

6.3. Дозовые нагрузки при внешнем и внутреннем облучении. Дозиметрический контроль внешнего и внутреннего облучения человека

Внешнее облучение – воздействие на организм ионизирующего излучения, приходящего извне. Это облучение всего тела и местное (локальное).

Локальное облучение – это облучение определенной части организма человека.

Внешнее облучение бывает хроническое (постоянное), острое и дробное. **Острое** – это однократное, кратковременное (до четырех суток) облучение организма значительной дозой.

Дробное – многократное облучение с интервалами между отдельными воздействиями.

Острое облучение может произойти в результате радиационной аварии или грубых нарушений правил радиационной безопасности.

Контактное облучение – это разновидность внешнего облучения, когда радиоактивное вещество или источник ионизирующего излучения непосредственно соприкасается с кожным покровом. Кожа при этом интенсивно облучается. Глубина поражения зависит от дозы, вида и энергии ионизирующего излучения. В случае непосредственного попадания радиоактивного вещества на участки кожи, они фиксируются поверхностью кожного покрова в мелких бороздках, порах, протоках сальных потовых желез.

Длительное облучение является нередко причиной хронических дерматитов. При своевременной дезактивации, лучевые поражения отсутствуют.

Расчет тканевых доз в органах и в организме человека. Внутреннее облучение происходит за счет радионуклидов, проникающих внутрь организма с воздухом с продуктами питания, через кожные покровы, имеющие повреждения в виде ран, порезов, трещин и т.п.

Опасность намного выше, т.к. увеличивается время облучения, источник облучения, приближен к облучаемому органу вплотную и применение защиты невозможно. Кроме того радионуклиды как правило концентрируются в органах избирательно.

Наиболее опасны при попадании внутрь организма радионуклиды с большим периодом полураспада. Особенно опасны те, которые концентрируются в костях, вблизи костного мозга – стронций и плутоний.

Из аэрозолей наиболее опасны те, которые вдыхаются с воздухом и задерживаются в легких. Это аэрозоли с дисперсностью от 0,1 мкм до 1,0 мкм, так как они не задерживаются верхними дыхательными путями и трудно удаляются с выдыхаемым воздухом, оседая в альвиолах легких. Кроме того, через несколько минут они попадают в кровь и нарушают ее структуру.

Инертные радиоактивные газы (аргон, криптон, ксенон) через некоторое время полностью выносятся из организма. Они опасны только при внешнем гамма-облучении. При попадании нуклидов больше предельных уровней, могут наблюдаться изменения в легочной ткани.

Доза в органе, в котором содержится радиоактивный изотоп, зависит от массы облучаемого органа, активности изотопа, энергии частиц и гамма-квантов приходящейся на один распад.

При избирательном накоплении радиоактивных веществ в критическом органе доза практически обусловлена испусканием альфа или бета-частицами, обладающими относительно малыми величинами пробега в ткани (менее 130 мкм для альфа-частиц и менее 10 мм для бета-частиц).

Таким образом мощность тканевой дозы определяется по формуле:

$$P = K \cdot C \cdot E,$$

где, C – удельная концентрация альфа- или бета-излучателя; E – средняя энергия частиц;

K–константа, зависит от единиц измерения **C** и **P**. Или доза за время (**t**), через которое производят расчет после поступления радионуклида: $D = P \cdot t$.

В 1991 научным коллективом трех республик была разработана методика «Определение годовых суммарных эффективных эквивалентных доз облучения населения для контролируемых районов России, Украины и Беларуси» (институт БЕЛРАД).

Доза внешнего облучения определяется через среднегодовую мощность дозы, которая рассчитывается на основе средней плотности загрязнения территории цезием-137 по формуле:

$$D_{\text{внеш}} = 0,13 \cdot q, \text{ мЗв/год}$$

где, **q**– плотность загрязнения, Ки/км².

Суммарная доза за год определяется выражением:

$$D_{\text{обл}} = D_{\text{внеш}} + D_{\text{внутр}}$$

Годовая доза внутреннего облучения от цезия-137 рассчитывается по модели их равномерного поступления в течение года в организм взрослого человека с эффективным периодом полувыведения 110 суток и годовым коэффициентом 1,3 мЗв/год на мкКи/организм:

$$D_{\text{Cs}} = 0,2 \cdot q_{\text{рац}}, \text{ (мЗв/год)},$$

где, **q_{рац}**– суточное поступление цезия-137 (нКи).

Общее суточное поступление цезия-137 с продуктами питания может быть представлено двумя компонентами: продуктами животного происхождения, эквивалентными ежесуточному потреблению одного литра молока, и остальными компонентами рациона и питьевой воды, эквивалентными ежесуточному потреблению 1,5 кг картофеля (для всех населенных пунктов, кроме поселков городского типа и городов). Формула имеет вид:

$$q_{\text{рац}} = 1 \cdot C_{\text{мол Cs}} + 1,5 \cdot C_{\text{карт Cs}}, \text{ если } C \text{ – в нКи/кг, л.}$$

$$\text{Тогда: } D_{\text{Cs}} = 0,2 C_{\text{мол}} + 0,3 C_{\text{карт}}, \text{ мЗв/год.}$$

$$\text{Доза от стронция определяется по формуле: } D_{\text{Sr}} = 0,7 C_{\text{мол Sr}}, \text{ мЗв/год.}$$

Принцип обследования на счетчиках излучений человека. В Беларуси широко проводятся комплексные экспедиционные радиационно-гигиенические обследования населенных пунктов с целью последующего проведения расчетов текущих средних годовых эффективных доз (СГЭД) облучения жителей, проживающих в населенных пунктах (НП), подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

Проведение таких обследований позволяет решать следующие задачи:

– получение данных для выполнения уточненных оценок текущих доз внешнего и внутреннего облучения населения;

– прогнозирование долговременных тенденций изменения радиационной обстановки в результате естественных процессов, происходящих в окружающей среде, а также вследствие человеческой деятельности;

получение данных для уточнения параметров радиологических моделей.

Радиационно-гигиеническое обследование обстановки на территории населенного пункта включает в себя:

– измерение мощностей доз гамма-излучения в локациях НП и его ареала;

– измерение накопленной дозы внешнего облучения за определенный промежуток времени (индивидуальный дозиметрический контроль – ИДК);

– измерение удельной активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в пищевых продуктах местного происхождения;

– измерение содержания ¹³⁷Cs в организме жителей на установках СИЧ (счетчиках излучения человека);

– проведение индивидуальных анкетных опросов жителей о режимах их поведения и структуре рационов питания.

Для определения доз внутреннего облучения при проведении радиационно-гигиенических обследований реперных НП используются два вида измерений:

- измерение индивидуальных доз внутреннего облучения с помощью СИЧ-установок;
- измерение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах.

Функционирование системы СИЧ-мониторинга наиболее эффективно при наличии единого методического, метрологического и информационного обеспечения, а также при анализе данных, содержащихся в общем для всей системы дозиметрическом регистре. Последний обеспечивается всем необходимым для осуществления математической обработки, обобщения результатов измерений и выработки соответствующих решений по взаимодействию звеньев системы.

Измерение содержания ^{137}Cs в теле человека проводят с использованием стационарных, мобильных или переносных счетчиков излучений человека. Результаты СИЧ-измерений позволяют наиболее корректно оценить фактические дозы внутреннего облучения населения, формируемые под воздействием всех факторов, оказывающих влияние на величину дозы, включая контрмеры.

Место проведения измерений необходимо выбирать с минимальным уровнем фонового гамма-излучения.

В процессе работы необходимо строго следить за соблюдением геометрии измерения. Место проведения измерений, пространственная ориентация пациентов по отношению к окнам, дверям, окружающим предметам (особенно для переносных СИЧ) должны быть неизменными на протяжении всей работы (при определении коэффициента экранирования, калибровке и проведении измерений). Во время измерений в радиусе 2-3 м от детектора не должны находиться посторонние люди. Измерения пациентов проводятся без верхней одежды. Нарушение этих требований может привести к дополнительным неконтролируемым погрешностям измерений.

Можно выделить четыре основные, наиболее распространенные, геометрии измерений, условно называемые “лежа”, “стандартное кресло”, “измерительное кресло” и “Север” (рисунки 58–61).

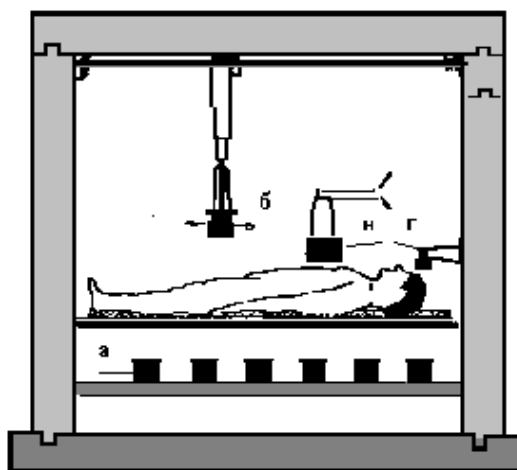


Рис. 58. СИЧ экспертного класса, геометрия измерения “лежа”

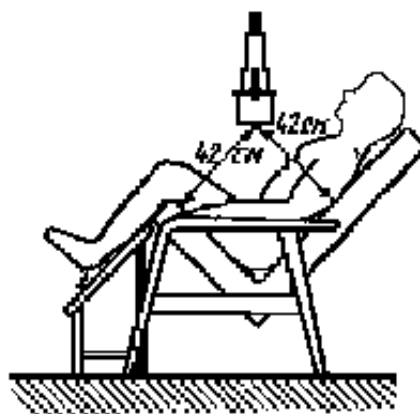


Рис. 59. Геометрия измерения “стандартное кресло”.

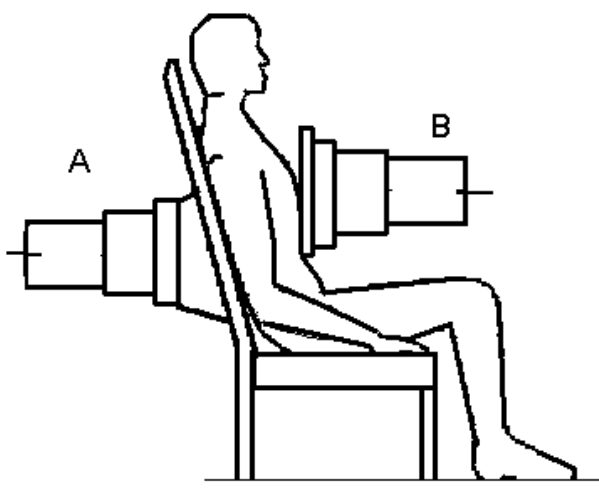


Рис. 60. СИЧ оперативного класса, геометрия “измерительное кресло”

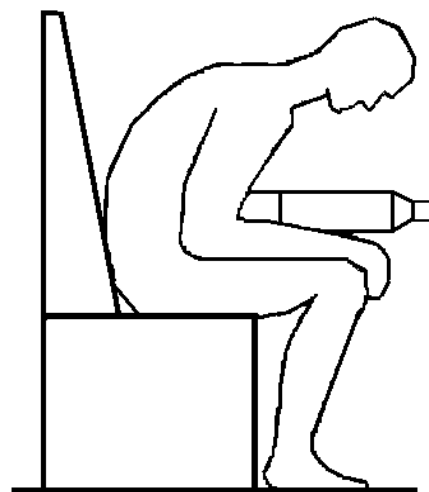


Рис. 61. СИЧ индикаторного класса, геометрия “сидя согнувшись” (“Север”).

В геометрии “стандартное кресло” угол между сидением и спинкой кресла составляет 90° , а расстояние от спинки и основания кресла до торца детектора, расположенного со стороны груди – 42-43 см. СИЧ такой геометрии обладают приемлемой изочувствительностью, но относительно низкой эффективностью регистрации (из-за удаленности тела от детектора) и отсутствием возможности определения удельной активности радионуклидов в отдельном органе.

В наиболее распространенной геометрии “измерительное кресло” детектор (коллиматор) расположен вплотную к телу обследуемого человека со стороны спины, реже груди. Угол между сидением и спинкой кресла составляет $100-110^\circ$. В этом случае повышается эффективность регистрации, комфортность при проведении измерения, достигается оптимальная пропускная способность. Однако при этом СИЧ обладает плохой изочувствительностью, поскольку позволяет определить содержание радионуклида только в участке тела около детектора.

В геометрии “сидя согнувшись (Север)” обследуемый сидит на стуле, обхватив руками колени, максимально согнувшись в поясе, и располагает детектор на коленях, плотно прижав его торец к животу. Измерения в геометрии “Север” обеспечивают наиболее высокую относительную эффективность, так как телесный угол обзора детектора приближается к 4π , что обусловило ее широкое применение в индикаторных СИЧ.

Недостаток такой геометрии – высокий уровень фонового сигнала (невозможность экранирования детектора), низкая изочувствительность, а также постоянно изменяющийся коэффициент экранирования детектора телом человека и эффективность регистрации (трудность воспроизведения положений обследуемых).

Как синтез геометрий “Север” и “измерительное кресло” используется геометрия «сидя» – детектор лежит на коленях вплотную к животу. Здесь, в отличие от геометрии «Север», стабильнее воспроизводится геометрия измерения и тем самым снижается погрешность, связанная с нестабильностью величины коэффициента экранирования и эффективностью регистрации.

Вышеперечисленные геометрии измерений на СИЧ оптимальны при равномерном распределении радионуклидов в организме (например, для ^{137}Cs и ^{134}Cs). Для случаев локализации радионуклидов в отдельном органе (например, для изотопов йода в щитовидной железе) они обычно не используются, либо используются после специальной настройки и калибровки СИЧ с применением фантомов отдельных органов человека.

Довольно редко используется геометрия “лежа”, когда детектор (или детекторы) находятся над или под лежащим пациентом. Такое положение позволяет проводить перемещение коллимированных детекторов (сканирование) в плоскости тела и оценивать содержание различных радионуклидов в отдельных органах.

Результирующая погрешность отдельных СИЧ-измерений не должна быть выше 30% при доверительной вероятности $p=0,95$.

В регистрационном журнале перед проведением измерений необходимо указать:

- адрес места измерения;
- дату измерения;
- Ф.И.О. оператора;
- наименование организации, выполняющей измерения;
- тип измерительного прибора;
- время измерения (экспозиция);
- результаты измерения скорости счета фонового излучения (записываются не менее 2 раз в день и при каждом изменении места измерения) и скорости счета от фонового фантома (при проведении калибровки).

В регистрационном журнале также указывается (при наличии соответствующей информации):

- гамма-фон (мкР/ч или др.ед.) на местности и в измерительном помещении;
- число жителей в населенном пункте, другие демографические данные.

При каждом измерении:

- регистрационный номер записи;
- фамилия, имя, отчество обследуемого (полностью);
- год рождения;
- профессия обследуемого;
- адрес места жительства, в случае отличия от адреса места измерения;
- масса тела человека (кг);
- скорость счета импульсов в рабочем энергетическом диапазоне при измерении человека;
- результат расчета активности ^{137}Cs в теле человека;
- примечания и другие данные о радиационной обстановке на местности.

Отчетные результаты представляют в виде средних значений суммарной и удельной активности ^{137}Cs в организме жителей, количества выполненных измерений и величин стандартных ошибок.

Медицинские процедуры и типичные дозовые нагрузки. В таблице 11 приведены типичные дозовые нагрузки при проведении облучения с диагностическими целями.

Таблица 11. Типичные дозовые нагрузки при диагностическом просвечивании

Орган или часть тела, ткань	Доза, бэр
Грудная клетка	0,1–0,2
Боковой снимок таза (кожа)	20
Полное исследование желудка (кожа)	50
Пальцы и руки	0,06
Желудок	1,5–3
Зубы	3–5
Почки	1,4–2,5
Сердце	2–4
Череп	0,8–1,6

Вероятные результаты воздействия одократных общих облучений человека. В таблице 12 приведены вероятные результаты воздействия одократных общих облучений человека (внешнее фотонное облучение в течение не более 4 суток).

Таблица 12. Вероятные результаты воздействия одократных общих облучений человека

Доза, бэр (Зв)	Биологический эффект
25 (2,5) – опасная доза	Максимально допустимая доза, при которой с уверенностью исключаются клинические признаки поражения. Доза оправданного риска в чрезвычайных ситуациях
100 (1) – критическая доза	Лучевая болезнь, единичные смертельные случаи. Порог клинических проявлений. Уровень кратковременной стерилизации, потери и воспроизводства потомства
400 (4) – полуметальная доза (ЛД ₅₀), пределы 300–500	Обычно можно ожидать тяжелую степень лучевой болезни, которая приблизительно в 50% случаев может привести к смерти
700 (7) и более – летальная доза (ЛД ₁₀₀)	Почти абсолютно смертельная доза

Летальные дозы для отдельных частей тела (ЛД₁₀₀). Голова – 2000 бэр; нижняя часть живота – 3000 бэр; верхняя часть живота – 5000 бэр; грудная клетка – 10000 бэр; конечности – 20000 бэр.

Доза равная 100 ЛД₁₀₀ – «смерть под лучом».

Полет на самолете на высоте 8–10 км дает дозу около 100 мкбэр/ч. Просмотр одного хоккейного матча по телевизору на расстоянии 2м дает дозу около 1 мкбэр.

6.4. Области применения методов дозиметрии

Индивидуальная дозиметрия. Индивидуальная дозиметрия имеет особенно важное значение в связи возрастающим объемом профессионального облучения все более крупных групп людей. К индивидуальной дозиметрии относятся: повседневный контроль профессионального облучения, который установлен законодательно; аварийная дозиметрия при обслуживании ядерноэнергетических установок и контроль облучения людей в случае развязывания ядерной войны или радиационных аварий; определение доз облучения людей от естественных источников радиации. К совершенно новым проблемам относится индивидуальная дозиметрия при пилотируемых космических полетах.

Клиническая дозиметрия. Клиническая дозиметрия находит применение при лучевой терапии и радиодиагностике, являющейся по существу источником развития все современной дозиметрии.

Дозиметрия в радиобиологии. Дозиметрия в радиобиологии проводит исследования воздействия ионизирующего излучения на биологические системы, т.е. какие радиационнохимические реакции являются причиной превращений в облучаемой биосреде и какие молекулярные процессы определяют биологические радиационные эффекты.

Дозиметрия в радиационной технике. Крупномасштабное промышленное использование биологических и химических эффектов, вызываемых ионизирующим излучением, требует развития специальных методов дозиметрии в интенсивных полях излучения. Это лучевая стерилизация медприборов и препаратов, консервирование и пастеризация продуктов, стимуляция и подавление вызревания семян, радиационнохимический синтез, полимеризация и дополимеризация, облагораживание химических материалов, волокон и древесины, модификация полиэтилена и строительных материалов.

Внутриреакторная дозиметрия. Внутриреакторная дозиметрия занимается измерением потоков нейтронов и дозы гамма-излучения в реакторах и защитных сооружениях.