

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ
ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА**

**ГЛАВНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ ВРАЧ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ
от 21 января 2010 г. N 5**

**ОБ УТВЕРЖДЕНИИ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ
МУ 2.6.1.2574-2010**

В соответствии с Федеральным [законом](#) от 30.03.1999 N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, N 14, ст. 1650; 2002, N 1 (ч. I), ст. 2; 2003, N 2, ст. 167; N 27 (ч. I), ст. 2700; 2004, N 35, ст. 3607; 2005, N 19, ст. 1752; 2006, N 1, ст. 10; N 52 (ч. I), ст. 5498; 2007, N 1 (ч. I), ст. 21, 29; N 27, ст. 3213; N 46, ст. 5554; N 49, ст. 6070; 2008, N 24, ст. 2801; N 29 (ч. I), ст. 3418; N 30 (ч. II), ст. 3616; N 44, ст. 4984; N 52 (ч. I), ст. 6223; 2009, N 1, ст. 17) и [Постановлением](#) Правительства Российской Федерации от 24.07.2000 N 554 "Об утверждении Положения о государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2000, N 31, ст. 3295; 2004, N 8, ст. 663; N 47, ст. 4666; 2005, N 39, ст. 3953) постановляю:

1. Утвердить [Методические указания](#) МУ 2.6.1.2574-2010 "Определение суммарных (накопленных) доз облучения лиц из населения, подвергшихся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне" (приложение).

2. Ввести в действие [Методические указания](#) МУ 2.6.1.2574-2010 с 4 мая 2010 г.

Г.Г.ОНИЩЕНКО

Приложение

Утверждены
Постановлением
Главного государственного
санитарного врача
Российской Федерации
от 21.01.2010 N 5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНЫХ (НАКОПЛЕННЫХ) ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ
ОБЛУЧЕНИЯ ЛИЦ ИЗ НАСЕЛЕНИЯ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИАЦИОННОМУ
ВОЗДЕЙСТВИЮ ВСЛЕДСТВИЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ**

Методические указания МУ 2.6.1.2574-2010

I. Общие положения

1.1. Настоящие Методические указания МУ 2.6.1.2574-2010 (далее - МУ) предназначены для определения значений суммарных (накопленных) эффективных доз облучения граждан, которые проживали в 1949 - 1963 годах в населенных пунктах Российской Федерации и за ее пределами, включенных в утверждаемые Правительством Российской Федерации перечни населенных пунктов, подвергшихся радиационному воздействию вследствие атмосферных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне (далее - лиц из населения).

В соответствии с настоящими МУ определяются дозы облучения лиц из населения различного возраста за любой промежуток времени, включающий или не включающий дату локального выпадения радиоактивных продуктов испытательного ядерного взрыва.

Адресная оценка суммарной (накопленной) эффективной дозы облучения конкретного лица в соответствии с настоящими МУ определяется на основании сведений о датах проживания и возрасте во время проживания этого лица в упомянутых населенных пунктах.

1.2. Установленные в результате адресного применения настоящих МУ оценки доз облучения конкретных лиц из населения предназначаются для вынесения официальных заключений о соответствии (несоответствии) полученных ими суммарных (накопленных) эффективных доз облучения законодательной норме, дающей право на получение установленных Федеральным законом от 10 января 2002 г. N 2-ФЗ "О социальных гарантиях гражданам, подвергшимся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне" <*> льгот и компенсаций в порядке обеспечения гарантий социальной защиты граждан, подвергшихся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне.

<*> Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, N 2, ст. 128; 2004, N 12, ст. 1035, N 35, ст. 3607; 2005, N 1 (часть I), ст. 25; 2007, N 45, ст. 5421; 2008, N 9, ст. 817, N 29 (часть I), ст. 3410, N 30 (часть II), ст. 3616, N 52 (часть I), ст. 6236; 2009, N 18 (часть I), ст. 2152, N 30, ст. 3739.

Вынесение официальных заключений этого содержания в другом порядке не допускается.

1.3. Дозы облучения определяются для расчетной модели человека из наиболее облучаемой группы. Выбор наиболее облучаемой группы осуществляется по соотношению времени пребывания на открытом воздухе (без ослабления дозы) и внутри строений (с частичным ослаблением дозы) с учетом видов занятости населения городской и сельской местности. При расчетах доз облучения всех групп населения по пероральному пути поступления радионуклидов учитываются сведения о сроках проведения основных сельскохозяйственных работ и рационах питания.

1.4. Значения суммарных (накопленных) эффективных доз, установленные в соответствии с настоящими МУ, не должны применяться для проведения эпидемиологических исследований.

II. Требования к исходным данным

2.1. Для определения накопленных эффективных доз облучения лиц из населения, подвергшихся радиационному воздействию испытательного ядерного взрыва, используются исходные данные пяти типов:

а) данные о ядерном взрыве и условиях его проведения;

б) данные о результатах радиационной разведки на радиоактивном следе облака ядерного взрыва за пределами границ полигона;

в) данные об условиях жизни лиц из населения;

г) дозовые коэффициенты при внешнем гамма-облучении человека, ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов в организм;

д) сведения о возрасте, сроках и месте (местах) проживания лиц из населения в населенных пунктах, включаемых в утверждаемые Правительством Российской Федерации перечни населенных пунктов, подвергшихся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне.

2.2. Исходные данные о ядерном взрыве и условиях его проведения включают в себя:

а) полную мощность (тротиловый эквивалент) взрыва q ;

б) мощность взрыва по делению q_f ;

в) состав разделившихся материалов ядерного взрывного устройства $(Pu_{239}, U_{235}, U_{238})$ в соотношении компонентов альфа : альфа : альфа ;

г) астрономическое время проведения t_{ex} (дата и местное время), высоту H и географические координаты (широта ϕ_{ex} и долгота $T_{x\theta}$) эпицентра ядерного взрыва;

д) распределения по высоте атмосферы z модуля скорости ветра $\nu(z)$ и направления ветра $\phi(z)$, измеренные в районе опытной площадки полигона за срок, ближайший к моменту взрыва.

2.3. Результаты радиационной разведки в регионе выпадения радиоактивных продуктов испытательного ядерного взрыва применительно к целям настоящих МУ задаются выкопировкой любого из имеющихся в архиве материалов испытаний, где они представлены в виде:

а) прямых измерений в населенном пункте мощности экспозиционной дозы $\langle * \rangle$ гамма-излучения на высоте l м от поверхности земли $P_{\text{гамма}}^*(t)$ с

указанием времени измерения t ;

$\langle * \rangle$ внесистемная величина "экспозиционная доза" с единицей измерения "рентген" (Р) указывается здесь и далее в связи с использованием ее при измерениях в период проведения испытаний.

б) нанесенных на топографическую основу карт-схем радиоактивного загрязнения поверхности земли в виде изолиний мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и распределений мощности дозы гамма-излучения вдоль оси радиоактивного следа, приведенных к моменту времени t после взрыва;

в) наборов приведенных к моменту времени t после взрыва значений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, измеренных в совокупности точек на радиоактивном следе облака взрыва, не совпадающих с координатами населенных пунктов.

2.4. К исходным данным об условиях жизни лиц относятся:

а) режим проживания лиц из населения на радиоактивно загрязненных территориях с чередованием времени пребывания вне/внутри зданий (задается моментами времени T_1 и T_2 , соответствующими их переходу из состояния "внутри зданий" в состояние "вне зданий" и обратно);

б) численная оценка физического ослабления мощности дозы гамма-излучения $K_{ос}$ и снижения концентраций радиоактивных продуктов в воздухе внутри зданий $K_{в}$ по отношению к аналогичным параметрам на открытой местности;

в) дифференцированное по сезонам либо среднегодовое суточное потребление продуктов питания местного происхождения: мяса, молока, хлеба (ржаного и пшеничного отдельно), листовых овощей в разных возрастных группах населения (до 1 года, от 1 до 2 лет, от 2 до 7 лет, от 7 до 12 лет, от 12 до 17 лет, старше 17 лет);

г) времена наступления основных фаз развития растений, сроки возделывания пищевых и кормовых культур и пастбищного содержания мясомолочного скота, рационы их кормления.

2.5. Преобразование величин, характеризующих физические поля и факторы радиационного воздействия на человека в реальной среде его обитания, в эффективные дозы облучения осуществляется с использованием дозовых коэффициентов трех типов, связывающих:

а) эффективные дозы внешнего облучения человека с величиной поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе в месте пребывания человека;

б) эффективные дозы внутреннего облучения с величиной ингаляционного поступления отдельных радионуклидов в дыхательную систему человека;

в) эффективные дозы внутреннего облучения с величиной перорального поступления отдельных радионуклидов в организм человека.

Дозовые коэффициенты по пункту "а", соответствующие осесимметричному облучению человека гамма-квантами с энергией E , падающими нормально к поверхности цилиндрического фантома (коэффициенты $e_1(E)$), применяются для

определения эффективной дозы облучения открыто расположенного человека от радиоактивных продуктов, выпавших на поверхность земли. Аналогичные коэффициенты, соответствующие изотропному облучению человека гамма-квантами, падающими из верхнего полупространства (коэффициенты $e_2(E)$), применяются для определения эффективных доз облучения человека в условиях его пребывания в зданиях, а также для определения эффективных доз облучения от радиоактивных продуктов, взвешенных в воздухе в период формирования радиоактивного следа.

Умеренно консервативное завышение эффективных доз внутреннего облучения человека в результате ингаляции радиоактивных продуктов взрыва обеспечивается применением в расчетах дозовых коэффициентов по пункту "б", соответствующих стандартизованной дисперсности аэрозоля радиоактивных частиц (логарифмически-нормальное распределение с АМАД = 1 мкм и геометрическим стандартным отклонением 2,5), но дифференцированных по классу растворимости компонентов, содержащихся в объеме и на поверхности радиоактивных частиц (возрастзависимые коэффициенты h_{i0} и h_{i0} , соответственно).

2.6. Сведения о возрасте, сроках и месте проживания конкретного лица задаются датами начала и окончания его проживания в населенном пункте,

географическими координатами населенного пункта (фи_{НП}, Тхэта_{НП} (фи_{НП} - широта, град с.ш., Тхэта_{НП} - долгота, град з.д.) и возрастом в период проживания в этом населенном пункте. Если таких населенных пунктов несколько, указанные выше сведения задаются для каждого из мест проживания лица. Принимается, что время начала его проживания в населенном пункте Т₁ совпадает с 0 часов местного времени даты начала проживания, а время окончания проживания Т₂ - с 24 часами местного времени даты окончания проживания.

III. Требования к порядку определения эффективных доз

3.1. Определение накопленной эффективной дозы облучения конкретного лица соответствует случаю, когда это лицо в период с 1949 г. по 1963 г. непрерывно проживало только в одном из населенных пунктов, подвергшихся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. Если один и тот же населенный пункт подвергся воздействию в результате различных ядерных испытаний, то эффективная доза облучения лица за период его проживания в таком населенном пункте определяется от каждого ядерного испытания отдельно, а результаты суммируются. В случае, когда лицо в указанный период времени последовательно проживало в нескольких населенных пунктах, излагаемая ниже последовательность действий выполняется многократно, и определяются эффективные дозы облучения за периоды времени его проживания в каждом из населенных пунктов с учетом возраста в эти периоды времени. Суммарная (накопленная) эффективная доза облучения лица определяется суммированием эффективных доз, накопленных за периоды времени последовательного проживания в разных населенных пунктах.

3.2. Для расчета вводится декартова система координат, начало которой совмещается с эпицентром ядерного взрыва, ось x направлена на восток, ось y - на север. Отсчет всех углов ведется от северного направления по часовой стрелке. Географические координаты населенного пункта, для которого должны быть выполнены расчеты, преобразуются в декартовы координаты x_{НП}, y_{НП} в соответствии с правилом:

$$\begin{aligned}
 x_{\text{НП}} &= 111 (Тхэта_{\text{НП}} - Тхэта_{\text{ex}}) \cos(\text{Пифи}_{\text{НП}}), \text{ км}, \\
 y_{\text{НП}} &= 111 (\text{фи}_{\text{НП}} - \text{фи}_{\text{ex}}), \text{ км}, \text{ Пи} = \frac{\text{Пи}}{180}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Отсчет времени t ведется от момента взрыва t_{ex}. Моменты времени Т_{r1} и Т_{r2}, определяющие режим проживания человека на радиоактивно загрязненных территориях, а также моменты времени начала и окончания проживания человека в населенном пункте пересчитываются к моменту взрыва:

$$\begin{aligned}
 t_{r1} &= Т_{r1} - t_{\text{ex}}, \quad t_{r2} = Т_{r2} - t_{\text{ex}}, \\
 T_1 &= T_1 - t_{\text{ex}}, \quad T_2 = T_2 - t_{\text{ex}}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

3.3. Определяется значение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в точке с координатами населенного пункта $P_{\text{гамма}}(t)$ на время t после взрыва. Если указанное значение является

результатом прямого измерения в ареале населенного пункта, время t имеет смысл времени измерения. Если измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в ареале населенного пункта не проводились, значение указанной характеристики радиационного поля определяется путем интерполяции в точку с координатами населенного пункта данных измерений, выполненных в соседних точках региона, с использованием одного из двух ниже описанных алгоритмов в зависимости от способа представления

результатов радиационной разведки в архивных документах. Время t в этом случае имеет смысл времени, к которому приведены результаты измерений (обычно 3 часа после взрыва).

Первый алгоритм применяется в тех случаях, когда результаты радиационной разведки на территории региона представлены картами-схемами радиоактивного загрязнения местности, отображенными в виде изолиний мощности экспозиционной дозы и распределений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения вдоль оси радиоактивного следа, приведенных на 3 часа после взрыва. Реализация алгоритма в этом случае включает три этапа.

На первом этапе проводится верификация первичных данных. Она состоит в проверке согласованности осевых распределений со значениями мощностей доз в точках пересечения изолиний с осью следа. При наличии расхождений проводится корректировка положения изолиний в локальных областях, примыкающих к точкам их пересечения с осью следа.

На втором этапе решается задача восстановления двумерного поля мощностей доз гамма-излучения над поверхностью земли в узлах регулярной координатной сетки по координатам линий уровня этого поля. С этой целью используется численный метод, реализующий решение уравнения Пуассона для логарифмов характеристики поля в замкнутых областях двух типов: имеющих внешнюю и внутреннюю границы, совпадающие с линиями уровня двумерного поля, и имеющих только внешнюю границу.

Математическая постановка задачи о восстановлении характеристик радиационного поля в областях первого типа имеет вид:

$$\frac{d^2 \ln P_{\text{гамма}}(x, y)}{dx^2} + \frac{d^2 \ln P_{\text{гамма}}(x, y)}{dy^2} = 0,$$

$$P_{\text{гамма}}(x, y) \Big|_{\Gamma_i} = P_i^{\text{э}},$$

$$P_{\text{гамма}}(x, y) \Big|_{\Gamma_{i+1}} = P_{i+1}^{\text{э}},$$

где $P_{\text{гамма}}(x, y)$ - величина мощности дозы гамма-излучения в точке с

координатами (x, y) , приведенная на время t после взрыва, P_i, P_{i+1} - экспериментальные значения мощностей доз, соответствующие внешней (Γ_i) и внутренней (Γ_{i+1}) границам (линиям уровня) области.

Математическая постановка задачи о восстановлении характеристик радиационного поля в областях второго типа имеет вид:

$$\frac{d \ln P_{\text{гамма}}^*(x, y)}{dx} + \frac{d \ln P_{\text{гамма}}^*(x, y)}{dy} = 0, \quad (4)$$

$$P_{\text{гамма}}^*(x, y) \Big|_{\Gamma} = \begin{cases} \begin{matrix} \varepsilon \\ P_1 \\ \Gamma_1 \end{matrix} \\ f(x, y) \Big|_{\Gamma_2}, \Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \end{cases}$$

где Γ_1 - граница подобласти, Γ_2 - часть ограничивающей изолинии, заключенная между точками ее пересечения с осью следа, Γ_3 - часть оси следа, ограниченная указанными точками, P_1 - величина мощности дозы, равная значению изолинии, $f(x, y)$ - функция, задающая распределение мощности дозы на оси следа.

На третьем этапе полученные в узлах значения мощностей доз интерполируются в координаты населенных пунктов.

Второй алгоритм применяется в тех случаях, когда результаты радиационной разведки территории региона представлены в виде набора результатов измерений, пространственно не объединенных, но приведенных к одному моменту времени после взрыва. Пространственное объединение этих результатов и их интерполяция в точки с координатами населенных пунктов производится с использованием гауссовой модели радиоактивного следа. Сущность этой модели состоит в том, что распределение мощностей доз гамма-излучения в сечениях, перпендикулярных оси радиоактивного следа, на каждой дистанции аппроксимируется нормальным законом. Для полного пространственного описания радиационного поля по результатам обработки данных измерений устанавливаются следующие функции:

$x_0(s), y_0(s)$ - координаты оси радиоактивного следа как функции расстояния s от эпицентра ядерного взрыва, отсчитанного вдоль оси следа;
 $P_{\text{гамма}}^*(t, s)$ - распределение мощностей доз гамма-излучения, приведенных на время t после взрыва, вдоль оси радиоактивного следа;

сигма (s) - зависимость среднеквадратического отклонения рассеяния примеси в сечениях, перпендикулярных оси следа, от расстояния вдоль оси.

Восстановление мощности дозы гамма-излучения в произвольной точке с координатами (x,y) производится с использованием соотношения:

$$P_{\text{гамма}}(x, y) = P_{\text{гамма}}(t_0, s_0) \exp\left(-\frac{r^2}{D}\right), \quad (5)$$

где $D = \left[\frac{\sigma(s_0)}{p_{\text{min}}}\right]^2$, $r = \sqrt{[x - x_0(s_0)]^2 + [y - y_0(s_0)]^2}$, s_0 - величина, соответствующая минимуму функционала,

$$r(s) = \sqrt{[x - x_0(s)]^2 + [y - y_0(s)]^2}. \quad (6)$$

3.4. Методами математического моделирования процессов образования радиоактивных частиц и их выпадения на поверхность земли из объемного источника радиоактивного загрязнения в точке с координатами населенного пункта определяются временные характеристики и дисперсность радиоактивных выпадений, включающие в себя

альфа-гамма - вклад в мощность экспозиционной дозы гамма-излучения радиоактивных частиц, образованных в результате осаждения радионуклидов на частицы раздробленного грунта (далее именуются частицами 1-го типа);

$f_1(d)$ - распределение по размерам d массы выпавших радиоактивных частиц 1-го типа;

$f_2(d)$ - распределение по размерам d массы выпавших радиоактивных частиц конденсационно-коагуляционного происхождения (далее именуются частицами 2-го типа);

t_{n1}, t_{o1} - время начала и окончания выпадения радиоактивных частиц 1-го типа;

t_{n2}, t_{o2} - время начала и окончания выпадения радиоактивных частиц 2-го типа.

Математическая постановка задачи, константное обеспечение и метод ее решения, обеспечивающие определение указанных параметров и функций, приведены в [Приложениях 1 и 2](#) к МУ.

С целью снижения погрешностей определения расчетной информации реализуется двухэтапная процедура вычислений. На первом этапе по исходным данным о распределениях скоростей и направлений ветра по высоте атмосферы, измеренных в районе испытательной площадки полигона за срок, ближайший к моменту взрыва, рассчитывается распределение мощности дозы гамма-излучения на территории региона и определяются расчетные координаты оси радиоактивного следа $x_0(s)$ и $y_0(s)$ как функции расстояния s от эпицентра взрыва, отсчитанного вдоль оси следа. Далее результаты расчета корректируются по фактическим данным радиационной разведки. Смысл корректировки состоит в определении такой угловой поправки Дельта фи к направлениям ветра на всех высотах, при которой новые расчетные координаты оси радиоактивного следа будут минимально отклоняться от фактической оси. В математическом плане эта задача сводится к поиску минимума функционала вида:

$$S = \frac{1}{\Gamma} \int_0^2 \dots \int_0^2 \dots$$

$$\Phi(\Delta\phi) = \frac{1}{S} \int_0^S \sqrt{\quad} \left[\begin{matrix} x_0(s, \Delta\phi) - x_0(s) \\ y_0(s, \Delta\phi) - y_0(s) \end{matrix} \right] ds, \quad (7)$$

где $x_0(s), y_0(s)$ - фактические координаты оси радиоактивного следа, S - расстояние вдоль оси радиоактивного следа до границы зоны, где проводилась радиационная разведка, $x_0(s, \Delta\phi), y_0(s, \Delta\phi)$ - расчетные координаты оси радиоактивного следа при введении поправки $\Delta\phi$;

$$\begin{aligned} x_0(s, \Delta\phi) &= x_0(s) \cos \Delta\phi + y_0(s) \sin \Delta\phi, \\ y_0(s, \Delta\phi) &= -x_0(s) \sin \Delta\phi + y_0(s) \cos \Delta\phi. \end{aligned} \quad (8)$$

На втором этапе проводится расчет искомых параметров и функций с учетом найденной угловой поправки к направлениям ветра.

3.5. Определяется эффективная доза внешнего облучения лица $E_{\text{гамма } 1, 2}(T_1, T_2)$, накопленная за период его проживания в населенном пункте от момента времени T_1 до момента времени T_2 . В общем случае эта величина

является суммой двух компонент $E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{с}}$ и $E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{ню}}$. Первая компонента

$E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{с}}$ обусловлена радиоактивными продуктами, выпавшими на

поверхность земли, вторая компонента ($E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{ню}}$) - радиоактивными продуктами,

взвешенными в приземном слое воздуха в период формирования радиоактивного следа. Ввиду кратковременности периода выпадения радиоактивных частиц в фиксированной точке следа по сравнению с периодом накопления дозы обоснованно считать, что а) степень защищенности человека к воздействию радиоактивных продуктов взрыва в течение этого периода не изменяется и б) накопление дозы от радиоактивных продуктов, взвешенных в воздухе, является одномоментным. С учетом изложенного условие суммирования указанных компонент записывается в виде:

$$E_{\text{гамма } 1, 2}(T_1, T_2) = E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{с}}(T_1, T_2) + \sum_k E_{\text{гамма } k}^{\text{ню}}(t) \delta(t - T_1), \quad (9)$$

где $E_{\text{гамма } k}^{\text{ню}}(t)$ - компоненты эффективной дозы $E_{\text{гамма } k}^{\text{ню}}$, соответствующие радиоактивным частицам k -го типа ($k = 1, 2$), $\delta(t)$ - функция Хевисайда;

$$\delta(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t > 0, \\ 0, & \text{при } t < 0. \end{cases}$$

Определение компоненты дозы $E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{с}}$ производится с использованием соотношений:

$$E_{\text{гамма } 1, 2}^{\text{с}}(T_1, T_2) = \sum_{m, p, k} Q_{pk} \int_{T_1}^{T_2} \sum_i \eta_i(t) \sum_{ik} J_{ik}(t) \sum_j k_{ij} (E_{\text{гамма } ij}^{\text{с}})^* e^{-\lambda_{ij} t} dt, \quad (10)$$

$$Q_{pk} = \frac{\alpha_{\text{гамма } k} P_{\text{гамма } k}(t^*)}{\sum_{m, k} \eta_m(t) \sum_i J_{ik}(t) \sum_j k_{ij} (E_{\text{гамма } ij}^{\text{с}})^*}, \quad (11)$$

$$\alpha_{\text{гамма1}} = \alpha_{\text{гамма}}, \alpha_{\text{гамма2}} = 1 - \alpha_{\text{гамма}}, J_{ik}(t) = \int_0^t f_{pk}(d) a_{ik}(d, t) \text{дельта} d, \quad (11)$$

$$\eta_k(t) = 0,5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{t - t_k}{\sqrt{2} \sigma_k} \right) \right], \operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\xi^2} d\xi, \quad (12)$$

$$t_k = \frac{t_{nk} + t_{ok}}{2}, \sigma_k = \frac{1}{6} (t_{nk} - t_{ok}),$$

$$e_{ij}^s(t) = \begin{cases} e_{ij}^1(E), & \text{при } t_{r1} + n \times T < t < t_{r2} + n \times T, n = 0, 1, \dots, T = 24 \text{ ч,} \\ e_{ij}^2(E) / k_{oc}, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (13)$$

Определение компоненты дозы $E_{\text{гамма}k}^{\text{ню}}(t)$ производится с использованием соотношений:

$$E_{\text{гамма}k}^{\text{ню}}(t) = \begin{cases} E_{\text{гамма}k}^{\text{ню}0}, & \text{при } t_{r1} < t < t_{r2}, \\ E_{\text{гамма}k}^{\text{ню}0} / k_{oc}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{где } E_{\text{гамма}k}^{\text{ню}0} = Q_k \sum_i L_{ik} \sum_j g_{ij} (E_{\text{гамма}ij}^{\text{ню}})^k e_{ij}^2(E), \quad (15)$$

$$L_{ik} = \int_0^{\infty} \frac{f_{pk}(d) a_{ik}(d, t)}{\beta_k(d)} \text{дельта} d, \quad (16)$$

$$\beta_1(d) = \beta_0 + w(z=0, d), \quad \beta_2(d) = \beta_0,$$

$$w(z=0, d) = \frac{3,56 \times 10^{-5} \rho d^2}{1 + 2,53 \times 10^{-4} \sqrt{\rho d}}, \text{ м/с, } [\rho] = \text{г/см}^3, [d] = \text{мкм.}$$

В приведенных соотношениях приняты следующие обозначения физических величин (из числа не обозначенных ранее по тексту МУ):

Q_k - плотность выпадения массы радиоактивных частиц k -го типа, k_m - коэффициент, учитывающий микрорельеф поверхности земли, k_p - коэффициент перехода от экспозиционной дозы к поглощенной дозе гамма-излучения в воздухе, $\eta_k(t)$ - динамика выпадения радиоактивных частиц k -го типа, $a_{ik}(d, t)$ - удельная (на единицу массы частицы) активность i -го радионуклида в частице k -го типа диаметром d на время t после взрыва, $k_{\text{гамма}ij}$, $E_{ij}^{\text{ню}}$ - дифференциальная гамма-постоянная и энергия j -й линии i -го радионуклида, $k_g(E)$, $k_g(E)$ - коэффициенты, учитывающие геометрический фактор при формировании мощности дозы гамма-излучения с энергией квантов E над плоским источником с постоянной плотностью (поверхностной активностью) загрязнения и на границе полубесконечного пространства с постоянной

удельной объемной активностью излучателей, β_0 - скорость сухого осаднения "невесомой" примеси на подстилающую поверхность, $w(z=0,d)$ - скорость гравитационного осаднения частицы 1-го типа диаметром d на высоте поверхности земли, ρ_0 - плотность радиоактивных частиц 1-го типа.

Знак суммы по индексу i в соотношениях (10), (11) и (15) подразумевает суммирование по всем радионуклидам, входящим в состав изобарных цепочек с массовыми номерами от 72 до 160, знак суммы по индексу j - суммирование по всем гамма-линиям i -го радионуклида. В случае, когда t является временем приведения, значение $\epsilon_k(t)$ в соотношении (11) следует принять тождественно равным 1.

Способ определения функций $a_{ik}(d,t)$ изложен в Приложении 2 к МУ, рекомендуемые значения коэффициентов k_{gs} и $k_{gн}$, а также дозовых коэффициентов e_1 и e_2 в зависимости от энергии гамма-квантов приведены в Приложении 4 к МУ. Рекомендуемые значения других величин, встречающихся в приведенных выше формулах: $k_m = 0,8$; $k_p = 0,88$ сГр/Р, $\rho_0 = 2,5$ г/см³, $\beta_0 = 0,01$ м/с.

3.6. Определяется эффективная доза внутреннего облучения лица $H_1(T, T_1)$, накопленная в результате ингаляции радиоактивных продуктов взрыва за период его проживания в населенном пункте от момента времени T_1 до момента времени T .

В общем случае эта величина представляет собой сумму двух компонент H_1 и $H_2(T, T_1)$. Первая компонента (H_1) соответствует эффективной дозе, обусловленной вдыханием воздуха, загрязненного выпадающими из облака взрыва радиоактивными частицами, вторая компонента ($H_2(T, T_1)$) - эффективной дозе вследствие ингаляции радиоактивных аэрозолей, оказавшихся в зоне дыхания в результате их дефляции (вторичного ветрового подъема) с поверхности земли. В силу кратковременности периода выпадения радиоактивных частиц по сравнению с периодом накопления дозы суммирование указанных компонент производится в соответствии с правилом:

$$H_1(T, T_1) = H_1(T, T_1) + \sum_k H_k(t) \delta(t - T_1), \quad (17)$$

где $H_k(t)$ - компоненты эффективной дозы H_1 , соответствующие радиоактивным частицам k -го типа.

Определение компонент дозы $H_k(t)$ и $H_1(T, T_1)$ производится на основании соотношений:

$$H_k(t) = \begin{cases} \sum_i H_{ik}^0, & \text{при } t_1 < t < t_2, \\ \int_0^t \sum_i h_{ik}^0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (18)$$

$$H_{ik}^0 = V Q_{pk} h_{ik}^0, \quad h_{ik}^0 = h_{ik}^0(d=1 \text{ мкм}) + h_{ik}^0 [1 - k_{ik}^0(d=1 \text{ мкм})]$$

$$h_{i2}^0 = h_i^0,$$

$$H_1(T, T_1) = V \beta_0 \sum_i \int_{T_1}^T k_i(\tau) k_i(\tau) e^{-\lambda_i \tau} d\tau \sum_k Q_{pk} h_{ik}^0 \int_0^{\max(d, \tau)} f_{pk}^0(d) a_{ik}^0(d) \beta_0 \delta(d) dd, \quad (19)$$

$$k_d(t) = k_1 \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)t] + k_2 \exp(-\lambda_2 t),$$

$$k_d(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t_{r1} + n \times T < t < t_{r2} + n \times T, n = 0, 1, \dots, T = 24 \text{ ч,} \\ \frac{inh}{k_d}, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$k_d(d) = \frac{a_{i1}(d)}{a_{i1}(0)} \cdot \frac{b_{i1}}{b_{i2}}, \quad k_{i1} = 1.$$

В приведенных соотношениях приняты следующие обозначения физических величин (из числа не упомянутых ранее по тексту МУ):

V_e - скорость вентиляции легких человека, $a_{ik}(d)$ - приведенная к моменту взрыва удельная активность i -го радионуклида в частицах k -го типа размером d , $a_{i1}(d)$ - приведенная к моменту взрыва удельная активность i -го радионуклида, содержащегося на поверхности частицы 1-го типа размером d , λ_i - постоянная распада i -го радионуклида, $d_{i \max}$ - максимальный диаметр частиц, поднимаемых на высоту органов дыхания в результате дефляции.

Знак суммы по индексу i в соотношениях (18) и (19) подразумевает суммирование по основным дозообразующим радионуклидам, актуальным при внутреннем облучении. Перечень этих радионуклидов и соответствующие им значения дозовых коэффициентов h_{i0} и h_i для различных возрастных групп населения приведены в Приложении 4 к МУ. Способ определения функций $a_{ik}(d)$

и $a_{i1}(d)$ изложен в Приложении 2 к МУ. Объемная интенсивность вентиляции легких для разных возрастных групп населения приведена в Приложении 4 к МУ. Рекомендуемые значения других величин, встречающихся в приведенных выше формулах: $\beta = 0,014 \text{ м/с}$, $d_{\max} = 100 \text{ мкм}$, $k_2 = 10^{-9} \text{ м}^{-1}$, $\lambda_1 = 1,46 \times 10^{-7} \text{ с}^{-1}$, $\lambda_2 = 2,2 \times 10^{-10} \text{ с}^{-1}$,

$$k_1 = \begin{cases} 10^{-5} \text{ м}^{-1}, & \text{для сельских условий,} \\ 10^{-4} \text{ м}^{-1}, & \text{для условий города.} \end{cases}$$

3.7. На основе сведений по пунктам 2.4 "в" и 2.4 "г" с использованием метода, описанного в Приложении 3 к МУ, определяются как функции времени, отсчитанного от момента окончания радиоактивных выпадений $t_{ок}$, интенсивности перорального поступления отдельных радионуклидов в организм человека, нормированные на единичные плотности радиоактивного загрязнения поверхности земли каждым радионуклидом, содержащимся в биологически доступных (растворимых) формах на монодисперсных частицах 1-го и 2-го типов диаметром d (функции $I_{i1}^p(d,t)$ и $I_{i2}^p(d,t)$, соответственно). В составе рациона питания человека учитываются мясо, молоко, хлеб (ржаной и пшеничный раздельно) и листовые овощи, загрязненные радионуклидами, перечень которых представлен в Приложении 4 к МУ.

3.8. Определяется эффективная доза внутреннего облучения лица $G(T_1, T_2)$, накопленная в результате потребления им загрязненных продуктов питания местного происхождения за период проживания в населенном пункте от момента времени T_1 до момента времени T_2 :

$$G(T_1, T_2) = \sum_{i=1}^n g_i \sum_{k=1}^m Q_{ik} e^{-\lambda_{ik} t} \int_0^{T_1} f_{pk}(d) a_{ik}^0 b_{ik}(d) \int_{T_1}^{T_2} I_{ik}^p(d, t_{ay} - t_{ok}) dt_{ay} \text{ дельта} d, \quad (20)$$

где g_i - дозовый коэффициент для i -го радионуклида при его пероральном поступлении в организм человека.

Значения коэффициентов g_i , соответствующие различным возрастным группам населения, приведены в [Приложении 4](#) к МУ.

3.9. Полная эффективная доза облучения лица $E(T_1, T_2)$, накопленная за период времени его проживания в населенном пункте от момента T_1 до момента T_2 , определяется суммированием:

$$E(T_1, T_2) = E_{\text{гамма}}(T_1, T_2) + H(T_1, T_2) + G(T_1, T_2). \quad (21)$$

IV. Оценка неопределенности установленных значений эффективных доз

4.1. Неопределенность установленных значений эффективных доз облучения лиц из населения определяется следующими составляющими:

неопределенность ϵ_m метода преобразования мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в точку с координатами населенного пункта в параметры, характеризующие физические поля и факторы радиационного воздействия на человека в реальной среде его обитания (поглощенные дозы в воздухе, ингаляционные и пероральные поступления радионуклидов в организм человека); неопределенность интерполяции измеренной мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в точку с координатами населенного пункта ϵ_r .

В силу независимости указанных составляющих и линейной связи параметров полей и факторов воздействия с величиной мощности дозы общая оцененная неопределенность установленного значения эффективных доз ϵ_E рассчитывается по формуле:

$$\epsilon_E = \sqrt{\epsilon_m^2 + \epsilon_r^2}. \quad (22)$$

4.2. Максимальная суммарная неопределенность для последовательности процедур преобразования мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в параметры указанных выше физических полей и факторов по результатам тестовых расчетов для расстояний от эпицентра взрыва, не превышающих 1000 км, оценивается величиной $\pm 30\%$, что соответствует среднеквадратичному значению $\epsilon_m = 10\%$.

4.3. Значение величины ϵ_r зависит от способа задания исходных данных по [пункту 2.3](#).

Если значение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения является результатом прямого измерения в ареале населенного пункта, то погрешность значения этой величины принимается равной нулю.

Если исходные данные по [пункту 2.3](#) заданы в виде карты-схемы радиоактивного загрязнения местности, то величина ϵ_r рассчитывается по формуле:

$$\text{эпсилон}_p = \exp\left(-\ln \frac{P_{i+1}}{P_i} \frac{1}{36}\right) - 1, \quad (23)$$

где P_i, P_{i+1} - экспериментальные значения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, соответствующие внешней и внутренней границам (линиям уровня) пространственной области, содержащей точку с координатами населенного пункта.

Если исходные данные по [пункту 2.3](#) заданы в виде набора результатов измерений в точках, не совпадающих с координатами населенного пункта, то величина эпсилон рассчитывается по формуле:

$$\text{эпсилон}_p = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{P_{\text{гамма } i}^*(x, y) - (P_{\text{гамма } i}^{\text{э}}(x, y))}{P_{\text{гамма } i}^*(x, y)} \right]^2}, \quad (24)$$

где $P_{\text{гамма } i}^{\text{э}}(x, y)$ - приведенные на время t результаты измерений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в точке с координатами (x, y) ,

$P_{\text{гамма } i}^*(x, y)$ - расчетные значения этой же величины, полученные по [формуле \(5\)](#), N - общее количество точек измерений.

При установлении в соответствии с настоящими МУ значения доз облучения конкретных лиц из населения проводится округление до второй значащей цифры по правилу округления с избытком.

Приложение 1
к МУ 2.6.1.2574-2010,
утверждены Постановлением
Главного государственного
санитарного врача
Российской Федерации
от 21.01.2010 N 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА СЛЕДЕ
ОБЛАКА АТМОСФЕРНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

1. В основе способа определения временных характеристик и дисперсного состава

радиоактивных выпадений на следе облака атмосферного ядерного взрыва лежит математическое моделирование процессов образования радиоактивных частиц, вовлечения их в атмосферу воздушными потоками поднимающегося облака взрыва, последующего выпадения на поверхность земли под воздействием ветра, атмосферной турбулентности и силы гравитации, формирования полей гамма-излучения над радиоактивно загрязненной территорией. Для количественного описания этих процессов используется комплекс физико-математических моделей и методов, включающий в себя:

- метод определения радионуклидного состава радиоактивных частиц;
- модель объемного источника радиоактивного загрязнения внешней среды, представляющую собой совокупность соотношений, описывающих распределение радиоактивных частиц по размерам и пространству возмущенной области атмосферы на момент окончания подъема и стабилизации облака взрыва в атмосфере;
- физико-математическую модель распространения радиоактивных примесей в атмосфере;
- метод расчета характеристик радиационных полей над загрязненной поверхностью земли.

Рассматриваются процессы образования и пространственного переноса радиоактивных частиц двух типов. К радиоактивным частицам 1-го типа отнесены частицы, образующиеся в результате осаждения радионуклидов на частицы раздробленного грунта, к частицам 2-го типа - мелкодисперсные аэрозоли, образующиеся в результате совместной конденсации паров грунта, испаренных конструкционных материалов взрывного устройства и радионуклидов - продуктов деления ядерного горючего.

В результате расчетов по описанному ниже методу в точке с координатами населенного пункта устанавливаются значения следующих характеристик радиоактивного загрязнения:

альфа - вклад в мощность экспозиционной дозы гамма-излучения
 гамма
 радиоактивных частиц 1-го типа;
 $f_1(d)$ - распределение по размерам d массы выпавших радиоактивных
 p_1
 частиц 1-го типа;
 $f_2(d)$ - распределение по размерам d массы выпавших радиоактивных
 p_2
 частиц 2-го типа;
 t_{n1}, t_{o1} - времена начала и окончания выпадения радиоактивных частиц
 1-го типа;
 t_{n2}, t_{o2} - времена начала и окончания выпадения радиоактивных частиц
 2-го типа.

2. Для проведения расчетов задаются следующие исходные данные:

- полная мощность взрыва $q, т$;
- высота взрыва $H, м$;
- распределения модуля скорости $ню(z), м/с$, и направления $фи(z), град.$, штурманского ветра (куда дует) по высоте атмосферы z ;
- горизонтальные (k_x, k_y) и вертикальная (k_z) составляющие коэффициента турбулентной диффузии, $м^2/с$.

3. Алгоритм расчета включает следующие вычислительные процедуры.

3.1. По формуле 1 Приложения 1 к МУ (далее - П.1.1) определяются максимальный (D_{max}) и минимальный (D_{min}) размеры радиоактивных частиц 1-го

максимального, распределенных в источнике загрязнения:

$$D_{\max} = \kappa_1 \exp\left(-\frac{\sigma_1}{M}\right), \quad D_{\min} = \sigma_1 \exp\left(-\frac{\sigma_1}{M}\right), \quad (\text{П.1.1})$$

$$M = \lg e \approx 0,4343,$$

где κ_1 , σ_1 - параметры логарифмически-нормального распределения массы образующихся радиоактивных частиц 1-го типа по их размерам.

Далее диапазон размеров частиц от D_{\min} до D_{\max} разбивается на S фракций и определяются ширина фракции Δd_s и средний размер частиц внутри фракции d_s :

$$\Delta d_s = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{S}, \quad d_s = D_{\min} + \Delta d_s \left(s - \frac{1}{2} \right), \quad s = 1, \dots, S. \quad (\text{П.1.2})$$

3.2. Для среднего размера частиц каждой фракции d_s решается система одномерных дифференциальных уравнений в частных производных следующего вида

$$\frac{dT_{x00}}{dt} - \frac{d}{dz} \left(w T_{x00} \right) - \frac{d}{dz} \left(k \frac{dT_{x00}}{dz} \right) = 0,$$

$$L_x = \nu_x, \quad L_y = \nu_y, \quad L_{\sigma_x} = 2k \frac{dx}{dz} + 2k_x,$$

$$L_{\sigma_y} = 2k \frac{dy}{dz} + 2k_y, \quad L_R = 2k \frac{dx}{dz} \frac{dy}{dz},$$

где L - дифференциальный оператор вида

$$L = \frac{d}{dt} - \left(w + 2k \frac{d \ln T_{x00}}{dz} \right) \frac{d}{dz} - \left(k \frac{d^2}{dz^2} \right), \quad (\text{П.1.4})$$

T_{x00} , x , y , σ_x , σ_y , R - центральные моменты распределения радиоактивной примеси на высоте z атмосферы в момент времени t после взрыва, $w = w(z, d)$ - скорость гравитационного осаждения частицы диаметром d на высоте z атмосферы, ν_x , ν_y - составляющие скорости ветра на высоте z атмосферы по осям x и y , соответственно;

$$\nu_x(z) = \nu(z) \times \sin \phi(z), \quad \nu_y(z) = \nu(z) \times \cos \phi(z), \quad \text{м/с},$$

$$w(z, d) = \frac{3,56 \times 10^{-5}}{H} \times \rho \times d^2, \quad \text{м/с}, \quad (\text{П.1.5})$$

$$s$$

$$1 + 2,29 \times 10^{-4} \times \sqrt{\frac{\rho_a(z) \times d^3}{\rho_n}}$$

$$\rho_a(z) = \begin{cases} 1,23 \times (1 - 2,56 \times 10^{-4} z)^{4,26}, & \text{при } z < 11 \text{ км,} \\ 0,364 \times \exp\{-0,16 \times (z-11)\}, & \text{при } z \geq 11 \text{ км,} \end{cases}$$

ρ_n - плотность радиоактивных частиц 1-го типа, $\rho_a(z)$ - плотность воздуха на высоте z , км, атмосферы; $[\rho_n] = [\rho_a] = \text{г/см}^3$, $[d] = \text{мкм}$.

Граничные условия для задачи (П.1.3), (П.1.4) задаются в виде соотношений:

$$k \frac{dT_{\text{хэта}}}{dz} \Big|_{z=0} + w(0, d) \frac{T_{\text{хэта}}}{s} \Big|_{z=0} = \beta(d) \frac{T_{\text{хэта}}}{s} \Big|_{z=0},$$

$$\frac{dx_c}{dz} \Big|_{z=0} = 0, \quad \frac{dy_c}{dz} \Big|_{z=0} = 0, \quad \frac{d\sigma_x^2}{dz} \Big|_{z=0} = 0, \quad (\text{П.1.6})$$

$$\frac{d\sigma_y^2}{dz} \Big|_{z=0} = 0, \quad \frac{dR_{xy}}{dz} \Big|_{z=0} = 0,$$

$(T_{\text{хэта}}, x_c, y_c, \sigma_x^2, \sigma_y^2, R_{xy}) \rightarrow 0$ при $z \rightarrow \infty$,

где $\beta(d) = \beta_0 + w(0, d)$.

Начальные условия для системы уравнений (П.1.3), (П.1.4) имеют вид:

$$T_{\text{хэта}}(z, 0) = P f_{h1}(z) \phi_1(d/z) \Delta d, \quad s$$

$$x_c(z, 0) = 0, \quad y_c(z, 0) = 0, \quad R_{xy}(z, 0) = 0, \quad (\text{П.1.7})$$

$$\sigma_x^2(z, 0) = \sigma_y^2(z, 0) = \sigma_{r1}^2(z).$$

Расчет значений функций $f_{h1}(z)$, $\phi_1(d/z)$ и $\sigma_{r1}^2(z)$, описывающих объемный источник радиоактивного загрязнения, производится на основе соотношений:

$$f_{h1}(z) = \frac{1}{\dots} \exp\left\{-\frac{(z - H)^2}{2}\right\},$$

$$\varphi_1(d/z) = \frac{M}{\sqrt{\frac{2\pi \times \text{сигма}_h}{d}}} \exp\left\{-\frac{(\lg d - \lg \text{кси}(z))^2}{\frac{2\text{сигма}_h^2}{d}}\right\},$$

$$\text{сигма}_{r1}(z) = \begin{cases} 0, & \text{при } z < H, \\ \frac{1}{6} \times [D + D(z - H)], & \text{при } z \geq H, \end{cases} \quad (\text{П.1.8})$$

$$H_u = 0,001 \times H + 0,5 \times q \frac{1}{3 + 0,13 \times \lg q}, \text{ км},$$

$$H_d = 0,001 \times H + 0,25 \times q \frac{1}{\sqrt{\lg q} \times q \frac{2,6 + 0,4 \times \lg q}{1}}, \text{ км},$$

$$H_c = \frac{(H_u + H_d)}{2}, \text{ км}, \quad H_0 = H_c \times (0,267 \times \lg(q) - 0,499), \text{ км},$$

$$\text{сигма}_h = \frac{(H_u - H_d)}{6}, \text{ км}, \quad D = \begin{cases} 0,02 \times q^{1/3}, \text{ км}, & \text{при } H > 0, \\ 0,02 \times (2q)^{1/3}, \text{ км}, & \text{при } H = 0, \end{cases}$$

$$\text{сигма}_d = \text{сигма}_1 \times \frac{1}{\sqrt{1 - R_{\text{cor}}}}, \quad D = 0,4 \times q \frac{0,13 \times \lg q}{9 + 0,39 \times \lg q}, \quad (\text{П.1.9})$$

$$R_{\text{cor}} = \frac{\text{кси}_1}{3 \times \text{сигма}_1}, \quad \lg \text{кси}(z) = \lg \text{кси}_1 - \frac{\text{сигма}_1 - R_{\text{cor}}}{\text{сигма}_h} \times (H - z).$$

3.3. Радиоактивные частицы 2-го типа рассматриваются как одна фракция с нулевой

скоростью осаждения. Для этих частиц система уравнений (П.1.3), (П.1.4) решается при дополнительном условии $w(z,d) = 0$ и следующих начальных условиях:

$$T_{\text{хэта}}(z,0) = P f(z), \quad x_c(z,0) = 0, \quad y_c(z,0) = 0, \quad (П.1.10)$$

$$R_{xy}(z,0) = 0, \quad \sigma_x^2(z,0) = \sigma_y^2(z,0) = \sigma_r^2(z).$$

Расчет значений функций $f(z)$ и $\sigma_r^2(z)$, описывающих пространственное распределение в объемном источнике загрязнения радиоактивных частиц 2-го типа, производится на основе соотношений:

$$f(z) = \frac{1}{h^2} \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_h^2}\right\}, \quad \sigma_r^2 = \sigma_{r1}^2. \quad (П.1.11)$$

3.4. Массовая концентрация фракции частиц 1-го типа размером d (массовая концентрация частиц 2-го типа) в произвольной точке пространства (x,y,z) на любой момент времени t после взрыва рассчитывается по соотношению:

$$C_s(x,y,z,t) = \frac{T_{\text{хэта}}(z,t)}{2\pi \sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2 - R_{xy}^2}} \exp\left\{-\frac{\sigma_y^2(x-x_c)^2 - 2R_{xy}(x-x_c)(y-y_c) + \sigma_x^2(y-y_c)^2}{2(\sigma_x^2 \sigma_y^2 - R_{xy}^2)}\right\}. \quad (П.1.12)$$

3.5. Плотность выпадения массы фракции радиоактивных частиц 1-го типа размером d в точке с координатами населенного пункта x_{np}, y_{np} определяется численным интегрированием по времени плотности потока массы радиоактивной примеси:

$$\Delta Q_{ps}(d,t) = \beta_s(d) \int_0^t C_s(x_{np}, y_{np}, z=0, \tau) d\tau. \quad (П.1.13)$$

Полная плотность выпадения массы радиоактивных частиц 1-го типа, а также плотность радиоактивного загрязнения поверхности земли i -ым радионуклидом, содержащимся на частицах 1-го типа, находятся суммированием по всем фракциям частиц:

$$Q_{p1}(t) = \sum_{s=1}^S \Delta Q_{ps}(d,t), \quad (П.1.14)$$

$$Q_{i1}(t) = \sum_{s=1}^S a_{i1s}(d,t) \times \Delta Q_{ps}(d,t),$$

где $a_{i1s}(d,t)$ - удельная активность i -го радионуклида в частице 1-го типа диаметром d на время t после взрыва.

Установленная в результате аналогичного интегрирования по времени плотности потока массы радиоактивных частиц 2-го типа величина плотности выпадения массы этих частиц $Q_{p2}(t)$ используется для расчета плотности загрязнения поверхности земли i -ым радионуклидом, содержащимся на частицах 2-го типа:

$$Q_{i2}(t) = Q_{p2}(t) \times a_{i2}(t), \quad (П.1.15)$$

где $a_{i2}(t)$ - удельная активность i -го радионуклида в частицах 2-го

i2

типа на время t после взрыва.

Мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, сформированные выпавшими радиоактивными частицами 1-го и 2-го типов, на время t после взрыва рассчитываются по соотношению:

$$P_{\text{гамма}}(t) = k \sum_{i=1}^s Q_i(t) \sum_{j=1}^s k_{ij}(E_j) \quad , \quad k = 1, 2, \quad (\text{П.1.16})$$

где k - коэффициент, учитывающий микрорельеф поверхности земли, k_{ij} - дифференциальная гамма-постоянная и энергия j-ой линии i-го радионуклида, E_j - энергия j-ой линии i-го радионуклида, $k_{ij}(E_j)$ - коэффициент, учитывающий геометрический фактор при формировании мощности дозы гамма-излучения с энергией квантов E_j над плоским источником с постоянной плотностью (поверхностной активностью) загрязнения.

Знак суммы по индексу i в соотношении (П.1.16) подразумевает суммирование по всем радионуклидам, входящим в состав изобарных цепочек с массовыми номерами от 72 до 160, знак суммы по индексу j - суммирование по всем гамма-линиям i-го радионуклида. Способ определения функций $a_{i1}(d, t)$ и $a_{i2}(t)$ изложен в Приложении 2 к МУ, рекомендуемые значения коэффициента k в зависимости от энергии гамма-квантов приведены в Приложении 4 к МУ. Значения других величин, встречающихся в приведенных выше формулах, следует задавать равными:

$\rho_1 = 200$ мкм, $\sigma_1 = 0,63$ отн. ед., $\rho_n = 2,5$ г/см³,
 $\beta_0 = 0,01$ м/с, $P_1 = 2,6 \times 10^4$ г, $P_2 = 8 \times 10^3$ г,
 $d_m = 30$ мкм, $k_m = 0,8$, $S = 140$,
 $k_x = k_y = \begin{cases} 2,8 \times 10^2 \text{ м}^2/\text{с}, & \text{при } q < 10^5 \text{ т}, \\ 8,2 \times 10^2 \text{ м}^2/\text{с}, & \text{при } q \geq 10^5 \text{ т}, \end{cases} \quad k_z = 20 \text{ м}^2/\text{с}.$

$$\rho_1 = 200 \text{ мкм}, \quad \sigma_1 = 0,63 \text{ отн. ед.}, \quad \rho_n = 2,5 \text{ г/см}^3,$$

$$\beta_0 = 0,01 \text{ м/с}, \quad P_1 = 2,6 \times 10^4 \text{ г}, \quad P_2 = 8 \times 10^3 \text{ г},$$

$$d_m = 30 \text{ мкм}, \quad k_m = 0,8, \quad S = 140, \quad (\text{П.1.17})$$

$$k_x = k_y = \begin{cases} 2,8 \times 10^2 \text{ м}^2/\text{с}, & \text{при } q < 10^5 \text{ т}, \\ 8,2 \times 10^2 \text{ м}^2/\text{с}, & \text{при } q \geq 10^5 \text{ т}, \end{cases} \quad k_z = 20 \text{ м}^2/\text{с}.$$

3.6. Величина альфа гамма рассчитывается по соотношению:

$$\alpha_{\text{гамма}} = \frac{P_{\text{гамма1}}^*(t)}{P_{\text{гамма1}}^*(t) + P_{\text{гамма2}}^*(t)}. \quad (\text{П.1.18})$$

Момент времени t имеет разный смысл в зависимости от способа задания исходных данных по пункту 2.3 МУ. Если исходные данные по пункту 2.3 МУ

заданы в виде "а" и t^* имеет смысл времени измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, то расчет величины альфа гамма проводится строго по формуле (П.1.18). В противном случае входящие в соотношение (П.1.18) величины $P_{\text{гамма1}}^*(t)$ и $P_{\text{гамма2}}^*(t)$ должны рассчитываться по формулам:

$$P_{\text{гаммаk}}^*(t) = k \sum_{i=1}^s Q_{ik}^*(t) \sum_{j=1}^s k_{ij} (E_{ij})_{\text{гаммаij}}, \quad k = 1, 2,$$

$$Q_{i1}^*(t) = \sum_{s=1}^s a_{i1s}^*(d, t) \times \text{Дельта}Q_{ps}^*(d, t = \text{бесконечность}), \quad (\text{П.1.19})$$

$$Q_{i2}^*(t) = Q_{i2}^*(t = \text{бесконечность}) \times a_{i2}^*(t).$$

Условие $t = \text{бесконечность}$ в формулах (П.1.19) подразумевает интегрирование в соотношении (П.1.13) по такому конечному интервалу времени, который заведомо превышает время окончания выпадения радиоактивных частиц в точке с координатами населенного пункта.

Дискретная функция плотности распределения по размерам d массы выпавших радиоактивных частиц 1-го типа определяется по формуле:

$$f_{p1s}(d) = \frac{\text{Дельта}Q_{ps}^*(d, t = \text{бесконечность})}{Q_{p1s}^*(t = \text{бесконечность}) \times \text{Дельта}d_s}. \quad (\text{П.1.20})$$

Функция плотности распределения по размерам d массы выпавших радиоактивных частиц 2-го типа определяется соотношением:

$$f_{p2}(d) = \frac{M}{\sqrt{\frac{1}{2\pi} \times \frac{\text{сигма}^2}{2} \times d}} \exp\left\{-\frac{(\lg d - \lg \text{кси})^2}{2 \times \frac{\text{сигма}^2}{2}}\right\}, \quad (\text{П.1.21})$$

где $\text{кси}_2 = 1,7$ мкм, $\text{сигма}_2 = 0,15$.

Времена начала и окончания выпадения радиоактивных частиц 1-го и 2-го типов рассчитываются по формулам ($k = 1, 2$):

$$t_{nk} = t_k - \Delta t_k, \quad t_{ok} = t_k + \Delta t_k,$$

$$t_k = \frac{1}{Q_{pk}(t = \infty)} \int_0^{\infty} \tau_{ay} \times dQ_{pk}(\tau_{ay}), \quad \sigma_{tk} = \frac{1}{Q_{pk}(t = \infty)} \int_0^{\infty} (\tau_{ay} - t_k)^2 \times dQ_{pk}(\tau_{ay}). \quad (\text{П.1.22})$$

4. Численное решение системы уравнений (П.1.3), (П.1.4) с граничными условиями (П.1.6) и начальными условиями (П.1.7), (П.1.10) проводится с использованием разностной схемы Самарского, представляющей собой абсолютно устойчивую монотонную схему второго порядка точности по координатам и первого порядка точности по времени для уравнения диффузии общего вида. Для вычисления интегралов по времени используются стандартные процедуры с автоматическим выбором шага интегрирования, обеспечивающие относительную погрешность вычислений не более 10^{-3} .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ АТМОСФЕРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВАХ

1. В основе метода определения радионуклидного состава радиоактивных частиц при атмосферных ядерных взрывах лежит двухкаскадная схема индуктивного соосаждения радиоактивных веществ в светящейся области и облаке взрыва. В соответствии с этой схемой рассматриваются процессы осаждения радионуклидов на частицы-носители двух типов. К частицам 1-го типа отнесены частицы расплавленного грунта, образующиеся в результате интенсивного теплового и механического действия ядерного взрыва на грунт подстилающей поверхности, к частицам 2-го типа - мелкодисперсные аэрозоли, образующиеся в результате совместной конденсации паров грунта, испаренных конструкционных материалов взрывного устройства и радионуклидов - продуктов деления ядерного горючего. В результате расчетов по указанной схеме определяются удельные активности произвольного i -го радионуклида в радиоактивных частицах 1-го и 2-го типов на любой момент времени после ядерного взрыва.

2. Для проведения расчетов задаются следующие исходные данные:

- полная мощность взрыва q , т;
- мощность взрыва по делению q_f , т;
- высота взрыва H , м;
- состав разделившихся материалов (Pu_{239} , U_{235} , U_{238}) в соотношении компонентов альфа : альфа : альфа ;
- схемы радиоактивных цепочек распада, периоды полураспада T_i , с, и коэффициенты ветвления радионуклидов;
- независимые выходы радионуклидов при различных типах деления ядерного горючего.

3. Алгоритм расчета включает следующие вычислительные процедуры.

3.1. По формулам 1 Приложения 2 к МУ (далее - П.2.1) определяются моменты времени первого (t_1) и второго (t_2) каскадов конденсации

$$t_1 = 0,1 \times \sqrt[3]{q}, \text{ с,}$$

$$t_2 = \begin{cases} 540 \text{ с, при } q \leq 10^5 \text{ т,} \\ 1200 \times (1 - 0,11 \times \lg q), \text{ с, при } q > 10^5 \text{ т.} \end{cases} \quad (\text{П.2.1})$$

3.2. Определяются независимые выходы радионуклидов, входящих в состав изобарной цепочки, содержащей i -й радионуклид ($j = < i$)

$$Y_j = \frac{1}{\text{альфа}_{239} + \text{альфа}_{235} + \text{альфа}_{238}} (\text{альфа}_{239} Y_j^{239} + \text{альфа}_{235} Y_j^{235} + \text{альфа}_{238} Y_j^{238}), \quad (\text{П.2.2})$$

где Y_j^{239} , Y_j^{235} , Y_j^{238} - независимые выходы j-го радионуклида при делении Pu^{239} и U^{235} нейтронами спектра деления и U^{238} нейтронами с энергией 14 МэВ.

3.3. Рассчитываются активности ядер i-го радионуклида цепочки, содержащихся в газопаровой фазе на моменты времени 1-го и 2-го каскадов конденсации ($A_{i1}(t)$ и $A_{i2}(t)$), соответственно

$$A_{i1}(t) = N \sum_{j=1}^i \lambda_j Y_{ij} f_{ij}(t), \quad \text{Бк}, \quad (\text{П.2.3})$$

$$A_{i2}(t) = \sum_{j=1}^i A_{j1}(t_1) (1 - \beta_{1j}) f_{ij}(t - t_1), \quad \text{Бк},$$

где $\lambda_j = \frac{0,693}{T_j}$ - постоянная распада j-го радионуклида, β_{1j} - коэффициент сосаждения j-го радионуклида на 1-м каскаде конденсации;

$$N_0 = 1,45 \times 10^{20} \frac{q}{f}$$

$$f_{ij}(t) = \lambda_{j+1} \dots \lambda_i \sum_{k=j}^i \frac{e^{-\lambda_k t}}{(\lambda_j - \lambda_k) \dots (\lambda_{k-1} - \lambda_k) (\lambda_{k+1} - \lambda_k) \dots (\lambda_i - \lambda_k)}. \quad (\text{П.2.4})$$

В соотношениях (П.2.3) и (П.2.4) суммирование ведется по всем радионуклидам - предшественникам i-го радионуклида по цепочке радиоактивных превращений.

3.4. Рассчитываются удельные активности i-го радионуклида в объеме (индекс "ню") и на поверхности (индекс "s") частиц 1-го типа диаметром d на моменты времени 1-го и 2-го каскадов конденсации

$$a_{i1}^{ню}(d, t) = \frac{A_i(t) \beta_{i1}}{P_1} \Phi_{i1}^{ню}(d), \text{ Бк/г}, \quad (\text{П.2.5})$$

$$a_{i1}^s(d, t) = \frac{A_i(t) \beta_{i2}}{P_1} \exp\left[-\frac{\sigma_{i1}}{2M} \frac{d}{d_0}\right] \frac{\kappa_{i1}}{d}, \text{ Бк/г},$$

где $M = \lg e \approx 0,4343$, β_{i2} - коэффициент соосаждения i-го радионуклида на 2-ом каскаде конденсации, P_1 - масса радиоактивных частиц 1-го типа, образующихся при ядерном взрыве, г;

$$\Phi_{i1}^{ню}(d) = \begin{cases} 1, & \text{при } d < d_0, \\ 1 - \frac{(d - d_0)^3}{d^3}, & \text{при } d \geq d_0, \end{cases} \quad (\text{П.2.6})$$

$$I = \int_0^{\infty} \Phi_{i1}^{ню}(d) f_1(d) \delta d, \quad f_1(d) = \frac{M}{\sqrt{2\pi} \sigma_{i1} d} \exp\left[-\frac{(\lg d - \lg \kappa_{i1})^2}{2\sigma_{i1}^2}\right], \quad (\text{П.2.7})$$

$$\beta_{i1} = \begin{cases} \exp(0,0523N - 0,485N - 0,728), & \text{отн. ед., при } N \geq 0 \\ 0,48, & \text{отн. ед., при } N < 0, \end{cases} \quad (\text{П.2.8})$$

$$d_0 = \begin{cases} 20 \times q \exp(-N/2), & \text{мкм, при } N \geq 0, \\ 20 \times q, & \text{мкм, при } N < 0, \end{cases}$$

$$N = N/q^{1/3}, \quad m/t = q^{1/3}, \quad P_1 = 2,6 \times 10^4 q, \quad \kappa_{i1} = 200 \text{ мкм}, \quad \sigma_{i1} = 0,63, \quad [d] = \text{мкм}.$$

Значения коэффициентов соосаждения β_{i1} и β_{i2} определяются принадлежностью i-го радионуклида к одной из четырех термодинамических групп химических элементов в соответствии с таблицей 1 Приложения 2 к МУ (далее - таблица П.2.1).

Коэффициенты соосаждения радионуклидов

Коэффициент, отн. ед.	Группа элементов			
	Ga, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd	Ge, As, Se, Rb, Cs, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Sn, Cd, In, Sb, Te	Br, I	Kr, Xe
бета 1i	1	0,32	0,05	0,013
бета 2i	1	1	0,1	0,037

3.5. Рассчитываются удельные активности i-го радионуклида в объеме (индекс "ню") и на поверхности (индекс "s") радиоактивных частиц 2-го типа на моменты времени 1-го и 2-го каскадов конденсации

$$a_{i2\ 1\ \text{ню}}(t) = \frac{A_i(t) \beta_{1i} (1 - \beta_{1i})}{P_2}, \text{ Бк/г,} \tag{П.2.9}$$

$$a_{i2\ 2\ \text{s}}(t) = \frac{A_i(t) \beta_{2i} (1 - \beta_{2i})}{P_2}, \text{ Бк/г,}$$

где P_2 - масса радиоактивных частиц 2-го типа, образующихся при ядерном взрыве, г;

$$P_2 = 8 \times 10^3 \text{ г.} \tag{П.2.10}$$

3.6. Удельные активности i-го радионуклида в частицах 1-го и 2-го типов на любой момент времени t , s , после ядерного взрыва, превышающий время t_0 , рассчитываются по формулам:

$$a_{i1}(d,t) = \sum_{j=1}^i a_{j1\ \text{ню}}(d,t) f_{1ij}(t - t_0) + \sum_{j=1}^s a_{j1\ 2}(d,t) f_{2ij}(t - t_0)], \text{ Бк/г,} \tag{П.2.11}$$

$$a_{i2}(t) = \sum_{j=1}^i a_{j2\ 1}(t) f_{1ij}(t - t_0) + \sum_{j=2}^s a_{j2\ 2}(t) f_{2ij}(t - t_0)], \text{ Бк/г}$$

3.7. Приведенные к моменту взрыва удельные активности i-го радионуклида, содержащиеся на частицах ($a_{i1}(d), a_{i2}(d)$), в объеме ($a_{i1}(d), a_{i2}(d)$) и на поверхности ($a_{i1}(s), a_{i2}(s)$) частиц, рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned}
& a_{i1}^{(d)} = e^{-\lambda_{i1} t} \sum_{j=1}^n a_{j1}^{(d,t)}, \quad a_{i1}^{(d)} = e^{-\lambda_{i1} t} \sum_{j=1}^n a_{j1}^{(d,t)}, \\
& a_{i2} = e^{-\lambda_{i2} t} \sum_{j=1}^n a_{j2}^{(t)}, \quad a_{i2} = e^{-\lambda_{i2} t} \sum_{j=1}^n a_{j2}^{(t)}, \quad (\text{П.2.12}) \\
& a_{i1}^{(d)} = a_{i1}^{(d)} + a_{i1}^{(d)}, \quad a_{i2} = a_{i2} + a_{i2},
\end{aligned}$$

где t_n - момент времени, равный 24 ч ($t_n = 8,64 \times 10^4$ с).

Приложение 3
к МУ 2.6.1.2574-2010,
утверждены Постановлением
Главного государственного
санитарного врача
Российской Федерации
от 21.01.2010 N 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОСТУПЛЕНИЙ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С ЗАГРЯЗНЕННЫМИ ПРОДУКТАМИ ПИТАНИЯ МЕСТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

1. В основе способа определения интенсивностей перорального поступления радионуклидов в организм человека при его проживании на следе облака атмосферного ядерного взрыва лежит математическое моделирование процессов миграции радионуклидов в системах "почва" - "растение" - "животное" - "человек" и "почва" - "растение" - "человек".

Для количественного описания этих процессов используются следующие математические модели:

- модели расчета величины первоначального задержания радиоактивных частиц растениями;
- модель метаболизма радионуклидов в организме мясомолочного скота;
- камерная модель миграции радионуклидов в системе "почва" - "растение";
- модель рационов кормления мясомолочного скота;
- модель потребления продуктов питания человеком.

Блок-схемы камерной модели миграции радионуклидов в пищевых цепях и модели метаболизма радионуклидов в организме мясомолочного скота представлены на [рисунках 1 и 2](#) [Приложения 3](#) к МУ (далее - рисунок П.3.1 и П.3.2). Рассматриваются воздушный и корневой пути

формирования радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных растений. При воздушном пути загрязнения учитываются процессы непосредственного загрязнения надземных частей растений радиоактивными выпадениями и их последующего загрязнения частицами почвы, поднятыми с подстилающей поверхности в приповерхностный слой воздуха с брызгами дождя или за счет вторичного пылеобразования; процессы очищения поверхностей растений за счет выветривания и смывания осадками. При расчете корневого (почвенного) пути загрязнения учитывается поступление радионуклидов в растения из загрязненного корнеобитаемого слоя почвы посредством корневого усвоения.

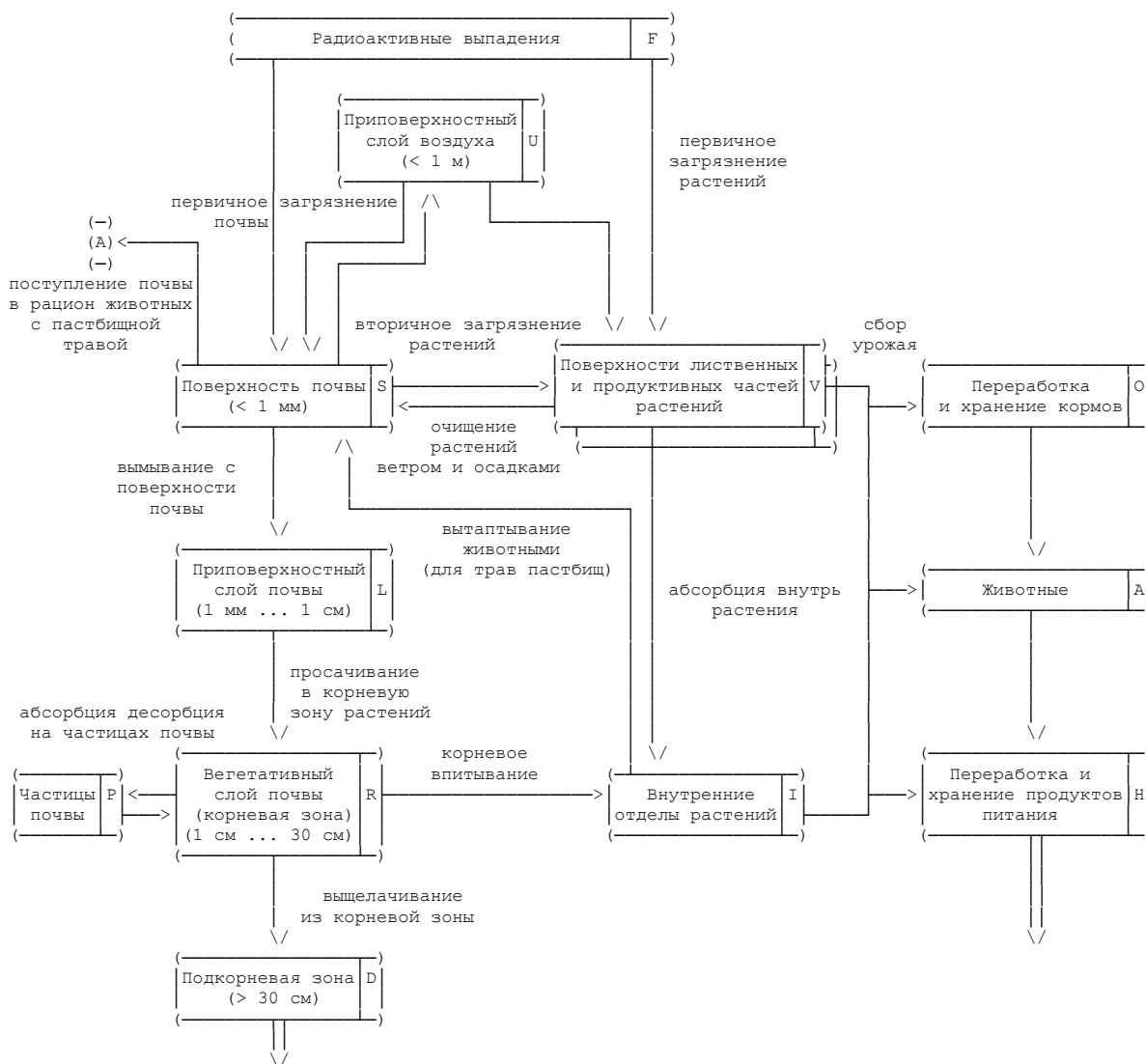
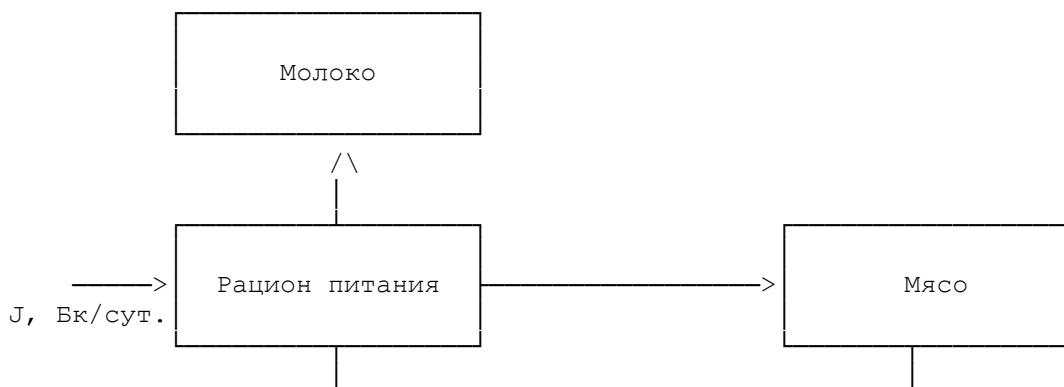


Рисунок П.3.1 - Блок-схема камерной модели миграции радионуклидов по пищевым цепям.



выведение с фекалиями

выведение с мочой и радиоактивный распад

Рисунок П.3.2 - Блок-схема модели метаболизма радионуклидов в организме мясомолочного скота.

В результате расчетов по указанным выше моделям определяются как функции времени, отсчитанного от момента окончания радиоактивных выпадений t , интенсивности перорального поступления отдельных радионуклидов в организм человека, нормированные на единичные плотности радиоактивного загрязнения поверхности земли каждым радионуклидом, содержащимся в биологически доступных (растворимых) формах на монодисперсных частицах 1-го

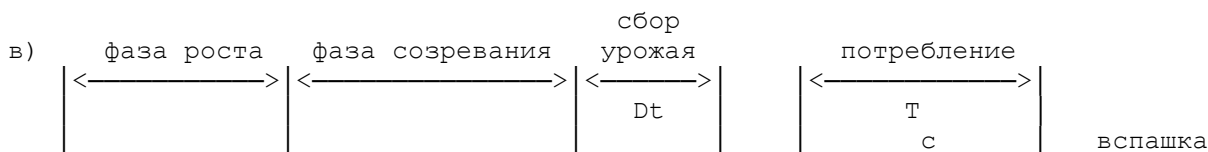
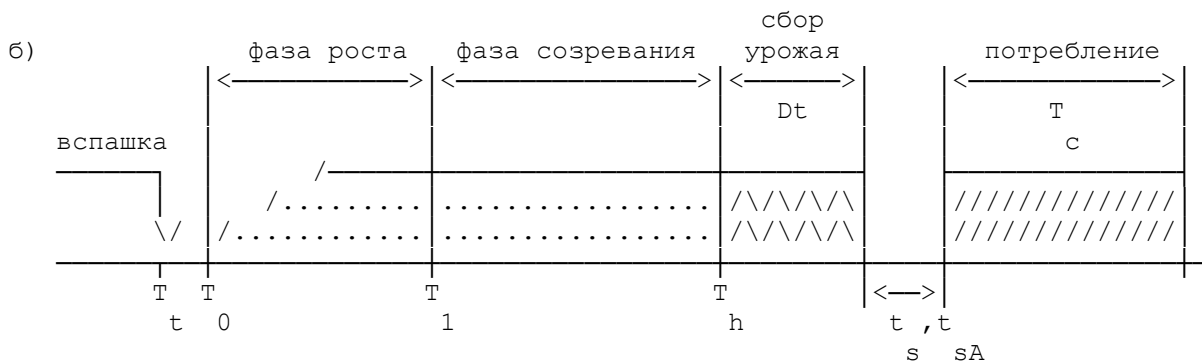
и 2-го типов диаметром d (функции $I_{i1}(d, t)$ и $I_{i2}(d, t)$, соответственно).

2. Для проведения расчетов задаются следующие исходные данные:

- дифференцированное по сезонам либо среднегодовое суточное потребление продуктов питания местного происхождения: мяса, молока, хлеба (ржаного и пшеничного раздельно), листовых овощей разными возрастными группами населения (до 1 года, от 1 до 2 лет, от 2 до 7 лет, от 7 до 12 лет, от 12 до 17 лет, старше 17 лет);

- времена наступления основных фаз развития растений, сроки возделывания пищевых и кормовых культур и пастбищного содержания мясомолочного скота, рационы их кормления.

Расчеты проводятся для четырех продуктов питания человека: молоко, мясо, листовые овощи и хлеб. На рисунке П.3.3 показана временная диаграмма, характеризующая сроки проведения сельскохозяйственных работ, времена наступления основных фаз развития растений и характерные времена потребления продукции растениеводства.



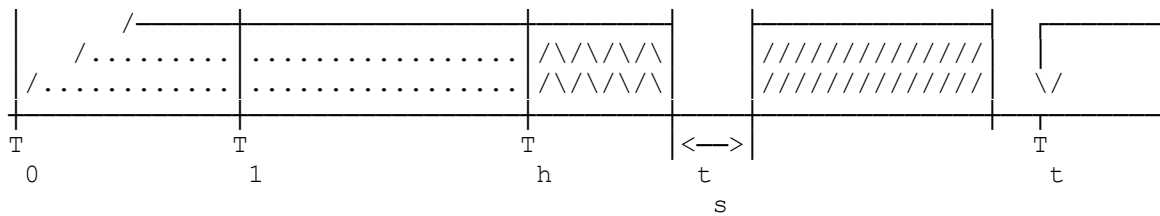


Рисунок П.3.3 - Временная диаграмма основных событий, определяющих радиоактивное загрязнение продукции растениеводства; а) сельскохозяйственные культуры, потребляемые в свежем виде (листовые овощи, пастбищная трава); б) заготавливаемые яровые сельскохозяйственные культуры (пшеница, травы сенокосов); в) заготавливаемые озимые сельскохозяйственные культуры (рожь);

Обозначения, принятые на рисунке П.3.3:

- T - время проведения вспашки почвы;
- t - время начала всходов;
- T₀ - время начала всходов;
- T₁ - время набора максимальной величины биомассы на поле;
- T_h - время начала сбора урожая;
- Dt - продолжительность сбора урожая;
- t - время выдержки до начала потребления соответствующего продукта питания;
- t_{SA} - время выдержки до начала потребления соответствующего корма мясомолочного скота;
- T_c - продолжительность потребления продукта питания.

Все характерные времена задаются в сутках от начала года.
 3. Функции, задающие интенсивности перерального поступления i-радионуклида, содержащегося на частицах k-типа (k = 1, 2), с j-продуктом питания (I_{ikj}(d,t)), определяются на основе решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка следующего вида:
 Листовые овощи, потребляемые в свежем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{dQ_{SSi}(t')}{dt} &= -(K_{per} + K_{res} \times f(d) + \lambda) \times Q_{SSi} + K_w \times Q_{VSi}, \\
 \frac{dQ_{VSi}(t')}{dt} &= -(K_w + K_{tr} + \lambda) \times Q_{VSi} + K_{res} \times f(d) \times Q_{SSi}, \\
 \frac{dQ_{VIi}(t')}{dt} &= -\lambda \times Q_{VIi} + K_{tr} \times Q_{VSi} + K_{root} \times Q_R, \\
 \frac{dQ_{S1i}(t')}{dt} &= -(K_L + \lambda) \times Q_{S1i} + K_{per} \times Q_{SSi}, \\
 \frac{dQ_{Ri}(t')}{dt} &= -(K_R + K_{root} + \lambda) \times Q_{Ri} + K_L \times Q_{S1i},
 \end{aligned} \tag{П.3.1}$$

удельное загрязнение продуктов, потребляемых в свежем виде

$$t' \text{ принадлежит } [t_k \dots T_h + Dt],$$

$$P_i(t') = \frac{Q_{VSi}(t') + Q_{VIi}(t')}{B(t')} \times f_w \times f_r.$$

Заготавливаемые листовые овощи, яровая пшеница, озимая рожь

$$\begin{aligned}
 \frac{dQ_{SS_i}(t')}{dt} &= -(K_{per} + K_{res} \times f(d) + \lambda) \times Q_{SS_i} + K_w \times Q_{VS_i}, \\
 \frac{dQ_{VS_i}(t')}{dt} &= -(K_w + K_{tr_i} + \lambda) \times Q_{VS_i} + K_{res} \times f(d) \times Q_{SS_i}, \\
 \frac{dQ_{VI_i}(t')}{dt} &= -\lambda \times Q_{VI_i} + K_{tr_i} \times Q_{VS_i} + K_{root_i} \times Q_{R_i}, \quad (П.3.2) \\
 \frac{dQ_{S1_i}(t')}{dt} &= -(K_L + \lambda) \times Q_{S1_i} + K_{per} \times Q_{SS_i}, \\
 \frac{dQ_{R_i}(t')}{dt} &= -(K_R + K_{root_i} + \lambda) \times Q_{R_i} + K_L \times Q_{S1_i},
 \end{aligned}$$

удельное загрязнение заготавливаемых продуктов

$$t' \text{ принадлежит } [T_h + Dt \dots T_h + Dt + T_c],$$

$$P_i(t') = \int_{T_h}^{T_h + Dt} \frac{Q_{VI_i}(t' - T) + Q_{VS_i}(t' - T) - \lambda \times Q_{VI_i}(t' - T - Dt) - \lambda \times Q_{VS_i}(t' - T - Dt)}{B(t' - T)} \times e^{-\lambda(t' - T)} \times f_w \times f_c \times f_r \cdot dt$$

Молоко (пастбищный период содержания коров)

$$\begin{aligned}
 \frac{dQ_{SS_i}(t')}{dt} &= -(K_{per} + K_{res} \times f(d) + \lambda) \times Q_{SS_i} + K_w \times Q_{VS_i}, \\
 \frac{dQ_{VS_i}(t')}{dt} &= -(K_w + K_{tr_i} + \lambda) \times Q_{VS_i} + K_{res} \times f(d) \times Q_{SS_i}, \\
 \frac{dQ_{VI_i}(t')}{dt} &= -\lambda \times Q_{VI_i} + K_{tr_i} \times Q_{VS_i} + K_{root_i} \times Q_{R_i}, \quad (П.3.3) \\
 \frac{dQ_{S1_i}(t')}{dt} &= -(K_L + \lambda) \times Q_{S1_i} + K_{per} \times Q_{SS_i}, \\
 \frac{dQ_{R_i}(t')}{dt} &= -(K_R + K_{root_i} + \lambda) \times Q_{R_i} + K_L \times Q_{S1_i},
 \end{aligned}$$

удельное загрязнение молока

$$t' \text{ принадлежит } [T_h \dots T_h + Dt],$$

$$Q_{VS_i}(t') + Q_{VI_i}(t') \quad Q_{SS_i}(t')$$

$$Q_{mk_i}(t') = (FV_{cow} \times \frac{1}{B(t')} + FS \times \frac{1}{x \times x_{po_s}}) \times F_{mk_i},$$

t' принадлежит [t_k ... T_h + Dt],

$$P_i(t') = Q_{mk_i}(t') \times f_r.$$

Молоко (стойловый период содержания коров)

$$\left[\begin{aligned} \frac{dQ_{SS_i}(t')}{dt} &= -(K_{per} + K_{res} \times f_{VS}(d) + \lambda) \times Q_{SS_i} + K_w \times Q_{VS_i}, \\ \frac{dQ_{VS_i}(t')}{dt} &= -(K_w + K_{tr_i} + \lambda) \times Q_{VS_i} + K_{res} \times f_{VS}(d) \times Q_{SS_i}, \\ \frac{dQ_{VI_i}(t')}{dt} &= -\lambda \times Q_{VI_i} + K_{tr_i} \times Q_{VS_i} + K_{root_i} \times Q_R, \\ \frac{dQ_{S1_i}(t')}{dt} &= -(K_L + \lambda) \times Q_{S1_i} + K_{per} \times Q_{SS_i}, \\ \frac{dQ_R(t')}{dt} &= -(K_R + K_{root_i} + \lambda) \times Q_R + K_L \times Q_{S1_i}, \end{aligned} \right. \quad (П.3.4)$$

удельное загрязнение молока

t' принадлежит [T_h + Dt + t_{sA} ... T_h + Dt + T_c + t_{sA}],

$$Q_{mk_i}(t') = \int_{T_h}^{T_h + Dt} \frac{Q_{VS_i}(tay) + Q_{VI_i}(tay) - \lambda \times (tay - T - Dt)}{B(tay)} \times e^{-\lambda(tay - t')} \times FV_{cow} \times F_{mk_i},$$

t' принадлежит [T_h + Dt + t_{sA} ... T_h + Dt + T_c + t_{sA}],

$$P_i(t') = Q_{mk_i}(t') \times f_r.$$

Мясо (пастбищный период содержания коров)

$$\left[\begin{aligned} \frac{dQ_{SS_i}(t')}{dt} &= -(K_{per} + K_{res} \times f_{VS}(d) + \lambda) \times Q_{SS_i} + K_w \times Q_{VS_i}, \\ \frac{dQ_{VS_i}(t')}{dt} &= -(K_w + K_{tr_i} + \lambda) \times Q_{VS_i} + K_{res} \times f_{VS}(d) \times Q_{SS_i}, \\ \frac{dQ_{VI_i}(t')}{dt} &= -\lambda \times Q_{VI_i} + K_{tr_i} \times Q_{VS_i} + K_{root_i} \times Q_R, \\ \frac{dQ_{S1_i}(t')}{dt} &= \end{aligned} \right. \quad (П.3.5)$$

$$\left[\begin{aligned} \frac{dQ_{SS_i}}{dt} &= -(K_L + \lambda_i) \times Q_{SS_i} + K_{per} \times Q_{SS_i}, \\ \frac{dQ_{R_i}}{dt} &= -(K_R + K_{root_i} + \lambda_i) \times Q_{R_i} + K_L \times Q_{SS_i}, \\ \frac{dQ_{mt_i}}{dt} &= F_{mt_i} \times (\lambda_{b_i} + \lambda_{i_i}) \times (FV_{beef} \times \frac{Q_{VS_i}(t') + Q_{VI_i}(t')}{B(t')} + FS \times \frac{Q_{SS_i}(t')}{x \times x_{po_s}}) - (\lambda_{b_i} + \lambda_{i_i}) \times Q_{mt_i}, \end{aligned} \right.$$

удельное загрязнение мяса

$$t' \text{ принадлежит } [t_k \dots T_h + Dt],$$

$$P_i(t') = Q_{mt_i}(t') \times f_r,$$

$$t' \text{ принадлежит } [T_h + Dt \dots T_{live}],$$

$$\frac{dQ_{mt_i}}{dt} = -(\lambda_{b_i} + \lambda_{i_i}) \times Q_{mt_i}, \quad (\text{П.3.6})$$

$$t' \text{ принадлежит } [T_h + Dt \dots T_{live}],$$

$$P_i(t') = Q_{mt_i}(t') \times f_r.$$

Мясо (стойловый период содержания коров)

$$\frac{dQ_{SS_i}}{dt} = -(K_{per} + K_{res} \times f_{VS}(d) + \lambda_i) \times Q_{SS_i} + K_w \times Q_{VS_i},$$

$$\frac{dQ_{VS_i}}{dt} = -(K_w + K_{tr_i} + \lambda_i) \times Q_{VS_i} + K_{res} \times f_{VS}(d) \times Q_{SS_i},$$

$$\frac{dQ_{VI_i}}{dt} = -\lambda_i \times Q_{VI_i} + K_{tr_i} \times Q_{VS_i} + K_{root_i} \times Q_{R_i}, \quad (\text{П.3.7})$$

$$\frac{dQ_{S1_i}}{dt} = -(K_L + \lambda_i) \times Q_{S1_i} + K_{per} \times Q_{SS_i},$$

$$\frac{dQ_{R_i}}{dt} = -(K_R + K_{root_i} + \lambda_i) \times Q_{R_i} + K_L \times Q_{S1_i},$$

$$t' \text{ принадлежит } [T_h + Dt + t_{sA} \dots T_h + Dt + T_c + t_{sA}],$$

$$C_i(t') = \left[\begin{aligned} & \frac{Q_{VS_i}(t_{ay}) + Q_{VI_i}(t_{ay}) - \lambda_i \times (t_{ay} - T_h - Dt) - \lambda_i \times (t' - T_h - Dt)}{B(t_{ay})} \times e^{-\lambda_i(t' - T_h - Dt)} \\ & \text{dray} \times e^{-\lambda_i(t' - T_h - Dt)}, \end{aligned} \right]$$

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{dQ_{mt_i}(t')}{dt} = F_{mt_i} \times (\lambda_b + \lambda_i) \times (FV_{beef_i} \times C_i(t')) - \\ & (\lambda_b + \lambda_i) \times Q_{mt_i} \end{aligned} \right. \quad (П.3.8)$$

t' принадлежит $[T_h + Dt + t_{sA} + T_c \dots T_{live}]$,

$$\frac{dQ_{mt_i}(t')}{dt} = -(\lambda_b + \lambda_i) \times Q_{mt_i} \quad (П.3.9)$$

удельное загрязнение мяса

$$P_i(t') = Q_{mt_i}(t') \times f_r$$

Начальные условия:
первоначальное выпадение радиоактивных продуктов

$$Q_{SS_i}(t_k) = Q_{SS_i} \times f_{SS_i}(d)$$

$$Q_{VS_i}(t_k) = Q_{VS_i} \times f_{VS_i}(d) \quad (П.3.10)$$

$$Q_{S1_i}(t_k + t_{exp}) = Q_{R_i}(t_k + t_{exp}) = Q_{VI_i}(t_k + t_{exp}) = 0,$$

вспышка почвы

$$A_{i,t}(T - \delta) = Q_{SS_i}(T - \delta) + Q_{S1_i}(T - \delta) + Q_{R_i}(T - \delta) + Q_{VS_i}(T - \delta) + Q_{VI_i}(T - \delta),$$

$$Q_{VS_i}(T + \delta) = 0,$$

$$Q_{VI_i}(T + \delta) = 0,$$

$$Q_{SS_i}(T + \delta) = A_{i,t}(T - \delta) \times \frac{x_S}{x_S + x_{S1} + x_R} \quad (П.3.11)$$

$$Q_{S1_i}(T + \delta) = A_{i,t}(T - \delta) \times \frac{x_{S1}}{x_S + x_{S1} + x_R}$$

$$Q_{R_i}(T + \delta) = A_{i,t}(T - \delta) \times \frac{x_R}{x_S + x_{S1} + x_R}$$

где $\delta \rightarrow 0$.

Расчеты по соотношениям (П.3.1) - (П.3.9) проводятся отдельно для каждого i -радионуклида, переносимого частицами k -го типа.

Величины Q_{SS_i} , Q_{S1_i} , Q_{R_i} , Q_{VS_i} , Q_{VI_i} , Q_{mk} , Q_{mt} задают загрязнение

i -радионуклидом в отдельных камерах модели миграции, блок-схема которой приведена на рисунках П.3.1 и П.3.2.

По результатам расчетов с использованием соотношений (П.3.1) - (П.3.9)

определяются величины удельных загрязнений j -продукта питания i -радионуклидом, выпадающим на частицах k -типа ($P_{ikj}(t')$), и интенсивности поступления i -радионуклида с j -продуктом питания ($I_{ikj}(d, t)$).

Интенсивность перорального поступления i -радионуклида, выпадающего на частицах k -го типа, с продуктами питания местного происхождения рассчитывается по формуле:

$$I_{ikj}(d, t) = \sum_j P_{ikj}(t + t_{ok} + t_{exp} - t_s) \times \exp(-\lambda_i \times t_s) \times h(t + t_{ok} + t_{exp} - t_s), \quad (\text{П.3.12})$$

где t - время, прошедшее от момента выпадения радиоактивных продуктов в данной точке местности, сут., t_{ex} - время взрыва, отсчитываемое в сутках от начала года, t' - текущее время от начала года в сутках, t_{ok} - момент времени окончания формирования выпадений в данном населенном пункте, отсчитываемый в сутках от момента взрыва.

4. Численные значения параметров модели, используемые при проведении расчетов, представлены ниже.
 $f_{SS}(d)$, $f_{VS}(d)$ - доли активности, выпадающей на частицах k -типа размером d , перехватываемые поверхностью почвы и растений, соответственно, вычисляются по следующему соотношению:

$$f_{VS}(d) = 1 - \exp(-\alpha(d) \times V(t_{ok} + t_{exp})), \quad (\text{П.3.13})$$

где $\alpha(d)$ - величина коэффициента первоначального задержания радионуклида на растительности в зависимости от размера выпадающих частиц, кг/м², d - диаметр частицы, мкм, $V(t_{ok} + t_{exp})$ - величина биомассы на поле на момент выпадения активности, кг/м².

Величина коэффициента первоначального задержания рассчитывается по формуле:

$$\alpha_0 = \begin{cases} \alpha_0, & \text{при } d \leq d_0, \\ \alpha_0 \times \left(\frac{d_0}{d}\right)^n, & \text{при } d > d_0, \end{cases} \quad (\text{П.3.14})$$

где $d_0 \approx 40$ мкм; $n = 1,5$.

Зависимость величины биомассы на поле в течение периода роста растений задается кусочно-линейной функцией вида:

$$V(t') = \begin{cases} V_{\min}, & t \leq T_0, \\ V_{\min} + (V_{\max} - V_{\min}) \times (t' - T_0) / (T_1 - T_0), & T_0 < t' \leq T_1, \\ V_{\max}, & T_1 < t' \leq T_1 + Dt_h, \\ V_{\min}, & t' > T_1 + Dt_h, \end{cases} \quad (\text{П.3.15})$$

где V_{\min} , V_{\max} - минимальная и максимальная величины биомассы сельскохозяйственной культуры на поле, кг/м².

Значения величин V_{\min} , V_{\max} приведены в таблице 1 Приложения 3 к МУ (далее - таблица П.3.1).

Таблица П.3.1

Значения величин V_{\min} , V_{\max} , кг/м²

min max

С/х культура	B min	B max
трава пастбищ и сенокосов	0	0,24
листовые овощи	0	0,24
пшеница, рожь	0	0,54

В таблицах П.3.2 - П.3.5 приведены параметры, характеризующие миграцию радионуклидов в растительных цепочках.

Таблица П.3.2

Константы скоростей перехода радионуклидов

Параметр модели	Значение, сут. ⁻¹
K_{res}	$9,5 \times 10^{-3}$
K_w	$5,0 \times 10^{-2}$
K_{per}	$1,98 \times 10^{-2}$
K_L	$1,4 \times 10^{-3}$
K_R	$5,5 \times 10^{-5}$

Таблица П.3.3

Параметры, характеризующие миграцию в почве

Параметр модели	Значение
x_S	0,001 м
x_{S1}	0,01 м
x_R	0,25 м

ρ_s	1800 кг/м ³
----------	------------------------

Таблица П.3.4

**Значения константы скорости абсорбции радионуклидов
во внутренние отделы растений**

Нуклид	K_{tr}^{-1} , сут.
Cs, Te, Mo	$5,5 \times 10^{-3}$
Sr, Ba	$1,0 \times 10^{-3}$
I	$8,5 \times 10^{-3}$

Таблица П.3.5

**Значения константы скорости перехода отдельных
химических элементов из почвы в растения**

Нуклид	K_{tr} (Бк/кг) / (Бк/кг)
Sr	3,0
Zr	0,003
Ru	0,2
Cs	0,46
Ba	0,03
Ce	0,03

Величина коэффициента f_c задается равной 1 для всех сельскохозяйственных культур кроме пшеницы и ржи, для которых значение f_c принято равным 0,25. Значение коэффициента f_w для пшеницы и ржи равно 0,86, для листовых овощей – 0,25.

Параметры, характеризующие миграцию радионуклидов в мясомолочной цепочке, представлены в [таблицах П.3.6, П.3.7](#).

Таблица П.3.6

Параметры, характеризующие миграцию радионуклидов

в мясомолочной цепочке

Параметр модели	Значение
FV cow	10 кг/сут.
FV beef	8 кг/сут.
FS	0,5 кг/сут.
T live	1,5 года

Таблица П.3.7

Значения коэффициентов F_{mk} , F_{mt} , лямбда b

Нуклид	F_{mk} , сут./л	F_{mt} , сут./кг	лямбда b , 1/сут.
131 I	$8,6 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$3,9 \times 10^{-2}$
133 I	$4,0 \times 10^{-3}$	$5,1 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-2}$
135 I	$1,7 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-2}$
132 Te	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$5,5 \times 10^{-3}$
136 Cs	$7,2 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-2}$
137 Cs	$1,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$
141 Ce	$1,96 \times 10^{-5}$	$8,3 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$
143 Ce	$1,3 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-3}$
144 Ce	$2,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$
	-4	-4	-2

140 Ba	$2,3 \times 10$	$1,0 \times 10$	$5,7 \times 10$
103 Ru	$2,7 \times 10^{-6}$	$5,4 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-2}$
106 Ru	$4,6 \times 10^{-6}$	$9,2 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-2}$
89 Sr	$1,6 \times 10^{-3}$	$8,7 \times 10^{-4}$	$9,3 \times 10^{-2}$
90 Sr	$1,7 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$	$9,3 \times 10^{-2}$
91 Sr	$1.6e-4$	$5.0e-5$	$9,3 \times 10^{-2}$
99 Mo	$1,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$9,3 \times 10^{-2}$
95 Zr	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$

Численные значения коэффициентов переработки приведены в [таблице П.3.8](#).
 Времена выдержки перед началом потребления (t_s) составляют 90 сут. для хлеба, 1 сут. для листовых овощей и 0,5 сут. для мяса и молока.

Таблица П.3.8

**Значения коэффициентов переработки исходного сырья
в соответствующий продукт питания**

Продукт питания (химический элемент)	fr, отн. ед.	
Листовые овощи	1,0	
Мясо	1,0	
Молоко	1,0	
Хлеб	Sr	0,4
	Cs	0,6
	Остальные	0,5

5. Численное решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка ([П.3.1](#)) – ([П.3.9](#)) с начальными условиями ([П.3.10](#)) и ([П.3.11](#)) проводится с использованием метода Рунге-Кутты четвертого порядка

точности. Для вычисления интегралов по времени используются процедуры, обеспечивающие точность вычисления не ниже точности вычислений при решении описанных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Общая относительная погрешность вычислений не более 10^{-3} .

Приложение 4
к МУ 2.6.1.2574-2010,
утверждены Постановлением
Главного государственного
санитарного врача
Российской Федерации
от 21.01.2010 N 5

СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ В РАЗМЕРНОСТЯХ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Таблица П.4.1

Коэффициенты, учитывающие геометрический фактор при расчете мощности дозы от выпавших радиоактивных продуктов взрыва (k) и радиоактивных продуктов, взвешенных в воздухе в период формирования радиоактивного следа (k)

Энергия гамма-кванта, МэВ	s k , отн. г ед.	η k , м г	Энергия гамма-кванта, МэВ	s k , отн. г ед.	η k , м г
0.010	48633.5	10.7	0.200	71.4	1826.5
0.015	21020.2	38.9	0.300	45.7	1693.6
0.020	10698.4	96.8	0.400	38.4	1649.1
0.030	4073.1	334.2	0.500	35.6	1623.6
0.040	2056.3	781.9	0.600	34.4	1640.5
0.050	1215.1	1292.8	0.800	33.7	1689.0
0.060	794.2	1693.6	1.000	33.7	1740.5
0.070	557.0	1864.4	2.000	35.2	2073.7
0.080	411.9	2073.7	4.000	37.4	2628.9
0.100	252.7	2101.4	6.000	38.7	2977.8
0.150	113.2	1951.3	8.000	39.5	3238.8

			10.000	40.0	3396.3
--	--	--	--------	------	--------

Таблица П.4.2

**Дозовые коэффициенты перехода от поглощенной дозы
гамма-излучения в воздухе к эффективной дозе
внешнего облучения человека**

Энергия гамма-кванта, МэВ	Дозовый коэффициент, Зв/Гр		Энергия гамма-кванта, МэВ	Дозовый коэффициент, Зв/Гр	
	e 1	e 2		e 1	e 2
0.010	0.0033	0.0027	0.200	0.8540	0.6790
0.015	0.0153	0.0123	0.300	0.8240	0.6640
0.020	0.0462	0.0362	0.400	0.8140	0.6670
0.030	0.1910	0.1430	0.500	0.8120	0.6750
0.040	0.4260	0.3260	0.600	0.8140	0.6840
0.050	0.6610	0.5110	0.800	0.8210	0.7030
0.060	0.8280	0.6420	1.000	0.8310	0.7190
0.070	0.9240	0.7200	2.000	0.8710	0.7740
0.080	0.9610	0.7490	4.000	0.9090	0.8240
0.100	0.9600	0.7480	6.000	0.9250	0.8460
0.150	0.8920	0.7000	8.000	0.9340	0.8590
			10.000	0.9410	0.8680

Таблица П.4.3

**Объемная интенсивность дыхания в возрастных группах лиц
населения, V, м3/ч**

Возрастная группа, лет					
до 1	от 1 до 2	от 2 до 7	от 7 до 12	от 12 до 17	больше 17
0,114	0,217	0,365	0,594	0,833	0,925

Таблица П.4.4

**Дозовые коэффициенты облучения человека
при ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов
в организм (возраст до 1 года), Зв/Бк**

--

Радионуклид	Канал поступления		
	ингаляционный		пероральный
	$0v$ h i	$0s$ h i	g i
89 Sr	3.9E-08	3.3E-08	3.6E-08
90 Sr	4.2E-07	1.5E-07	2.3E-07
91 Sr	3.5E-09	3.1E-09	5.2E-09
95 Zr	2.4E-08	2.0E-08	8.5E-09
99 Mo	6.9E-09	6.0E-09	5.5E-09
103 Ru	1.3E-08	1.1E-08	7.1E-09
106 Ru	2.6E-07	1.4E-07	8.4E-08
131 I	8.8E-09	7.2E-08	1.8E-07
132 Te	1.5E-08	2.2E-08	4.8E-08
132 I	3.8E-09	1.9E-08	4.9E-08
133 I	1.8E-09	4.1E-09	1.0E-08
136 Cs	1.5E-08	1.3E-08	1.5E-08
137 Cs	1.1E-07	3.6E-08	2.1E-08
140 Ba	2.9E-08	2.7E-08	3.2E-08
141 Ce	1.6E-08	1.4E-08	8.1E-09
143 Ce	5.9E-09	6.6E-09	1.2E-08
144 Ce	2.1E-07	3.6E-07	6.6E-08

Таблица П.4.5

Дозовые коэффициенты облучения человека

при ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов
в организм (возраст от 1 до 2 лет), Зв/Бк

Радионуклид	Канал поступления		
	ингаляционный		пероральный
	$0v$ h i	$0s$ h i	g i
89 Sr	3.0E-08	2.4E-08	1.8E-08
90 Sr	4.0E-07	1.1E-07	7.3E-08
91 Sr	2.5E-09	2.2E-09	4.0E-09
95 Zr	1.9E-08	1.6E-08	5.6E-09
99 Mo	4.8E-09	4.4E-09	3.5E-09
103 Ru	1.0E-08	8.4E-09	4.6E-09
106 Ru	2.3E-07	1.1E-07	4.9E-08
131 I	6.2E-09	7.2E-08	1.8E-07
132 Te	1.1E-08	1.8E-08	3.0E-08
132 I	2.9E-09	1.8E-08	4.4E-08
133 I	1.3E-09	3.7E-09	8.9E-09
136 Cs	1.1E-08	1.0E-08	9.5E-09
137 Cs	1.0E-07	2.9E-08	1.2E-08
140 Ba	2.2E-08	2.0E-08	1.8E-08
141 Ce	1.2E-08	1.1E-08	5.1E-09
143 Ce	4.1E-09	3.9E-09	8.0E-09
144 Ce	1.8E-07	2.7E-07	3.9E-08

**Дозовые коэффициенты облучения человека
при ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов
в организм (возраст от 2 до 7 лет), Зв/Бк**

Радионуклид	Канал поступления		
	ингаляционный		пероральный
	$0v$ h i	$0s$ h i	g i
89 Sr	1.7E-08	1.3E-08	8.9E-09
90 Sr	2.7E-07	6.5E-08	4.7E-08
91 Sr	1.2E-09	1.1E-09	2.1E-09
95 Zr	1.2E-08	9.7E-09	3.0E-09
99 Mo	2.4E-09	2.2E-09	1.8E-09
103 Ru	6.0E-09	5.0E-09	2.4E-09
106 Ru	1.4E-07	6.4E-08	2.5E-08
131 I	3.5E-09	3.7E-08	1.0E-07
132 Te	5.8E-09	8.5E-09	1.6E-08
132 I	1.4E-09	8.3E-09	2.3E-08
133 I	6.5E-10	1.7E-09	4.7E-09
136 Cs	5.7E-09	6.0E-09	6.1E-09
137 Cs	7.0E-08	1.8E-08	9.6E-09
140 Ba	1.2E-08	1.1E-08	9.2E-09
141 Ce	7.1E-09	6.3E-09	2.6E-09
143 Ce	2.1E-09	1.9E-09	4.1E-09

144 Ce	1.1E-07	1.4E-07	1.9E-08
-----------	---------	---------	---------

Таблица П.4.7

**Дозовые коэффициенты облучения человека
при ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов
в организм (возраст от 7 до 12 лет), Зв/Бк**

Радионуклид	Канал поступления		
	ингаляционный		пероральный
	0_{ν} h i	0_{σ} h i	g i
89 Sr	1.2E-08	9.1E-09	5.8E-09
90 Sr	1.8E-07	5.1E-08	6.0E-08
91 Sr	7.7E-10	6.9E-10	1.2E-09
95 Zr	8.3E-09	6.8E-09	1.9E-09
99 Mo	1.7E-09	1.5E-09	1.1E-09
103 Ru	4.2E-09	3.5E-09	1.5E-09
106 Ru	9.1E-08	4.1E-08	1.5E-08
131 I	2.4E-09	1.9E-08	5.2E-08
132 Te	3.8E-09	4.2E-09	8.3E-09
132 I	9.0E-10	3.8E-09	1.0E-08
133 I	4.2E-10	7.9E-10	2.2E-09
136 Cs	4.1E-09	3.7E-09	4.4E-09
137 Cs	4.8E-08	1.3E-08	1.0E-08
140 Ba	8.6E-09	7.6E-09	5.8E-09
141			

Ce	5.3E-09	4.6E-09	1.5E-09
143 Ce	1.4E-09	1.3E-09	2.4E-09
144 Ce	7.3E-08	7.8E-08	1.1E-08

Таблица П.4.8

**Дозовые коэффициенты облучения человека
при ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов
в организм (возраст от 12 до 17 лет), Зв/Бк**

Радионуклид	Канал поступления		
	ингаляционный		пероральный
	$0v$ h i	$0s$ h i	g i
89 Sr	9.3E-09	7.3E-09	4.0E-09
90 Sr	1.6E-07	5.3E-08	8.0E-08
91 Sr	4.9E-10	4.4E-10	7.4E-10
95 Zr	7.3E-09	5.9E-09	1.2E-09
99 Mo	1.2E-09	1.1E-09	7.6E-10
103 Ru	3.7E-09	3.0E-09	9.2E-10
106 Ru	7.1E-08	3.1E-08	8.6E-09
131 I	2.0E-09	1.1E-08	3.4E-08
132 Te	2.5E-09	2.6E-09	5.3E-09
132 I	5.3E-10	2.2E-09	6.8E-09
133 I	2.7E-10	4.8E-10	1.4E-09
136 Cs	3.5E-09	3.1E-09	3.4E-09
137 Cs	4.2E-08	1.1E-08	1.3E-08

140 Ba	7.1E-09	6.2E-09	3.7E-09
141 Ce	4.8E-09	4.1E-09	8.8E-10
143 Ce	1.0E-09	9.3E-10	1.4E-09
144 Ce	5.8E-08	4.8E-08	6.5E-09

Таблица П.4.9

**Дозовые коэффициенты облучения человека
при ингаляционном и пероральном поступлении радионуклидов
в организм (возраст более 17 лет), Зв/Бк**

Радионуклид	Канал поступления		
	ингаляционный		пероральный
	$0v$ h i	$0s$ h i	g i
89 Sr	7.9E-09	6.1E-09	2.6E-09
90 Sr	1.6E-07	3.6E-08	2.8E-08
91 Sr	4.1E-10	3.7E-10	6.5E-10
95 Zr	5.9E-09	4.8E-09	9.5E-10
99 Mo	9.9E-10	8.9E-10	6.0E-10
103 Ru	3.0E-09	2.4E-09	7.3E-10
106 Ru	6.6E-08	2.8E-08	7.0E-09
131 I	1.6E-09	7.4E-09	2.2E-08
132 Te	2.0E-09	2.0E-09	3.8E-09
132 I	4.3E-10	1.5E-09	4.3E-09
133 I	2.2E-10	3.2E-10	9.3E-10
136 Cs	2.8E-09	2.5E-09	3.0E-09

137 Cs	3.9E-08	9.7E-09	1.3E-08
140 Ba	5.8E-09	5.1E-09	2.6E-09
141 Ce	3.8E-09	3.2E-09	7.1E-10
143 Ce	8.3E-10	7.5E-10	1.1E-09
144 Ce	5.3E-08	4.0E-08	5.2E-09
