



УДК 539.1.08

О.М.АНШАКОВ, Г.А.ФИЛЬ, В.А.ЧУДАКОВ

К РАСЧЕТУ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НАД ПОЛУБЕСКОНЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ

Express-analysis of the radionuclide content in soil on large territories is performed with the use of gamma-spectrometry method above the soil surface. The relations between the registered spectra and the radioactive contamination level, it's in-depth profile are of great importance to work out appropriate apparatus. In this paper the above relations have been investigated by Monte-Carlo simulation. The developed program tools can be used when determining the dependance of the spectrum form and the character of radionuclide vertical distribution.

Для экспрессного контроля содержания радионуклидов в почве на обширных территориях используются дистанционные методы, основанные на спектрометрии гамма-полей над поверхностью земли. Важным этапом при создании соответствующей измерительной аппаратуры является решение задачи по установлению зависимостей регистрируемых спектров от уровня радиоактивного загрязнения и профиля его заглубления.

В работе рассмотрен подход к численному решению этой задачи путем имитационного моделирования на примере расчета спектров над полубесконечным объемным гамма-источником с конкретными характеристиками его вещества и зависимостью объемной активности от глубины. Разработана моделирующая программа GAM.MOR, позволяющая определять требуемую геометрию вычислительного эксперимента, энергию гамма-квантов и вертикальный профиль распределения радионуклидов. Программа построена на основе комплекса EGS4 [1], представляющего собой специализированную систему для программирования задач моделирования широкого класса ядерно-физических процессов методом Монте-Карло. Программа позволяет задавать любые размеры и взаимное расположение источника излучения, поглощающих сред и детектора. Может устанавливаться различный изотопный состав источника, разный элементный состав и другие характеристики материалов, составляющих детектор и окружающую среду.

Расчет проводился для двух характерных форм заглубления "старых" радиоактивных выпадений: экспоненциального и двойного экспоненциального при определенных значениях параметров профиля:

$$f(g) = A_0 e^{-\alpha g}, \text{ при } A_0=1, \alpha=0,1, \quad (1)$$

$$f(g) = A_0 e^{-\alpha g} \left(1 - A_1/A_0 e^{-(\beta-\alpha)g}\right), \quad (2)$$

при $A_1/A_0 = 0,9$, $\beta/\alpha = 4$ и $A_1/A_0 = 1$, $\beta/\alpha = 2$, где A_0 – объемная активность нуклида на поверхности; A_1 – коэффициент для второй составляющей двойной экспоненты; α и β – параметры заглубления; g – глубина от поверхности.

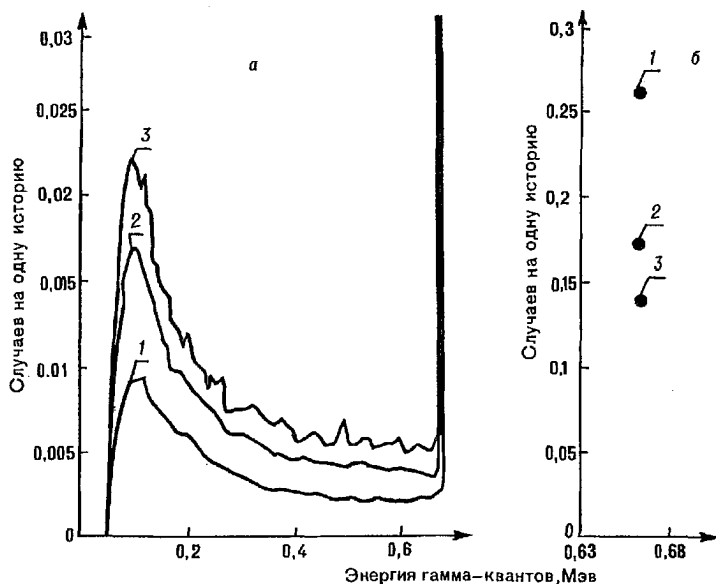
Моделировалась регистрация гамма-квантов идеальным спектрометрическим детектором, имеющим форму куба с ребром 4 см, размещенным на высоте 1 м от плоского полубесконечного источника с близким к почве элементным составом. В источнике были заданы по (1), (2) профили рас-

пределения объемной активности радионуклида Cs^{137} с энергией излучения 0,66 МэВ. Координата g изменялась от 0 до 20 см (около двух длин свободного пробега квантов первичного излучения).

По заданным исходным данным в системе EGS4 вырабатывается определенная математическая модель ослабления потока фотонов за счет эффекта Комптона, которая в дальнейшем используется программой в розыгрыше истории жизни каждого кванта. История каждого кванта разыгрывается до потери им энергии ниже определенного уровня (0,001 МэВ) или до выхода за пределы рассматриваемой геометрии.

Расчет проводился для одного миллиона историй квантов. Оцененная статистическая погрешность при этом составляет от 15 до 20% в зависимости от энергии кванта. Время расчета одного спектра составляет около 1 ч на ПЭВМ типа IBM 386DX40.

Рассчитанные при указанных данных спектры представлены на рисунке (а, б). В таблице приведены количественные данные по этим спектрам.



Относительное изменение интенсивности рассеянного излучения (а) и изменение интенсивности в пике полного поглощения (б) при профилях 1, 2 и 3

Количественные данные по спектрам 1, 2 и 3

Интенсивность	1	2	3
$I_{\text{рас-е}}$, случаев	142911	112812	71421
$I_{\text{пик}}$, случаев	50617	23553	11539
$I_{\text{рас-е}}/I_{\Sigma}$	0,74	0,83	0,86
$I_{\text{пик}}/I_{\Sigma}$	0,26	0,17	0,14

Здесь $I_{\text{пик}}$ – число зарегистрированных фотонов в пике полного поглощения,

$I_{\text{пик}}/I_{\Sigma}$ – отношение их числа к суммарному спектру;

$I_{\text{рас-е}}$ – число зарегистрированных фотонов рассеянного излучения,

$I_{\text{рас-е}}/I_{\Sigma}$ – отношение их числа к суммарному спектру.

Полученные результаты не противоречат качественной картине формирования поля гамма-излучения над объемным источником с разной степенью заглупления радионуклидов, согласуются с результатами аналитических расчетов для пика нерассеянного (прямого) излучения [2] и с данными аналогичных статистических испытаний [3,4].

Разработанный программный инструментарий может быть использован для решения практических задач, требующих установления зависимостей

между формой спектра и характером вертикального распределения радионуклидов в почве.

1. R.L.Ford, W.R.Nelson. The EGS Code System: Computer Programs for the Monte Carlo Simulation of Electromagnetic Cascade Showers (Version 3). Stanford Linear Accelerator Center Report Number SLAC-210 (1978).

2. Бергельсон Б.Р., Зориков Г.А. Справочник по защите от излучения протяженных источников. М., 1965.

3. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Гуло В.Г., Зенич Т.С., Решетин В.П. // Атомная энергия. 1993 (март). Т.74. Вып.3.

4. Ремаев В.В., Кузьменко В.А., Гончаров К.С., Быков В.Т. // Там же. 1993 (январь). Т.74. Вып.1.

Поступила в редакцию 02.09.96.

УДК 519.24:681.5.015

В.В. КАЗАЧЕНОК

ПОСТРОЕНИЕ СПЛАЙНОВОЙ РЕГРЕССИИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

The methods of estimation of generalized splines are given.

Введение. Пусть наблюдения y_i в моменты времени t_i , $i=1, \dots, n$, описываются сплайном m -го порядка дефекта k

$$y_i = \sum_{\nu=0}^m c_{\nu} (t_i - t_0)^{\nu} + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{k-1} a_{ij} (t_i - t_i^*)_+^{m-j} + u_i \quad (1)$$

с узлами в точках t_i^* , $i = 1, \dots, N-1$ [1].

Здесь c_{ν} , $\nu=0, \dots, m$, и a_{ij} , $i=1, \dots, N-1$, $j=0, \dots, k-1$, — неизвестные параметры; u_i , $i=1, \dots, n$, — независимые случайные величины с нулевым средним и неизвестной дисперсией σ^2 ($0 < \sigma^2 < +\infty$);

$$(t_i - t_i^*)_+ = \begin{cases} t_i - t_i^*, & t_i - t_i^* > 0, \\ 0, & t_i - t_i^* \leq 0. \end{cases}$$

Дефект k означает, что сплайн (1) имеет непрерывные производные во всех точках до $(m-k)$ порядка включительно.

Для оценки неизвестных коэффициентов модели (1) можно использовать метод наименьших квадратов. При $k \in \{1, 2, \dots\}$ модель (1) не позволяет адекватно описывать результаты некоторых экспериментов, в частности, в математической физике [2].

Обобщенные сплайны. Обобщенным сплайном m -го порядка дефекта k будем называть сплайн (1) при условии, что значения $(k+1)$ -ых производных в узлах t_i^* , $i = 1, \dots, N-1$, для соседних полиномов могут отличаться на величину v , где v — в общем случае случайная величина с математическим ожиданием r и дисперсией Ψ^2 . Подобно [3] можно показать, что при $r=0$ и $\Psi^2 \rightarrow 0$ обобщенный сплайн дефекта k превращается в обычный сплайн дефекта $(k-1)$, а при $\Psi^2 \rightarrow +\infty$ получаем обычный сплайн дефекта k .

Таким образом, обобщенный сплайн дефекта k является промежуточным звеном между обычными сплайнами дефектов k и $(k-1)$, что позволяет строить сплайновые модели, адекватно описывающие результаты более широкого класса экспериментов.

Для оценивания методом наименьших квадратов неизвестных коэффициентов c_{ν} , $\nu=0, \dots, m$; a_{ij} , $i=1, \dots, N-1$, $j=0, \dots, k-1$, обобщенного сплайна дефекта k предлагается минимизировать выражение