2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду

Методические указания
МУ 2.6.1.2222—07

gost.e-ecolog.ru

1. Разработаны Федеральным государственным учреждением науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (В. Ю. Голиков, Г. Я. Брук, М. И. Балонов, В. Н. Шутов, М. В. Кадука, А. Н. Барковский); Государственным унитарным предприятием «Государственный научный центр» – Институт биофизики Федерального медико-биологического агентства (М. Н. Савкин).

2. Рекомендованы к утверждению Комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (протокол от 29.03.07 № 1).

3. Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 18 июня 2007 г.

4. Введены в действие с 18 сентября 2007 г.

5. Введены впервые.

Содержание

Перечень используемых сокращений и терминов 129
1. Область применения 129
2. Нормативные ссылки 130
3. Общие положения 131
4. Требования к исходным данным 132
5. Порядок расчета прогнозируемой дозы внешнего облучения 133
6. Порядок расчета прогнозируемой дозы внутреннего облучения 137
7. Расчет прогнозируемой дозы внутреннего облучения радионуклидами цезия и стронция для критической группы населения Крайнего Севера 142
8. Расчет прогнозируемой суммарной накопленной эффективной дозы 144

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Федеральной службы
по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека,
Главный государственный санитарный
врач Российской Федерации,
Г. Г. Онищенко
18 июня 2007 г.
Дата введения: 18 сентября 2007 г.

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду

Методические указания
МУ 2.6.1.2222—07

Перечень используемых сокращений и терминов

КП – коэффициент перехода, определяемый как отношение удельной активности или концентрации радионуклида в продукте питания к значению поверхностной активности радионуклида в почве; зависит от типа почвы и времени, прошедшего после радиоактивного загрязнения.

НП – населенный пункт.

НРБ-99 – Нормы радиационной безопасности.

ПЭД – прогнозируемая эффективная доза.

ПНЭД – прогнозируемая накопленная эффективная доза.

ПГЭД(n) – прогнозируемая годовая эффективная доза за любой год *n* после радиоактивных выпадений.

ЛПХ – личное подсобное хозяйство.

1. Область применения

1.1. Настоящие методические указания (далее – МУ) предназначены для использования в системе радиационной защиты населения, осуществляемой органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

1.2. Методические указания определяют требования к необходимым исходным данным и процедуру расчета прогнозируемых эффективных доз* (ПЭД) облучения жителей населенных пунктов (НП) Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие выброса в окружающую среду радионуклидов цезия и стронция (^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{90}Sr). Районы Крайнего Севера выделены особо из-за наличия критической группы населения (оленеводы), дозы внутреннего облучения которых за

* Под прогнозируемой эффективной дозой здесь понимается прогнозируемая за указанный период эффективная доза, средняя у выбранных групп жителей, обусловленная находящимися в окружающей среде радионуклидами цезия и стронция.

счет поступления в организм радионуклидов цезия по пищевой цепочке «лишайник – олень – человек» при одинаковой плотности поверхностного загрязнения могут превышать соответствующие значения в других районах Российской Федерации на два порядка.

1.3. Долгосрочный прогноз накопленных и годовых ожидаемых доз облучения жителей НП, определяемый настоящими МУ, выполняется после принятия срочных мер радиационной защиты населения на ранней и промежуточной фазе радиационной аварии, но не позже завершения первого года после радиоактивного загрязнения окружающей среды. Краткосрочный прогноз доз облучения населения (за первый месяц и первый год после радиоактивных выпадений) от всех радионуклидов, включая короткоживущие, и в том числе радионуклиды йода, проводится на основе результатов измерений и в соответствии с методическими указаниями 2.6.1.2153—06 «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем».

2. Нормативные ссылки

1. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ.

2. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09 января 1996 г. № 3-ФЗ.

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

4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): СП 2.6.1.799—99. Минздрав России. М., 1999.

5. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению (РНКРЗ, 1995).

6. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: МУ 2.6.1.2153—06.

7. Публикации Международной Комиссии по радиологической защите № 60, 67 и 74.

8. Общие требования к построению, изложению и оформлению нормативных и методических документов системы государственного санитарно-эпидемиологического нормирования: Руководство. Минздрав России, 1998.

В МУ используются следующие дозиметрические величины.

Величина	Символ	Размерность
Эффективная доза	Е	мЗв
Прогнозируемая годовая эффективная доза	ПГЭД	мЗв
Прогнозируемая накопленная эффективная доза	ПНЭД	мЗв
Поверхностная активность радионуклида в почве	σ	кБк/м^2
Коэффициент перехода радионуклида из почвы в пищевой продукт	КП	м^2/кг

3. Общие положения

3.1. Восстановительная фаза аварии характеризуется комплексом мер, осуществляемых для возврата к условиям нормальной жизнедеятельности населения, и может длиться несколько лет в зависимости от характеристик выброса; характеристик, размеров и эффективности мер реабилитации загрязненной территории; эффективности мер радиационной защиты населения. Рассматриваемые в этом документе пути облучения населения на этой фазе аварии следующие:

- внешнее облучение от радионуклидов, находящихся в окружающей природной и антропогенной средах;
- внутреннее облучение за счет корневого поступления радионуклидов в растения и их дальнейшей миграции через сельскохозяйственную продукцию и продукты питания в организм человека.

3.2. ПЭД облучения населения рассчитываются в отсутствии мер радиационной защиты и должны использоваться:

- для зонирования загрязненных территорий на восстановительной фазе радиационной аварии;
- для обоснования принятия решений и оптимизации мер радиационной защиты населения;
- для поддержки управленческих решений, осуществляемых для возврата к условиям нормальной жизнедеятельности населения.

3.3. Расчету подлежат следующие значения ПЭД:

- прогнозируемая накопленная эффективная доза – ПНЭД (за 70 лет у детей и за 50 лет у взрослых жителей НП);
- прогнозируемая годовая эффективная доза за любой год ***n*** после окончания радиоактивных выпадений ПГЭД(n).

3.4. Оценка ПЭД выполняется двумя способами: как среднее значение у всех жителей НП и как среднее значение у представителей критической группы населения.

Значение прогнозируемой накопленной эффективной дозы (ПНЭД), средней у всех жителей НП, используется для расчета возможной коллективной дозы в НП (путем его умножения на количество жителей НП), которую получили бы жители при отсутствии контрмер, т. е. при естественном уменьшении уровня радиоактивного загрязнения с течением времени. При расчете этой дозы считается, что состав жителей НП (возрастной и профессиональный) не изменяется за время расчета дозы и соответствует составу жителей на момент радиоактивных выпадений. Это значение коллективной дозы является мерой радиационного риска от дополнительного облучения. Эффективность любой контрмеры определяется предотвращенной в результате применения данной контрмеры долей этого значения коллективной дозы.

Значение прогнозируемой годовой эффективной дозы (ПГЭД), средней у всех жителей НП, используется для зонирования территории на восстановительной фазе радиационной аварии. Значения ПНЭД и ПГЭД у представителей критической группы населения используются для обоснования изменения статуса территории, т. е. перехода от аварийной ситуации к условиям нормальной жизнедеятельности. Основным радиологическим критерием этого является непревышение основных пределов доз облучения населения, применяемых к средней дозе у критической группы населения.

3.5. Среднее значение ПЭД внешнего облучения у всех жителей НП рассчитывается путем взвешивания соответствующих значений по количеству жителей, относящихся к двум возрастным группам населения, дети (школьники и дошкольники) и взрослые, принадлежащие к различным профессиональным группам.

К критической группе населения по внешнему облучению относятся взрослые лица, по роду занятий или особенностям поведения значительную часть времени проводящие вне помещений и проживающие в домах с наименьшими защитными свойствами (полеводы, пастухи, лесники, строители и т. п.). ПНЭД внешнего облучения рассчитывается как сумма ПГЭД(n) за счет гамма-излучения радионуклидов цезия.

Среднее значение ПЭД внутреннего облучения у всех жителей НП рассчитывается путем усреднения соответствующих значений для двух возрастных групп населения – детей и взрослых. В случае загрязнения территории радионуклидами цезия к критической группе населения по внутреннему облучению относятся взрослые, у которых индивидуальное потребление местных пищевых продуктов и/или содержание в них радионуклидов выше, чем в среднем по НП. В случае загрязнения территории ^{90}Sr к критической группе населения по внутреннему облучению относятся дети, у которых индивидуальное потребление местных пищевых продуктов и/или содержание в них радионуклида выше, чем в среднем по НП. Количественно средние значения ПЭД внутреннего облучения у представителей критической группы населения в этом документе определены как для ^{134,137}Cs, так и для ^{90}Sr как среднее значение у 10 % жителей НП, имеющих максимальные индивидуальные дозы внутреннего облучения. Они рассчитываются путем умножения средней дозы у жителей НП (при расчете накопленной дозы полагается, что демографический состав жителей НП соответствует его составу на момент радиоактивных выпадений с учетом последующего старения населения за время расчета дозы) на соответствующие коэффициенты, полученные на основе обобщения опыта предыдущих радиационных аварий. ПНЭД внутреннего облучения рассчитывается как сумма ПГЭД(n), формируемых радионуклидами цезия и стронция, поступающими в организм жителей с местными пищевыми продуктами за счет корневого пути загрязнения растительности.

В условиях постоянного проживания жителей на загрязненной территории вклад в накопленную дозу за счет ингаляционного поступления радионуклидов цезия и стронция не превышает 1 %. Поэтому в рамках настоящих МУ этот компонент дозы внутреннего облучения не рассматривается.

3.6. В качестве эквивалента местных пищевых сельскохозяйственных продуктов и продуктов природного происхождения выбраны молоко и грибы. Средневзвешенные значения коэффициентов перехода (КП) радионуклидов цезия и стронция определяют с учетом вкладов различных типов почв в общую площадь земель, используемых для производства молока (пастбища и сенокосы совокупно), а также сбора грибов (лесные массивы). Для этого следует использовать данные о распределении групп почв, находящихся в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) или в ведении сельской администрации НП, а также данные о распределении групп почв в лесных массивах. При отсутствии такой информации допускается использовать соответствующие данные о преобладающей (занимающей не менее 70 % площадей) группе почв на сельхозугодиях и в лесных массивах.

3.7. Для оценки прогнозируемой средней накопленной эффективной дозы как внешнего, так и внутреннего облучения используют градацию населенных пунктов по числу проживающих в них жителей, а для внешнего облучения, дополнительно, данные о количестве жителей, проживающих в домах разного типа.

4. Требования к исходным данным

4.1. Для вычисления ПЭД внешнего облучения жителей используют следующие исходные данные:

• среднюю поверхностную активность радионуклидов цезия в почве на территории населенного пункта – $\sigma_{Cs\text{-}137,\ Cs\text{-}134}$;

• тип населенного пункта, в соответствии со следующей градацией (НП с количеством жителей менее 10 тыс. чел. – село, поселок или ПГТ; НП с количеством жителей от 10 до 100 тыс. чел. – ПГТ или город; НП с количеством жителей более 100 тыс. чел. – город).

• количество жителей, проживающих в зданиях различного типа (одноэтажные-двухэтажные деревянные здания, одноэтажные-двухэтажные каменные здания и многоэтажные здания);

• численные значения дозовых коэффициентов, представляющих собой нормированное на единичную поверхностную активность радионуклидов цезия в почве значение ПГЭД внешнего облучения различных категорий жителей, проживающих в разных типах НП.

4.2. Для вычисления ПЭД внутреннего облучения жителей используют следующие исходные данные:

• среднюю поверхностную активность радионуклидов цезия и стронция в почве на территории НП – $\sigma_{Cs\text{-}137,\ Cs\text{-}134}$ и $\sigma_{Sr\text{-}90}$;

• данные о распределении по типам почв земель сельскохозяйственного назначения в личных подсобных хозяйствах, принадлежащих жителям НП или находящихся в ведении сельской администрации, в состав которой входит данный НП, либо данные о преобладающем типе почвы в ЛПХ или в земельном фонде сельской администрации, где выпасается скот и выращиваются сельскохозяйственные продукты;

• данные о распределении по типам почв лесных массивов, находящихся на подведомственных сельской администрации территориях, либо данные о преобладающем типе почвы в этих массивах;

• численные значения коэффициентов перехода радионуклидов цезия и стронция из почв разных типов в молоко и грибы;

• тип населенного пункта в соответствии со следующей градацией (НП с количеством жителей менее 10 тыс. чел. – село, поселок или ПГТ; НП с количеством жителей от 10 до 100 тыс. чел. – ПГТ или город; НП с количеством жителей более 100 тыс. чел. – город).

5. Порядок расчета прогнозируемой дозы внешнего облучения

5.1. Значение эффективной дозы внешнего облучения определяют следующие основные факторы:

• мощность дозы гамма-излучения на открытой местности, зависящая от поверхностной активности выпавших радионуклидов, их заглубления в почву, наличия снежного покрова (сезонный эффект);

• антропогенные факторы, зависящие от типа НП: защитные свойства жилых и производственных помещений, наличие искусственных поверхностей (асфальт, бетон и т. п.), а также факторы, связанные с поведением и профессиональной деятельностью самого человека;

• коэффициенты перехода от мощности дозы в воздухе к величине эффективной дозы у человека.

5.2. Средняя годовая мощность эффективной дозы внешнего гамма-излучения у i-й группы жителей НП, проживающей в домах p-го типа через t лет после радиоактивных выпадений $E_{i,p}^{ext}(t)$, определяется следующей системой соотношений:

$$E_{i,p}^{ext}(t) = \dot{D}(t) \cdot K^S \cdot K_i^E \cdot R_i^p \text{, мЗв/год, где} \qquad (5.1)$$

$\dot{D}(t)$ – мощность поглощенной дозы в воздухе над открытым целинным участком почвы без учета сезонных колебаний за счет наличия снежного покрова зимой, мГр/год;

K_i^E – коэффициент перехода от поглощенной дозы в воздухе к значению эффективной дозы у представителей i-й группы населения (принимается равным 0,75 мЗв/мГр для взрослого населения, 0,85 мЗв/мГр – для детей);

K^S – коэффициент влияния снежного покрова на величину среднегодовой эффективной дозы (принимается равным 0,8 для территорий Крайнего Севера и 0,9 для территорий средней полосы России), отн. ед.;

R_i^p – антропогенный фактор уменьшения дозы внешнего облучения у представителей i-й группы населения, проживающей в домах p-го типа, отн. ед. (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Значения антропогенных факторов уменьшения дозы внешнего облучения

Тип НП	Группа населения	R_i^p, отн. ед.
НП I типа	Дети	0,24/0,20
	Взрослые	0,27/0,24
	*Критическая группа	0,50
НП II типа	Дети	**0,19/0,17/0,13
	Взрослые	0,18/0,17/0,14
	Критическая группа	0,36
НП III типа	Дети	0,16/0,14/0,11
	Взрослые	0,15/0,14/0,12
	Критическая группа	0,30

* – Для критической группы территорий Крайнего Севера – оленеводов – значение R принимается равным 0,7.

** – Первая цифра относится к жителям, проживающим в одноэтажных-двухэтажных деревянных домах, вторая цифра – к жителям, проживающим в одноэтажных-двухэтажных каменных домах, третья цифра – к жителям, проживающим в многоэтажных домах; жители, относящиеся к критической группе, проживают в одноэтажных деревянных домах.

Для расчета $\dot{D}(t)$ используют выражение:

$$\dot{D}(t) = 0{,}024 \cdot r(t) \cdot \sum_k \sigma_0^k \cdot d_S^k \cdot \exp(-\lambda_k \cdot t), \text{ мкГр/сут., где} \qquad (5.2)$$

$r(t)$ – функция, описывающая влияние миграции радионуклидов цезия в почву на мощность поглощенной дозы в воздухе и равная отношению мощности дозы в момент времени t над почвой с наблюдаемым распределением нуклидов к мощности дозы d_s от источника, расположенного на границе раздела воздух–почва:

для территорий России, за исключением Крайнего Севера

$$r(t) = 0{,}49 \cdot \exp(-\frac{0{,}693 \cdot t}{T_1}) + 0{,}51 \cdot \exp(-\frac{0{,}693 \cdot t}{T_2}), \text{ отн. ед.,} \quad (5.3)$$

для территорий Крайнего Севера

$$r(t) = 0{,}31 \cdot \exp(-\frac{0{,}693 \cdot t}{T_1}) + 0{,}69 \cdot \exp(-\frac{0{,}693 \cdot t}{T_2}), \text{ отн. ед.,} \quad (5.4)$$

(T_1 = 550 сут.; T_2 = 18 250 сут.);

σ_0^k – средняя плотность загрязнения почвы k-м радионуклидом в НП на дату окончания радиоактивных выпадений, кБк/м^2;

d_s^k – удельная мощность поглощенной дозы в воздухе гамма-излучения k-го радионуклида для геометрии плоского изотропного источника, расположенного на границе раздела воздух–почва, (нГр/ч)/(кБк/м^2); $d_s^{137} = 2{,}55$ (нГр/ч)/(кБк/м^2); $d_s^{134} =$ 6,85 (нГр/ч)/(кБк/м^2);

λ_k – постоянная радиоактивного распада k-го радионуклида, сут.$^{-1}$; $\lambda_{137} = 6{,}33 \cdot 10^{-5}$; $\lambda_{134} = 9{,}22 \cdot 10^{-4}$;

t – время с момента окончания радиоактивных выпадений в НП, сут.

5.3. Значение прогнозируемой средней эффективной дозы внешнего облучения у i-й группы жителей НП за произвольный период рассчитывается интегрированием выражения (5.1) в заданных временных пределах с учетом выражений (5.2), (5.3) и (5.4).

5.4. Значение прогнозируемой накопленной эффективной дозы внешнего облучения у i-й группы жителей НП, проживающих в домах p-го типа $ПНЭД_{i,p}^{ext,k}$, обусловленной выпадениями k-го радионуклида, определяется выражением:

$$ПНЭД_{i,p}^{ext,k} = 0{,}001 \cdot K^S \cdot K_i^E \cdot R_i^p \cdot \int_0^T \dot{D}(t)dt = K_i^{ext,k}(T) \cdot \sigma_0^k, \text{ мЗв, где} \quad (5.5)$$

T – период интегрирования равен 70 и 50 годам для детей и взрослых соответственно.

Остальные обозначения те же, что и раньше.

Численные значения дозовых коэффициентов $K_{p,дет}^{ext,k}(70)$ и $K_{p,взр}^{ext,k}(50)$ для жителей, проживающих в различных зданиях в НП указанного типа, приведены в табл. 5.2.

Среднее значение прогнозируемой накопленной эффективной дозы внешнего облучения k-го радионуклида для жителей НП рассчитывают по формуле:

$$ПНЭД_{НП}^{ext,k} = \sum_{i=1}^{2}\sum_{p=1}^{3} w_{ip} \cdot ПНЭД_{ip}^{ext,k}, \text{ мЗв,} \quad (5.6)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{2}\sum_{p=1}^{3} w_{ip} = 1\right), \text{ где}$$

w_{ip} – доля населения i-й группы населения НП, проживающего в p-м типе жилого здания.

Среднее значение прогнозируемой накопленной эффективной дозы внешнего облучения, обусловленной смесью выпавших радионуклидов, для жителей НП рассчитывают по формуле:

$$ПНЭД_{НП}^{ext} = \sum_k ПНЭД_{НП}^{ext,k}, \text{ мЗв} \quad (5.7)$$

Таблица 5.2

Численные значения дозовых коэффициентов $K^{ext,k}_{p,дет}(70)$ и $K^{ext,k}_{p,взр}(50)$

Тип НП	Группа населения	$K^{ext,137}_{p,дет}(70)$ и $K^{ext,137}_{p,взр}(50)$, мЗв/(кБк · м$^{-2}$)	
		территории РФ	территории Крайнего Севера
НП I типа	Дети	0,055/0,046	0,064/0,053
	Взрослые	0,051/0,045	0,058/0,052
	Критическая группа	0,094	0,11/*0,15
НП II типа	Дети	**0,044/0,038/0,03	0,052/0,044/0,035
	Взрослые	0,034/0,031/0,028	0,038/0,036/0,031
	Критическая группа	0,067	0,078
НП III типа	Дети	0,037/0,032/0,025	0,043/0,037/0,029
	Взрослые	0,028/0,026/0,023	0,032/0,030/0,026
	Критическая группа	0,056	0,065
		$K^{ext,134}_{p,дет}(70)$ и $K^{ext,134}_{p,взр}(50)$, мЗв/(кБк · м$^{-2}$)	
НП I типа	Дети	0,023/0,019	0,023/0,020
	Взрослые	0,023/0,020	0,023/0,020
	Критическая группа	0,042	0,042/*0,060
НП II типа	Дети	0,018/0,016/0,014	0,018/0,016/0,014
	Взрослые	0,016/0,014/0,012	0,016/0,014/0,012
	Критическая группа	0,030	0,031
НП III типа	Дети	0,015/0,013/0,010	0,015/0,013/0,010
	Взрослые	0,013/0,012/0,010	0,013/0,012/0,010
	Критическая группа	0,025	0,026

* – Значение соответствует оленеводам.

** – Первая цифра относится к жителям, проживающим в одноэтажных-двухэтажных деревянных домах, вторая цифра – к жителям, проживающим в одноэтажных-двухэтажных каменных домах, третья цифра – к жителям, проживающим в многоэтажных домах; жители, относящиеся к критической группе, проживают в одноэтажных деревянных домах.

Среднее значение прогнозируемой накопленной эффективной дозы внешнего облучения, обусловленной смесью выпавших радионуклидов, для критической группы населения рассчитывают по формуле:

$$ПНЭД^{ext}_{КГр} = \sum_k K^{ext,k}_{КГр} \cdot \sigma^k_0 \text{, мЗв} \qquad (5.8)$$

5.5. Среднее значение прогнозируемой годовой эффективной дозы внешнего облучения у i-й группы населения НП, проживающей в домах p-го типа, за n-й год после выпадений, обусловленной выпадениями k-го радионуклида, определяется выражением $ПГЭД^{ext,k}_{i,p}(n)$:

$$ПГЭД^{ext,k}_{i,p}(n) = 0{,}001 \cdot \sigma^k_0 \cdot K^S \cdot K^E_i \cdot R^p_i \cdot \left[a^k_1 \cdot \exp\left(-\frac{0{,}693 \cdot (n-1)}{T^{эф,k}_1}\right) + a^k_2 \cdot \exp\left(-\frac{0{,}693 \cdot (n-1)}{T^{эф,k}_2}\right) \right], \text{мЗв, где} \qquad (5.9)$$

$T^{эф,k}_1$ и $T^{эф,k}_2$ – «быстрый» и «медленный» эффективные периоды уменьшения мощности дозы, обусловленной выпадениями k-го радионуклида за счет радиоактивного распада и миграции в почве (табл. 5.3), лет;

$a^k_{1,p}$ и $a^k_{2,p}$ – коэффициенты (табл. 5.3), мкГр/(кБк/м^2);

n – порядковый номер года, прошедшего после радиоактивных выпадений (1, 2 и т. д.).

Остальные обозначения те же, что и раньше.

Таблица 5.3

Численные значения параметров в формуле (5.9)

	Территории РФ		Территории Крайнего Севера	
	^{137}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs	^{134}Cs
T_1, лет	1,4	0,9	1,4	0,9
T_2, лет	18,7	2,0	18,7	2,0
a_1, мкГр/(кБк/м^2)	8,7	20,2	5,5	12,8
a_2, мкГр/(кБк/м^2)	11,1	25,8	15,0	34,9

Для расчета среднего значения прогнозируемой годовой эффективной дозы внешнего облучения, обусловленного k-м радионуклидом, у жителей НП, среднего значения прогнозируемой годовой эффективной дозы внешнего облучения, обусловленной смесью выпавших радионуклидов, у жителей НП и среднего значения прогнозируемой годовой эффективной дозы внешнего облучения, обусловленной смесью выпавших радионуклидов, у критической группы населения используют формулы (5.6), (5.7) и (5.8), соответственно.

6. Порядок расчета прогнозируемой дозы внутреннего облучения

6.1. Доза внутреннего облучения рассматривается как ожидаемая в течение предстоящих 70 лет вследствие поступления радионуклидов цезия и стронция ($^{137,134}Cs$ и ^{90}Sr) с местными пищевыми продуктами за счет корневого пути загрязнения растительности.

6.2. Накопленная через T лет после выпадений прогнозируемая доза внутреннего облучения $E^{int}(t)$ оценивается по поступлению смеси k радионуклидов с пищей по формуле:

$$E^{\text{int}}(T) = \sum_k dk_k \cdot \int_0^T I_k(t)dt, \text{ мЗв, где} \qquad (6.1)$$

dk_k – дозовый коэффициент для пищевого поступления k-го радионуклида в организм, мЗв/Бк; при выполнении расчетов ПСНЭД для детей используют приведенные в табл. 6.1 средневзвешенные по всем возрастным группам детей значения dk_k;

$I_k(t)$ – годовое поступление k-го радионуклида в организм с пищей, Бк/год.

Таблица 6.1

Дозовые коэффициенты для пищевого поступления радионуклидов цезия и стронция в организм детей и взрослых dk_k, мЗв/Бк

Возраст (на момент выпадений)	Радионуклид		
	^{90}Sr	^{134}Cs	^{137}Cs
< 18 лет (дети)	$6{,}4 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$
> 18 лет (взрослые)	$2{,}8 \cdot 10^{-5}$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$

6.3. Годовое поступление радионуклидов в организм складывается из поступления с различными продуктами – компонентами рациона питания:

$$I_k(t) = \sum_p C_{kp}(t) \cdot V_p \cdot K_{kp}, \text{ Бк/год, где} \qquad (6.2)$$

$C_{kp}(t)$ – удельная активность (концентрация) k-го радионуклида в p-м пищевом продукте через t лет с момента выпадений, Бк/кг(л);

K_{kp} – коэффициент снижения содержания k-го радионуклида в готовом p-м пищевом продукте по сравнению с исходным вследствие его кулинарной обработки, отн. ед. Для радионуклидов цезия и стронция принимается $K_p = 1{,}0$ для молока, $K_p = 0{,}5$ для грибов;

V_p – годовое потребление p-го пищевого продукта, кг/год.

Для расчетной оценки накопленной дозы используется радиоэкологическая модель, базирующаяся на понятии коэффициента перехода $КП_{kp}(t)$ от плотности поверхностного загрязнения почвы k-м радионуклидом σ^k, Бк/м^2, к удельной активности k-го нуклида в p-м пищевом продукте C_{kp}, Бк/кг:

$$C_{kp}(t) = КП_{kp}(t) \cdot \sigma^k(t), \text{ Бк/кг}, \qquad (6.3)$$

Коэффициент перехода радионуклидов цезия и стронция в пищевые продукты зависит от времени, прошедшего после радиоактивного загрязнения почвы. На основе данных о долговременной миграции радионуклидов цезия и стронция в составе глобальных и чернобыльских радиоактивных выпадений установлена зависимость коэффициента перехода от группы и агрохимических характеристик почв, на которых выращиваются пищевые продукты или корм для сельскохозяйственных животных. В течение первых 5—6 лет после выпадений коэффициент перехода радионуклидов цезия в сельскохозяйственные пищевые продукты убывает с периодом 1—2 года. Затем это снижение замедляется, и через 7—8 лет период полуочищения сельскохозяйственного компонента пищевого рациона составляет около 30 лет. Период полуочищения природного компонента пищевого рациона (грибы, ягоды) практически не изменяется со временем и составляет около 40 лет.

Коэффициент перехода радионуклидов стронция в сельскохозяйственные пищевые продукты через корневую систему растений в течение первых 8—10 лет после выпадений убывает с периодом около 4 лет. Затем это снижение замедляется и далее период полуочищения сельскохозяйственной продукции от стронция составляет около 30 лет. Средние значения коэффициентов перехода цезия и стронция в молоко и грибы в первый год после выпадений $КП_{kp}(0)$ приведены в табл. 6.2 и 6.3.

Если почвенный покров на территории хозяйства или в лесных массивах сформирован различными группами почв, то для расчетов по формуле (6.3) используют средневзвешенное по площадям, занимаемым этими почвами, численное значение коэффициента перехода – $\overline{КП}_{kp}$. Величину $\overline{КП}_{kp}$ определяют отдельно для каждого пищевого продукта по формуле:

$$\overline{КП}_{kp} = \sum_n r_{pn} \cdot КП_{kpn}, \ 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}, \text{ где} \qquad (6.4)$$

r_{pn} – отношение площади почв n-й группы к суммарной площади земель, используемых для производства или сбора p-го пищевого продукта;

$КП_{kpn}$ – коэффициент перехода k-го радионуклида из почвы n-й группы в p-й пищевой продукт (молоко, грибы разных видов), 10^{-3} м^2/кг.

Если «грибная корзина» в населенном пункте или регионе состоит из нескольких групп (видов) грибов, то для проведения расчетов по формуле (6.3) следует использовать средневзвешенное по уровням потребления населением разных видов грибов численное значение коэффициента перехода цезия из почвы в грибы $\overline{КП}_{гр}$, которое определяют по формуле:

$$\overline{КП}_{гр} = \sum_k r_k \cdot \overline{КП}_k, \ 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}, \text{ где} \qquad (6.5)$$

r_k – весовая доля грибов k-го вида в полной «грибной корзине», потребляемой населением, отн. ед.;

$\overline{КП}_k$ – средневзвешенный по группам почв коэффициент перехода цезия из почвы в грибы k-го вида, 10^{-3} м^2/кг; определяется по формуле (6.4).

Таблица 6.2.

Коэффициенты перехода радионуклидов цезия и стронция из почв разных групп в молоко в первый год после выпадений $КП_{kp}(0)$, 10^{-3} м^2/кг

Группа почв (типы, подтипы почв)	^{137,134}Cs	^{90}Sr
Торфяно-болотные	10,0	0,5
Песчаные и супесчаные (дерново-подзолистые, дерново-глеевые, дерновые, светло-серые и серые лесные)	7,5	0,3
Легко- и среднесуглинистые (дерново-подзолистые; дерновые; серые и темно-серые лесные; выщелоченные и оподзоленные черноземы)	2,0	0,2
Тяжелосуглинистые и глинистые (темно-серые лесные; черноземы: выщелоченные, оподзоленные, типичные, обыкновенные, южные; каштановые)	0,4	0,1

Таблица 6.3

Коэффициенты перехода радионуклидов цезия из почв разных групп в грибы лесные в первый год после выпадений $КП_{kp}(0)$, 10^{-3} м^2/кг

Группы (виды) грибов	Группа почв			
	торфяно-болотные	песчаные и супесчаные	легко- и средне-суглинистые	тяжело-суглинистые и глинистые
Сильно накапливающие группы: - болетовые (моховик, польский гриб, козляк, масленок); - млечники (все виды млечников: груздь, горькушка, волнушка, рыжик, зеленка, серушка, скрипица, белянка и др.)	60,0	40,0	15,0	3,0
Средне накапливающие группы: - болетовые (подберезовик, подосиновик, белый гриб); - лисичка; - сыроежки (все виды); - рядовки	30,0	20,0	6,0	1,5
Слабо накапливающие группы: - опенки (опенок осенний, опенок летний, опенок зимний, опенок луговой); - сморчки и строчки; - шампиньоны - гриб-зонтик; - дождевики	6,0	4,0	1,5	0,4
«Средний гриб»	**30,0**	**20,0**	**6,0**	**1,5**

В последней строке табл. 6.3 приведены численные значения $\overline{КП}_{гр}$ для «среднего гриба» – средневзвешенные величины КП по уровням потребления разных групп (видов) грибов населением. При отсутствии более детальной информации о «грибной корзине» в конкретном НП или регионе для выполнения оценок дозы допускается использовать приведенные в табл. 6.3 численные значения $\overline{КП}_{гр}$ для «среднего гриба».

6.4. Среднее поступление радионуклидов цезия и стронция в организм взрослых жителей с традиционным для Европейской части России рационом питания может быть с приемлемой точностью представлено потреблением двух пищевых компонентов – молока и грибов лесных (табл. 6.4). При этом поступление радионуклидов с молоком, потребляемым в количествах, указанных в табл. 6.4, эквивалентно поступлению этих радионуклидов со всеми пищевыми продуктами местного сельскохозяйственного производства, а с грибами – поступлению со всеми продуктами природного происхождения.

В связи с тем что доза внутреннего облучения от радионуклидов стронция формируется в основном за счет ее сельскохозяйственного компонента (молоко), дозовые расчеты для ^{90}Sr ведут только по молоку.

Потребление пищевых продуктов различно в НП разных типов. При проведении расчетов ПЭД для всех возрастных групп населения следует использовать приведенные в табл. 6.4 численные значения эффективного годового потребления, соответствующие взрослому человеку.

Таблица 6.4

Эффективное годовое потребление молока $V_м^{эф}$ и грибов лесных $V_{гр}^{эф}$ (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями Европейской части России, кг/год

Продукт	Тип НП		
	I	II	III
Молоко	300	250	200
Грибы (сырой вес)	10	8	5

6.5. Для расчета дозы внутреннего облучения, ожидаемой в течение предстоящих 70 лет жизни у жителей НП, в среднем вследствие поступления радионуклидов с местными пищевыми продуктами за счет корневого пути загрязнения растительности $ПНЭД_{НП}^{int}$ используют формулу:

$$ПНЭД_{НП}^{int} = \sum_p V_p^{эф} \cdot K_p \cdot \sum_k F_{kp} \cdot \overline{КП}_{kp}(0) \cdot \sigma_0^k \cdot (\alpha \cdot dk_k^{дет} + (1-\alpha) \cdot dk_k^{взр}), \text{ мЗв, где} \quad (6.6)$$

F_{kp} – интегральный коэффициент, зависящий от скорости снижения со временем удельной активности k-го радионуклида в p-м пищевом продукте и имеющий размерность времени, лет, численные значения которого равны:

$F_{90} = 12{,}0$ лет для молока; $F_{134} = 1{,}3$ и $2{,}8$ года для молока и грибов соответственно; $F_{137} = 3{,}0$ и $23{,}0$ года для молока и грибов соответственно (здесь индексами «*90*», «*134*», и «*137*» обозначены радионуклиды ^{90}Sr, ^{134}Cs и ^{137}Cs соответственно);

$\overline{КП}_{kp}(0)$ – коэффициент перехода k-го радионуклида в p-й пищевой продукт в первый год после выпадений (см. табл. 6.2 и 6.3), 10^{-3} м^2/кг;

$\sigma_0^{k\,*}$ – плотность поверхностного загрязнения почвы k-м радионуклидом на дату начала вегетационного периода, кБк/м^2;

α – доля детской части населения среди жителей НП, отн. ед.;

$dk_k^{дет}$ и $dk_k^{взр}$ – дозовые коэффициенты для пищевого поступления k-го радионуклида в организм детей и взрослых, соответственно, мЗв/Бк (табл. 6.1).

6.6. Значение ПНЭД внутреннего облучения критической группы населения k-м радионуклидом $ПНЭД_{КГр}^{int,k}$ рассчитывается согласно соотношениям:

$$ПНЭД_{КГр}^{int,k} = 3 \cdot ПНЭД_{НП}^{int,k} \text{ – для НП типа I,} \qquad (6.7)$$

$$ПНЭД_{КГр}^{int,k} = 4 \cdot ПНЭД_{НП}^{int,k} \text{ – для НП типа II или III,} \qquad (6.8)$$

В данном случае $ПНЭД_{НП}^{int,k}$ рассчитывают по формуле (6.6), используя численное значение $dk_k^{дет}$, средневзвешенное по всем возрастным группам (учитывает процесс изменения возраста детей с течением времени), равное $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк, $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк и $3{,}7 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк для ^{137}Cs, ^{134}Cs и ^{90}Sr соответственно.

6.7. В случае выпадений смеси радионуклидов суммарную $ПНЭД_{КГр}^{int}$ внутреннего облучения критической группы населения консервативно можно оценить суммированием доз на критические группы от каждого радионуклида:

$$ПНЭД_{КГр}^{int} = \sum_k ПНЭД_{КГр}^{int,k}, \text{ мЗв} \qquad (6.9)$$

6.8. Значение прогнозируемой за n-й год после выпадений средней годовой эффективной дозы внутреннего облучения жителей населенного пункта $ПГЭД_{НП}^{int}(n)$ рассчитывают по формуле:

$$ПГЭД_{НП}^{int}(n) = \sum_p V_p^{эф} \cdot K_p \cdot \sum_k \overline{КП}_{kp}(0) \cdot \sigma_0^k \cdot [a_{1,p}^k \cdot \exp(-0{,}693 \cdot (n-1)/T_{1,kp}^{эф}) + a_{2,p}^k \cdot \exp(-0{,}693 \cdot (n-1)/T_{2,kp}^{эф})] \cdot (\alpha \cdot dk_k^{дет} + (1-\alpha) \cdot dk_k^{взр}), \text{ мЗв/год,} \qquad (6.10)$$

где

$T_{1,kp}^{эф}$ и $T_{2,kp}^{эф}$ – «быстрый» и «медленный» соответственно, эффективные периоды полуочищения p-го пищевого продукта от k-го радионуклида за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данного продукта со временем от этого химического элемента (табл. 6.5);

$a_{1,p}^k$ и $a_{2,p}^k$ – коэффициенты (табл. 6.5), лет;

$dk_k^{дет}$ и $dk_k^{взр}$ – дозовые коэффициенты для пищевого поступления k-го радионуклида в организм детей и взрослых соответственно, мЗв/Бк (табл. 6.1);

n – порядковый номер года, прошедшего после радиоактивных выпадений (1, 2 и т. д.).

---

* Для цезия-137 и стронция-90 допускается использование значения σ_0^k на дату окончания радиоактивных выпадений; если выпадения произошли до начала вегетационного периода, то для цезия-134 это значение следует пересчитать к дате начала этого периода по формуле: $\sigma_{0,вег}^{134} = \sigma_0^{134} \cdot \exp(-9{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot t)$, где t – количество дней, прошедших после выпадений до начала вегетационного периода.

Таблица 6.5

Численные значения параметров в формуле (6.10)

Параметр	Радионуклид				
	^{137}Cs		^{134}Cs		^{90}Sr
	молоко	грибы	молоко	грибы	молоко
T_1, лет	1,4	–	0,9	–	3,5
T_2, лет	15,0	17,0	1,9	2,0	15,0
a_1, лет	0,75	–	0,66	–	0,49
a_2, лет	0,049	1,0	0,042	1,0	0,45

6.9. Значения прогнозируемой за n-й год после выпадений средней годовой эффективной дозы внутреннего облучения критической группы жителей $ПГЭД^{int}_{КГр}(n)$ рассчитывают по формулам:

$$ПГЭД^{int,k}_{КГр}(n) = 3 \cdot ПГЭД^{int,k}_{НП}(n) \text{ – для НП типа I,} \quad (6.11)$$

$$ПГЭД^{int,k}_{КГр}(n) = 4 \cdot ПГЭД^{int,k}_{НП}(n) \text{ – для НП типа II или III} \quad (6.12)$$

6.10. Оценка ПНЭД для жителей территорий Крайнего Севера, не потребляющих оленину, осуществляется с помощью тех же соотношений и тех же численных значений параметров, что и для жителей остальных территорий Российской Федерации.

7. Расчет прогнозируемой дозы внутреннего облучения радионуклидами цезия и стронция для критической группы населения Крайнего Севера

7.1. Специфической особенностью радиоактивного загрязнения долгоживущими радионуклидами цезия и стронция районов Крайнего Севера является аномально высокое внутреннее облучение жителей за счет экологической трофической цепи «лишайник–олень–человек». Именно первое звено цепи – лишайник – обладает рядом свойств, определяющих высокий уровень его радиоактивности. Вслед за ним оказываются загрязненными и следующие звенья цепочки: северные олени и люди, потребляющие оленину, в первую очередь оленеводы.

7.2. Исходными данными для расчета доз внутреннего облучения жителей территорий Крайнего Севера, потребляющих оленину, в первую очередь оленеводов и членов их семей, служили данные многолетних наблюдений за поведением цезия и стронция глобального и чернобыльского происхождения в звеньях северной цепочки. Расчет прогнозируемой накопленной эффективной дозы $ПНЭД^{int}_{ол}$ внутреннего облучения для критической группы жителей Крайнего Севера (мужчин-оленеводов) за счет потребления оленины производится по формуле:

$$ПНЭД^{int,k}_{ол} = V_{ол} \cdot \sum_k \sigma^k_0 \cdot ITC^k_{ол} \cdot dk_k \text{, мЗв, где} \quad (7.1)$$

σ^k_0 – средняя плотность загрязнения почвы k-м радионуклидом на дату окончания радиоактивных выпадений, кБк/м^2;

$ITC^k_{ол}$ – интегральный коэффициент накопления k-го радионуклида в оленине, определяемый как отношение накопленной концентрации радионуклида в оленине за

время расчета дозы к плотности поверхностного загрязнения почвы на момент выпадений, (Бк·год)·кг$^{-1}$/(кБк·м$^{-2}$);

$V_{ол}$ – годовое потребление оленины, кг/год;

dk_k – дозовый коэффициент для пищевого поступления k-го нуклида в организм, мЗв/Бк.

В табл. 7.1 приведены численные значения $ITC_{ол}^{k}$ для двух регионов Крайнего Севера – Мурманской области и Ненецкого автономного округа. При отсутствии местных данных о потреблении оленины следует использовать значение $V_{ол}$ = 110 кг/год для оленеводов обоих регионов.

Таблица 7.1

Численные значения $ITC_{ол}^{k}$

Регион	$ITC_{ол}^{k}$, (Бк·год)·кг$^{-1}$/(кБк·м$^{-2}$)
Цезий-137	
Мурманская область	8 800
Ненецкий автономный округ	5 500
Цезий-134	
Мурманская область	2 800
Ненецкий автономный округ	2 000
Стронций-90	
Мурманская область	40
Ненецкий автономный округ	40

Для других групп жителей Крайнего Севера, зная объем потребления оленины, расчет $ПНЭД_{ол}^{int}$ внутреннего облучения за счет потребления оленины может быть произведен с помощью той же формулы (7.1).

7.3. Расчет прогнозируемой годовой эффективной дозы $ПГЭД_{ол}^{int}(n)$ внутреннего облучения для критической группы жителей Крайнего Севера (мужчин-оленеводов) за счет потребления оленины производится по формуле:

$$ПГЭД_{ол}^{int,k}(n) = V_{ол} \cdot \sum_{k} \sigma_0^k \cdot dk_k \cdot \left[a_1^k \cdot \exp\left(-\frac{0{,}693 \cdot (n-1)}{T_{1,ол}^{эф,k}}\right) + a_2^k \cdot \exp\left(-\frac{0{,}693 \cdot (n-1)}{T_{2,ол}^{эф,k}}\right) \right], \text{ мЗв, где (7.2)}$$

$T_{1,ол}^{эф}$ и $T_{2,ол}^{эф}$ – «быстрый» и «медленный» соответственно, эффективные периоды полуочищения оленины от k-го радионуклида за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данного продукта со временем (табл. 7.2);

$a_{1,p}^{k}$ и $a_{2,p}^{k}$ – коэффициенты (табл. 7.2), (Бк · год) · кг$^{-1}$/(кБк · м$^{-2}$);

n – порядковый номер года, прошедшего после радиоактивных выпадений (1, 2 и т. д.).

Таблица 7.2

Численные значения параметров в формуле (7.2)

Параметр	Мурманская область			Ненецкий автономный округ		
	^{137}Cs	^{134}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{134}Cs	^{90}Sr
T_1, лет	1,9	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
T_2, лет	11,4	1,9	11,9	10,3	1,8	11,9
a_1, (Бк · год) · кг$^{-1}$/(кБк · м$^{-2}$)	1 170	1 000	3,3	780	700	3,3
a_2, (Бк · год) · кг$^{-1}$/(кБк · м$^{-2}$)	300	255	1,7	220	190	1,7

8. Расчет прогнозируемой суммарной накопленной эффективной дозы

Как суммарная прогнозируемая накопленная эффективная доза *ПНЭД*, так и суммарная прогнозируемая годовая эффективная доза *ПГЭД* определяются как сумма прогнозируемой дозы внешнего облучения $ПНЭД^{ext}$ ($ПГЭД^{ext}$) и прогнозируемой дозы внутреннего облучения $ПНЭД^{int}$($ПГЭД^{int}$):

$$ПНЭД = ПНЭД^{ext} + ПНЭД^{int} \quad (8.1)$$

$$ПГЭД = ПГЭД^{ext} + ПГЭД^{int}, \text{ где} \quad (8.2)$$

$ПНЭД^{ext}$ и $ПГЭД^{ext}$ определяется формулами 5.6—5.8, а $ПНЭД^{int}$ и $ПГЭД^{int}$ – формулами 6.6—6.9, 7.1 и 6.10—6.12, 7.2.

gost.e-ecolog.ru