгара болезни.

Показатель	Степени тяжести ОЛБ			
	I (1-2 Гр)	II (2-4 Гр)	III (4-6 Гр)	IV (6-10 Гр)
Тромбоциты, * 10 <sup>9</sup> /л	100 - 60	50 - 30	30	20
Лейкоциты, * 10 <sup>9</sup> /л	3,0–1,5	1,5 – 0,5	0,5-0,1	Ниже 0,5
Начало агранулоцитоза	Нет	20-30 сут	8–20 сут	6 – 8 сут.
Начало тромбоцитопении	25 – 28 сут	17 – 24 сут	10–16 сут	До 10 сут
СОЭ, мм/ч	10 - 25	25 - 40	40 - 80	60 - 80

- агранулоцитоз (менее  $1,0 \cdot 10^9/\text{л}$ );
- абсолютная лимфопения;
- относительный лимфоцитоз (морфологический состав крови представлен почти одними лимфоцитами, гранулоциты единичные или отсутствуют);
- тромбоцитопения (менее  $40 \cdot 10^9/\text{л}$ );
- прогрессирующая анемия.

В костном мозге и лимфоузлах выражены признаки регенерации, за исключением крайне тяжелых степеней поражения.

Средняя продолжительность фазы - 1,5-2 недели.

#### 4. Фаза раннего восстановления.

Самочувствие улучшается, появляется аппетит, восстанавливается сон. Температура нормализуется. Прекращается кровоточивость, исчезают или ослабевают диспептические явления. Однако отдельные проявления поражения остаются, например, прогрессирует эпиляция.

Происходит постепенное восстановление показателей периферической крови. Средняя продолжительность фазы раннего восстановления — 2–2,5 мес.

В результате аварии на ЧАЭС возникла своеобразная форма ОЛБ, вызванная сочетанием общего относительно равномерного гамма-облучения

всего тела с бета-облучением обширных участков кожного покрова и частично с ингаляционным поступлением смеси радионуклидов (в основном, радиоактивного йода и цезия). Из персонала ЧАЭС, работавшего на станции в момент аварии, и участников ликвидации ее последствий пострадало 237 человек, при этом диагноз «острая лучевая болезнь» был подтвержден в 134 случаях. Распределение по степеням тяжести было следующим: I степень - 41 человека, 1 случай дискутируется; все пострадавшие выжили; II степень - 50 человек; 1 погиб; III степень - 22 человека; 7 погибло; IV степень - 21 человек; 20 погибло. Остальные случаи относятся к неподтвержденным. Всего в острой фазе умерло 28 человек (и еще 2 погибли в момент аварии непосредственно на станции), выжило 209 человек.

У 56 больных отмечались лучевые ожоги за счёт бета-излучения, из них 2 человека имели еще и термические ожоги. Радиационные ожоги охватывали у разных больных от 1 до 100% поверхности тела. Больные, имевшие относительно ранние (с 5-6 сут.) ожоги II-III степени, были обречены. При этом вначале развивался лихорадочно-токсемический синдром, затем почечно-печеночная недостаточность и энцефалопатическая кома. При такой клинической картине 26 из 56 больных с лучевыми ожогами погибли.

У 10 больных на 4-8 сутки развился кишечный синдром; все они погибли в первые три недели после облучения. У 7 больных с ОЛБ III-IV степени тяжести развился острый радиационный интерстициальный пневмонит, сочетавшийся с крайне тяжелыми поражениями кожи и кишечника. У 80 больных имел место орофарингеальный синдром в виде острого лучевого мукозита рта и глотки. В 6 случаях летальный исход был связан с необратимой миелодепрессией.

За последующие 10 лет умерло еще 14 человек (9 пациентов с ОЛБ и 5 - с неподтвержденными формами). Среди причин смерти фигурируют: ИБС — 4, энцефалит - 1, гангрена легкого - 1, туберкулез легких - 1, цирроз печени - 1, жировая эмболия - 1, саркома - 1, миелодиспластический синдром - 2, гипоплазия кроветворения - 1, несчастный случай - 1.

### **Организационные мероприятия и принципы лечения.**

В фазе *первичной острой реакции* необходимо провести следующие мероприятия:

- удаление пострадавшего от источника ионизирующего излучения;
- установление дозы облучения (по данным физической и биологической

дозиметрии);

- контроль на радиоактивность загрязнённой одежды, кожи с последующей дезактивацией (если это необходимо);
- забор мазков из носа, с открытых и (или) поврежденных участков кожи, а также проб крови, мочи, кала для оценки инкорпорации радионуклидов;

В данной фазе проводится симптоматическая терапия: назначение противорвотных, сердечно-сосудистых и седативных средств, а также дезинтоксикационная терапия.

Хирургическая коррекция угрожающих состояний проводится в первые 48 часов, остальные хирургические вмешательства - после восстановления гемопоэза.

В *латентной фазе* продолжается симптоматическая терапия, назначаются витамины (А, Е, С, группа В), а также проводится профилактика инфекционных осложнений путем назначения антибактериальных средств.

В *фазе разгара* большое значение для исхода болезни имеет уход за больными, в связи с чем уже с конца латентной фазы больного необходимо поместить в асептические условия: больных помещают в изолированные боксы, снабженные бактерицидными лампами. При входе в палату персонал надевает маски, дополнительные халаты и обувь, хранящуюся у входа в палату на коврик, смоченным 1% раствором хлорамина. Большое значение придается гигиене кожи и полости рта. Для борьбы с инфекционными осложнениями назначается антибиотикотерапия.

Согласно выводам I (согласительной) конференции по лечению радиационных поражений (Вашингтон, 1989 г.) рекомендуется назначение одновременно внутривенно трех антибиотиков в максимальных дозировках (один из аминогликозидов, один из цефалоспоринов, один из полусинтетических пенициллинов с антисинегнойной активностью). Если нет эффекта в течение 24-48 часов, то рекомендуется назначить внутривенно антистафилококковый гамма-глобулин. Если лихорадка не купируется в течение недели, дополнительно назначается амфотерицин В. При активации вируса герпеса рекомендуется назначать ацикловир. Параллельно с этим для профилактики развития кандидозов назначают противогрибковые препараты. Очень важна антигеморрагическая терапия: переливание тромбоцитарной массы, системные и местные антигеморрагические средства, витаминотерапия в комплексе с десенсибилизирующими средствами. Проводится и дезинтоксикационная терапия. антигеморрагическая терапия.

Очень важна заместительная терапия, включающая в себя два направления:

- переливание компонентов крови;
- трансплантация аллогенного костного мозга (ТАКМ) или трансплантация клеток человеческой эмбриональной печени (ТКЧЭП).

Согласно «Протоколу для лечения радиационных поражений» /Гаага, 1990 г./ перед инфузией компоненты крови рекомендуется облучать в дозе 15-20 Гр для предотвращения реакции "трансплантат против хозяина". Проведение ТАКМ показано при равномерном облучении в дозе свыше 6 Гр. Костный мозг должен быть подобран по АВО-группе, резус-фактору и типирован по HLA-антигенам. Из трансплантата костного мозга удаляются Т-лимфоциты. Лучшие сроки для проведения ТАКМ – 3-5 сут после облучения, более позднее проведение требует проведения иммуносупрессивная терапия. В *фазе раннего восстановления* назначаются биостимуляторы, витамины, стимуляторы кроветворения (лейкоген, цианкобаламин и др.).

### **Хроническая лучевая болезнь (ХЛБ).**

Хроническая лучевая болезнь представляет собой клинический синдром, формирующийся медленно, постепенно, при длительном воздействии на организм ионизирующего излучения, разовые и суммарные дозы которого превышают принятые предельно допустимые для профессионального облучения.

Выделяют два варианта ХЛБ:

- 1) с развёрнутым клиническим синдромом, возникновение которого обусловлено действием общего облучения;
- 2) с клиническим синдромом преимущественного поражения отдельных органов и систем от внутреннего или внешнего облучения (местные лучевые поражения).

ХЛБ, обусловленная общим облучением может развиваться:

- при равномерном внешнем облучении у лиц, занятых промышленными и медицинскими гамма- и рентгеновскими исследованиями, работающих возле ускорителей, реакторов, на предприятиях ядерного топливного цикла;
- при инкорпорации равномерно распределяющихся в организме изотопов (например, тритий, цезий-137, углерод-14).

Данный вариант ХЛБ развивается при достижении определённого уровня доз (суммарная доза 0,7-1 Зв, интенсивность излучения 1 - 5 мЗв в день).

Характеризуется постепенным развитием и длительным волнообразным течением.

Ткани, имеющие большой резерв активно размножающихся малодифференцированных клеток (эпителий кишечника, кроветворная ткань, сперматогенный эпителий), длительно сохраняют возможность морфологического восстановления. В высокоспециализированных системах (нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной) процессы клеточного обновления идут слабо, они отвечают на хроническое лучевое воздействие комплексом функциональных сдвигов.

В течении заболевания выделяют следующие периоды: доклинический, формирования, восстановительный, исходов и последствий.

*Доклинический период* характеризуется нарушением нервной регуляции различных органов и систем, носящим адаптивный характер. Поэтому ранние проявления болезни сводятся к функциональным нарушениям организма, нестойким, обратимым, поддающимся лечению. Сюда относятся нестойкая лейкопения, появление признаков астенизации, вегетативно-сосудистой неустойчивости.

Лица с подобными проявлениями, развившимися в результате контакта с ионизирующими излучениями, не могут быть отнесены к больным ХЛБ, однако они нуждаются в систематическом врачебном наблюдении.

*Период формирования* связан с возрастанием интенсивности лучевой нагрузки или накоплением определённой суммарной дозы облучения.

В данном периоде, в зависимости от клинического течения, выделяют три степени тяжести ХЛБ. Эти степени тяжести - по существу фазы в развитии единого патологического процесса и при продолжающемся облучении сменяют друг друга.

ХЛБ лёгкой (I) степени представляет собой период обратимых реакций организма. Клиническая картина заболевания складывается из вегетативно-сосудистых нарушений, начальных астенических проявлений и умеренных нестойких изменений клеточного состава периферической крови.

Больные жалуются на общую слабость, повышенную утомляемость, снижение работоспособности, головные боли, ухудшение аппетита, бессонницу. Начальные астенические проявления сочетаются с симптомами нарушения гемодинамики (преимущественно в коже, конечностях, головном мозге). Недостаточность церебрального кровообращения проявляется в двух синдромах в зависимости от тонуса сосудов мозга. Для лиц со сниженным

тонусом характерны тупые головные боли, возникающие утром и усиливающиеся во второй половине дня. Для лиц с повышенным тонусом сосудов мозга более характерны приступообразные головные боли, чаще связанные с физическими и эмоциональными перегрузками, перепадом температуры и давления.

Отмечается лабильность артериального давления с колебаниями от пониженных до умеренно повышенных цифр.

Со стороны желудочно-кишечного тракта наблюдаются функциональные нарушения: диспептические явления, дискинезии кишечника и желчевыводящих путей, возможны функциональные нарушения секреторной функции желудка.

В периферической крови возможно развитие умеренной лейкопении, реже тромбоцитопении. Число эритроцитов чаще не изменяется. Изменения со стороны крови носят нестойкий характер, с колебаниями показателей до нормальных цифр и нормализацией картины крови после проведенного лечения.

ХЛБ средней (II) степени тяжести характеризуется углублением функциональных нарушений со стороны нервной, сердечно-сосудистой, пищеварительной систем, выраженным и стойким угнетением кроветворения.

Усиливаются головные боли и головокружение. Могут появиться трофические изменения кожи и её придатков: сухость кожи, выпадение волос, ломкость ногтей.

Наблюдаются более выраженные изменения со стороны сердечно-сосудистой системы. Артериальное давление стойко снижается, преимущественно за счёт диастолического, что указывает на падение сосудистого тонуса. Отмечается приглушение тонов и расширение границ сердца.

Со стороны желудочно-кишечного тракта наблюдаются нарастание диспептических явлений, выраженное нарушение ферментативной деятельности желудка, кишечника, поджелудочной железы.

Отмечаются функциональные нарушения со стороны эндокринных органов. Снижение функции коры надпочечников проявляется в стойкой артериальной гипотензии, вялости, адинамии, снижении содержания 17-кетостероидов в моче. Может наблюдаться нарушение овариально-менструального цикла у женщин. Выраженные и стойкие изменения наблюдаются в системе крови. Число лейкоцитов в периферической крови

снижается до  $3,0-2,0 \cdot 10^9$ /л и ниже. Лейкопения носит стойкий характер с абсолютной нейтропенией и лимфопенией. Выражены токсическая зернистость и дегенеративные изменения нейтрофилов. Развивается более или менее выраженная тромбоцитопения. При исследовании пунктата костного мозга обнаруживается гипопластическое его состояние.

ХЛБ тяжёлой (III) степени тяжести характеризуется тяжёлыми необратимыми изменениями в организме. В относительно радиорезистентных органах (стенка сосудов, мышца сердца, нервная система) развиваются микроструктурные дистрофические изменения. На первый план в картине заболевания выступают тяжёлые изменения со стороны нервной системы, геморрагический синдром, глубокое угнетение кроветворения.

Прогрессирует ухудшение общего состояния, отмечается резкая слабость и адинамия. Резко выражены трофические изменения кожи, выпадение волос, ломкость ногтей. Больные жалуются на одышку, сердцебиение, боль в области сердца. Границы сердца расширены, тоны глухие. Артериальное давление стойко понижено.

В желудочно-кишечном тракте развиваются атрофические процессы. Аппетит резко понижен, живот вздут. Печень увеличена, путём функциональных проб выявляется снижение её функций.

Отмечаются глубокие нарушения в эндокринной системе, главным образом в надпочечниках, щитовидной железе, половых железах.

В периферической крови происходит резкое снижение количества лейкоцитов с абсолютной нейтропенией и лимфопенией, возможен относительный лимфоцитоз при резком падении числа нейтрофилов. Резко снижается количество тромбоцитов. В более поздние сроки развивается анемия. В пунктате костного мозга отмечается резкое обеднение его клеточными элементами, вплоть до картины панмиелофтиза.

Глубокое угнетение кроветворения ведёт к резкому ослаблению сопротивляемости организма и развитию инфекционных осложнений.

Тромбоцитопения в сочетании с явлениями патологической проницаемости сосудистой стенки и нарушениями в свёртывающей системе крови ведут к развитию геморрагического синдрома.

*Восстановительный период* начинается по прекращении интенсивного лучевого воздействия или при значительном снижении уровней облучения до предельно допустимых и характеризуется сглаживанием деструктивных и

преобладанием репаративных процессов в наиболее радиочувствительных тканях.

В *периоде исходов и последствий* наблюдается сочетание остаточных повреждений и новой, более или менее совершенной функциональной организации, которая носит приспособительный характер.

В качестве отдалённых исходов ХЛБ нужно учитывать возможность развития лейкозов, злокачественных новообразований, гипопластической анемии.

### **Местные лучевые поражения.**

Данный вариант ХЛБ может развиваться:

- при инкорпорации избирательно распределяющихся в организме радионуклидов;
- при локальном внешнем облучении, которое возможно при ручных манипуляциях с источниками ионизирующих излучений либо как осложнение в процессе лучевого лечения.

Для местных лучевых поражений характерны следующие особенности:

- преимущественно местное повреждающее действие ионизирующих излучений с преобладанием прямых эффектов над общими рефлекторными реакциями;
- наличие длительного скрытого периода, когда постепенное формирование процесса в критическом органе протекает без отчётливых клинических признаков его поражения;
- большая выраженность приспособительных механизмов вследствие преимущественно локального характера лучевого поражения.

Основные патогенетические механизмы и клинику местных лучевых поражений определяет поражение одного или нескольких критических органов. Критический орган - это орган или структура, накапливающие основную часть дозы облучения и за счёт этого определяющие исход поражения.

Если местное лучевое поражение развилось при инкорпорации радионуклидов с избирательным типом накопления, то клиническая картина зависит от физико-химических свойств радионуклида, путей попадания в организм, типа распределения в организме, периода полураспада, интенсивности и путей выведения из организма. Радиоактивные вещества могут попасть в организм человека ингаляционным путём, через

пищеварительный тракт, повреждённую и неповреждённую кожу, а выделяются из организма с выдыхаемым воздухом, мочой, калом, потом.

Особенность действия радиоактивных веществ, попавших внутрь - то, что облучение критических органов происходит непрерывно в течение определённого промежутка времени, который зависит от эффективного периода выведения изотопа из организма ( $T_{эф}$ ). При поступлении изотопов с коротким эффективным периодом выведения основные признаки поражения критического органа выявляются за небольшой промежуток времени. Для изотопов, длительно находящихся в организме, выявление клинических симптомов возможно в течение большого промежутка времени, а иногда и всей жизни человека.

Примерами радионуклидов с избирательным типом накопления являются стронций-90, радий-226, плутоний-239, полоний-210, уран.

Полоний-210 - альфа-излучатель,  $T_{1/2}$  - 138,4 сут,  $T_{эф}$  - 37 сут. Независимо от путей поступления быстро всасывается в кровь и концентрируется в органах, богатых макрофагами (преимущественно в лимфоузлах, печени, селезёнке, костном мозге). Клиническая картина характеризуется ранним развитием астенизации организма. В начальной стадии наблюдаются явления вегетативной неустойчивости, характерно снижение сосудистого тонуса. Поражаются надпочечники, что проявляется вялостью, адинамией, снижением артериального давления, пониженным содержанием в моче 17-кетостероидов. Поражение органов кроветворения приводит к неустойчивости показателей периферической крови, а в последующем к угнетению белого, а затем красного ростков кроветворения. Отмечается также поражение печени, что сопровождается увеличением её размеров и отклонением показателей функциональных печёночных проб. Возможны изменения со стороны почек: различной степени выраженности дистрофические изменения в клубочках и канальцах.

Плутоний-239 - альфа-излучатель,  $T_{1/2}$  - 24 000 лет,  $T_{эф}$  - 200 лет. Накапливается, в основном, в скелете (60%) и печени (10-20%). При ингаляционном поступлении некоторое количество плутония (1-10%) поглощается лёгочной тканью и лёгочными лимфоузлами. Характерна постепенно развивающаяся астенизация, угнетение костномозгового кроветворения. При ингаляционном поступлении возможно развитие очагового или диффузного пневмосклероза.

Радий-226 - альфа-излучатель,  $T_{1/2}$  - 1602 года,  $T_{эф}$  - 44 года. Откадывается, главным образом, в костях, частично в печени, лёгких, костном мозге. Развивается деструкция костной ткани (радиационный остеит), что приводит к повышенной ломкости костей. В отдалённом периоде возможно развитие остеогенной саркомы. Выражено также воздействие радия на систему кроветворения.

Уран - природный уран состоит из смеси трёх изотопов: урана-238 (99,3%), урана-235 (0,7%), урана-234 (0,008%). Уран-238 имеет  $T_{1/2}$  –  $4.4 \cdot 10^9$  лет,  $T_{эф}$  - 6 сут. Действует на организм в большей степени как тяжёлый металл и в меньшей степени как радиоактивный элемент (альфа-излучатель). Преимущественно накапливается в костях и почках. Выражены изменения со стороны ЦНС (медленно прогрессирующие симптомы астенизации). Изменения в периферической крови долгое время не выявляются: лейкопения и тромбоцитопения развиваются лишь через несколько лет. Может быть поражение печени по типу хронического токсического гепатита, который протекает более благоприятно, чем при интоксикации полонием, функции печени нарушены незначительно. Поражение почек более выражено при интоксикации растворимыми соединениями урана и протекает по типу хронической токсической нефропатии. При поступлении растворимых соединений урана также наблюдаются изменения со стороны верхних дыхательных путей (атрофический назофарингит).

Диагноз ХЛБ основывается на тщательном ознакомлении с анамнезом больного, выяснении условий его работы, количественной характеристике радиационного воздействия и всестороннем клиническом и лабораторном обследовании больного.

### **Принципы лечения.**

Единственный и необходимый элемент этиотропной терапии при ХЛБ - прекращение облучения или уменьшение лучевой нагрузки для основных критических органов путём применения средств, эффективно ускоряющих выведение изотопов из организма

После постановки диагноза пострадавшему следует рекомендовать прекращение контакта с тем комплексом радиационных и других общих неблагоприятных производственных факторов, которые явились причиной заболевания. Рациональное трудоустройство создаёт возможность стабилизации процесса и некоторого регресса клинических симптомов.

Минимальный срок отстранения от работы с источниками ионизирующих излучений составляет 1 год. В отдельных случаях в восстановительном периоде при наличии признаков отчётливого и стойкого (в течение 1-3 лет) клинического улучшения допустим возврат на прежнее место работы, если дозы облучения будут заведомо ниже принятых предельно допустимых для профессионального облучения.

Лечение больного ХЛБ первой степени тяжести должно состоять, главным образом, из общеукрепляющих мероприятий. Назначается щадящий режим с обязательным пребыванием на воздухе и полноценное высококалорийное питание. Рекомендуются лечебная гимнастика и массаж, физиотерапевтические процедуры. Назначаются общеукрепляющие препараты: витамины, адаптогены. При ХЛБ первой степени часто применение общеукрепляющей терапии оказывается достаточным. Симптоматические средства применяют по показаниям: при функциональных нарушениях со стороны сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. Можно рекомендовать санаторно-курортное лечение.

Лечение больного ХЛБ второй степени должно проводиться в стационаре в течение 2-3 месяцев. Назначается щадящий режим, высококалорийное питание. Применяют общеукрепляющее лечение и физиотерапию. Однако при значительных изменениях кроветворения и при более выраженной астении это лечение оказывается недостаточным. Необходимо назначение заместительной терапии в виде переливаний недостающих компонентов крови. Назначение стимуляторов кроветворения противопоказано, т.к. при лучевой болезни к органам кроветворения предъявляются повышенные требования как в плане их функциональных возможностей, так и физиологической регенерации. Симптоматические средства назначают по показаниям. После проведения стационарного лечения больной должен находиться под систематическим врачебным наблюдением. Общеукрепляющее лечение проводится и в амбулаторных условиях. Можно рекомендовать и санаторно-курортное лечение.

При ХЛБ третьей степени проводят все мероприятия, применяемые при лечении ХЛБ второй степени. Помимо этого, лечение больного ХЛБ третьей степени должно быть направлено на борьбу с инфекционными осложнениями и геморрагическими явлениями. Большое внимание уделяется тщательному уходу за больным, гигиеническому содержанию полости рта и кожи. Назначаются антибиотики широкого спектра действия в больших дозировках.

Проводится активная антигеморрагическая терапия. Симптоматические средства применяют по соответствующим показаниям.

При поступлении радиоактивных веществ в организм лечебные мероприятия подразделяют на две группы:

1. Этиотропная терапия средствами, препятствующими отложению изотопа и ускоряющими его выведение.
2. Патогенетическая и симптоматическая терапия, направленная на нормализацию деятельности критических органов и систем.

К первой группе мероприятий относятся:

- процедуры по механическому удалению изотопа:
  - промывание желудка и кишечника;
  - назначение адсорбентов;
  - обильное питьё.

Методы изотопного разбавления - ведущие по отношению к таким изотопам как натрий-24, цезий-137, тритий. Количество вводимой в организм жидкости в этих случаях должно быть максимально увеличено одновременно с применением средств, повышающих диурез.

- применение средств, ускоряющих выведение изотопов методом конкурентного замещения или комплексообразования:
  - при поступлении в организм радия-226, стронция-89, стронция-90 – внутрь сернокислый барий или адсорбар;
  - при поступлении плутония-239, америция-241 – внутривенно 5% раствор пентамина или внутримышечно 5% раствор унитиола;
  - при поступлении полония-210 – внутривенно 5-10% раствор ЭДТА;
  - для замещения радиоактивного йода применяют его стабильный аналог в виде йодной настойки или йодида калия внутрь.

К мероприятиям второй группы можно отнести предоставление физиологического покоя критическому органу и создание условий для его оптимального функционирования. Сюда относятся: при поражении органов желудочно-кишечного тракта - назначение щадящей диеты; при поражении мышц - создание режима дозированной мышечной нагрузки; терапия, направленная на нормализацию регуляторных процессов (витамины, общеукрепляющее лечение). В связи с тем, что в органах, подвергшихся облучению, развиваются выраженные репаративные процессы, следует избегать назначения стимулирующих средств, т.к. усиливается опасность патологической направленности репаративных процессов.

В остальном выбор основных средств патогенетической и симптоматической терапии соответствует принятому в обычной клинической практике.

## ГЛАВА 4

### РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС.

Чернобыльская АЭС размещена на Украине, в 12 км от южной границы Республики Беларусь. 26 апреля 1986г. на 4-ом блоке ЧАЭС произошла крупная авария, которая резко изменила радиоэкологическую ситуацию в нашей республике.

По Международной шкале событий на АЭС, предложенной в 1990 году группой экспертов МАГАТЭ и Европейского агентства по атомной энергии, авария на Чернобыльской АЭС относится к 7-му классу и именуется глобальной аварией.

Катастрофа на 4-ом блоке ЧАЭС, которая произошла в результате взрыва пара, снесшего крышу здания, разгерметизации активной зоны и возникшего пожара, сопровождалась выбросом в окружающую среду значительного количества радиоактивных веществ (по последним данным около 10 Эбк). По некоторым оценкам зарубежных авторов величина выброса более высокая. Выброс газо-аэрозольной струи, достигшей 1,5 км, был длительным (10 суток), неравномерным по количеству выбрасываемых радионуклидов, при постоянно меняющихся метеоусловиях (направление ветра, осадки).

Формирование радиоактивного загрязнения РБ началось сразу после взрыва реактора, т.к. радиоактивное облако перемещалось с воздушными потоками в северо-западном и северном направлениях. Около 70% радиоактивных веществ, выброшенных из разрушенного реактора в атмосферу, в результате сухого и влажного осаждения выпали на территорию Беларуси. При этом 23% территории Республики Беларусь (46,5 тыс.км<sup>2</sup>) с 3221 населенными пунктами, в том числе 27 городов, где проживало 2,2 млн. человек (более 400 000 детей), оказалось загрязненной цезием-137 более 37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>). Для сравнения: в Украине зона с уровнем загрязнения более 37 кБк/м<sup>2</sup> занимает площадь 28,5 тыс.км<sup>2</sup> (5%, 1599 населенных пунктов), в России - 35,2 тыс.км<sup>2</sup> 10,6%, 1088 населенных пунктов).

Радиоактивное загрязнение распространилось по всем областям республики. Оно имеет неравномерный "пятнистый" характер, что обусловлено динамикой выброса и постоянно меняющимися метеоусловиями. Максимальные уровни загрязнения были обнаружены в 30-километровой зоне

Динамика ежесуточного выброса радиоактивных веществ в атмосферу из аварийного блока ЧАЭС (без радиоактивных благородных газов).

Дата	Время после аварии, сутки	Активность выброса, МКи
26.04.86	0	12,0
27.04.86	1	4,0
28.04.86	2	3,4
29.04.86	3	2,6
30.04.86	4	2,0
1.05.86	5	2,0
2.05.86	6	4,9
3.05.86	7	5,0
4.05.86	8	7,0
5.05.86	9	8,0
6.05.86	10	0,1
9.05.86	14	0,01
23.05.86	28	28*10 <sup>-3</sup>

более 455 кБк/м<sup>2</sup> (более 12 Ки/км<sup>2</sup>), по плутонию-239,240 - около 150 кБк/м<sup>2</sup> (около 4 Ки/км<sup>2</sup>).

Однако и за пределами зоны отчуждения выявлены участки с высокими уровнями загрязнения (д.Чудяны Могилевской области- 5402 кБк/м<sup>2</sup>). Есть случаи, когда в пределах одного населенного пункта существует большое различие уровней загрязнения почвы цезием-137. Например, в д.Веприн Могилевской области в восточной части загрязнения 37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>), в западной - 2035 кБк/м<sup>2</sup> (55 Ки/км<sup>2</sup>); в д.Колыбань Гомельской области загрязнение почвы от 174 до 2424 кБк/м<sup>2</sup>.

Самыми пострадавшими от Чернобыльской катастрофы областями Беларуси являются: Гомельская, Могилевская и Брестская. В Брестской области значительное радиоактивное загрязнение было установлено в Столинском, Пинском, Лунинецком, Дрогичинском, Березовском и Барановичском районах. В Минской, Гродненской и 4-х населенных пунктах Витебской области содержание цезия-137 в почве превышает 37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>). На остальной территории Беларуси уровни загрязнения почвы цезием-137 также выше доаварийных значений и лишь в северо-западных районах

Витебской области сопоставимы с глобальными выпадениями.

Загрязнение территории республики стронцием-90 носит более локальный характер. Уровни содержания его в почве выше  $5,5 \text{ кБк/м}^2$  обнаружены на площади  $21,1 \text{ тыс.км}^2$ , что составляет 10% от территории республики. Максимальные уровни стронция-90 обнаружены в пределах 30-км зоны ЧАЭС и достигают величины  $1800 \text{ кБк/м}^2$  (около  $49 \text{ Ки/км}^2$ ) в Хойникском районе Гомельской области. Наиболее высокое содержание его в почвах дальней зоны обнаружено на расстоянии 250 км от станции в Чериковском районе Могилевской области и составляет  $29 \text{ кБк/м}^2$  ( $0,78 \text{ Ки/км}^2$ ), а также в северной части Гомельской области в Ветковском районе -  $37 \text{ кБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ).

Загрязнение почвы изотопами плутония-238,-239,-240 более  $0,37 \text{ кБк/м}^2$  ( $0,01 \text{ Ки/км}^2$ ) охватывает около  $4 \text{ тыс.км}^2$  или почти 2% площади республики. Эти территории преимущественно находятся в Гомельской области (Брагинский, Наровлянский, Хойникский, Речицкий, Добрушский и Лоевский районы) и Чериковском районе Могилевской области. Так загрязнение почвы изотопами плутония от  $0,37$  до  $3,7 \text{ кБк/м}^2$  отмечены в Гомельской области. Содержание в почве плутония, достигающее  $3,7 \text{ кБк/м}^2$ , характерно для 30-км зоны ЧАЭС. Наиболее высокие уровни наблюдаются в Хойникском районе - более  $111 \text{ кБк/м}^2$  ( $3 \text{ Ки/км}^2$ ).

Газо-аэрозольное облако имело радионуклидный состав, однозначно характеризующий источник выброса: в него входили изотопы 27 радионуклидов. Радионуклидный состав выпадений, особенно в первые недели после аварии, имеет существенное значение для ретроспективной оценки доз облучения жителей ближайших к станции населенных пунктов, персонала станции и лиц, принимавших участие в аварийно-восстановительных и дезактивационных работах.

В окружающую среду были выброшены:

- летучие радиоактивные инертные газы;
- сотни осколочных продуктов деления, накопившихся в зоне реактора;
- изотопы наведённой радиоактивности за счет веществ, которые сбрасывали на реактор;
- частички ядерного топлива (табл.4-2).

Сразу после аварии радиационная обстановка в республике и формирование дозовых нагрузок на население определялись действием короткоживущих радионуклидов (молибден, технеций, лантан, барий,

благородные инертные газы, радиоизотопы йода-131, 132, 133, 134, 135, 123, 125, 126. По расчетным данным в окружающую среду было выброшено 50-60% накопившихся в реакторе радиоизотопов йода).

Уровни радиоактивного загрязнения короткоживущими радионуклидами йода во многих регионах республики были настолько велики, что вызванное ими облучение миллионов людей квалифицируется специалистами как период "йодного удара".

В апреле - мае 1986 года наибольшие уровни выпадения йода-131 имели

Табл.4-2

Важнейшие радионуклиды, выброшенные в окружающую среду в результате катастрофы на ЧАЭС

Радионуклид	Процент выброшенной активности на 5.05.1986 г.	Распространилось в окружающую среду Бк*10 <sup>16</sup>	Период полураспада
криптон-85	100	3,3	10,72 часа
ксенон-133	100	170,0	5,25 дня
йод-131	50	65,0	8,05 дня
цезий-134	25	4,7	2,06 года
цезий-137	30	8,7	30,0 лет
стронций-89	10	20,0	50,5 дня
стронций-90	10	2,0	29,12 лет
цирконий-95	8	35,0	64,0 дня
рутений-103	8	33,0	39,3 дня
рутений-106	8	17,0	368,0 дней
церий-141	6	26,5	32,5 дня
церий-144	8	25,6	284 дня
плутоний-238	8	0,008	87,74 года
плутоний-239	8	0,006	24390 лет
плутоний-240	8	0,008	6537 лет
плутоний-241	8	1,4	14,4 года

место в ближней (10-30 км) зоне в Брагинском, Хойникском, Наровлянском районах Гомельской области, где его содержание в почвах составило 37000 кБк/м<sup>2</sup> (1000 Ки/км<sup>2</sup>) и более, в Чечерском, Кормянском, Буда-Кошелевском, Добрушском районах уровни загрязнения достигали 18500 кБк/м<sup>2</sup> (500 Ки/км<sup>2</sup>).

Значительному загрязнению подверглись также юго-западные регионы республики - Ельский, Лельчицкий, Житковичский, Петриковский районы

Гомельской области и Пинский, Лунинецкий, Столинский районы Брестской области. Высокие уровни загрязнения имели место и на севере Гомельской и Могилевской областей. В Ветковском районе Гомельской области содержание йода-131 в почве достигало 20000 кБк/м<sup>2</sup> (более 540 Ки/км<sup>2</sup>). В Могилевской области наибольшее загрязнение отмечалось в Чериковском и Краснопольском районах - 5550-11100 кБк/м<sup>2</sup> (150-300 Ки/км<sup>2</sup>).

Выделяют несколько основных типов воздействия радионуклидов чернобыльской аварии на организм человека:

1. Внешнее гамма-облучение от радиоактивного облака.

Оно было недолгим и продолжалось до формирования радиоактивного следа на местности и объектах окружающей среды. Его вклад в формирование дозы в первый послеаварийный год составил 2,5%.

2. Ингаляционное поступление радионуклидов в организм человека. Формирует 4,5% дозы за счёт внутреннего облучения организма. Аэрозольное загрязнение атмосферного воздуха можно разделить на 2 этапа:

а) относительно кратковременный - это момент выброса газо-аэрозольной струи в атмосферный воздух, формирование и перенос радиоактивных облаков до момента их осаждения на поверхность земли, воды, объекты окружающей среды, т.е. ингаляционное поступление радионуклидов из радиоактивного облака;

б) непрерывный - вторичное загрязнение атмосферы за счёт ветрового подъёма пыли.

Загрязнение приземного слоя атмосферы в результате ветровой эрозии почвы является дополнительным фактором загрязнения территории радионуклидами. Мельчайшие аэрозольные частички переносятся с воздухом на большие расстояния вследствие медленной седиментации. В ряде случаев перенос радиоактивной пыли обуславливал повторное загрязнение дезактивированных территорий. Особую опасность вторичное загрязнение атмосферы радионуклидами за счет ветрового подъема пыли представляет для населения, постоянно проживающего и работающего на загрязненной территории.

3. Внешнее гамма-излучение от осевших на земную поверхность и объекты окружающей среды радионуклидов (осадки также интенсивно вымывают радиоактивные вещества из атмосферы).

Облучение организма от осевших радионуклидов самое длительное и интенсивное. Оно формирует около 50-60% дозы у населения.

Данный тип воздействия обусловлен, в основном, гамма-излучением цезия-137 и другими гамма-излучающими радионуклидами.

Основными факторами, уменьшающими внешнее гамма-излучение, являются:

- естественный распад радионуклидов;
- миграция радионуклидов вглубь почвы.

В настоящее время доза на организм человека формируется за счет долгоживущих радионуклидов: цезий-137 имеет период полураспада 30 лет; стронций-90 - 29,1 лет; тритий - 12 лет; углерод-14 - 5730 лет; плутоний-239 - более 24000 лет.

Как показывают результаты исследований, проводимые на загрязнённых территориях, миграция радионуклидов вглубь почвы незначительна. Основная масса цезия-137 спустя 12 лет после аварии сосредоточена в верхнем 5-сантиметровом почвенном слое. В обедненных гумусом дерново-подзолистых песчаных почвах максимум концентрации радиоцезия находится на глубине 3,5-4,5 см. Наиболее интенсивно вертикальная миграция протекает в торфяниках. Основная часть радиостронция (51-78%) находится в поверхностных слоях (0-1см) почвы, причем 2-5% - растворимых. Ближайший и долгосрочный (50 лет) прогнозы показывают, что самоочищение почв вследствие вертикальной миграции радионуклидов будет происходить крайне медленно.

Нахождение радионуклидов в корнеобитаемом слое, а также увеличение относительного количества обменного стронция в поверхностных слоях почв будут длительное время обуславливать интенсивную миграцию радионуклидов по пищевым цепочкам.

4. Попадание радионуклидов в организм по пищевым цепочкам. Для нашей республики этот тип воздействия радионуклидов имеет особое значение. Это связано с особенностями почв, преимущественно в Белорусском Полесье.

Среди загрязненных радионуклидами земель Беларуси больше половины составляют почвы легкого гранулометрического состава, характеризующиеся низкой емкостью поглощения, малым содержанием гумуса и вторичных глинистых минералов. В легких почвах республики радионуклиды цезия-137 и стронция-90 аномально подвижны, т.е. они плохо связываются частицами почвы и поэтому коэффициент перехода их в растения высокий. Хорошо фиксирует радионуклиды чернозем, глинистая почва, а в Белорусском Полесье почва песчаная, подзолистая, торфяно-болотная, т.е. легкая.

Указанные особенности Полесского региона имеют принципиальное значение и определяют высокие уровни накопления радионуклидов в

Табл.4-3.

Зависимость объемной активности молока от степени поверхностной активности по цезию-137

Плотность загрязнения территории, Ки/кв.км	Содержание Cs-137 в молоке, Бк/л
1,9	220
2,1	290
3,0	540
3,8	40
5,0	180
8,8	120

местных продуктах питания и высокие дозовые нагрузки на организм проживающего там населения. Наглядным примером является Лельчицкий район Гомельской области, на территории которого встречаются почвы, разные по составу и по плотности загрязнения цезием 137 (табл.4-3).

Такая же картина наблюдается в ряде других районов Гомельской области, в Столинском и Лунинецком районах Брестской области.

Особую опасность представляет попадание радиоактивных веществ внутрь организма человека. Концентрация их в том или ином органе тела человека может во много раз превысить таковую в окружающей среде. Поведение радионуклидов в организме - пути и способы поступления, распределения по органам и системам (включая избирательное накопление), скорость и пути выведения - обусловлены их химическими свойствами.

Существует три основных пути поступления радиоактивных изотопов в организм:

- 1) *ингаляционный путь* - при вдыхании загрязненного радиоактивными аэрозолями воздуха;
- 2) *алиментарный* - через желудочно-кишечный тракт с водой и пищей;
- 3) *через кожу* - поврежденную и неповрежденную.

При вдыхании воздуха радиоактивные вещества, содержащиеся в нем, задерживаются на всем протяжении дыхательного тракта от преддверия носа до глубоких, альвеолярных отделов легких. При этом между размером частицы и глубиной ее проникновения установлена следующая зависимость: чем меньше

диаметр вдыхаемых частиц, тем относительно меньше их задерживается в верхних дыхательных путях, на бронхах и тем больше проникает в альвеолярные отделы легких, где отсутствуют механизмы, способные выводить попавшие частицы в бронхи и трахею (табл.4-4). Судьба радионуклидов, задержанных в разных отделах дыхательного тракта, неоднозначна. Радиоактивные вещества (растворимые или труднорастворимые), осевшие на слизистой верхних дыхательных путей, трахеи, бронхов быстро с помощью мерцательного эпителия переводятся в глотку и ротовую полость, откуда

Табл.4-4

Задержка в легких частиц разной дисперсности

Аэродинамический диаметр, мк	Коэффициент задержки, в %	
	в верхних дыхательных путях	в альвеолярных отделах легких
50	100	0
10	90	0
5	58	3
2	22	10
1	3	12-33
0,5	0	15-20
0,2	0	18-20
0,1	0	20-25
0,05	0	35-65

поступают в желудок. В альвеолярном отделе легких растворимые радионуклиды хорошо и быстро всасываются в кровоток, чему способствует широко развитая сеть капилляров.

Радиоактивные вещества, которые при нормальном рН организма образуют радиоколлоиды или труднорастворимые гидроксиды, ведут себя по-иному. В этом случае радионуклиды фагоцитируются и распределяются неравномерно в легочной ткани. После проникновения в лимфатические сосуды они поступают в лимфатические узлы легкого, трахеи и средостения. Процесс этот медленный. Еще медленнее происходит поступление радионуклидов в кровеносные сосуды. Однако общая величина труднорастворимых радиоактивных веществ, поступающих в организм через легкие, гораздо выше, чем через кишечник, из-за большой поверхности всасывания легких.

По скорости выведения из легких все радиоактивные элементы разделяются по времени биологического полувыведения ( $T_6$ ) на три класса: Д (дни), Н (недели), Г (годы). К классу Д относятся растворимые соединения радиоактивных элементов 1 группы, а также соединения элементов 1-го, 2-го и отчасти 3-го периодов Периодической системы Д.И.Менделеева. Наиболее медленно, с периодом полувыведения более 1 года, удаляются из легких соединения меди, серебра, золота, цинка, кадмия, иттрия, актиния, циркония и металлы платиновой группы.

Через желудочно-кишечный тракт в организм поступают хорошо растворимые радионуклиды (водород, щелочные металлы, галогены, благородные газы, все элементы второго периода, кроме бериллия). Хуже всасываются щелочноземельные элементы, а также цинк, кадмий и ртуть (табл.4-5).

Табл.4-5.

Значения коэффициентов всасывания в желудочно-кишечном тракте  
химических элементов

Химический элемент	Коэффициент всасывания	Химический элемент	Коэффициент всасывания
Водород (H)	1,0	Медь (Cu)	0,5
Калий (K)	1,0	Цинк (Zn)	0,5
Рубидий (Rb)	1,0	Стронций (Sr)	0,3
Цезий (Cs)	1,0	Кадмий (Cd)	0,1
Углерод (C)	1,0	Золото (Au)	0,1
Азот (N)	1,0	Ртуть (Hg)	0,4
Фтор (F)	1,0	Свинец (Pb)	0,2
Хлор (Cl)	1,0	Полоний (Po)	0,1
Бром (Br)	1,0	Алюминий (Al)	0,005
Йод (I)	1,0	Цирконий (Zr)	0,002
Радон (Rn)	1,0	Америций (Am)	0,001
Уран (U)	0,2	Плутоний (Pu)	0,0005

Плохорастворимые радионуклиды (коэффициент всасывания менее 0,01) покидают кишечник в течение 1-4 дней, не успевая создать значительные дозы облучения (элементы третьей группы, частично четвертой, пятой, лантаноиды, актиноиды). Эти элементы способны образовывать коллоиды и труднорастворимые гидроксиды, которые препятствуют их всасыванию в желудочно-кишечном тракте. Зато та часть радионуклида, которая попала в

организм, по типу коллоидальной адсорбции очень прочно удерживается в тканях. Период биологического полувыведения из организма для таких радионуклидов в большинстве случаев составляет десятки лет.

Проницаемость кожи для радиоактивных веществ зависит от агрегатного состояния радионуклидов, склонности их к гидролизу и комплексообразованию, кислотности раствора, в котором находятся радиоактивные вещества, и состояния кожного барьера. Водорастворимые и жирорастворимые соединения радионуклидов всасываются через кожу быстро, скорость их проникновения сравнима со скоростью всасывания в кишечнике. Наибольшая скорость проникновения - у йода-131. Достаточно активно проникают в кожу изотопы молибдена, трития и элементов I и VI групп. В некоторых случаях через кожу всасывается большее количество радионуклида, чем через кишечник. Это прежде всего относится к элементам III группы Периодической системы элементов. Количество радиоактивных веществ, проникающих через кожу в организм, зависит от длительности ее контакта с радиоактивным веществом и целостности. Следовательно, своевременная дезактивация кожных покровов необходима. Самый простой метод дезактивации - обильная обработка кожных покровов водой и моющими средствами.

Особенность поведения в организме химических элементов - достаточно постоянное и строгое распределение по их системам, органам и тканям. Стабильные и радиоактивные изотопы одних и тех же элементов абсолютно одинаково ведут себя в организме, поэтому накапливаются они в одних и тех же органах и тканях. Различают несколько типов распределения радионуклидов в организме:

- равномерный (Cs-137, C-14, H-3, Ru-106);
- скелетный (Sr-90, Zr-95, Ce-144, Pu-239, Am-241, Ra-226, Pb-210);
- щитовидный (I-131);
- ретикуло-эндотелиальный (Pu-239, Am-241, Zn-65, Fe-55);
- почечный (U-238, Pb-210, Be-7).

В основу распределения положены принципы максимального или преимущественного содержания радионуклида в органе. Так, распределение считается равномерным, если более половины обнаруженного в организме радионуклида распределено равномерно. Данный тип распределения характерен для химических элементов I группы, II побочной группы, III главной подгруппы Периодической системы Д.И. Менделеева, за исключением

серебра, поступающего преимущественно в печень вследствие коллоидообразования в условиях организма. Все элементы II главной подгруппы и III побочной подгруппы - остеотропные радионуклиды. Кроме того, лантаноиды и актиноиды распределяются по ретикулоэндотелиальному типу. Для таких элементов как висмут, уран, кадмий, мышьяк характерен почечный тип распределения.

Описанные типы распределения в организме касаются только той доли радионуклидов, которые поступают в кровь. Совершенно иной тип распределения в организме радионуклидов наблюдается при их ингаляционном поступлении. В этом случае, как правило (особенно в начальной фазе, а для некоторых радиоактивных элементов всегда), содержание и концентрация максимальны в легких.

Из огромного количества выброшенных при аварии на ЧАЭС в окружающую среду радиоактивных веществ выделяют группу основных дозообразующих радионуклидов:

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| - углерод-14 (C-14);    | - тритий (H-3);          |
| - цезий-137 (Cs-137);   | - йод-131 (I-131);       |
| - цирконий-95 (Zr-95);  | - плутоний-239 (Pu-239); |
| - рутений-106 (Ru-106); | - америций-241 (Am-241); |
| - стронций-90 (Sr-90);  | - "горячие частицы".     |
| - церий-144 (Ce-144);   |                          |

#### **Углерод - 14.**

По своим физическим свойствам является бета-излучателем.  $T_{1/2}$  - 5730 лет. В окружающую среду попадает в результате испытаний ядерного оружия как космогенный радионуклид и с выбросами АЭС. Соединения его растворимы, в организм поступает через желудочно-кишечный тракт, частично через лёгкие. Распределяется в организме равномерно. Период биологического полувыведения из организма составляет около 200 дней. Углерод-14 вызывает трансмутационный эффект: встраиваясь в азотистые основания нуклеиновых кислот, углерод при распаде превращается в стабильный азот-14, что вызывает изменение структуры азотистых оснований, в результате чего меняется смысл генетического кода. Эти изменения не поддаются репарации, и их доля составляет 10% от всех мутаций.

### **Цезий - 137.**

Принадлежит к бета- и гамма-излучателям.  $T_{1/2}$  - 30 лет. Очень летуч, поэтому загрязнил обширные территории в нашей стране и в мире в целом. Соединения его хорошо растворимы. В организм поступает через ЖКТ. Основные загрязненные продукты - молоко, мясо, овощи. По химическим свойствам похож на калий, поэтому может его заменять. Распределяется в организме равномерно. Цезий хорошо сорбируется частицами почвы и удерживается (особенно чернозёмами), но в песчаных почвах он очень подвижен, т.е. коэффициент перехода его в растения высокий. В водной среде процессы миграции и накопления цезия идут интенсивнее, поэтому в рыбе он накапливается в значительных количествах. Период биологического полувыведения: для взрослых - 100 дней, у детей до 15 лет - 50 дней, до 5 лет - 20 дней.

### **Стронций - 90.**

Распадается по типу бета-превращения атомных ядер.  $T_{1/2}$  - 29 лет. Конечный продукт распада - радиоактивный иттрий-90, тоже является бета-излучателем, но с коротким периодом полураспада - 64 часа и высокой энергией излучения. Стронций-90 менее летуч, загрязнил меньшую территорию. Как и цезий, плохо фиксируется почвами. Имея хорошую растворимость, стронций легко вымывается из почвы и попадает в водоёмы, где активно накапливается гидробионтами.

По химическим свойствам близок к кальцию, поэтому накапливается в зонах роста костей, представляя тем самым опасность для детей. Процент всасывания стронция зависит от ряда факторов:

- возраста (у детей процент всасывания выше);
- физиологического состояния организма (период беременности, лактации);
- приема витамина D (витамин ускоряет всасывание стронция);
- количества поступающего в организм Ca;
- пола (у мужчин всасывание происходит активнее).

Основные продукты, содержащие стронций - цельное молоко, костные бульоны, злаковые, рыба.

Период биологического полувыведения - около 20 лет.

### **Тритий.**

Мягкий бета-излучатель с  $T_{1/2}$  - более 12 лет. Образуется в верхних слоях

атмосферы как космогенный радионуклид, а также выделяется при термоядерных реакциях. Соединения трития растворимы. В организм поступает через желудочно-кишечный тракт, частично через лёгкие. Распределяется в организме равномерно. Биологический период полувыведения - 10 суток для свободного трития, 450 суток - для связанного. Летом период биологического полувыведения уменьшается из-за усиленного водного обмена.

### **Йод - 131.**

Относится к бета- и гамма-излучателям с  $T_{1/2}$  около 8 дней. В организм попадает всеми известными способами - через желудочно-кишечный тракт, лёгкие, неповреждённую кожу. Легко проходит плацентарный барьер, формируя дозы на щитовидную железу плода.

Обладает большой миграционной способностью - легко проникает в овощи, ягоды, молоко, водоросли, рыбу. Накапливается в щитовидной железе. Накопление зависит от возраста и количества стабильного йода. Период биологического полувыведения - 138 суток.

### **Плутоний - 239.**

Распадается по типу альфа-превращения атомных ядер.  $T_{1/2}$  - 24000 лет. Загрязнение биосферы плутонием происходит при:

- аварийных выбросах предприятий, перерабатывающих ядерное горючее;
- при эксплуатации АЭС;
- при испытании ядерного оружия.

Плутоний не имеет стабильных изотопов. Основное количество плутония из чернобыльского выброса седиментировало в 30-км зоне и Гомельской области. Наиболее загрязнены Брагинский, Светлогорский и Рогачёвский районы.

Соединения плутония плохорастворимы. Поступает в организм, в основном, ингаляционным путем, создавая тем самым значительную нагрузку на лёгкие за счёт альфа-излучения. Тип распределения - скелетный, частично - в лимфоузлах, печени. Период биологического полувыведения - 197 лет.

### **Америций - 241.**

Распадается с испусканием высокоэнергетических альфа-частиц.  $T_{1/2}$  - 433

года. Стабильные изотопы не известны. Является дочерним продуктом распада плутония-241 ( $T_{1/2}$  - 14,4 года), но его соединения более растворимы и более подвижны. Основной путь поступления - ингаляционный. Накапливается в скелетной ткани, частично в печени, почках, селезёнке. Период биологического полувыведения - 194 года. В настоящее время и в ближайшие десятилетия серьёзную угрозу для здоровья населения (наряду с цезием-137 и стронцием-90) будет представлять Am-241, накапливающийся в окружающей среде в результате распада Pu-241.

### **"Горячие" частицы.**

"Горячие" частицы - это аэрозоль диспергированного ядерного топлива. Они бывают различной величины, активности и радионуклидного состава.

После аварии "горячие" частицы разнеслись атмосферным воздухом на значительные расстояния, но основная масса их сосредоточилась в зоне отчуждения и Гомельской области. Так, в образцах растительности и почвы из Брагина и Хойников, определялось до 1000 "горячих" частиц в 1 кг образца.

В организм частицы попадают прямым аэрозольным путём (первые месяцы после аварии). Доминирующий путь в настоящее время - ингаляционное поступление при вторичном загрязнении воздуха пылью с объектов окружающей среды. Возможен и алиментарный путь поступления.

Основное количество активных частиц (до 70%) находится в верхнем 1 см слое почвы. Проведенный анализ воздушных фильтров показал, что 10 куб.м воздуха в районе Мозыря, Гомеля, Бреста содержат до нескольких сотен активных частиц. Обнаружены они и на планшетах, установленных во многих других населенных пунктах республики.

"Горячие" частицы представляют опасность для всего живого ввиду высокой концентрации в них радионуклидов с разными видами излучений.

Чернобыльская катастрофа оказала воздействие на все сферы жизнедеятельности населения республики. Из сельскохозяйственного оборота выведено более 260 тыс.га самых плодородных пахотных земель; ликвидировано 54 колхоза и совхоза; прекратили хозяйственную деятельность около 300 объектов народнохозяйственного комплекса, свыше 600 школ и детских садов, около 100 больниц, свыше 500 объектов торговли, общественного питания и бытового обслуживания. Резко сократились посевные площади из-за различных уровней загрязнения территории, снизился сбор

сельскохозяйственных культур.

Значительно уменьшены размеры пользования лесными ресурсами: более четверти лесного фонда республики загрязнено радионуклидами (а в Гомельской области - 51,6%, в Могилевской - 36,4%).

***Ущерб, нанесенный республике чернобыльской катастрофой, оценивается в 32 бюджета республики (1985 г.).***

В июле 1990 г. Верховный Совет республики объявил Беларусь зоной национального радиационного экологического бедствия. Это означает, что последствия глобальной ядерной аварии, приведшей к неблагоприятным изменениям экологической обстановки и условий обитания человека, создают возможность острых или хронических поражений людей, животных, растений, а также приносят материальный ущерб, превышающий годовой национальный доход республики.

Особенностью формирования доз облучения населения, проживающего на загрязненных территориях, является:

1) пролонгированное внешнее и внутреннее облучение за счет долгоживущих радионуклидов (Cs, Sr, Pu) в дополнение к дозам, сформировавшимся на раннем этапе аварии за счет короткоживущих радионуклидов, особенно радиоизотопов йода;

2) определенная часть населения вынуждена жить на загрязненных радионуклидами территориях, используя в пищу продукты местного производства, которые формируют основную дозовую нагрузку на организм (более 80%). При этом сельские жители получают гораздо большие дозовые нагрузки, чем городские.

При одинаковом питании со взрослыми дети получают в 3-5 раз большие дозовые нагрузки в силу меньшего веса и более активных обменных процессов в детском организме.

Каждая радиационная авария, ведущая к выходу радиоактивных веществ из реактора, имеет свои особенности по характеру и интенсивности воздействия радиационного фактора на население. Этими особенностями обуславливаются и конкретные защитные мероприятия. Принципы, заложенные в основу проведения всех защитных мероприятий, сводятся к следующему:

1. Следует исключить какую-либо возможность возникновения у населения лучевой болезни.

2. Риск возникновения у человека отдаленных эффектов действия

радиации должен быть снижен настолько, насколько это практически достижимо.

Один из первых шагов по ликвидации последствий аварии - действия по установлению загрязнения продуктов питания, питьевой воды, значений мощности экспозиционной дозы в местах проживания и трудовой деятельности населения не только пострадавших районов, но и на территории всей республики. В апреле-мае 1986 года мощности экспозиционных доз в южных районах Беларуси достигали десятков миллирентген в час, то есть превышали в тысячи раз естественный фон Беларуси до аварии (табл.4-6).

Анализ дозовых нагрузок, проведенный Минздравом, штабом ГО, правительственной комиссией по ликвидации последствий аварии на

Табл.4-6

Значения мощности экспозиционной дозы (мР/ч) в некоторых населенных пунктах непосредственно после катастрофы на ЧАЭС

Населенный пункт	27.04.86 г	июнь 1986 г
Брагин	48,0	0,5
Чечерск	10,0	0,2
Славгород	2,0	0,1

ЧАЭС, явился основанием для эвакуации части населения из загрязненных радионуклидами территорий.

С мая 1986 года правительственной комиссией устанавливались Временные нормативы по дозовым нагрузкам для населения:

1986-1987 гг. – 100 мЗв/год.

1988 год – 30 мЗв/год.

1989-1990 гг. – 25 мЗв/год.

1991 год – 5 мЗв/год.

1993 год – 3 мЗв/год.

1995 год – 2 мЗв/год.

1998 – 1 мЗв/год.

При этом предполагалось, что 50% дозы формирует внешнее облучение, 50% - внутреннее. Исходя из этих значений с учетом рационов питания Минздравом СССР, а затем Минздравом Беларуси устанавливались временные допустимые уровни (ВДУ-86, ВДУ-88) и республиканские допустимые уровни (РКУ-90, РДУ-92, РДУ-96) содержания радионуклидов в продуктах питания

(табл.4-7).

Правительством республики были разработаны Программы по ликвидации в Беларуси последствий катастрофы на ЧАЭС на 1990-1995 гг., а также на 1996-2000 гг. Основной задачей этих программ является создание безопасных для здоровья человека условий жизнедеятельности в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Верховным Советом республики приняты Законы:

Табл.4-7

Нормируемые величины содержания цезия-137 в некоторых продуктах питания (Бк/кг) в различные периоды после аварии на ЧАЭС

Наименование продукта	ВДУ-88	РКУ-90	РДУ-92	РДУ-96
1	2	3	4	5
Вода питьевая	18,5	18,5	18,5	18,5
Молоко	370	185	111	111
Говядина, баранина	2960	592	600	370
Свинина, птица, рыба, яйца	1850	592	600	370
Жиры растительные и животные, маргарин	370	185	185	185
Картофель, корнеплоды	740	592	370	100
Овощи и бахчевые	740	185	185	100
Фрукты и садовые ягоды	740	185	185	100
Хлеб и хлебобулочные изделия	370	370	185	74
1	2	3	4	5
Мука, крупа, сахар	370	370	370	100
Консервы плодово-ягодные	740	185	185	74
Дикорастущие ягоды	—	185	185	185
Грибы свежие	1480	370	-	370

Грибы сухие	11100	3700	3700	3700
Детское питание	1850	37	37	37
Прочие продукты питания	–	592	370	370

1. "О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС" (22.02.1991г., дополнение от 11.12.1991);

2. "О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС" (12.11.1991 г.).

Данный документ имеет следующие основные положения:

- 1) устанавливает правовой режим территорий РБ, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС;
- 2) его мероприятия направлены на снижение радиационного воздействия на население и экологические системы;
- 3) предусматривает проведение защитных и природовосстановительных мероприятий;
- 4) предусматривает рациональное использование хозяйственного потенциала этих территорий.

Основными принципами проживания населения на загрязнённой радионуклидами территории являются следующие:

1. Любая доза радиации не является безопасной для живого организма, что требует принятия мер по её снижению.

2. Необходимо учитывать возможность суммации повреждающего действия на организм излучения и действия ксенобиотиков.

3. Индивидуальный подход к условиям проживания в каждом населённом пункте из-за сложившейся различной радиологической обстановки и психо-эмоционального состояния людей.

Согласно данному Закону вся загрязнённая радионуклидами территория РБ делится на зоны:

1. **Зона эвакуации** (отчуждения, 30-км зона).
2. **Зона первоочередного отселения** - плотность загрязнения радионуклидами цезия-137 более **40 Ки/км<sup>2</sup>**.
3. **Зона последующего отселения** – с плотностью загрязнения территории **15-40 Ки/км<sup>2</sup>**.
4. **Зона с правом на отселение** – с поверхностной активностью **5-15 Ки/км<sup>2</sup>**.
5. **Зона периодического радиационного контроля** – с плотностью загрязнения **1-5 Ки/км<sup>2</sup>**.

Обозначение зон свидетельствует о том, что первоначальным критерием для отселения людей была плотность загрязнения территории радионуклидами, начиная с активности 15 Ки/км<sup>2</sup> и выше. Существует определенная корреляция между плотностью загрязнения территории радионуклидами и сформированной дозой на организм человека. Однако вследствие особенностей почв нашей республики не всегда эта закономерность поддерживается. Население отдельных районов Гомельской и Могилевской областей (особенно Белорусское Полесье) получает значительные дозовые нагрузки на организм за счет внутреннего облучения, проживая на территориях, незначительно загрязненных радионуклидами. Поэтому сейчас ведущим критерием для отселения людей являются дополнительные дозовые нагрузки на организм человека, которые формируются сверх доз, зависимых от естественного радиационного фона.

Основным показателем оценки территории, где условия проживания и трудовая деятельность населения не требует каких-либо ограничений, является дополнительная доза облучения не более **1 мЗв/год** (сверх дозы от естественного фона). Если формируется дополнительная доза облучения от 1 до 5 мЗв/год, необходимо проведение комплекса адекватных защитных мероприятий. При дополнительной дозовой нагрузке 5 мЗв/год и выше необходимо отселение.

Подводя итог всему сказанному, следует отметить, что радиационная обстановка в регионах, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС, до настоящего времени остается сложной. Неоднозначность радиоэкологической обстановки, сложность социально-психологической ситуации, упущения при реализации защитных мер привели к тому, что спустя столько лет все еще продолжают работы по ликвидации ее последствий.

## ГЛАВА 5

### МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ. СТРУКТУРА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ И ДИСПАНСЕРИЗАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ.

В конце 19 столетия были открыты явление радиоактивности и рентгеновское излучение. Применение этих открытий в практике, использования ядерной энергии в мирных и военных целях привело к накоплению знаний о медицинских последствиях облучения. Сюда следует включить наблюдения за 90000 пострадавших в результате бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, наблюдения за больными с анкилозирующим спондилитом, прошедшими курс рентгенотерапии (14000 случаев), наблюдение за пациентами, страдающими грибковыми заболеваниями кожи головы, подвергнутыми также рентгенотерапии (27000 пациентов), наблюдения за гинекологическими больными, прошедшими курс радиотерапии (83000 случаев), наблюдение за пострадавшими после Южно-Уральской катастрофы (28000 человек) и др. Ниже описываются данные о последствиях действия ионизирующей радиации на человека.

Как указывалось выше, в развитии радиационных повреждений можно выделить 4 фазы: три короткие, связанные с нарушениями на молекулярном уровне и четвертая - длинная, в течение которой развиваются изменения на уровне клетки, ткани, органа и организма. В свою очередь, сформировавшиеся на 4 фазе последствия делятся по времени на *ближайшие или ранние* и *отдаленные или поздние*, а по характеру проявления - на **детерминированные (ранее обозначаемые как нестохастические), стохастические и генетические.**

Ближайшие появляются спустя часы, дни или недели после облучения. Отдаленные – спустя годы или даже десятки лет.

Детерминированные (от латинского - *определять*) эффекты возникают в организме вскоре после облучения и, следовательно, являются ближайшими.

Стохастические (от латинского – случайный, вероятностный) эффекты - последствия радиационного воздействия возникают в отдаленные сроки после облучения (отдаленные последствия). Они носят вероятностный характер и

могут быть обнаружены при длительном наблюдении больших контингентов (когорт) людей.

Генетические эффекты - последствия, связанные с повреждением половых клеток. Они проявляются в последующих поколениях (отдаленные последствия) и носят также вероятностный характер.

Между перечисленными эффектами имеется несколько различий.

Отличительными особенностями проявления биологических последствий является наличие порога для детерминированных эффектов и его отсутствие для стохастических и генетических. Отсюда следует, что риск возникновения детерминированных эффектов может быть сведен к нулю путем снижением дозы облучения ниже пороговых значений. Риск же возникновения стохастических и генетических эффектов не может быть сведен к нулю, но может быть уменьшен снижением дозы облучения.

**Тяжесть проявления детерминированных эффектов зависит от индивидуальной дозы, которая была получена пострадавшим в результате облучения.**

**Дозовая зависимость для стохастических эффектов проявляется не в изменении тяжести заболевания, а в увеличении частоты той или иной патологии. При этом значение имеет не индивидуальная, а коллективная доза облучения на определенную популяцию или когорту лиц.**

К настоящему времени известна вероятность заболевания раком при получении человеком поглощенной дозы в 1 Гр. Известно также, что радиационный риск при полном отсутствии облучения равен нулю. Однако мало что известно о действии промежуточных доз, поэтому следует попытаться экстраполировать известные оценки риска при больших дозах облучения на область малых доз.

*Малыми дозами для данного вида организмов называют дозы, при которых выявляется обратная реакция объекта по сравнению с реакцией, вызываемой в области поражающего действия этого же вида радиации. Область малых доз лежит, как правило, на 2 порядка ниже  $LD_{50}$  для данного объекта. Так как для человека  $LD_{50}$  лежит в диапазоне 3-5 Гр (среднее значение 4 Гр), область малых доз будет составлять значения поглощенных доз меньше, чем 0,04 Гр.*

На рисунке 5-1 показаны три способа упомянутой экстраполяции. В общем случае все возможные виды зависимостей можно условно отнести к одному из трех типов. Первый тип зависимости (1) графически представляет собой прямую; это означает, что вероятность заболевания увеличивается прямо пропорционально дозе облучения. Второй тип зависимости (2) представлен выпуклой кривой и предполагает, что с увеличением дозы вероятность заболевания быстро растет при малых дозах и медленнее при больших. Третий тип зависимости (3) представлен вогнутой кривой и предполагает, что с увеличением дозы вероятность заболевания возрастает медленнее при малых дозах, чем при больших. Кривая (3) может быть продолжена до пересечения с осью ординат в области положительных эффектов (4), что позволяет предполагать возможность предупреждения малыми дозами онкологических заболеваний. Этот эффект получил название *радиационного гормезиса*.

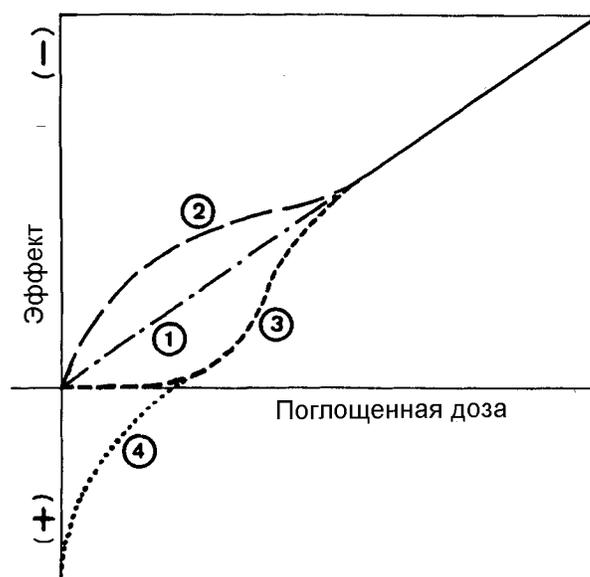


Рис.5-1. Способы экстраполяции стохастических эффектов в область малых доз ионизирующих излучений.

**В настоящее время общепринятым является допущение о линейной зависимости вероятности заболевания от дозы, т.е. зависимости типа (1).**

### *Детерминированные эффекты*

В основе механизма возникновения детерминированных эффектов после облучения лежит превышение количества погибших клеток над числом вновь

образованных. Если ткань жизненно важна и существенно повреждена, то конечным результатом может быть смерть организма. Клинические проявления детерминированных эффектов определяются специфической функцией облученной ткани. Это связано с тем, что наряду с гибелью функциональных клеток органа или ткани, могут быть повреждены сосуды, кровоснабжающие данную ткань, что приведет к вторичному повреждению ткани. Возможно также замещение функциональных клеток фиброзной тканью. Некоторые из детерминированных эффектов могут быть обратимы при условии, что повреждение не слишком тяжелое. Примером таких функциональных эффектов являются:

- уменьшение секреции экзо- и эндокринных желез (например, слюнных);
- неврологические эффекты (например, изменение ЭЭГ);
- сосудистые реакции (например, ранняя эритема или подкожный отек).

К детерминированным эффектам относят:

- опустошение красного костного мозга, проявление лучевой болезни. Клинически значимое подавление кроветворения при остром облучении наблюдается при превышении порогового значения поглощенной дозы 0,15 Гр. При протяженном облучении в течение многих лет порог мощности дозы превышает 0,4 Гр/год. При остром равномерном облучении однородной группы людей без высококачественного медицинского обслуживания ЛД<sub>50</sub> за 60 суток для развития костно-мозгового синдрома составляет примерно 3-5 Гр.
- нарушение репродуктивной функции. Порог для временной стерильности мужчины при однократном облучении семенников составляет около 0,15 Гр. В условиях протяженного облучения порог мощности дозы составляет примерно 0,4 Гр/год. Соответствующие значения для постоянной стерильности составляют от 3,5 до 6 Гр и 2 Гр/год. Порог для постоянной стерильности женщины при остром облучении находится в интервале от 2,5 до 6 Гр, причем с возрастом женщины чувствительность увеличивается. При протяженном облучении в течение многих лет пороговая мощность дозы превышает 0,2 Гр/год.
- лучевая катаракта. Наиболее чувствительной является экваториальная часть эпителия хрусталика, который в норме продолжает медленно пролиферировать в течение всей жизни. Помутнение хрусталика, вызванное облучением, можно отличить от катаракты, вызванной другими причинами только на ранних стадиях. На поздних стадиях определить причину развития катаракты уже

невозможно. При остром воздействии излучений с малой ЛПЭ порог для помутнения хрусталика, достаточного для ослабления зрения, лежит в диапазоне от 2 до 10 Гр. Для излучений с большой ЛПЭ (в частности, нейтронов) порог поглощенной дозы в 2-3 раза ниже. При протяженном многолетнем облучении порог мощности дозы выше 0,15 Гр/год. Первые клинические проявления развиваются спустя 4-13 лет. Длительность латентного периода увеличивается с возрастом облученного.

- неопухоловые формы поражения кожи:
  - лучевой дерматит;
  - изменения пигментации;
  - уплотнение и атрофия эпидермиса, атрофия или фиброз дермы;
  - хроническое изъязвление;
  - дисфункция потовых и сальных желез;
  - повышенная чувствительность кожи к травме;
  - поседение и выпадение волос.
- сокращение продолжительности жизни. В качестве порога для этого эффекта у млекопитающих называют дозу 0,04 Гр. По расчетам при облучении человека в больших дозах сокращение продолжительности жизни составит 1-15 сут на каждую 0,01 Гр при однократном облучении. Показано, что сокращение продолжительности жизни у облученных в малых дозах групп людей связано с избыточной смертностью от вызванных облучением опухолей, лейкозов; т.е. это сокращение продолжительности жизни вследствие развития стохастических эффектов. В то же время считают (НКДАР ООН, 1982г.), что облучение в дозах до 0,01 Гр в неделю не вызывает поддающегося обнаружению неспецифического сокращения продолжительности жизни.

Суммарная зависимость детерминированных эффектов от дозы облучения показана в табл.5-1.

### ***Стохастические эффекты***

В патогенезе стохастических эффектов существенную роль играет принцип вероятностных событий. В их основе лежит появление в организме выжившей, но поврежденной в результате облучения соматической клетки. При этом вероятность событий выражается в том, что у одинаковых индивидуумов с одинаковыми молекулярными повреждениями на уровне ДНК процессы репарации могут, в силу определенных генетических особенностей, протекать с разной интенсивностью. При этом у одного из индивидуумов репарация будет

## Дозовая зависимость детерминированных эффектов

Доза, Гр	Орган, ткань	Эффект
0,1	Плод	Тератогенез
0,15	Семенники	Временная стерильность
0,5	Костный мозг	Нарушение гематопоеза
0,5-2,0	Хрусталик	Нарушение прозрачности
3	Кожа	Эритема
2,5-6,0	Яичники	Стерильность
3,5-6,0	Семенники	Постоянная стерильность
5,0	Хрусталик	Катаракта
10,0	Легкие	Пневмония, смерть
10,0	Щитовидная железа	Гипотиреозидизм

полной и, следовательно, последствия не будут иметь место. У другого репарация пройдет не до конца, что приведет к возможности появления клетки с поврежденным генетическим аппаратом, способным индуцировать болезнь. В свою очередь существует вероятность уничтожения измененной клетки с помощью компонентов иммунной системы, которая будет предотвращать возникновение заболевания. Следовательно, последующие эффекты будут зависеть от множества причин, которые могут происходить или могут не возникнуть. В этом и проявляется принцип неопределенности, т.е. вероятности того или иного события.

В зависимости от вида клеток, в которых происходят наследственные изменения, различают:

- соматические или, правильнее, сомато-стохастические эффекты (их регистрируют у лиц подвергшихся облучению);
- наследуемые или генетические эффекты (их регистрируют у потомков лиц, подвергшихся облучению).

К сомато-стохастическим последствиям облучения относят злокачественные новообразования, которые могут возникать практически во всех органах. Установлено, что ионизирующая радиация индуцирует:

- лейкозы;
- рак щитовидной железы;
- рак легких, желудка;
- эндокринно-зависимые опухоли - рак молочной железы и яичников;

при местном облучении чаще всего развиваются злокачественные опухоли кожи и костей.

Табл.5-2

Латентные периоды стохастических эффектов

<b>Заболевание</b>	<b>Латентный период, годы</b>
Лейкозы (лейкемии)	5-7
Рак легких	10-20
Рак щитовидной железы	15-20
Опухоли костной ткани	15

Латентный период для онкологической патологии представлен в табл.5-2 и на рис.5-2. Следует указать, что медицинские последствия Чернобыльской катастрофы внесли определенные коррективы в значения латентных периодов некоторых видов патологии (см. ниже).

Согласно имеющимся данным, первыми в группе раковых заболеваний, поражающих население в результате облучения, будут лейкозы. Они вызывают гибель людей в среднем через 6 лет с момента облучения, гораздо раньше, чем другие виды раковых заболеваний. Согласно оценкам НКДАР ООН, от дозы облучения в 1 Гр в среднем два человека из тысячи умрут от лейкозов. Другими словами, если кто-то получит дозу в 1 Гр при облучении всего тела, то существует один шанс из 500, что этот человек умрет в дальнейшем от лейкоза.

Самыми распространенными видами рака, вызванными действием радиации, оказались рак щитовидной и молочной железы. По оценкам НКДАР, примерно у десяти человек из тысячи облученных отмечается рак щитовидной железы, а у десяти женщин из тысячи - рак молочной железы (в перерасчете на каждый Гр индивидуальной поглощенной дозы). Однако обе разновидности рака, в принципе, излечимы, и поэтому смертность от рака щитовидной железы поэтому особенно низка. Следовательно, лишь пять женщин из тысячи, по видимому, умрут от рака молочной железы на каждый Гр облучения и лишь один человек из тысячи облученных, возможно, умрет от рака щитовидной железы.

Рак легких, напротив, - один из тяжелых видов онкологической патологии. Он тоже принадлежит к распространенным разновидностям раковых заболеваний среди облученных групп населения. Согласно оценкам, из группы людей в тысячу человек, возраст которых в момент облучения превышает 35 лет, вероятно, пять человек умрут от рака легких в расчете на каждый Гр средней индивидуальной дозы облучения.

Рак других органов и тканей, как оказалось, встречается среди облученных групп населения реже. Согласно оценкам НКДАР, вероятность умереть от рака желудка, печени или толстой кишки составляет примерно всего лишь 1/1000 на каждый Гр средней индивидуальной дозы облучения, а риск возникновения рака костных тканей, пищевода, тонкой кишки, мочевого пузыря, поджелудочной железы, прямой кишки и лимфатических тканей еще меньше и

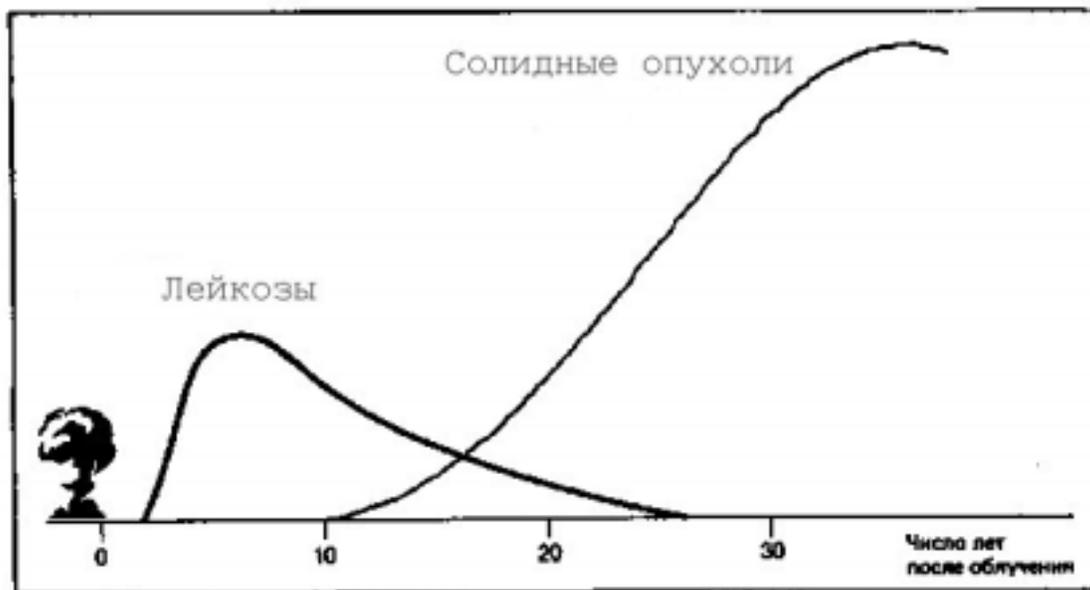


Рис.5-2. Время появления злокачественных опухолей с момента облучения.

составляет примерно от 0,2 до 0,5 на каждую тысячу и на каждый Гр средней индивидуальной дозы облучения.

Дети более чувствительны к облучению, чем взрослые, а при облучении плода риск заболевания раком, по-видимому, еще больше.

Наряду с приведенными сведениями, имеется ряд расхождений между данными наблюдений за пострадавшими в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки и другими исследованиями. Указанные противоречия лишний раз подчеркивают трудности получения оценок в области малых доз на основании сведений, относящихся к большим дозам и полученных из весьма ограниченного числа источников. Поэтому неудивительно, что нет единого мнения по вопросу о том, насколько велик риск заболевания раком при малых дозах облучения. Чем меньше доза, тем труднее получить статистически достоверный результат.

### *Генетические эффекты*

Генетические последствия действия радиации можно разделить на 3 группы:

## 1. Серьезные нарушения развития у потомства облученных родителей.

К ним относятся:

- эмбриональная и ранняя постнатальная гибель;
- врожденные пороки и задержка развития;
- снижение фертильности;
- изменение морфологических и биохимических признаков.

В их основе лежат "крупные" мутации: - хромосомные, геномные, доминантные генные. Эффекты этой группы проявляются преимущественно в первом и втором поколениях после облучения.

## 2. Физиологическая неполноценность потомства:

- снижение устойчивости к неблагоприятным воздействиям;
- функциональные сдвиги;
- дестабилизация генетического аппарата.

3. Увеличение риска канцерогенеза, поскольку мутагенные воздействия на родителей создают наследственную предрасположенность к бластоогенезу у потомства.

### ***Общесоматические эффекты***

До недавнего времени в постулатах радиобиологии и радиационной медицины отрицались изменения в общесоматической заболеваемости населения после радиоактивного облучения. Тем не менее, 30-летние наблюдения за пострадавшими в результате атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки показывают, что и неонкологическая патология имеет тенденцию к изменению. Японским исследователям удалось рассчитать коэффициенты относительного риска (ОР), приведенные на рис.5-3. Согласно этим данным, наиболее высокий коэффициент ОР имели доброкачественные опухоли матки, затем, по убывающей, располагались: доброкачественные опухоли щитовидной железы, хронические заболевания печени, катаракта, заболеваний сердечно-сосудистой системы. Эти данные во многом напоминают ситуацию с заболеваемостью в регионах бывшего Советского Союза, пострадавших в результате чернобыльской катастрофы.

### ***Заболеваемость населения в Республике Беларусь после катастрофы на Чернобыльской АЭС.***

Детерминированные эффекты в виде острых лейкозов (237 случаев) были зарегистрированы среди сотрудников станции, пожарных и участников

ликвидации последствий аварии, принимавших участие в тушении пожара, дезактивации территории. Помимо этого наблюдались радиодерматиты за счет облучения кожи  $\beta$ -активными радионуклидами.

Острых радиационных синдромов среди населения не отмечено.

Одним из стохастических эффектов, отличающимся от описанных выше известных данных, вскоре после чернобыльской катастрофы был рост злокачественной патологии щитовидной железы у детей, а позже и взрослых. До катастрофы рак щитовидной железы был относительно редким заболеванием (1 случай на 2000000 детей). Рост заболеваемости раком щитовидной железы начался через 4 года после катастрофы сначала в Гомельской, а затем в Брестской и других областях (рис.5-4).

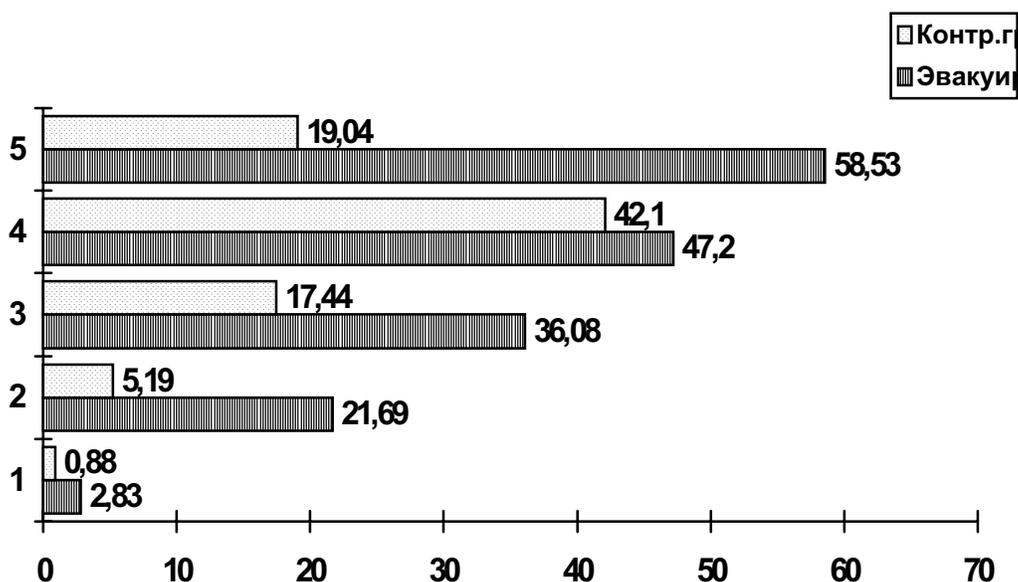


Рис.5-3. Коэффициенты относительного риска некоторых видов неонкологической патологии среди пострадавших в результате бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки.

Среднегодовая заболеваемость раком щитовидной железы у детей к середине 90-годов возросла приблизительно в 50 раз, у взрослых – более чем в 2 раза. По Беларуси показатель заболеваемости на 100 тысяч населения оказался самым высоким среди европейских стран, где тиреоидный рак является большой редкостью.

В целом, в последние годы в структуре онкологической заболеваемости нашей республики произошли определенные изменения: заметно увеличилась частота заболевания опухолями щитовидной железы, органов дыхания (главным образом, за счет новообразований легких), опухолями

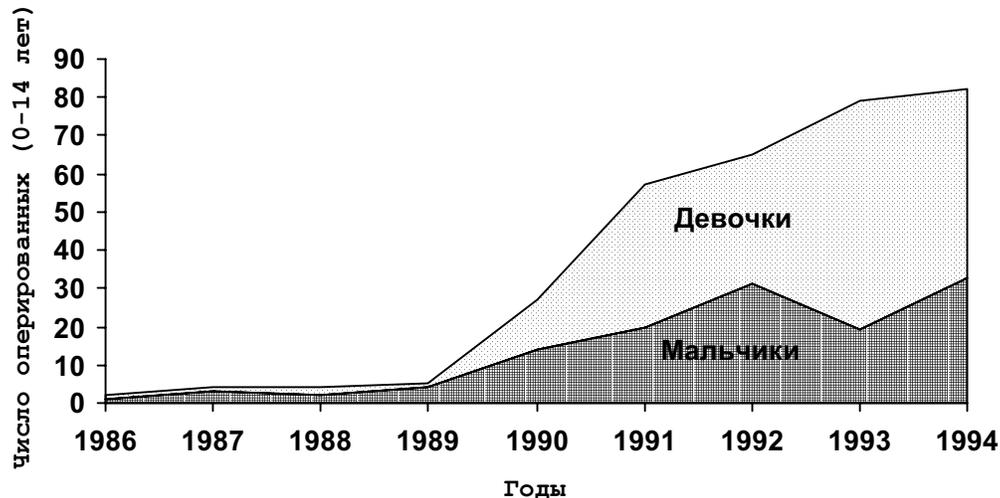


Рис.5-4. Динамика оперативных вмешательств по поводу рака щитовидной железы у детей.

молочной железы, мочеполовых органов, ободочной и прямой кишки и др. Имеющиеся данные позволяют предполагать, что увеличение заболеваемости раком легких, молочной железы, мочевого пузыря и почки можно связать с воздействием радиационного фактора.

За 1986-1996 гг. показатели заболеваемости злокачественными опухолями у мужчин увеличились на 24,1%, у женщин - на 22,6%.

За период с 1979 по 1985 гг. острым и хроническим лейкозом заболело в Беларуси 677 детей в возрасте от 0 до 14 лет, что составило 4,34 случая на 100.000 детского населения. Этот уровень заболеваемости лейкемиями детей Беларуси до Чернобыльской аварии соответствует уровню заболеваемости детей в других странах. В среднем по республике она составила 4,45 на 100.000 детей.

Тем не менее не установлено пока значимой разницы в заболеваемости детей лейкемиями на "чистых" территориях и территориях с загрязнением радиоактивным цезием более 15 Ки/км.кв.

После Чернобыльской катастрофы отмечается увеличение частоты рождаемости детей с врожденными пороками развития (ПР).

Показатель частоты ПР за 1986-1994 гг. составил 4,62 (на загрязненной территории) и 2,55 (в контрольной зоне) на 1000 абортусов. Частота рождения детей с ПР строгого учета (подлежащих обязательной регистрации) увеличилась по всей республике. Однако, если показатель такого увеличения на "чистых" территориях составляет 39%, то на территориях, загрязненных цезием-137 1-15 Ки/км.кв. - 44%, а на территориях с содержанием цезия-137 более 15 Ки/км.кв. - 79%.

### **Соматическая заболеваемость.**

Соматическую заболеваемость необходимо рассматривать в различных группах населения, которые различаются по величине полученных доз облучения. Наибольшие дозы получили участники ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС (1986-1987 гг.) и эвакуированные из зоны отчуждения.

### **Состояние здоровья участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и эвакуированных из 30-км зоны.**

Заболеваемость участников ликвидации последствий аварии как в целом, так и по основным классам болезней, выше среднереспубликанской и имеет тенденцию к росту.

Обращает на себя внимание рост количества новообразований, болезней эндокринной системы, системы кровообращения и дыхания, органов пищеварения. У эвакуированных из 30-км зоны около Чернобыльской АЭС наблюдается определенная тенденция к увеличению заболеваемости как среди взрослых, так и среди детей.

Первичная заболеваемость эвакуированных взрослых и подростков в 1994 году, по сравнению с 1993 годом, возросла в 3,5 раза. В 1994 году по сравнению с 1993 годом заболеваемость лиц этой группы учета выросла по большинству классов болезней, в том числе эндокринной системы в 5,7 раза, болезнями кровообращения в 5,3, болезнями нервной системы в 4,6 раза. Наблюдается рост частоты заболеваний органов дыхания, пищеварения, психическими расстройствами и др.

Смертность эвакуированного населения за период с 1990 по 1994 годы имела тенденцию к росту.

## ***Заболеваемость населения, проживающего на загрязненных территориях.***

За прошедшие после аварии годы изменилась структура заболеваемости жителей Беларуси: увеличивается заболеваемость органов пищеварения, системы кровообращения и дыхания, нервной и эндокринной систем (рис.5-5).

### **Болезни органов дыхания**

Наибольший удельный вес в структуре заболеваемости детского населения, проживающего на загрязненных территориях, принадлежит болезням органов дыхания. Среднегодовой темп прироста превышает таковой для других типов заболеваний. За период, прошедший с момента катастрофы, частота этих заболеваний возросла более чем в 2 раза.

### **Болезни желудочно-кишечного тракта.**

Увеличивается частота заболеваний органов пищеварения у детей и подростков. Среди них ведущее место занимают болезни желудка, 12-перстной кишки и желчевыводящих путей, причем преобладают сочетанные формы патологии системы пищеварения (хронические гастродуодениты). Среди детей, эвакуированных из 30-км зоны, болезни органов пищеварения занимают второе место. Эти изменения, по всей вероятности, связаны с контактом органов желудочно-кишечного тракта с радионуклидами, попадающими в организм с пищей и теми нарушениями, которые формируются вследствие кумулятивного хронического лучевого воздействия.

### **Болезни сердечно сосудистой системы.**

Отмечается более высокий удельный вес распространенности сердечно-сосудистых заболеваний среди населения, подвергшегося радиационному воздействию.

Эта тенденция особенно выражена среди эвакуированного взрослого населения. Заболеваемость системы кровообращения у них за последние пять лет возросла в 1,5 раза и превысила средний показатель заболеваемости в республике по этому классу болезней в 3,7 раза.

### **Болезни нервной системы.**

Изменения неврологического, психоэмоционального статуса и нарушения иммунной системы у пострадавшего населения свидетельствуют о перенапряжении адаптационных систем организма и истощении защитных нервно-психических механизмов.

У лиц, подвергшихся воздействию радиационного облучения, отмечаются преобладающее снижение уровня психической адаптации, вызванное

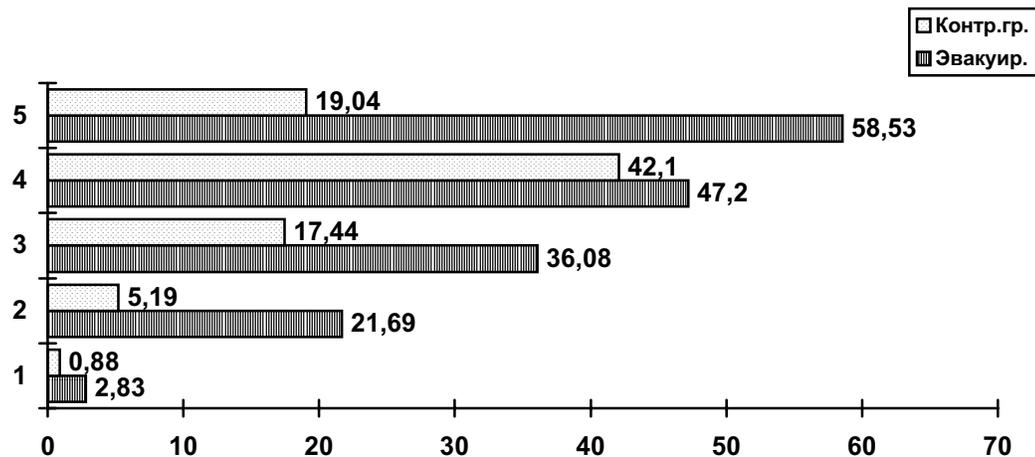


Рис.5-5. Заболеваемость эвакуированного взрослого населения и населения Минской области в 1994 году (на 1000 населения).

Условные обозначения: 1-болезни крови и кроветворных органов, 2-болезни эндокринной системы, 3-болезни органов пищеварения, 4-болезни нервной системы и органов чувств, 5-болезни системы кровообращения.

неуверенностью в себе, неустойчивой самооценкой и пессимистической оценкой будущего, тенденция к повышенной истощаемости нервной системы, сниженная работоспособность, ослабление концентрации и устойчивости внимания.

Исследования детей с предполагаемым внутриутробным поражением головного мозга показывают, что у этой категории часто встречается задержка психического развития, астенические состояния и вегето-сосудистая патология. Это свидетельствует о том, что последствия ядерной катастрофы могут негативно воздействовать на человека еще до его рождения.

### **Болезни щитовидной железы.**

В структуре первичной заболеваемости эндокринной системы преобладает патология щитовидной железы.

У детского населения загрязненных радионуклидами районов Республики выявлена более высокая распространенность узловых патологий щитовидной железы и аутоиммунного тиреоидита. Так количество первой из них за 1990-1993 гг. увеличилось в 2 раза.

Анализ изменений состояния щитовидной железы в зависимости от дозовой нагрузки показал, что у детей и подростков с поглощенной дозой 1-2 Гр отклонения при УЗИ наблюдаются наиболее часто и стойко.

### ***ДИСПАНСЕРИЗАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ РБ, ПОДВЕРГШЕГОСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ.***

5 мая 1993 г. было принято Постановление Совета Министров РБ N 283 "О создании Белорусского Государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС", утверждено Положение о Белорусском Государственном регистре лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС.

**Цель создания Государственного регистра - обеспечение контроля за состоянием здоровья населения, подвергшегося радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, а также получение достоверных данных о медико-биологических последствиях катастрофы.**

Государственный регистр включает четыре уровня наблюдения - республиканский, областной (Минский городской), районный и уровень лечебно-профилактического учреждения, осуществляющего диспансеризацию. Включению в Государственный регистр подлежат 7 групп лиц первичного учета. Эти лица по Приказу МЗ РБ N122 от 13.04.1999 г. «Порядок проведения диспансеризации граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС» подлежат специальной диспансеризации.

#### **ЗАДАЧИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ.**

Основными задачами спецдиспансеризации являются:

- раннее выявление больных, обследование, уточнение диагноза, организация лечения;
- выявление лиц с факторами риска, способствующими возникновению и развитию заболеваний;
- динамическое наблюдение за состоянием здоровья лиц, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС;
- проведение профилактических, реабилитационных и оздоровительных мероприятий среди наблюдаемого контингента населения.

Диспансерные осмотры и наблюдения за лицами, пострадавшими от катастрофы на ЧАЭС, а также оказание им медицинской помощи и проведение лечебно-профилактических мероприятий осуществляются лечебно-профилактическими учреждениями по месту жительства или работы.

Объемы и кратность профилактических осмотров населения, предусмотренные настоящим положением - минимальные и обязательные для выполнения на всей территории республики.

### ***ГРУППЫ ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА, ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ОБЪЕМ ДИСПАНСЕРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ.***

**1. ПЕРВАЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА:** лица, принимавшие участие в работах по ликвидации аварии и ее последствий.

Подгруппа 1. Лица, принимавшие участие в работах по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в пределах зоны эвакуации в 1986-1987 годах. Частота медицинского наблюдения - 1 раз в год. Объем обследования - осмотр терапевтом, эндокринологом, офтальмологом, отоларингологом, невропатологом, гинекологом (для женщин), онкологом;  
- анализ крови общий, формула крови с подсчетом количества тромбоциты;  
- ЭКГ;  
- осмотр другими специалистами по показаниям.

Подгруппа 2. Лица, принимавшие участие в работах по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1988-1989 гг. в пределах зоны эвакуации, а также лица, принимавшие участие в 1986-1987 гг. в работах по строительству, дезактивации, по жизнеобеспечению в зонах первоочередного и последующего отселения.

Подлежат диспансерному наблюдению по месту жительства или работы.

Частота медицинского наблюдения - 1 раз в год. Объем обследования: - осмотр терапевтом;  
- анализ крови общий, формула крови;  
- осмотр другими специалистами по показаниям.

**2. ВТОРАЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА:** лица, эвакуированные или самостоятельно покинувшие зоны эвакуации в 1986 году. Частота медицинского наблюдения детей - 1 раз в год. Объем обследования:

- осмотр педиатром, эндокринологом, невропатологом, отоларингологом, офтальмологом;

- анализ крови общий, формула крови с подсчетом количества тромбоцитов;
- УЗИ щитовидной железы;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

Частота медицинского обследования взрослых - 1 раз в год. Объем обследования:

- осмотр терапевтом, эндокринологом, невропатологом, отоларингологом;
- анализ крови общий, формула крови с подсчетом количества тромбоцитов;
- УЗИ щитовидной железы;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

**3. ТРЕТЬЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА:** лица, проживающие в зонах первоочередного и последующего отселения или самостоятельно выехавшие из этих зон после катастрофы.

Подлежат диспансерному наблюдению по месту жительства. Частота медицинского наблюдения детей - 1 раз в год. Объем обследования:

- осмотр педиатром;
- анализ крови общий, формула крови;
- для лиц, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях проводится радиометрический контроль не менее 1 раза в год;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

Частота медицинского наблюдения взрослых - 1 раз в год. Объем обследования:

- осмотр терапевтом;
- анализ крови общий, формула крови;
- для лиц, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, проводится радиометрический контроль не менее 1 раза в год;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

**4. ЧЕТВЕРТАЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА:** дети, родившиеся от лиц, отнесенных к 1-3 группам первичного учета, за исключением детей, отнесенных к 3-ей группе первичного учета. Подлежат диспансерному наблюдению по месту жительства. Частота медицинского наблюдения - 1 раз в год. Объем обследования:

- осмотр педиатром;
- анализ крови общий, формула крови;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

**5. ПЯТАЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА:** лица, проживающие в зоне с правом на отселение и зоне проживания с периодическим радиационным контролем, а также жители других населенных пунктов, где средняя эквивалентная доза облучения превышает 1 мЗв в год.

Подлежат диспансерному наблюдению по месту жительства. Частота медицинского наблюдения детей - 1 раз в год. Объем обследования:

- осмотр педиатром;
- анализ крови общий, формула крови;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

Частота наблюдения взрослых - не реже 1 раза в 2 года. Объем медицинского обследования:

- осмотр терапевтом;
- анализ крови общий, формула крови;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

**6. ШЕСТАЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА:** лица, участвовавшие в ликвидации или пострадавшие от аварий и их последствий на других атомных объектах гражданского или военного назначения, а также пострадавшие от этих аварий или в результате испытаний, учений и иных работ, связанных с любыми видами ядерных установок, включая ядерное оружие, что подтверждается соответствующими документами ведомств, в ведении которых находятся указанные объекты. Подлежат диспансерному наблюдению по месту жительства. Частота наблюдения - 1 раз в год. Объем медицинского обследования:

- осмотр терапевтом;
- анализ крови общий, формула крови;
- осмотр другими специалистами по показаниям.

Дети и подростки, находившиеся с 26 апреля по 31 мая 1986г. на территориях радиоактивного загрязнения (включая детей, находившихся во внутриутробном состоянии) при обнаружении у них заболеваний кроветворных органов (острые лейкозы), щитовидной железы (аденома, рак) и злокачественных опухолей наблюдаются специализированными учреждениями по профилю заболевания.

**7. СЕДЬМАЯ ГРУППА ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА** – инвалиды вследствие катастрофы на ЧАЭС из числа граждан, не имеющих статуса " пострадавший от

катастрофы на ЧАЭС" , а также дети и подростки при обнаружении у них заболеваний кроветворных органов (острые лейкозы), щитовидной железы (аденома, рак) и злокачественных опухолей, если они не отнесены к другим группам первичного учета. Сюда относятся также дети, подростки и взрослые. Частота обследования - 1 раз в год. Объем обследования - врачи по профилю основного заболевания в т.ч. онколог, эндокринолог, гематолог, а также терапевт, (терапевт подростковый, педиатр). Анализ крови общий с формулой. Другие исследования по профилю основного заболевания.

**ГЛАВА 6**  
**КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.**  
**МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ.**  
**КОНЦЕПЦИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**ПРИ АВАРИЯХ НА ЯДЕРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.**  
**ПРИНЦИПЫ СНИЖЕНИЯ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА ОРГАНИЗМ**

Широкое распространение и применение источников ионизирующего излучения в науке, промышленности, медицине и сельском хозяйстве диктует необходимость применения и постоянного совершенствования системы мер государственного и международного контроля за обеспечением радиационной безопасности.

Мировая общественность проявляет серьезную озабоченность по поводу правового регулирования использования радиоактивных материалов, регламентации дозовых нагрузок на человека. Создан ряд межправительственных (МАГАТЭ, ЕВРАТОМ, ВОЗ, МОТ) и неправительственных (МКРЗ, ФИРЭ) международных организаций, на рекомендациях которых основано правовое регулирование использования источников ионизирующего излучения в различных странах. Основными экспертными органами являются:

1. МКРЗ (ICRP) - Международная комиссия по радиологической защите – независимый, неправительственный орган. Ее целью является установление основных принципов радиационной защиты и публикация соответствующих рекомендаций. Эти принципы и рекомендации образуют основу для регламентации облучения персонала и населения на национальном уровне с учетом научно-технического потенциала, социально-экономических и природных условий в этих странах. Этим занимаются национальные комиссии по радиологической защите - НКРЗ. Как правило нормативно-правовая документация, издаваемая НКРЗ, по основным положениям не выходит за рамки рекомендаций МКРЗ и не противоречит им.

2. МАГАТЭ (IAEA) - Международное агентство по атомной энергии - это международная межправительственная организация для осуществления сотрудничества в использовании ядерной энергии в мирных целях. В настоящее время ее членами являются 122 государства, в том числе и Республика Беларусь. Агентство оказывает содействие в развитии ядерной инфраструктуры государств-членов путем передачи соответствующих данных, специальных знаний и технологий. Значительная часть деятельности агентства посвящена

развитию ядерной энергетики, включая вопросы ее безопасности и обращения с отходами, проверке использования ядерных технологий исключительно для мирных целей. В середине 1994 г. была завершена работа над международной конвенцией о ядерной безопасности. Конвенция регулирует безопасность расположенных на суше гражданских атомных станций.

3. НКДАР ООН (UNSCEAR) - Научный комитет по действию атомной радиации, образованный Генеральной Ассамблеей ООН в 1955 г. Он предназначен для сбора, изучения и распространения информации по наблюдавшимся уровням ионизирующего облучения и радиоактивности (естественной и антропогенной) окружающей среды, а также по последствиям такого облучения для человека и окружающей среды.

Для предотвращения появления детерминированных эффектов облучения и сведения к минимуму вероятности появления соматико-стохастических последствий необходимо ограничивать дозы внешнего и внутреннего облучения персонала, отдельных лиц из населения и всего населения при применении, хранении и транспортировке радиоактивных веществ, использовании ядерных реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских аппаратов и других источников ионизирующих излучений. Система радиационной безопасности предприятия призвана обеспечивать уменьшение радиоактивного загрязнения окружающей среды и снижение дозовых нагрузок на людей до соответствующих порогов.

**Радиационная безопасность** - это комплекс мероприятий (административных, технических, санитарно-гигиенических и других мероприятий), ограничивающих облучение различных категорий населения в пределах допустимых порогов и обеспечивающих снижение радиоактивного загрязнения окружающей среды до наиболее низких уровней, достигаемых приемлемыми для общества средствами (с учетом социальных и экономических факторов).

В настоящее время все страны, использующие атомную энергию, имеют национальные нормы и правила радиационной безопасности, основанные на рекомендациях МКРЗ. Основным документом, регламентирующим облучение различных категорий населения в Республике Беларусь, "НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ" (НРБ-76/87). НРБ базируются **на трех основных принципах радиационной безопасности.**

1. Непревышение установленного основного дозового предела (принцип нормирования). Установлены два дозовых предела: предельно допустимая доза (ПДД) и предел дозы (ПД);

2. Исключение всякого необоснованного облучения (принцип обоснования);

3. Снижение дозы излучения до возможно низкого уровня (принцип оптимизации). Доза должна быть настолько низкой, насколько это возможно и достижимо с учетом социально-экономического и научного потенциала страны.

Нормирование радиационного воздействия осуществляется дифференцированно для разных категорий облучаемых лиц. Категория облучаемых лиц – это условно выделяемая группа населения, отличающаяся по степени контакта с ионизирующим излучением.

НРБ-76/87 установлены 3 категории облучаемых лиц:

**Категория А** – персонал (профессиональные работники), т.е. лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с ИИИ (пример: врач-рентгенолог, лаборант радиоизотопной лаборатории ).

**Категория Б** - ограниченная часть населения - лица, которые не работают непосредственно с ИИИ, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждениях и/или удаляемых во внешнюю среду с отходами (пример: медицинский персонал поликлиники, работающий в смежных помещениях с рентгеновским кабинетом). Уровень облучения лиц категории Б определяется по критической группе. **Критическая группа** - небольшая по численности группа лиц категории Б, однородная по условиям жизни, возрасту, полу или другим факторам, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию в пределах учреждения, его санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.

**Категория В** - население области, края, республики, страны.

Учитывая возможность общего и локального облучения, а также различия органов и тканей по радиочувствительности, НРБ-76/87 устанавливаются **три группы критических органов:**

I группа - все тело, гонады, красный костный мозг;

II группа - мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаз и другие

органы, за исключением тех, которые относятся к 1 и 3 группам;

III группа - кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Основные дозовые пределы ( ПДД и ПД ) установлены в зависимости от группы критических органов и категории облучаемых лиц (категория А и Б соответственно):

Табл.6-1

Дозовые пределы суммарного внешнего и внутреннего облучения  
(в мЗв за календарный год).

Дозовые пределы	Группа критических органов		
	I	II	III
ПДД, кат. А	50	150	300
ПД, кат. Б	5	15	30

Примечание: 1. Для категории А (за исключением женщин репродуктивного возраста до 40 лет) распределение дозы внешнего облучения в течении календарного года не регламентируется. 2. Для женщин репродуктивного возраста вводится ограничение облучения на область таза, которое не должно превышать 10 мЗв за любые два месяца. По данным МКРЗ 1990 г. доза для беременных женщин не должна превышать 5 мЗв за период беременности .

**ПДД** - наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год (для категории А), при котором равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

**ПД** - наибольшее значение средней эквивалентной дозы за календарный год у критической группы лиц (категория Б), при котором равномерное облучение в течение 70 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. Непревышение основных дозовых пределов контролируется по мощности эквивалентной дозы внешнего излучения на территории и в помещениях, по уровню радиоактивных выбросов в окружающую среду и по уровню радиоактивного загрязнения объектов внешней среды.

Дозовые пределы для всего населения - **категория В** - не устанавливаются. Ограничение облучения населения осуществляется регламентацией или контролем следующих параметров:

- радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (воды, воздуха, пищевых продуктов и т.п.);

- радиационной безопасности технологических процессов, которые могут привести к загрязнению радионуклидами объектов окружающей среды;
- доз облучения, полученных при проведении медицинских диагностических и лечебных процедур;
- техногенно-повышенного фона, обусловленного строительными материалами, химическими удобрениями, сжиганием органического топлива и т.п.;
- установленными дозовыми пределами для категорий А и Б.

Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения не включают дозы естественного фона и дозы, получаемые при медицинских обследованиях и лечении.

Регламентация и контроль за облучением населения - компетенция Минздрава, и осуществляются они на основе информации ведомств и служб Государственного санитарного надзора.

При проектировании и планировании мероприятий по радиационной безопасности и при проведении радиационного контроля применяются **допустимые уровни** облучения (ДУ), при соблюдении которых реально получаемые дозы облучения не превысят основные дозовые пределы.

Для контроля за дозами внешнего облучения лиц категории А используют следующие ДУ:

ДМД<sub>А</sub> - допустимая мощность дозы в рабочем помещении;

ДЗ<sub>А</sub> - допустимое загрязнение кожных покровов, спецодежды и рабочих поверхностей;

ДПП<sub>А</sub> – допустимая плотность потока частиц.

Для контроля за дозами внутреннего облучения:

ПДП<sub>А</sub> - предельно допустимое годовое поступление радионуклида через органы дыхания;

ДС<sub>А</sub> – допустимое содержание радионуклида в критическом органе;

ДК<sub>А</sub> – допустимая концентрация радиоактивных веществ в воздухе рабочей зоны.

Соответствующие ДУ, но более низкие по величине, разработаны для лиц категории Б. Регулярный дозиметрический и радиометрический контроль за соблюдением нормативных ДУ с целью обеспечения непревышения основных

дозовых пределов проводит служба радиационной безопасности предприятия.

Кроме того, администрацией учреждения устанавливаются контрольные уровни (КУ), которые учитывают достигнутый в учреждении уровень радиационной безопасности и обеспечивают условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого. Контрольные уровни, принятые в учреждении всегда ниже ДУ.

В соответствии с Законом Республики Беларусь “О радиационной безопасности населения” допустимая средняя годовая эффективная доза при равномерном облучении всего тела для персонала (категория А) равна 20 мЗв, однако для обеспечения такого дозового предела необходимо разработать и внедрить новые величины допустимых и контрольных уровней.

Необходимо отметить, что гигиеническое нормирование действия ионизирующих излучений на организм человека в странах бывшего Советского Союза основано на пороговой концепции (см. формулировки ПД и ПДД). Вся философия и концепция радиационной защиты МКРЗ, национальных комитетов и экспертных комиссий экономически развитых европейских стран и США построена на понятии **допустимого приемлемого риска**. Основной постулат предложенной концепции: «Фактически, абсолютная безопасность невозможна. Поэтому необходимо определить не безопасные уровни облучения, а установить - какой безопасный уровень является **достаточно безопасным**». Таким образом, основной принцип радиационной защиты в соответствии с концепцией допустимого риска состоит в следующем: поддержание риска на обоснованно оцененном приемлемом уровне и означает безопасность. Категория приемлемого (допустимого) риска определяется в основном социально-экономическими, психологическими, нравственно-этическими и политическими факторами. Снижение же радиационного риска (как впрочем и другие виды антропогенных рисков) ниже значения, оцененного как социально приемлемое, наносит совершенно очевидный вред обществу в связи с косвенными необоснованными затратами, связанными с ужесточением регламентов. Однако сами величины дозовых пределов в странах бывшего Советского Союза не выходят за рамки рекомендаций МКРЗ.

Основной документ, регламентирующий требования по обеспечению радиационной безопасности различных категорий облучаемых лиц, а также по охране окружающей среды от загрязнения радиоактивными веществами,

"ОСНОВНЫЕ САНИТАРНЫЕ ПРАВИЛА работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений" ОСП-72/87. Выполнение требований основных санитарных правил обеспечивает не превышение установленных основных дозовых пределов. В ОСП-72/87 регламентируются основные требования к радиационной безопасности. В частности:

- требования к размещению, оборудованию, оснащению и организации работ на объектах, использующих источники ионизирующих излучений;
- правила обращения с радиоактивными веществами и отходами;
- правила работы с закрытыми и открытыми ИИИ;
- требования к дезактивации помещений и оборудования;
- мероприятия по предупреждению и ликвидации радиационных аварий;
- правила использования средств индивидуальной защиты и личной гигиены;
- порядок проведения радиационного контроля.

Основные требования безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения зависят от типа используемого на предприятии источника: закрытый или открытый ИИИ.

**Закрытый источник** - радионуклидный источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан. Кроме радионуклидных источников к закрытым ИИИ относят устройства, генерирующие ионизирующее излучение (например: рентгеновский аппарат). При работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения человек подвергается только внешнему облучению.

**Открытый источник** - радионуклидный источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радиоактивных веществ в окружающую среду. При работе с открытыми ИИИ возможно загрязнение окружающей среды и попадание радионуклидов внутрь организма, поэтому человек подвергается не только внешнему, но и внутреннему облучению.

Все работы с открытыми радиоактивными веществами подразделяются на **три класса**. Класс работ устанавливается в зависимости от:

- степени радиационной опасности нуклида как потенциального источника внутреннего облучения (по степени радиационной опасности в зависимости от минимально значимой активности и радиотоксичности нуклиды делятся на четыре группы – А, Б, В, Г);

- фактической активности источника на рабочем месте.

Классом работ определяются требования к размещению, набору и оборудованию помещений, в которых проводятся работы с открытыми источниками. Наиболее жесткие требования по радиационной безопасности предъявляются для помещений с I-ым классом работ. Все объекты, использующие ИИИ, находятся на учете в органах Госсаннадзора и МВД.

Радиационный дозиметрический контроль (контроль за соблюдением допустимых уровней облучения и индивидуальный дозиметрический контроль) проводится службой радиационной безопасности, либо специально выделенным лицом. Если годовая эффективная эквивалентная доза на персонал предприятия не превышает  $1/3$  ПДД, то индивидуальный дозиметрический контроль можно не проводить.

При возникновении опасности повышенного, по сравнению с естественным фоном, облучения отдельных контингентов населения в результате радиационной аварии Министерство здравоохранения устанавливает временные дозовые пределы и допустимые уровни облучения населения для данного региона и участвует в выработке необходимых организационных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности на данных территориях.

В настоящее время на планете работает более 400 атомных электростанций (АЭС), строится еще более 100. Кроме того, действует большое число отдельных ядерных реакторов. При выработке атомной энергии в них накапливается огромное количество радиоактивных веществ, образующихся при физическом распаде ядер атомов топлива. Поэтому именно реакторы и являются в первую очередь потенциальным источником радиационной опасности. К 1987 году в мире зарегистрированы 284 серьезные атомные аварии на АЭС, которые сопровождались выбросом в окружающую среду радиоактивных материалов.

Наряду с этим инциденты периодически возникают и в радиохимическом производстве, только на предприятиях бывшего СССР их произошло более 250, а самые тяжелые из них – те, которые связаны с возникновением самоподдерживающейся цепной реакции. К 1994 году в США было 9 таких происшествий, в России – 7 (наиболее значительные из них на ПО «Маяк» в

Челябинске–65, Сибирском химическом комбинате в Томске–7, горно-химическом комбинате в Красноярске–26).

В 1990 году группой экспертов МАГАТЭ и ЕВРАТОМ была предложена **МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ** (Приложение 2). События, классифицируемые в шкале, относятся только к радиационной безопасности. Промышленные аварии или другие события, не связанные с ядерными или радиационными операциями, не классифицируются и определяются как "выходящие за рамки шкалы".

Шкала разделена на 2 большие части: нижние три уровня (1-3) относятся к происшествиям (инцидентам), а верхние уровни (4-7) к авариям. Очень незначительные события, не влияющие на радиационную безопасность, классифицируются как события ниже уровня шкалы, или нулевого уровня. Все ядерные установки проектируются таким образом, что существует ряд слоев безопасности, предотвращающих возникновение значительного воздействия на площадке и за ее пределами. Безопасность обеспечивается за счет применения системы барьеров (топливная матрица, оболочки ТВЭЛов, контур теплоносителя, герметичные помещения, фильтры), системы технических и организационных мер. Совокупность этих слоев безопасности называют "глубокоэшелонированной защитой".

События рассматриваются с точки зрения трех критериев безопасности:

- 1) события, связанные с ухудшением глубокоэшелонированной защиты, включают происшествия 1 - 3 уровней.
- 2) воздействие за пределами площадки, т.е. происходит воздействие на окружающую среду и здоровье населения - диапазон уровней шкалы от 3 до 7;
- 3) воздействие на площадке, т.е. это диапазон уровней от 2 (значительное загрязнение поверхностей и/или облучение персонала) до 5 (серьезная авария на станции – серьезное повреждение активной зоны ядерного реактора);

В случае аварии на ядерном реакторе (другой ядерно-физической установке) на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, проводится комплекс мероприятий по защите населения и персонала. В зависимости от складывающейся обстановки могут быть приняты следующие **меры по защите людей и окружающей среды от ионизирующих излучений**:

- 1) ограничение пребывания на открытой местности (временное укрытие в домах и убежищах);

- 2) проведение экстренных мер защиты:
  - защита органов дыхания специальными (респиратор, противогаз) и подручными средствами (носовые платки, полотенца, бумажные салфетки);
  - герметизация жилых и служебных помещений на время рассеивания радиоактивных веществ в воздухе и формирования радиоактивного загрязнения территории;
- 3) йодная профилактика;
- 4) эвакуация и переселение;
- 5) дезактивация территорий, зданий и сооружений;
- 6) захоронение образовавшихся в результате дезактивационных мероприятий радиоактивных отходов, а также отходов промышленного и сельскохозяйственного производства с повышенным содержанием радионуклидов;
- 7) ограничение свободного доступа населения на территории с высокими уровнями радиоактивного загрязнения и прекращение хозяйственной деятельности;
- 8) перепрофилирование в лесном и сельском хозяйстве, и обеспечение радиационно-безопасных условий труда;
- 9) исключение или ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов;
- 10) меры по снижению содержания радиоактивных веществ в сельхозпродукции общественного сектора и продуктах ее переработки;
- 11) меры по снижению загрязненности сельхозпродукции из личных подсобных хозяйств;
- 12) благоустройство населенных пунктов;
- 13) информирование населения о радиационной обстановке;
- 14) социальные и другие дополнительные меры.

В Республике Беларусь в настоящее время нет атомных электростанций и других объектов ядерно-энергетического цикла. Однако в приграничных районах сопредельных государств (Россия, Украина, Литва) функционируют четыре АЭС (Смоленская, Чернобыльская, Ровенская, Игналинская). Опыт Чернобыльской катастрофы показал, что аварии на них могут привести к масштабному загрязнению территории Беларуси и дополнительному облучению населения, что требует разработки превентивных мер защиты. В связи с этим в республике была принята **КОНЦЕПЦИЯ ЗАЩИТЫ**

## **НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ АВАРИЯХ НА ЯДЕРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ (ЯФУ).**

Концепция защиты населения Республики Беларусь при радиационных авариях на АЭС согласована Национальной комиссией по радиационной защите, одобрена коллегией Министерства здравоохранения и утверждена Главным Государственным санитарным врачом 28 мая 1993 года. Ее цель - обоснование защитных мероприятий, предотвращающих возникновение детерминированных эффектов (острая лучевая болезнь, лучевой гипотиреоз, лучевая катаракта и др.), а также ограничивающих риск стохастических эффектов (онкологические заболевания) и гигиенических последствий.

При радиационной аварии на АЭС рассматриваются следующие основные **факторы радиационного воздействия:**

- внешнее гамма-излучение от радиоактивного облака;
- внутреннее облучение при поступлении радиоактивных веществ через органы дыхания;
- контактное облучение вследствие радиоактивного загрязнения кожных покровов и одежды;
- внешнее гамма-излучение от радиоактивных веществ, осевших на поверхность земли и местные объекты;
- внутреннее облучение в результате потребления загрязненных пищевых продуктов и воды.

Концепция предусматривает защитные мероприятия на период первых 10 дней после аварии. Основным критерием для принятия решения о мерах защиты является мощность экспозиционной дозы на местности и индивидуальная доза облучения, прогнозируемая от начала аварии до 10 суток после нее.

При мощности экспозиционной дозы, превышающей ее фоновое значение для данной местности **на 20 мкР/час**, проводятся следующие мероприятия:

- 1) запрещение потребления молока местного производства и листовых овощей;
- 2) ограничение пребывания людей на открытой местности;
- 3) герметизация жилых и служебных помещений (плотное закрытие дверей, окон, дымоходов, вентиляционных отверстий, отключение вентиляции при отсутствии фильтров);
- 4) проведение йодной профилактики.

При мощности экспозиционной дозы, равной **2,5 мР/час**, проводятся следующие мероприятия по защите населения:

- 1) запрещение потребления молока местного производства и листовых овощей;
- 2) ограничение пребывания людей на открытой местности;
- 3) герметизация жилых и служебных помещений (плотное закрытие дверей, окон, дымоходов, вентиляционных отверстий, отключение вентиляции при отсутствии фильтров);
- 4) прекращение работы детских дошкольных учреждений, школ и учебных заведений, прекращаются все виды деятельности, кроме необходимых для жизнеобеспечения населения; при необходимости пребывания вне помещения - защита органов дыхания и кожных покровов;
- 5) проведение йодной профилактики.

Если мощность экспозиционной дозы достигает **5 мР/час**, помимо использования всех защитных мероприятий, принимается решение об эвакуации детей и беременных женщин. Доза их общего облучения до эвакуации не должна превышать 10 мЗв.

Решение об эвакуации остального (взрослого) населения принимается, если мощность экспозиционной дозы составляет **25 мР/час**. Доза их общего облучения до эвакуации не должна превышать 50 мЗв .

Эвакуация детей и беременных женщин осуществляется при ожидаемой дозе на щитовидную железу, равной 200 мЗв; эвакуация остального населения - при ожидаемой дозе на щитовидную железу - 500 мЗв. Решение об эвакуации в зависимости от дозы облучения щитовидной железы принимается на основании дозиметрических замеров, выполненных в первые сутки после аварии с учетом эффективности проводимой йодной профилактики. Эвакуация населения проводится за пределы 100-км зоны АЭС.

На территории Беларуси устанавливаются **2 зоны первоочередных защитных мероприятий**:

1. Зона возможной эвакуации в радиусе 30 км от Игналинской и Чернобыльской АЭС. В случае аварии на этих АЭС в зонах возможной эвакуации вводится режим чрезвычайного положения.
2. Зона профилактических мероприятий в радиусе 100 км от этих АЭС.

### **Радиационная защита щитовидной железы**

Йодная блокада щитовидной железы проводится препаратами

стабильного йода: йодидом калия (KI), антиструмином, водным раствором KI или спиртовой настойкой йода (5% йодная настойка).

Однократный прием для взрослого человека - 125 мг йодида калия. Защитный эффект однократного приема йодида калия длится 24 ч. Взрослому человеку допускается прием йодида калия по 125 мг в течение 10 суток, (суммарная доза 1250 мг). При отсутствии KI можно провести его замену приемом 5% раствора йодной настойки, антиструмином (125 мг KI), или нанесением сетки спиртовой настойки йода на внутреннюю поверхность предплечья (закрашенная поверхность должна быть диаметром около 3-5 см).

При использовании йодной настойки руководствуются правилами, приведенными ниже. Раствор йода водно-спиртовой (5% йодная настойка) показан детям от 2 лет и старше, а также взрослым по 3-5 капель на стакан молока или воды после еды 3 раза в день в течении 7 суток. Детям до двух лет йодную настойку дают в дозе по 1-2 капли на 100 мл. молока или питательной смеси 3 раза в день в течение 7 суток.

- Дети старше 3 лет принимают 60-65 мг йодида калия 1 раз в сутки в течении 10 суток (суммарная доза 600-650 мг).
- Дети моложе 3 лет принимают 60-65 мг йодида калия 1 раз в сутки в течении 2 суток (суммарная доза 120-130 мг).
- Беременные и кормящие новорожденных женщины принимают по 125 мг 1 раз в сутки в течении 2 суток (суммарная доза 250 мг).
- Новорожденным, находящимся на грудном вскармливании, йодид калия не назначается: они получают необходимое количество йода с молоком матери, которая принимает препарат в дозе 125 мг 1 раз в сутки (но не более 2 раз за 2 суток).
- При проведении йодной профилактики особое внимание следует уделять беременным женщинам. Беспрепятственно проникая через плаценту, йод в большом количестве поглощается фетальной щитовидной железой, подавляет ее функцию и дальнейшее развитие. Фармакологические дозы неорганического йода существенно тормозят окисление йода в тиреоцитах плода, ингибируют его органификацию и блокируют освобождение гормонов из железы. Поэтому, при необходимости продления йодной профилактики для беременных, наряду с введением блокирующей дозы йода необходим дополнительный прием перхлората калия. Это соединение снижает захват любых изотопов йода (в том числе стабильного), что обеспечивает в последующем ускоренное его выведение. В этом случае беременным можно проводить йодную профилактику

до 7 суток приемом 125 мг KI в комбинации с дополнительным приемом перхлората калия в дозе 750 мг один раз в день.

- Йодную профилактику проводят до устранения прямой угрозы поступления в организм радиоактивных изотопов йода (но не более 10 (7) дней).
- Прием алкоголя во время йодной профилактики категорически запрещен.

При проведении йодной профилактики необходимо помнить о возможных **побочных действиях препаратов стабильного йода**. Существует 2 типа побочных реакций на йодистые препараты:

1. *Интра tireоидные* – эффекты, проявляющиеся в самой щитовидной железе. Потенциально возможно формирование аутоиммунного тиреоидита (или манифестация его скрытых, субклинических форм), токсической аденомы щитовидной железы («Йод-Базедов» феномен при узловом зобе или тиреоидной автономии), либо рецидива диффузного токсического зоба;
2. *Экстратиреоидные* – эффекты, развивающиеся со стороны других органов. Как правило, они наблюдаются не более чем у 5% населения. К ним можно отнести побочные эффекты у детей со стороны желудочно-кишечного тракта (рвота, абдоменалгия, диарея), и у взрослых - сыпь на коже и затруднение дыхания. Побочное действие препаратов йода главным образом обнаруживалось при превышении рекомендуемой дозы или гиперчувствительности к йоду. Поэтому радиозащитную блокаду щитовидной железы препаратами стабильного йода в целом следует признать безопасной.

Для обеспечения высокой эффективности йодной профилактики необходимо обеспечить прием препарата стабильного йода в возможно более короткие сроки после поступления в организм его радиоактивных изотопов. Практически стопроцентная блокада щитовидной железы наблюдается при профилактическом приеме препаратов стабильного йода за 6 часов до поступления радиоизотопов йода. Прием йодида калия через 1 час после попадания в организм радиоактивного йода (с вдыхаемым воздухом или пищевыми продуктами) уменьшает дозу облучения щитовидной железы на 90 %, через 2 часа - на 85 %, через 3 часа - на 60 %, через 6 часов - на 50 %, через 8 часов – на 0 %.

Населению, проживающему или работающему в 30-км зонах

Игналинской и Чернобыльской АЭС, препарат йодида калия в однократной дозе раздается бесплатно поквартально для приема в случае аварии. Остальное необходимое количество препарата хранится на ФАПах, в участковых и центральных районных больницах, расположенных на территории 30-км зон.

Необходимый запас йодида калия для населения, проживающего в зонах от 30 до 100 км от действующих АЭС, хранится на ФАПах, участковых и центральных районных больницах, расположенных на территориях в зоне от 30 до 100 км.

Кроме того, таблетированные препараты йодида калия имеются в стандартной упаковке из резервов гражданской обороны АИ-2 (аптечка индивидуальная): в гнезде № 6 размещен пластмассовый пенал, содержащий «Радиозащитное средство № 2» - таблетки KI в дозе 125 мг.

Информация о превышении радиоактивного фона на территориях в пределах 100-км зоны от функционирующих АЭС на 20 мкР/час по сравнению с предыдущим измерением передается службами Главгидромета районным штабам Гражданской обороны, отсюда она поступает главным врачам районных территориальных медицинских объединений (РТМО) и является критерием для начала йодной профилактики.

Решение о начале йодной профилактики на территориях в пределах 100-км зоны от АЭС принимают главные врачи РТМО на основании информации, поступившей из районных штабов Гражданской обороны. Информация, поступившая от других ведомств и служб, не является основанием для принятия решений о необходимости проведения йодной профилактики.

В результате Чернобыльской катастрофы значительная часть территории Республики Беларусь (около 23 %) оказалась загрязненной радионуклидами. Население пострадавших районов (свыше 2 млн. человек) подвергается избыточному, по отношению к естественному фону, радиационному воздействию. Суммарная доза облучения, которую получает человек, складывается из 2 составляющих:

- **внешнее облучение**
- **внутреннее облучение.**

**Внешнее облучение** преобладает при высоких плотностях загрязнения территории (свыше 5 Ки/км<sup>2</sup>). Наиболее эффективно ограничить воздействие внешнего облучения можно за счет отселения людей с загрязненных земель.

Однако процесс этот весьма дорогостоящий, требующий значительных финансовых вложений.

**Внутреннее облучение** обеспечивается, в основном, поступлением радионуклидов с продуктами питания (около 94%), в меньшей степени - с водой (около 5%) и лишь очень небольшая часть приходится на ингаляционное поступление (около 1%). Большая часть населения нашей республики получает дозу именно за счет внутреннего облучения. Для ограничения внутреннего облучения на пути радионуклидов в организм необходимо поставить целый ряд барьеров, которые будут препятствовать проникновению радионуклидов в организм, способствовать ускоренному выведению уже попавших в организм радионуклидов, а также снижать их неблагоприятное воздействие.

## **ПРИНЦИПЫ СНИЖЕНИЯ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА ОРГАНИЗМ ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ**

Все мероприятия по снижению дозовых нагрузок на население при проживании на загрязненных радионуклидами территориях можно условно разделить на две группы: мероприятия, проводимые государством на национальном уровне (пункты 1-5) и мероприятия, проводимые населением самостоятельно (Приложение 3).

### **1. Система радиационного контроля.**

В процессе радиационного контроля измеряются следующие параметры:

- мощность экспозиционной дозы;
- плотность потока частиц;
- концентрация радионуклидов в воде, воздухе, почве, продуктах питания, организме человека.

В Законе РБ "О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате чернобыльской катастрофы" (1991г.) определены 3 уровня радиационного контроля:

1. Государственный;
2. Ведомственный;
3. Общественный.

Радиационный контроль проводится на следующих территориях (зонах):

- зона А - территория, загрязненная в результате чернобыльской аварии;
- зона Б - территория вероятного радиационного воздействия выбросов АЭС

(30-км зоны вокруг Игналинской и Чернобыльской АЭС);

- зона В - остальная территория республики.

Принадлежностью территории к той или иной зоне определяется кратность и объем исследований продуктов питания и воды на содержание радионуклидов.

Продукты питания и сырье для их производства, заготовленное на территории радиоактивного загрязнения, должны иметь сертификат с указанием места производства и содержания радионуклидов. Содержание радионуклидов в продукции не должно превышать *Республиканские допустимые уровни* (РДУ) содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде, которые регулярно пересматриваются и утверждаются Главным государственным санитарным врачом РБ и Председателем НКРЗ при Совмине РБ.

## **2. Рациональное ведение сельского хозяйства.**

В зависимости от уровня и характера загрязнения почв радионуклидами в республике разработаны типовые схемы севооборота. Уровень содержания радионуклидов в выращенной продукции зависит от ряда факторов:

- вид и сорт выращиваемых культур;
- тип и кислотность почвы;
- механический состав почвы;
- обеспеченность минеральными веществами;
- содержание органических веществ в почве.

С целью снижения содержания радионуклидов в сельхозпродукции до республиканских допустимых уровней разработан комплекс специальных защитных мероприятий.

### 1. Подбор культур

Подбор культур и сортов с минимальным накоплением радионуклидов является наиболее доступным средством снижения их поступления из почвы в растения. Установленные закономерности поступления радионуклидов в продукцию различных культур являются теоретической основой для переспециализации растениеводства. Они были положены в основу мероприятий в первые годы после аварии (выведение из севооборота культур с высокими коэффициентами перехода радионуклидов, изменение структуры посевных площадей) и используются при разработке рекомендаций по растениеводству в сельском хозяйстве (особенно эффективно в овощеводстве и при возделывании картофеля).

## 2. Обработка почвы

Богатые органическими веществами черноземы сорбируют на себе радионуклиды, снижая их поступление в растения. Песчаные и супесчаные почвы слабо поглощают радионуклиды. Поэтому продукты, выращенные на черноземах, содержат в 50-100 раз меньше радионуклидов. Для улучшения поглощения радионуклидов частицами почвы рекомендуется вносить в нее глинистые минералы (болюсы).

## 3. Известкование кислых почв

При кислой реакции почвы радионуклиды легче переходят из почвы в растения. Для снижения кислотности рекомендуется известкование почвы. При этом содержание радионуклидов в овощах снизится в 5-10 раз, во фруктах и ягодах - в 4-5 раз. Снижается накопление стронция-90, так как содержащийся в известии кальций - его конкурент.

## 4. Внесение минеральных удобрений

Фосфорные удобрения способствуют связыванию стронция-90, калийные - цезия-137. Повышенные дозы азотных удобрений усиливают накопление радионуклидов в растениях. Поэтому рекомендуется увеличить внесение калийных и фосфорных удобрений, не изменяя количество азотных. Органические удобрения, обогащая почву, препятствуют накоплению радионуклидов в растениях, однако при их избыточном количестве в растениях повышается содержание нитратов.

## 5. Ведение животноводства

Для снижения содержания радионуклидов при производстве мясо-молочных продуктов проводятся следующие мероприятия:

- исключение из севооборота кормовых культур, накапливающих радионуклиды;
- получение чистых кормов путем рационального ведения растениеводства;
- использование специальных схем и приемов выращивания молодняка и откорма крупного рогатого скота:
  - выпас скота на окультуренных пастбищах;
  - перевод животных в загрязненных районах за 1,5-2 месяца до убоя с пастбищ на стойловое содержание или на завозные "чистые" корма;
- введение в корма для животных цезий-связывающих препаратов (ферроцианаты), снижающих содержание радиоцезия в молоке в 2-5 раз;

## **3. Технологическая переработка сельскохозяйственного сырья**

- Переработка цельного молока, загрязненного радионуклидами на молочные

продукты.

При переработке наблюдается снижение содержания радионуклидов: в сливках, твороге - в 4-6 раз; в сыре - в 8-10 раз; в сливочном масле - в 8-10 раз; в топленом масле - 90-100 раз.

- Переработка загрязненного радионуклидами мяса (производство консервов, фарша, колбас).

#### **4. Использование пищевых добавок в пищевой промышленности**

Пищевые добавки - это природные или синтезируемые вещества, преднамеренно вводимые в пищевые продукты для придания им заданных свойств, не употребляемые сами по себе в качестве пищевых продуктов. Введение пищевых добавок направлено на повышение устойчивости организма к радиационному воздействию и выведение радионуклидов из организма.

В Беларуси принята специальная программа по производству продуктов питания с пищевыми добавками, снижающими действие радиации. К ним можно отнести:

- пищевые продукты: морская капуста, фруктовые добавки;
- вытяжки из фруктов и растений: масляный раствор  $\beta$ -каротина, экстракт корня солодки;
- витамины: В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>;
- фруктовые добавки, богатые микроэлементами, витаминами и пектиновыми веществами.

Указанные пищевые добавки используются для производства хлебобулочных и кондитерских изделий (хлеб «Нарочанский», «Двинский», пряники, печенье, торты, пирожные, зефир), безалкогольные напитки (соки, поливитаминные напитки «Асаблівы», «Абисиб», «Надзея», «Слущкий оригинальный»), пиво («Былинное»), майонез («Рябинка»).

**5. Проведение санитарно-просветительной работы** среди населения по ведению здорового образа жизни, рациональному питанию в условиях радиации и радиационной обстановке.

Значительная часть поглощенной дозы на организм человека формируется за счет внутреннего облучения при употреблении продуктов питания с подворья, дачных участков, даров леса, рыбалки. Поэтому необходимо целенаправленно снабжать население республики информацией (специальными знаниями) по доступным способам снижения дозы и защите от радиации в реальных условиях проживания на загрязненных радионуклидами территориях.

Рекомендации для населения по питанию и здоровому образу жизни в условиях радиации изложены в приложении 3.

## РАДОН.

Радон - это бесцветный, невидимый, не имеющий вкуса и запаха инертный газ, примерно в 7,5 раза тяжелее воздуха; образуется в процессе радиоактивного распада радионуклидов урановых и ториевого рядов. Существует три естественных (природных) изотопа радона:

- радон-222 ( $T_{1/2}$  - 3,8 дня; ряд распада U -238),
- радон-220 или торон ( $T_{1/2}$  - 55 секунд; ряд распада Th-232),
- радон-219 или актинон ( $T_{1/2}$  -4 секунды; ряд распада U-235).

Все изотопы радона являются альфа-излучателями; дальнейший распад их дочерних продуктов сопровождается испусканием как альфа, так и бета-частиц. Большая часть радона и торона физически связана с материалом, в котором находятся их предшественники. Однако некоторая часть может диффундировать от места образования в другую среду. Из-за относительно большого периода полураспада радон-222 может диффундировать на большие расстояния (в пределах нескольких метров). Миграция актинона ограничивается несколькими миллиметрами и обычно он не достигает поверхности материала. Небольшая часть торона может выделяться и мигрировать в пределах нескольких сантиметров. Поэтому, за исключением богатых торием мест, концентрации радона-219 и 220 пренебрежимо малы, по сравнению с радоном-222.

### ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДОНА.

Основными источниками радона являются: грунт, строительные материалы, грунтовые воды, природный газ, уголь, рудники, отвалы, образующиеся при добыче фосфорных удобрений, растения, геотермальные электростанции, предприятия ядерного топливного цикла (табл.1).

Главным источником поступления радона в атмосферу являются почва и грунтовые породы. Процесс выделения радона из структурной частицы породы в окружающую среду неясен, но несомненно, что основная роль принадлежит диффузии. После выхода газа в окружающую водную или воздушную среду дальнейшее перемещение происходит также за счет диффузии и конвекции, а также геомеханических сил, т.е. за счет периодических приливно-отливных движений Земли. Множество факторов влияет на процесс попадания радона в

воздух из почвы. Дождь, снег, мороз и повышение атмосферного давления снижают интенсивность эксгаляции, тогда как повышение температуры и увеличение скорости ветра вызывают ее усиление. Следовательно,

Табл. 1.

Источники радона в атмосфере Земли и их интенсивность

Источник	Мощность выделения, Ки/год
Выход из почвы	$2 \cdot 10^9$
Грунтовые воды	$5 \cdot 10^8$
Океан	$3 \cdot 10^7$
Фосфатные отходы	$2 \cdot 10^6$
Урановые отходы реакторов	$2 \cdot 10^4$
Угольные отходы	$2 \cdot 10^4$
Сжигание угля	$0,9 \cdot 10^3$
Природный газ	$1 \cdot 10^3$

концентрация радона в почве больше зимой и в периоды дождей. Перенос и рассеяние радона в воздухе зависят от вертикального градиента температур; направления и силы ветра, турбулентности воздуха. В результате процессов температурной конвекции и действия ветров в атмосфере происходит турбулентная диффузия, эффективно рассеивающая радон. Суточный максимум концентрации наблюдается в ночные часы, когда атмосфера наименее подвижна. Минимум наблюдается днем, когда вертикальное смешивание благодаря турбулентной диффузии максимально. Влияют также другие метеорологические условия, приводящие к тому, что концентрация радона на высоте уже нескольких метров от поверхности земли падает в десятки раз. В целом, в воздухе концентрация радона и его дочерних продуктов распада зависит от места, времени года и суток, высоты над уровнем моря и метеорологических условий. С геологической точки зрения около 40 % территории Республики Беларусь являются потенциально радоноопасными. Это связано с неглубоким залеганием гранитных пород и с широким распространением активных зон тектонических нарушений.

По данным радиометрических исследований ПО «Беларусьгеология» наиболее потенциально радоноопасными являются следующие территории:

- а) на юге республики - зоны, связанные с Микашевичско-Житковичским горстом и выступами Украинского кристаллического щита;
- б) на западе республики - территория, связанная с Белорусским кристаллическим массивом.

В 1996 г. проводились скрининговые исследования содержания радона в воздухе жилых помещений на отдельных радононосных территориях 7 районов. Среднее содержание радона в воздухе обследованных жилых помещений составило 34,8 Бк/м<sup>3</sup>, что соответствует обычным концентрациям радона в домах (30 Бк/м<sup>3</sup>). В отдельных случаях концентрации радона в воздухе помещений достигали 400 Бк/м<sup>3</sup> (Дзержинский район Минской области). Индивидуальные дозы облучения легких при этом могут достигать 20-30 мЗв/год.

Радон и продукты его распада появляются внутри помещений вследствие их эксгалляции из стен, потолков, полов (табл.2). Концентрация первичных источников (т.е. радионуклидов ряда урана и тория) в различных типах материалов зависит от их происхождения. Некоторые материалы определяются как более радиоактивные. Сюда относятся фосфогипс, газобетон с квасцовым глинистым сланцем и отвалы урановых рудников. Материалами с низкой активностью являются дерево, природный гипс, песок и гравий. Фосфогипс, широко использовавшийся в Японии, является побочным продуктом при производстве фосфорных удобрений, красный глиняный кирпич - побочный продукт при получении глинозема из боксита, отвалы образуются в процессе добычи и переработки урановой руды, кальций-силикатный шлак (отход при переработке фосфорных руд) используется в США.

Табл. 2.

Действие изолирующих покрытий на стенах на уменьшение интенсивности эксгалляции радона

Материал	Толщина стен (см)	Интенсивность эксгалляции, * 10 <sup>-3</sup> Бк/м <sup>2</sup> *с		
		Неоштукатурен	Оштукатурен	Покрытые обоями
Легк.бетон	24	1,5	1,9	1,1
Известняк	24	0,1	1,4	0,4
Газобетон	24	0,3	0,67	0,56

В некоторых странах, например, в Швеции, в имеющихся строениях среднегодовая эквивалентная равновесная концентрация радона доходит до 400 Бк/м<sup>3</sup>, что обуславливает большую дозу. В этой связи предусмотрена реконструкция помещений с доведением активности по радону до 200 Бк/м<sup>3</sup>. В новых зданиях этот предел не должен быть выше 70 Бк/м<sup>3</sup>. В других странах нормативы эквивалентной равновесной концентрации радона в воздухе жилых помещений равны от 70 - 200 Бк/м<sup>3</sup>. МКРЗ рекомендует для вновь строящихся

зданий уровень не выше  $100 \text{ Бк/м}^3$ . В 1999 г. в Республике Беларусь были утверждены «Временные гигиенические нормативы по содержанию радона и мощности дозы гамма-излучения», в которых указано, что при проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона и торона в воздухе помещений не должна превышать  $100 \text{ Бк/м}^3$ . В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе жилых помещений не должна превышать  $200 \text{ Бк/м}^3$ .

Радон, содержащийся в воде, нередко бывает значительным источником радона и продуктов его распада в воздухе жилых и производственных помещений. По оценкам НКДАР ООН среди жителей Земли менее 1% потребляет воду с удельной радиоактивностью более  $1000000 \text{ Бк/м}^3$  и менее 10% пьют воду с концентрацией радона превышающей  $100000 \text{ Бк/м}^3$ . Следует учитывать, что при кипячении основная масса радона улетучивается. Гораздо большую опасность представляет попадание радона вместе с парами воды. Средние значения удельной радиоактивности воздуха, обусловленной растворенным в воде радоном, в разных помещениях такие: ванная комната -  $8,5 \text{ кБк/м}^3$ , кухня -  $3,0 \text{ кБк/м}^3$ , жилая комната -  $0,20 \text{ кБк/м}^3$ , т.е., в среднем, концентрация радона в ванной комнате в 40 раз выше, чем в жилых комнатах, и в 3 раза выше, чем на кухне.

Природный газ также может быть существенным источником радона в воздухе помещений. Однако система транспортировки газа, хранения и подачи в отдаленные концы сети в силу распада радона будет приводить к уменьшению его концентрации. Относительный вклад различных источников радона в его общее поступление в воздух помещений представлен в табл.3.

Суммируя перечисленное, можно сказать, что концентрация радона в воздухе помещений зависит в основном от четырех факторов:

- активной и пассивной диффузии радона из грунта через фундамент и поверхности подвальных помещений зданий;
- эксгаляции радона из строительных материалов и изделий, из которых построено здание;
- эксгаляции радона из воды и газа;
- влияния климата, образа жизни, степени вентиляции помещения.

#### **Меры, направленные на снижение концентрации радона в воздухе помещений:**

- тщательная изоляция жилых помещений от почвы и грунта;

- обычная покраска (уменьшает эксгаляцию радона из строительных материалов на 32-87%) и оклеивание стен обоями;
- улучшение вентиляции жилых помещений и активная вентиляция погребов;
- использование материалов, отвечающих требованиям радиационной безопасности.

Табл. 3.

Удельный вес источников радона в типичном доме.

Источник	Доля от общего поступления, %
Почва и горные породы под зданием	~70
Внешний воздух	13
Строительные материалы	7
Вода	5
Природный газ	4
Другие источники	~2

### ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ РАДОНА.

Радон и продукты его распада вносят значительный вклад в облучение человека. Основную часть дозы человек получает в закрытых помещениях. Считается, что концентрация радона в закрытых помещениях в зонах с умеренным климатом в среднем в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Концентрация дочерних продуктов распада превышает концентрацию радона более чем в 200 раз.

Ингаляционный путь поступления в организм изотопов радона и их дочерних продуктов распада считается наиболее опасным. Это связано с хорошей поглощающей способностью органов дыхания. Полнота осаждения аэрозолей зависит от многих факторов, точный учет которых невозможен, например: концентрации аэрозольных частиц, их физико-химического состояния, частоты и глубины дыхания, размеров частиц, индивидуальных особенностей дыхательной системы.

Сам по себе радон из-за короткого периода нахождения в легких (акт дыхания) не играет роли первичного фактора, обуславливающего дозовую нагрузку на легкие. Все дочерние продукты распада радона-222 – полоний-218, свинец-214, висмут-214, полоний-214 и свинец-210 также быстро удаляются из легких. Часть продуктов распада радона, образующихся в воздухе помещений, взаимодействует с аэрозольными частицами. Связанные продукты распада радона могут накапливаться при дыхании в носоглотке, трахее,

легочной паренхиме. Осевшие частицы подвергаются распаду путем испускания альфа-, бета-частиц или гамма-квантов. При внутреннем облучении представляет опасность, в основном, альфа-излучение. Аэрозольные частицы, сорбирующие продукты распада радона, имеют диаметр в среднем 0,1 мкм. Тканью-мишенью накопления дочерних продуктов распада радона в дыхательном тракте является эпителий в трахеобронхиальной области и альвеолярная область в легких. Биологический период полувыведения продуктов распада радона составляет от 10 мин до 4,8 час для трахеобронхиальной области и от 6 до 60 час для легких. Пробег в тканях альфа-частицы  $Po-218$  с энергией 6 МэВ и  $Po-214$  с энергией 7,68 МэВ равен соответственно 47 и 71 мкм. Это расстояние вполне сопоставимо с расстоянием от поверхности эпителия до ядра базальной клетки, что и обуславливает ее повреждение.

Наиболее важными факторами, влияющими на формирование дозы на дыхательный тракт за счет радона и продуктов его распада являются:

- концентрация радона в помещениях;
- фактор равновесия продуктов распада;
- характеристика аэрозолей, их задержание и очистка в дыхательных путях;
- величина дыхания;
- время амортизации жилища.

В настоящее время считается, что концентрация радона в 20 Бк/м<sup>3</sup> увеличивает дозу облучения на 1 мЗв. Из этой величины становится очевидной проблема радона. Более того, установлено, что доза на дыхательный тракт сильно зависит от возраста. В возрасте около 6 лет она имеет максимум и примерно в 2,5 раза больше дозы, формирующейся в возрасте 30 лет. Ротовое дыхание у ребенка ведет к большему поступлению радона, чем дыхание через нос, что делает необходимым санацию верхних дыхательных путей у детей. Показано, что ингаляция радона сопровождается неравномерным распределением дозы облучения в органах и тканях человека (табл.4).

### **МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАДОНОМ.**

В настоящее время имеются эпидемиологические данные о связи радона с заболеваемостью раком легких. Все они основываются на данных по шахтерам, занятых на работе в урановых рудниках со значительными дозами облучения (содержание радона в горно-рудных разработках достигает 100 - 500 кБк/м<sup>3</sup>). Показано, что риск рака легких у шахтеров составляет  $(1-5) \cdot 10^{-4}$ . Эти данные

Мощность дозы в некоторых органах и тканях при постоянной ингаляции воздуха с концентрацией радона  $37 \text{ Бк/м}^3$  при дыхании  $13,8 \text{ л/мин}$ .

Орган или ткань	ЭД, нЗв/час
Легкие	0,55
Печень	0,16
Почки	0,18
Надпочечники	0,41
Мышцы	0,16
Костный мозг	0,36
Гонады	1,05

не могут служить основой для объяснения действия малых доз излучения.

Подсчитано, что от 5 до 20 тысяч человек в год умирает от рака легких радоновой этиологии (табл.5). Радон в питьевой воде может вызвать дополнительно 30-600 случаев рака легких в год (данные по США). Для сравнения можно отметить, что смертность от онкологических заболеваний легких у некурящих равна 34 на миллион, а у курящих - 590 на миллион.

Табл. 5.

Риск возникновения рака легких у населения (число случаев на 1000 человек) в сопоставлении с концентрацией радона.

Концентрация радона, $\text{кБк/м}^3$	Риск заболевания у курящих	Риск заболеваемости у некурящих	Риск заболевания у всего населения
20	10	1	3
100	50	5	15
200	100	10	30
400	200	20	60

Растворимость радона в липидах примерно в 15 раз выше, чем в крови. Костный мозг взрослых, как известно, содержит до 40 г жира. Отсюда, видимо не случайно, имеются данные о связи между активностью радона, накапливающегося в жировых клетках костного мозга и лейкозом. Более того, показано, что в тот же возрастной период, когда у человека формируется максимальная эффективная доза от облучения радоном, наблюдается всплеск заболеваемости острым миелоидным лейкозом.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ**

Уровень	Название	Критерии	Примеры
1	2	3	4
Ниже 0	Отклонение	Не влияет на безопасность	
<b>ИНЦИДЕНТЫ</b>			
1	Аномалия	Аномалия, выходящая за рамки предписанного режима эксплуатации. Она может быть обусловлена отказом оборудования, ошибкой человека или неправильным выполнением процедур.	
2	Инцидент	Инциденты, сопровождающиеся значительным отказом устройств обеспечения безопасности, но при сохранении достаточной глубокоэшелонированной защиты, обеспечивающей компенсацию дополнительных отказов. Событие, приводящее к дозе облучения персонала, превышающей установленный годовой дозовый предел или событие, которое приводит к наличию на установке значительных количеств радиоактивности в зонах, не предназначенных для этого по проекту и которое требует применения корректирующих мер.	

3	Серьезный инцидент	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешний выброс радиоактивности, превышающий установленные пределы и ведущий к дозе облучения за пределами площадки порядка десятых долей мЗв. При таком выбросе защитные мероприятия за пределами площадки могут не понадобиться. События на площадке, приводящие к дозам облучения персонала, достаточным для возникновения острых воздействий на здоровье или событие, приводящее к серьезному распространению загрязнения. Например, нескольких тысяч тераБк активности, содержащихся в выбросе во вторую защитную оболочку, когда материал может быть возвращен в соответствующую зону хранения.</li> <li>• Инциденты, при которых дальнейший отказ систем безопасности может привести к аварийным условиям или ситуация, в которой системы безопасности будут не в состоянии предотвратить аварию в случае возникновения определенных иницирующих событий.</li> </ul>	АЭС Вандельос Испания, 1989 г.
<b>АВАРИИ:</b>			

4	Авария в пределах АЭС, не сопровождаемая значительным риском за пределами площадки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешний выброс радиоактивности, приводящий к дозе облучения за пределами площадки порядка нескольких мЗв. При таком выбросе необходимость в защитных действиях за пределами площадки обычно маловероятна, за исключением, возможно, местного контроля продуктов питания.</li> <li>• Значительное повреждение ядерной установки. Такая авария может включать в себя повреждение ядерной установки, в результате которого возникают серьезные проблемы с восстановительными работами, как, например, частичное расплавление активной зоны энергетического реактора и сравнимые события на нереакторных установках.</li> <li>• Облучение одного или нескольких работников, которое приводит к переоблучению с высокой вероятностью ранней смерти.</li> </ul>	<p>Завод по пере работке топлива, Уиндскейл Соединенное Королевство, 1973 г.</p> <p>АЭС Сен-Лоран, Франция, 1980 г.</p> <p>Критическая сборка в Буэнос-Айресе, 1983 г.</p>
---	--	--	--

5	Авария, сопровождаемая риском за пределами площадки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешний выброс радиоактивного материала в количествах, радиологически эквивалентных сотням или тысячам тераВq I-131. Такой выброс может привести к частичному осуществлению контрмер, предусматриваемых планами противоаварийных мероприятий с целью снижения вероятности воздействия на здоровье.</li> <li>• Серьезное повреждение ядерной установки. Оно может представлять собой серьезное повреждение значительной части активной зоны энергетического реактора, крупную аварию, связанную с критичностью или крупный пожар или взрыв с выбросом больших количеств радиоактивности в пределах установки.</li> </ul>	<p>Реактор в Уиндскейл, Соединенное Королевство, 1957 г.</p> <p>АЭС Три-Майл-Айленд, США, 1979 г.</p>
6	Серьезная авария	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешний выброс радиоактивных материалов в количествах, радиологически эквивалентных тысячам/десяткам тысяч терабеккерелей I-131. После такого выброса вероятно полное осуществление контрмер, предусматриваемых местными планами противоаварийных мероприятий с целью ограничения серьезных воздействий на здоровье.</li> </ul>	Завод по переработке топлива в Кыштыме, Россия, 1957 г.

7	Крупная авария	Внешний выброс значительной части радиоактивного материала на крупной установке (например: из активной зоны энергетического реактора). Обычно он состоит из смеси коротко- и долгоживущих радиоактивных продуктов деления ( количествах, радиологически эквивалентных десяткам тысяч тераВq I-131). Такой выброс приводит к возможности острых воздействий на здоровье людей; задержанным воздействиям на здоровье в больших районах, возможно, охватывающих территории нескольких стран; к долговременным экологическим последствиям.	Чернобыльская АЭС, 1986 г.
---	----------------	--	----------------------------

## РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ПО ПИТАНИЮ И ЗДОРОВОМУ ОБРАЗУ ЖИЗНИ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИИ.

### 1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ.

#### 1.1. Ограничение и/или исключение из рациона продуктов питания, накапливающих радионуклиды в значительных количествах.

Известно, что растения в разной степени накапливают радионуклиды. Наибольшим накоплением отличаются растения, корневая система которых расположена неглубоко, так как основное количество радионуклидов содержится именно в поверхностном 1-5 сантиметровом слое (около 95 % от всех радиоактивных веществ, содержащихся в почве). Высокое их содержание отмечается в коре деревьев, валежнике, мхе, лишайниках, а также в грибах и ягодах. Сбор грибов и ягод, заготовка лекарственного сырья, выпас скота и заготовка сена в лесах разрешается при плотности загрязнения цезием-137 до 2 Ки/км.кв.

*Овощи.* По способности накапливать Cs-137 в порядке убывания основные овощные культуры распределяются следующим образом: сладкий перец, капуста, картофель, свекла, щавель, салат, редис, лук, чеснок, морковь, огурцы, помидоры (первые в 10-15 раз больше, чем последние).

*Фрукты.* Обычно фрукты не содержат значительного количества радионуклидов. Однако иной раз наблюдается поверхностное загрязнение, особенно около плодоножек, цветоноса, или всей поверхностью плода при сборе фруктов (особенно поврежденных) на загрязненной земле. Поэтому при сборе овощей и фруктов надо свести к минимуму их контакт с почвой, а перед закладкой на хранение тщательно очистить от земли.

*Ягоды.* Черника, брусника, черная и красная смородина, клюква более интенсивно, а земляника, крыжовник, белая смородина, малина и рябина менее интенсивно накапливают радионуклиды.

*Грибы.* Условно грибы можно разделить на четыре группы. Больше всего радионуклидов накапливают *грибы-аккумуляторы*: польский гриб, горкуша, краснушка, моховик желто-бурый, рыжик, масленок осенний (особенно поздние), козляк, колпак кольчатый. В плодовых телах этих видов уже при загрязнении почв, близких к фоновым значениям (0,1-0,2 Ки/км.кв.),

содержание радионуклидов может превышать допустимые уровни. Груздь настоящий и черный, подгруздок черный, волнушку розовую, лисичку желтую, подберезовик, зеленку можно отнести к другой группе грибов, *сильно накапливающим радионуклиды*. Боровик, подосиновик, сыроежка обыкновенная, опята осенние, подзеленка - *грибы, средне накапливающие радионуклиды*. Меньше всего накапливают радионуклиды *грибы-дискриминаторы радионуклидов*: шампиньон, опенок зимний, вешенка, строчок обыкновенный, сыроежка цельная и буреющая, зонтик пестрый, дождевик шиповатый. Однако необходимо помнить, что определяющий фактор накопления радионуклидов в грибах - плотность загрязнения территории в месте заготовки. Поэтому при высокой плотности загрязнения (более 15 Ки/км.кв.) содержание радионуклидов может превышать допустимые уровни даже в так называемых грибах-дискриминаторах. В шляпке гриба накапливается больше цезия, чем в ножке.

*Мясо*. Больше цезия содержится в мясе старых животных, стронция - в костях молодых. Наибольшая концентрация радионуклидов определяется в легких, почках, печени, наименьшая - в сале, жире. Содержание радиоактивных веществ относительно меньше в свинине, чем в говядине, баранине и мясе птицы. Известно, что в каждом последующем звене пищевой цепи происходит концентрирование загрязняющих веществ (в том числе и радионуклидов) примерно в 10 раз. Поэтому для охотников и рыболовов особенно важно знать, что мясо диких животных содержит значительное количество радионуклидов. Больше всего накапливают радионуклиды кабан и заяц, несколько меньше - лось, олень. Рекомендации по конкретным местам охоты и рыбной ловли можно получить в лесхозах и районных обществах охотников и рыболовов.

*Рыба*. Загрязнение рыб цезием-137 зависит от места их обитания. Рыбу рекомендуется ловить в реках и проточных водоемах. Наиболее загрязненными являются хищные и придонные рыбы (щука, окунь, карп, карась, сом, линь), наименее загрязненными обитатели верхних слоев воды (плотва, голавль, судак, лещ, уклея, красноперка).

## **1.2. Кулинарная и технологическая обработка продуктов питания.**

Перед приготовлением и употреблением продуктов рекомендуется соблюдать следующие правила:

- тщательно очищать грибы от лесного мусора, хорошо промывать, вымачивать в солевом растворе. Перед приготовлением блюд грибы

рекомендуется прокипятить несколько раз со сливом отвара. Такой режим обработки снижает концентрацию радионуклидов в 100 и более раз;

- тщательно очищать корнеплоды от кожуры, удалять ботву у корнеплодов и венчики; удалять кочерыжки и верхние листья у капусты; овощи и корнеплоды тщательно мыть и предварительно вымачивать со сливом рассола, желательнее отваривать (в вареном картофеле количество радионуклидов уменьшается в 2 раза);
- при засолке или мариновании овощей, фруктов, грибов (не употреблять рассол или маринад в пищу!) содержание радионуклидов снижается в 1,5-2 раза;
- рыбу перед приготовлением рекомендуется тщательно очищать, вымывать и обязательно удалять голову, плавники и внутренности;
- значительно снизить концентрацию радионуклидов в мясе можно путем следующей обработки: промыть в проточной воде, замочить в солевом растворе воды на 2-3 часа, слить, залить новой порцией воды, довести до кипения, опять слить, залить новой водой и варить до готовности. Кроме того, необходимо учитывать следующие факты:
  - засолка и предварительное вымачивание солонины (четырёх разовая обработка со сменой рассола) снижает содержание цезия-137 в 3-10 раз;
  - при обычной варке из мяса, печени и легких в бульон переходит примерно 50% стронция и цезия, а из костей – до 1%, поэтому не рекомендуется употреблять мясо-костные бульоны.
  - сало содержит меньше радионуклидов, чем другие продукты животноводства. При его перетопке 95% цезия остается в шкварке и продукт (жир) становится практически чистым.

### **1.3. Ограничение употребления "местных" продуктов, особенно лесных: грибов и ягод.**

Рекомендации по сбору грибов и ягод можно получить в лесхозах, лесничествах и районных центрах гигиены и эпидемиологии. Заготовку «даров леса» следует проводить с учетом плотности загрязнения почвы и особенностей накопления радионуклидов. Для всех собираемых грибов и ягод проверка на содержание радионуклидов обязательна.

Заготовка березового сока разрешена на территориях с плотностью загрязнения до 15 Ки /км.кв., с последующим проведением радиометрии. Участки для сбора сока следует выбирать на сухих местах, так как во влажных

условиях произрастания деревьев содержание радиоцезия в березовом соке повышается.

## **2. МЕРОПРИЯТИЯ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ВСАСЫВАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ.**

Действие радионуклидов, попавших в организм, можно уменьшить, ограничив их всасывание. Для этого руководствуются следующими принципами.

### **2.1. Принцип конкурентного замещения.**

Радионуклиды по своим химическим свойствам и, соответственно, путям метаболизма сходны с некоторыми стабильными элементами – цезий с калием и рубидием; стронций с кальцием; плутоний с трехвалентным железом. При введении в рацион продуктов, содержащих эти стабильные элементы, они будут конкурировать с радиоактивными элементами, и снижать их всасывание. Источниками их поступления в организм являются следующие продукты:

- *Калий* (суточная потребность организма 3 г/сут): картофель, урюк, изюм, чернослив, курага, чай, орехи, лимон, фасоль, пшеница, рожь.
- *Рубидий*: красный виноград.
- *Кальций* (1 г/сут): молоко и молочные продукты, яйца, бобовые, зеленый лук, укроп, петрушка, репа, хрен, шпинат.
- *Железо* (15-30 мг/сут): мясо, рыба, зеленые овощи, ржаной хлеб, семена подсолнечника, яблоки, изюм, салат, черноплодная рябина. Лучше усваивается железо животного происхождения.

### **2.2. Принцип связывания радионуклидов в желудочно-кишечном тракте.**

Для населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, рекомендуется употребление продуктов, богатых пектинами, фитатами, антиционатами, которые связывают радионуклиды в ЖКТ. Пектины - это кислые полисахариды, которые с ионами металлов образуют стойкие нерастворимые соединения, которые выводятся из организма. Кроме того, усиливается перистальтика кишечника. Однако при избыточном употреблении может развиваться дисбактериоз. Источниками поступления указанных соединений в организм являются ягоды, фрукты и овощи:

- *пектины*: баклажаны, груши, свекла, смородина, морковь, яблоки, огурцы, мармелад, перец, зефир, тыква, соки с мякотью.

- *фитаты*: зерновые, бобовые.

- *антоцианы*: темноокрашенные плоды и ягоды, черноплодная рябина, слива, черная смородина, виноград, вишня.

### **3. МЕРОПРИЯТИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УСКОРЕНИЕ ВЫВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ОРГАНИЗМА.**

#### **3.1. Усиление перистальтики кишечника, которое обеспечивается употреблением продуктов, богатых клетчаткой:**

- хлеб грубого помола;
- овощи (капуста, свекла, морковь);
- фрукты (чернослив);
- крупы (гречка, овсянка, пшено).

#### **3.2. Регулярный пассаж желчи и мочи обеспечивается при употреблении:**

- дополнительного количества жидкостей (чай, соки, морсы, компоты);
- настоев трав, обладающих мочегонным и желчегонным действием (ромашка, зверобой, бессмертник, мята, шиповник, укроп).

#### **3.3. Стимуляция лимфатического дренажа.**

Лимфатическая система осуществляет региональную и общую детоксикацию. Для стимуляции используют различные лекарственные травы: овес обыкновенный (семена, овсяные хлопья), листья черной смородины, плоды шиповника, подорожник, цветки календулы, кукурузные рыльца.

### **4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ДЕЙСТВИЯ РАДИОНУКЛИДОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ**

#### **4.1. насыщение организма антиоксидантами, которые препятствуют перекисному окислению липидов.**

Ввиду того, что большинство компонентов загрязнения биосферы (в том числе и радионуклиды) являются прооксидантами и обладают иммуноповреждающим эффектом, целесообразно введение продуктов, обладающих антиоксидантными свойствами и мембранстабилизирующим эффектом. Антиоксиданты – это соединения различной химической природы, способные тормозить или устранять свободнорадикальное окисление органических веществ (перекисное окисление липидов). Антиоксидантными

свойствами обладают витамины А,С и Е. Их источниками поступления в организм являются:

- *Витамин С* (70-100 мг/сут): шиповник, черная смородина, сладкий перец, облепиха, черноплодная рябина, земляника, томаты, цитрусовые, капуста (даже квашеная), зеленый лук.

- *Витамин Е* (12 - 17 мг/сут): облепиха, кукуруза, бобовые, нерафинированные растительные масла (лучше оливковое), гречка, семечки подсолнуха, семена злаковых.

- *Витамин А* (1 – 1,5 мг/сут, 1/3 – витамин А, 2/3 - бета-каротины): говяжья печень, сливочное масло, яичный желток. Бета-каротины: морковь, красный сладкий перец, петрушка, щавель, сельдерей.

### **1.2. Исключение из рациона продуктов, содержащих прооксиданты:**

Прооксиданты - это соединения различной химической природы, способствующие свободнорадикальному окислению органических веществ. Значительные их количества содержатся в ревете и красной смородине.

### **1.3. Насыщение организма микроэлементами.**

Основными источниками поступления микроэлементов в организм являются следующие продукты:

- *Йод* (50-180 мкг/день): морская капуста, морские продукты, рыба, фасоль, гречневая крупа, чеснок, салат, свекла, огурцы, черноплодная рябина, йодированная соль (при приготовлении пищи солить в конце варки, с закрытой крышкой).

- *Цинк* (16 мг/сут): кукуруза, грецкие орехи, овсяная крупа, рис, горох, фасоль, семена подсолнечника и тыквы, картофель, капуста (особенно цветная), свекла, морковь, щавель, желток яйца, печень, говядина, креветка, сельдь, судак.

- *Медь* (2 мг/сут): растительные продукты - свекла, картофель, яблоки, горох, фасоль, орехи, соя, овсянка, гречка, а так же сыр, печень, рыба, мясо. Цинк наряду с медью является кофактором для фермента Zn-Cu-зависимая супероксиддисмутаза, который необходим для функционирования антиоксидантной и иммунной системы организма.

- *Селен* (100 мкг/сут): чеснок, зерновые (особенно рис, ячмень, овес), рыба. Селен входит в состав фермента глутатионпероксидаза, участвующего в обезвреживании свободных радикалов.

- *Кобальт* (100 мкг/сут): щавель, груша, укроп, свекла, зеленый лук, черная

смородина, рыба, морковь, клюква, рябина, орехи, горох, фасоль, бобы. Кобальт необходим для системы кроветворения, входит в состав витамина В<sub>12</sub>.

#### 1.4. Правильный режим питания.

Это понятие включает:

- употребление достаточного количества полноценного белка. При этом:
  - повышается устойчивость к хроническому внутреннему облучению;
  - снижается всасывание радионуклидов;
  - повышается резистентность организма к инфекциям.
- не злоупотреблять пищей, богатой жирами, так как:
  - они являются основой для перекисного окисления липидов;
  - участвуют в образовании радиотоксинов (поражается иммунная система);
  - являются проводниками в организм и накопителями гидрофобных ксенобиотиков, которые потенцируют действие ионизирующего излучения (пестициды).

#### 1.5. Употребление пищевых добавок.

Введение таких пищевых добавок направлено на повышение устойчивости организма к радиационному воздействию и выведение радионуклидов из организма. К ним можно отнести:

- *зерна проросшей пшеницы* (Cell Guard, Cell Senti), которые содержат значительное количество антиоксидантов и иммуномодуляторов. Курсовой прием составляет три недели ежедневно натошак за 30 минут до еды по схеме. Прием таблеток сочетается с обязательным приемом жидкости в количестве 6-8 стаканов в течении дня для взрослых и 5-6 стаканов для детей.
- *стирулина* (из сине-зеленых водорослей) содержит до 70% протеинов. В состав ее входят все незаменимые аминокислоты, большинство витаминов и минеральных веществ.
- *абисиб* (из хвои пихты сибирской). Поливитаминный комплекс, содержащий микроэлементы, фитонциды, хлорофиллин. Стимулирует кроветворение, обладает радио- и гепатозащитным действием, противовоспалительным и иммуномодулирующим эффектом.
- *мипровит* (из культуры мицелия высших грибов). Содержит все незаменимые аминокислоты, эссенциальные фосфолипиды, ненасыщенные жирные кислоты, минеральные вещества, витамины группы В, никотиновую, фолиевую и

пантотеновую кислоты, биотин. Обладает иммуномодулирующими и антиоксидантными свойствами, антианемическим действием, нормализует биоценоз кишечника.

#### **4.6. Мероприятия по повышению адаптационно-компенсаторных возможностей организма:**

- соблюдение режима труда и отдыха;
- прием адаптогенов;
- уменьшение психологической дизадаптации;
- массаж;
- гидротерапия;
- светолечение;
- электролечение;
- теплогрязелечение;
- минеральные воды;
- витаминoproфилактика.

## Список принятых сокращений

АЭС	- атомная электростанция
Бк, Вq	- беккерель (единица радиоактивности)
Бэр, rem	- единица эквивалентной или эффективной дозы
ВОЗ	- Всемирная организация здравоохранения
ВПР	- врожденный порок развития
Гр, Gy	- грей (единица поглощенной дозы)
D	- поглощенная доза
ДНК	- дезоксирибонуклеиновая кислота
ДУ	- допустимый уровень
E	- эффективная доза
ЕВРАТОМ	- Европейское агентство по атомной энергии
ЕРФ	- естественный радиационный фон
H	- эквивалентная доза
Зв, Sv	- зиверт (единица эквивалентной или эффективной дозы)
IQ	- интеллектуальный показатель (intelligence quotient)
ИИ	- ионизирующее излучение
КК	- коэффициент качества
Ки, Ci	- кюри
КЭ	- кислородный эффект
кэВ/мкм	- килоэлектрон-вольт на микрометр пробега
ЛПЭ	- линейная передача энергии
МЗ	- Министерство здравоохранения
МАГАТЭ (IAEA)	- Международное агентство по атомной энергии
МэВ	- мегаэлектрон-вольт
мкм	- микрометр
МКРЗ (ICRP)	- Международная комиссия по радиологической защите
НКДАР ООН (UNSCEAR)	- Научный комитет по действию атомной радиации
НРБ	- нормы радиационной безопасности

ОБЭ	- относительная биологическая эффективность
ОЛБ	- острая лучевая болезнь
ОР	- относительный риск
ПД	- предел дозы
ПДД	- предельно допустимая доза
ПОЛ	- перекисное окисление липидов
ПР	- порок развития
P,R	- рентген
рад, rad	- единица поглощенной дозы
РДУ	- республиканские допустимые уровни
РК	- радиационный контроль
РН	- радионуклиды.
РТМО	- районное территориальное медицинское объединение
РФ	- радиационный фон
$T_{1/2}$	- период полураспада
ТАКМ	- трансплантация аллогенного костного мозга
ТВЭЛ	- тепловыделяющий элемент
ТИРФ	- техногенно измененный радиационный фон
ТКЧЭП	- трансплантация клеток человеческой эмбриональной печени.
$T_{эф.}$	- эффективный период полувыведения радионуклида из организма
УЗИ	- ультразвуковое исследование
УФИ	- ультрафиолетовое излучение
ФИРЭ	- Фонд исследования радиационных эффектов
Х	- экспозиционная доза
ХЛБ	- хроническая лучевая болезнь
ЦНС	- центральная нервная система
ЩЖ	- щитовидная железа
ЯО	- ядерное оружие
ЯТЦ	- ядерный топливный цикл
ЯФУ	- ядерная физическая установка
эВ	- электрон-вольт
ЭЭГ	- электроэнцефалограмма

**Некоторые множители и приставки для образования кратных, дольных единиц и их наименование**

Множитель	Приставка	Обозначение
$10^{18}$	Экса	Э
$10^{15}$	Пета	П
$10^{12}$	Тера	Т
$10^9$	Гига	Г
$10^6$	Мега	М
$10^{-9}$	Нано	н
$10^{-12}$	Пико	п
$10^{-15}$	Фемто	ф

**Соотношение между единицами СИ и внесистемными единицами в области ионизирующих излучений**

Величина, символ	Название и обозначение единицы		Соотношение единиц
	Единица СИ	Внесистемная единица	
Активность (А)	Беккерель (Бк, Bq)	Кюри (Ки, Ci)	1 Ки=3,7*10 <sup>10</sup> Бк
Поглощенная доза (D)	Грей (Гр, Gy)	Рад (рад, rad)	1 рад=0,01 Гр
Эквивалентная доза (H)	Зиверт (Зв, Sv)	Бэр (бэр, rem)	1 бэр=0,01 Зв
Эффективная доза (E)	Зиверт (Зв, Sv)	Бэр (бэр, rem)	1 бэр=0,01 Зв

## Список литературы

1. Барабой В.А. Ионизирующая радиация в нашей жизни. М.: "Наука", 1991г.
2. Биологические эффекты при длительном поступлении радионуклидов. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М.: "Энергоиздат", 1990 г.
4. Вредные химические вещества, Радиоактивные вещества, под общей редакцией академика АМН СССР Л.А.Ильина, Л.: "Химия", 1990г.
5. Габович Р.Д., Ластков О.А. Курс радиационной гигиены, Киев, 1969 г.
6. Гофман Д. Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящего и будущего поколений, Мн.: "Вышэйшая школа", 1994 г.
7. Григорьев Ю.Г., Попов В.И., Шафиркин А.В., Антипенко Д.Б. Соматические эффекты хронического гамма-облучения. - М.:Энергоатомиздат, 1986 г.
8. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. М.:Энергоатомиздат,1991 г.
9. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. - М.:Медицина, 1971.
- 10.Жербин Е.А., Чухловин А.Б. Радиационная гематология. - М.:Медицина, 1989 г.
- 11.Закон РБ "О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС", 1991 г.
- 12.Закон РБ "О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС", 1991г.
- 13.Закон РБ "О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС", 1991 г.
- 14.Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена. М.: Медицина, 1999 г.
- 15.Информационный бюллетень N 52-57, РНУИЦ, 1996г.
- 16.Каталог доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. Мн.: МЗ, 1992 г.
- 17.Киреев П.М. Хроническая лучевая болезнь. - М.:Медицина, 1968 г.
- 18.Концепция защитных мер для населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории Беларуси, Мн.: Госкомчернобыль РБ, 1993 г.
- 19.Концепция проживания на загрязненной радионуклидами территории в результате катастрофы на ЧАЭС. Мн.: АНРБ. 1990 г.

20. Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М.: "Наука", 1991 г.
21. Лобач Д.И., Тушин Н.Н. Радон. Уч.-мет. пособие. Мн., 1997 г.
22. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерения. Учебное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1989 г.
23. Маргулис У.Я. Радиация и защита. М.: Атомиздат, 1974 г.
24. Нестеренко В.Б. Радиационная защита населения. Мн., 1997 г.
25. Нестеренко В.Б. Радиационный мониторинг жителей и продуктов питания в Чернобыльской зоне Беларуси. Мн., 1998 г.
26. Памятка для населения, проживающего на территории, загрязненной радиоактивными веществами. Мн.: МЧС РБ, 1997 г.
27. Положение "О контроле радиоактивного загрязнения после Чернобыльской катастрофы в РБ". Мн.: МЧС РБ, 1995 г.
28. Приказ N 66 МЗРБ "Об организации системы социально-гигиенического мониторинга в РБ". Мн, 1997 г.
29. Радиационная гигиена. Информационный бюллетень. Мн.: МЗ РБ, РЦГЭ, 1996 г.
30. Радиация, последствия аварии на ЧАЭС, меры по противорадиационной защите населения. Методическое пособие Минского Обл ЦГЭ и БелГИУВ. Мн., 1991 г.
31. Радиация. Дозы, эффекты, риск. М.: "Мир", 1990 г.
32. Радиоактивные вещества. Справочник под общей редакцией Л.А. Ильина. Лн.: "Химия", 1990 г.
33. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60, часть 1, МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1994 г.
34. Сафронов Е.И. Лучевая болезнь от внутреннего облучения. - Л.: Медицина, 1972 г.
35. Сборник радиационных материалов для специалистов по социальной защите населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС. М.: РНУИЦ, 1997 г.
36. Сивинцев Ю.В. Насколько опасно облучение, М., 1991 г.
37. Справочник "Вредные химические вещества, Радиоактивные вещества". Под общей редакцией академика АМН СССР Л.А.Ильина. Л.: "Химия", 1990 г.
38. Справочник по радиационной безопасности. Под редакцией В.Ф. Козова, М.: "Энергоиздат", 1991 г.
39. "Чернобыльская катастрофа: причины и последствия". М., 1993 г.
40. Чернобыльский след на Беларуси, Минск, Главгидромет, 1992 г.

41. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М.: "Наука", 1972 г.
42. Adult Health Study Report 7. Noncancer Disease Incidence in the Atomic-bomb Survivors, 1958-86. Radiation Effects Research Foundation, RERF 1-92.
43. Nagasaki Symposium on Chernobyl: Update and Future. Editor: Sh. Nagasaki, Elsevier, Amsterdam, 1994.

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Глава 1.</b> Введение в радиационную медицину. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Дозиметрия. Радиационный фон Земли. Уровни облучения населения от различных источников радиационного фона.....	5
<b>Глава 2.</b> Физические и биологические основы действия ионизирующих излучений.....	29
<b>Глава 3.</b> Радиочувствительность. Радиационное поражение человека.....	47
<b>Глава 4.</b> Радиоэкологическая ситуация в Республике Беларусь после катастрофы на ЧАЭС.....	72
<b>Глава 5.</b> Медико-биологические последствия облучения. Структура заболеваемости и диспансеризация населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.....	91
<b>Глава 6.</b> Контроль радиационной безопасности. Международная шкала ядерных событий. Концепция защиты населения Республики Беларусь при авариях на ядерных физических установках. Принципы снижения дозовых нагрузок на организм .....	110
<b>Приложение 1.</b> Радон.....	129
<b>Приложение 2.</b> Международная шкала ядерных событий.....	136
<b>Приложение 3.</b> Рекомендации для населения по питанию и здоровому образу жизни в условиях действия радиации.....	140
<b>Список принятых сокращений</b> .....	148
<b>Список литературы</b> .....	151