

диаметра фотокатода и неизменной площади выходного окна кристалла амплитуда выходных импульсов значительно уменьшается и становится сравнимой с собственными шумами фотоумножителя. Вследствие этого невозможно беспредельно уменьшать диаметр фотокатода.

Для сравнения результатов эксперимента с теоретической формулой (6) на рис. 1 построен график в координатах $\frac{1}{V} = f(x)$. Из рис. 2 видно, что данные эксперимента удовлетворительно согласуются с теоретической зависимостью (6).

Таким образом, результаты эксперимента показали, что замена цилиндрического сцинтиллятора на сферический типа фотометрического шара вполне правомочна. Установлено, что теоретическая зависимость (6)

удовлетворительно описывает поведение сцинтилляционного счетчика, состоящего из оптического сочленения ФЭУ и кристаллов резко различных диаметров, без отражателей и диафрагм на незакрытой части выходного окна кристалла.

Поступило в Редакцию 18/I 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. М о х и р, Ю. А. Ц и р л и н. В сб. «Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры». Вып. 1. Харьков, 1967, стр. 63.
2. Принципы и методы регистрации элементарных частиц. Перев. с англ. Под ред. К. Л. Люк-Юан и Ву Цзянь-сюн. М., 1963.
3. J. Daniels, Y. Lauga. Tsui. Canad. J. Phys., 47, 2125 (1969).

К анализу поля γ -излучения в почве от радиоактивных выпадений

В. В. ПАВЛОВ, И. Е. КОНСТАНТИНОВ, Г. А. ФЕДОРОВ

УДК 551.578

При загрязнении почвы радиоактивными веществами интересно знать дозное поле γ -излучения в самой почве. В частности, это необходимо при оценке степени радиационной опасности загрязнений для плодов и корней растений. Для расчета дозного поля и выбора модели источника необходимо определить характер распределения радиоактивных веществ по глубине почвы. Модель плоского источника, часто применяемая для расчета доз, может быть недостаточно корректной, поскольку радиоактивные выпадения с течением времени проникают с поверхности почвы в глубь ее.

Спектрометрические исследования распределений радиоактивных изотопов в образцах [1—4] выявили экспоненциальный закон распределения изотопов по глубине в почвах различного типа. Практически можно считать, что все радиоактивное вещество находится в поверхностном слое почвы толщиной 3—6 см. Глубинный ход концентрации радиоактивных изотопов меняется с течением времени и обусловлен такими факторами, как возраст радиоактивных осадков, тип почвы, метеорологические условия, химические и физические свойства выпавших изотопов и др.

Поэтому более реальной, чем модель плоского источника, будет модель объемного источника с некоторой функцией распределения изотопа в верхнем слое почвы. Ниже представлены результаты анализа поля γ -излучения на основе объемного источника с резко спадающей концентрацией радиоактивных веществ по глубине. Эти данные позволяют сделать практически важные выводы о зависимости дозного поля γ -излучения в грунте от вида функций распределения изотопов в нем. Поскольку выбор изотопа не имеет принципиального значения, результаты анализа даны для Cs^{137} — одного из наиболее долгоживущих продуктов деления.

В соответствии с данными работ [1—4] примем, что концентрация изотопа на глубине z от поверхности записывается в виде

$$q = q_0 e^{-kz}, \quad (1)$$

где q_0 — концентрация в поверхностном слое; k — постоянная, зависящая от типа почвы и других факторов, $см^{-1}$.

При расчете для бесконечной среды [5] многократное рассеяние в грунте и воздухе учтем посредством введения дозового фактора накопления для γ -квантов точечного изотропного источника в бесконечной среде в виде суммы экспонент [6] в формулы мощности дозы первичного излучения. В результате можно получить следующее выражение полной экспозиционной мощности дозы P (в рад/год) в почве для γ -излучения данного изотопа:

$$P = 1,44\sigma \sum_i \gamma_i n_i \varepsilon_i f_i(\varepsilon_i, z, k/\rho). \quad (2)$$

Здесь $\sigma = q_0/k$ — поверхностная плотность радиоактивных загрязнений почвы, $мкюри/км^2$; γ_i — линейный коэффициент истинного поглощения энергии γ -излучения i -й линии в воздухе, $см^{-1}$; n_i — выход квантов i -й линии на распад; ε_i — энергия квантов i -й линии, $Мэв$; f_i — безразмерная функция, равная

$$f_i(z) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 A_j \left\{ E_i(\mu_j z) + e^{-kz} E_i[(k - \mu_j)z] + e^{-kz} \ln \frac{k + \mu_j}{k - \mu_j} \right\}; \quad (3)$$

$$f_i(z=0) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 A_j \ln \left(1 + \frac{k}{\mu_j} \right), \quad (4)$$

где $E_i(x)$ — интегральная показательная функция [7]; $E_1(x) = -E_i(-x)$; коэффициент μ_j определяется через линейный коэффициент ослабления μ_i -излучения с энергией ε_i :

$$\mu_j = \mu_i (1 + a_j).$$

В последнем выражении a_j — коэффициент при аппроксимации фактора накопления для γ -квантов точечного изотропного источника в алюминии в виде суммы

экспонент:

$$B = \sum_{j=1}^2 A_j e^{-a_j \mu r}. \quad (5)$$

Проверочные расчеты показали, однако, что такая аппроксимация не дает результатов, близких к решениям кинетического уравнения [8] для источника γ -квантов с энергиями 0,661 Мэв. Поэтому на основе данных работы [9] была предложена иная аппроксимация фактора накопления:

$$B = 1 + \mu r + \frac{(\mu r)^2}{4,81}. \quad (6)$$

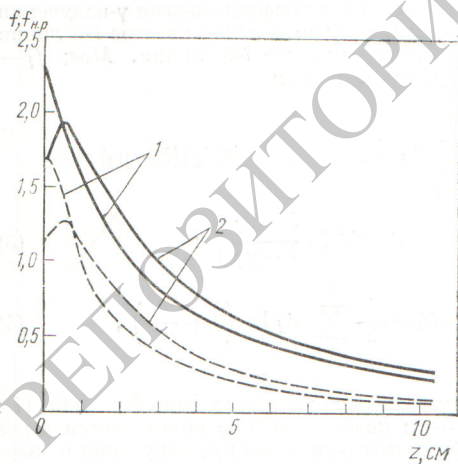
Эта формула обеспечивает совпадение вычисленных по ней значений с данными справочника [8] с точностью не ниже 6% в интервале длин релаксации μr от 1 до 20.

Если использовать для фактора накопления формулу (6), то дозовая функция формулы (2) примет следующий вид:

$$f_i(z) = \frac{1}{2} \left\{ E_1(\mu_i z) + e^{-kz} \left[E_1((k - \mu_i)z) + \ln \frac{k + \mu_i}{k - \mu_i} \right] + \frac{k}{k - \mu_i} \left[(e^{-\mu_i z} - e^{-kz}) \left(1 + \frac{k - 2\mu_i}{4,81(k - \mu_i)} \right) + \frac{\mu_i z e^{-\mu_i z}}{4,81} \right] + \frac{k e^{-kz}}{k + \mu_i} \left[1 + \frac{k + 2\mu_i}{4,81(k + \mu_i)} \right] \right\}; \quad (7)$$

$$f_i(z=0) = \frac{1}{2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{k}{\mu_i} \right) + \frac{k}{k + \mu_i} \left[1 + \frac{k + 2\mu_i}{4,81(k + \mu_i)} \right] \right\}. \quad (8)$$

На рисунке представлены некоторые результаты расчета. Следует обратить внимание на интересный факт



Мощности дозы полного f (—) и первичного $f_{н.р.}$ (---) излучений в зависимости от глубины z расположения точки детектирования в почве при величине k , равной 1 см⁻¹ (кривые 2) и 4 см⁻¹ (кривые 1). Плотность грунта 1,7 г/см³, γ -кванты Cs¹³⁷.

смещения максимума мощности дозы с поверхности почвы в глубь ее при низких значениях величины k/ρ . Результаты расчетов полной дозовой функции по формулам (3) и (4) совпадают с данными более точных расчетов по формулам (7) и (8) в пределах 30%; как менее точные, они в работе не представлены. При расчетах принималась плотность грунта $\rho = 1,7$ г/см³, а постоянная экспоненты k равна 1, 2, 3, 4 см⁻¹. Линейный коэффициент ослабления излучения в грунте принимали равным произведению массового коэффициента ослабления алюминия на плотность грунта:

$$\mu = \mu_{Al} \rho.$$

В нашем случае величина постоянной заглупления k существенно больше коэффициента ослабления μ . Поэтому при расчетах для $z > 3 \div 5$ см некоторыми слагаемыми в формуле (7) можно пренебречь и применять формулу дозовой функции в более простом виде.

Следует отметить, что для точек детектирования, имеющих равные величины толщины ρz заглупления в почве, дозовые функции не зависят от величины постоянной заглупления k или плотности грунта ρ отдельно, а только от их отношения k/ρ .

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что увеличение постоянной k/ρ в области реальных значений (согласно экспериментальным данным работы [4] $k/\rho = 0,3 \div 6$ см²/г) при постоянной величине $\sigma = \frac{q_0}{k}$ ведет к росту характеристик f и $f_{н.р.}$ дозного поля вблизи поверхности почвы и к спаду на расстояниях, больших 0,8—1,7 г/см². Однако этот рост и спад весьма слабы. Так, например, увеличение постоянной k/ρ в четыре раза (от 0,588 до 2,35 см²/г) ведет к росту мощности дозы на поверхности почвы на 43% и уменьшению ее величины на 17 и 9% на глубинах, равных соответственно 8,5 и 51 г/см². Отсюда следует, что применение для анализа дозного поля экспоненциальных приближений вместо точных, но сложных функций реальных зависимостей концентрации радиоактивных изотопов от глубины их проникновения в почву не может существенно снизить точность определения его характеристик.

Поступило в Редакцию 10/XII 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Федоров и др. В сб. «Вопросы дозиметрии и защиты от излучений». Под ред. Л. Р. Кимеля. Вып. 8. М., Атомиздат, 1968, стр. 125.
2. Г. А. Федоров и др. Характер распределения Cs¹³⁷ по глубине почвы в некоторых районах СССР в 1966—1967 гг. М., Атомиздат, 1968.
3. В. Ф. Брендаков и др. «Атомная энергия», 25, 331 (1968).
4. Ю. А. Израэль, Е. Д. Стукин. Гамма-излучение радиоактивных выпадений. М., Атомиздат, 1968.
5. В. В. Павлов. Диссертация. М., 1969.
6. Г. Гольдштейн. Основы защиты реакторов. М., Атомиздат, 1961.
7. Таблицы интегральной показательной функции. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1954.
8. Л. Р. Кимель, В. П. Машкович. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. М., Атомиздат, 1966.
9. Холленд. I Женевская конференция (1955). Т. 13. М., Изд-во иностр. лит., 1958, стр. 339.