МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ТКАНЯХ ТЕЛА, НАХОДЯЩИХСЯ НА МАЛОМ РАССТОЯНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические рекомендации

ЛЕНИНГРАД
1986

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ

«СОГЛАСОВАНО»
Зам. начальника Главного управления научно-исследовательских институтов и координации научных исследований
В. М. Христюк
18 февраля 1986 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель министра здравоохранения РСФСР
К. И. Акулов
21 февраля 1986 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ТКАНЯХ ТЕЛА, НАХОДЯЩИХСЯ НА МАЛОМ РАССТОЯНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические рекомендации

ЛЕНИНГРАД
1986

Составили — сотрудники Ленинградского научно-исследовательского института радиационной гигиены МЗ РСФСР

В. Ю. ГОЛИКОВ, О. В. ЛЕБЕДЕВ

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение 3
2. Экспериментальное обоснование рекомендаций 4
3. Методика определения поглощенных доз 5

Редактор *В. В. Федоскина*

Заказ 1963 Тираж 500 экз. Подписано к печати 22.04.86 М-38486

Производственно-полиграфическое объединение № 1
Ленупрполиграфиздата. Пушкинское производство

1. Введение

При работе с источниками ионизирующего излучения не может быть полностью исключена возможность возникновения радиационных аварий, основными причинами которых являются нарушения правил перевозки, хранения и эксплуатации радиоактивных источников.

Для радиационных аварий, сопровождающихся внешним облучением людей от источников гамма-излучения, типично весьма неравномерное распределение дозы по отдельным частям тела. Наиболее сильное местное поражение наблюдается в условиях непосредственного контакта тела человека с источником при ношении его в руках, карманах одежды и пр. Такие случаи облучения большими дозами могут вызвать серьезные последствия для здоровья пострадавшего. Для оценки степени радиационного поражения и планирования курса лечения, если оно необходимо, требуется в короткий срок получить достаточно точную информацию о распределении поглощенных доз в органах и тканях тела человека. При расстояниях от источника до облучаемой области, значительно превышающих размеры источника излучения, поглощенная доза может быть рассчитана с применением формул для точечного источника, учитывающих ослабление прямого излучения и дозовый фактор накопления рассеянного излучения в теле человека. Однако, когда источник находится вплотную или на расстоянии нескольких миллиметров от тела, расчет поглощенной дозы, выполненный в предположении, что источник является точечным, дает отклонение расчетной дозы от действительной до нескольких раз. Расчетный метод решения этой задачи, учитывающий реальные размеры источника, является достаточно сложным. Наиболее эффективным способом изучения поля доз на малых расстояниях от источника является фантомное моделирование условий облучения с применением термолю-

минесцентных детекторов из фтористого лития. Благодаря тканеэквивалентности и малым размерам этих детекторов распределение поглощенной дозы в тканях тела можно измерить с высоким пространственным разрешением в непосредственной близости от источника излучения.

Данные методические рекомендации, основанные на таких фантомных измерениях, дают возможность определять величину поглощенной дозы в тканях тела, находящихся на расстоянии от 0,5 мм до 40 ... 60 мм от поверхности корпуса закрытых источников гамма-излучения.

Рекомендации предназначены для сотрудников радиологических групп санитарно-эпидемиологических станций, персонала ведомственных служб радиационной безопасности, а также врачей, занимающихся лечением пострадавших при острых лучевых поражениях.

2. Экспериментальное обоснование рекомендаций

Фантомное моделирование проводилось с применением стандартных источников гамма-излучения цилиндрической формы. Материалы методических рекомендаций пригодны для расчета дозы от перечисленных в табл. 1 девяти типов наиболее широко распространенных на практике источников гамма-излучения, включающих 48 вариантов источников из 119 наименований, поставляемых В/О „Изотоп".

Таблица 1

Тип и размеры рассматриваемых источников гамма-излучения

Радионуклид	Тип источника	Размеры (мм)	
		диаметр	высота
Кобальт-60	ГИК—1—1	6	7
	ГИК—1—5	6	7
Кобальт-60	ГИК—2—1	6	7
	ГИК—2—18	6	7
Цезий-137	ИГИ—Ц—3	6	10
Цезий-137	ИГИ—Ц—4	8	12
Цезий-137	ГИД—Ц—2	8	12
Иридий-192	ИГИ—Ир—0	4,5	5
Иридий-192	ГИИД—4	4	5

Измерения поглощенных доз проводились с помощью термолюминесцентных детектров ЭЧ ТЛД 0—05 из фтористого ли-

тня диаметром 5 мм и толщиной 1 мм, помещенных в фантом из тканеэквивалентного материала. Двадцать детекторов укладывались стопкой в канал $\varnothing$ 6 × 20 мм, просверленный в фантоме перпендикулярно его поверхности. Цилиндрический источник гамма-излучения (кобальт-60, цезий-137, иридий-192) устанавливался над стопкой детекторов так, что центры торцов источника и верхнего детектора совмещались.

В последующих сериях измерений источник перемещался вдоль поверхности фантома на расстояния 5, 10, 15, 20 и 40 мм от оси канала. Все измерения повторялись при второй ориентации источника, когда в контакте с фантомом была его цилиндрическая поверхность. Так как результат измерения соответствовал дозе, усредненной по объему детектора, измеренные значения доз были отнесены к точке центра детектора. Термолюминесцентные детекторы калибровались в поле образцового источника гамма-излучения, ошибка измерения мощности экспозиционной дозы которого не превышала $\pm 4\%$. Относительная погрешность разброса чувствительности в партии детекторов была менее $\pm 5\%$. Для уменьшения ошибок, связанных с геометрией расположения источника излучения и детекторов, и случайных ошибок поглощенная доза в каждой точке измерялась от 3 до 5 раз, при этом максимальные отклонения от среднего значения не превышали $\pm 5\%$. Таким образом, относительная погрешность измерения поглощенной дозы в каждой точке была менее $\pm 10\%$.

В результате измерений была введена поправка, учитывающая влияние различия дозиметрических детекторов и мягких тканей по плотности и химическому составу, поэтому окончательные результаты представлены в виде мощности поглощенной дозы в мягких тканях.

3. Методика определения поглощенных доз

Результаты фантомных измерений представлены в табл. 2, 3, 4, с помощью которых можно определить величину поглощенной дозы Д в точке B тела, расположенной на глубине z и на расстоянии R от оси симметрии источника, имеющего в момент облучения активность A, при продолжительности облучения t часов (см. рис. 1).

Доза определяется по формуле

$$Д = K \cdot A \cdot t, \text{ мГрей},$$

в которую подставляют значение дозового коэффициента K из табл. 2, 3, 4. При этом необходимо учитывать следующее:

1. Если в процессе облучения источник занимал разные положения относительно тела, то следует определить значения дозы для каждого положения, а затем сложить полученные значения доз.

2. Если источник находился на некотором расстоянии от поверхности тела, то к z следует прибавить это расстояние.

3. Для определения поглощенных доз в точках с координатами, имеющими промежуточные значения относительно указанных в таблице, следует применять линейное интерполирование; ошибка не будет превышать $\pm 5\%$.

4. В эксперименте установлено, что для источников с отношением высоты к диаметру в пределах 1,15 ... 1,50, перечисленных в табл. 1, ориентация источника (прилегание к телу торцевой или цилиндрической поверхностью) в пределах ошибки измерений не влияет на величину поглощенной дозы в точках, расположенных на расстоянии более 5 мм от источника.

Максимальное влияние (около 20%) ориентация источника оказывает при $R = 0$. Приведенные для этого случая в таблице значения K соответствуют средним величинам, полученным при двух вариантах ориентации.

5. При использовании данной методики наибольший вклад в ошибку дает неточность определения z, R и t, поэтому следует стремиться к получению возможно более точной оценки величин указанных параметров.

Суммарная ошибка определения поглощенной дозы не превышает $\pm 20\%$, что удовлетворяет потребности практической дозиметрии и не уступает точности сложных расчетных методов.

Пример расчета. При расследовании радиационной аварии было установлено, что пострадавший держал источник иридия-192 активностью 1,036 ТБк между большим и указательным пальцем руки в течение около 20 секунд, а затем положил его в карман брюк, где источник находился 1 час 45 минут. Необходимо определить поглощенные дозы в тканях тела, расположенных в зоне контакта.

1. Доза, полученная участками кожи конечных фаланг пальцев, соприкасавшимися с источником:

$$R = 0;\ z = 0{,}5 \text{ мм};\ t = 20 \text{ сек} = 0{,}0055 \text{ часа};$$
$$A = 1{,}036 \cdot 10^5 \text{ МБк}.$$

Из табл. 4 находим: $K_1 = 12{,}2 \dfrac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}}$,

$$Д_1 = 12{,}2 \cdot 1{,}036 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0055 = 69515 \text{ мГр} \approx 70 \text{ Гр}.$$

2. Доза, полученная тканями в центре сустава первой фаланги:

$$R = 20 \text{ мм}; z = 10 \text{ мм}; t = 0{,}0055 \text{ часа};$$

$$A = 1{,}036 \cdot 10^6 \text{ МБк},$$

$$К_2 = 0{,}24 \frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБр}},$$

$$Д_2 = 0{,}24 \cdot 1{,}036 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0055 = 1368 \text{ мГр} \approx 1{,}4 \text{ Гр}.$$

3. Доза, полученная мягкими тканями в зоне ногтевого ложа:

$$R = 0; z = 10 \text{ мм}; t = 20 \text{ сек} = 0{,}0055 \text{ часа};$$

$$A = 1{,}036 \cdot 10^6 \text{ МБк},$$

$$К_3 = \frac{1{,}12 + 0{,}95}{2} = 1{,}04 \frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}},$$

$$Д_3 = 1{,}04 \cdot 1{,}036 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0055 = 5926 \text{ мГр} \approx 5{,}9 \text{ Гр}.$$

4. Доза, полученная тканями бедра при ношении источника в кармане брюк. Минимальное расстояние от поверхности источника до тела было оценено 5 мм, максимальное — 20 мм.

Доза, соответствующая минимальному расстоянию:

$$R = 0; z = 5 \text{ мм}; t = 1{,}75 \text{ часа};$$

$$A = 1{,}036 \cdot 10^6 \text{ МБк},$$

$$К_4 = \frac{2{,}9 + 2{,}3}{2} = 2{,}6 \frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}},$$

$$Д_4 = 2{,}6 \cdot 1{,}036 \cdot 10^6 \cdot 1{,}75 \approx 4{,}71 \cdot 10^6 \text{мГр} = 4710 \text{ Гр}.$$

Доза, соответствующая расстоянию 20 мм:

$$К_5 = 0{,}32 \frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}},$$

$$Д_5 = 0{,}32 \cdot 1{,}036 \cdot 10^6 \cdot 1{,}75 \approx 0{,}58 \cdot 10^6 \text{ мГр} = 580 \text{ Гр}.$$

Если предположить, что источник в течение 1/3 времени находился на расстоянии 5 мм, а остальное время — на расстоянии 20 мм, то максимальная доза на поверхности бедра будет:

$$4710 \text{ Гр} \cdot 1/3 + 580 \text{ Гр} \cdot 2/3 \approx 1955 \text{ Гр}.$$

Аналогично может быть рассчитано распределение поглощенной дозы и для других точек вблизи места контакта источника с телом.

Таблица 2

Значения дозового коэффициента K для источников гамма-излучения кобальта-60 активностью 1 МБк, расположенных на расстояниях R и z от рассматриваемой точки тела

z (мм)	К, $\frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}}$					
	$R = 0$	$R = 5$ мм	$R=10$ мм	$R=15$ мм	$R=20$ мм	$R=40$ мм
0,5	29	9	3,0	1,44	0,76	0,197
1,5	19,6	7,6	2,9	1,43	0,82	0,22
2,5	12,9	6,1	2,7	1,38	0,81	0,21
3,5	9,4	5,1	2,5	1,30	0,79	0,21
4,5	7,2	4,4	2,3	1,25	0,76	0,21
5,5	5,8	3,7	2,0	1,17	0,71	0,20
6,5	4,8	3,1	1,79	1,11	0,68	0,20
7,5	3,9	2,7	1,60	1,04	0,66	0,197
8,5	3,2	2,3	1,44	0,98	0,62	0,195
9,5	2,7	2,0	1,25	0,93	0,61	0,189
10,5	2,2	1,68	1,14	0,87	0,58	0,186
14,5	1,29	1,01	0,79	0,65	0,47	0,173
19,5	0,76	0,68	0,60	0,52	0,35	0,157

Таблица 3

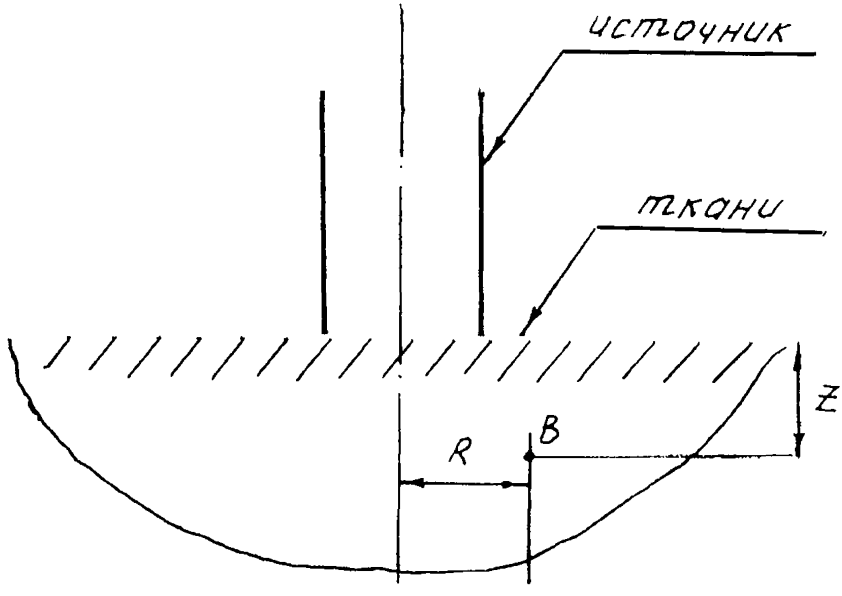
Значения дозового коэффициента K для источников гамма-излучения цезия-137 активностью 1 МБк, расположенных на расстояниях R и z от рассматриваемой точки тела

z (мм)	К, $\frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}}$					
	$R = 0$	$R = 5$ мм	$R=10$ мм	$R=15$ мм	$R=20$ мм	$R=40$ мм
0,5	6,1	2,1	0,76	0,38	0,20	0,055
1,5	3,9	1,74	0,71	0,38	0,20	0,055
2,5	2,7	1,44	0,63	0,35	0,197	0,055
3,5	2,1	1,19	0,55	0,33	0,192	0,054
4,5	1,71	1,01	0,49	0,33	0,184	0,053
5,5	1,41	0,84	0,44	0,30	0,176	0,052
6,5	1,13	0,68	0,39	0,28	0,166	0,052
7,5	0,91	0,63	0,36	0,26	0,162	0,051
8,5	0,79	0,52	0,33	0,25	0,154	0,050
9,5	0,65	0,47	0,31	0,23	0,146	0,049
10,5	0,57	0,41	0,26	0,22	0,141	0,048
14,5	0,37	0,25	0,189	0,170	0,114	0,044
19,5	0,192	0,176	0,143	0,122	0,086	0,038

Таблица 4

Значения дозового коэффициента K для источников гамма-излучения иридия-192 активностью 1 МБк, расположенных на расстояниях R и z от рассматриваемой точки тела

z (мм)	K, $\frac{\text{мГр}}{\text{час} \cdot \text{МБк}}$					
	R = 0	R = 5 мм	R=10 мм	R=15 мм	R=20 мм	R=40 мм
0,5	12,2	3,5	1,19	0,54	0,33	0,085
1,5	7,7	2,8	1,09	0,52	0,31	0,084
2,5	5,0	2,4	1,01	0,49	0,31	0,083
3,5	3,8	1,98	0,87	0,48	0,30	0,081
4,5	2,9	1,65	0,76	0,44	0,29	0,079
5,5	2,3	1,36	0,68	0,42	0,28	0,078
6,5	1,88	1,15	0,60	0,38	0,27	0,076
7,5	1,52	0,99	0,55	0,36	0,26	0,075
8,5	1,33	0,86	0,49	0,33	0,25	0,074
9,5	1,12	0,75	0,47	0,30	0,24	0,072
10,5	0,95	0,67	0,42	0,28	0,23	0,070
14,5	0,54	0,42	0,33	0,21	0,181	0,064
19,5	0,32	0,28	0,22	0,151	0,138	0,057



gost.e-ecolog.ru