

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ДЕТСКИХ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ г. ГОМЕЛЯ в 1990 году

В 1990 году было проведено радиационное обследование всех детских дошкольных учреждений г. Гомеля (172 ДДУ). Обследование внутренних помещений детских дошкольных учреждений показало, что все помещения обследованных ДДУ, доступные для детей, имеют естественный радиационный фон. Таким образом, дозовые нагрузки на детский организм обусловлены уровнем загрязнения территории ДДУ, спектром загрязнения (номенклатурой радионуклидов) и временем пребывания ребенка на этой территории за период посещения ДДУ (период с трех до шести лет), то есть за три года.

Результаты обследований территорий ДДУ и исследование состава грунта на содержание изотопов ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr приведены в работе [1].

Проведем оценку коэффициента корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 и цезием-134. Исходные данные для оценки коэффициента корреляции приведены в работе [1] и [2].

Величину коэффициента корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 (Бк/м²) и цезием-134 (Бк/м²) вычисляем по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{Cs-137(i)} - \bar{S}_{Cs-137(i)}) \cdot (S_{Cs-134(i)} - \bar{S}_{Cs-134(i)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{Cs-137(i)} - \bar{S}_{Cs-137(i)})^2 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (S_{Cs-134(i)} - \bar{S}_{Cs-134(i)})^2}} \quad (1.1)$$

Подставляя в формулу (1.1) соответствующие значения получили

$$r = 0,996$$

По табличным данным при числе измерений $n = 37$ ($f = n - 2 = 35$) и доверительной вероятности $\gamma = 99,9\%$ теоретическое значение коэффициента корреляции $r_{теор.} = 0,519$.

Поскольку расчетный коэффициент корреляции $r = 0,996$, т.е. ≈ 1 и больше теоретического коэффициента корреляции $r_{теор.} = 0,519$, можно считать, что с вероятностью 99,9% между плотностью загрязнения цезием-137 и цезием-134 существует положительная связь, т.е. величины S_{Cs-134} (Бк/м²) и S_{Cs-137} (Бк/м²) зависимы.

Проведем оценку коэффициента корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 и стронцием-90. Данные для оценки коэффициента корреляции взяты из работы [1] и [2].

Проведя вычисления получаем коэффициент корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 и стронцием-90 равен $r = 0,719$.

По табличным данным при числе измерений $n = 37$ ($f = n - 2 = 35$) и доверительной вероятности $\gamma = 99,9\%$ теоретическое значение коэффициента корреляции $r_{теор.} = 0,519$, но так как коэффициент корреляции больше теоретического, можно считать, что с вероятностью 99,9% между плотностью загрязнения цезием-137 и стронцием-90 существует положительная связь, т.е. величины S_{Cs-137} (Бк/м²) и S_{Sr-90} (Бк/м²) зависимы.

Для оценки коэффициента корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 (Ки/км²) и мощностью экспозиционной дозы (мР/ч) используем формулу

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{Cs-137(i)} - \bar{S}_{Cs-137(i)}) \cdot (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{Cs-137(i)} - \bar{S}_{Cs-137(i)})^2 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (P_i - \bar{P})^2}} \quad (1.2)$$

Подставляя значения из работы [2] в формулу (1.2) находим коэффициент корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 и мощностью экспозиционной дозы $r = 0,884$.

Так как расчетный коэффициент корреляции $r = 0,884$ меньше $r_{теор.} = 1$, то между плотностью загрязнения цезием-137 и мощностью экспозиционной дозы не существует прямой пропорциональности, поэтому не имеет смысла рассчитывать коэффициент пропорциональности между поверхностью загрязнения и мощностью экспозиционной дозы гамма излучения.

Найденный линейный коэффициент корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 и цезием-134 примерно равен единице ($r \approx 1$), значит можно говорить о существовании линейной зависимости между плотностью загрязнения цезием-137 и цезием-134. Найдем по данным измерениям (на 1990 г.) выборочное уравнение прямой линии среднеквадратичной регрессии. Будем искать

выборочное уравнение прямой линии регрессии плотности загрязнения цезием-134 (S_{Cs-134}) на плотность загрязнения цезием-137 (S_{Cs-137}) вида:

$$S_{Cs-134} = \rho S_{Cs-137} + b,$$

где ρ – выборочный коэффициент регрессии

$$\rho = (n \sum (S_{Cs-137} \cdot S_{Cs-134}) - \sum S_{Cs-137} \cdot \sum S_{Cs-134}) / (n \sum S_{Cs-137}^2 - (\sum S_{Cs-137})^2) \quad (1.3)$$

$$b = (\sum S_{Cs-137}^2 \cdot \sum S_{Cs-134} - \sum S_{Cs-137} \cdot \sum (S_{Cs-137} \cdot S_{Cs-134})) / (n \sum S_{Cs-137}^2 - (\sum S_{Cs-137})^2) \quad (1.4)$$

Исходные данные для расчета выборочного коэффициента регрессии приведены в работе [2]. Найдя коэффициенты по формулам (1.3) и (1.4) получим искомое уравнение регрессии

$$S_{Cs-134}^{расч.} = 0,12 \cdot S_{Cs-137} + 790 \quad (1.5)$$

По данному уравнению регрессии, зная плотность загрязнения цезием-137 в 1990 году, можно находить плотность загрязнения цезием-134.

Для того чтобы получить представление, насколько вычисленные значения по уравнению (1.5) согласуются с полученными измерениями, найдем отклонения $S_{Cs-134(i)}^{расч.} - S_{Cs-134(i)}$. Найдем стандартную погрешность определения плотности загрязнения цезием-134 по измеренным данным по формуле

$$\sigma_{Cs-134}^{станд} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=37} (s_{Cs-134(i)} - \bar{s}_{Cs-134})^2}{n(n-1)}} = 1446 \text{ (Бк/м}^2\text{)} \quad (1.6)$$

Сравнивая отклонения из работы [2] и стандартную погрешность определения плотности загрязнения цезием-134 можно утверждать, что отклонение между данными, полученными по расчетному уравнению (1.5), и измеренными данными не превышают стандартную погрешность при определении плотности измерения цезием-134 на основе анализа проб грунта.

Определим эквивалентные дозы, полученные ребенком за период с 1986 по 1989 гг. Коэффициенты перехода к эквивалентной дозе при облучении от загрязненной радионуклидами почвы приведены в таблице 1.1 [6-9], в соответствии с рекомендациями работы [10]. Таблица 1.1 включает коэффициенты перехода в течении первого, второго месяцев и 50-и лет, учтены распад, заглубление и выветривание, рельеф поверхности и влияние вторичного подъема радионуклидов в атмосферу.

Таблица 1.1

Коэффициенты перехода к эквивалентной дозе при облучении от загрязненной радионуклидами почвы

Радионуклид	Коэффициент перехода от плотности загрязнения почвы к эквивалентной дозе [мЗв/(кБк/м ²)]		
	1-й месяц	2-й месяц	50 лет
⁹⁰ Sr	1,69·10 ⁻⁴	1,61·10 ⁻⁴	2,11·10 ⁻²
¹³⁴ Cs	2,66·10 ⁻³	2,45·10 ⁻³	5,12·10 ⁻³
¹³⁷ Cs+ ¹³⁷ Ba	9,94·10 ⁻⁴	9,37·10 ⁻⁴	1,25·10 ⁻¹

Все дозовые коэффициенты рассчитываются применительно к условному взрослому человеку. Поскольку информация о воздействии облучения на детский организм носит ограниченный характер, и кратность превышения эквива-

лентной дозы ребенка относительно взрослого в отдельных случаях может достигать порядка величины, используем рекомендации работы [12] по учету различия массы тела взрослого и ребенка. Соотношение доз ребенка и взрослого (кроме ингаляционного пути поступления радионуклидов) пропорционально $[70/M(t)]^{2/3}$, где 70 – условная масса взрослого человека, кг; $M(t)$ – полная масса ребенка в возрасте t лет, кг. Эта пропорция определяется допущениями о неизменности отношения массы отдельных органов к массе всего тела для всех возрастов и сохранении формы органов с возрастом. Зависимость массы тела от возраста для лиц мужского пола определяется выражением [11]:

$$M(t) = 10 \exp[0,122(t - 1)] \text{ для } (17 \text{ лет} > t \geq 1 \text{ год}) \quad (1.7)$$

Будем все вышеизложенное учитывать при расчете дозы, получаемой ребенком за период с 3-х до 6-и лет при посещении ДДУ. При оценке будем использовать дозовый коэффициент за 1-й месяц с поправкой на распад (см. рис. 3.1) за трехлетний период и с учетом длительности срока (кратность срока – 36). Кроме того, учтем недельную продолжительность пребывания ребенка в ДДУ (5 дней) и примем среднюю ежедневную длительность возможного пребывания на загрязненной территории (прогулка) 2 часа. Полученные в этих условиях эквивалентные дозы за период 1986 – 1989 гг. приведены в работе [2]. Следует отметить, что в первый послеаварийный период на территории г. Гомеля, по данным Гидромета РБ, зафиксировано выпадение группы короткоживущих радионуклидов. С учетом динамики радиоактивного распада плотность поверхностного загрязнения территории г. Гомеля этими радионуклидами приведена в табл.1.2-1.3.

Таблица 1.2

Плотность поверхностного загрязнения территории г. Гомеля короткоживущими радионуклидами с учетом динамики их распада

Нуклид	Период полураспада	Плотность поверхностного загрязнения, Бк/м ²			
		28.04.86г.	10.05.86г.	23.05.86г.	23.06.86г.
¹³¹ I	8,04 сут.	520,55·10 ⁴	185·10 ⁴	60,3·10 ⁴	4,55·10 ⁴
¹³⁸ Cs	13,1 сут.	3·10 ⁴	1,48·10 ⁴	0,7·10 ⁴	0,14·10 ⁴
⁸⁹ Sr	50,5 сут.	25,5·10 ⁴	21,5·10 ⁴	17,9·10 ⁴	11,8·10 ⁴
¹³² I	3,26 сут.	69,19·10 ⁴	5,4·10 ⁴	0,52·10 ⁴	0
⁹⁵ Zr	63,98 сут.	75·10 ⁴	65,9·10 ⁴	58,8·10 ⁴	42,5·10 ⁴
¹⁴⁰ Ba	12,74 сут.	98,4·10 ⁴	51,4·10 ⁴	25,5·10 ⁴	5·10 ⁴
¹⁰³ Ru	39,28 сут.	35,2·10 ⁴	28,5·10 ⁴	22,5·10 ⁴	13,3·10 ⁴
¹³³ I	20,8 час	194·10 ⁴	38,8·10 ⁴ на 01.05.86	7,8·10 ⁴ на 03.05.86	1,6·10 ⁴ на 05.05.86

В работе [14] указывается, что максимальный уровень концентрации радионуклидов в воздухе и выпадений на почву г. Гомеля наблюдался 28-29 апреля 1986 г., в последующие дни он составлял несколько процентов максимальной величины.

Соответственно, суммарная доза, полученная ребенком среднего детского возраста от совокупности этих радионуклидов за период с 28.04.1986 г. по 27.04.1989 г., в сравнимых условиях (2 часа в день на улице в ДДУ, 5 дней в неделю) с учетом динамики радиоактивного распада составит величину ~1,6 мЗв.

Таким образом, с учетом воздействия короткоживущих радионуклидов, эквивалентная доза от загрязненной территории ДДУ, полученная ребенком за период апрель 1986 – апрель 1989 гг., варьируется от 1,7035 мЗв (№ 1 59, ул. Свиридова,

1а) до 5,97 мЗв (ДДУ № 143, ул. П. Бровки, 37), что практически на порядок величины больше дозы, получаемой ребенком за период 1990 – 1992 гг.

Таблица 1.3

Кoeffициент перехода от плотности загрязнения почвы
к эквивалентной дозе, [мЗв/(кБк/м²)]

Радионуклид	Кoeffициент перехода, [мЗв/(кБк/м ²)]		
	1-й месяц	2-й месяц	50 лет
1	2	3	4
¹³¹ I	$2,84 \cdot 10^{-4}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	$2,67 \cdot 10^{-4}$
¹³⁶ Cs	$1,87 \cdot 10^{-3}$	$3,63 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^{-3}$
⁸⁹ Sr	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$6,59 \cdot 10^{-6}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$
¹³² I	$1,85 \cdot 10^{-5}$	0,00	$1,85 \cdot 10^{-5}$
⁹⁵ Zr	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,83 \cdot 10^{-3}$
¹⁴⁰ Ba	$1,98 \cdot 10^{-3}$	$4,36 \cdot 10^{-3}$	$2,52 \cdot 10^{-3}$
¹⁰³ Ru	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$3,56 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$
¹³³ I	$4,53 \cdot 10^{-5}$	0	$4,53 \cdot 10^{-5}$
¹⁰³ Ru+ ¹⁰⁶ Rh	$4,24 \cdot 10^{-4}$	$3,79 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$

С учетом воздействия ингаляционного пути поступления радионуклидов в организм, а также с пищей в период с апреля 1986 г. по апрель 1989 г. это различие будет существенно больше. В дальнейшем эта разница будет медленно возрастать в соответствии с динамикой радиоактивного распада.

По результатам обследования в 1991 – 1992 годах были произведены дезактивационные работы и достигнуты контрольные уровни, установленные органами Госсаннадзора для детских дошкольных учреждений г. Гомеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ и обобщение экспериментальных данных по загрязнению дошкольных учреждений в г. Гомеле / Г.А. Шароваров, Т.Л. Пушкарева, С.А. Матвеев, О.И. Зайцев. – Мн., 1999. – 25 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т радиозолог. проблем; № 25).
2. Реконструкция радиационной обстановки детских дошкольных учреждений г. Гомеля / С.А. Матвеев, Г.А. Шароваров. – Минск, 2003. – 22 с. – (Препринт/Нац. акад. наук Беларуси, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований; № 12).
3. **Нестеренко В.Б.** Рекомендации по мерам радиационной защиты населения и их эффективность / Ин-т радиац. безоп. "Белрад". – Мн., 1998. – 48 с.
4. Обобщение методов обследования объектов, загрязненных радионуклидами / С.А. Матвеев, Т.Л. Пушкарева, Г.А. Шароваров. – Мн., 1999. – 24 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т радиозолог. проблем; № 27).
5. Последствия Чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь / Министерство по чрезвычайным ситуациям и НАН Беларуси; Под ред. Е.Ф. Конопки, И.В. Ролевича. – Минск, 1996. – 96 с.
6. ICRP, Publication 60.
7. IAEA TECDOC № 955, 1997.
8. US EPA Federal Guidance Report № 12.
9. US EPA 520/1 – 88 – 020.
10. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources, Safety Series № 115.
11. **Гусев Н.Г., Белая В.А.** Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
12. **Adams N.** Dependence on Age at Intake of Committed Dose Equivalents from Radionuclides / Phys. Med. Biol. – 1981. – V. 26, № 6. – P. 1019-1034.

13. Горбачева Н.В., Молодых В.Г., Панитков Ю.С. Оценка состава и величины выброса радионуклидов во время аварии на ЧАЭС. – Мн., 1994. – 31 с. – (Препринт / Академия наук Беларуси. Ин-т радиозкологич. проблем; № 7).
14. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции / Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, С.И. Авдюшин // Метеорология и гидрология. –1987. – № 2. – С. 5-18.

SUMMARY

In work various mechanisms influencing on change of radiating conditions in considered(examined) region for the period past after failure on the Chernobyl atomic power station are taken into account(discounted) as mechanisms of formations of losses, characteristic for an area of Gomel, and, and the correctness of the received estimations is shown by satisfactory concurrence of values on density pollution by caesium-137 and the strontium-90, received by authors, with results of works executed by other researchers on other methodical base.