

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ β -СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ^{90}Sr В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**И. Н. Каденко, В. К. Майданюк, В. М. Петришин, Г. И. Применко, Ю. А. Седов***Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев*

Описывается высокочувствительный сцинтилляционный β -спектрометр, предназначенный для определения содержания ^{90}Sr в объектах окружающей среды на фоне радионуклидов ^{40}K и ^{137}Cs . Спектрометр включает в себя пластмассовый сцинтилляционный детектор с развитой поверхностью, который является одновременно и емкостью для образца. Объем исследуемого образца 1000 см^3 . Содержание ^{90}Sr в исследуемом образце определяется по измерению участка β -спектра 1311 - 2282 кэВ. Для рассматриваемой в данной работе установки величина минимально детектируемой удельной активности составляет 5,0 Бк/кг для твердых сыпучих образцов и 3,6 Бк/л для воды при $t_0 = t_b = 1$ ч. Приведены результаты ряда измерений.

Развитие атомной энергетики, глобальное загрязнение радионуклидами и последствия аварии на ЧАЭС требуют развития инструментальных методов селективного определения содержания радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиологическая обстановка в настоящее время определяется, в основном, долгоживущими радионуклидами, к числу которых, прежде всего, относятся ^{90}Sr , ^{137}Cs и трансураниевые элементы. Особой проблемой является оперативный контроль концентрации ^{90}Sr в продуктах питания человека. Для этих целей наибольшее распространение нашел метод радиохимического выделения. Однако он трудоемкий, требует высококвалифицированного персонала, значительных затрат времени и не отличается большой точностью.

Современные аппаратные методы позволяют определять содержание стронция в различных образцах, но их пороговая чувствительность не всегда удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов. Ситуация значительно усложняется в случае наличия смеси радионуклидов, например ^{40}K , ^{90}Sr + ^{90}Y , ^{137}Cs .

Повышение пороговой чувствительности инструментальных методов определения ^{90}Sr , особенно в смеси различных радионуклидов, является актуальной задачей. Для этих целей усовершенствован автоматизированный сцинтилляционный β -спектрометр [2]. Он включает в себя детектирующее устройство и одноплатный анализатор типа SBS-50 ("Green Star", Москва). Анализатор конструктивно расположен в корпусе ПК и управляется соответствующим программным обеспечением. Анализатор SBS-50 включает в себя блоки питания низкого и высокого напряжения, спектрометрический усилитель и многоканальный анализатор импульсов. Одноплатный анализатор позволяет автоматически регулировать высокое напряжение от 0 до 1,5 кВ, варьировать параметры линейного усилителя, вести наблюдение и обработку β -спектров. Использование анализатора типа SBS-50 позволило исключить предварительный усилитель из спектрометрического тракта, что привело к улучшению отношения "сигнал - шум" и разрешения спектрометра.

Для автоматизации процесса обработки результатов измерений разработано программное обеспечение BSA, которое позволяет производить математическую обработку спектров, сохранять полученные спектры, выполнять и сохранять калибровку спектрометра, производить контроль работоспособности и стабильности работы установки. Автоматизированы, проверены и показали высокую надежность процесс нахождения граничного значения β -спектров и расчет удельной активности измеренных образцов.

Детектирующее устройство состоит из пластмассового сцинтилляционного детектора оригинальной конструкции [1, 2], фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) с большим плоским фотокатодом, световода и пассивной защиты из свинца с толщиной стенок 5 см. Детектор изготовлен из активированного полистирола типа UPS-923 (НТК "Институт моно-

кристаллов”, Харьков) и по форме представляет собой набор коаксиальных колец специальной формы с общим основанием.

Детектор обладает развитой поверхностью и является одновременно емкостью для образца [2]. Ширину полостей детектора выбирают из соображения применимости метода “толстых проб”, а толщину стенок детектора – из соображений полного поглощения электронов граничной энергии из распада ^{90}Y . Средняя ширина полостей составляет 8 мм по результатам расчетов методом Монте-Карло для образцов с плотностью 1 г/см³. Оптимальная средняя толщина стенок детектора равна 8 мм на основании расчета полной длины пробега электронов с энергией 2,3 МэВ в полистироле. Внешний диаметр детектора 170 мм и зависит от размеров фотокатода применяемого фотоумножителя. Высота колец увеличена до 85 мм и ограничивается эффектом уменьшения светосбора на фотокатод ФЭУ. Такая высота детектора достигнута путем выбора специальной геометрической формы колец детектора, что позволило увеличить объем исследуемого образца от 300 до 1000 см³.

Выбор типа ФЭУ зависит от неоднородности спектральной чувствительности его фотокатода, которая, по оценкам, не должна превышать 10 %. Исследования показали, что небольшая область фотокатода ФЭУ с повышенной спектральной чувствительностью может привести к значительному ухудшению эффективности регистрации (чувствительности) установки. Исходя из этого, используется ФЭУ-173-1 с диаметром фотокатода 150 мм и установленной неоднородностью фотокатода $\pm 10\%$.

Для оптического согласования детектора и ФЭУ применяется световод из неактивированного полистирола высотой 60 мм. Использование световода позволяет увеличить диаметр детектора до 170 мм, что приводит к значительному увеличению массы (объема) пробы. Световод позволяет также выровнять спектральную неоднородность фотокатода ФЭУ, что улучшает разрешение спектрометра и увеличивает счет в выбранном энергетическом окне. Значительное увеличение высоты (массы) световода приводит к повышению и смещению фона за счет регистрации быстрых заряженных частиц (вторичные электроны, μ -мезоны). Уменьшение высоты световода с фиксированными диаметрами оснований приводит к ухудшению светопередачи на фотокатод ФЭУ с периферийных областей детектора (в которых сосредоточена значительная масса образца). Таким образом, оптимальная высота световода в данном случае (диаметры оснований 170 и 150 мм) составляет 60 мм. Такие размеры световода обеспечивают оптимальные условия светосбора на фотокатод.

Спектрометр рассчитан на измерения с образцами различного происхождения. Для устранения влияния цветности образцов на результаты измерения необходимо применять светоотражающие покрытия на регистрирующих поверхностях детектора. Кроме того, оптические свойства светоотражающих покрытий влияют на относительную величину светосбора на фотокатод ФЭУ. Поэтому проведены исследования с различными светоотражающими покрытиями, изготовленными на основе красок типа ВЛ-548, синтетической бумаги типа ТУВЕК, синтетической пленки типа ТЭТРАТЭКС [3]. Наилучшие спектрометрические характеристики получены в случае покрытия регистрирующих поверхностей детектора пленкой ТЭТРАТЭКС. Для улучшения светопередачи боковая поверхность световода покрывалась бумагой ТУВЕК.

Детектор, световод и фотоумножитель помещались в светонепроницаемый кожух со съемной крышкой, изготовленный из дюралюминия. Дюралюминий выбран для обеспечения механической прочности конструкции и уменьшения влияния поля вторичных электронов на величину фона установки.

Определение содержания ^{90}Sr аппаратными методами нами проводится на фоне ^{40}K и ^{137}Cs , удельные активности которых в исследуемых образцах могут изменяться в широких пределах. Известно, что граничные энергии электронов из распада этих радионуклидов равны 1311 и 1176 кэВ соответственно, а граничная энергия электронов из распада ^{90}Y составляет 2282 кэВ [3]. Исходя из этого, рассмотрен вариант определения содержания ^{90}Sr

по измерению участка β -спектра 1311 - 2282 кэВ $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ для случая равновесия ^{90}Sr и ^{90}Y . Удельная активность ^{90}Sr определяется как

$$A = B \cdot (N - N_b), \tag{1}$$

где N_{Σ} - число отсчетов на участке спектра 1311 - 2282 кэВ при измерении с образцом; N_b - число отсчетов на этом же участке при измерении фона; величина B определяется из измерений с объемными эталонными источниками.

Каждая такого рода установка характеризуется пороговой характеристикой – минимально детектируемой активностью (МДА) или минимально детектируемой удельной активностью (МДУА). Аналитическое выражение для этих величин рассмотрено в работе [5]. В работе [6] уточнено понятие МДА и соответственно выражение для него. Исходя из результатов этой работы, выражение для МДУА имеет вид

$$A = \frac{1}{\varepsilon} \left\{ \frac{1}{4t} (k + k) + (k + k) \sqrt{n \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{t} \right)} \right\}, \tag{2}$$

где n_b - скорость счета фона; t_0 и t_b - время измерения с образцом и фона соответственно; ε - эффективность регистрации, установленная по отношению к удельной активности; α и β - вероятности ошибок первого и второго рода соответственно; $k_{1-\alpha}$, $k_{1-\beta}$ - квантили стандартного нормального распределения [7]. Если принять $\alpha = 0,05$, $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1,645$, то для рассматриваемой в данной работе установки величина МДУА составляет 5,0 Бк/кг для твердых сыпучих образцов и 3,6 Бк/л для воды при $t_0 = t_b = 1$ ч.

На спектрометре проведен ряд измерений концентрации ^{90}Sr в некоторых образцах зерновых культур, выращенных на опытных участках с различной степенью загрязненности в результате аварии на ЧАЭС. Полученные экспериментальные результаты приведены в таблице, где также приводятся данные, полученные радиохимическими методами в лабораториях Гомельского института радиологии и Минского государственного университета. Погрешности результатов измерений приведены с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Концентрация ^{90}Sr в образцах зерновых культур, Бк/кг

Образец	Результаты измерений	Результаты радиохимического анализа
Отруби	55 ± 8	45
Ячмень № 1	42 ± 6	28
Пшеница	15 ± 4	12
Ячмень № 2	36 ± 6	36
Ячмень № 3	155 ± 17	110
Овес № 1	9 ± 4	8
Овес № 2	7 ± 3	7
Ячмень № 4	16 ± 4	13

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Способ* увеличения пороговой чувствительности измерения удельной активности радионуклидов // Пат. 12638. Украина А ГОІТ 1/20, 1997.
2. *Каденко І.М., Майданюк В.К., Неплюев В.М. та ін.* Бета-спектроскопічна установка для вимірювання концентрації ^{90}Sr в продуктах харчування // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід.- 1999. - С. 143.
3. *Дурум А. А., Кочетков В. И., Макеев В. В. и др.* // ПТЭ. - 1999. - № 6. - С. 51.
4. *Firestone R. B.* Table of Isotopes CD-ROM. Eight Edition, Version 1.0 (1996).
5. *Currie L.A.* // Anal. Chem. - 1968. - Vol. 40. - P. 568.

6. Каденко И. Н., Мелешин А. Ю. // УФЖ. - 2001. - Т. 46, № 8. - С. 813 - 819.
7. Каденко И. М., Плюйко В. А. Основы методів оцінок статистичних даних та функцій їх розподілу. - К.: ВПЦ „Київський університет”, 2003.

ВИСОКОЧУТЛИВИЙ СЦИНТИЛЯЦІЙНИЙ β -СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ^{90}Sr В ОБ'ЄКТАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

І. М. Каденко, В. К. Майданюк, В. М. Петришин, Г. І. Применко, Ю. О. Сєдов

Описується високочутливий сцинтиляційний β -спектрометр, призначений для визначення вмісту ^{90}Sr в об'єктах навколишнього середовища на фоні ^{40}K та ^{137}Cs . До складу спектрометра входить пластмасовий сцинтиляційний детектор з розвиненою поверхнею, який одночасно є контейнером для зразка. Об'єм зразка 1000 см^3 . Концентрація ^{90}Sr у зразку визначається за вимірюванням ділянки β -спектра 1311 - 2282 кеВ. Для даної установки величина мінімально детектованої питомої активності становить 5,0 Бк/кг для твердих сипучих зразків та 3,6 Бк/л для води при $t_o = t_b = 1$ год. Наведено результати серії вимірювань.

SCINTILLATION β -SPECTROMETER FOR THE DETERMINATION OF ^{90}Sr CONTENT IN ENVIRONMENTAL OBJECTS

I. N. Kadenko, V. K. Maidanyuk, V. M. Petryshyn, G. I. Primenko, Yu. A. Sedov

The design of high-sensitive scintillation β -spectrometer intended for measuring the content of ^{90}Sr in environmental samples against the background ^{40}K and ^{137}Cs is described. The spectrometer includes the plastic detector with developed surface, to be simultaneously used as sample container. The content of ^{90}Sr is determined by measuring β -spectrum in the region 1311 - 2282 keV. The minimum detectable specific activity of spectrometer is 5,0 Bq/kg for solid granular samples with mass 1000 g and - 3,6 Bq/l for water under 1 hour measurement with sample and background.

Поступила в редакцію 26.03.04,
после доработки – 27.05.04.