2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов

Методические указания
МУ 2.6.1.1001—00

gost.e-ecolog.ru

ББК 51.26
О93
О93 **Оценка** поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов: Методические указания.—М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001.—112 с.

1. Настоящие методические указания разработаны в Государственном научном центре Российской Федерации – Институт биофизики Минздрава России (ГНЦ РФ – ИБФ), (директор – академик РАМН, профессор Л. А. Ильин).

Соисполнители: Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем при Минздраве России (руководитель – В. Д. Рева).

2. Исполнители: засл. деятель науки РФ, член-кор. РИА, д. т. н., профессор К. И. Гордеев (руководитель разработки); академик РАЕН, д. м. н., профессор И. Я. Василенко; к. т. н., с. н. с. М. П. Гринев; академик РАМН, д. м. н., профессор Л. А. Ильин; д. т. н., профессор И. Б. Кеирим-Маркус; к. т. н. М. Н. Савкин; д. т. н., профессор Ю. С. Степанов, с. н. с. А. Н. Лебедев.

Соисполнители: член-кор. МА, к. х. н. М. Ф. Киселев.

3. Утверждены и введены в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации – Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации 15 ноября 2000 г.

4. С введением в действие настоящего документа отменяются: Методические указания по методам контроля. ФУМБЭП МУК 2.6.1.006—94 «Продукты ядерного взрыва. Йод-131. Расчет дозы на щитовидную железу человека при поступлении с загрязненным молоком», утвержденные заместителем Главного государственного санитарного врача РФ по специальным вопросам; Методические указания по методам контроля. ФУМБЭП МУК 2.6.1.005—94 «Продукты ядерного взрыва. Население. Внешнее гамма-излучение. Расчет доз на все тело человека с учетом режима проживания и защитных свойств зданий», утвержденные заместителем Главного государственного санитарного врача РФ по специальным вопросам.

5. Введены впервые.

ББК 51.26

© **Минздрав России, 2001**
© **Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001**

Содержание

1. Область применения 7
2. Нормативные ссылки 9
3. Термины и определения 10
4. Используемые величины и единицы их измерения 14
5. Основные положения 16
5.1. Общие положения 16
5.2. Исходные данные 19
5.2.1. Первичные исходные данные 19
5.2.2. Производные исходные данные для периода формирования радиоактивного следа 21
5.2.3. Производные исходные данные для сформированного радиоактивного следа 23
5.2.3.1. Поверхностная активность выпадений 23
5.2.3.2. Доля суммарной поверхностной активности, обусловленная биологически значимой фракцией выпадений 24
5.3. Внешнее облучение 25
5.3.1. Составляющие экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения 25
5.3.2. Эффективная доза внешнего гамма-излучения 26
5.3.3. Оценка внешнего и контактного бета-гамма-облучения кожных покровов людей за счет бета-гамма-излучения 29
5.3.3.1. Исходные условия 29
5.3.3.2. Поглощенная доза в коже и ее составляющие компоненты 30
5.3.3.3. Вклад облучения кожи в эффективную дозу 31
5.4. Внутреннее облучение при ингаляционном поступлении 31
5.4.1. Оценка ингаляционных поступлений радиоактивных веществ в организм людей в период формирования следа ядерного взрыва 31
5.4.1.1. Исходные условия 31
5.4.1.2. Общая средняя объемная активность аэрозолей в приземном слое воздуха в период формирования радиоактивного следа 32

5.4.1.3. Средняя объемная активность биологически значимых аэрозолей в приземном воздухе в период формирования радиоактивного следа....32
5.4.1.4. Ингаляционные поступления....33
5.4.2. Внутреннее облучение органов дыхания при ингаляционном поступлении смеси радиоактивных продуктов ядерных взрывов....35
5.4.3. Внутреннее облучение ЖКТ при ингаляционном поступлении смеси радиоактивных продуктов ядерного взрыва....37
5.4.4. Внутреннее облучение щитовидной железы при ингаляционном поступлении радиоизотопов йода....40
5.5. Поверхностное радиоактивное загрязнение травянистой растительности, лиственных фуражных и овощных культур, злаков и зернокрупяной продукции....41
5.5.1. Радиоактивное загрязнение травянистой растительности....41
5.5.2. Радиоактивное загрязнение зернокрупяной продукции....42
5.6. Радиоактивное загрязнение продукции животноводства....43
5.6.1. Радиоактивное загрязнение молока при пастбищном содержании коров....43
5.6.2. Радиоактивное загрязнение молока при стойловом содержании коров....46
5.6.3. Радиоактивное загрязнение мяса....47
5.7. Внутреннее облучение при пероральном поступлении....48
5.7.1. Оценка внутреннего поступления радионуклидов при употреблении молока от коров, выпасаемых на радиоактивном следе ядерного взрыва....49
5.7.2. Оценка внутреннего поступления радионуклидов при употреблении молока от коров при стойловом и смешанном содержании животных....52
5.7.3. Оценка внутреннего поступления радионуклидов при употреблении загрязненного мяса....53
5.7.4. Внутреннее облучение щитовидной железы радиоизотопами йода, поступающими в организм с загрязненными молоком или мясом....54
5.7.5. Оценка внутренних поступлений радионуклидов при потреблении продуктов, поверхностно загрязненных выпадениями ядерного взрыва....56

5.7.5.1. Облучение ЖКТ при потреблении хлеба и крупяной продукции, получаемых из зерна, загрязненного на корню 57
5.7.5.2. Облучение щитовидной железы при потреблении лиственных овощей, загрязненных радиоактивными выпадениями 59
5.8. Некоторые особенности использования положений методических указаний при оценках суммарных эффективных и поглощенных доз в органах у населения, проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов 60
Приложение А (справочное) Пример использования настоящих МУ при реконструкции доз внешнего и внутреннего облучения жителей населенного пункта в результате радиационного воздействия наземного ядерного взрыва, осуществленного на Семипалатинском полигоне 63
1. Исходные данные и принятые условия, используемые в расчетах 63
1.1. Характеристики параметров и условий проведения взрыва 63
1.2. Характеристики населенного пункта, условий проживания населения и антропометрические данные принятые для взрослого человека 64
1.3. Требования к расчетам 65
2. Расчет доз внешнего гамма-излучения 66
2.1. Расчет эффективной дозы внешнего гамма-излучения 66
3. Внутреннее облучение 70
3.1. Внутреннее облучение щитовидной железы при ингаляционном поступлении радиоизотопов йода 70
3.2. Внутреннее облучение щитовидной железы при пероральном поступлении радиоизотопов йода с коровьим молоком 73
4. Общее радиационное воздействие 76
5. Результаты расчетов 77
Приложение Б (справочное). Справочные таблицы 78
Приложение В (рекомендуемое). Метаболические модели расчета поглощенных доз в щитовидной железе при внутреннем облучении органа радиоизотопами йода 89
1. Расчет доз внутреннего облучения щитовидной железы при ингаляционном поступлении активности 89

1.1. Модель расчета поглощенных доз в щитовидной железе при поступлении в орган смеси радиоизотопов йода с массовыми числами 131, 133, 134 и 135 90
1.2. Модель расчета доз внутреннего облучения щитовидной железы йодом-132 при ингаляционном поступлении теллура-132 91
1.3. Оценка доз внутреннего облучения щитовидной железы при ингаляционном поступлении всей смеси радиоизотопов йода 92
2. Расчет доз внутреннего облучения щитовидной железы при пероральном поступлении радиоизотопов йода в организм человека 92
2.1. Модель расчета доз внутреннего облучения щитовидной железы радиоизотопами йода при употреблении молока от коров, содержащихся на пастбище 92
2.2. Модель расчета доз внутреннего облучения щитовидной железы при употреблении продуктов рациона, загрязненных радиоизотопами йода 94
3. Расчет суммарной дозы внутреннего облучения щитовидной железы 95
Приложение Г (справочное). Справочные материалы для расчета доз внешнего гамма-излучения от выпавших продуктов ядерного взрыва с учетом высокой скорости изменения мощности дозы излучения в первые часы после взрыва и защищенности населения в это время 97
Раздел 1. Расчет экспозиционных доз гамма-излучения, учитывающий кинетику мощности дозы гамма-излучения на сформированном радиоактивном следе ядерного взрыва и особенности защищенности населения 97
Раздел 2. Поправочные коэффициенты $K_{t_{ост},защ}$ в формуле (5.15), учитывающие время начала облучения на сформированном радиоактивном следе – $t_{ост}$ и характеристики защищенности населения – $K_{вып}$, $\tau_{откр}$ 101
Библиографические данные 104

УТВЕРЖДАЮ
Главный государственный санитарный врач Российской Федерации – Первый заместитель Министра здравоохранения Российской Федерации
Г. Г. Онищенко
15 ноября 2000 г.
Дата введения – с момента утверждения

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов

Evaluation of absorbed and effective doses to population permanently living on the radioactive traces resulted from atmospheric nuclear explosions

Методические указания
МУ 2.6.1.1001—00

1. Область применения

1.1. Методические указания распространяются на методологию реконструкции основных дозообразующих параметров радиационной обстановки, определяющих воздействие продуктов ядерного деления на человека и на этой основе на выполнение расчетов и оценки эффективных доз общего внешнего гамма-излучения, поглощенных доз внутреннего облучения критических органов и тканей, а также суммарных эффективных доз облучения людей.

1.2. В методических указаниях детально излагается порядок определения доз внешнего облучения, поглощенных доз внутреннего облучения в щитовидной железе, нижней части толстого кишечника, легких, а также дозы поглощенной в коже, которые могут вносить ощутимый

вклад в общую эффективную дозу или приводить к острым или отдаленным последствиям облучения людей, постоянно проживавших на радиоактивных следах ядерных взрывов. Наряду с этим, формулы МУ могут использоваться для расчетов поглощенных доз и в других критических органах и тканях человека. По данным об общем внешнем гамма-облучении и облучении кожи, а также поглощенных доз в указанных критических органах определяется вероятная суммарная эффективная доза облучения.

1.3. Методические указания предназначены для научных целей при оценке радиационных рисков и проведении эпидемиологических исследований.

1.4. Настоящие методические указания включают перечень и порядок получения необходимых исходных данных, а также процедуры ретроспективных расчетов величин вероятных поглощенных доз в критических органах и тканях и эффективных доз облучения у населения, проживающего в зонах локальных радиоактивных выпадений атмосферных ядерных взрывов.

Излагаемые рекомендации, в основе своей, ориентированы к условиям облучения людей, возникавшим при наземных ядерных взрывах, осуществленных на Семипалатинском полигоне, при которых образовывались радиоактивные следы (зоны локальных радиоактивных выпадений). Однако математическая формализация реальных биофизических процессов, а также представление основных функциональных связей и соотношений, описывающих эти процессы в общем виде, при котором входящие параметры открыты, делает возможным (при учете влияющей специфики) использование примененных решений, и для других радиационных ситуаций, при которых местность оказывается загрязненной продуктами ядерного деления.

1.5. Модели восстановления действующих параметров радиационной обстановки и расчета доз облучения людей, представленные в методических указаниях, предполагают обычные метеорологические условия, при которых осуществлялось проведение атмосферных ядерных взрывов: нормальное атмосферное давление, относительно устойчивое направление ветра в районе испытаний и по направлению движения радиоактивного облака, отсутствие атмосферных осадков в зоне ожидаемых (возможных) локальных радиоактивных выпадений.

Для аномальной метеорологической обстановки, а также в пределах горно-лесистых территорий, когда на процессы формирования ради-

ационной ситуации, а, следовательно, и на облучение людей, могут оказывать определяющее влияние местные метеорологические условия и рельеф местности, использование настоящих методических указаний в неизмененном виде не может быть рекомендовано. В подобных случаях возможно использование только отдельных связей и соотношений для решения частных вопросов, при условии учета влияющих обстоятельств.

1.6. В методических указаниях не рассматриваются внутриутробное облучение плода человека, а также внутреннее облучение младенцев возрастом до 1 года за счет потребления материнского грудного молока. Используемая схема оценки доз внутреннего облучения рассчитана на лиц в возрасте от 1 года и старше. Она предполагает ингаляционный путь поступления в организм продуктов взрыва в период формирования радиоактивного следа, а также пероральные поступления активности, в результате постоянного употребления в пищу местных сельскохозяйственных продуктов.

1.7. В расчетах движения активности через растительное звено рассматривается только поверхностное (контактное) загрязнение радиоактивными выпадениями. Корневой путь загрязнения растительности не учитывается, т. к. его относительный вклад в общее внутреннее облучение людей, проживающих на радиоактивном следе ядерного взрыва с момента его формирования, не выходит за пределы флуктуаций глобального облучения.

2. Нормативные ссылки

В настоящих методических указаниях выполняются требования следующих нормативных документов:

2.1. ISO 921 Международный стандарт. Ядерная энергия – Словарь. Номер ссылки ISO 921:1997 (E/F/R).

2.2. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению. РНКРЗ.—М., 1995.

2.3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758—99: Минздрав России, 1999.

2.4. Руководство Р1.1.004—94. «Общие требования к построению, изложению и оформлению санитарно-гигиенических, эпидемиологических, нормативных и методических документов».

2.5. ГОСТ 15184—81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения.

2.6. ГОСТ Р 1.5—92. Общие требования к построению и содержанию стандартов.

2.7. ГОСТ 8.417—81—ГСИ. Единицы физических величин.

2.8. ГОСТ 17.0.02—79. Охрана природы. Метрологическое обеспечение контроля загрязненности атмосферы, поверхности вод и почвы. Основные положения.

2.9. ГОСТ Р 22.8.03—95 БЧС. Технические средства разведки. Общие технические требования.

2.10. ГОСТ Р 22.0.04 БЧС. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

2.11. ГОСТ Р 22.1.01—95 БЧС. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения.

2.12. ГОСТ Р 22.0.05—94 БЧС. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

2.13. ГОСТ 8.070—83 ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная первичная схема для средств измерения мощности дозы фотонного ионизирующего излучения.

2.14. МИ 2174—91. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях. Основные положения.

2.15. МИ 665—84. Порядок аттестации методик определения данных о свойствах веществ и материалов.

3. Термины и определения

В методических указаниях применяются следующие термины с соответствующими определениями, в основном, изложенными в нормативных документах, упомянутых в разделе 2.

3.1. Атмосферные ядерные взрывы – взрывы, осуществляемые в нижних слоях атмосферы на высоте $H \le 10^4$ м. Если высота взрыва $H \ge 35q^{1/3}$ м – «воздушный ядерный взрыв» (где q – общая мощность взрыва, выраженная в кт). Взрыв, произведенный вблизи земной поверхности на высоте $H \le 3q^{1/3}$ м, принято называть «наземным ядерным взрывом». Если $H = 0$ – «контактный ядерный взрыв».

3.2. Подземные ядерные взрывы – взрывы, осуществляемые на глубине $\overline{H} \ge 3q^{1/3}$ м. При ядерных взрывах на приведенных глубинах $\overline{H} \le$ 20 … 70 м/кт$^{1/3,4}$ образуются воронки выброса грунта, в связи с чем эти взрывы называют «подземные ядерные взрывы с выбросом грунта». Если взрыв осуществлен на приведенной глубине 40…50 м/кт$^{1/3,4}$, когда на вы-

брос грунта расходуется максимальная энергия взрыва, взрывы называют «подземный ядерный взрыв на выброс» [6].

3.3. След радиоактивного облака ядерного взрыва – зона локальных (в отличие от глобальных) ***выпадений*** (в рамках настоящего документа) – территория радиоактивного загрязнения, образованного радиоактивными частицами, осевшими на местность из облака ядерного взрыва. «Зона ближних локальных радиоактивных выпадений», создаваемая относительно крупными радиоактивными частицами и простирающаяся от центра (эпицентра) ядерного взрыва до расстояния, на котором выпадающие радиоактивные частицы имеют максимальный аэродинамический диаметр 50 мкм. Эта зона в МУ условно именуется «ближний локальный радиоактивный след». «Зона дальних локальных радиоактивных выпадений» формируется высокодиспергированными частицами, аэродинамический диаметр которых менее 50 мкм. Данная зона располагается за «зоной ближних локальных выпадений», непосредственно примыкая к ней. Она, в определенных условиях, может возникать и независимо. В МУ эта зона именуется «дальний локальный радиоактивный след».

3.4. Загрязнение радиоактивное – присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека, в другом месте, в количестве, превышающем уровни, установленные нормами и правилами.

3.5. Ионизирующее излучение – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

3.6. Гамма-излучение – электромагнитное (фотонное) излучение, испускаемое при ядерных превращениях или аннигиляции частиц.

3.7. Бета-излучение – излучение, состоящее из электронов (позитронов), испускаемое при бета-распаде радиоактивных изотопов.

3.8. Доза – поглощенная доза, доза на орган, эквивалентная доза в органе, эффективная доза – в зависимости от контекста.

3.9. Активность (А) – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени:

$$A = \frac{dN}{dt}$$, где

dN – ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени dt.

3.10. Беккерель (Бк) – единица измерения активности в системе СИ, численно равная одному ядерному превращению в секунду. Использовавшаяся ранее внесистемная единица активности кюри (Ки) составляет $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

3.11. Облучение – воздействие на людей ионизирующего излучения.

3.12. Группа критическая – группа лиц из населения (не менее 10 человек), однородная по одному или нескольким признакам – полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения.

3.13. Доза экспозиционная – полный заряд ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, которые были образованы фотонами в элементарном объеме воздуха, деленный на массу воздуха в этом объеме.

3.14. Рентген – внесистемная единица экспозиционной дозы, Р; 1Р = 0,258 мКл/кг. Производные единицы миллирентген (1 мР = 10^{-3}Р); микрорентген (1 мкР = 10^{-6}Р).

3.15. Доза поглощенная (D) – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D = \frac{\bar{de}}{dm}, \text{ где}$$

$\bar{de}$ – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, а dm – масса вещества в этом объеме.

Энергия может быть усреднена по любому определенному объему, и в этом случае средняя доза будет равна полной энергии, переданной объему, деленной на массу этого объема.

3.16. Грей – единица поглощенной дозы в системе единиц СИ; 1Гр=1Дж/кг = 100 рад.

3.17. Рад – внесистемная единица поглощенной дозы. 1 рад = 100 эрг/г = 0,01 Дж/кг = 0,01 Гр.

3.18. Критический орган – орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которого в данных условиях причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомства.

3.19. Доза эффективная (E) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органе на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани.

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T(\tau) \text{ , где}$$

$H_T(\tau)$ – эквивалентная доза в органе или ткани T за время τ;

W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T.

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

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}, \text{ где}$$

$D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани Т, а W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R.

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

3.21. Зиверт (Зв) – единица измерения эквивалентной, ожидаемой и эффективной дозы; 1 Зв = 1 Дж/кг.

3.22. Биологически значимые радиоактивные выпадения (в рамках настоящего документа) – биологически доступные выпадения, включающие радиоактивные частицы с аэродинамическими размерами не превышающими 50 мкм, с которыми радионуклиды естественным путем могут попадать в организм животных или человека.

3.23. Эффекты излучения детерминированные – клинически выявляемые вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы.

3.24. Эффекты излучения стохастические – вредные биологические эффекты вызванные ионизирующим излучением, не имеющие до-

зового порога возникновения, вероятность появления которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы.

4. Используемые величины и единицы их измерения

С учетом практики, существовавшей в период проведения атмосферных ядерных испытаний, градуировки шкал приборов, применявшихся для получения исходной радиационной информации, и современных требований (табл. 4.1) приводятся как единицы СИ, так и внесистемные единицы.

Таблица 4

Основные используемые символы и единицы

Термин, величина	Используемый символ	Единицы СИ	Внесистемные единицы
1	2	3	4
Общая мощность взрыва	q		кт
Мощность взрыва по делению	$q_{дел.}$		кт
Максимальная высота подъема радиоактивного облака взрыва (верхней кромки) на момент стабилизации	H_{max}	км	
Высота точки взрыва над подстилающей поверхностью	$H_{взр.}$	км	
Скорость ветра, усредненного по высоте от H_{max} до земной поверхности	$\overline{V}$	км/ч	
Расстояние от центра (эпицентра) взрыва по оси радиоактивного следа	X	км	
Время условного начала формирования радиоактивного следа (отсчитанное от момента взрыва)	t_0	ч	
Время условного окончания формирования радиоактивного следа (отсчитанное от момента взрыва)	$t_{ост.}$	ч	

Условная продолжительность периода формирования радиоактивного следа на расстоянии X	$\Delta t_x = t_{ост.} - t_0$	ч	
Критическое расстояние – расстояние, на которое вероятен перенос частицы с аэродинамическим диаметром 50 мкм поднятой взрывом на высоту H_{max}, при скорости среднего ветра $\overline{V}$	$X_{кр.}$	км	

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Приведенное расстояние, численно равное расстоянию X, отнесенному к критическому расстоянию – $X_{кр.}$	$X_{пр.} = \frac{X}{X_{кр.}}$		
Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (в тексте – мощность дозы)	P		мР/ч
Мощность дозы гамма-излучения на высоте 1м от поверхности на момент окончания формирования радиоактивного следа	$P_{ост.}$		мР/ч
Максимальная мощность дозы гамма-излучения на высоте 1м от поверхности земли в период формирования радиоактивного следа	$P_{мах}$		мР/ч
Текущее время, отсчитанное от момента взрыва, кроме специально оговоренных случаев	t	ч, сут	
Местное астрономическое время	t_a	ч	
Интервал времени	τ	ч, сут	
Средняя энергия частиц (фотонов) гамма-, бета-излучения	$\overline{E}_\gamma$, $\overline{E}_\beta$		МэВ/Бк

Суммарная поверхностная активность при загрязнении почвы, растительности и т. п.	$\sigma_{\Sigma}, \sigma_{тр\Sigma}$	Бк/м^2	
Поверхностная активность i-го радионуклида	σ_i	Бк/м^2	
Удельная активность i-го радионуклида	Q_i , M_i , B_i	Бк/кг	
Объемная активность i-го радионуклида в жидкостях	A_i		Бк/л

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Суммарная объемная активность аэрозолей в воздухе	$C_{аэр\Sigma}$	Бк/м^3	
Объемная активность i-го нуклида в воздухе	C_i	Бк/м^3	
Активность, поступающая в организм в момент времени, t	$g_{i,t}$ $g_{\Sigma t}$	Бк	
Доля активности выпадений, связанная с частицами, аэродинамический диаметр которых не превышает 50 мкм	$\eta_{d\leq 50}$		
Доля активности i-го радионуклида в несепарированной смеси продуктов мгновенного деления на момент времени t	$a_{i,t}$		
Эффективная доза	E	мЗв	
Поглощенная доза	D	мГр	

5. Основные положения

5.1. Общие положения

5.1.1. Модели расчета доз, представленные в методических указаниях, базируются на использовании исходных данных трех типов: пер-

вичных, производных и стандартных. Исходные данные, в зависимости от их назначения, могут носить общий или частный характер.

5.1.1.1. *Первичные данные* – известные до начала расчетов. Они включают информацию о взрыве и его характеристиках – типе, мощности, виде и составе делящихся материалов, высоте подъема верхней кромки облака; место, дату и время взрыва; метеорологическую информацию – скорость среднего ветра на трассе перемещения радиоактивного облака; географическое положение зоны локальных выпадений и ее ландшафтные особенности; расположение интересующих населенных пунктов относительно точки взрыва; особенности сезонной жизнедеятельности населения и, в первую очередь, его критических групп, рацион питания. Любую информацию о радиационной обстановке, привязанную к месту и моменту взрыва.

5.1.1.2. *Производные данные* – рассчитываемые по зависимостям, рекомендуемым в методических указаниях, на основе использования первичных исходных данных. Этот тип данных составляет основное наполнение моделей расчета доз и включает набор параметров радиационной обстановки, определяющих внешнее и внутреннее облучение людей.

5.1.1.3. *Стандартные данные* – заимствованные из официальной справочной литературы или соответствующих официальных публикаций. К этому типу данных относятся: различные физические переходные коэффициенты, метаболические константы поведения радионуклидов в организме животных и людей, биологические и физические характеристики продуктов взрыва и отдельных радионуклидов (радиоизотопов), антропометрическая информация, а также другие общепринятые данные.

5.1.2. Используемые в методических указаниях функциональные связи и соотношения в основе своей отражают реальные пространственно-временные радиационные и биологические процессы воздействия продуктов ядерного взрыва на человека. Наряду с этим сложность и многообразие факторов, определяющих поступление радиоактивных продуктов в организм людей, постоянно находящихся на радиоактивном следе, определили необходимость создания расчетных зависимостей с помощью аналогового метода обработки и нормирования натурного экспериментального материала, специально накапливавшегося в период проведения ядерных испытаний, который обобщался и анализировался на протяжении всего прошедшего времени.

Одним из основных выражений, используемых в аналоговых решениях, является функция (5.11), определяющая в составе интегральных выпадений долю активности, обусловленную их биологически значимой фракцией частиц ($\eta_{d\leq 50}$), которая для данного взрыва, конкретных условий формирования радиоактивного следа и удаления интересуемой точки, нормируется через приведенное расстояние ($X_{пр}$), являющееся безразмерным критерием подобия.

5.1.3. Общая погрешность расчетов, выполняемых по данным методическим указаниям, включает в себя две составляющие.

Первая из них определяется внутренними особенностями используемых моделей, функциональных связей и соотношений. Данные погрешности являются неизбежным следствием идеализации реально протекающих радиационных и биофизических процессов, а также принятых допущений при их математическом описании. По этой причине внутренние погрешности консервативны и мало управляемы в ходе расчета.

Вторая составляющая общей погрешности находится за пределами применяемых решений и связана с уровнем достоверности вводимых в расчет исходных данных и принимаемых условий расчета. Однако благодаря блочной структуре методических указаний, а также представлению в общем виде всех основных решений, включенных в рассматриваемый документ, всегда существует реальная возможность, для пользователей, вводить на любой стадии расчета реальную или уточненную информацию и на этой основе неограниченно снижать составляющую внешней погрешности.

Если исходные параметры и условия облучения соответствуют реальным, то общая погрешность расчета будет определяться только внутренними методическими причинами. В подобном случае, как показали проведенные оценки, погрешность расчета не будет превышать ± 30—50 %.

5.1.4. Принимая во внимание практику градуировки шкал приборов, существовавшую в период проведения атмосферных ядерных испытаний, использовавшихся для получения первичной радиационной информации, и современные метрологические требования в настоящем документе применяются как единицы СИ, так и внесистемные единицы.

5.2. Исходные данные

В этом разделе приводятся общие исходные данные для расчетов, которые должны быть заранее известны или предварительно определены.

5.2.1. Первичные исходные данные

Включают:

- тип взрыва, дату, час и место его проведения;
- общую мощность взрыва (q, кт) и мощность взрыва по делению ($q_{дел}$, кт);
- вид делящегося материала (если он комбинированный, то соотношение его компонентов);
- максимальную высоту подъема верхней кромки радиоактивного облака взрыва на момент стабилизации – H_{max}, км;

Если высота подъема облака взрыва неизвестна, то она может быть оценена по соотношению:

$$H_{max} = 4q^{0,25} + H_{взр}, \text{ где} \qquad (5.1)$$

$H_{взр}$ – высота точки взрыва, над подстилающей поверхностью, км;

q – общая мощность взрыва, кт.

- скорость среднего ветра в слое атмосферы от подстилающей поверхности до высоты подъема верхней кромки облака на трассе его перемещения из района взрыва в рассматриваемую точку местности – $\overline{V}$, км/ч;
- расстояние от центра (эпицентра) взрыва до данной точки местности, измеренное по трассе движения радиоактивного облака – X, км;
- мощность дозы гамма-излучения в рассматриваемой точке (населенном пункте) на открытой местности на высоте 1 м от поверхности земли через t часов после взрыва – P_t, мР/ч.

В алгоритмах, используемых в настоящих методических указаниях, мощность дозы гамма-излучения на открытой местности является главным опорным параметром и рассматривается как заведомо известная характеристика. Эта величина, как правило, должна являться результатом прямых измерений, которые заимствуются из архивных материалов

радиационной разведки. В том случае, когда она получена расчетным путем специально оговариваются условия и особенности расчета.

Все применяемые в методических указаниях пересчеты экспозиционной мощности дозы гамма-излучения $P(t)$, а также общей активности выпадений – $\sigma(t)$, на различные моменты времени после взрыва, осуществляются по формуле Вей-Вигнера:

$$P(t) = P_{t_*}\left(\frac{t}{t_*}\right)^{-n} \quad \text{или} \quad \sigma(t) = \sigma_{t_*}\left(\frac{t}{t_*}\right)^{-n}$$

При этом в расчетах доз внешнего гамма-излучения должны применяться реальные значения показателей степени n. Если таковые не известны, то могут использоваться значения n, полученные О. И. Лейпунским в результате теоретического анализа функций изменения гамма-активности смеси осколков деления ^{235}U и ^{239}Pu в различные интервалы времени. Указанные данные приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Теоретические значения показателей степени *n* в различные сроки после деления ^{235}U и ^{239}Pu [18]

Интервал времени после деления	n	Максимальное отклонение от кривой спада гамма-активности, %
10 мин < t < 10 ч	1,32	10
10 ч < t < 100 ч	1,31	10
10 мин < t < 100 ч	1,33	10
100 ч < t < 1000 ч	0,89	10
20 с < t < 1000 ч	1,2	30

Для времени t > 1000 ч в расчетах принимается n = 1,2.

В целях упрощения расчетов и сравнительных оценок в рабочих формулах значения экспозиционной мощности дозы гамма-излучения, P_{t_*}, приведены на 24 часа после взрыва – $P_{t_*} = P_{(24)}$.

Если значение мощности дозы оказывается известным на какой-то момент времени t_*, то пересчет ее величин на 24 часа после взрыва, проводится по соотношению:

$$P_{(24)} = \frac{P_{t_*} \cdot t_*^{\,n}}{24^n} \qquad (5.2)$$

В этой связи для удобства последующих расчетов целесообразно предварительно провести восстановление пространственного поля мощностей дозы гамма-излучения (радиоактивного следа) на 24 часа после взрыва.

Наряду с этим, во всех случаях, когда требуется осуществить пересчеты общей активности высокодисперсной фракции выпадений (именуемой ниже «биологически значимой фракцией») с одного времени на другое, показатель степени n принимается равным 1.2. Данное значение показателя степени для указанной фракции выпадений, с одной стороны, исключает возможное занижение доз внутреннего облучения, а с другой, и значимо не завышает их, т. к. расчеты общей активности, в этих случаях, проводятся для небольших интервалов времени.

5.2.2. Производные исходные данные для периода формирования радиоактивного следа

В их состав входят:

- время, t_0, ч, прихода облака взрыва в данную точку местности, удаленную от центра взрыва на X, км, которое определяется как

$$t_0 = \frac{X}{\overline{V}}, \text{ где} \qquad (5.3)$$

$\overline{V}$ – скорость среднего ветра, км/ч;

- время, $t_{ост}$, ч, ухода облака взрыва (условного окончания формирования радиоактивного следа и начала излучения выпавших радиоактивных продуктов) численно равное:

$$t_{ост}=t_0+\Delta t_x, \text{ где} \qquad (5.4)$$

Δt_x, ч – продолжительность радиоактивных выпадений (период формирования радиоактивного следа) в точке зоны локальных выпадений, на расстоянии X, км, от места взрыва, которая может быть оценена исходя из теоретических представлений или по линейным размерам радиоактивного следа.

Если на рассматриваемом расстоянии неизвестны поперечные размеры радиоактивного следа, то в этом случае применяют формулу:

$$\Delta t_x = 0{,}2 + [\,0{,}6 + 0{,}1 \cdot \lg(q)\,] \cdot \frac{X}{\overline{V}}, \text{ ч, где} \qquad (5.5)$$

q – общая мощность взрыва, кт.

Если осуществлена пространственная реконструкция радиоактивного следа, то Δt_x может быть более реалистично оценено по соотношению

$$\Delta t_x = K \frac{L_{ших}}{V} \qquad (5.6)$$

В формуле (5.6) коэффициент $K = 2$ применяют в пределах расстояний до 150 км от центра взрыва и устойчивом свежем ветре ($\overline{\mathbf{V}} \geq 25$ км/ч), а на больших расстояниях и при слабом ветре, или штилевой обстановке ($V < 10$ км/ч) целесообразно использовать коэффициент $K = 1{,}5$.

$L_{ших}$ – ширина радиоактивного следа на расстоянии X от места взрыва, км.

В общем случае за $L_{ших}$ принимается расстояние в поперечном сечении радиоактивного следа, ограниченное изолинией мощности дозы гамма-излучения, соответствующей минимальному значению рассчитываемых доз излучения.

Согласно официальной «Концепции» /2.2/ внешняя граница зоны радиоактивного загрязнения, в пределах которой должны проводиться наблюдения радиационной обстановки, а, следовательно, и оцениваться дозы излучения, соответствует эффективной дозе 1 мЗв в год. Это эквивалентно дозе в щитовидной железе ребенка, возрастом 1 год, потребляющего местное коровье молоко, равной 20 мГр, при внутреннем облучении органа йодом-131. Дозными критериями определения параметра $L_{ших}$ целесообразно выбрать: на ближнем радиоактивном следе – минимальную эффективную дозу, а в зоне дальних радиоактивных выпадений – минимальную поглощенную дозу в щитовидной железе.

Таблица 5.2

Граничные значения изолиний мощности дозы гамма-излучения для определения параметра $L_{ших}$ на радиоактивных следах, приведенных на 3 и 24 часа после взрыва

Ближний радиоактивный след ($X_{пр} < 1$)			Дальний радиоактивный след ($X_{пр} > 1$)		
Общее облучение, мЗв	Изолиния, мР/ч		Внутр. облучение щит. жел., мГр	Изолиния, мР/ч	
	«ч» + 3.00	«ч» + 24.00		«ч» + 3.00	«ч» + 24.00
0,5	5,3	0,43	10	2	0,2
1,0	10,6	0,85	20	4	0,4

К производным исходным данным для периода формирования радиоактивного следа относится также мощность дозы гамма-излучения на местности на момент окончания его формирования – $P_{tост.}$, мР/ч, которая определяется по формуле:

$$P(t_{ост.}) = 24^n \cdot P_{24} \cdot t_{ост.}^{-n} \qquad (5.7)$$

5.2.3. Производные исходные данные для сформированного радиоактивного следа

5.2.3.1. Поверхностная активность выпадений

Суммарная поверхностная активность грунта, $\sigma_{ГРΣ}(t)$, Бк/м^2, на радиоактивном следе наземного ядерного взрыва на момент времени t после его формирования определяется из соотношения:

$$\sigma_{ГРΣ}(t) = 3{,}7 \cdot 10^6 \cdot 24^n \cdot P_{24} \cdot t^{-n} \qquad (5.8)$$

Соответственно суммарная поверхностная активность грунта, связанная с биологически значимой фракцией выпадений:

$$\sigma_{\substack{ГРΣ \\ d \le 50}}(t) = \sigma_{ГРΣ}(t) \cdot \eta_{d \le 50}, \text{ где} \qquad (5.9)$$

$\eta_{d\le 50}$ – доля от суммарной поверхностной активности грунта, обусловленная биологически значимой фракцией радиоактивных выпадений. Она определяется по (5.11).

Поверхностная активность i-го радиоизотопа, содержащегося в биологически значимой фракции выпадений на момент времени t, $\sigma_{\substack{ГРi \\ d\le 50}}(t)$, Бк/м^2, определяется по формуле:

$$\sigma_{\substack{ГРi \\ d\le 50}}(t)=\frac{3{,}7\cdot 10^6\cdot 24^{n}}{t^{n}}\cdot P_{24}\cdot \eta_{d\le 50}\cdot a_i(t), \text{ где} \qquad (5.10)$$

$a_i(t)$ – доля по активности i-го радионуклида в биологически значимой фракции выпадения, соответствующая его содержанию в несепарированной смеси продуктов мгновенного деления, на момент времени t, определяемая по табл. ПБ 1 прилож. Б.

5.2.3.2. Доля суммарной поверхностной активности, обусловленная биологически значимой фракцией выпадений

Функция изменения доли активности общих выпадений определяемой биологически значимой фракцией частиц ($\eta_{d\le 50}$), полученная при обобщении экспериментальных данных радиоактивного загрязнения травы на следах наземных ядерных взрывов в диапазоне $H_{max}\overline{V}$ от 8 до 600, имеет вид:

$$\eta_{d\le 50}=1-[1-0{,}6(H_{\max}\cdot\overline{V})^{-0{,}9}]\exp(-4X_{пр.}^{3}), \text{ где} \qquad (5.11)$$

$X_{пр.}$ – приведенное расстояние, являющееся безразмерным критерием распределения на радиоактивных следах фракции выпадений радиоактивных частиц с размерами, не превышающими 50 мкм.

В общем случае $X_{пр.}=\frac{X}{X_{кр.}}$. Это означает, что расстояние X нормируется относительно критического расстояния $X_{кр.}$, км, на котором должна упасть аэрозольная частица с аэродинамическим диаметром d = 50 мкм, переносимая из зоны взрыва со скоростью среднего ветра $\overline{V}$, км/ч, и гравитационно оседающая со скоростью W_{50}, км/ч, с высоты стабилизации верхней кромки облака H_{max}, км.

В соответствии с изложенным, приведенное расстояние равно:

$$X_{пр.} = \frac{W_{50} \cdot X}{H_{\max} \cdot \overline{V}} \qquad (5.12)$$

Для реальных высот подъема облаков наземных ядерных взрывов и атмосферных условий, при которых допускалось проведение ядерных испытаний, а также плотности частиц ρ = 2,5 г/см^3 характерной для селикатных грунтов, значение W_{50} = 0,73 км/ч. При воздушных ядерных взрывах радиоактивные частицы формируются из конструкционных материалов заряда, что определяет их более высокую плотность по сравнению с грунтовыми частицами. Поэтому при расчетах W_{50} для воздушных взрывов следует учитывать их реальную плотность.

5.3. Внешнее облучение

В обычных условиях на территориях, загрязненных радиоактивными выпадениями ядерных взрывов, организм людей подвергается общему воздействию внешнего гамма-излучения. Наряду с этим в качестве критического органа по воздействию внешнего и контактного бета-гамма-излучения могут оказаться открытые кожные покровы человека. По этой причине в общую эффективную дозу у людей, помимо дозы внешнего гамма-излучения, следует вводить, в качестве составляющей, и дозу в коже бета-гамма-излучения.

5.3.1. Составляющие экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения

Общая экспозиционная доза гамма-излучения, создающаяся на радиоактивном следе ядерного взрыва от начала его формирования до любого момента времени, слагается из дозы, которая формируется в период прохождения облака взрыва (образования радиоактивного следа) – $D_{обл\Sigma}^{\Delta t}$, и дозы излучения продуктов взрыва, осевших на местность – $D_{вып(t>t_{ост})}$.

$D_{обл\Sigma}^{\Delta t}$ в свою очередь включает в себя: дозу гамма-излучения радиоактивных продуктов, находящихся в воздухе – $D_{воз,\Delta t}$, мР, и дозу гамма-излучения осевших продуктов взрыва во время формирования радиоактивного следа (Δt_x) – $D_{вып,\Delta t}$, мР.

Структурно указанные дозы связаны между собой следующими соотношениями:

$$D_{t_0 \ldots -\infty} = D_{\underset{\Delta t}{обл\Sigma}} + D_{вып(t_{ост} \ldots \infty)}$$

$$D_{\underset{\Delta t}{обл\Sigma}} = D_{вып,\Delta t} + D_{воз,\Delta t}$$

Уравнения для расчетов дозы излучения облака взрыва ($D_{\underset{\Delta t}{обл\Sigma}}$) и ее соответствующих ($D_{вып,\Delta t}$, $D_{воз,\Delta t}$) записанные в параметрах исходных данных, имеют вид:

$$D_{\underset{\Delta t}{обл\Sigma}} = \frac{0{,}5 \cdot 24^n \cdot P_{24} \cdot \Delta t_x}{t_{ост.}^n} \left(1 + 1{,}5 q^{-0{,}04}\right) \qquad (5.13)$$

$$D_{вып,\Delta t} = \frac{0{,}5 \cdot 24^n \cdot P_{24} \cdot \Delta t_x}{t_{ост.}^n} \qquad (5.13.1)$$

Разность функций (5.13) и (5.13.1) дает расчетное выражение для $D_{воз,\Delta t}$:

$$D_{воз,\Delta t} = \frac{0{,}75 \cdot 24^n \cdot P_{24} \cdot \Delta t_x}{t_{ост.}^n \cdot q^{0{,}04}} \qquad (5.13.2)$$

Размерность экспозиционных доз в формулах 5.13 определяется размерностью мощности дозы гамма-излучения. Если P в мР/ч, то D в мР.

Экспозиционная доза гамма-излучения радиоактивного следа за время от момента окончания его формирования ($t_{ост.}$) и до полного распада выпавших радионуклидов (t_∞), $D_{вып,\infty}$, мР, определится как

$$D_{вып,\infty} = \frac{24^n \cdot P_{24}}{(n-1) \cdot t_{ост.}^{n-1}} \qquad (5.14)$$

Значения параметров, входящих в формулы (5.13) и (5.14), а также порядок их получения указаны в разделе 5.2.

5.3.2. Эффективная доза внешнего гамма-излучения

В связи с тем, что люди в помещениях или иных защитных сооружениях обычно находятся определенную часть суток, доза их внешнего облучения оказывается меньше дозы внешнего излучения, создающейся на открытой местности. В общем случае эта разница зависит от режима

жизнедеятельности людей и защитных свойств, используемых ими сооружений.

Если время пребывания людей на открытой местности составляет $\tau_{откр.}$ часов в сутки и, соответственно, в укрытиях (24 – $\tau_{откр.}$), а защитные свойства используемых сооружений характеризуются коэффициентами ослабления гамма-излучения облака – $K_{обл}$, и излучения выпавших на местность радиоактивных продуктов – $K_{вып.}$, то вероятная эффективная доза внешнего гамма-излучения, ($E_{вн.}$, мЗв), за период времени от t_o до $t = \infty$ может быть рассчитана по формуле:

$$E_{вн.} = \frac{6{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 24^{n} \cdot W_R \cdot W_T \cdot P_{24}}{t_{ост.}^{n-1}}$$

$$\left[\frac{K_{t_{ост,защ}}}{24(n-1)} \left(\tau_{откр.} + \frac{24 - \tau_{откр.}}{K_{вып.}} \right) + \frac{0{,}5 \cdot \Delta t_x}{K_{обл} t_{ост.}} \left(1 + 1{,}5 q^{-0{,}04} \right) \right], \text{ где} \qquad (5.15)$$

W_R и W_T – взвешивающий коэффициент излучения и тканевый взвешивающий коэффициент. Для гамма-излучения воздействующего на все тело, оба параметра численно равны 1.

$K_{t_{ост,защ.}}$ – поправочный коэффициент, уточняющий влияние на величину экспозиционной дозы гамма-излучения от выпавших продуктов взрыва скорости изменения мощности дозы гамма-излучения и возможных комбинаций режима защищенности населения.

Поправочный коэффициент $K_{t_{ост,защ.}}$ выбирается из табл. ПГ 2.1 … ПГ 2.4 прилож. Г в зависимости от местного астрономического времени взрыва – $t_{взр,а}$ и местного астрономического времени обычного времени выхода людей из помещений (укрытий) – $t_{откр,а}$ для текущего момента времени окончания формирования радиоактивного следа – $t_{ост}$ и характеристик защищенности населения – $K_{вып.}$, $\tau_{откр.}$.

В тех случаях, когда исходные данные не совпадают с фиксированными значениями табл. ПГ 2.1 …ПГ 2.4, необходимое значение $K_{t_{ост,защ.}}$ может быть определено экстраполяцией.

Если и такой прием окажется неприемлемым, расчет экспозиционной дозы гамма-излучения от выпавших продуктов ядерного взрыва, с учетом кинетики мощности дозы гамма-излучения и особенностей за-

щищенности населения, должен быть произведен в соответствии с рекомендациями раздела 1 прилож. Г.

Коэффициент $6{,}1 \cdot 10^{-3}$, мЗв/мР, отражает численный переход от экспозиционной дозы гамма-излучения в воздухе в мР к эффективной дозе внешнего облучения человека в мЗв.

В формуле (5.15) $K_{обл.}$, $K_{вып.}$ – коэффициенты ослабления гамма-излучения облака и выпавших на местность радиоактивных продуктов. Они могут быть рассчитаны теоретически, исходя из конструктивных особенностей сооружений и геометрии их облучения, или заимствованы из различной справочной литературы. Наряду с этим, для некоторых типов зданий и помещений, находившихся на радиоактивных следах ядерных взрывов, осуществленных на Семипалатинском полигоне, были проведены прямые измерения величин указанных коэффициентов. Полученные результаты приведены в табл. ПБ 3 прилож. Б. При этом было установлено, что величины $K_{обл}$, в среднем, оказываются в 5 раз меньше $K_{вып}$. Поэтому в расчетах допустимо принимать:

- $K_{обл.} \approx 0{,}2K_{вып.}$, если $K_{вып} > 5$ и
- $K_{обл.} = 1$, если $K_{вып.} \leq 5$.

Для определения целесообразности учета $K_{обл.}$ необходимо прежде всего знать предупреждалось ли население об ожидаемом прохождении облака взрыва и осуществлялось ли, в связи с этим, укрытие людей на это время в помещениях или других защитных сооружениях? Кроме того, важен и тот факт, что ядерные испытания, как правило, проводились в дневное время, когда большинство людей бодрствует и может находиться на улице, что соответствует $K_{обл.} = 1$.

Особенности условий жизни и деятельности людей должны также учитываться и при выборе коэффициента $K_{вып.}$ и параметра $\tau_{откр.}$. Параметр $\tau_{откр.}$ существенно зависит не только от уклада жизни или профессиональной деятельности людей, но и от сезона года или климатических особенностей территории.

Из изложенного выше следует, что при расчетах $E_{вн}$ должны специально оговариваться учитываемые конкретные особенности формирования экспозиционной дозы.

5.3.3. Оценка внешнего и контактного бета-гамма-облучения кожных покровов людей за счет бета-гамма-излучения

5.3.3.1. Исходные условия

Обоснованные оценки вероятного облучения кожи должны проводиться для условий, при которых оно может оказаться значимым в формировании общей эффективной дозы.

Они предполагают:

- проведение взрыва в дневное время;
- сохранение обычного характера жизни и трудовой деятельности населения в период выпадения радиоактивных продуктов (формирования радиоактивного следа) и в последующее время;
- отсутствие применения специальных мер защиты населения от радиоактивных выпадений и их излучения;
- облучение всей кожи людей внешним бета-гамма-излучением, а открытые ее участки (кожа лица и рук) дополнительно контактным бета-излучением в результате поверхностного загрязнения радиоактивными выпадениями.

В алгоритме расчета используются натурные экспериментальные данные. Они включают следующие положения:

- на коже лица и рук человека задерживаются преимущественно частицы биологически значимой фракции выпадений ($d \leq 50$ мкм) в доле $\delta = 0{,}23$;
- мощность поглощенной дозы излучения на базальный слой кожи человека в диапазоне энергий бета-частиц от 0,5 до 5,0 МэВ практически не зависит от энергии и при оценках значений дозы может приниматься $K_{n/\sigma} = 1{,}76 \cdot 10^{-3}$ мГр $\cdot$ см^2/ч $\cdot$ Бк (65 мГр $\cdot$ см^2/ч $\cdot$ мкКи);
- внешнее бета-излучение удваивает формируемую на открытой местности дозу внешнего гамма-излучения на базальный слой кожи лица;
- максимальная продолжительность радиоактивного загрязнения кожи лица человека (до санитарной обработки, умывания и т. п.) – сутки, после ее загрязнения продуктами взрыва;
- суммарная доза, реализуемая в кожной ткани, рассчитывается за год.

5.3.3.2. Поглощенная доза в коже и ее составляющие компоненты

В общем виде поглощенная доза за год в открытых участках кожи определяется следующими слагаемыми:

$$D_{K,\Sigma,Г} = D_{K,откр,Г} + D_{K,экр,Г} + D_{K,конт,24}\text{, где} \qquad (5.16)$$

$D_{K,\Sigma,Г}$ – общая (суммарная) поглощенная доза в открытых участках кожи за 1 год после выпадений, мГр;

$D_{K,откр,Г}$ – поглощенная доза внешних гамма- и бета- излучений, реализуемая в коже за отрезок времени в году, в течение которого люди могли находиться на открытой местности, мГр;

$D_{K,экр,Г}$ – поглощенная доза внешнего гамма-излучения, реализуемая в коже за отрезок времени в году, в течение которого люди могли находиться в помещениях или в других экранирующих излучение сооружениях, мГр;

$D_{K,конт,24}$ – поглощенная доза в коже бета-излучения радиоактивных продуктов, осевших на коже лица, и реализуемая за 24 часа после выпадений, мГр.

Составляющие компоненты общей поглощенной дозы в коже, записанные с учетом принятых выше исходных данных, имеют следующий вид:

$$D_{K,откр,Г} = 2K_{п/э}\left[D_{\substack{обл\Sigma \\ \Delta t}} + \frac{24^{n-1}\cdot P_{24}}{n-1}\tau_{откр}\left(\frac{1}{t_{ост}^{n-1}} - \frac{1}{8760^{n-1}}\right)\right]\text{, где} \qquad (5.17)$$

$K_{п/э} = 6{,}1\cdot 10^{-3}$ – коэффициент перехода от экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения, измеренной в воздухе, к дозе гамма-излучения поглощенной в коже, мГр/мР.

$$D_{K,экр,Г} = K_{п/э}\frac{24^{n}\cdot P_{24}}{(n-1)K_{вып}}\cdot\left(1-\frac{\tau_{откр}}{24}\right)\cdot\left(\frac{1}{t_{ост}^{n-1}} - \frac{1}{8760^{n-1}}\right) \qquad (5.18)$$

$$D_{K,конт,24} = 33{,}9\cdot P_{24}\left[\frac{1}{t_{ост}^{0,2}} - \frac{1}{(t_{ост}+24)^{0,2}}\right]\cdot\eta_{d\le 50} \qquad (5.19)$$

$\eta_{d\le 50}$ – доля поверхностной активности на радиоактивном следе связанная с биологически значимой фракцией выпадений, которая определяется по формуле (5.11).

Остальные значения в (5.17), (5.18), (5.19) и порядок их определения указаны выше.

5.3.3.3. Вклад облучения кожи в эффективную дозу

По определению вклад облучения кожи в годовую эффективную дозу, $E_{K,Г}$, мЗв, равен:

$$E_{K,Г} = D_{K,\Sigma,Г} \cdot W_R \cdot W_T \text{ , где} \qquad (5.20)$$

$D_{K,\Sigma,Г}$ – общая поглощенная доза в открытых участках кожи за 1 год после выпадений, определяемая по соотношению (5.16).

W_R – взвешивающий коэффициент для бета-гамма-излучений, равный 1;

W_T – взвешивающий коэффициент кожи (при облучении всей кожи), равный 0,01.

Если облучается только кожа лица, т. е. около 4 % всей поверхности кожи, то $W_T = 0{,}01 \cdot 0{,}04 = 4 \cdot 10^{-4}$.

5.4. Внутреннее облучение при ингаляционном поступлении

5.4.1. Оценка ингаляционных поступлений радиоактивных веществ в организм людей в период формирования следа ядерного взрыва

Теоретически и экспериментально подтверждено, что возможное ингаляционное поступление радиоактивных веществ в организм людей, проживающих на следах ядерного взрыва, и вызванное им внутреннее облучение, в основном, определяется периодом формирования локальных выпадений. Поэтому при оценке доз от ингаляционного поступления необходимо, прежде всего, рассматривать указанный период времени.

5.4.1.1. Исходные условия

Для упрощения проводимых оценок, без опасения существенно исказить конечные результаты, принимается допущение, что количество радионуклидов, поступающих в организм за все время формирования следа (Δt_x), рассматривается как разовое поступление в момент времени.

$$t_1^{'} = t_0 + 0{,}5\ \Delta t_x \qquad (5.21)$$

Поэтому уменьшение содержания радиоактивных продуктов в организме вследствие радиоактивного распада и биологического выведения в интервале времени от t_0 до $t_{ост}$ не учитывается.

5.4.1.2. Общая средняя объемная активность аэрозолей в приземном слое воздуха в период формирования радиоактивного следа

Общая средняя объемная активность аэрозолей $\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t}$, Бк/м^3, находившихся в приземном воздухе (в зоне дыхания людей) во время формирования следа может быть оценена по ее энерговыделению. С этой целью формула для расчетов $\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t}$ нормируется относительно дозы излучения от радиоактивных продуктов, содержащихся в воздухе в период формирования радиоактивного следа $D_{воз,\Delta t}$, мР, определяемой по соотношению (5.13.2). Расчетная формула имеет вид:

$$\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t} = \frac{0{,}75 \cdot 24^n \cdot K_{Бк/\gamma} \cdot K_{аэр} \cdot P_{24}}{\overline{E}_{\gamma}\overline{n}_{\gamma} q^{0{,}04} t_{ост}^n}, \text{ где} \qquad (5.22)$$

$K_{Бк/\gamma} = 3{,}7 \cdot 10^4$ – переходный коэффициент от мощности дозы гамма-излучения к объемной активности продуктов, содержащихся в воздухе, (Бк·ч)/(м^3·мР);

$K_{аэр}$ – доля излучения в приземном воздухе, создаваемая аэрозольными продуктами взрыва. Для атмосферных ядерных взрывов $K_{аэр} = 1$;

$\overline{E}_{\gamma}$ – средняя энергия фотонов гамма-излучения, МэВ;

$\overline{n}_{\gamma}$ – средний выход фотонов гамма-излучения, фотон/Бк·с.

Если фактические значения $\overline{E}_{\gamma}$ и $\overline{n}_{\gamma}$ неизвестны, то они принимаются равными 1.

Значения остальных параметров и порядок их определения указаны выше.

5.4.1.3. Средняя объемная активность биологически значимых аэрозолей в приземном воздухе в период формирования радиоактивного следа

Средняя общая концентрация биологически значимых радиоактивных аэрозолей – $\overline{C}_{\substack{аэр,\Delta t \\ d\le 50}}$, Бк/м^3, равна:

$$\overline{C}_{\substack{аэр,\Delta t \\ d\le 50}} = \overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t} \cdot \eta^*_{d\le 50}, \text{ где} \qquad (5.23)$$

$\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t}$ – определяется по формуле (5.22);

$\eta^{*}_{d\le 50}$ – доля общей активности, содержащейся в приземном воздухе, связанная с фракцией аэрозольных частиц с размерами $d \le 50$ мкм (биологически значимая фракция частиц).

Соответственно, средняя объемная активность в воздухе i-го нуклида в биологически значимой фракции радиоактивных аэрозолей – $\overline{C}_{\substack{аэр_i,\Delta t \\ d\le 50}}$, Бк/м^3, равна:

$$\overline{C}_{\substack{аэр_i,\Delta t \\ d\le 50}} = \overline{C}_{\substack{аэр,\Delta t \\ d\le 50}} \cdot a_i(t_1') \text{ , где} \qquad (5.24)$$

$a_i(t_1')$ – доля *i*-го радионуклида в активности биологически значимой фракции частиц, соответствующая несепарированной смеси продуктов мгновенного деления на момент времени $t_1' = t_o + 0{,}5\Delta t_x$, определяемая по табл. ПБ 1 прилож. Б;

Δt_x – продолжительность периода формирования радиоактивного следа, ч, которая определяется по формулам (5.5) или (5.6).

5.4.1.4. Ингаляционные поступления

В соответствии с принятыми исходными условиями общее количество радионуклидов, которые через незащищенные органы дыхания могут поступить в организм людей и там задержаться, ($g_{\Sigma,\Delta t}$, Бк), определяется соотношением:

$$g_{\Sigma,\Delta t} = 6 \cdot 10^{-2} \cdot \overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t} \cdot \nu \cdot \Delta t_x \cdot \Omega_{возд} \cdot \eta_u \text{ , где} \qquad (5.25)$$

$\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t}$ – общая средняя объемная активность аэрозолей в приземном воздухе во время формирования радиоактивного следа, Бк/м^3, которая рассчитывается по формуле (5.22);

ν – объем легочной вентиляции, л/мин. Величина данного параметра зависит от характера физической нагрузки, возраста и пола человека. Значения ν, рекомендованные МКРЗ, приведены в табл. ПБ.4 приложения Б;

Δt_x – *продолжительность формирования радиоак*тивного следа, ч. В зависимости от имеющейся информации данный параметр определяется по (5.5) или (5.6);

$\Omega_{возд}$ – доля радиоактивного аэрозоля, задерживающегося в органах дыхания;

η_u – доля активности, которая может проникнуть в органы дыхания.

Известно, что величина $\Omega_{возд}$ зависит от целого ряда причин. К их числу относятся: размеры частиц, плотность частиц и их химическая природа, их формы, растворимость и гигроскопичность, скорость дыхания и т. д.

Из всех перечисленных факторов экспериментально и теоретически наиболее полно исследовано влияние размеров частиц на степень их отложения в отдельных частях дыхательного тракта. Наряду с этим, по данным ряда исследователей, в т. ч. и работавших на Семипалатинском полигоне, для спектра частиц с диаметром не превышающим 50 мкм, суммарная степень отложения во всех отделах дыхательной системы не превышает $\Omega_{возд}$ =0,7.

С учетом этих сведений и в предположении подобия дисперсного содержания биологически значимой фракции выпадений в приземном воздухе и в выпадениях на радиоактивном следе, сформированном за время Δt_x, задерживаемую в органах дыхания долю аэрозоля ($\Omega_{возд} \cdot \eta_u$) можно принять:

$$\Omega_{возд} \cdot \eta_u \cong 0{,}7\, \eta_{d \le 50}$$

Соответственно, растворимая часть ингалированного *i*-го радионуклида, поступающая из органов дыхания в остальной организм ($g_{i,\Delta t}$, Бк) определится, как:

$$g_{i,\Delta t} = g_{\Sigma,\Delta t} \cdot \beta_i \cdot a_i(t_1') \text{, где} \qquad (5.26)$$

β_i – коэффициент растворимости i-го радионуклида выбирается в зависимости от $X_{пр}$ по табл. 5.5;

Образующиеся при делении по цепочкам радиоактивных превращений йод-131 и 133 практически полностью накапливается к 5 часам после деления. Это время существенно меньше периода их выведения из организма. Поэтому если $t_1' < 5$ *ч* в расчетах следует принимать $a_{131,133}$ на $t_1' = 5$ *ч* после взрыва.

5.4.2. Внутреннее облучение органов дыхания при ингаляционном поступлении смеси радиоактивных продуктов ядерных взрывов

Необходимо отметить, что физиологические свойства дыхательной системы человека создают значительные ограничения проникновению твердых аэрозолей в легкие, поступающих с вдыхаемым воздухом. В основной своей части аэрозоли задерживаются в носоглотке, трахее и бронхах. Наиболее крупные частицы, с размерами, достигающими 40—50 мкм задерживаются в носоглотке. Из общего количества аэрозолей, оседающих в носоглотке, до 80 % выводятся в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) с периодом полуочищения (Т) не превышающим 0,4 суток, а 20 % поступают в кровь с периодом полуочищения 0,01 суток.

Переходящие в растворы опасные в биологическом отношении радиоизотопы йода, цезия и стронция, входящие в класс веществ Б, практически мгновенно ($T \leq 14$ мин) выводятся в кровь в равных долях из носоглотки и ЖКТ.

Растворимые радионуклиды из частиц, осевших в трахее и бронхах, достаточно быстро ($T \leq 4{,}8$ ч) и в равных количествах также выводятся в кровь и ЖКТ.

Относительная кратковременность пребывания радиоактивных аэрозолей в носоглотке, трахее и бронхах делает не актуальным рассмотрение указанных отделов дыхательного тракта в качестве критических органов при внутреннем облучении.

Принципиально иные обстоятельства облучения складываются для легких. Периоды полуочищения от продуктов классов П и М составляют соответственно от 50 до 500 и более суток. Несмотря на то, что в легкие может поступать небольшая часть ингалируемых продуктов взрыва, оценка доз внутреннего облучения легких в определенных условиях можно рассматривать, как обоснованная.

Снижение активности фракций аэрозоля «молодых» продуктов ядерного взрыва, длительно находящихся в легких, будет, главным образом, определяться радиоактивным распадом. Оценки показывают, что к 100 суткам после взрыва радиоактивные продукты, содержащиеся в легких, распадутся на 80 %.

Для изложенных условий поглощенная доза в легких ($D_л$, мГр), может быть оценена по формуле:

$$D_л = \frac{5{,}75 \cdot 10^{-4} g_{\Sigma л} \cdot \overline{E}_{эф} t_1'}{0{,}2m}, \text{ где} \qquad (5.27)$$

$5{,}75 \cdot 10^{-4}$, мГр·г·с/МэВ·ч – коэффициент, учитывающий размерность входящих величин;

$g_{\Sigma л}$ – активность, поступающая в легкие и длительно удерживаемая там, Бк;

$\overline{E}_{эф}$ – средняя эффективная энергия бета-излучения, МэВ/Бк·с;

$t_1^{'} = t_o + 0{,}5\Delta t_x$ – принятое время поступления активности в дыхательную систему, ч;

m – масса легких, г. Ее зависимость от возраста и пола человека приведена в табл. ПБ 9 прилож. Б.

0,2 – безразмерный коэффициент интегрирования функции $t^{-1.2}$ по времени.

Вклад в суммарную эффективную дозу от внутреннего облучения легких ($E_л$, мЗв) по определению равен:

$$E_л = D_л \cdot W_R \cdot W_T \text{, где} \qquad (5.28)$$

$D_л$ – поглощенная доза в легких, определяемая по соотношению (5.27), мГр;

W_R – взвешивающий коэффициент для излучения. Для гамма- и бета-излучений $W_R = 1$;

W_T – взвешивающий коэффициент для ткани. Для легких $W_T = 0{,}12$.

Основную трудность представляет определение параметра $g_{\Sigma л}$. В настоящее время нет экспериментально проверенного метода, который позволил бы строго оценивать количество продуктов ядерного взрыва, поступающих в организм человека ингаляционным путем и задерживающихся в легких. Прямые измерения людей, оказавшихся на открытой местности без средств защиты органов дыхания под радиоактивным облаком ядерного взрыва подтверждают, что облучение легких за счет поступившей в них активности не имеет существенного значения на фоне неизбежного, в этом случае, и несравнимо большего внешнего облучения. Поэтому заведомо не опасаясь получить заниженные значения доз от внутреннего облучения легких, в оценках можно допустить, что $g_{\Sigma л} = 0{,}1\, g_{\Sigma \Delta t}$, где $g_{\Sigma \Delta t}$ – определяется по формуле (5.25).

Определенную сложность составляет и выбор средней эффективной энергии бета-излучения ($\overline{E}_{эф.}$). Руководствуясь общими соображениями, относительно изменения радионуклидного состава продуктов

ядерного деления со временем, в расчетах можно принять $\overline{E}_{эф.} = 0{,}7$ МэВ/Бк·с.

5.4.3. Внутреннее облучение ЖКТ при ингаляционном поступлении смеси радиоактивных продуктов ядерного взрыва

Основная часть твердых нерастворимых или слабо растворимых радиоактивных продуктов выводится через ЖКТ независимо от способа их попадания в организм (с воздухом или пищей). Нерастворимые и слабо растворимые вещества последовательно проходят через желудок (Ж), тонкий кишечник (ТК), верхний отдел толстого кишечника (ВТК) и нижний отдел толстого кишечника (НТК), после чего выводятся из организма.

Экспериментально установлено среднее время пребывания содержимого в различных отделах ЖКТ. Оно составляет в Ж – 1 час, в ТК – 4 часа, в ВТК – 13 часов и в НТК – 24 часа. При этом известно, что растворимые продукты не доходят до ВТК, т. к. полностью и относительно быстро всасываются из ТК в кровь.

Из анализа облучаемости ЖКТ следует, что радиационное воздействие продуктов ядерного взрыва реализуется во время их транзита через соответствующие отделы ЖКТ. При этом критическим отделом является НТК. Это связано с максимальным временем нахождения там радиоактивных веществ, а также с относительно небольшой массой содержимого данного отдела и накоплением в нем «постаревших», за время движения по отделам ЖКТ, радиоактивных продуктов.

Оценка поглощенных доз в отделах ЖКТ может быть осуществлена на основе использования ступенчатой расчетной модели в которой формализованы изложенные выше положения. Они предполагают следующие достаточно обоснованные ограничения:

- отделы ЖКТ облучаются преимущественно смесью нерастворимых или слабо растворимых радиоактивных продуктов;
- продолжительность нахождения радиоактивных продуктов в отделах ЖКТ определяется фиксированными моментами времени поступления ($t_{пос}$,ч) и удаления ($t_{уд}$,ч);
- биологическое выведение нерастворимых или слаборастворимых радиоактивных продуктов во время их нахождения в отделе ЖКТ пренебрежимо мало и снижение их активности в этот период определяется, главным образом, радиоактивным распадом;

• облучение стенок желудка и обоих отделов толстого кишечника, как имеющих сравнительно мало извилистую поверхность, происходит в геометрии 2π, а тонкого кишечника, соответственно, в 4π. Это значит, что доза на стенки желудка и толстого кишечника равна половине дозы, реализуемой в содержимом, а в случае ТК они соответствуют друг другу.

С учетом указанных условий формула для расчета поглощенной дозы в отделах ЖКТ ($D_{оЖКТ}$, мГр) может быть записана в следующем виде:

$$D_{оЖКТ} = \frac{5{,}75 \cdot 10^{-4} K_{\Theta} g^{*}_{\Sigma t_{пос}} \cdot \overline{E}_{эф} \cdot t^{1,2}_{пос}}{0{,}2 M_{оЖКТ}} \left(\frac{1}{t^{0,2}_{пос}} - \frac{1}{t^{0,2}_{уд}} \right), \quad \text{где} \qquad (5.29)$$

K_{Θ} – коэффициент учитывающий геометрию облучения отдела ЖКТ. Для Ж, ВТК и НТК геометрия облучения 2π, K_{Θ} = 0,5. Для ТК геометрия облучения 4π, K_{Θ} = 1.

$g^{*}_{\Sigma t_{пос}}$ – общая активность продуктов взрыва поступающая в отдел ЖКТ, Бк;

$M_{оЖКТ}$ – масса содержимого отдела ЖКТ, г;

$t_{пос} = t_1^{'} + \tau_{пос}$ – время поступления активности в отдел ЖКТ, ч;

$t_1^{'} = t_0 + 0{,}5\ \Delta t$ – условное время поступления активности в организм человека, ч;

$\tau_{пос}$ – интервал времени от момента ингаляции активности ($t_1^{'}$, ч) до ее поступления в отдел ЖКТ, ч;

$t_{уд} = t_{пос.} + \tau_{осв.}$ – время освобождения отдела ЖКТ от активности, ч;

$\tau_{осв.}$ – интервал времени, в течение которого активные продукты находятся в отделе ЖКТ, ч;

$\overline{E}_{эф}$ – средняя эффективная энергия бета-излучения смеси нерастворимых продуктов ядерного взрыва в данном отделе ЖКТ, МэВ/Бк·с.

Параметры $\overline{E}_{эф}$, $M_{оЖКТ}$, $\tau_{пос}$ и $\tau_{осв}$ приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Дозиметрические характеристики отделов желудочно-кишечного тракта условного человека

Отдел ЖКТ	$\overline{E}_{эф}$, МэВ/ Бк·с	$M_{оЖКТ}$, г	$\tau_{пос.}$, ч	$\tau_{осв.}$, ч
Желудок	0,78	250	0,25	1
Тонкий кишечник	1,12	400	1,25	4
Верхний отдел толстого кишечника	0,65	220	5,25	13
Нижний отдел толстого кишечника	0,65	135	18,25	24

Входящий в формулу (5.29) параметр $g^{*}_{\Sigma t'_{пос}}$, Бк, зависит от отдела ЖКТ, для которого рассчитывается поглощенная доза. Если это ВТК или НТК, то данный параметр определяется по формуле:

$$g^{*}_{\Sigma t'_{пос}} = g_{\Sigma,\Delta t}\left(\frac{t'_1}{t'_{пос}}\right)^{1,2}\left(1-\Sigma a_{i,t'_{пос}}\beta_i\right), \text{ где} \qquad (5.30)$$

$g^{*}_{\Sigma t'_{пос.}}$ – общая активность нерастворимых и слабо растворимых радиоактивных продуктов, поступающая в ВТК и НТК, Бк;

$t'_{пос.}$ – момент времени, соответствующий середине временного интервала нахождения активности в отделе ЖКТ, ч;

$t'_{пос.} = t_{пос.} + 0{,}5\ \tau_{осв.}$;

$g_{\Sigma,\Delta t}$ – общая активность продуктов взрыва, поступающая в организм через незащищенные органы дыхания, Бк, которая рассчитывается по формуле (5.25);

$\Sigma a_{i,t'_{пос.}}\beta_i$ – суммарная растворимая доля активности, определяемая радионуклидами в растворимых формах, которая может быть получена по данным табл. 5.6 и табл. ПБ 1 прилож. Б, для момента времени $t'_{пос.}$.

В общем случае суммарная доля растворимых продуктов $\Sigma a_{i,t'_{пос}}\beta_i$ складывается из долевых вкладов активности веществ, относящихся по

транспортабельности в организме к классу Б. В числе осколков ядерного деления к этому классу веществ относятся изотопы йода, цезия и стронция.

Однако для обычных продуктов атмосферных ядерных взрывов существенный долевой вклад в общую активность вносят только радиоизотопы йода с массовыми числами 131, 133 и 135. Поэтому для этих радиоизотопов и следует рассчитывать $\Sigma a_{i,t'_{пос}} \beta_i$.

При оценках поглощенных доз в Ж и ТК, в которых присутствуют все радиоактивные продукты (растворимые и нерастворимые), $g^{*}_{\Sigma t'_{пос}}$, определяется, как

$$g^{*}_{\Sigma t'_{пос}} = g_{\Sigma,\Delta t}\left(\frac{t'_1}{t'_{пос}}\right)^{1,2} \qquad (5.30.1)$$

По аналогии с (5.28) вклад в суммарную эффективную дозу облучения отдела ЖКТ определится, как

$$E_{оЖКТ} = D_{оЖКТ} \cdot W_R \cdot W_T \qquad (5.31)$$

Для критических отделов ЖКТ, W_T=0,12

5.4.4. Внутреннее облучение щитовидной железы при ингаляционном поступлении радиоизотопов йода

Согласно национальным и международным рекомендациям поглощенная доза в органе ($D_{iT\tau}$, мГр) равна:

$$D_{iT\tau} = \frac{g_{iT\tau} d_{iэ}}{W_R \cdot W_T}, \text{ где} \qquad (5.32)$$

$g_{iT\tau}$ – общее поступление активности радионуклида в организм за время τ, Бк;

$d_{iэ}$ – дозовый коэффициент, мЗв/Бк, определяемый по данным табл. ПБ 10 прилож. Б;

W_R – взвешивающий коэффициент для излучения. Для гамма- и бета-излучений W_R = 1;

W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани, определяемый по табл. ПБ 11 прилож. Б.

Соответственно вклад в эффективную дозу ($E_{внT\tau}$, мЗв) определяется, по формуле:

$$E_{внТ\tau} = g_{iT\tau} \cdot d_{iэ} \qquad (5.33)$$

Поглощенная доза в щитовидной железе за счет бета-излучения инкорпорированных в ней радиоизотопов йода, поступивших в организм ингаляционно в период формирования радиоактивного следа ($D_{\substack{щж,и\Sigma I \\ \Delta t}}$, мГр), может быть оценена по формуле (5.32), в которую необходимо подставить соответствующие значения $g_{iT_в}$, определяемые в случае ингаляционного поступления по соотношению (5.26), а также $d_{iэ}$, выбираемые из данных табл. ПБ 10 прилож. Б, в зависимости от возраста человека.

Оценка вкладов отдельных радиоизотопов йода в суммарную дозу внутреннего облучения щитовидной железы показала, что при ингаляционном поступлении радиоактивных продуктов ядерного взрыва ее величина определяется четырьмя изотопами йода с массовыми числами 131, 132,133 и 135. При этом йод-132 образуется в организме из ингалированного теллура-132.

С учетом изложенного имеем:

$$D_{\substack{щж,и\Sigma I \\ \Delta t}} = \frac{g_{131\Delta t} \cdot d_{131э} + g_{Te132\Delta t} \cdot d_{Te132э} + g_{133\Delta t} \cdot d_{133э} + g_{135\Delta t} \cdot d_{135э}}{W_T} \qquad (5.34)$$

Для щитовидной железы W_T =0,05.

В этом случае вклад в эффективную дозу от внутреннего облучения щитовидной железы инкорпорированными в органе радиоизотопами йода ($E_{\substack{щж,и\Sigma I \\ \Delta t}}$, мЗв), определится по соотношению:

$$E_{\substack{щж,и\Sigma I \\ \Delta t}} = g_{131\Delta t} \cdot d_{131э} + g_{Te132\Delta t} \cdot d_{Te132э} + g_{133\Delta t} \cdot d_{133э} + g_{135\Delta t} \cdot d_{135э} \qquad (5.35)$$

5.5. Поверхностное радиоактивное загрязнение травянистой растительности, лиственных фуражных и овощных культур, злаков и зернокрупяной продукции

5.5.1. Радиоактивное загрязнение травянистой растительности

Суммарное поверхностное радиоактивное загрязнение травянистой растительности – $Q_{тр\Sigma}(t)$, Бк/кг, в зонах локальных выпадений ядерных взрывов определяется, как

$$Q_{тр\Sigma}(t) = K_{тр\Sigma} \cdot P_{24} \cdot \frac{24^n}{t^n} \cdot \eta_{d \le 50} \qquad (5.36)$$

Коэффициент $K_{тр\Sigma}$ (Бк/кг)/(мР/ч) зависит от вида и плотности растительного покрова. Его экспериментальные значения соответствуют:

- для зеленого степного разнотравья, травы естественных пастбищ – $K_{тр\Sigma} = 2{,}2 \cdot 10^6$;
- для сеяных трав, клевера, лиственных овощей в фазе зеленой зрелости – $K_{тр\Sigma} = 1{,}2 \cdot 10^6$;
- для сухой травы, сена (загрязненного до покоса), созревших злаковых культур (ржи, пшеницы) – $K_{тр\Sigma} = 4{,}5 \cdot 10^6$.
- Загрязнение растительности отдельными радионуклидами может оцениваться по соотношению:

$$Q_{трi}(t) = Q_{тр\Sigma}(t) \cdot a_i(t) \qquad (5.37)$$

В ряде случаев оказывается удобным использовать радиоактивную загрязненность степного разнотравья отдельными радионуклидами, приведенную на 24 часа после взрыва ($Q_{трi,24}$) и выраженную через общую поверхностную загрязненность грунта ($\sigma_{гр\Sigma,24}$, Бк/м^2). Для этих условий уравнение (5.37) примет вид:

$$Q_{трi,24} = 0{,}6 \cdot \sigma_{гр\Sigma,24} \cdot \eta_{d\le 50} \cdot a_{i,24} \qquad (5.37.1)$$

5.5.2. Радиоактивное загрязнение зернокрупяной продукции

Экспериментально установлено, что если злаковые или крупяные культуры загрязняются радиоактивными выпадениями ядерного взрыва на корню, то после их машинного обмолачивания или комбайновой уборки остаточная загрязненность зерна, в среднем, составляет:

$$Q_{зер\Sigma} \cong 0{,}22 \cdot Q_{тр\Sigma} \qquad (5.38)$$

После введения соответствующих значений общее выражение для оценки загрязнения зерна отдельными радионуклидами определится, как

$$Q_{зерi}(t) = 1 \cdot 10^6 \cdot P_{24} \cdot \frac{24^n}{t^n} \cdot \eta_{d\le 50} \cdot a_i(t), \text{ Бк/кг} \qquad (5.39)$$

Выражение (5.39) применимо для оценки радиоактивного загрязнения отдельными радионуклидами зерна пшеницы, ржи, ячменя, риса и других подобных злаковых культур.

В процессе переработки зерна в муку происходит дальнейшее снижение удельной активности продукта. Чем выше сорт муки, тем выше степень ее очистки. В общем случае загрязненность муки і-м радионуклидом – $Q_{мук,i}(t)$, Бк/кг, равна:

$$Q_{мукі}(t) = K_{оч} \cdot Q_{зерi}(t), \text{ где} \qquad (5.39.1)$$

$K_{оч.}$ – коэффициент очистки муки от радиоактивных продуктов. В зависимости от технологии переработки зерна в муку, сортности муки $K_{оч.}$ меняется от 1 до 0,1. Для простого помола зерна $K_{оч.} = 1$. Для муки высшего сорта $K_{оч.} = 0{,}1$.

5.6. Радиоактивное загрязнение продукции животноводства

Продукты животноводства, главным образом свежее молоко и, в определенной степени, мясо, когда они входят в рацион питания, являются основными поставщиками в организм людей биологически активных радионуклидов. В этих продуктах радионуклиды находятся в биохимически связанных формах, что способствует устойчивости их радиоактивного загрязнения.

Реально могут рассматриваться три основных режима содержания домашнего скота: пастбищное, стойловое и смешанное. Каждый из этих режимов содержания животных своеобразно формирует процессы радиоактивного загрязнения молока и мяса. В связи с этим, методология оценки радиоактивности молока при каждом из указанных режимов кормления животных подлежит отдельному рассмотрению.

Если животные сначала содержались на пастбище, а затем были переведены на стойловое кормление или наоборот, то для оценки радиоактивного загрязнения молока при смешанном режиме кормления животных, для каждого, этапа используются соответствующие методические приемы.

Экспериментально установлено, что уровень радиоактивного загрязнения молока одновременно является достаточно надежным критерием количественной оценки возможного радиоактивного загрязнения мяса.

5.6.1. Радиоактивное загрязнение молока при пастбищном содержании коров

Для данного характера содержания скота объемная активность свеженадоенного молока ($A_i(t)$, Бк/л), обусловленная i-м радионуклидом, может быть на любой момент времени $t \geq t_{A_{i\max}}$ рассчитана по соотношению:

$$A_i(t) = A_{i\max} \cdot \exp\left[\left(\lambda_i + \lambda_n\right) \cdot \left(t_{A_{i\max}} - t\right)\right], \text{ где} \qquad (5.40)$$

$A_{i\max}$ – максимальная объемная активность молока за счет i-го нуклида, соответствующая моменту времени $t_{A_{i\max}}$, Бк/л;

λ_i – постоянная скорости распада i-го радионуклида;

λ_n – постоянная биологического очищения пастбищного корма, которая определяется, главным образом, приростом новой травы и предпочтительным ее поеданием животными;

$t_{A_{i\max}}$ – время после взрыва, к которому в молоке накапливается максимальное содержание радионуклида.

λ_n зависит от типа травянистой растительности и ее вегетативного состояния. Экспериментальные значения λ_n для степного разнотравья в отдельные вегетационные периоды, полученные при ядерных испытаниях, приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

λ_n для отдельных вегетационных периодов степного разнотравья

Вегетационный период	λ_n	
	$ч^{-1}$	$сут^{-1}$
Весна	$3{,}6\cdot10^{-3}$	$8{,}7\cdot10^{-2}$
Раннее лето	$2{,}2\cdot10^{-3}$	$5{,}3\cdot10^{-2}$
Лето	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$2{,}8\cdot10^{-2}$
Дождливый период после длительной засухи	$2{,}4\cdot10^{-3}$	$5{,}8\cdot10^{-2}$

Размерность λ_i и λ_n ($ч^{-1}$ или $сут^{-1}$) выбирается в соответствии с размерностью временных характеристик $t_{A_{i\max}}$ и t.

$t_{A_{i\max}}$ численно равно $t_{ост} + \tau_{A_{i\max}}$. Здесь $\tau_{A_{i\max}}$ – интервал времени от окончания формирования радиоактивного следа в пределах пастбища до максимального накопления радионуклида в молоке. Некоторые значения этой характеристики, установленные при анализе молока от стада коров, содержавшегося на радиоактивном следе, представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Экспериментальные значения параметра $\tau_{A_i \max}$

i-й радионуклид,	Параметр $\tau_{A_i \max}$, ч
Йод-131	81
Йод-132 – образующийся из поступающего теллура-132	44
Йод-133	34
Стронций-89	90

Наблюдаемые процессы кинетики накопления активности в молоке позволяют полагать, что для радионуклидов, имеющих периоды полураспада большие, чем у указанных в табл. 5.5, правомерно принимать $\tau_{A_i \max}$, как для стронция-89. Значение $t_{ост.}$ при определении $t_{A_i \max}$ оценивается согласно (5.4).

Максимальное содержание в молоке i-го радионуклида (A_{imax}, Бк/л), рассчитывается по формуле:

$$A_{i\max} = K_{gi} \frac{Q_{mpi,24} \zeta \beta_i}{G} \exp\left[\left(\lambda_i + \lambda_n\right) \cdot \left(24 - t_{A_i \max}\right)\right], \text{ где} \qquad (5.41)$$

K_{gi} – выводимая с молоком доля *i*-го радионуклида от поступившего в организм коровы при условии его 100 % растворимости. Литературные значения K_{gi}, а также полученные в собственных исследованиях, приведены в табл. ПБ 2 прилож. Б;

$Q_{mpi,24}$ – удельная активность корма (пастбищной травы), обусловленная i-м радионуклидом на 24 часа после взрыва, определяемая по соотношению (5.37.1);

ζ – среднесуточное потребление травы животным. Если не известен фактический рацион коров, то используют его среднее значение – 50 кг;

G – средний суточный удой молока на корову, который для условий Семипалатинской области составляет 8—10л;

β_i – коэффициент растворимости радионуклида.

Коэффициент β_i изменяется с удалением от места взрыва и в общем случае растет с уменьшением размеров частиц. В табл. 5.6 приводятся рекомендуемые значения β_i для биологически активных радионуклидов, содержащихся в биологически значимой фракции выпадений, загрязня-

ющей траву, полученные на основе натурных экспериментальных данных ядерных испытаний.

Таблица 5.6

Значения коэффициентов перехода активных радионуклидов из биологически значимых фракций выпадений наземных ядерных взрывов в жидкие среды, в зависимости от приведенного расстояния

$X_{пр}$	от 0,1	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	3	более 3
β_i	0,18	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85

При оценках радиоактивного загрязнения молока в период накопления в нем радионуклида (интервал времени от $t_{ост}$ до $t_{A_{i\max}}$) допустимо использование среднего значения объемной активности:

$$\overline{A}_{t_{ост}\ldots t_{A_{i\max}}} = 0{,}5A_{i\max} \qquad (5.42)$$

5.6.2. Радиоактивное загрязнение молока при стойловом содержании коров

В этом случае объемная активность молока определяется по тем же формулам, что и для пастбищного содержания животных с введением в них необходимой уточняющей информации. Так, в частности, в формулах опускается параметр λ_n, т. к. в данных условиях $\lambda_n = 0$; учитывается особенность загрязнения сена, для которого $K_{mp\Sigma} = 4{,}5 \cdot 10^6$ (Бк/кг)/(мР/ч) и, наконец, вводится временная характеристика t_k, ч, – время начала кормления животных сеном, загрязненным на корню.

С учетом указанных особенностей максимальная загрязненность молока i-м радионуклидом при стойловом содержании коров - $A_{i\max}$, Бк/л, определяется, как

$$A_{i\max} = K_{gi}\frac{Q_{ci,t_{ост}}\zeta\beta_i}{G}\exp\lambda_i\cdot\left[\left(t_{ост} - t_k - \tau_{A_{i\max}}\right)\right], \text{ где} \qquad (5.43)$$

$\tau_{A_{i\max}}$ – интервал времени от начала кормления животных загрязненным сеном (t_k, ч) до момента максимального накопления радионуклида в молоке ($t_{A_{i\max}}$, ч);

$Q_{ci,t_{ост}}$ – удельная активность сена, Бк/кг, за счет i-го радионуклида на момент времени $t_{ост}$, которая рассчитывается по формуле:

$$Q_{ci,t_{ост}} = 4{,}5 \cdot 10^6 \cdot P_{24} \frac{24^n}{t_{ост}^n} \cdot \eta_{d \le 50} \cdot a_{i,t_{ост}}, \text{ где} \qquad (5.44)$$

$a_{i,t_{ост}}$ определяется по табл. ПБ 1 прилож. Б для момента времени $t_{ост}$.

В формулах (5.43) и (5.44) $t_{ост}$ приводится в часах.

Смысл остальных параметров, входящих в уравнение (5.43) и (5.44), а также порядок их определения, указаны выше.

Для времени $t \ge t_{A_{i\max}} = t_k + \tau_{A_{i\max}}$ объемная активность молока определяется, как

$$A_i(t) = A_{i\max} \cdot \exp\left(-\lambda_i \cdot t\right) \qquad (5.45)$$

Соответственно, для периода накопления активности в молоке ($t < t_{A_{i\max}}$) она может оцениваться, как и при пастбищном содержании коров, средним значением в интервале времени от $t_к$ до $t_{A_{i\max}}$, т. е. аналогично (5.42).

5.6.3. Радиоактивное загрязнение мяса

Согласно собственным экспериментальным наблюдениям и материалам зарубежных публикаций [50, 51], после наступления динамического равновесия между активностью поступающей с кормом и ее содержанием в молоке и мягких тканях животного, активность мяса (Бк/кг) пропорциональна объемной активности молока (Бк/л). На этом основании удельная активность говяжьего мяса на любой момент времени $t \ge t_з$ может быть оценена по соотношению:

$$M_i(t) \cong K_{iмяс/мол.} \cdot A_{i,t_з} \cdot \exp\left[\lambda_i\left(t_з - t\right)\right], \text{ где} \qquad (5.46)$$

$K_{iмяс/мол}$ – размерный коэффициент пропорциональности, л/кг, выбирается из табл. 5.7;

$t_з$ – момент забоя животного;

$A_{i,t_з}$ – объемная активность молока на момент забоя животного, определяемая по одной из приведенных выше формул.

Таблица 5.7

Коэффициенты пропорциональности между удельной активностью говяжьего мяса и объемной активностью коровьего молока

Нуклид, i	$K_{i мяс/мол}$, л/кг
йод-131	0,33
стронций-90	0,15
цезий-137	3,3

5.7. Внутреннее облучение при пероральном поступлении

Многочисленные отечественные и зарубежные исследования структуры формирования внутреннего облучения людей, проживающих на радиоактивно-загрязненных территориях, однозначно подтверждают, что основная доза создается за счет активности, поступающей пищевым путем. Вклад его в суммарную дозу от внутреннего облучения может достигать 90 %, а для детских контингентов даже 95 %.

В виду того, что большинство радионуклидов, образующихся при ядерном взрыве, биологически неактивные вещества попадая в организм, они не задерживаются в нем и относительно быстро выводятся естественным путем. Их радиационное воздействие носит кратковременный характер, главным образом, на отделы ЖКТ и, в какой-то степени, на органы мочевыделяющей системы.

Другая существенно меньшая, по общей активности, часть радионуклидов биохимически подобных элементам, участвующим в обменных процессах организма с внешней средой, избирательно накапливается в отдельных критических органах и длительно их облучают. Главными среди этой группы продуктов деления, по поглощенной дозе в критических органах, следует считать радиоизотопы йода, цезия и стронция.

Именно молоко, в силу своего физиологического предназначения, является главным поставщиком в организм человека данной группы радионуклидов. Однако фактическое содержание радиоизотопов указанных нуклидов в локальных выпадениях ядерных взрывов, а также реальная степень их биологической доступности приводят к тому, что в формировании доз внутреннего облучения значимыми оказываются только радиоизотопы йода.

Характерно, что для условий радиоактивного следа ядерного взрыва только молоко и мясо непосредственно включают в себя биологиче-

ски важные радионуклиды – осколки деления, в то время как остальные продукты питания загрязняются поверхностно и всей смесью радиоактивных веществ, образующихся при взрыве.

Оценка общей активности смеси продуктов взрыва, которая может перорально поступить в организм людей в нормальных условиях их жизни, всегда остается проблематичной. Следует иметь в виду, что общепринятое хранение продуктов питания в закрытых объемах, а также их мытье перед кулинарным использованием или очистка (картофеля, корнеплодов и т. п.), превращают многие поверхностно загрязненные продукты питания в практически чистые.

В большей степени вероятными объектами, с которыми смесь радиоактивных продуктов ядерного взрыва может попадать в организм пищевым путем, являются хлебопродукты и крупы, полученные из зерна, загрязненного на корню, а также, частично, лиственные овощи.

5.7.1. Оценка внутреннего поступления радионуклидов при употреблении молока от коров, выпасаемых на радиоактивном следе ядерного взрыва

Особая радиационная значимость потребления молока от коров, содержащихся на загрязненных пастбищах, состоит в том, что посредством этого продукта может вноситься в организм человека основное количество радиоактивных веществ и облучаться большие контингенты населения, проживающего в зоне локальных выпадений ядерного взрыва. Это определяется следующими обстоятельствами:

- во-первых, при данном способе содержания коров радиоактивные вещества поступают в молоко в результате поедания животными загрязненной травы с больших площадей;
- во-вторых, пастбищное содержание коров в нашей стране характерно для крупных молокопроизводящих хозяйств, из которых обычно снабжается молоком основная часть населения региона.

По изменению активности радионуклидов, содержащихся в молоке, при оценках внутренних поступлений, удобно рассматривать два периода.

Первый период характеризуется процессом накопления активности в молоке. Он начинается с момента загрязнения пастбища ($t_{ост}$) и заканчивается временем, при котором в молоке достигается максимальное содержание i-го радионуклида ($t_{A_{i\max}}$).

В последующем при $t > t_{A_i \max}$ протекает второй период, характеризующийся экспоненциальным снижением активности радионуклида и отражающий процессы радиоактивного распада и самоочищения пастбища.

В связи с относительной кратковременностью первого периода оценка максимального поступления i-го радионуклида в этот период времени ($g_{i,молI}$, Бк) может проводиться по средней объемной активности молока в интервале времени от $t_{ост.}$ до $t_{A_i \max}$, т. е. $\overline{A}_i = 0{,}5A_{i\max}$, Бк/л.

Если начало потребления загрязненного молока соответствует $t_{ост}$ и непрерывно продолжается до $t_{A_i \max}$, то поступление радионуклида ($g_{i,мол}$ $_{(t_{ост.}..t_{A_i \max})}$, Бк) составит:

$$g_{i,мол.}\ _{(t_{ост.}..t_{A_i \max})} = 0{,}5A_{i\max} \cdot \tau_{A_i \max} \cdot v_{мол.}, \text{ где} \qquad (5.47)$$

$A_{i\max}$ – максимальная удельная активность молока обусловленная i-м радионуклидом, Бк/л, определяется по формуле (5.41);

$\tau_{A_{i\ max}}$ – интервал времени от окончания формирования радиоактивного следа в пределах пастбища ($t_{ост.}$) до максимального накопления радионуклидов в молоке ($t_{A_i \max}$) выбирается по табл.5.5 с учетом рекомендаций раздела 5.6.1, сут;

$v_{мол.}$ – суточный объем молока в рационе питания, л/сут.

Для определения $g_{i,молII}$ – возможного поступления i-го радионуклида во втором периоде изменения удельной активности молока (от $t_n \geq t_{A_i \max}$ до $t - t_n = \tau_{n\,A_i \max}$) воспользуемся функцией изменения во времени активности суточных поступлений – $b_i(t)$, Бк/сут, которая имеет вид:

$$b_i(t) = b_{i,t_n} \exp\left[-\left(\lambda_i + \lambda_n\right)t\right], \text{ где} \qquad (5.48)$$

$b_{i,t_n} = A_{i,t_n} \cdot v_{мол.}$ – первое поступление, Бк/сут;

A_{i,t_n} – объемная активность i-го радионуклида в молоке при первом поступлении, Бк/л. Определяется по формуле (5.40) для момента времени ($t_n \geq t_{A_i \max}$).

После интегрирования функции (5.48) в пределах от начала потребления – $t_n = 0$ до $t - t_n = \tau_n$ и подстановки параметров первого поступления получаем формулу для определения $g_{i,мол.\ (t_{A_i \max} \ldots t)}$, Бк:

$$g_{i,мол.\ (t_{A_i \max} \ldots t)} = A_{i,t_n} \cdot V_{мол.} \frac{1 - \exp\left[-\left(\lambda_i + \lambda_n\right)\tau_n\right]}{\lambda_i + \lambda_n}, \text{ где} \qquad (5.49)$$

τ_n – продолжительность потребления загрязненного молока, сут;

λ_i – постоянная скорости распада i-го радионуклида, сут.$^{-1}$;

λ_n – постоянная скорости очищения пастбища за счет прироста свежей травы, сут$^{-1}$. Выбирается согласно рекомендациям раздела 5.6.1 и данных табл. 5.4.

Если потребление молока продолжалось до полного распада активности, что эквивалентно $\tau_n = \infty$, то формула (5.49) принимает вид:

$$g_{i,мол.\ (t_{A_i \max} \ldots t=\infty)} = \frac{A_{i,t_n} \cdot V_{мол.}}{\lambda_i + \lambda_n} \qquad (5.50)$$

В тех случаях, когда никаких ограничений на потребление местного молока не вводится, общее поступление активности *i*-го радионуклида, может составить:

$$g_{i,мол.\ (t_{ост} \ldots t > t_{A_i \max})} = g_{i,мол.\ (t_{ост} \ldots t_{A_i \max})} + g_{i,мол.\ (t_{A_i \max} \ldots t)} \qquad (5.51)$$

- при потреблении молока от $t_{ост}$ до $t > t_{A_i \max}$;

$$g_{i,мол.\ (t_{ост} \ldots t=\infty)} = g_{i,мол.\ (t_{ост} \ldots t_{A_i \max})} + g_{i,мол.\ (t_{A_i \max} \ldots t=\infty)} \qquad (5.51.1)$$

- если сроки потребления молока не ограничивались, т. е. $t = \infty$.

5.7.2. Оценка внутреннего поступления радионуклидов при употреблении молока от коров при стойловом и смешанном содержании животных

При стойловом содержании коров животные могут кормиться сеном, полученным из травы, загрязненной выпадениями до ее покоса. Состав радионуклидов, которые при этом переходят из сена в молоко определяется интервалом времени, прошедшим от загрязнения травы – $t_{ост}$ до начала кормления животных сеном – $t_к$.

Для тех радионуклидов, которые к началу кормления животных сеном – $t_к$, еще не распались, будет наблюдаться обычная кинетика изменения активности молока во времени, характеризуемая двумя периодами. Особенность состоит в том, что снижение активности во втором периоде, в случае стойлового содержания животных, идет существенно медленнее, чем при выпасе животных, т. к. уменьшение активности в сене определяется только радиоактивным распадом.

Оценку поступлений радионуклидов в организм людей, употребляющих загрязненное молоко от коров стойлового содержания, можно проводить по тем же зависимостям, что и в случае пастбищного содержания животных, с учетом различия процессов изменения радиоактивного загрязнения сена и пастбищной травы.

В частности, определение внутреннего поступления радионуклидов в период накопления активности в молоке ($g_{i,мол.}$ $_{t_к \dots A_{i\max}}$, Бк) проводится по формуле (5.47). Максимальное содержание нуклидной активности в молоке ($A_{i\max}$, Бк/л) рассчитывается согласно (5.43).

Вероятные поступления во втором периоде изменения активности молока ($g_{i,мол}$ $_{A_{i\max} \dots t}$, Бк), определяются по формулам (5.49) или (5.50), в которых опускается λ_n, а A_{i,t_n} рассчитывается по соотношению (5.45).

По результатам выполненных расчетов проводится оценка величин общих поступлений i-го радионуклида $g_{i,мол.}$ $_{(t_к \dots t > A_{i\max})}$ или $g_{i,мол.}$ $_{(t_к \dots t=\infty)}$ подобно выражениям (5.51) и (5.51.1).

Возможны ситуации, в которых молочный скот будет содержаться комбинированно: частично пастбищно и частично стойлово. При этом последовательность условий содержания и их продолжительность могут быть любыми. Так, в частном случае, когда ядерный взрыв осуществля-

ется во второй половине лета или осенью, не исключено, что в начале скот будет свободно пастись, а с наступлением холодов он будет переведен на стойловое содержание. Естественно, что каждый раз будет проявляться своеобразие условий, конкретные исходные данные, действующие радиационные факторы и порядок их учета.

Однако в любом случае на основе приведенных выше расчетных соотношений, данных и рекомендаций, в соответствии с конкретными обстоятельствами, может быть обоснована рабочая схема количественной оценки возможного внутреннего поступления радионуклидов от употребления загрязненного молока при конкретной структуре смешанного содержания животных.

5.7.3. Оценка внутреннего поступления радионуклидов при употреблении загрязненного мяса

Мясо травоядных животных, как и молоко, накапливает в себе биологически активные радионуклиды и поэтому может вносить определенный вклад во внутреннее облучение людей.

В связи с тем, что забой животных происходит в различные сроки после радиоактивного загрязнения выпасов, а само мясо может длительно храниться, прежде чем окажется в рационе людей, короткоживущие радионуклиды (главным образом, йода) в значительной степени, или полностью, могут распасться. Поэтому в проводимых оценках следует учитывать время забоя животных – $t_з$ и начала потребления мяса – $t_п$.

По аналогии с решением (5.49), общее поступление активности i-го радионуклида ($g_{i,м}$, Бк) за время потребления загрязненного мяса ($t - t_п = \tau_п$, сут) определится из выражения:

$$g_{\substack{i,м \\ (t_п \ldots t)}} = b_{i,t_п,м} \frac{1 - \exp(\lambda_i \tau_п)}{\lambda_i}, \text{ где} \qquad (5.52)$$

$b_{i,t_п,м} = M_{i,t_п} G_м$ – активность i-го радионуклида при первом потреблении загрязненного мяса, Бк/сут;

$M_{i,t_п}$ – удельная активность мяса по i-му радионуклиду при первом потреблении ($t_п$, сут), Бк/кг. Определяется по формуле (5.46) на $t = t_п$;

$G_м$ – количество мяса в суточном рационе, кг/сут.

После подстановки в (5.52) выражения $M_{i,t_п}$ согласно (5.46) получаем расчетную формулу для оценки общего поступления активности i-

го радионуклида за весь период потребления загрязненного мяса ($g_{i,м\ (t_n \dots t)}$, Бк):

$$g_{i,м\ (t_n \dots t)} = \frac{K_{iмяс/мол.} \cdot A_{i,t_з} G_м \exp\left[\lambda_i \cdot (t_з - t_n)\right]}{\lambda_i}\left[1 - \exp\left(-\lambda_i \tau_n\right)\right], \text{ где} \qquad (5.53)$$

$K_{iмяс/мол.}$ – коэффициент пропорциональности между удельной активностью мяса и объемной активностью молока определяется по табл. 5.7;

$A_{i,t_з}$ – удельная активность молока по i-му радионуклиду на время забоя животного – $t_з$. Определяется по формуле (5.45) для $t = t_з$;

$t_з$ – время забоя животного, сут;

t_n – время начала потребления загрязненного мяса, сут;

τ_n – продолжительность потребления мяса, сут;

λ_i – постоянная скорости распада i-го радионуклида, сут$^{-1}$.

5.7.4. Внутреннее облучение щитовидной железы радиоизотопами йода, поступающими в организм с загрязненными молоком или мясом

Зависимость, предназначенная для оценки поглощенной дозы в щитовидной железе в результате потребления молока от коров, содержащихся на пастбищах, загрязненных радиоактивными выпадениями ($D_{щж,мол.П,\Sigma I\ (t_{ост} \dots t > t_{A_i \max})}$, мГр), может быть получена, подобно (5.34), из формулы (5.32), после подстановки в нее значений $g_{i\tau}$ и $d_{iэ}$.

Принимая во внимание, что в молоко в значительных количествах могут поступать только йод-131 и 133 требуемая зависимость примет вид:

$$D_{щж,молП,\Sigma I\ (t_{ост} \dots t > t_{A_i \max})} = \frac{\left(g_{131молП\ (t_{ост} \dots t_{A_i \max})} + g_{131молП\ (t_{A_i \max} \dots t)}\right) d_{131Э} + \left(g_{133молП\ (t_{ост} \dots t_{A_i \max})} + g_{133молП\ (t_{A_i \max} \dots t)}\right) d_{133Э}}{W_T} \qquad (5.54)$$

Для щитовидной железы $W_T = 0{,}05$.

В данном случае вклад в эффективную дозу от внутреннего облучения щитовидной железы ($E_{щж,молП,\Sigma I\ (t_{ост} \dots t > t_{A_i \max})}$, мЗв) определяется, как

$$E_{\substack{ЩЖ,молП,\sum I \\ (t_{0\,от}\ldots t>t_{A_i\max})}} = \left(g_{\substack{131молП \\ (t_{0\,от}\ldots t_{A_i\max})}} + g_{\substack{131молП \\ (t_{A_i\max}\ldots t)}}\right)d_{131Э} + \left(g_{\substack{133молП \\ (t_{0\,от}\ldots t_{A_i\max})}} + g_{\substack{133молП \\ (t_{A_i\max}\ldots t)}}\right)d_{133Э} \quad (5.55)$$

По аналогии с выражениями (5.54) и (5.55) могут быть записаны расчетные соотношения для определения $D_{ЩЖ,молС,i}$, мГр и $E_{ЩЖ,молС,i}$, мЗв, в условиях стойлового содержания коров. В этом случае расчеты проводятся для поступлений с молоком йода-131 от начала кормления животных загрязненным сеном – $t_к$ по тем же формулам (5.47) и (5.49), но с учетом рекомендаций раздела 5.7.2.

$$D_{\substack{ЩЖ,молС,131 \\ (t_к\ldots t>t_{A_i\max})}} = \frac{\left(g_{\substack{131молС \\ (t_к\ldots t_{A_i\max})}} + g_{\substack{131молС \\ (t_{A_i\max}\ldots t>t_{A_i\max})}}\right)d_{131Э}}{W_T} \quad (5.56)$$

и, соответственно,

$$E_{\substack{ЩЖ,молС,131 \\ (t_к\ldots t>t_{A_i\max})}} = \left(g_{\substack{131молС \\ (t_к\ldots t_{A_i\max})}} + g_{\substack{131молС \\ (t_{A_i\max}\ldots t>t_{A_i\max})}}\right)d_{131Э} \quad (5.57)$$

Для оценки поглощенных и эффективных доз от внутреннего облучения щитовидной железы в результате употребления в пищу мяса, загрязненного любыми радионуклидами ($D_{\substack{ЩЖ,Mi \\ (t_n\ldots t)}}$, мГр и $E_{\substack{ЩЖ,Mi \\ (t_n\ldots t)}}$, мЗв), в формулы (5.48) и (5.49) необходимо ввести соответствующее значение поступления ($g_{\substack{iM \\ (t_n\ldots t)}}$, Бк), определяемое по (5.47). При этом расчеты будут более оправданными для йода-131 вероятность присутствия которого в мясе несравнимо выше по сравнению с остальными изотопами йода.

Тогда:

$$D_{\substack{ЩЖ,M,131 \\ (t_n\ldots t)}} = \frac{g_{\substack{131M \\ (t_n\ldots t)}} \cdot d_{131Э}}{W_T} \quad (5.58)$$

и

$$E_{\substack{ЩЖ,M,131 \\ (t_n\ldots t)}} = g_{\substack{131M \\ (t_n\ldots t)}} \cdot d_{131Э}, \text{ где} \quad (5.59)$$

t_n – время начала потребления загрязненного мяса, сут.

5.7.5. Оценка внутренних поступлений радионуклидов при потреблении продуктов, поверхностно загрязненных выпадениями ядерного взрыва

В частном случае поверхностному радиоактивному загрязнению могут подвергаться любые продукты питания, оказавшиеся открытыми в период формирования радиоактивного следа. Однако их радиационное воздействие на людей следует рассматривать как эпизодическое.

Длительное поступление активности в организм может происходить, главным образом, при потреблении круп, муки, мучных изделий и хлебопродуктов, в основе производства которых использовалось зерно, загрязненное на корню, и, в какой-то степени, лиственных овощей.

На возможные пероральные поступления существенно влияет продолжительность времени от загрязнения сельскохозяйственных культур ($t_{ост}$) до потребления произведенной из них продукции (t_n). Кроме того, в течение интервала времени, в пределах которого сельскохозяйственная продукция проходит от поля до потребления в пищу, она существенно очищается как в результате радиоактивного распада нуклидов, так и под действием технологических процессов переработки.

В общем случае активность смеси выпадений, поступающая в организм с загрязненным продуктом ($g_{\substack{\sum np \\ t_n \dots t}}$, Бк) в течение времени от t_n до t, определяется выражением:

$$g_{\substack{\sum np \\ t_n \dots t}} = 5Q_{\sum npt_n} \cdot G_{np} t_n^{1,2} \left(\frac{1}{t_n^{0,2}} - \frac{1}{t^{0,2}} \right), \text{ где} \qquad (5.60)$$

$Q_{\sum npt_n}$ – общая удельная активность продукта в начале потребления, Бк/кг;

G_{np} – количество продукта в суточном рационе, кг/сут.

Если возникает необходимость определения общей активности отдельных радионуклидов, поступающих в организм с загрязненным продуктом ($g_{\substack{inp \\ t_n \dots t}}$, Бк), то она оценивается по формуле:

$$g_{\substack{inp \\ t_n \dots t}} = Q_{inpt_n} \cdot G_{np} \frac{\exp(-\lambda_i t_n)}{\lambda_i} \left[1 - \exp\left(-\lambda_i \tau_n\right) \right], \text{ где} \qquad (5.61)$$

$Q_{inpt_n} = Q_{\Sigma npt_n} \cdot a_{i(t_n)}$ – удельная активность радионуклида, поступающего в организм с загрязненным продуктом в начале потребления, Бк/кг;

$a_{i(t_n)}$ – доля *i*-го радионуклида, определяемая по табл. ПБ 1 прилож. Б.

$\tau_n = t - t_n$ – продолжительность потребления загрязненного продукта, сут.

Как известно, потребление круп и хлебопродуктов, произведенных из зерна, загрязненного на корню, как правило, оказывается отсроченным от даты радиоактивного загрязнения временем уборки урожая, его перевозкой и складированием на токах, операциями, проводимыми на элеваторах, переработкой в крупы и муку и, наконец, сроками поступления на продовольственные нужды. Реальная продолжительность временного интервала от загрязнения зерна до потребления получаемых из него продуктов, как правило, приводит к распаду короткоживущих изотопов, и в первую очередь, радиойода. Поэтому при оценках радиационного воздействия таких продуктов следует рассматривать как длительное и, главным образом, на ЖКТ.

Если же анализируется радиационное воздействие загрязненных выпадениями листовых овощей (щавеля, салата и т. п.), то начало потребления этих продуктов может совпадать со сроками их загрязнения, когда основным действующим радиационным фактором внутреннего облучения являются радиоизотопы йода. Если при этом учесть, что потребление листовых овощей относительно кратковременно и ограничивается сезоном произрастанием молодой зелени, то при их потреблении основным критическим органом по внутреннему облучению может оказаться щитовидная железа.

5.7.5.1. Облучение ЖКТ при потреблении хлеба и крупяной продукции, получаемых из зерна, загрязненного на корню

В основе определения доз на ЖКТ, обусловленных поступлением в организм смеси радиоактивных выпадений с сельскохозяйственными продуктами, используется практически та же модель, что и при ингаляционном поступлении активности, изложенная в разделе 5.4.3.

Расчеты поглощенных доз проводятся по формуле (5.29) с учетом особенностей радиоактивного загрязнения рассматриваемой сельскохозяйственной продукции, ее переработки и потребления.

Специфика применения формулы (5.29) для расчетов поглощенных доз в отделах ЖКТ состоит в особенности определения для данного вида продукта, общего поступления активности в организм за время его потребления ($g_{\substack{\sum np \\ t_n..t}}$, Бк).

Кроме того, для получения максимальных дозовых оценок принимаются следующие условия:

- непрерывное потребление хлеба и крупяной продукции, до нового урожая, что с приемлемой для практики точностью позволяет интегрировать поступающую активность до $t = \infty$;
- очистка загрязненного зерна (круп) определяется возможностями технологии комбайновой уборки посева;
- для приготовления хлеба используется мука простого помола ($K_{оч} = 1$);
- дозы оцениваются для НТК, при этом потеря активности в ТК за счет всасывания не учитывается.

В соответствии с принятыми ограничениями и данными, приведенными в разделе 5.4.3 (табл. 5.3), формула (5.29), применительно к определению поглощенной дозы в НТК, при пероральном поступлении активности ($D_{\substack{HTKn \\ (t_n..t=\infty)}}$, мГр), приобретает упрощенный вид:

$$D_{\substack{HTKn \\ (t_n..t=\infty)}} = 6{,}9 \cdot 10^6 \, g^{*}_{\substack{\sum npt_{noc} \\ (t_{noc}..t=\infty)}} (t_n + 0{,}8)^{1{,}2} \left[\frac{1}{(t_n + 0{,}8)^{0{,}2}} - \frac{1}{(t_n + 1{,}8)^{0{,}2}} \right], \text{ где (5.62)}$$

$g^{*}_{\substack{\sum npt_{noc} \\ (t_{noc}..t=\infty)}}$ – активность, поступающая в НТК за все время потребления загрязненного продукта, Бк;

t_n – время начала потребления загрязненного продукта, сут;

$t_{noc} = t_n + 0{,}8$ – время поступления активности в НТК, сут.

$g^{*}_{\substack{\sum npt_{noc} \\ (t_{noc}..t=\infty)}}$ – определяется по соотношению:

$$g^{*}_{\substack{\sum npt_{noc} \\ (t_{noc}..t=\infty)}} = 5 Q_{\sum npt_n} \cdot \left(\frac{t_n}{t_n + 8} \right)^{1{,}2} \cdot G(t_n + 0{,}8) \qquad (5.62.1)$$

Если проводится оценка поглощенной дозы в НТК за счет потребления загрязненной крупы ($D_{HTK,кр}$, мГр), то в уравнение (5.62.1) необ-

ходимо подставлять удельную активность зерна ($Q_{\sum зерt_n}$, Бк/кг) на момент первого поступления активности t_n, определяемую по соотношениям (5.38) и (5.36), а также среднесуточное содержание этого продукта в рационе – $G_{кр}$, кг/сут.

В том случае, когда проводится оценка поглощенной дозы в НТК за счет потребления хлеба ($D_{НТК,хл}$, мГр), в уравнение (5.62.1) подставляется удельная активность муки, необходимой для приготовления 1 кг хлеба. В среднем на 1 кг хлеба расходуется 0,7 кг муки. Следовательно:

$$Q_{\sum хлt_n} = 0{,}7 Q_{\sum мукt_n}$$

Количество хлеба, потребляемое местным населением, $G_{хлt_n}$ определяется в соответствии с установленным рационом его питания.

Соответственно, вклад в эффективную дозу от облучения НТК при потреблении загрязненных радиоактивными выпадениями крупы и хлеба определится, как

$$E_{НТКn} = W_T \left(D_{НТК,кр} + D_{НТК,хл} \right), \text{ где} \qquad (5.63)$$

W_T – взвешивающий коэффициент для ткани. Для НТК $W_T = 0{,}12$.

5.7.5.2. Облучение щитовидной железы при потреблении лиственных овощей, загрязненных радиоактивными выпадениями

Если употребление в пищу загрязненных лиственных овощей (ЛО) происходит сразу после завершения формирования радиоактивного следа, т. е. начиная с момента $t_{ост}$, то внутреннее облучение щитовидной железы будут создавать радиоизотопы йода с массовыми числами 131, 132, 133 и 135.

В этом случае ожидаемая поглощенная доза внутреннего облучения щитовидной железы ($D_{\underset{(t_{ост}-t)}{ЩЖло}}$, мГр) может быть оценена по соотношению:

$$D_{\underset{(t_{ост}-t)}{ЩЖло}} = \frac{g_{\underset{(t_{ост}-t)}{131ло}} \cdot d_{131Э} + g_{\underset{(t_{ост}-t)}{Te132ло}} \cdot d_{Te132Э} + g_{\underset{(t_{ост}-t)}{133ло}} \cdot d_{133Э} + g_{\underset{(t_{ост}-t)}{135ло}} \cdot d_{135Э}}{W_T} \qquad (5.64)$$

Для щитовидной железы $W_m = 0{,}05$.

Значения $d_{iэ}$ выбираются из табл. ПБ 10 прилож. Б, а величины $g_{i,ло}$ для каждого радиоизотопа йода определяются по формуле (5.61), в которой согласно соотношениям (5.37) и (5.36) удельная активность ЛО,

обусловленная *i*-м радиоизотопом йода на момент первого поступления $t_n = t_{ост.}$, ($Q_{iлот_{ост.}}$, Бк/кг), соответствует:

$$Q_{iлот_{ост.}} = 5{,}44 \cdot 10^7 P_{24} \cdot t_{ост.}^{-1,2} \cdot \eta_{d \le 50} \cdot a_{it_{ост.}}; \qquad (5.64.1)$$

$\tau_n = (t - t_{ост.})$, ч – продолжительность потребления загрязненных лиственных овощей, которая определяется местными условиями;

$G_{ло}$ – количество листовых овощей в рационе, кг.

Все обозначения в формуле (5.64.1) и порядок их определения пояснялись ранее.

Вклад в эффективную дозу внутреннего облучения щитовидной железы при потреблении загрязненных лиственных овощей соответственно определится из соотношения:

$$E_{\substack{ЩЖло \\ (t_{ост}-t)}} = g_{\substack{131ло \\ (t_{ост}-t)}} \cdot d_{131Э} + g_{\substack{Te132ло \\ (t_{ост}-t)}} \cdot d_{Te132Э} + \\ + g_{\substack{133ло \\ (t_{ост}-t)}} \cdot d_{133Э} + g_{\substack{135ло \\ (t_{ост}-t)}} \cdot d_{135Э}, \quad \text{мЗв} \qquad (5.65)$$

5.8. Некоторые особенности использования положений методических указаний при оценках суммарных эффективных и поглощенных доз в органах у населения, проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов

Помимо характеристик ядерного взрыва и условий, сопутствующих его осуществлению, конкретную значимость отдельных факторов радиационного воздействия на людей, проживающих в зонах локальных радиоактивных выпадений, определяют местные особенности.

В их число входят:

- сезон года, а также время суток, в которые производится взрыв и формируется радиоактивный след;
- характерные национальные или территориальные традиции (привычки) населения, определяющие основной рацион питания, а также входящие в него продукты местного производства и их количества;
- особенности ведения сельского хозяйства, сроки созревания и уборки урожая, содержание мясного и молочного скота, его продуктивность;
- типы застройки населенных пунктов, защитные характеристики жилых и служебных помещений;

- характер трудовой деятельности населения и режимы поведения его критических групп;
- природно-ландшафтная структура региона и ее влияние на жизнь местного населения, и т. д.

Всестороннее рассмотрение и учет перечисленных обстоятельств, а в отдельных случаях и выявление каких-то специфических особенностей территорий и жизни населения должны предшествовать обоснованию вероятных оценок доз от внешнего и внутреннего облучений людей.

Настоящие методические указания позволяют получать необходимые исходные радиационные данные и осуществлять в явном виде оценки наиболее вероятных поглощенных и эффективных доз от внешнего и внутреннего облучения населения, подвергающегося воздействию продуктов ядерных взрывов. Это позволяет обоснованно проводить суммирование в различных комбинациях составляющих эквивалентных доз (H_T, мЗв) с целью получения суммарной эффективной дозы (E_{NT}, мЗв), структура которой оказывается характерной для конкретных местных условий.

$$E_{NT} = \sum_{N} H_T W_T \qquad (5.66)$$

Здесь N – число составляющих тканевых (органных) эквивалентных доз, W_T – их взвешивающиеся коэффициенты.

Запись расчетных моделей доз, представленных в методических указаниях в общем виде, а также возможность получения необходимой радиационной информации их наполнения дают возможность проводить оценки поглощенных и эффективных доз, в принципе, в любых критических органах и тканях человека, подвергающегося внешнему или внутреннему облучению на радиоактивном следе ядерного взрыва.

При оценках доз используются официально признанные дозовые коэффициенты радионуклидов и взвешивающие коэффициенты для облучаемых органов и тканей. Однако излагаемые в методических указаниях приемы позволяют получать необходимую информацию, характеризующую специфику облучения людей на радиоактивных следах, а также необходимые справочные материалы (табл. ПБ 5 прилож. Б) для проведения расчетов доз от внутреннего облучения на основе различных метаболических моделей.

Приложение А
(справочное)

Пример использования настоящих МУ при реконструкции доз внешнего и внутреннего облучения жителей населенного пункта, в результате радиационного воздействия наземного ядерного взрыва, осуществленного на Семипалатинском полигоне

На данном примере показана последовательность действий при проведении расчетов по восстановлению параметров радиационной обстановки в населенном пункте и вероятных доз излучения, которые могли получить при этом его взрослые жители.

Вся исходная информация и расчеты сопровождаются ссылками на конкретные формулы (ф.) и таблицы (т.) МУ, в которых они подробно рассматриваются, в силу чего, приводимые здесь значения поясняются лишь в той степени, в которой это необходимо для проводимых вычислений.

Если какой-либо параметр (исходный или расчетный) уже получил численное определение, то перед его повторным использованием он дается без комментариев и мелким шрифтом.

1. Исходные данные и принятые условия, используемые в расчетах

1.1. Характеристики параметров и условий проведения взрыва

Дата проведения – 24.09.51

Местное астрономическое время проведения взрыва – 13 ч 10 мин ($t_{взр,а}$ = 13,17 ч)

Место взрыва – Семипалатинский полигон

Тип взрыва – наземный

Высота точки взрыва над подстилающей поверхностью $H_{взр}$ = 0,030 км

Мощность взрыва q = 38 кт

Делящийся материал – ^{239}Pu

Максимальная высота подъема радиоактивного облака взрыва (верхней кромки) на момент его стабилизации H_{max} = 11,6 км

Скорость ветра усредненного по высоте от H_{max} до земной поверхности $\overline{V}$ = 26,4 км/ч

Показатель степени спада мощности дозы гамма-излучения во времени n = 1,2.

1.2. Характеристики населенного пункта, условий проживания населения и антропометрические данные принятые для взрослого человека

Название населенного пункта – «А».

Основной тип застройки – рубленные деревянные дома.

Расстояние от центра (эпицентра) взрыва до населенного пункта по оси радиоактивного следа X = 432,5 км.

Мощность дозы гамма-излучения в населенном пункте «А» на «ч» + 3,00 – 97,6 мР/ч.

Мощность дозы гамма-излучения в населенном пункте на 24 часа после взрыва $P_{(24)}$ = 8,05 мр/ч (5.2)

Местное астрономическое время выхода людей из помещений – $t_{откр,\ а}$ = 6 ч.

Среднее время пребывания людей на открытой местности $\tau_{откр}$ = 17 ч/сут (5.15)

Объем легочной вентиляции при выполнении работ средней тяжести, v=30 л/мин (табл. ПБ 4).

Люди во время прохождения радиоактивного облака находились на открытой местности т. е. $K_{обл}$ = 1.

Коэффициент ослабления зданием гамма-излучения от выпавших на местность радионуклидов – $K_{вып}$ = 3 (табл. ПБ 3 прилож. Б).

Содержание молочного скота – пастбищное. Растительный корм пастбища – сухостой; прирост свежей травы отсутствует, т. е. $\lambda_{п}$ = 0 (5.40). Для этих условий коэффициент относительного радиоактивного загрязнения травы $K_{тр\Sigma} = 4{,}5 \cdot 10^{6}$ (Бк/кг)/(мР/ч) (5.36).

Выводимая с молоком доля i-го радионуклида от его количества, поступившего в организм коровы, при условии 100 % растворимости – K_{gi}, составляет :

- для ^{131}I K_{gi} = 0,06 отн. ед.
- для ^{133}I K_{gi} = 0,0425 отн. ед. ((5.41) и табл. ПБ 2 прилож. Б).

Среднесуточное потребление травы коровой ζ = 20 кг (5.41).

Средний суточный удой молока на корову G = 10 л (5.41).

Суточный объем молока местного производства в рационе питания взрослого человека V = 0,7 л (5.47).

1.3. Требования к расчетам

Восстановить нижеследующие параметры радиационной обстановки в населенном пункте «А» после ядерного взрыва, осуществленного на Семипалатинском полигоне 24 сентября 1951 года:

1.3.1. При оценках внешнего гамма-облучения людей реконструировать:

- эффективную дозу внешнего гамма-излучения ($E_{внт_o..t=\infty}$, мЗв), которую могли получить жители населенного пункта за все время от момента прихода радиоактивного облака (t_o) до полного распада выпавших радиоактивных продуктов ($t=\infty$).

1.3.2. При оценках внутреннего облучения людей определить:

- среднюю объемную активность воздуха в период формирования радиоактивного следа ($\overline{C}_{аэр\Sigma\Delta t}$, Бк/м^3);
- возможные ингаляционные поступления в организм людей радиоизотопов йода ($g_{I,\Delta t}$, Бк);
- поглощенную дозу внутреннего облучения щитовидной железы за счет ингаляционно поступивших в организм радиоизотопов йода ($D_{ЩЖ\,и\,\Sigma I}$, мГр);
- вклад в суммарную эффективную дозу ингаляционного облучения щитовидной железы ($E_{ЩЖ\,и\Sigma I}$, мЗв);
- суммарную и радионуклидную удельные активности пастбищной травы за счет йода-131 и йода-133 ($Q_{тр\Sigma}$, $Q_{тр131}$, $Q_{тр133}$, Бк/кг);
- максимальную объемную активность в молоке йода-131 и йода-133 ($A_{I\,max}$, Бк/л);
- возможные поступления в организм людей йода-131 и йода-133 в результате потребления местного молока ($g_{молI}$, Бк);
- поглощенную дозу внутреннего облучения щитовидной железы в результате потребления людьми загрязненного молока ($D_{ЩЖ\,М\,\Sigma I}$, мГр);
- вклад в суммарную эффективную дозу внутреннего облучения щитовидной железы за счет поступления в организм радиоизотопов йода с молоком ($E_{щж\,М\,\Sigma I}$, мЗв) .

1.3.3. При оценках общего радиационного воздействия рассчитать:

• суммарную эффективную дозу облучения людей, обусловленную внешним гамма-излучением и внутренним облучением щитовидной железы ($E_{\Sigma} = E_{вн} + E_{ЩЖ И \Sigma I} + E_{ЩЖ М \Sigma I}$, мЗв).

2. Расчет доз внешнего гамма-излучения

2.1. Расчет эффективной дозы внешнего гамма-излучения

Вычисления ведутся с учетом положений, изложенных в разделе 5.3.2.

Определим необходимые производные исходные данные:

• время прихода облака взрыва в данный населенный пункт t_0, ч, которое согласно (5.3) равно:

$$t_0 = \frac{X}{V}$$

X = 432,5 км

V = 26,4 км/ч

$$t_0 = 432,5 / 26,4 = 16,4 \text{ ч};$$

• продолжительность радиоактивных выпадений Δt_x, ч (периода формирования радиоактивного следа), может быть оценена (5.5), как :

$$\Delta t_x = 0,2 + \left[0,6 + 0,1 \cdot \lg(q)\right] \cdot \frac{X}{V},$$

q=38 кт

$$\Delta t_x = 0,2 + \left[0,6 + 0,1 \cdot \lg(38)\right] \cdot \frac{432,5}{26,4} = 12,6 \text{ ч};$$

• время ухода облака взрыва (условного окончания формирования радиоактивного следа и начала излучения выпавших радиоактивных продуктов), $t_{ост}$, ч, по (5.4), равно :

$$t_{ост} = t_0 + \Delta t_x$$

$$t_{ост} = 16,4 + 12,6 = 29 \text{ ч}.$$

Эффективная доза внешнего гамма-излучения, ($E_{вн}$, мЗв), которую могли получить взрослые жители населенного пункта «А» за период времени от t_0 до $t = \infty$ может быть рассчитана по упрощенной формуле

(5.15) с использованием поправочного коэффициента $K_{t_{ост.},защ.}$, учитывающего время начала облучения на сформированном радиоактивном следе – $t_{ост.}$ и характеристики защищенности населения – $к_{вып.}$ = 3, $\tau_{откр.}$ =17ч:

$$E_{вн}=\frac{6{,}1\cdot10^{-3}\cdot24^{n}\cdot W_R\cdot W_T\cdot P_{24}}{t_{ост}^{n-1}}\cdot\left[\frac{K_{тост,защ}}{24(n-1)}\left(\tau_{откр}+\frac{24-\tau_{откр}}{K_{вып}}\right)+\frac{0{,}5\cdot\Delta t_x}{K_{обл}t_{ост}}\left(1+1{,}5q^{-0{,}04}\right)\right]$$

n = 1,2

P_{24} = 8,05 мР/ч

$\tau_{откр.}$ = 17 ч

$K_{обл.}$ = 1

$K_{вып.}$ = 3

W_R и W_T – взвешивающий коэффициент излучения и тканевый взвешивающий коэффициент. Для гамма-излучения воздействующего на все тело, оба коэффициента численно равны единице.

$K_{тост,защ} \approx 1{,}01$ (табл. ПГ 2.3 прилож. Г)

Таким образом:

$$E_{вн}=\frac{6{,}1\cdot10^{-3}\cdot24^{1{,}2}\cdot1\cdot1\cdot8{,}05}{29^{1{,}2-1}}\cdot\left[\frac{1{,}01}{24(1{,}2-1)}\left(17+\frac{24-17}{3}\right)+\frac{0{,}5\cdot12{,}6}{1\cdot29}\left(1+1{,}5\cdot38^{-0{,}04}\right)\right]=5{,}18\ \text{мЗв}$$

Кроме этого, для некоторых условий существует второй, более точный, расчет эффективных доз внешнего гамма-излучения, учитывающий кинетику мощности дозы гамма-излучения на сформированном радиоактивном следе ядерного взрыва и особенности защищенности населения (прилож. Г, раздел 1).

Для выполнения данного расчета, вначале, на шкале текущего времени от $t_{ост}$ до $t = \infty$, найдем моменты времени t_2, t_3 и t_4, определяющие четыре интервала времени, в пределах которых могут проявляться характерные особенности защищенности населения ($К_1$, $К_2$, $К_3$) и создаваться дозы излучения, учитывающие эти особенности, если:

- $t_1 = t_{ост} = 29$ ч;
- $t_{взр,а} = 13{,}17$ ч.

Согласно формуле (ПГ 4) местное астрономическое время окончания формирования радиоактивного следа – $t_{ост,а}$, в общем случае, определяется:

$$t_{ост.,а} = t_{взр,а} + t_{ост.} - 24\,\mathrm{int}\left(\frac{t_{взр.,а} + t_{ост.}}{24}\right),$$

т. к. $\left(\frac{t_{взр.,а} + t_{ост.}}{24}\right) = \left(\frac{13{,}17 + 29}{24}\right) = 1{,}7 > 1$, то

$$t_{ост.,а} = 13{,}17 + 29 - 24 \cdot 1 = 18{,}2$$

Исходя из того, что момент начала пребывания населения на открытой местности (вне помещений) – $t_{откр.,а}$ = 6 ч, а $\tau_{откр.}$ = 17 ч, что удовлетворяет условию (2) (табл. ПГ 1, прилож. Г), для которого:

$$t_{откр,а} < t_{ост,а} < t_{откр,а} + \tau_{откр}$$

Тогда для условия (2) по табл. ПГ 1 имеем:

$t_2 = t_{ост} + (t_{откр,а} + \tau_{откр} - t_{ост,а}) = 29 + (6 + 17 - 18{,}2) = 33{,}8$ ч

$t_3 = t_2 + 24 - \tau_{откр} = 33{,}8 + 24 - 17 = 40{,}8$ ч

$t_4 = t_3 + \tau_{откр} = 40{,}8 + 17 = 57{,}8$ ч

$K_1 = 1$

$K_2 = K_{вып} = 3$

$K_3 = 1$

Определим мощность дозы гамма-излучения на момент окончания формирования радиоактивного следа ($t_{ост.}$):

$$P_{t_{ост}} = P_{24}\frac{t_{ост}^{-n}}{24^{-n}}$$

P_{24} = 8,05 мР/ч

n = 1,2

$t_{ост}$ = 29 ч

$$P_{t_{ост}} = 8{,}05\frac{29^{-1{,}2}}{24^{-1{,}2}} = 6{,}41 \text{ мР/ч}$$

Рассчитаем интервальные дозы гамма-излучения (прилож. Г, фф. ПГ 2.1, ПГ 2.2, ПГ 2.3, ПГ 2.4):

$$D_{1_{t_{ост}..t_2}} = P_{t_{ост}}\frac{t_{ост}^{n}}{n-1}\left[\frac{1}{t_{ост}^{n-1}} - \frac{1}{t_2^{n-1}}\right]$$

$$D_{t_2 \dots t_3}^{2} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^{n}}{n-1}\left[\frac{1}{t_2^{n-1}} - \frac{1}{t_3^{n-1}}\right]$$

$$D_{t_3 \dots t_4}^{3} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^{n}}{n-1}\left[\frac{1}{t_3^{n-1}} - \frac{1}{t_4^{n-1}}\right]$$

$$D_{t_4 \dots t=\infty}^{4} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^{n}}{t_4^{n-1}(n-1)}\left[\frac{\left(24-\tau_{откр}\right)}{24 \cdot K_{вып}} + \frac{\tau_{откр}}{24}\right]$$

После подстановки соответствующих значений имеем:

$$D_{t_{ост} \dots t_2}^{1} = 28{,}0 \text{ мР};$$

$$D_{t_2 \dots t_3}^{2} = 33{,}3 \text{ мР};$$

$$D_{t_3 \dots t_4}^{3} = 58{,}4 \text{ мР};$$

$$D_{t_4 \dots t=\infty}^{4} = 652 \text{ мР}$$

Общая экспозиционная доза гамма-излучения выпадений, воздействующая на население ($D_{t_{ост} \dots t=\infty}$) определится, как сумма интервальных доз (ПГ 1) :

$$D_{t_{ост} \dots t=\infty} = D_{t_{ост} \dots t_2}^{1} / K_1 + D_{t_2 \dots t_3}^{2} / K_2 + D_{t_3 \dots t_4}^{3} / K_3 + D_{t_4 \dots t=\infty}^{4}$$

$$D_{t_{ост} \dots t=\infty} = 28/1 + 33{,}3/3 + 58{,}4/1 + 652 = 750 \text{ мР}$$

Рассчитанная данным способом эффективная доза внешнего гамма-излучения ($E_{вн}$, мЗв), за период времени от t_0 до $t=\infty$, согласно (ПГ 3), равна:

$$E_{вн} = 6{,}1 \cdot 10^{-3} W_R W_T \left[D_{t_{ост} \dots t=\infty} + \frac{24^{n} P_{24} \Delta t}{2 K_{обл} t_{ост}^{n}}\left(1 + 1{,}5 q^{-0{,}04}\right)\right]$$

$$E_{вн} = 6{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[750 + \frac{24^{1{,}2} \cdot 8{,}05 \cdot 12{,}6}{2 \cdot 1 \cdot 29^{1{,}2}}\left(1 + 1{,}5 \cdot 38^{-0{,}04}\right)\right] = 5{,}14 \text{ мЗв}$$

Видим, что оба способа расчета эффективной дозы внешнего гамма-излучения дали предельно близкие результаты 5.18 и 5.14 мЗв.

3. Внутреннее облучение

3.1. Внутреннее облучение щитовидной железы при ингаляционном поступлении радиоизотопов йода

Вычисления ведутся на основе положений, изложенных в разделах 5.4.1, 5.4.4. Ингаляционное облучение щитовидной железы определяется радиоизотопами йода с массовыми числами 131, 133 и 135.

Прежде всего определим время (t_1') на которое, условно принято ингаляционное поступление радионуклидов в организм человека по формуле (5.21):

$$t_1' = t_0 + 0{,}5\Delta t_x$$

t_0 = 16,4 ч

Δt_x = 12,6 ч

$$t_1' = 16{,}4 + 0{,}5 \cdot 12{,}6 = 22{,}7 \text{ ч}$$

Общая средняя объемная активность аэрозолей ($\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t}$), Бк/м^3, находившихся в приземном воздухе (в зоне дыхания людей) во время формирования радиоактивного следа рассчитывается по формуле (5.22). Она равна:

$$\overline{C}_{аэр\Sigma ээр} = \frac{0{,}75 \cdot 24^n \cdot K_{Бк/\gamma} \cdot K_{аэр} P_{24}}{\overline{E}_\gamma \, \overline{n}_\gamma \, q^{0.04} t_{ост}^n}$$, где

$K_{Бк/\gamma} = 3{,}7 \cdot 10^4$ – переходный коэффициент от мощности дозы гамма-излучения к объемной активности продуктов, содержащихся в воздухе, (Бк·ч)/(м^3·мР);

$K_{аэр}$ – доля излучения в приземном воздухе, создаваемая аэрозольными продуктами взрыва. Для атмосферных ядерных взрывов $K_{аэр}$ = 1;

$\overline{E}_\gamma$ = 1 – средняя энергия фотонов гамма-излучения, МэВ;

$\overline{n}_\gamma$ = 1 – средний выход фотонов гамма-излучения, фотон/Бк·с.

P_{24} = 8,05 мР/ч

n = 1,2

$t_{ост}$ = 29 ч

$$\overline{C}_{аэр\Sigma,\Delta t} = \frac{0{,}75 \cdot 24^{1{,}2} \cdot 3{,}7 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 8{,}05}{1 \cdot 1 \cdot 38^{0{,}04} \cdot 29^{1{,}2}} = 1{,}54 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3$$

Общее количество радионуклидов, которое через незащищенные органы дыхания могло поступить в организм людей и там задержаться ($g_{\Sigma,\Delta t}$,), Бк, определяется соотношением (5.25):

$$g_{\Sigma,\Delta t} = 6 \cdot 10^{-2} \cdot \overline{C}_{аэр,\Delta t} \cdot \nu \cdot \Delta t_x \cdot \eta_u \cdot \Omega_{возд}$$

ν = 30 л/мин

Δt_x = 12,6 ч

$\Omega_{возд}$ = 0,7 – доля биологически значимого радиоактивного аэрозоля, задерживающегося в органах дыхания.

Доля активности в общих выпадениях ($\eta_{d\le 50}$), определяемая биологически значимой фракцией частиц, вычисляется по (5.11):

$$\eta_u = \eta_{d\le 50} = 1 - \left[1 - 0{,}6\left(H_{\max} \cdot \overline{V}\right)^{-0{,}9}\right] \exp\left(-4X_{пр}^3\right)$$

Определим приведенное расстояние ($X_{пр}$), являющееся безразмерным критерием подобия распределения на радиоактивных следах фракции выпадений продуктов взрыва с размерами частиц, не превышающими 50 мкм. Согласно (5.12) оно равно:

$$X_{пр} = \frac{W_{50} \cdot X}{H_{\max} \cdot \overline{V}}$$

$\overline{V}$ = 26,4 км/ч

$H_{\max}$ = 11,6 км

X = 432,5 км

W_{50} – скорость гравитационного осаждения частиц с аэродинамическим диаметром d = 50 мкм с высоты стабилизации верхней кромки облака равна:

$$W_{50} = 0{,}73 \text{ км/ч}$$

тогда:

$$X_{пр} = \frac{0{,}73 \cdot 432{,}5}{11{,}6 \cdot 26{,}4} = 1{,}03$$

При $X_{пр}$ величина доли активности в выпадениях, связанная с биологически значимой фракцией частиц, равна: $\eta_{d\le 50} = 1$. Аналогичное значение $\eta_{d\le 50}$ имеем и при расчете по формуле (5.11).

$$\eta_{d\le 50} = 1 - \left[1 - 0{,}6\left(11{,}6 \cdot 26{,}4\right)^{-0{,}9}\right] \exp\left(-4 \cdot 1{,}03^3\right) = 1$$

Следовательно общее поступление радиоактивных продуктов в организм людей за время формирования радиоактивного следа (Δt) равно:

$$g_{\Sigma,\Delta t} = 6 \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}54 \cdot 10^5 \cdot 30 \cdot 12{,}6 \cdot 0{,}7 \cdot 1 \cong 2{,}42 \cdot 10^6 \text{ Бк}$$

Растворимая часть ингалированного *i*-го радионуклида, поступающая из органов дыхания в остальной организм ($g_{i,\Delta t}$, Бк), определится по (5.26):

$$g_{i,\Delta t} = g_{\Sigma,\Delta t} \cdot \beta_i \cdot a_i(t_1')$$

β_i= 0,5 – коэффициент растворимости i-го радионуклида выбирается в зависимости от X_{np} (т. 5.6)

$a_i(t_1')$ – доля по активности *i*-го радионуклида в биологически значимой фракции выпадения, соответствующая его содержанию в несепарированной смеси продуктов мгновенного деления, на момент времени t_1' = 22,7 ч (табл. ПБ 1).

$a_{131}(22{,}7) = a_{131}(10) + (22{,}7 - 10) / (24 - 10)\,[a_{131}(24) - a_{131}(10)] =$
$= 5{,}98 \cdot 10^{-3} + (22{,}7 - 10) / (24 - 10)\,[1{,}40 \cdot 10^{-3} - 5{,}98 \cdot 10^{-3}] = 1{,}33 \cdot 10^{-2}$
$a_{133}(22{,}7) = a_{133}(10) + (22{,}7 - 10) / (24 - 10)\,[a_{133}(24) - a_{133}(10)] =$
$= 6{,}15 \cdot 10^{-2} + (22{,}7 - 10) / (24 - 10)\,[9{,}13 \cdot 10^{-2} - 6{,}15 \cdot 10^{-2}] = 8{,}85 \cdot 10^{-2}$
$a_{135}(22{,}7) = a_{135}(10) + (22{,}7 - 10) / (24 - 10)\,[a_{135}(24) - a_{135}(10)] =$
$= 8{,}45 \cdot 10^{-2} + (22{,}7 - 10) / (24 - 10)\,[4{,}70 \cdot 10^{-2} - 8{,}45 \cdot 10^{-2}] = 5{,}05 \cdot 10^{-2}$
$a_{Te132\text{-}I132}(22{,}7) = a_{Te132\text{-}I132}(24) - [a_{Te132\text{-}I132}(48) - a_{Te132\text{-}I132}(24)] / 24(24 - 22{,}7) =$
$= 8{,}78 \cdot 10^{-2} - [15{,}4 \cdot 10^{-2} - 8{,}78 \cdot 10^{-2}] / 24(24 - 22{,}7) = 8{,}42 \cdot 10^{-2}$

После подстановки ***имеем следующие ингаляционные поступления радиоизотопов йода в организм людей***:

$$g_{131,\Delta t} = 2{,}42 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}33 \cdot 10^{-2} = 1{,}61 \cdot 10^4 \text{ Бк};$$

$$g_{133,\Delta t} = 2{,}42 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-2} = 1{,}07 \cdot 10^5 \text{ Бк};$$

$$g_{135,\Delta t} = 2{,}42 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 5{,}05 \cdot 10^{-2} = 6{,}10 \cdot 10^4 \text{ Бк};$$

$$g_{Te\,132\text{–}I132,\Delta t} = 2{,}42 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 8{,}42 \cdot 10^{-2} = 1{,}02 \cdot 10^5 \text{ Бк}.$$

Поглощенная доза в щитовидной железе за счет ингалированных радиоизотопов йода ($D_{ЩЖ,\Sigma I}$, мГр) определяется, в соответствие с формулой (5.32), по соотношению:

$$D_{\substack{щж\,и\,\Sigma I \\ \Delta t}} = \frac{g_{131\Delta t}\cdot d_{131э} + g_{Te132\Delta t}\cdot d_{Te132э} + g_{133\Delta t}\cdot d_{133э} + g_{135\Delta t}\cdot d_{135э}}{W_R \cdot W_T}$$

$d_{iэ}$, выбирается из данных табл. ПБ 10 прилож. Б, в зависимости от возраста человека

В данном случае :

$$d_{131э} = 7{,}4\cdot 10^{-6} \text{ мЗв/Бк}$$

$$d_{133э} = 1{,}5\cdot 10^{-6} \text{ мЗв/Бк}$$

$$d_{135э} = 3{,}2\cdot 10^{-7} \text{ мЗв/Бк}$$

$$d_{Te132э} = 1{,}8\cdot 10^{-6} \text{ мЗв/Бк}$$

Взвешивающий коэффициент для гамма- и бета-излучений $W_R = 1$. Взвешивающий коэффициент для W_T выбирается из табл. ПБ 1 прилож. Б. Для щитовидной железы $W_T = 0{,}05$. После подстановки соответствующих значений, поглощенная доза в щитовидной железе, в результате ингаляции радиоизотопов йода, равна:

$$D_{\substack{щж\,и\,\Sigma I \\ \Delta t}} = \frac{1{,}61\cdot 10^4\cdot 7{,}4\cdot 10^{-6} + 1{,}02\cdot 10^5\cdot 1{,}8\cdot 10^{-6} + 1{,}07\cdot 10^5\cdot 1{,}5\cdot 10^{-6} + 6{,}10\cdot 10^4\cdot 3{,}2\cdot 10^{-7}}{1\cdot 0{,}05} =$$

$$= 9{,}65 \text{ мГр}$$

Вклад в суммарную эффективную дозу внутреннего облучения щитовидной железы за счет ингалированных радиоизотопов йода ($E_{\substack{щж\,и\,\Sigma I \\ \Delta t}}$, мЗв)определяется по формуле (5.35)

$$E_{\substack{щж\,и\,\Sigma I \\ \Delta t}} = g_{131\Delta t}\cdot d_{131э} + g_{Te132\Delta t}\cdot d_{Te132э} + g_{133\Delta t}\cdot d_{133э} + g_{135\Delta t}\cdot d_{135э}$$

и соответственно в численном выражении

$$E_{\substack{щж\,и\,\Sigma I \\ \Delta t}} = 1{,}61\cdot 10^4\cdot 7{,}4\cdot 10^{-6} + 1{,}02\cdot 10^5\cdot 1{,}8\cdot 10^{-6} + 1{,}07\cdot 10^5\cdot 1{,}5\cdot 10^{-6} +$$

$$+ 6{,}10\cdot 10^4\cdot 3{,}2\cdot 10^{-7} = 0{,}48 \quad \text{мЗв}$$

3.2. Внутреннее облучение щитовидной железы при пероральном поступлении радиоизотопов йода с коровьим молоком

Суммарное поверхностное радиоактивное загрязнение травянистой растительности – $Q_{тр\Sigma}(t)$, Бк/кг, в зонах локальных выпадений ядерных взрывов определяется по (5.36)

$$Q_{mp\Sigma}(t) = K_{mp\Sigma} \cdot P_{24} \cdot \frac{24^n}{t^n} \cdot \eta_{d\le 50}$$

$K_{mp\Sigma}$ = 4,5·10^6 (Бк/кг)/(мР/ч).

P_{24} = 8,05 мР/ч

n = 1,2

t = 24 ч

$\eta_{d\le 50}$ = 0,99

$$Q_{mp\Sigma}(24) = 4{,}5 \cdot 10^6 \cdot 8{,}05 \cdot 1 = 3{,}6 \cdot 10^7 \text{ Бк/кг}$$

Загрязнение растительности отдельными радионуклидами оценивается по соотношению (5.37):

$$Q_{mp131}(24) = Q_{mp\Sigma}(24) \cdot a_{131}(24)$$

$$Q_{mp133}(24) = Q_{mp\Sigma}(24) \cdot a_{133}(24)$$

Как следует из табл. ПБ 1 прилож. Б:

$$a_{131}(24) = 1{,}4 \cdot 10^{-2}$$

$$a_{131}(24) = 9{,}13 \cdot 10^{-2}$$

$$Q_{mp131}(24) = 3{,}6 \cdot 10^7 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-2} = 5{,}04 \cdot 10^5 \text{ Бк/кг}$$

$$Q_{mp133}(24) = 3{,}6 \cdot 10^7 \cdot 9{,}13 \cdot 10^{-2} = 3{,}28 \cdot 10^6 \text{ Бк/кг}$$

Максимальное содержание в молоке i-го радионуклида ($A_{i\max}$,), Бк/л, рассчитывается по формуле (5.41):

$$A_{i\max} = K_{gi} \frac{Q_{mpi,24} \zeta \beta_i}{G} \exp\left[(\lambda_i + \lambda_n) \cdot \left(24 - t_{A_{i\max}}\right)\right]$$

K_{g131} = 0,06 отн. ед.

K_{g133} = 0,0425 отн. ед.

ζ = 20 кг

G = 10 л

β_i = 0,5

λ_i – постоянная скорости распада i-го радионуклида (табл. ПБ 5 прилож. Б) :

λ_{131} = 3,61·10^{-3} ч$^{-1}$

λ_{133} = 3,32·10^{-2} ч$^{-1}$

$\lambda_n = 0$ – постоянная биологического очищения пастбищного корма, которая определяется, главным образом, приростом новой травы и предпочтительным ее поеданием животными (табл. 5.4).

$t_{A_{i\max}}$ – время после взрыва, к которому в молоке накапливается максимальное содержание радионуклида (табл. 5.5):

$$t_{A_{131\max}} = t_{ост.} + 81 = 29 + 81 = 110 \text{ ч}$$

$$t_{A_{131\max}} = t_{ост.} + 34 = 29 + 34 = 63 \text{ ч}$$

$$A_{131\max} = 0{,}06\frac{5{,}04\cdot10^5\cdot20\cdot0{,}5}{10}\exp\left[\left(3{,}61\cdot10^{-3}+0\right)\cdot\left(24-110\right)\right] = 2{,}21\cdot10^4 \text{ Бк/л}$$

$$A_{133\max} = 0{,}0425\frac{3{,}28\cdot10^6\cdot20\cdot0{,}5}{10}\exp\left[\left(3{,}32\cdot10^{-2}+0\right)\cdot\left(24-63\right)\right] = 3{,}80\cdot10^4 \text{ Бк/л}$$

Если начало потребления загрязненного молока соответствует $t_{ост}$ и непрерывно продолжается до $t_{A_{i\max}}$, то поступление радионуклида $g_{\substack{i,мол \\ (t_{ост}..t_{A_{i\max}})}}$, Бк составит (5.47):

$$g_{\substack{i,мол' \\ (t_{ост}..t_{A_{i\max}})}} = 0{,}5A_{i\max}\cdot\tau_{A_{i\max}}\cdot\nu_{мол}$$

$\nu_{мол} = 0{,}7$ л / сут $= 0{,}7 / 24$ л /ч

$$g_{\substack{131,мол \\ (t_{ост}..t_{A131\max})}} = 0{,}5\cdot2{,}21\cdot10^4\cdot81\cdot0{,}7/24 = 2{,}61\cdot10^4 \text{ Бк}$$

$$g_{\substack{133,мол \\ (t_{ост}..t_{A131\max})}} = 0{,}5\cdot3{,}84\cdot10^4\cdot34\cdot0{,}7/24 = 1{,}88\cdot10^4 \text{ Бк}$$

Если потребление молока продолжалось до полного распада активности радиоизотопов йода, то согласно формуле (5.50), поступление нуклида с молоком за время от $t_{A_{i\max}}$ до t=∞ соответствует:

$$g_{\substack{i,мол \\ (t_{A_i\max}...t=\infty)}} = \frac{A_{i,t_n}.\nu_{мол'}}{\lambda_i+\lambda_n}$$

$$g_{\substack{131,мол \\ (t_{A131\max}...t=\infty)}} = \frac{2{,}21\cdot10^4\cdot0{,}7/24}{3{,}61\cdot10^{-3}+0} = 1{,}79\cdot10^5 \text{ Бк}$$

$$g_{\substack{133,мол \\ (t_{A133\max}...t=\infty)}} = \frac{3{,}80\cdot10^4\cdot0{,}7/24}{3{,}32\cdot10^{-2}+0} = 3{,}34\cdot10^4 \text{ Бк}$$

Таким образом, ***поступление i-го радионуклида в организм с молоком коров определяется*** (5.51.1):

$$g_{i,мол}_{(t_{ост}...t=\infty)} = g_{i,мол}_{(t_{ост}...t_{A_i\max})} + g_{i,мол}_{(tA_i\max...t=\infty)}$$

$$g_{131,мол}_{(t_{ост}...t=\infty)} = g_{131,мол}_{(t_{ост}...t_{A131\max})} + g_{131,мол}_{(tA_{131\max}...t=\infty)} = 2{,}61\cdot10^{4} + 1{,}79\cdot10^{5} = 2{,}05\cdot10^{5}\ \text{Бк}$$

$$g_{133,мол}_{(t_{ост}...t=\infty)} = g_{133,мол}_{(t_{ост}...t_{A133\max})} + g_{133,мол}_{(tA_{133\max}...t=\infty)} = 1{,}88\cdot10^{4} + 3{,}34\cdot10^{4} = 5{,}22\cdot10^{4}\ \text{Бк}$$

В данном случае поглощенная доза внутреннего облучения щитовидной железы радиоизотопами йода-131 и йода-133 при постоянном потреблении жителями свежего местного молока определяется, как

$$D_{ЩЖ,молП,\Sigma I} = \frac{\left(g_{131,мол}_{(t_{ост}...t_{A131\max})} + g_{131,мол}_{(tA_{131\max}...t=\infty)}\right)d_{131э} + \left(g_{133,мол}_{(t_{ост}...t_{A133\max})} + g_{133,мол}_{(tA_{133\max}...t=\infty)}\right)d_{133э}}{W_R \cdot W_T}$$

Из табл. ПБ 10 прилож. Б:

$d_{131э} = 2{,}2\cdot10^{-5}$ мЗв/Бк;

$d_{133э} = 4{,}3\cdot10^{-6}$ мЗв/Бк.

Соответственно численное значение поглощенной дозы равно:

$$D_{ЩЖ,молП,\Sigma I} = \frac{2{,}05\cdot10^{5}\cdot2{,}2\cdot10^{-5} + 5{,}22\cdot10^{4}\cdot4{,}3\cdot10^{-6}}{0{,}05} = 97{,}4\ \text{мГр}$$

При этом вклад в суммарную эффективную дозу внутреннего облучения щитовидной железы за счет радиоизотопов йода, поступающих в организм людей с местным молоком составит:

$$E_{ЩЖ,молП,\Sigma I}_{(t_{ост}...t=\infty)} = 2{,}05\cdot10^{5}\cdot2{,}2\cdot10^{-5} + 5{,}22\cdot10^{4}\cdot4{,}3\cdot10^{-6} = 4{,}73\ \text{мЗв}$$

4. Общее радиационное воздействие

Общее радиационное воздействие оценивается по суммарной эффективной дозе (E_{Σ}, мЗв), являющейся мерой риска возникновения отдаленных последствий облучения. В нашем примере:

$$E_{\Sigma} = E_{вн} + E_{\substack{ЩЖ\ и\ \Sigma I \\ \Delta t}} + E_{ЩЖ,молП,\Sigma I}$$

После суммирования полученных выше значений составляющих суммарной эффективной дозы имеем:

$$E_{\Sigma} = 5{,}14 + 0{,}48 + 4{,}73 \cong 10{,}4\ \text{мЗв}$$

5. Результаты расчетов

Проведенные расчеты позволяют полагать, что при наземном ядерном взрыве мощностью q = 38 кт, осуществленном на Семипалатинском испытательном полигоне 24 сентября 1951 года в 13 ч 10 мин, в результате возникших локальных выпадений продуктов взрыва, радиационная обстановка в гипотетическом населенном пункте «А», удаленном от места взрыва на 432,5 км, могла характеризоваться следующими данными:

- время начала радиоактивных выпадений t_0 = 16,4 ч;
- продолжительность периода радиоактивных выпадений Δt = 12,6 ч;
- мощность дозы гамма-излучения на открытой местности на момент окончания радиоактивных выпадений – $P_{t_{ост.}}$ = 6,41 мР/ч;
- мощность дозы гамма-излучения на открытой местности через 24 часа после взрыва P_{24} = 8,05 мР/ч;
- суммарная поверхностная активность грунта на момент окончания радиоактивных выпадений $\sigma_{t_{ост.}} = 2{,}37 \cdot 10^7$ Бк/м^2, через 24 часа после взрыва $\sigma_{24} = 2{,}98 \cdot 10^7$ Бк/м^2;
- общая средняя объемная активность воздуха во время радиоактивных выпадений $\overline{C}_{аэр\Delta t} = 1{,}54 \cdot 10^5$ Бк/м^3;
- возможные ингаляционные поступления радиоизотопов йода:

$$g_{131,\Delta t} = 1{,}61 \cdot 10^4 \text{ Бк};$$

$$g_{Te\,132-I132,\Delta t} = 1{,}02 \cdot 10^5 \text{ Бк};$$

$$g_{133,\Delta t} = 1{,}07 \cdot 10^5 \text{ Бк};$$

$$g_{135,\Delta t} = 6{,}10 \cdot 10^4 \text{ Бк};$$

- радиоактивное загрязнение травы на 24 часа после взрыва:
  - общее – $Q_{тр\Sigma}(24) = 3{,}59 \cdot 10^7$ Бк/кг;
  - за счет радиоизотопов йода;
  - $Q_{тр131}(24) = 5{,}03 \cdot 10^5$ Бк/кг;
  - $Q_{тр133}(24) = 3{,}28 \cdot 10^6$ Бк/кг;
- максимальное содержание в молоке радиоизотопов йода:

$$A_{131\max} = 2{,}21 \cdot 10^4 \text{ Бк/л};$$

$$A_{133\max} = 3{,}80 \cdot 10^4 \text{ Бк/л};$$

- поглощенная доза внутреннего облучения щитовидной железы в результате ингаляционного поступления радиоизотопов в организм людей, а также вследствие потребления местного молока:

$$D_{ЩЖ} = 107 \text{ мГр};$$

- суммарная эффективная доза внешнего излучения и внутреннего облучения щитовидной железы

$$E_{\Sigma} = 10{,}4 \text{ мЗв}.$$

Приложение Б
(справочное)

Справочные таблицы

Таблица ПБ 1

Долевой вклад отдельных радионуклидов в общую активность смеси продуктов мгновенного деления [9]

Радионуклид, *i*	Доля активности, обусловленная радионуклидом, $a_{i,t}$			
	$^{235}U_{\text{п.дел.}}$	$^{239}Pu_{\text{п.дел.}}$	$^{238}U_{\text{п.дел.}}$	$^{238}U_{\text{п.14 МэВ}}$
1 час после деления				
Стронций-89	$6{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$
Стронций-90	$3{,}1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	$2{,}3 \cdot 10^{-7}$	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$
Йод-131	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$
Теллур-132	$9{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}52 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}13 \cdot 10^{-3}$
Йод-132	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$
Йод-133	$3{,}4 \cdot 10^{-3}$	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$
Йод-134	$6{,}3 \cdot 10^{-2}$	$5{,}54 \cdot 10^{-2}$	$5{,}82 \cdot 10^{-2}$	$5{,}12 \cdot 10^{-2}$
Йод-135	$1{,}42 \cdot 10^{-2}$	$1{,}45 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$
Цезий-137	$4{,}1 \cdot 10^{-7}$	$4{,}5 \cdot 10^{-7}$	$4{,}4 \cdot 10^{-7}$	$4{,}0 \cdot 10^{-7}$

Барий-140	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$
2 часа после деления				
Стронций-89	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$6{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$9{,}0 \cdot 10^{-4}$
Стронций-90	$7{,}5 \cdot 10^{-7}$	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$	$5{,}5 \cdot 10^{-7}$	$5{,}1 \cdot 10^{-7}$
Йод-131	$5{,}0 \cdot 10^{-4}$	$8{,}7 \cdot 10^{-4}$	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$	$7{,}0 \cdot 10^{-4}$
Теллур-132	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}73 \cdot 10^{-3}$	$2{,}69 \cdot 10^{-3}$
Йод-132	$1{,}09 \cdot 10^{-3}$	$1{,}72 \cdot 10^{-3}$	$1{,}24 \cdot 10^{-3}$	$1{,}22 \cdot 10^{-3}$
Йод-133	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}14 \cdot 10^{-2}$	$9{,}82 \cdot 10^{-3}$	$9{,}3 \cdot 10^{-3}$
Йод-134	$1{,}191 \cdot 10^{-1}$	$1{,}059 \cdot 10^{-1}$	$1{,}085 \cdot 10^{-1}$	$9{,}3 \cdot 10^{-2}$
Йод-135	$3{,}11 \cdot 10^{-2}$	$3{,}24 \cdot 10^{-2}$	$3{,}05 \cdot 10^{-2}$	$2{,}75 \cdot 10^{-2}$
Цезий-137	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$
Барий-140	$8{,}0 \cdot 10^{-4}$	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}5 \cdot 10^{-4}$	$6{,}6 \cdot 10^{-4}$
5 часов после деления				
Стронций-89	$4{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$
Стронций-90	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1{,}7 \cdot 10^{-6}$	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$
Йод-131	$1{,}71 \cdot 10^{-3}$	$3{,}08 \cdot 10^{-3}$	$1{,}94 \cdot 10^{-3}$	$2{,}41 \cdot 10^{-3}$
Теллур-132	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}13 \cdot 10^{-2}$	$8{,}1 \cdot 10^{-3}$	$7{,}85 \cdot 10^{-3}$
Йод-132	$5{,}45 \cdot 10^{-3}$	$8{,}94 \cdot 10^{-3}$	$6{,}36 \cdot 10^{-3}$	$6{,}18 \cdot 10^{-3}$
Йод-133	$3{,}11 \cdot 10^{-2}$	$3{,}7 \cdot 10^{-2}$	$3{,}14 \cdot 10^{-2}$	$2{,}92 \cdot 10^{-2}$

Продолжение таблицы ПБ 1

Йод-134	$6{,}25 \cdot 10^{-2}$	$5{,}76 \cdot 10^{-2}$	$5{,}85 \cdot 10^{-2}$	$4{,}92 \cdot 10^{-2}$
Йод-135	$6{,}74 \cdot 10^{-2}$	$7{,}3 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \cdot 10^{-2}$	$6{,}02 \cdot 10^{-2}$
Цезий-137	$2{,}9 \cdot 10^{-6}$	$3{,}4 \cdot 10^{-6}$	$3{,}3 \cdot 10^{-6}$	$2{,}8 \cdot 10^{-6}$
Барий-140	$2{,}34 \cdot 10^{-3}$	$2{,}32 \cdot 10^{-3}$	$2{,}55 \cdot 10^{-3}$	$1{,}96 \cdot 10^{-3}$
Лантан-140	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$
10 часов после деления				
Стронций-89	$8{,}7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}3 \cdot 10^{-4}$	$6{,}2 \cdot 10^{-4}$	$5{,}4 \cdot 10^{-4}$
Стронций-90	$4{,}6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}5 \cdot 10^{-6}$	$3{,}5 \cdot 10^{-6}$	$3{,}1 \cdot 10^{-6}$
Йод-131	$3{,}53 \cdot 10^{-3}$	$5{,}98 \cdot 10^{-3}$	$3{,}95 \cdot 10^{-3}$	$4{,}93 \cdot 10^{-3}$
Теллур-132	$1{,}35 \cdot 10^{-2}$	$2{,}09 \cdot 10^{-2}$	$1{,}56 \cdot 10^{-2}$	$1{,}52 \cdot 10^{-2}$
Йод-132	$1{,}321 \cdot 10^{-2}$	$2{,}03 \cdot 10^{-2}$	$1{,}51 \cdot 10^{-2}$	$1{,}48 \cdot 10^{-2}$
Йод-133	$5{,}48 \cdot 10^{-2}$	$6{,}15 \cdot 10^{-2}$	$5{,}45 \cdot 10^{-2}$	$5{,}14 \cdot 10^{-2}$
Йод-134	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$3{,}07 \cdot 10^{-3}$	$3{,}26 \cdot 10^{-3}$	$2{,}77 \cdot 10^{-3}$
Йод-135	$8{,}23 \cdot 10^{-2}$	$8{,}45 \cdot 10^{-2}$	$8{,}21 \cdot 10^{-2}$	$7{,}37 \cdot 10^{-2}$
Цезий-137	$6{,}0 \cdot 10^{-6}$	$6{,}5 \cdot 10^{-6}$	$6{,}6 \cdot 10^{-6}$	$5{,}7 \cdot 10^{-6}$
Барий-140	$4{,}75 \cdot 10^{-3}$	$4{,}43 \cdot 10^{-3}$	$5{,}09 \cdot 10^{-3}$	$3{,}93 \cdot 10^{-3}$
Лантан-140	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$	$7{,}1 \cdot 10^{-4}$	$8{,}0 \cdot 10^{-4}$	$6{,}3 \cdot 10^{-4}$

24 часа после деления				
Стронций-89	$2{,}28 \cdot 10^{-3}$	$8{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}38 \cdot 10^{-3}$
Стронций-90	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	$6{,}0 \cdot 10^{-6}$	$8{,}6 \cdot 10^{-6}$	$7{,}9 \cdot 10^{-6}$
Йод-131	$9{,}02 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}24 \cdot 10^{-2}$
Теллур-132 – йод-132	$6{,}23 \cdot 10^{-2}$	$8{,}78 \cdot 10^{-2}$	$6{,}97 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \cdot 10^{-2}$
Йод-133	$9{,}0 \cdot 10^{-2}$	$9{,}13 \cdot 10^{-2}$	$8{,}66 \cdot 10^{-2}$	$8{,}12 \cdot 10^{-2}$
Йод-135	$5{,}06 \cdot 10^{-2}$	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	$4{,}78 \cdot 10^{-2}$	$4{,}37 \cdot 10^{-2}$
Цезий-137	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$
Барий-140	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}02 \cdot 10^{-2}$	$1{,}25 \cdot 10^{-2}$	$9{,}6 \cdot 10^{-3}$
Лантан-140	$4{,}16 \cdot 10^{-3}$	$3{,}57 \cdot 10^{-3}$	$4{,}37 \cdot 10^{-3}$	$3{,}36 \cdot 10^{-3}$
48 часов после деления				
Стронций-89	$5{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$3{,}0 \cdot 10^{-3}$
Стронций-90	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$
Йод-131	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$	$2{,}93 \cdot 10^{-2}$	$2{,}16 \cdot 10^{-2}$	$2{,}73 \cdot 10^{-2}$
Теллур-132 – йод-132	$1{,}21 \cdot 10^{-1}$	$1{,}54 \cdot 10^{-1}$	$1{,}284 \cdot 10^{-1}$	$1{,}266 \cdot 10^{-1}$
Йод-133	$9{,}73 \cdot 10^{-2}$	$8{,}99 \cdot 10^{-2}$	$8{,}91 \cdot 10^{-2}$	$8{,}44 \cdot 10^{-2}$
Йод-135	$1{,}02 \cdot 10^{-2}$	$8{,}6 \cdot 10^{-3}$	$9{,}3 \cdot 10^{-3}$	$8{,}4 \cdot 10^{-3}$
Цезий-137	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$
Барий-140	$2{,}75 \cdot 10^{-2}$	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$	$2{,}11 \cdot 10^{-2}$
Лантан-140	$1{,}62 \cdot 10^{-2}$	$1{,}25 \cdot 10^{-2}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$	$1{,}25 \cdot 10^{-2}$

Таблица ПБ 2

Коэффициенты выведения радионуклидов с коровьим молоком при 100 % растворимости (K_{gi})

Радиоизотоп, i	Доля активности поступившего радиоизотопа, выводимая с молоком, K_{gi}		Авторы, год
	Данные литературных источников	Среднее значение	
Йод-131	$(5{,}9 \ldots 6{,}6) \cdot 10^{-2}$	$6{,}0 \cdot 10^{-2}$	Ленгжемен, Свенсон, 1957
	$(1{,}25 \ldots 13{,}1) \cdot 10^{-2}$		Сквайр с соавторами, 1958
	$(6{,}0 \ldots 6{,}6) \cdot 10^{-2}$		Гарнер, Сенсом,1960
	$(6{,}7 \ldots 7{,}6) \cdot 10^{-2}$		Гарнер с соавторами, 1960
	$3{,}28 \cdot 10^{-2}$		Сквайр с соавторами, 1958
	$(4{,}0 \ldots 4{,}2) \cdot 10^{-2}$		Сквайр с соавторами,1961
	$6{,}8 \cdot 10^{-2}$		Миллер с соавторами, 1963
	$(5{,}9 \ldots 6{,}3) \cdot 10^{-2}$		Гордеев, 1967
Теллур-132	$(3{,}0 \ldots 5{,}9) \cdot 10^{-3}$		Сквайр с соавторами, 1958

	$3{,}0 \cdot 10^{-3}$ $4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$4{,}1 \cdot 10^{-3}$	Сквайр с соавторами,1961 Касеай с соавторами, 1963
Йод-133	$(3{,}8 \ldots 4{,}7) \cdot 10^{-2}$	$4{,}25 \cdot 10^{-2}$	Гордеев, 1967
Стронций-89	$(5{,}0 \ldots 5{,}5) \cdot 10^{-3}$ $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ $3{,}5 \cdot 10^{-3}$ $5{,}0 \cdot 10^{-3}$ $(4{,}4 \ldots 5{,}0) \cdot 10^{-3}$	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	Гарнер, Сенсом,1959 Краджль, Демот, 1959 Сквайр, Сенсом и др.,1961 Гарнер с соавторами, 1960 Гордеев, 1967
Стронций-90	$8{,}8 \cdot 10^{-3}$ $(7{,}0 \ldots 1{,}8) \cdot 10^{-3}$ $9{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	Ильин, Москалев, 1957 Анненков, 1964 Рядов, 1966
Цезий-137	$(9{,}6 \ldots 13{,}0) \cdot 10^{-2}$ $7{,}47 \cdot 10^{-2}$ $(7{,}86 \ldots 9{,}1) \cdot 10^{-2}$	$9{,}4 \cdot 10^{-2}$	Худ, Комар, 1953 Ильин, Москалев, 1956 Рядов, 1966
Барий-140	$7{,}9 \cdot 10^{-4}$ $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ $(3{,}2 \ldots 7{,}5) \cdot 10^{-3}$	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	Сквайр с соавторами, 1958 Сквайр с соавторами,1961 Гарнер с соавторами, 1960
Рутений-106	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	Сквайр, Сенсом и др.,1961

Таблица ПБ 3

Коэффициенты ослабления гамма-излучения осевших радиоактивных продуктов ядерного взрыва – $K_{вып.}$ и излучения радиоактивного облака – $K_{обл.}$ некоторыми жилыми и служебными помещениями

№ п/п	Типы зданий и помещений	Число измерений	Среднее значение, $K_{вып}$	Среднее значение, $K_{обл}$
1	Производственные и административные одноэтажные кирпичные здания	16	5,2	
2	Складские и производственные двухэтажные кирпичные здания первый этаж второй этаж	 12 12	 7,4 6,0	
3	Административные четырехэтажные кирпичные здания первый этаж	 3	 7,2	

	второй этаж третий этаж четвертый этаж	3 3 3	11,2 11,2 10 ± 3	
4	Жилые одноэтажные кирпичные дома	9	10	3 ± 0,5
5	Жилые двухэтажные кирпичные дома первый этаж второй этаж	 18 3	 17 ± 3 11 ± 3	 3 ± 0,5 2 ± 0,5
6	Жилые одноэтажные рубленые деревянные дома		2,0 ± 1,0	1,0
7	Щитовые дома с шлаковой засыпкой		5,0 ± 2,5	2,0 ± 0,6
8	Жилые двухэтажные деревянные дома подвал первый этаж второй этаж	 9 9 9	 30 ± 3 12 8	 2 ± 0,5
9	Жилые саманные дома казахского типа	31	13 ± 5	4 ± 1,5
10	Хозяйственные саманные пристройки	12	6,3	1,12

Таблица ПБ 4

Минутный объем дыхания человека в зависимости от возраста, пола и уровня физической активности, л/мин (публикация МКРЗ № 23)

Объект исследования	Состояние покоя	Легкая деятельность	Тяжелая работа	Работа масимальной степени тяжести
Мужчины 30 лет	7,5	20	43	111
Женщины 30 лет	6,0	19	25	90
Юноши 14...16 лет	5,2	–	–	113
Девушки 14...16 лет	4,5	–	–	88
Ребенок 10 лет	4,8	14	–	71
Ребенок до 1 года	1,4	4,2	–	–
Новорожденный	0,5	1,5	–	–

Таблица ПБ 5

Константы метаболизма радионуклидов в организме людей (публикация МКРЗ № 21)

Орган или ткань, подвергающиеся облучению	Радиоизотоп, i	$f_{i,возд}$	$f_{i,вод}$	$E_{i,эф}$, МэВ/расп	λ_i, сут$^{-1}$	$\lambda_{i,\delta}$, сут$^{-1}$	$\lambda_{i,\delta,эф}$, сут$^{-1}$	$\lambda_{i,н}$, сут$^{-1}$
Щитовидная железа	Йод-131	$2{,}3\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	0,23	$8{,}66\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-3}$	$9{,}16\cdot10^{-2}$	3,24
	Йод-132	$2{,}3\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	0,65	7,14	$5\cdot10^{-3}$	7,15	
	Йод-133	$2{,}3\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	0,54	$7{,}97\cdot10^{-1}$	$5\cdot10^{-3}$	$8{,}0\cdot10^{-1}$	3,92
	Йод-134	$2{,}3\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	0,82	19,2	$5\cdot10^{-3}$	19,3	21,6
	Йод-135	$2{,}3\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	0,52	2,47	$5\cdot10^{-3}$	2,48	5,64
	Теллур-132*)	$3{,}8\cdot10^{-1}$	$2{,}5\cdot10^{-1}$	0,21	$2{,}16\cdot10^{-1}$	$4{,}62\cdot10^{-2}$	$2{,}66\cdot10^{-2}$	
Костная ткань	Стронций-89	$2{,}8\cdot10^{-1}$	$2{,}1\cdot10^{-1}$	2,8	$1{,}37\cdot10^{-2}$	$3{,}85\cdot10^{-5}$	$1{,}37\cdot10^{-2}$	
	Стронций-90	$1{,}2\cdot10^{-1}$	$9{,}0\cdot10^{-2}$	5,5	$6{,}93\cdot10^{-5}$	$3{,}85\cdot10^{-5}$	$1{,}1\cdot10^{-4}$	
	Барий-140	$1{,}9\cdot10^{-1}$	$3{,}5\cdot10^{-2}$	4,2	$5{,}41\cdot10^{-2}$	$1{,}06\cdot10^{-2}$	$6{,}47\cdot10^{-2}$	

Условные обозначения:

$f_{i,возд}$ – доля химического элемента, поступающая в орган от общего его количества, задержанного в отделах дыхательного аппарата;

$f_{i,вод}$ – доля химического элемента, поступающая в орган от общего его количества, поступившего в организм перорально;

$E_{i,эф}$ – эффективная энергия бета-излучения *i-го* радионуклида;

λ_i – постоянная скорости физического распада *i-го* радионуклида;

$\lambda_{i,\delta}$ – постоянная скорости биологического выведения *i-го* радионуклида;

$\lambda_{i,\delta,эф}$ – постоянная скорости эффективного биологического выведения *i-го* радионуклида $\lambda_{i,\delta,эф} = \lambda_i + \lambda_{i,\delta}$;

$\lambda_{i,н}$ – постоянная скорости накопления в органе *i-го* радионуклида.

**) Приведенные в таблице характеристики теллура-132 относятся ко всему телу и могут использоваться при расчетах доз облучения щитовидной железы йодом-132, образующимся в организме из теллура-132.*

Таблица ПБ 6

Составы суточных рационов питания, использовавшиеся при оценках внутреннего облучения жителей некоторых населенных пунктов Семипалатинской области в период проведения ядерных испытаний

(по данным опросов населения)

Продукты питания (кг)	НП Долонь (русское население)		НП Саржал, Кайнар, Абай (казахское население)	
	опрос 1959 г.	опрос 1962 г.	опрос 1959 г.	опрос 1962 г.
Хлеб	0,75	0,50	0,80	0,55
Картофель	0,30	0,35	–	0,30
Мясо	0,24	0,05	0,30	0,15
Молоко	1,00	0,6	–	–
Кумыс	–	–	0,50	1,00
Вода	2,50	2,50	2,20	3,00

Таблица ПБ 7

Масса органов условного человека (публикация МКРЗ № 23)

Органы или ткань	Масса	
	г	по отношению к массе всего тела, %
Все тело	70000	100
Мышцы	28000	40
Скелет:		
костная ткань	5000	7,2
кортикулярная ткань	4000	5,7
трабекулярная ткань	1000	1,5
красный костный мозг	1500	2,1
Кровь	5500	7,8
Желудочно-кишечный тракт:		
желудок	150	0,21
кишечник	1000	1,4
ТК	640	0,91
ВТК	210	0,30
НТК	160	0,23
Печень	1800	2,6
Легкие	1000	1,4
Сердце	330	0,47
Почки	310	0,44
Селезенка	180	0,26
Мочевой пузырь	45	0,064
Щитовидная железа	20	0,024

Таблица ПБ 8

Масса организма и щитовидной железы человека в зависимости от его возраста (публикация МКРЗ № 23)

	Новорожденный	1 год	5 лет	10 лет	15 лет	Стандартный взрослый человек
Весь организм, г	3530	12000	20300	33500	55000	70000
Щитовидная железа, г	1,9	2,5	6,1	8,7	15,8	20,0

Таблица ПБ 9

Средняя масса обоих легких в зависимости от пола и возраста (публикация МКРЗ № 23)

Возраст	Масса, г	
	мужчины	женщины
Новорожденный	51,7	50,9
6...7 месяцев	128,5	114,7
9...12 месяцев	142,0	142,1
2...3 года	245,9	244,3
5...6 лет	260,6	319,9
9...10 лет	376,4	358,4
12...13 лет	458,8	681,7
15...16 лет	691,7	708,8
18...19 лет	874,7	654,9
22...40 лет	1169,3	885,5

Таблица ПБ 10

Числовые значения дозовых коэффициентов отдельных радионуклидов для населения, d_{ib} [47]

Радионуклиды, i	Значения дозовых коэффициентов, $d_{i\text{э}}$, для различных возрастов, мЗв/Бк				
	1—2 года	2—7 лет	7—12 лет	12—17 лет	более 17 лет
Ингаляционное поступление					
Стронций-89	$7{,}3 \cdot 10^{-6}$	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1{,}7 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$
Стронций-90	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$3{,}1 \cdot 10^{-5}$	$4{,}1 \cdot 10^{-5}$	$5{,}3 \cdot 10^{-5}$	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$
Йод-131	$7{,}2 \cdot 10^{-5}$	$3{,}7 \cdot 10^{-5}$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$7{,}4 \cdot 10^{-6}$
Теллур-132	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$	$8{,}5 \cdot 10^{-6}$	$4{,}2 \cdot 10^{-6}$	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}8 \cdot 10^{-6}$
Йод-132	$9{,}6 \cdot 10^{-7}$	$4{,}5 \cdot 10^{-7}$	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$	$9{,}4 \cdot 10^{-8}$
Йод-133	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$	$8{,}3 \cdot 10^{-6}$	$3{,}8 \cdot 10^{-6}$	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$
Йод-134	$3{,}7 \cdot 10^{-7}$	$1{,}8 \cdot 10^{-7}$	$9{,}7 \cdot 10^{-8}$	$5{,}9 \cdot 10^{-8}$	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
Йод-135	$3{,}7 \cdot 10^{-6}$	$1{,}7 \cdot 10^{-6}$	$7{,}9 \cdot 10^{-7}$	$4{,}8 \cdot 10^{-7}$	$3{,}2 \cdot 10^{-7}$
Цезий-137	$5{,}4 \cdot 10^{-6}$	$3{,}6 \cdot 10^{-6}$	$3{,}7 \cdot 10^{-6}$	$4{,}4 \cdot 10^{-6}$	$4{,}6 \cdot 10^{-6}$
Барий-140	$7{,}8 \cdot 10^{-6}$	$3{,}6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$
Пероральное поступление					
Стронций-89	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$	$8{,}9 \cdot 10^{-6}$	$5{,}8 \cdot 10^{-6}$	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$
Стронций-90	$7{,}3 \cdot 10^{-5}$	$4{,}7 \cdot 10^{-5}$	$6{,}0 \cdot 10^{-5}$	$8{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}8 \cdot 10^{-5}$
Йод-131	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$3{,}4 \cdot 10^{-5}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$
Теллур-132	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$	$8{,}3 \cdot 10^{-6}$	$5{,}3 \cdot 10^{-6}$	$3{,}8 \cdot 10^{-6}$
Йод-132	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$6{,}2 \cdot 10^{-7}$	$4{,}1 \cdot 10^{-7}$	$2{,}9 \cdot 10^{-7}$
Йод-133	$4{,}4 \cdot 10^{-5}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	$6{,}8 \cdot 10^{-6}$	$4{,}3 \cdot 10^{-6}$
Йод-134	$7{,}5 \cdot 10^{-7}$	$3{,}9 \cdot 10^{-7}$	$2{,}1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}4 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$
Йод-135	$8{,}9 \cdot 10^{-6}$	$4{,}7 \cdot 10^{-6}$	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$	$9{,}3 \cdot 10^{-7}$
Цезий-137	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$	$9{,}6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$
Барий-140	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$	$9{,}2 \cdot 10^{-6}$	$5{,}8 \cdot 10^{-6}$	$3{,}7 \cdot 10^{-6}$	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$

Таблица ПБ 11

Взвешивающие коэффициенты для различных органов и тканей, W_T [2, 3]

Орган или ткань	W_T
Гонады	0,20
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05*)

*) *При расчетах учитывать, что рубрика «Остальное» включает надпочечники, головной мозг, экстраторокальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую железу и матку. В тех исключительных случаях, когда один из перечисленных органов или тканей получает эквивалентную дозу, превышающую самую большую дозу, полученную любым из двенадцати органов или тканей, для которых определены взвешивающие коэффициенты, следует приписывать этому органу или ткани взвешивающий коэффициент, равный 0,025, а оставшимся органам или тканям из рубрики «Остальное» приписать суммарный коэффициент равный 0,025.*

Приложение В
(рекомендуемое)

Метаболические модели расчета поглощенных доз в щитовидной железе при внутреннем облучении органа радиоизотопами йода

В основном тексте методических указаний определение поглощенных доз при внутреннем облучении щитовидной железы осуществляется в соответствии с рекомендациями МКРЗ через дозовые ($d_{iэ}$) и взвешивающие (W_m) коэффициенты (формулы (5.34), (5.54), (5.56), (5.58), (5.64)).

Данный прием может быть принят как допустимый для тех случаев, когда требуется получить некие общие оценки по рассматриваемой популяции людей. В то же время, при проведении эпидемиологических обследований, например, последствий облучения щитовидной железы могут оказаться более полезными оценки поглощенных доз в органе, рассчитываемые на основе метаболических моделей, позволяющих, в определенной степени, индивидуализировать получаемые оценки через учет конкретных антропометрических данных и кинетико-метаболических параметров.

1. Расчет доз внутреннего облучения щитовидной железы при ингаляционном поступлении активности

Как и при подобных оценках, основанных на использовании дозовых и взвешивающих коэффициентов, в представляемых моделях, в качестве критического интервала времени, в течение которого в организм людей через органы дыхания может поступить определяющее количество продуктов ядерного взрыва, рассматривается период формирования радиоактивного следа – $t_{ост} - t_0 = \Delta t_x$. При этом также предполагается, что поступление активности за время Δt_x , как разовое, и происходит оно в момент времени $t_1^{'} = t_0 + 0{,}5\Delta t_x$.

Используемые схемы расчетов учитывают, что накопление в щитовидной железе радиоизотопов йода с массовыми числами 131, 133, 134 и 135 создается в результате прямого поступления в орган, а йода-132 из материнского теллура-132, поступившего в организм и задержавшегося там.

1.1. Модель расчета поглощенных доз в щитовидной железе при поступлении в орган смеси радиоизотопов йода с массовыми числами 131, 133, 134 и 135

Поглощенная доза в щитовидной железе в результате накопления в ней данной смеси радиоизотопов йода ($D_{\substack{щж,и\sum_i^j \\ \Delta t}}$, мГр) за все время от момента поступления ($t_1' = 0$) до полного их выведения ($t \to \infty$), определяется по формуле:

$$D_{\substack{щж,и\sum_i^j \\ \Delta t}} = \frac{1{,}38 \cdot 10^{-2}}{m} \sum_i^j g_{i,\Delta t} E_{i,эф} \frac{\lambda_{i,'}}{\lambda_{i,н} - \lambda_{i,б}} \left(\frac{1}{\lambda_{i,б,эф}} - \frac{1}{\lambda_{i,н}} \right),$$ где (ПВ.1)

$1{,}38 \cdot 10^{-2}$ – размерный коэффициент, мГр·г/Бк·МэВ·сут;

m – масса щитовидной железы, г;

$g_{i,\Delta t}$ – количество активности i-го радиоизотопа йода, поступающее в щитовидную железу, Бк;

$$g_{i,\Delta t} = g_{\Sigma,\Delta t} a_i(t_1') \beta_i f_{i,возд}$$

Здесь $g_{\Sigma,\Delta t}$ – общая активность радионуклидов, которая может поступить в организм людей через незащищенные органы дыхания, Бк. Она определяется согласно (5.25);

$a_i(t_1')$ – доля i-го радионуклида в общей активности биологически значимой фракции выпадений, соответствующая несепарированной смеси продуктов мгновенного деления на момент поступления $t_1' = t_0 + 0{,}5\Delta t_x$, определяемая по табл. ПБ 1 прилож. Б;

β_i – коэффициент растворимости i-го радионуклида, выбираемый из табл. 5.6;

$f_{i,возд}$ – доля i-го радионуклида, поступающая в орган, от общего его количества, задержанного в организме;

$E_{i,эф}$ – эффективная энергия, МэВ;

$\lambda_{i,н}$ – постоянная скорости накопления в органе i-го радионуклида, сут$^{-1}$;

$\lambda_{i,б}$ – постоянная скорости биологического выведения i-го радионуклида, сут$^{-1}$;

$\lambda_{i,б,эф}$ – постоянная скорости эффективного биологического выведения i-го радионуклида, сут$^{-1}$;

$$\lambda_{i,б,эф} = \lambda_i + \lambda_{i,б}$$

λ_i – постоянная скорости распада i-го нуклида, сут$^{-1}$.

Если нет других данных, то значения биофизических констант ($\lambda_{i,н}$, $\lambda_{i,б}$, $\lambda_{i,б,эф}$) могут быть взяты из табл. ПБ 5 прилож. Б, там же приведены значения $f_{i,возд}$ и $E_{i,эф}$.

Величина массы щитовидной железы (m) выбирается в зависимости от возраста человека из табл. ПБ 8 прилож. Б.

При расчетах доз по формуле (ПВ 1) необходимо учитывать, что изотопы йода с массовыми числами 131 и 133 по своим цепочкам радиоактивных превращений практически полностью накапливаются к 5 часам после деления. Указанный отрезок времени существенно меньше периода выведения данных нуклидов из организма. По этой причине данные изотопы йода успевают практически полностью накопиться в организме человека из своих предшественников до максимального значения, соответствующего 5-ти часам после деления. В связи с этим расчеты ингаляционных доз внутреннего облучения щитовидной железы за счет йода-131 и йода-133 для моментов времени $t_1' < 5$ часов после взрыва рекомендуется проводить как для $t_1' = 5$ часов. Это, с одной стороны, упрощает расчеты, а с другой – их уточняет.

1.2. Модель расчета доз внутреннего облучения щитовидной железы йодом-132 при ингаляционном поступлении теллура-132

Развернутая расчетная зависимость для определения поглощенной дозы в щитовидной железе в результате поступления в орган дочернего йода-132 ($D_{\substack{щж,ИТе-I-132 \\ \Delta t}}$, мГр) за время от $t_1' = 0$ до полного выведения из организма материнского теллура-132 ($t \to \infty$), имеет вид:

$$D_{\substack{щж,ИТе-I-132 \\ \Delta t}} = 1{,}24 \cdot 10^{-3} \frac{E_{I-132,эф}}{m \cdot \lambda_{Te-132,б,эф}} g_{\Sigma,\Delta t} \cdot a_{Te-132}(t_1') \times$$

$$\times f_{Te-132,возд} \cdot \beta_{Te-132} \qquad \text{(ПВ 2)}$$

Если ввести в данное уравнение соответствующие биофизические характеристики, содержащиеся в табл. ПБ 5 прилож Б, то получим упрощенную зависимость:

$$D_{\substack{щж,\ иTe-I-132 \\ \Delta t}} = 1{,}15 \cdot 10^{-2} \frac{g_{\Sigma,\Delta t}}{m} a_{Te-132}(t_1') \beta_{Te-132} \qquad \text{(ПВ.2.1)}$$

Значения параметров, входящих в (ПВ.2) и (ПВ.2.1), и порядок их определения указаны выше.

1.3. Оценка доз внутреннего облучения щитовидной железы при ингаляционном поступлении всей смеси радиоизотопов йода

Для определения общей дозы внутреннего облучения щитовидной железы при ингаляционном поступлении радиоактивных продуктов взрыва всей смесью радиоизотопов йода ($D_{\substack{щж,и\sum I \\ \Delta t}}$) проводится суммирование значений, полученных по формулам (ПВ 1) и (ПВ 2).

$$D_{\substack{щж,И\sum I \\ \Delta t}} = D_{\substack{щж,И\sum\limits_{i}^{j} \\ \Delta t}} + D_{\substack{щж,иTe-I-132 \\ \Delta t}} \qquad \text{(ПВ 3)}$$

2. Расчет доз внутреннего облучения щитовидной железы при пероральном поступлении радиоизотопов йода в организм человека

В данных метаболических моделях как и при использовании дозовых коэффициентов предполагается, что основное количество радиоактивных продуктов, поступающих в организм людей происходит пероральным путем и связано с особенностями их рациона. При этом на долю местного молока приходится определяющая часть возможных поступлений.

2.1. Модель расчета доз внутреннего облучения щитовидной железы радиоизотопами йода при употреблении молока от коров, содержащихся на пастбище

В метаболических расчетных моделях также, как в основанных на дозовых коэффициентах, учитываются известные особенности изменения содержания радионуклидов в молоке в двух характерных периодах времени.

Как было показано в основном тексте методических указаний, скоротечность нарастания содержания активности в молоке в первом периоде и его относительная кратковременность ($t_{ост.}...t_{A_{i\max}}$), допускают проведение оценки внутреннего поступления i-го радионуклида по средней объемной активности молока в интервале времени $\tau_{A_{i\max}} = t_{A_{i\max}} - t_{ост.}$, т. е. $\overline{A}_{i,t_{ост.}...t_{A_{i\max}}} = 0{,}5A_{i\max}$.

Во втором периоде, относительно продолжительном, соответствующем $t > t_{A_{i\max}}$, снижение содержания i-го радионуклида в молоке происходит экспоненциально, отражая процессы радиоактивного распада и нерадиационного самоочищения пастбища.

Если начало потребления загрязненного молока совпадает с $t_{ост.}$ и продолжается до $t_{A_{i\max}}$, то общее поступление радионуклида в орган за первый период потребления ($g_{\substack{i,мол \\ (t_{ост.}...t_{A_{i\max}})}}$, Бк) составит:

$$g_{\substack{i,мол \\ (t_{ост}...t_{A_{i\max}})}} = 0{,}5A_{i\max} \cdot V_{мол} \cdot \tau_{A_{i\max}} \cdot f_{i,вод}, \text{ где} \qquad \text{(ПВ 4)}$$

$A_{i\max}$ – максимальное содержание в молоке i-го радионуклида, Бк/л, определяется по формуле (5.41);

$V_{мол}$ – суточное потребление молока, л/сут;

$\tau_{A_{i\max}}$ – продолжительность первого периода, сут;

$f_{i,вод}$ – доля i-го радионуклида, резорбирующая в орган, от общего его количества, поступающего в организм.

Для первого периода поглощенная доза в щитовидной железе ($D_{\substack{ЩЖ\ мол П\sum I \\ (t_{ост.}...t_{A_{i\max}})}}$, мГр) может быть рассчитана по формуле (ПВ 1), в которой $g_{i,\Delta t}$ заменяется на $g_{\substack{i,мол \\ (t_{ост.}...t_{A_{i\max}})}}$, рассчитанное согласно (ПВ 4).

Если загрязненное молоко потребляется и во втором периоде, в интервале времени от $t^* \geq t_{A_{i\max}} = 0$ до τ, то дозовая нагрузка на щитовидную железу ($D_{\substack{ЩЖ\ мол П\ j \\ (t^*...t)}}$, мГр) будет складываться из дозы, полученной за период поступления ($D_{\substack{ЩЖ\ мол П\ j \\ (t^*...\tau)}}$, мГр), и дозы после прекращения по-

ступления радионуклида в организм, в результате распада накопившейся активности ($D_{\substack{ЩЖ\ молП,i\\(\tau\dots t)}}$, мГр).

После решения дифференциальных уравнений, описывающих метаболизм этих процессов в соответствующих временных интервалах, и суммирования полученных результатов, имеем:

$$D_{\substack{ЩЖ\ молП,i\\(t^*\dots t)}} = \frac{1{,}38\cdot 10^{-2}\, g_i(t^*)\cdot f_{i,вод}\cdot E_{i,эф}}{m\cdot \lambda_{i,б,эф}}\times$$

$$\times\left\{\frac{1}{\lambda_i+\lambda_n}\left(1-\exp\left[-\left(\lambda_i+\lambda_n\right)\tau\right]\right)+\frac{\exp\left(-\lambda_{i,б,эф}\cdot t\right)}{\lambda_{i,б}+\lambda_n}\left[1-\exp\left(\lambda_{i,б}+\lambda_n\right)\tau\right]\right\},\ \text{где (ПВ 5)}$$

$g_i(t^*)$ – количество активности i-го радионуклида, попадающее в организм с первым поступлением, Бк, которое равно:

$$g_i(t^*)=A_i(t^*)\cdot V_{мол};$$

λ_n – постоянная скорости очищения пастбищного корма за счет прироста молодой травы на пастбище и предпочтительного ее поедания животными, сут$^{-1}$, выбирается из табл. 5.4.

При определении общей поглощенной дозы внутреннего облучения щитовидной железы в результате употребления молока, загрязненного радиойодом, ($D_{\substack{ЩЖ\ молП\sum I\\(t_{ост}\dots t)}}$, мГр) расчеты по формулам (ПВ 1) и (ПВ 5) следует проводить для двух радиоизотопов йода с массовыми числами 131 и 133. Остальные радиоизотопы йода обладают существенно меньшими периодами полураспада и, по этой причине, в реальных условиях не успевают дойти до потребителя молока.

Таким образом:

$$D_{\substack{ЩЖ\ молП\sum I\\(t_{ост}\dots t)}} = D_{\substack{ЩЖ\ молП\sum_{131}^{133}\\(t_{ост}\dots t_{A_i\max})}} + D_{\substack{ЩЖ\ молП\sum_{131}^{133}\\(t_{A_i\max}\dots t)}} \qquad \text{(ПВ 6)}$$

2.2. Модель расчета доз внутреннего облучения щитовидной железы при употреблении продуктов рациона, загрязненных радиоизотопами йода

Если, кроме пастбищного молока, требуется учесть вклад в общую дозу внутреннего облучения щитовидной железы других загрязненных продуктов, входящих в рацион людей ($D_{\substack{ЩЖ,Bi\\(t_{ост}\dots t)}}$, мГр), то соответствую-

щие расчеты могут быть проведены по формуле (ПВ 5), в которой принимается $\lambda_n = 0$. С учетом этого она приобретает вид:

$$D_{\substack{щж,в,i \\ (t_{ост}-t)}} = \frac{1{,}38 \cdot 10^{-2} \cdot b_i(t_{ост}) \cdot f_{i,вод} \cdot E_{i,эф}}{m \cdot \lambda_{i,б,эф}} \times$$

$$\times \left\{ \frac{1}{\lambda_i} \left[1 - \exp\left(-\lambda_i \tau\right) \right] + \frac{\exp\left(-\lambda_{i,б,эф} \cdot t\right)}{\lambda_{i,б}} \left[1 - \exp\ \lambda_{i,б} \cdot \tau \right] \right\}, \text{ где} \quad \text{(ПВ 7)}$$

$b_i(t_{ост})$ – количество активности i-го радионуклида, поступающее в организм с первым потреблением загрязненного продукта, Бк/сут;

$$b_i(t_{ост}) = B_i(t_{ост}) \cdot G_B \qquad \text{(ПВ 7.1)}$$

$B_i(t_{ост})$ – удельная активность i-го радионуклида в потребляемом продукте, Бк/кг;

G_B – суточное потребление продукта В, кг/сут.

3. Расчет суммарной дозы внутреннего облучения щитовидной железы

Суммарная доза внутреннего облучения щитовидной железы формируется совокупным воздействием радиоизотопов йода, поступающих в организм человека всеми реальными путями. Применительно к условиям, складывающимся для населения, постоянно проживающего в зонах локальных выпадений ядерных взрывов, она равна:

$$D_{щж.и.п\sum I} = \sum_i^j D_{\substack{щж\ и \\ \Delta t}} + D_{\substack{щж\ и\ Te-I-132 \\ \Delta t}} + \sum_B \sum_i^j D_{щж\ B_i} \qquad \text{(ПВ 8)}$$

В выражении (ПВ.8) первые два слагаемые определяют вклад в суммарную поглощенную дозу внутреннего облучения щитовидной железы радиоизотопами йода, которые могли поступить в организм людей ингаляционно в период формирования радиоактивного следа. При этом дозы, создаваемые изотопами йода с массовыми числами 131, 133, 134 и 135, рассчитываются по формуле (ПВ 1), а йодом-132 – по (ПВ 2).

Третье слагаемое имеет сложную структуру. Оно учитывает дозу в щитовидной железе, создающуюся в результате воздействия радиоизотопов йода, поступающих в организм человека пищевым путем. Вели-

чина этой составляющей, а также ее структура, определяются особенностями рациона, конкретной группы населения. Однако, если потребляются продукты местного производства основной вклад в дозу, как правило, дает загрязненное молоко.

При свободном выпасе животных доза, определяемая активностью молока, рассчитывается по формулам (ПВ 1) и (ПВ 5), а если их содержание стойловое, то вместо (ПВ 5) используется формула (ПВ 7).

Если начало употребления загрязненного молока находится в пределах до 7 суток после загрязнения пастбища, то дозы рассчитываются от изотопов йода 131 и 133, а если в более поздние сроки, то только от йода-131.

Для других продуктов рациона величина первого суточного поступления радиоизотопа йода определяется по соотношению (ПВ 7.1), а расчет дозы проводится по формуле (ПВ 7).

В том случае, когда потребление продукта начинается сразу после его загрязнения радиоактивными выпадениями, дозы рассчитываются от изотопов йода 131, 133 и 135, через двое суток – от изотопов 131 и 133, а если позже 7 суток, то только от изотопа йод-131.

Приложение Г
(справочное)

Справочные материалы для расчета доз внешнего гамма-излучения от выпавших продуктов ядерного взрыва с учетом высокой скорости изменения мощности дозы излучения в первые часы после взрыва и защищенности населения в это время

В связи с тем, что мощность дозы гамма-излучения на сформированном радиоактивном следе облака ядерного взрыва меняется во времени с различной скоростью, составляющие общей дозы излучения, создающиеся на открытой местности и в помещениях, оказываются не пропорциональными времени пребывания людей открыто и в помещениях. Значимо это может проявляться в первые часы после взрыва и, особенно, на близких расстояниях от его центра.

Указанные особенности реально могут быть учтены или на основе специальных функциональных решений, или с помощью поправочных коэффициентов.

Раздел 1. Расчет экспозиционных доз гамма-излучения, учитывающий кинетику мощности дозы гамма-излучения на сформированном радиоактивном следе ядерного взрыва и особенности защищенности населения

Оценки подтверждают, что для учета влияния скорости изменения мощности дозы гамма-излучения, а также возможных комбинаций режима защищенности населения на величину дозы облучения, рассчитываемой от $t_{ост}$ до $t=\infty$, с приемлемой для практики точностью, вполне достаточно учитывать указанные влияния за время $24<t<48$ после окончания формирования радиоактивного следа – $t_{ост}$.

Для этого на шкале текущего времени от $t_{ост}$ до $t=\infty$ следует выделить четыре интервала времени, в которых могут проявляться характерные особенности защищенности населения и создаваться дозы излучения, учитывающие эти особенности.

Обозначим указанные интервалы времени и соответствующие им дозы.

Интервалы времени:

- от $t_1=t_{ост}$ до t_2, ему соответствует доза $D_{t_1 \ldots t_2}$;

- от t_2 до t_3, —//— $D_{2\ t_2 \dots t_3}$;
- от t_3 до t_4, —//— $D_{3\ t_3 \dots t_4}$;
- от t_4 до $t=\infty$, —//— $D_{4\ t_4 \dots t=\infty}$.

В пределах первых трех временных интервалов характер защищенности населения может меняться в зависимости от астрономического времени завершения формирования радиоактивного следа в рассматриваемой точке местности ($t_{ост,а}$) и местного суточного цикла нахождения людей на открытом воздухе и в помещениях.

В четвертом интервале времени, когда влияние скорости изменения мощности дозы излучения и комбинации смены режима защищенности становятся некритичными в формировании величины общей дозы излучения, при определении составляющих ее доз (в укрытии и на открытой местности), можно исходить из пропорциональности их величины относительному пребыванию людей в течение суток в помещениях или открыто.

С учетом изложенного общая экспозиционная доза гамма-излучения выпадений, воздействующая на население ($D_{t_{ост} \dots t=\infty}$) определится как сумма интервальных доз, т. е.:

$$D_{t_{ост} \dots t=\infty} = D_{1\ t_{ост} \dots t_2} / K_1 + D_{2\ t_2 \dots t_3} / K_2 + D_{3\ t_3 \dots t_4} / K_3 + D_{4\ t_4 \dots t=\infty}$$, где (ПГ 1)

$K_{1,2,3}$ – параметры защищенности населения. Они приобретают значения:

$K_j = 1$ – если в данном интервале времени люди находились вне помещений;

$K_j = K_{вып}$ – если в данном интервале времени люди находились в помещениях, коэффициент ослабления гамма-излучения которых – $K_{вып}$.

Соответственно, интервальные дозы гамма-излучения определяются по формулам:

$$D_{1\ t_{ост} \dots t_2} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^n}{n-1} \left[\frac{1}{t_{ост}^{n-1}} - \frac{1}{t_2^{n-1}} \right] \qquad \text{(ПГ 2.1)}$$

$$D_{2\ t_2 \dots t_3} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^n}{n-1} \left[\frac{1}{t_2^{n-1}} - \frac{1}{t_3^{n-1}} \right] \qquad \text{(ПГ 2.2)}$$

$$D_{\substack{3\\ t_3..t_4}} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^n}{n-1}\left[\frac{1}{t_3^{n-1}} - \frac{1}{t_4^{n-1}}\right] \qquad \text{(ПГ 2.3)}$$

$$D_{\substack{4\\ t_4..t=\infty}} = P_{t_{ост}} \frac{t_{ост}^n}{t_4^{n-1}(n-1)}\left[\frac{\left(24-\tau_{откр}\right)}{24\cdot K_{вып}} + \frac{\tau_{откр}}{24}\right] \qquad \text{(ПГ 2.4).}$$

По аналогии с (5.15) эффективная доза внешнего гамма-излучения ($E_{вн}$, мЗв) за период времени от t_0 до $t=\infty$, определится формулой:

$$E_{вн} = 6{,}1\cdot 10^{-3} W_R W_T \left[D_{t_{ост}..t=\infty} + \frac{24^n P_{24}\Delta t}{2K_{обл} t_{ост}^n}\left(1+1{,}5q^{-0{,}04}\right)\right], \text{ где} \qquad \text{(ПГ 3)}$$

$D_{t_{ост}..t=\infty}$ рассчитывается по формуле (ПГ 1).

Для определения текущих моментов времени (t_2, t_3, t_4), входящих в формулы (ПГ 2), и параметров защищенности населения (K_1, K_2, K_3) в формуле (ПГ 1) необходимо учитывать местное астрономическое время: момента взрыва ($t_{взр,а}$), окончания формирования радиоактивного следа ($t_{ост,а}$), а также момента начала пребывания населения на открытой местности (вне помещений) – $t_{откр,а}$.

В принципе возможны пять вариантов расчета указанных характеристик, зависящих от местного астрономического времени окончания формирования радиоактивного следа ($t_{ост,а}$).

Так, в частности, радиоактивный след в данной точке местности может сформироваться:

- до начала выхода людей из помещений (до конца нахождения людей в помещениях), в интервале времени от $t_a = 0$ до $t_{откр,а}$;
- в период нахождения людей на открытой местности, в интервале времени от $t_{откр,а}$ до $t_{откр,а} + \tau_{откр}$;
- после окончания нахождения людей на открытой местности (во время нахождения в помещениях), в интервале времени от $t_{откр,а} + \tau_{откр}$ до $t_a = 24.00$;
- в момент выхода населения из помещений, соответствующий местному астрономическому времени – $t_{откр,а}$;

• в момент ухода населения в укрытия, что соответствует местному астрономическому времени $t_{откр,а} + \tau_{откр}$.

Местное астрономическое время окончания формирования радиоактивного следа – $t_{ост,а}$, в общем случае, определяется

$$t_{ост,а} = t_{взр,а} + t_{ост} - 24\,\mathrm{int}\left(\frac{t_{взр,а} + t_{ост}}{24}\right), \text{ где} \qquad (ПГ\ 4)$$

$\mathrm{int}\left(\frac{t_{взр,а} + t_{ост}}{24}\right)$ – целое число суток между временем взрыва и временем окончания формирования радиоактивного следа.

Значения текущих моментов времени и параметров защищенности для каждого из указанных пяти случаев окончания формирования радиоактивного следа приведены в табл. ПГ 1.

Таблица ПГ 1

Значения моментов времени t_2, t_3, t_4 и параметров защищенности населения K_1, K_2, K_3 в зависимости от местного астрономического времени окончания формирования радиоактивного следа – $t_{ост,а}$

№ п/п	Интервалы и моменты астрономического времени окончания формирования радиоактивного следа	t_2	t_3	t_4	K_1	K_2	K_3
1	$0 < t_{ост,а} < t_{откр,а}$	$t_{ост} + (t_{откр,а} - t_{ост,а})$	$t_2 + \tau_{откр}$	$t_3 + 24 - \tau_{откр}$	$K_{вып}$	1	$K_{вып}$
2	$t_{откр,а} < t_{ост,а} < t_{откр,а} + \tau_{откр}$	$t_{ост} + (t_{откр,а} + \tau_{откр} - t_{ост,а})$	$t_2 + 24 - \tau_{откр}$	$t_3 + \tau_{откр}$	1	$K_{вып}$	1
3	$t_{откр,а} + \tau_{откр} < t_{ост,а} < 24$	$t_{ост} + (24 + t_{откр,а} - t_{ост,а})$	$t_2 + \tau_{откр}$	$t_3 + 24 - \tau_{откр}$	$K_{вып}$	1	$K_{вып}$
4	$t_{ост,а} = t_{откр,а}$	$t_{ост} + \tau_{откр}$	$t_2 + 24 - \tau_{откр}$	$t_3 + \tau_{откр}$	1	$K_{вып}$	1

5	$t_{ост,а} = t_{откр,а} + \tau_{откр}$	$t_{ост} + 24 - \tau_{откр}$	$t_2 + \tau_{откр}$	$t_3 + 24 - \tau_{откр}$	$K_{вып}$	1	$K_{вып}$

Раздел 2. Поправочные коэффициенты $K_{t_{ост.},защ.}$ в формуле (5.15), учитывающие время начала облучения на сформированном радиоактивном следе – $t_{ост.}$ и характеристики защищенности населения – $K_{вып.}$, $\tau_{откр.}$

В общем случае коэффициент $K_{t_{ост.},защ.}$ определяется как отношение экспозиционных доз облучения, обусловленных излучением выпавших радиоактивных продуктов, рассчитанных по формуле (ПГ 1) и части формулы (5.15), т. е.

$$K_{t_{ост.},защ.} = \frac{D_{t_{ост.}\ldots t=\infty}\ (ПГ\ 1)}{D_{t_{ост.}\ldots t=\infty}\ (5.15)} \qquad \text{(ПГ 5)}$$

Используемая в соотношении (ПГ 5) часть формулы (5.15) имеет вид:

$$D_{t_{ост.}\ldots t=\infty} = \frac{P_{t_{ост.}} t_{ост.}^{n-1}}{24(n-1)} \left(\tau_{откр.} + \frac{24 - \tau_{откр.}}{K_{вып.}} \right) \qquad \text{(ПГ 6)}$$

Значения коэффициентов $K_{t_{ост.},защ.}$ определенных по соотношению (ПГ 5) для $t_{взр,а} = 6$, 9, 12, 15 ч и $t_{откр,а} = 6$ ч при различном времени окончания формирования радиоактивного следа $t_{ост.}$ – и возможных защитных характеристиках $K_{вып.}$, $\tau_{откр.}$ приведены в табл. ПГ 2.1…ПГ 2.4.

В тех случаях, когда исходные данные будут отличаться от использованных в табл. ПГ 2.1…ПГ 2.4, при определении $K_{t_{ост.},защ.}$ допустимо применение метода экстраполяции. Если и такой прием окажется неприемлемым, то следует воспользоваться решениями, изложенными в разделе 1 настоящего приложения.

Таблица ПГ 2.1

Поправочные коэффициенты $K_{t_{ост},защ}$ в формуле (5.15) при времени взрыва – $t_{взр,а}$ = 6 ч и времени выхода людей из помещений (укрытий) – $t_{откр,а}$ = 6 ч (время взрыва и выхода из помещений местное, астрономическое)

$K_{вып.}$	$\tau_{откр.}$	$t_{ост.}$, ч									
	,ч	1	2	3	5	7	10	15	20	24	36
2	4	1,15	1,07	1,01	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,02	0,99
	8	1,15	1,10	1,07	1,02	0,99	0,97	0,99	1,00	1,02	0,99
	12	1,12	1,09	1,07	1,04	1,02	0,99	0,98	1,00	1,02	0,98
	16	1,08	1,06	1,05	1,03	1,02	1,01	0,99	0,99	1,02	1,00
3	4	1,27	1,12	1,02	0,94	0,96	0,97	0,99	1,00	1,03	0,99
	8	1,24	1,16	1,11	1,03	0,98	0,95	0,98	1,00	1,04	0,98
	12	1,18	1,13	1,10	1,05	1,02	0,99	0,97	0,99	1,03	0,98
	16	1,11	1,08	1,07	1,04	1,03	1,01	0,98	0,99	1,02	1,00
5	4	1,43	1,19	1,04	0,91	0,93	0,95	0,98	1,01	1,05	0,98
	8	1,35	1,23	1,15	1,05	0,97	0,93	0,97	1,00	1,05	0,98
	12	1,24	1,17	1,13	1,07	1,03	0,98	0,96	0,99	1,04	0,97
	16	1,14	1,11	1,09	1,06	1,04	1,01	0,98	0,99	1,03	1,00
7	4	1,53	1,24	1,05	0,88	0,91	0,94	0,98	1,01	1,06	0,98
	8	1,41	1,27	1,18	1,05	0,97	0,91	0,96	1,00	1,06	0,97
	12	1,27	1,19	1,15	1,08	1,04	0,98	0,95	0,99	1,05	0,96
	16	1,16	1,12	1,09	1,06	1,04	1,01	0,98	0,98	1,03	1,00
10	4	1,64	1,29	1,06	0,86	0,89	0,93	0,97	1,01	1,07	0,98
	8	1,46	1,30	1,20	1,06	0,96	0,90	0,96	1,00	1,07	0,97
	12	1,29	1,21	1,16	1,09	1,04	0,98	0,95	0,99	1,05	0,96
	16	1,17	1,13	1,10	1,07	1,04	1,01	0,98	0,98	1,03	1,00

Таблица ПГ 2.2

Поправочные коэффициенты $K_{t_{ост},защ}$ в формуле (5.15) при времени взрыва – $t_{взр,а}$ = 9 ч и времени выхода людей из помещений (укрытий) – $t_{откр,а}$ = 6 ч (время взрыва и выхода из помещений местное, астрономическое)

$K_{вып.}$	$\tau_{откр.}$	$t_{ост.}$, ч									
	,ч	1	2	3	5	7	10	15	20	24	36
2	4	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,00	1,00
	8	1,11	1,05	1,01	0,95	0,96	0,98	0,99	1,01	1,01	0,99
	12	1,10	1,07	1,04	1,01	0,99	0,96	0,99	1,01	1,02	0,99
	16	1,077	1,05	1,04	1,02	1,01	0,99	0,98	1,00	1,01	1,00
3	4	0,89	0,92	0,93	0,95	0,96	0,98	1,00	1,01	1,00	0,99
	8	1,18	1,08	1,02	0,91	0,94	0,96	0,99	1,01	1,02	0,99
	12	1,15	1,10	1,07	1,02	0,99	0,94	0,98	1,01	1,02	0,98
	16	1,10	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99	0,97	1,01	1,02	1,00
5	4	0,83	0,87	0,89	0,92	0,94	0,97	1,00	1,02	1,00	0,99
	8	1,25	1,12	1,03	0,88	0,91	0,94	0,99	1,02	1,03	0,98
	12	1,20	1,16	1,09	1,02	0,98	0,93	0,98	1,01	1,03	0,98
	16	1,13	1,09	1,07	1,04	1,01	0,99	0,97	1,01	1,02	0,99
7	4	0,79	0,83	0,86	0,90	0,93	0,96	1,00	1,03	1,00	0,99
	8	1,29	1,14	1,04	0,86	0,89	0,93	0,99	1,02	1,03	0,98
	12	1,23	1,15	1,10	1,03	0,98	0,92	0,97	1,02	1,03	0,97
	16	1,14	1,10	1,00	1,04	1,02	0,99	0,96	1,01	1,03	0,99
10	4	0,75	0,80	0,83	0,88	0,91	0,95	1,00	1,03	1,00	0,98
	8	1,33	1,15	1,04	0,84	0,88	0,93	0,98	1,03	1,04	0,98
	12	1,25	1,16	1,11	1,03	0,98	0,91	0,97	1,02	1,04	0,97
	16	1,15	1,11	1,08	1,04	1,02	0,99	0,96	1,01	1,03	0,99

Таблица ПГ 2.3

Поправочные коэффициенты $K_{t_{ост.,защ.}}$ в формуле (5.15) при времени взрыва – $t_{взр,а}$ = 12 ч и времени выхода людей из помещений (укрытий) - $t_{откр,а}$ = 6 ч (время взрыва и выхода из помещений местное, астрономическое)

$K_{вып.}$	$\tau_{откр.}$,ч	$t_{ост.}$, ч									
		1	2	3	5	7	10	15	20	24	36
2	4	0,94	0,96	0,96	0,98	0,98	0,99	1,01	1,01	0,99	1,00
	8	1,01	0,92	0,93	0,95	0,97	0,98	1,00	1,02	1,00	1,00
	12	1,07	1,03	1,01	0,97	0,95	0,97	1,00	1,02	1,01	0,99
	16	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,99	1,02	1,01	0,99
3	4	0,90	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,01	0,98	1,00
	8	1,01	0,87	0,90	0,93	0,95	0,98	1,01	1,03	1,00	0,99
	12	1,11	1,05	1,01	0,96	0,93	0,96	1,00	1,03	1,01	0,99
	16	1,08	1,05	1,04	1,01	0,99	0,95	0,99	1,02	1,01	0,99
5	4	0,84	0,88	0,90	0,93	0,96	0,98	1,02	1,02	0,97	1,00
	8	1,02	0,82	0,85	0,90	0,93	0,97	1,01	1,04	1,00	0,99
	12	1,15	1,07	1,02	0,95	0,91	0,95	1,00	1,04	1,02	0,99
	16	1,11	1,07	1,04	1,01	0,99	0,93	0,99	1,03	1,02	0,98
7	4	0,80	0,85	0,88	0,92	0,95	0,98	1,02	1,03	0,96	1,00
	8	1,02	0,79	0,83	0,88	0,92	0,96	1,01	1,05	1,00	0,99
	12	1,16	1,08	1,02	0,94	0,89	0,94	1,00	1,05	1,02	0,99
	16	1,12	1,08	1,05	1,01	0,98	0,93	0,99	1,03	1,02	0,98
10	4	0,76	0,82	0,85	0,90	0,94	0,98	1,02	1,03	0,95	0,99
	8	1,02	0,76	0,80	0,86	0,91	0,95	1,01	1,06	1,00	0,99
	12	1,18	1,08	1,02	0,94	0,89	0,94	1,00	1,05	1,02	0,98
	16	1,13	1,08	1,05	1,01	0,98	0,92	0,99	1,03	1,02	0,98

Таблица ПГ 2.4

Поправочные коэффициенты $K_{t_{ост.},защ.}$ в формуле (5.15) при времени взрыва – $t_{взр,а} = 15$ ч и времени выхода людей из помещений (укрытий) – $t_{откр.,а} = 6$ ч (время взрыва и выхода из помещений местное, астрономическое)

$K_{вып.}$	$\tau_{откр.}$	$t_{ост.}$, ч									
	,ч	1	2	3	5	7	10	15	20	24	36
2	4	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,03	0,99	0,99	1,00
	8	0,91	0,93	0,94	0,97	0,98	1,00	1,03	1,01	0,98	1,00
	12	1,01	0,97	0,92	0,95	0,97	0,99	1,03	1,01	1,00	1,00
	16	1,04	1,02	1,00	0,98	0,95	0,98	1,02	1,01	1,00	1,00
3	4	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,00	1,05	0,97	0,98	1,00
	8	0,85	0,89	0,91	0,94	0,97	1,00	1,05	1,01	0,97	1,00
	12	1,02	0,95	0,88	0,92	0,95	0,98	1,05	1,02	1,00	1,00
	16	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,97	1,03	1,02	1,01	1,00
5	4	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98	1,01	1,07	0,96	0,97	1,00
	8	0,78	0,84	0,87	0,92	0,95	0,99	1,08	1,01	0,96	1,00
	12	1,03	0,93	0,84	0,89	0,93	0,98	1,06	1,02	1,00	1,00
	16	1,08	1,03	1,01	0,97	0,92	0,96	1,04	1,02	1,01	0,99
7	4	0,82	0,87	0,90	0,94	0,97	1,01	1,09	0,95	0,96	1,00
	8	0,75	0,81	0,85	0,91	0,95	0,99	1,09	1,01	0,95	1,00
	12	1,03	0,92	0,82	0,88	0,92	0,97	1,07	1,03	1,00	1,00
	16	1,08	1,04	1,01	0,96	0,91	0,96	1,04	1,02	1,01	0,99
10	4	0,79	0,84	0,88	0,93	0,97	1,01	1,11	0,94	0,96	1,00
	8	0,72	0,79	0,83	0,90	0,94	0,99	1,10	1,02	0,94	1,00
	12	1,03	0,92	0,80	0,87	0,92	0,97	1,07	1,03	1,00	1,00
	16	1,09	1,04	1,01	0,96	0,90	0,93	1,05	1,03	1,01	0,99

Библиографические данные

1. Аветисов Г. М., Бархударов Р. М., Гордеев К. И., Книжников В. А., Маргулис У. Я. и др. Временные основные и производные дозиметрические нормативы для ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АС и населения, проживающего на территории, загрязненной радионуклидами/ Медицина катастроф. Спецвыпуск. Чернобыль 10 лет.—М., 1996.

2. Анненков Б. Н. К вопросу о миграции радиоактивного стронция по цепям корм-корова-молоко. В книге «Распределение, биологическое действие, ускорение выведения радиоактивных изотопов».—М.: Медицина, 1964.

3. Василенко И. Я. Вопросы токсикологии продуктов ядерных взрывов/ Дисс. док. мед. наук. Семипалатинский полигон, 1967.

4. Василенко И. Я. Токсикология радиоактивных продуктов ядерных взрывов: Монография.—М.: Воениздат, 1968.

5. Василенко И. Я. Биологическое значение продуктов ядерного деления// Военно-медицинский журнал.—№ 4.—М., 1978.

6. Гордеев К. И. Основные закономерности формирования доз внешнего и внутреннего облучения на следах подземных ядерных взрывов (экспериментальные исследования)/ Дисс. докт. техн. наук. Семипалатинский полигон, 1970.

7. Гордеев К. И., Лебедев А. Н., Савкин М. Н. Метод ретроспективного восстановления параметров радиационной обстановки, определяющих внутреннее облучение населения на следе ядерного взрыва// Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай», №1.—Барнаул, 1994.

8. Гордеев К. И., Киселев В. И., Лебедев А. Н., Савкин М. Н. и др. Разработка и обоснование моделей расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивном следе ядерного взрыва и некоторые рекомендации их использования// Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай», № 1.—Барнаул, 1995.

9. Гречушкина М. П. Таблицы состава продуктов мгновенного деления U-235, U-238 и Pu-239.—М.: Атомиздат, 1964.

10. Гусев Н. Г., Ковалев Е. Е., Осанов Д. П., Попов В. И. Защита от излучения протяженных источников. Гос. изд. лит. в обл. ат. науки и техники.—М., 1961.

11. Гусев Н. Г. Справочник по радиоактивным излучениям и защите.—М.: Медгиз, 1956.

12. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник.—М.: Энергоатомиздат, 1991.

13. Израэль Ю. А. Условия образования частиц радиоактивных выпадений и фракционирование изотопов при подземном ядерном взрыве с выбросом грунта. ДАН СССР.—Т. 169.—№ 3, 1966.

14. Израэль Ю. А. Влияние ядерных и физико-химических процессов в первые секунды после ядерного взрыва и специфического механического действия подземного взрыва на радиоактивное загрязнение природных сред// Дисс. докт. физ-мат наук: ИПГ ГУТМС, 1969.

15. Израэль Ю. А., Руженцева И. Н. Связь концентрации радиоактивных веществ с параметрами гамма-поля в приземном слое атмосферы при различных выбросах радиоактивных продуктов: Сборник работ по вопросам дозиметрии и радиометрии/ Под ред. А. Д. Туркина.—М.: Атомиздат, 1966.

16. Израэль Ю. А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий.—С-П.: «Прогресс-погода», 1996.

17. Ильин Л. А., Москалев Ю. И. К вопросу об обмене цезия, стронция и смеси бета-излучателей у коров/ Ат. Энергия.—Т.11, 1956.

18. Ильин Д. И., Рядов В. Г., Гордеев К. И. Оценка ингаляционных поступлений продуктов ядерного деления при воздушных, наземных и подземных ядерных взрывах. Материалы симпозиума: ИБФ.—М., 1969.

19. Келлог У., Рапп Р., Гринфельд С. Ближние выпадения продуктов атомного взрыва. В сб. «Метрология и атомная энергия» /Пер. с англ. под ред. Е. К. Федорова.—М.: Изд. ин. лит., 1959.

20. Лейпунский О. И. Гамма-излучение ядерного взрыва.—М.: Атомиздат, 1959.

21. Лоборев В. М., Судаков В. В., Шойхет Я. Н. и др. Радиационное воздействие Семипалатинского полигона на Алтайский край и проблемы количественной оценки этого воздействия. Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай». – № 1.—Барнаул, 1994.

22. Лоборев В. М., Судаков В. В., Зеленов В. И. и др. Реконструкция доз облучения населения Алтайского края от ядерного взрыва 29 августа 1949 года. Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай». – № 1.—Барнаул, 1994.

23. Мартин У. Кинетика первоначальных пищевых цепочек для радиоизотопов ближних радиоактивных выпадений от одиночного ядерного взрыва/ Пер. с англ. под ред. Ю. А. Израэля.—М.: Изд. Мир, 1968.

24. Моисеев А. А., Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене.—М.: Энергоатомиздат, 1990.

25. Осанов Д. П., Лихтарев И. А. Дозиметрия излучения инкорпорированных радиоактивных веществ.—М.: Атомиздат, 1977.

26. Перцовский Е. С., Грузнова Р. М., Соболев А. В. Миграция ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{90}Sr из зерна злаковых и крупяных культур в продукты его переработки, как важное звено перехода радионуклидов из почвы в организм человека// Геохимия.—№ 7, 1993.

27. Петров Р. В., Правецкий В. Н., Степанов Ю. С., Шальнов М. И. Защита от радиоактивных осадков.—М.: Медгиз, 1963.

28. Правила ведения технологических процессов на элеваторах и хлебоприемных предприятиях. Минзагот СССР.—М., 1984.

29. Правила ведения технологических процессов на мукомольных заводах. Госкомиссия СМ СССР по продовольствию и закупкам.—М., 1991.

30. Рассел Р. С. Продовольственные и хозяйственные аспекты радиационной безопасности. В сб. «Защита населения при радиационных авариях». Тр. Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, МАГАТЭ и ВОЗ: Изд. ВОЗ.—Женева, 1966.

31. Рядов В. Г. Аспекты медицинской оценки радиоактивного заражения внешней среды при ядерных взрывах/ Дисс. докт. мед. наук, 1966.

32. Скляров П. М., Тер-Сааков А. А. Режимы защиты в зонах заражения. Гражданская оборона СССР.—№ 2.—М., 1965.

33. Спенсер Л. В. Защита от гамма-излучения радиоактивных выпадений.—М.: Атомиздат, 1965.

34. Стиварт К. Т., Симпсон С. Д. Некоторые биологические последствия выброса продуктов деления в атмосферу. В кн. «Защиты населения при радиационных авариях». Тр. семинара МАГАТЭ и ВОЗ.—Женева, 1963.

35. Тилл Дж., Симон С. Л., Кербер Р. и др. Исследование щитовидной железы в когорте жителей штата Юта. Анализ дозиметрических результатов. Health Phys.—V. 68.—№ 4, 1995/ Пер. с англ. № 206 ГНЦ РФ – ИБФ, 1996.

36. Фрейлинг Э., Крокер Г., Адамс Ч. Образование частиц-осколков ядерного взрыва. В кн. «Радиоактивные выпадения от ядерных взрывов»/ Пер. с англ. под ред. Ю. А. Израэля.—М.: Изд. «Мир», 1968.

37. Хайн Дж., Браунелл Г. Радиационная дозиметрия/ Пер. с англ. под ред. Н. Г. Гусева и К. А. Труханова.—М.: Изд. ин. лит., 1958.

38. Шутов В. Н., Базюкин А. Б., Беклешева Т. А. и др. Прогноз загрязненности естественных трав, растительности и молока радионуклидами цезия и стронция. Радиационная гигиена: Сб. науч. трудов ЛНИИРГ.—Л., 1990.

39. Штуккенберг Ю. М., Степанов Ю. С. Тканевые дозы при поступлении пищи, зараженной радиоактивными продуктами: Инф. сб. МО СССР.—№ 35: Воен. изд. МО СССР, 1965.

40. Bouville A., Dreicer M., Beck H. L. at al. Models of radioiodine transport to populations within the continental U.S. Health Phys.—V. 59.—№ 5: Pergamon Press, 1990.

41. Casey H. W., Case A. C., Mc. Clellan R. O., Bustad L. K. Metabolism of ^{132}T-^{132}I in lactating Seep. Health Physics, 9, 12, 1963.

42. Cragle R. G., Demot B. J. Strontium and calcium uptake and excretion in lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 42, 8, 1959.

43. Dreicer M., Bouville A., Wacholz W. Pasture practices, milk distribution, and consumption in the continental U.S. in the 1950s. Health Phys.—V. 59.—№ 5: Pergamon Press, 1990.

44. Garner R. J, Sansom B. F. Transfer of Iodine-131 and Strontium-90 from diet to milk in cattle. Vet record 71, 32, 1957.

45. Garner R. J., Jones B. F., Sansom B. F. Fission products and the diry cow. 2. Some aspects of metabolism of the alkaline earth elements, calcium and barium. Biochem. J., 76, 3, 1960.

46. Hood S. L., Comar C. L. Metabolism of Cesium-137 in rats and farm animals. Arch. Biochem. and Biophys., 45, 2, 1953.

47. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Safety series.—№ 115.—IAEA Vienna, 1996.

48. Langemann R. W., Swanson E. W. Astudy of the secretion of iodine in milk of dairy cows using daily oral doses of I-131. J. of Dairy Sci., 40, 3, 1957.

49. Miller J. K., Swanson E. W., Cragle R. G. Relation of milk secretion to iodine in milk. Health Physics, 9, 12, 1963.

50. Müller H., Pröhl G. ECOSYS-87: A dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. Health Phys. 64(3): 232—252; 1993.

51. Pröhl G. Modelling of radionuclide transfer in food chains after deposition of Strontium-90, Cesium-137 and Iodine-131 onto agricultural areas. München – Neuherberberg, Germany: GSF – Forschungszentrum; GSF-Report EUR-12553 : 1990a : 289-309.

52. Simon S. L., Lloyd R. D., Till J. E. at. al. Development of a method to estimate thyroid dose from fallout radioiodine in a cohort study. Health Phys.—V. 59.—№ 5. Pergamon Press, 1990.

53. Squire H. M., Middleton L. J., Sansom B. F., Coild C. R. Experiments on the metabolism of certain fission products in dairy cows. Radioisotopes in scientific Res. Proc. of the 1 (UNESCO) Internat. conf., 4, Pergamon, 1958.

54. Squire H. M., Middleton L. J., Sansom B. F. Coild C. R. The metabolism in dairy cows of fission products. Progr. Nucl. Energy, ser.—V1, 3, 1961.

55. Squire H. M., Sansom B. F., Middleton L. J. The metabolism by a dairy cows of fission products obtained from operation Grapple. Progr. Nucl. Energy ser. VI, 3, 1961.

Для заметок

Для заметок

Для заметок

gost.e-ecolog.ru