

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЦЕЗИЕМ-134 ОТ ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЦЕЗИЕМ-137 С ПОМОЩЬЮ ВЫБОРОЧНОГО УРАВНЕНИЯ ПРЯМОЙ ЛИНИИ РЕГРЕССИИ

Асп. МАТВЕЕВ С.А., докт. техн. наук, проф. ШАРОВАРОВ Г. А.

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – “Сосны”» НАН Беларуси

В 1990 г. было проведено радиационное обследование 172 детских дошкольных учреждений (ДДУ) г. Гомеля, которое показало, что все доступные для детей помещения имеют естественный радиационный фон. Дозовые нагрузки на детский организм обусловлены уровнем загрязнения территории, спектром загрязнения (номенклатурой радионуклидов) и временем пребывания ребенка на этой территории за период посещения ДДУ, т. е. за три года. В значительном количестве обследованных ДДУ уровень максимального загрязнения превышает средний уровень в несколько раз. Подробные данные по результатам измерений радионуклидного состава грунта по содержанию изотопов  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  приведены в [1].

Плотность загрязнения территории ДДУ изотопами  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на апрель 1986 г. восстановлена в предположении, что снижение активности происходило только в результате естественного распада, без учета механизмов переноса радионуклидов (дожди, ветры, весенние паводки и т. д.). В процессе радиоактивного распада количество радиоактивных атомов в веществе с течением времени уменьшается по экспоненциальному закону

$$A_t = A_0 e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}}, \quad (1)$$

где  $A_t$  – активность через время;  $A_0$  – активность в начальный момент времени  $t$ ;  $T_{1/2}$  – период полураспада.

Преобразуя формулу (1), получим

$$A_0 = A_t / e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}}.$$

Периоды полураспада равны:

$$T_{1/2} = 28,6 \text{ года} - ^{90}\text{Sr}; 2,06 \text{ года} - ^{134}\text{Cs}; \\ 30,17 \text{ года} - ^{137}\text{Cs}.$$

Время, прошедшее с момента аварии на ЧАЭС до времени исследования в 1990 г., составляет  $t = 4,17$  лет. Найдем формулы для расчета активности на начальный период для:

$$^{90}\text{Sr} - A_0 = A_t / 0,904; \quad ^{134}\text{Cs} - A_0 = A_t / 0,246; \\ ^{137}\text{Cs} - A_0 = A_t / 0,909.$$

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

Величину коэффициента корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 (Бк/м<sup>2</sup>) и цезием-134 (Бк/м<sup>2</sup>) вычисляем по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{\text{Cs-137}(i)} - \bar{S}_{\text{Cs-137}(i)}) (S_{\text{Cs-134}(i)} - \bar{S}_{\text{Cs-134}(i)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{\text{Cs-137}(i)} - \bar{S}_{\text{Cs-137}(i)})^2 \sum_{i=1}^{i=n} (S_{\text{Cs-134}(i)} - \bar{S}_{\text{Cs-134}(i)})^2}} = \\ = 0,996^2. \quad (2)$$

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

Поскольку расчетный коэффициент корреляции  $r = 0,996$ , т. е.  $\approx 1$  и больше теоретического коэффициента корреляции  $r_{\text{теор}} = 0,519$ , можно считать, что с вероятностью 99,9 % между плотностью загрязнения цезием-137 и цезием-134 существует положительная связь, т. е. величины  $S_{\text{Cs-134}}$  (Бк/м<sup>2</sup>) и  $S_{\text{Cs-137}}$  (Бк/м<sup>2</sup>) зависимы.

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

Путем вычислений находим, что 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  $r_{\text{теор}} = 0,519$ , 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  $S_{\text{Cs-137}}$  (Бк/м<sup>2</sup>) и  $S_{\text{Sr-90}}$  (Бк/м<sup>2</sup>) зависимы.

В [2] приведено среднее отношение плотности загрязнения почвы цезием-134 и плотности цезием-137 по реконструированной плотности загрязнения территории ДДУ г. Гомеля на апрель 1986 г. без учета механизмов переноса радионуклидов, равное 0,502.

Найдем среднюю стандартную погрешность:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left[ \frac{S_{\text{Cs-134}}}{S_{\text{Cs-137}}} - \left( \frac{S_{\text{Cs-134}}}{S_{\text{Cs-137}}} \right) \right]^2}{n(n-1)}} = \sqrt{0,152464/1332} = 0,01; 2\sigma = 0,02. \quad (3)$$

Примем  $t$  (критерий Стьюдента) при 37 измерениях равным 2,0322. Тогда  $t\sigma_n = 0,020322$ . Среднее отношение плотности загрязнения цезием-134 к цезию-137 равно 0,502. При доверительной вероятности  $\gamma = 95$  % исходное значение отношения плотности загрязнения будет равно  $0,502 \pm 0,020322$  ( $0,502 \pm 4$  %).

Найденное соотношение плотности загрязнения цезием-134 к цезию-137 равно  $0,502 \pm$

$\pm 0,020322$ , что практически соответствует отношению этих радионуклидов в выбросе на момент аварии (26.04.1986), где  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs} \approx 0,5$ , а отношение суммарного выброса радионуклидов  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs} \approx 0,5$  к 6 мая 1986 г.

Для оценки коэффициента корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 (Ки/км<sup>2</sup>) и мощностью экспозиционной дозы (мР/ч) используем формулу

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{\text{Cs-137}(i)} - \bar{S}_{\text{Cs-137}})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{\text{Cs-137}(i)} - \bar{S}_{\text{Cs-137}})^2 \sum_{i=1}^{i=n} (P_i - \bar{P})^2}}. \quad (4)$$

Подставляя значения из [2] в формулу (4), находим коэффициент корреляции между плотностью загрязнения цезием-137 и мощностью экспозиционной дозы  $r = 0,884$ .

Так как расчетный коэффициент корреляции  $r = 0,884$  меньше  $r_{\text{теор}} = 1$ , между плотностью загрязнения цезием-137 и мощностью экспозиционной дозы не существует прямой пропорциональности, поэтому не имеет смысла рассчитывать коэффициент пропорциональности между плотностью 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. Определим по данным измерениям (на 1990 г.) выборочное уравнение прямой линии среднеквадратичной регрессии. Будем искать выборочное уравнение прямой линии регрессии плотности загрязнения цезием-134 ( $S_{\text{Cs-134}}$ ) на плотность загрязнения цезием-137 ( $S_{\text{Cs-137}}$ ) вида

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

где  $\rho$  – выборочный коэффициент регрессии;

$$\rho = (n \sum (S_{\text{Cs-137}} S_{\text{Cs-134}}) - \sum S_{\text{Cs-137}} \sum S_{\text{Cs-134}}) / (n \sum S_{\text{Cs-137}}^2 - (\sum S_{\text{Cs-137}})^2); \quad (5)$$

$$b = (\sum S_{\text{Cs-137}}^2 \sum S_{\text{Cs-134}} - \sum S_{\text{Cs-137}} \sum (S_{\text{Cs-137}} S_{\text{Cs-134}})) / (n \sum S_{\text{Cs-137}}^2 - (\sum S_{\text{Cs-137}})^2). \quad (6)$$

Исходные данные для расчета выборочного коэффициента регрессии приведены в [2]. Найдя коэффициенты по формулам (5) и (6), получим искомое уравнение регрессии

$$S_{Cs-134}^{расч} = 0,12S_{Cs-137} + 790. \quad (7)$$

С помощью уравнения регрессии (7) и зная плотность загрязнения цезием-137 в 1990 г., можно определить плотность загрязнения цезием-134.

Для того чтобы получить представление, насколько вычисленные значения по уравнению (7) 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

$$\sigma_{Cs-134}^{станд} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=37} (S_{Cs-134(i)} - \bar{S}_{Cs-134})^2}{n(n-1)}} = 1446 \text{ Бк/м}^2. \quad (8)$$

Сравнивая отклонения из [2] и стандартную погрешность определения плотности загрязнения цезием-134, можно утверждать, что отклонение данных, полученных по расчетному урав-

нению (7), и измеренных не превышает стандартную погрешность при определении плотности измерения цезием-134 на основе анализа проб грунта.

## ВЫВОД

На основе уравнения регрессии и с учетом плотности загрязнения цезием-137 в 1990 г. можно определить плотность загрязнения цезием-134 (при отсутствии этих данных) и восстановить картину радиоактивного загрязнения. Найденное соотношение плотностей загрязнения цезием-134 и цезием-137, равное  $0,502 \pm \pm 0,020322$ , практически соответствует отношению этих радионуклидов в суммарном выбросе радионуклидов  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs} \approx 0,5$  (6 мая 1986 г.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шароваров, Г. А. Анализ и обобщение экспериментальных данных по загрязнению дошкольных учреждений в г. Гомеле / Г. А. Шароваров [и др.]. – Минск, 1999. – 25 с.
2. Матвеев, С. А. Реконструкция радиационной обстановки детских дошкольных учреждений г. Гомеля / С. А. Матвеев, Г. А. Шароваров. – Минск, 2003. – 22 с.

Поступила 15.11.2005