

## Определение активности $^{89}\text{Sr}$ в объектах окружающей среды

О.Н. Прокофьев

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

*Радионуклид  $^{89}\text{Sr}$  дает значительный вклад в состав смеси продуктов деления, которые попадают в окружающую среду при аварии ядерного реактора или при проведении мирных ядерных взрывов. По радиационным характеристикам этот радионуклид существенно отличается от  $^{90}\text{Sr}$ ; т.к. из-за более короткого периода полураспада он значительно скорее убывает из объектов окружающей среды и, следовательно, представляет меньшую по сравнению со  $^{90}\text{Sr}$  радиационную опасность для человека. Эти радионуклиды относятся к одному элементу химической системы и поэтому трудно различимы с помощью химических методов. В данной работе предлагается подход, сочетающий химический и радиометрический методы.*

Ключевые слова: стронций-89, стронций-90, радиационный контроль, радиохимическое извлечение, бета-радиометрия.

Одной из задач радиационного контроля является определение состава радионуклидов, присутствующих в объектах окружающей среды, в том числе в пищевых продуктах. Трудности определения активности  $^{89}\text{Sr}$  обусловлены тем, что он является чистым бета-излучателем и не регистрируется методом гамма-спектрометрии. Радиохимическое определение  $^{89}\text{Sr}$  также осложнено, т.к. в выделенный препарат, наряду со  $^{89}\text{Sr}$ , попадает и  $^{90}\text{Sr}$ . Однако при проведении радиационного контроля объектов окружающей среды и пищевых продуктов необходимо отдельно определять активность каждого радионуклида, т.к. вклад от них в дозу, а следовательно, и радиационно-гигиеническое значение этих радионуклидов, различны. Это находит свое отражение в том, что установлены разные величины предела годового поступления через органы пищеварения: 56 кБк для  $^{89}\text{Sr}$  и 13 кБк для  $^{90}\text{Sr}$  [1]. Пренебрегать поступлением  $^{89}\text{Sr}$  в пищевые продукты не следует, т.к. цепочка с массовым числом 89 имеет высокий выход при делении, а  $^{89}\text{Sr}$  по пищевой цепочке поступает в организм человека и имеет достаточно продолжительный период полураспада (51 сутки).

Существующий метод определения активности  $^{89}\text{Sr}$ , основанный на очистке препарата от радионуклидов  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{140}\text{La}$  и последующей бета-радиометрии препарата с использованием алюминиевого фильтра [2], имеет низкую чувствительность, что обусловлено применением фильтра. К тому же накопление  $^{90}\text{Y}$  при распаде  $^{90}\text{Sr}$  является помехой для определения  $^{89}\text{Sr}$  по данному способу. Из-за этого требуется одновременно выполнять и радиохимический анализ, и бета-радиометрию препаратов, что трудно и не всегда можно осуществить.

В предлагаемом методе [3], как и в известном, применяется радиохимическое извлечение из препарата радионуклидов второй группы, очистка от радионуклидов  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{90}\text{Y}$  и бета-радиометрия препарата. Отличие состоит в том, что бета-радиометрия препарата не ограничена измерением в один момент времени, а выполняется в

виде серии последовательных измерений в течение 3–5 суток после отделения  $^{90}\text{Y}$  с интервалами времени между соседними измерениями от 20 до 25 часов. Первое измерение скорости счета импульсов от препарата выполняется через 5–8 часов после отделения  $^{90}\text{Y}$ . Параллельно с исследуемым препаратом по той же схеме измеряется скорость счета импульсов от другого препарата, содержащего только  $^{90}\text{Sr}$ .

После отделения  $^{90}\text{Y}$  изменение с течением времени скорости счета импульсов от препарата, содержащего только  $^{90}\text{Sr}$ , обусловлено накоплением  $^{90}\text{Y}$ , образующегося при распаде  $^{90}\text{Sr}$ . Периоды полураспада  $^{89}\text{Sr}$  (51 сутки) и  $^{90}\text{Sr}$  (29 лет) значительно превышают период полураспада  $^{90}\text{Y}$  (64 часа). Это позволяет не учитывать снижение активности радионуклидов стронция в течение 3–5 суток после отделения  $^{90}\text{Y}$ , на протяжении которых происходит изменение с течением времени скорости счета импульсов от исследуемого препарата в процессе накопления  $^{90}\text{Y}$ . Скорость счета импульсов от препарата в момент  $t$  обозначим  $n(t)$ . Увеличение с течением времени скорости счета импульсов  $n(t_i) - n(0)$  от препарата  $^{90}\text{Sr}$  обусловлено накоплением  $^{90}\text{Y}$ . Величина отношения  $[n(t_i) - n(0)] / [1 - \exp(-\lambda_y \cdot t_i)]$ , где  $\lambda_y$  - постоянная распада  $^{90}\text{Y}$ , равна скорости счета импульсов от такого количества атомов  $^{90}\text{Y}$  в препарате, которое находится в состоянии радиоактивного равновесия с атомами  $^{90}\text{Sr}$  и поэтому не зависит от момента измерения скорости счета импульсов от препарата. Это условие позволяет определять скорость счета импульсов от препарата  $n(0)$ , приведенную на момент отделения  $^{90}\text{Y}$ , по результатам измерения скорости счета импульсов в моменты  $t_1$  и  $t_i (t_i > t_1)$  с помощью формулы:

$$n(0) = \frac{n(t_1) \cdot [1 - \exp(-\lambda_y \cdot t_i)] - n(t_i) \cdot [1 - \exp(-\lambda_y \cdot t_1)]}{\exp(-\lambda_y \cdot t_1) - \exp(-\lambda_y \cdot t_i)}, \quad (1)$$

где  $n(t)$  – скорость счета импульсов от препарата в момент измерения  $t$ , имп/мин;

$\lambda_y$  – постоянная распада  $^{90}\text{Y}$ , час $^{-1}$ ;

$t$  – момент бета-радиометрии препарата; отсчитывается от момента отделения  $^{90}\text{Y}$ , час.

Скорость счета импульсов каждого измерения  $i$  берут в паре с первым измерением, т.к. в этом случае имеет место максимальная разница величин скорости счета импульсов. Это обеспечивает наиболее высокую статистическую устойчивость получаемых результатов. При наличии  $q$  измерений скорости счета импульсов от препарата расчет величины  $n(0)$  по формуле (1) выполняют  $q-1$  раз. Затем получают среднюю оценку скорости счета импульсов  $\bar{n}(0)$  от препарата. Следить за кинетикой скорости счета импульсов от препарата нужно в течение первых 3–5 суток после отделения  $^{90}\text{Y}$ , т.к. на этом временном интервале изменение скорости счета импульсов происходит наиболее значительно. По мере приближения к состоянию радиоактивного равновесия между  $^{90}\text{Sr}$  и дочерним  $^{90}\text{Y}$  (примерно через 10 суток после отделения  $^{90}\text{Y}$ ) изменение скорости счета импульсов от препарата замедляется. В дальнейшем колебания величины скорости счета импульсов от препарата при разных измерениях снижаются до уровня статистических флуктуаций. Интервал времени между соседними измерениями скорости счета импульсов от препарата целесообразно выбирать равным 20–25 часов. В этом случае, во-первых, обеспечивается достаточное различие скорости счета импульсов в соседних измерениях за счет накопления атомов  $^{90}\text{Y}$  и, во-вторых, можно получить значительное число измерений (около 6) от одного препарата. Это обеспечивает необходимую статистическую устойчивость получаемых результатов.

Полученная по результатам  $N90$  измерений скорости счета импульсов от препарата, содержащего только  $^{90}\text{Sr}$ , величина

$$A = n_{90}(0) \left[ \frac{1}{N_{90}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{90}} \frac{n_{90}(t_i) - n_{90}(0)}{1 - \exp(-\lambda_y \cdot t_i)} \right] \quad (2)$$

равна скорости счета импульсов от  $^{90}\text{Sr}$  в препарате, приходящейся на единичную скорость счета импульсов от равновесного количества атомов  $^{90}\text{Y}$ . При  $N$  измерениях скорости счета от исследуемого препарата величина

$$B = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{n(t_i) - n(0)}{1 - \exp(-\lambda_y \cdot t_i)} \quad (3)$$

равна средней скорости счета импульсов от равновесного количества атомов  $^{90}\text{Y}$  в исследуемом препарате, содержащем  $^{89}\text{Sr}$ , для той же, как у препарата  $^{90}\text{Sr}$  геометрии измерений. Тогда произведение  $B \cdot A$  равно скорости счета импульсов от  $^{90}\text{Sr}$  в исследуемом препарате. В случае отсутствия в исследуемом препарате  $^{90}\text{Sr}$  приращения  $n(t_i) - n(0)$  скорости счета импульсов для разных моментов измерения  $t_i$  будет варьировать около нуля. В результате сумма (3) получится равной нулю.

По результатам совокупности описанных измерений удельная активность  $^{89}\text{Sr}$  в исследуемом препарате рассчитывается по формуле

$$a_{89} = [\bar{n}(0) - B \cdot A] / k_{89}, \quad (4)$$

где  $a_{89}$  – удельная активность  $^{89}\text{Sr}$ , Бк/кг;

$k_{89}$  – коэффициент перехода от скорости счета импульсов к удельной активности  $^{89}\text{Sr}$  в препарате, (имп•кг)/(мин•Бк).

В предлагаемом методе накопление  $^{90}\text{Y}$  при распаде  $^{90}\text{Sr}$  используется как полезный процесс. Наличие многократных измерений повышает надежность определения удельной активности  $^{89}\text{Sr}$  в препарате.

Бета-спектры радионуклидов  $^{89}\text{Sr}$  и  $^{40}\text{K}$  близки, т.к. средние энергии бета-частиц этих радионуклидов различаются на 0,4% [4]. Поэтому величину коэффициента перехода от скорости счета импульсов к удельной активности  $^{89}\text{Sr}$  в препарате для используемого детектора и выбранной геометрии измерений можно определять по результатам бета-радиометрии аналогичного препарата соли  $\text{KCl}$ .

Градуировку используемого детектора в выбранной геометрии измерений достаточно выполнить один раз. Ее результаты можно использовать при измерениях большого числа исследуемых препаратов. Результаты градуировки остаются действительными до тех пор, пока сохраняются неизменными эффективность детектора и используемая геометрия измерений.

Для применения способа не требуются дорогостоящие приборы (магнитные и сцинтилляционные спектрометры) и алюминиевые фильтры. Для лаборатории, оснащенной радиометрической установкой, доступно применение способа. Поэтому радиационно-гигиеническую экспертизу пищевых продуктов на содержание  $^{89}\text{Sr}$  становится возможным осуществлять в массовом порядке. Это позволяет исключить неправильные экспертные заключения на содержание  $^{89}\text{Sr}$  в пищевых продуктах. Ошибочно активность  $^{89}\text{Sr}$  не будет отнесена на счет  $^{90}\text{Sr}$ . В результате из сферы пищевого использования не будут исключены продукты, потребление которых не представляет радиационной опасности. И наоборот, в сферу пищевого использования не попадут продукты, в которых активность  $^{90}\text{Sr}$  ошибочно отнесена на счет  $^{89}\text{Sr}$ .

## Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. и введ. в действие от 01 сентября 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758-99. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
2. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под редакцией А.Н. Марья и А.С. Зыковой. – М.: Министерство здравоохранения СССР, 1980. – 336 с.
3. Прокофьев, О.Н. А.с. 1545786 СССР, М. Клз G01T 1/167. Способ определения активности стронция - 89 / О.Н. Прокофьев, О.Б. Минина. – № 4419857; заявл. 05.05.1988.
4. Схемы распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения // Публикация МКРЗ 38: Международная комиссия по радиационной защите [пер. с англ.]. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

O.N. Prokof 'ev

**The determination of  $^{89}\text{Sr}$  activity in objects of environment**

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev»  
of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

*Abstract. The radionuclide  $^{89}\text{Sr}$  gives considerable contribution in the composition of fission products, which get in environment due to an accident of nuclear reactor or due to conducting of peaceful nuclear explosion. By radiation characteristics this radionuclide essentially differs from  $^{90}\text{Sr}$ . Due to its shorter half period it faster leaves the objects of environment and therefore represents less radiation hazard for man than  $^{90}\text{Sr}$ . These radionuclides belong to the same element of chemical system and therefore are difficulty separated with the use of chemical methods. The work offers an approach, which joins chemical and radioactive methods.*

*Key words: strontium-89, strontium-90, radiation control, radiochemical extraction, beta-radiometry.*

Поступила 14.04.2010 г.

О.Н. Прокофьев  
Тел: (812) 233-53-63