

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ С ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ

А.В. Хотулёва

Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Предложена методика расчета годовой эффективной дозы внешнего облучения населения по результатам прямых измерений мощности дозы излучения с многократными независимыми наблюдениями.

Ключевые слова: эффективная доза, внешнее облучение, радиационный фон, мощность дозы, цезий-137.

Для населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории, одним из факторов радиационного воздействия является внешнее облучение фотонным излучением, испускаемым радионуклидами.

Результаты радиационного контроля радиоактивно загрязненной территории показали, что население подвергается хроническому внешнему облучению в малых дозах. При облучении организма в малых дозах (не более 25 сЗв) воздействие радиационного фактора принято оценивать по значению эффективной дозы [1—2].

Эффективная доза равна сумме эквивалентных доз в 12 наиболее радиочувствительных органах и тканях человека, «взвешенных» с определенными тканевыми коэффициентами W_T , показывающими проявление рака в той или иной форме при оценке суммарного риска смерти от рака в результате облучения. Значения коэффициентов W_T для различных органов и тканей приведены в [1]. При равномерном облучении всего тела, что характерно для проживания населения на радиоактивно загрязненной местности, сумма коэффициентов W_T равна 1.

Цезий-137 является бета-гамма-излучающим радионуклидом. Согласно [1] взвешивающий коэффициент излучения W_R для гамма-излучения равен 1.

Введение понятия эффективной дозы породило ряд проблем при организации радиационного контроля. Главная проблема заключается в том, что эту величину принципиально нельзя измерить, так как для этого необходимо измерить дозу

в разных частях тела человека. При этом значения дозы излучения требуется соотносить с разными значениями тканевых коэффициентов W_T , также, в свою очередь, зависящих от энергии излучения. В то же время эффективную дозу можно рассчитать на основании данных о мощности дозы излучения и продолжительности облучения. В случае только внешнего гамма-облучения всего организма эффективная доза E может быть определена из зависимости

$$E = \begin{cases} K_{HE} \dot{H}T; \\ K_{DE} \dot{D}T; \\ K_{XE} \dot{X}T; \\ K_{*E} \dot{H}^*(10) T, \end{cases} \quad (1)$$

где K_{HE} , K_{DE} , K_{XE} , K_{*E} — коэффициент перехода к эффективной дозе от эквивалентной, поглощенной в воздухе, экспозиционной и амбиентной доз соответственно; $\dot{H}^*(10)$ — мощность амбиентного эквивалента дозы (мощность амбиентной дозы).

Числовое значение коэффициентов K_{HE} , K_{DE} , K_{XE} , K_{*E} зависит от вида и энергии излучения, а также от геометрии облучения. В [1] приведены значения коэффициентов перехода от кермы (поглощенной дозы) в воздухе к эффективной дозе для широкого диапазона энергий излучения и двух наиболее вероятных геометрий облучения: для фронтального облучения человека (облучение параллельным пучком в передне-задней геометрии) как наиболее опасного и для облучения в изотропном поле (2π или 4π) как наиболее часто реализуемом. Можно было бы рассчитать эффективную дозу с запасом по максимуму для фронтального облучения. Однако ужесточение пределов доз облучения приводит к тому, что оценка с большим запасом вынуждает накладывать ограничения на деятельность населения, что в свою очередь приводит к необоснованным дополнительным финансовым затратам. Следовательно, значения коэффициентов K_{HE} , K_{DE} , K_{XE} , K_{*E} будем находить для условия облучения населения, находящегося на открытой радиоактивно загрязненной местности, как находящегося в изотропном поле излучения.

В таблице 1 приведены средние значения коэффициентов перехода от эквивалентной, поглощенной и экспозиционной доз излучения к эффективной дозе для энергии гамма-фотонов 0,66—1 МэВ в случае изотропного облучения взрослого населения. Значения коэффициентов систематизированы по данным работ [1; 3—9; 12—15; 17].

Таблица 1

Коэффициент перехода от амбиентной, эквивалентной, поглощенной и экспозиционной доз к эффективной дозе излучения (изотропное поле излучения)

эффективной	Единица измерения дозы излучения									
	эквивалентной, амбиентной			поглощенной в воздухе				экспозиционной		
	Зв	мЗв	мкЗв	Гр	мГр	мкГр	нГр*	Р	мР	мкР
Зв	1	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0,7	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-9}$
мЗв		1	$1 \cdot 10^{-3}$		0,7	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	6,1	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$
мкЗв			1			0,7	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^3$	6,1	$6,1 \cdot 10^{-3}$
нЗв							0,7	$6,1 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^3$	6,1

*н (нано-) имеет множитель 10^{-9} .

При расчете дозы излучения на местности, загрязненной радионуклидами цезия и стронция, в [17] с учетом публикаций Международной Комиссии по радиологической защите № 60, 67 и 74 рекомендуется использовать следующие значения K_{DE} :

$$K_{DE} = \begin{cases} 0,75 \text{ мЗв/мГр} & \text{— для взрослого населения;} \\ 0,85 \text{ мЗв/мГр} & \text{— для детей.} \end{cases}$$

Единицы измерения коэффициентов перехода зависят от единицы измерения мощности дозы излучения и соответствующей единицы эффективной дозы (Зв или дольная единица: мЗв, мкЗв). Например, если измерена мощность экспозиционной дозы излучения \dot{X} , мкР/ч и потребуется получить значение эффективной дозы в мкЗв/ч, то формула (1) примет вид

$$E = K_{XE} \dot{X} T, \quad (2)$$

где K_{XE} — коэффициент перехода от экспозиционной дозы к эффективной; согласно табл. 1 он равен $6,1 \cdot 10^{-3}$ мкЗв/мкР.

Годовая эффективная доза внешнего облучения E жителей населенного пункта определяется по результатам измерений мощности дозы гамма-излучения в жилых и общественных зданиях, а также на открытой местности на территории населенного пункта и рассчитывается по формуле

$$E = E_{от} + E_{зд}, \quad (3)$$

где $E_{от}$, $E_{зд}$ — эффективная доза излучения, получаемая на открытой местности и в жилых (общественных) зданиях.

Эффективная доза излучения, получаемая на открытой местности $E_{от}$ равна

$$E_{от} = K_{PE} \dot{P}_{от} T_{от}, \quad (4)$$

где K_{PE} — коэффициент перехода от эквивалентной (амбиентной, поглощенной, экспозиционной) дозы к эффективной дозе; $\dot{P}_{от}$ — среднее значение за период облучения мощности эквивалентной (поглощенной, экспозиционной) дозы гамма-излучения на открытой местности населенного пункта, обусловленное техногенным загрязнением; $T_{от}$ — время нахождения жителей на открытой местности.

Эффективная доза излучения, получаемая в зданиях равна

$$E_{зд} = K_{PE} \dot{P}_{зд} T_{зд}. \quad (5)$$

Время пребывания жителей на открытой местности так и в зданиях найдем из зависимостей:

$$T_{от} = \alpha_{от} T; \quad (6)$$

$$T_{зд} = \alpha_{зд} T, \quad (7)$$

где $\alpha_{от}$, $\alpha_{зд}$ — доля времени нахождения жителей на открытой местности и в помещениях соответственно.

Для городских жителей (поселка городского типа) доля времени нахождения на открытой местности и в зданиях равна [5]

$$\alpha = \begin{cases} 0,2 & \text{— на открытой местности;} \\ 0,8 & \text{— в помещениях.} \end{cases} \quad (8)$$

Подставив формулы (4) и (5—8) в (3), получим

$$E = 0,2K_{PE}\dot{P}T + 0,8K_{PE}\dot{P}_{зд}T. \quad (9)$$

После приведения имеем

$$E = K_{PE}T(0,2\dot{P}_{от} + 0,8\dot{P}_{зд}), \quad (10)$$

$$E = 0,2K_{PE}T(\dot{P}_{от} + 4\dot{P}_{зд}). \quad (11)$$

В формуле (11) мощность дозы гамма-излучения на открытой местности $\dot{P}_{от}$ и в помещениях $\dot{P}_{зд}$ должна определяться только с учетом воздействия техногенного загрязнения, т.е. за вычетом природного гамма-фона на обследуемой территории P_{ϕ} . С учетом этого формула (11) по расчету годовой эффективной дозы примет вид

$$E = 0,2K_{PE}T\left[\left(\dot{P}_{от\ из} - \dot{P}_{\phi}\right) + 4\left(\dot{P}_{зд\ из} - \dot{P}_{\phi}\right)\right], \quad (12)$$

где T — продолжительность облучения в течение года (число часов в году), $T = 8800$ ч; $\dot{P}_{от\ из}$, $\dot{P}_{зд\ из}$ — среднегодовая мощность дозы гамма-излучения на открытой местности, измеренная на высоте 1 м над поверхностью почвы и в помещении соответственно.

После подстановки значения продолжительности облучения в течение года и приведения имеем

$$E = 1,76 \cdot 10^3 K_{PE} \left[\left(\dot{P}_{от\ из} - \dot{P}_{\phi} \right) + 4 \left(\dot{P}_{зд\ из} - \dot{P}_{\phi} \right) \right]. \quad (13)$$

При отсутствии результатов измерений в помещениях годовую эффективную дозу найдем из выражения

$$E = 1,76 \cdot 10^3 K_{PE} \left[\left(\dot{P}_{от\ из} - \dot{P}_{\phi} \right) + 4 \left(\frac{\dot{P}_{от\ из}}{K_{осл}} - \dot{P}_{\phi} \right) \right], \quad (14)$$

где $K_{осл}$ — коэффициент ослабления гамма-излучения зданием.

Коэффициент ослабления гамма-излучения зданием (помещением) может быть рассчитан теоретически исходя из конструктивных особенностей сооружения, энергии гамма-фотонов и геометрии облучения помещения, или заимствован из справочной литературы [7; 9].

Коэффициент ослабления гамма-излучения зданием зависит от его типа (табл. 2). Подвальные помещения и защитные сооружения обладают лучшими защитными свойствами.

Таблица 2

Коэффициент ослабления гамма-излучения жилыми, административными и производственными зданиями [7]

Тип здания (помещения)	Число измерений	Среднее значение $K_{осл}$
1. Административные четырехэтажные кирпичные здания:		
первый этаж	3	$7,2 \pm 2$
второй этаж	3	$11,2 \pm 3$
третий этаж	3	$11,2 \pm 3$
четвертый этаж	3	10 ± 3
2. Жилые двухэтажные кирпичные дома:		
первый этаж	18	17 ± 3
второй этаж	3	11 ± 3
3. Жилые одноэтажные рубленые деревянные дома:	—	$2,0 \pm 1,0$

В формулы (11—14) входят значения мощности дозы излучения, которые получают путем выполнения прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями. При статистической обработке группы результатов наблюдений согласно [10—11] необходимо выполнить следующие операции:

- исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов наблюдений;
- проверить предположение о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению случайной величины;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности результата измерения;
- вычислить границы неисключенной систематической погрешности результата измерения;
- вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Технические средства радиационного контроля должны быть поверены и допущены к проведению измерений. Погрешность технических средств радиационного контроля не должна превышать ± 20 —30%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
- [2] Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): санитарные правила СП 2.6.1.799-99. — М.: Минздрав России.
- [3] Порядок заполнения и ведения радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий: Методические указания МУ-177-112 (Утв. Заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 30.12.1997).
- [4] Гигиенические требования по ограничению облучения за счет природных источников ионизирующего излучения: санитарные правила СП 2.6.1.1292-03. — М.: Минздрав России.
- [5] Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088—02. — М.: ФЦ ГСЭН Минздрава России, 2002.

- [6] Санитарные правила по обеспечению радиационной безопасности на объектах нефтегазового комплекса России: санитарные правила СП 2.6.1.1291-03. — М.: Минздрав России, 2003.
- [7] Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянного проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов: методические указания МУ 2.6.1.1001-00. — М.: ФЦ ГСЭН Минздрава России, 2001.
- [8] *Моисеев А.А., Иванов В.И.* Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
- [9] Методические указания для разработки мероприятий по защите населения в случае аварии ядерного реактора: сборник правил и норм по радиационной безопасности в атомной энергетике. Т. 2. — М.: Минздрав, 1989.
- [10] Рекомендация. Методики радиационного контроля. Общие требования: МИ 2453-2000. — Менделеево, 2000.
- [11] ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. — Введ. 01.01.1977; переиздание. — М.: Изд-во стандартов, 1979 (Государственная система обеспечения единства измерений).
- [12] Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий: Методические указания МУ 2.6.1.715-98. — М.: ФЦ ГСЭН Минздрава России, 1998.
- [13] *Федоров Г.А.* Оценка радиационной обстановки по результатам гамма-спектрометрического обследования местности // АНРИ. — 1996/97. — № 4. — С. 24—33.
- [14] *Прокофьев О.Н., Еришов Э.Б., Смирнов О.А., Ломов О.П.* Определение условий безопасной работы с точечным источником гамма-излучения // Военно-медицинский журнал. — 2001. — № 5. — С. 52—56.
- [15] Данные для использования при защите от внешнего излучения: Публикация 51 МКРЗ. — М.: Энергоатомиздат, 1993.
- [16] Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования: методические указания МУ 2.6.1.016-2000. — М.: ВНИИФТРИ, 2001.
- [17] Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду: методические указания МУ 2.6.1.2222-07. — М.: ФЦ ГСЭН Минздрава России, 2008.

METHODS OF EFFECTIVE DOSE DEFINITION OF THE EXTERNAL IRRADIATION OF THE POPULATION, LIVING IN TERRITORY WITH TECHNOGENETICAL CHANGED RADIATING BACKGROUND

A.V. Khotuleva

Ecological Faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

Methods of annual efficient dose calculation of the external irradiation of the population is offered on result of the direct measurements to powers of the dose of the radiation with frequentative independent observations.

Key words: effective dose, external irradiation, radiating background, powers of the dose, caesium-137.