



УДК 539.1.08+539.124.074.3

*Н.В. БАКОВЕЦ, К.М. БУДЕВИЧ, А.И. ЖУКОВСКИЙ, ЕМ. ХАДЖИНОВ, В.А. ЧУДАКОВ*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ Sr-90 В ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЕ**

A lifetime detection of the incorporated Sr-90 can be done by direct registration of the emitted beta-radiation. A physical model represents the heterogeneous structure, composed of several layers including skin tissue, bone stock and medullar substance. The layers contain different amounts of Sr-90, K-40 and Cs-137 nuclides. In the paper consideration is given to going from a difficult problem of the heterogeneous structure analysis to analysis of a homogeneous structure based on mathematical and technical solutions for various activities of the nuclides. The obtained results demonstrate that the proposed algorithm can be used in practice for the lifetime detection of Sr-90 incorporated in skull bones.

Одним из вариантов прижизненного определения содержания Sr-90 (в равновесном состоянии с Y-90) является непосредственная регистрация бета-излучения, исходящего из тела человека [1, 2]. В силу того, что Sr-90 накапливается преимущественно в костях скелета и излучает только бета-частицы, объектом исследования служит голова человека, имеющая большую массу костей черепа и минимальную толщину покровных тканей, значительно поглощающих бета-излучение [3].

Физическая модель объекта исследования в общем случае представляет собой гетерогенную структуру, состоящую из нескольких слоев, в том числе кожной ткани, костного и мозгового вещества, содержащих радионуклиды Sr-90, K-40 и Cs-137 в различных пропорциях [4]. Причем распад изотопов K-40 и Cs-137 сопровождается как гамма-, так и бета-излучением.

Наиболее простой и достаточно общий подход состоит в предположении, что перенос излучения и преобразования в детекторе - линейные операции по отношению к измеряемым параметрам источников или полей излучения. При этом считается, что процесс измерения является стационарным, т. е. интересующие величины и параметры аппаратуры существенно не изменяются за время измерений [5].

С целью определения активности  $A_j$  радионуклида  $j$  в  $R$ -компонентной смеси ( $j=1, \dots, R$ ) можно записать систему линейных уравнений для результатов наблюдений  $I_i$  в канале  $i$   $K$ -канальной измерительной системы ( $i=1, \dots, K$ ). Для  $i$ -го канала соответствующее уравнение, описывающее гетерогенную систему, выглядит следующим образом:

$$I_i = \sum_{j=1}^R S_{ijm} A_{jm} + \sum_{j=1}^R S_{ijb} A_{jb} + \sum_{j=1}^R S_{ijs} A_{js} + \varepsilon_i,$$

где индексы  $m$ ,  $b$ ,  $s$  обозначают величины, относящиеся к мозговому веществу, костному веществу и кожной ткани соответственно,  $S_{ij}$  - чувствительность  $i$ -го измерительного канала к  $j$ -му компоненту,  $\varepsilon_i$  - флуктуации результата наблюдений.

Задача интерпретации результатов наблюдений состоит в оценке величин  $A_j$  исходя из полученных значений  $I_i$ , при известных параметрах  $S_{ij}$ . Для определения всех интересующих величин  $A_j$  должно быть выполнено условие  $K \geq R$  [6].

Анализ распределения активностей радионуклидов по слоям гетерогенного источника представляет серьезную проблему по причине самопоглощения излучения в источнике и наложения на аппаратурном спектре вкладов из различных слоев исследуемого объекта. Особую трудность представляет анализ радионуклидов в теле человека в силу их низкой активности и ограниченного времени измерения. Определение содержания Sr-90 осложняется также тем, что его распад сопровождается образованием бета-излучения со слабой проникающей способностью. Существует необходимость построения упрощенной измерительной модели, использующей априорные медицинские данные о распределении радионуклидов в теле человека.

Проведенные исследования показали, что распределение активностей сопутствующих Sr-90 изотопов (K-40 и Cs-137) в кожной ткани, костном и мозговом веществах человека является постоянным для большинства людей и не зависит от пола, возраста, роста и веса человека [7]. Поскольку активности радионуклидов в отдельных тканях линейно зависят от общего содержания соответствующих радиоизотопов в теле человека, то отсутствует необходимость определения активности в каждом из слоев исследуемого объекта, достаточно вычислить суммарную активность. Таким образом, мы можем перейти от исследования гетерогенного объекта к задаче многокомпонентной радиометрии для гомогенной пробы, имеющей математические и аппаратные решения для широкого диапазона активностей [8].

С учетом приведенных сведений алгоритм прижизненного определения активности Sr-90 в теле человека по костям черепа выглядит следующим образом. В качестве детектора используется «фосфич»-детектор с двумя каналами регистрации излучения - бета (сцинтиллятор паратерфенил) и гамма (сцинтиллятор NaI или CsI), конструктивно соединенными в одном корпусе. На этапе калибровки спектрометра определяется чувствительность прибора к отдельным изотопам. Используется моноизотопный стандартный многокомпонентный образец радиоактивного загрязнения кожа - череп - мозг с заданным соотношением активностей по слоям. Гамма-излучающие радионуклиды регистрируются с большой точностью в гамма-канале спектрометра. С использованием информации о выходе гамма-излучения на один распад и данных бета-канала вычисляются активности Cs-137 и K-40. Активность Sr-90 определяется по суммарному бета-спектру Sr-90+Y-90 с вычетом известных активностей гамма-распадчиков. На энергетической шкале бета-спектра выделяется «окно» в диапазоне энергий от 200 кэВ до 2,3 МэВ как для исследуемого бета-спектра, так и для функций отклика моноизотопов. Получаем следующее уравнение:

$$I = \sum_j S_j A_j + S_{Sr} A_{Sr},$$

где  $I$  - скорость счета в выбранном «окне» бета-спектра,  $S_{Sr}$  - чувствительность детектора к Sr-90,  $A_{Sr}$  - искомая активность Sr-90.

Значения чувствительности детектора к моноизотомам могут быть определены с высокой точностью на этапе калибровки и настройки прибора. Соответственно их погрешностями можно пренебречь и определить дисперсию оценки Sr-90 следующим образом [9]:

$$D[A_{Sr}] = \frac{1}{S_{Sr}} \left( D[I] + \sum_j S_j D[A_j] \right),$$

где  $D[A_j]$  - дисперсии оценки радионуклидов, полученные с использованием априорной информации из гамма-канала,  $D[L]$  - дисперсия оценки скорости счета исследуемого спектра.

Фоновый счет, обусловленный окружающей средой и установкой, учитывается на этапе предварительной калибровки детектора.

Для экспериментальной проверки приведенного алгоритма были использованы макеты фантомов головы человека, изготовленные Институтом физико-органической химии НАН Беларуси. Физическая модель головы человека представляет собой композицию из имитантов кожи, костной ткани и мозгового вещества [7].

Фантом	Кожа	Кость	Мозг
Фоновый	-	28,5 Бк К-40	-
Моноизотопный Cs-137	350 Бк	28,5 Бк К-40	-
Моноизотопный Sr-90	-	793 Бк Sr-90 + 24 Бк К-40	-
Исследуемый	350 Бк Cs-137	793 Бк Sr-90 + 24 Бк К-40	-

Восстановленное значение активности Sr-90 с доверительной вероятностью 95 % лежит в интервале 760÷810 Бк.

Полученные результаты показали, что предложенный вариант оптимизации задачи анализа гетерогенного объекта является правомерным. После серии контрольных экспериментов приведенный в работе алгоритм может быть использован на практике для прижизненного определения содержания инкорпорированного Sr-90 по костям черепа.

1. Wahl W. et al. // Nucl. Instr. and Meth. A 369. 1996. P. 693.

2. Белле Ю. С. и др. Прямые методы измерения инкорпорированных радиоизотопов в людях и экспериментальных животных: Докл. на симпозиуме по тканевой дозиметрии НИИРГА Л., 1964.

3. Аншаков О.М., Гуринович В.И., Кутень С.А. и др. // Материалы международного симпозиума «Актуальные проблемы дозиметрии». Мн., 1999. С. 20.

4. Аншаков О.М., Галко СИ., Гутько В.И., Чудаков В.А. // Материалы III Международного симпозиума «Актуальные проблемы дозиметрии». Мн., 2001. С. 3.

5. Бувевич В.А., Довжук М.Н., Кожемякин В.А. и др. Бета-, гамма-радиометр EL1311 для измерения активности Sr-90, Cs-137, К-40 в пробах пищевых продуктов: Реф. докл. // II Обнинский симпозиум по радиоэкологии (27-31 мая 1996 г.). Обнинск, 1996.

6. Аншаков О.М., Гуринович В.И., Галко СИ., Чудаков В.А. // Материалы международного симпозиума «Актуальные проблемы дозиметрии». Мн., 1999. С. 18.

7. Жуковский А.И., Чудаков В.А., Хаджинов Е.М. и др. // Медэлектроника-2004. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Материалы III Международной научно-технической конференции. Мн., 2004. С. 489.

8. Хаджинов Е.М. // Материалы IV Международного симпозиума «Актуальные проблемы дозиметрии». Мн., 2003. С. 95.

9. Романцов В.П. Статистические методы обработки данных в экспериментальной ядерной физике: Учеб. пособие по курсу «Экспериментальные методы ядерной физики». Обнинск, 1993.

Поступила в редакцию 26.04.05.

**Николай Владимирович Баковец** - аспирант кафедры радиационных исследований Международного экологического университета им. А.Д. Сахарова. Научный руководитель - В.А. Чудаков.

**Николай Михайлович Будевич** - аспирант кафедры ядерной физики. Научный руководитель - кандидат технических наук, заведующий лабораторией теоретической физики НИИЯП БГУ С.А. Кутень.

**Александр Иванович Жуковский** - аспирант факультета мониторинга окружающей среды Международного экологического университета им. А.Д. Сахарова. Научный руководитель - В.А. Чудаков.

**Евгений Михайлович Хаджинов** - младший научный сотрудник факультета мониторинга окружающей среды Международного экологического университета им. А.Д. Сахарова.

**Владимир Андрианович Чудаков** - кандидат технических наук, профессор, заведующий лабораторией радиационных исследований факультета мониторинга окружающей среды Международного экологического университета им. А.Д. Сахарова.