

ВОЗМОЖНОСТИ ФГУП «ВНИИФТРИ» ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ И КАЛИБРОВКЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕР АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ

(источников специального назначения) с различными геометрией и материалом матрицы для градуировки спектрометрической, радиометрической и аэрозольной аппаратуры и для метрологического обеспечения измерений активности радионуклидов при радиационном контроле

О.И. Коваленко, И.В. Кувыкин

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.
koi@vniiftri.ru*

Подтверждаются возможности по изготовлению и калибровке мер активности радионуклидов с различными геометрией и метрической матрицей.

Possibilities for manufacturing and calibration of radionuclide activity measures with various geometries and metric matrix are confirmed.

Ключевые слова: радионуклиды, меры активности, источники излучения

Одним из основных видов деятельности научно-исследовательского отделения метрологии ионизирующих излучений ФГУП «ВНИИФТРИ» является обеспечение практической радиационной экологии, включая разработку и изготовление всевозможной радионуклидной продукции, в том числе – различных имитантов радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды, ядерных и строительных материалов, продуктов сельского хозяйства и питания, и т.д., как в виде монолитных, так и гранулированных объёмных образцов с варьируемыми параметрами, к которым относятся нуклидный состав, размеры гранул, насыпная плотность.

Важность и практическая значимость указанных задач обуславливается тем, что указанные имитанты радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды находят широкое применение в целях метрологического обеспечения радиометрических и спектрометрических средств измерений, т.к. позволяют поверять, калибровать и градуировать измерительную аппаратуру в условиях, наиболее приближенных к реальным, а не путём пересчёта из одной геометрии измерений в другую, что вносит существенную дополнительную погрешность в результаты измерений [1].

Изготовление и поставка специальных мер активности радионуклидов (источников специального назначения) осуществляется как под конкретные нужды по отдельным техническим заданиям, так и в виде средства измерений утвержденного типа – это источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения ИМН-Г, внесенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [2] и

выпускаемые по ТУ.

Источники ИМН-Г предназначены для использования в качестве эталонных и рабочих мер активности (удельной, объемной активности) при градуировке энергетической шкалы и чувствительности гамма-радиометрических и спектрометрических установок, а также для применения в качестве контрольных в составе средств измерений.

Изготавливаемые в ФГУП «ВНИИФТРИ» меры активности можно условно разделить на 4 группы, которые и определяют геометрию измерения, т.е. взаимное расположение исследуемого объекта и блока детектирования радиометрического или спектрометрического средства измерений, и представляют собой радиоактивное вещество в определенном конструктивном оформлении. Источники закрытые, конструкция гарантирует отсутствие загрязнения окружающей среды и оборудования при использовании их в предусмотренных условиях эксплуатации.

К 1-й группе относятся точечные источники излучения, активная часть которых выполнена локализованным нанесением аликвоты раствора нуклида известной удельной активности на подложку с последующей герметизацией.

Внешний вид точечных источников представлен на рис.1.



Рис. 1. Внешний вид точечных источников

Ко 2-й группе источников относятся поверхностные источники, активная часть которых выполнена равномерным распределением раствора нуклида известной удельной активности на поверхности подложки с последующей герметизацией.

Внешний вид поверхностных источников представлен на рис.2.



Рис. 2. Внешний вид поверхностных источников

К 3-й группе источников относятся объемные источники твердотельные, активная часть которых выполнена равномерным распределением раствора нуклида известной удельной активности в объеме источников с последующей герметизацией. Объем источника может быть организован металлическими или органическими формами. Источник также может быть изготовлен при помощи временной формы с последующим ее удалением.

Внешний вид объемных твердотельных источников представлен на рис.3.



Рис. 3. Внешний вид объемных твердотельных источников

К 4-й группе источников относятся объемные источники, насыпные, гранулированные, состоящие из герметизированных гранул с равномерно распределенным внутри них радионуклидом или смесью радионуклидов.

Внешний вид объемных насыпных источников представлен на рис.4.



а)



б)

Рис. 4. Внешний вид объемных насыпных источников:
а) в чашке Петри, б) в сосуде Маринелли

При изготовлении специальных мер активности радионуклидов в качестве основы источника, т.е. его матрицы, может быть использован практически любой материал, характеризующий различные объекты природной среды:

- сельскохозяйственная продукция (зерновые и зернобобовые культуры, мука, крупы, семена, сеянцы, чай, пряности и т.д.),
- строительный материал (песок, цемент, бетон, щебень и т.д.),
- почва.

При изготовлении специальных мер активности радионуклидов, которые должны быть имитантами проб воды, воздуха, почвы, пищевых продуктов, растений и т.п., основой является эпоксидная смола с известным содержанием активности, а степень эквивалентности реальным пробам определяется плотностью источника:

- для насыпных имитантов плотность может варьировать в пределах 0,5 – 2,4 г/см³;

- для твердотельных имитантов, которые размещаются в сосуде заданной формы, плотность может варьировать в пределах 0,05 – 2,4 г/см³.

Перечень радионуклидов, на основе которых могут быть изготовлены меры активности, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Радио- нуклид	Период полураспада (T1/2)	Радио- нуклид	Период полураспада (T1/2)	Радио- нуклид	Период полураспада (T1/2)
²⁰⁷ Bi	32,9 лет	²³⁹ Pu	2,411·10 ⁴ лет	⁹⁴ Nb	2,03·10 ⁴ лет
¹³³ Ba	10,51 лет	⁵⁴ Mn	291 сут	¹⁵³ Gd	241,6 сут
¹³⁷ Cs	30,17 лет	¹⁰⁹ Cd	461,4 сут	²⁴⁹ Cf	351 лет
⁴⁴ Ti	60,0 лет	⁵⁷ Co	271,74 сут	¹³⁹ Ce	137,641 сут
²² Na	2,6 лет	⁶⁵ Zn	243,66 сут	¹⁴⁴ Ce	284,91 сут
²⁴¹ Am	432,6 лет	⁸⁸ Y	108,1 сут	¹⁰⁶ Ru+ ¹⁰⁶ Rh	373,59 сут
²²⁶ Ra	1600 лет	¹¹³ Sn	115 сут	¹³⁴ Cs	2,0648 лет
²³² Th	1,4·10 ¹⁰ лет	¹⁸⁸ W	69,4 сут	²⁴³ Am	7,37·10 ³ лет
⁴⁰ K	1,248·10 ⁹ лет	⁶⁰ Co	5,2713 лет	²²⁸ Th	1,9116 лет
⁹⁰ Sr	28,79 лет	¹⁵² Eu	13,537 лет	²³⁷ Np	2,144·10 ⁶ лет
³⁶ Cl	3,1·10 ⁵ лет	⁵⁵ Fe	2,737 лет		

Приведенный в табл. 1 перечень не является полным.

Метрологические и технические характеристики источников приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон энергий фотонного излучения, кэВ	от 4 до 6130
Диапазон воспроизведения активности (ИМН-Г-1, ИМН-Г-2), Бк	от 1 до 1·10 ⁶
Диапазон воспроизведения удельной (объемной) активности (ИМН-Г-3-Т, ИМН-Г-3-Н), Бк/кг (Бк/л)	от 1 до 1·10 ⁶
Диапазон воспроизведения внешнего гамма-излучения с E=6,13 МэВ (ИМН-Г-3-В) в угле 4π ср, с ⁻¹	от 300 до 3000
Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения активности, %	± 5 (ИМН-Г-1) ± 10 (ИМН-Г-2)

Продолжение таблицы 2

Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения удельной (объемной) активности (при доверительной вероятности 0,95), %	± 20
Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения внешнего гамма-излучения (при доверительной вероятности 0,95), %	± 20
Неравномерность распределения активности по поверхности (по объему), %, не более	5 (ИМН-Г-2) 2 (ИМН-Г-3-Г) 2 (ИМН-Г-3-Н)
Габаритные размеры (диаметр × высота), мм, не более	
ИМН-Г-1, ИМН-Г-2	50 × 3
ИМН-Г-3-В	15 × 30
Масса ИМН-Г-1, ИМН-Г-2, ИМН-Г-3-В, кг, не более	0,1
Средний срок службы после ввода в эксплуатацию, лет	от 5 до 20
Рабочие условия эксплуатации: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность при температуре воздуха 30 °С, % - атмосферное давление, кПа	от - 50 до + 50 до 95 от 25 до 500

Поверка радионуклидных источников типа ИМН-Г и калибровка специальных мер активности радионуклидов осуществляется с применением вторичных и рабочих эталонов единиц активности, удельной и объёмной активности, перечень которых представлен в табл.3.

Таблица 3

№ п/п	Регистрационный номер эталона	Название эталона
1	2	3
1	2.1.ZZT.0213.2016	Государственный вторичный эталон единицы активности радионуклидов в диапазоне значений от 40 до $4 \cdot 10^5$ Бк
2	2.1.ZZT.0104.2014	Государственный вторичный эталон единиц активности в диапазоне 4,6 Бк – 470 Бк и внешнего альфа-излучения в диапазоне $2,0 \text{ с}^{-1}$ – 230 с^{-1}
3	2.1.ZZT.0017.2016	Государственный вторичный эталон единиц активности в диапазоне значений от 10 до $1 \cdot 10^6$ Бк, потока частиц (фотонов) в диапазоне значений от 5 до $5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ гамма-излучающих радионуклидов

Продолжение таблицы 3

4	2.1.ZZT.0096.2013	Государственный вторичный эталон единиц активности и внешнего бета-излучения. Набор эталонных источников бета-излучения из Sr-90 + Y-90 типов 1CO – 6CO
5	2.1.ZZT.0098.2013	Государственный вторичный эталон единиц активности и внешнего альфа-излучения. Набор эталонных источников альфа-излучения из плутония-239 типов 1П9 – 6П9
6	3.1.ZZT.0100.2013	Государственный рабочий эталон единиц активности, потока частиц (фотонов) гамма-излучающих радионуклидов 1 разряда. Специализированный гамма-радиометрический комплекс РЭКС-I-22
7	3.1.ZZT.0102.2013	Государственный рабочий эталон единиц активности гамма-излучающих радионуклидов 1 разряда. Комплект источников гамма-излучения ИМН-Г-1
8	3.1.ZZT.0103.2013	Государственный рабочий эталон единиц активности и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов 1 разряда. Комплект источников гамма-излучения ИМН-Г-3
9	3.1.ZZT.0243.2016	Государственный рабочий эталон единиц активности бета-излучающих радионуклидов 1 разряда в диапазоне значений от 3 до $1 \cdot 10^6$ Бк, потока бета-частиц радионуклидов 1 разряда в диапазоне значений от $1,5$ до $5 \cdot 10^5$ с ⁻¹
10	3.1.ZZT.0244.2016	Государственный рабочий эталон единиц активности альфа-излучающих радионуклидов 1 разряда в диапазоне значений от 0,3 до $1 \cdot 10^6$ Бк, потока альфа-частиц радионуклидов 1 разряда в диапазоне значений от 0,15 до $5 \cdot 10^5$ с ⁻¹

Обобщенные метрологические характеристики вторичных и рабочих эталонов единиц активности, удельной и объемной активности представлены в табл.4.

Таблица 4

Характеристика	Гамма- и рентгеновское излучение	Альфа-излучение	Бета-излучение
Диапазон энергий, кэВ	$5 - 3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^3$	$50 - 3 \cdot 10^3$
Диапазон внешнего излучения в 4π , с^{-1}	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^7$
Диапазон удельной активности, Бк/кг	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^7$
Диапазон объёмной активности, Бк/м ³	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^{10}$
СКО, %	0,1 – 1		
НСП, %	1,1 – 8		

В состав вторичных и рабочих эталонов единиц активности, удельной и объёмной активности входят:

1. Установка измерений активности радионуклидов методом $4\pi(\alpha, \beta, \gamma)$ совпадений и полного $4\pi(\alpha, \beta)$ счёта.

2. Радиометрические и спектрометрические установки для измерений внешнего альфа-, бета-, гамма- и рентгеновского излучений и активности радионуклидов на основе альфа-, бета-, гамма- и рентгеновских спектрометров.

3. Наборы эталонных радионуклидных источников:

- радионуклидные растворы (типа ОРР);
- точечные и плоские источники (типа ОСГИ, ОИСН, ОСАИ, ИМН-Г, С0, П9, У4, У8 и др.);
- объёмные твердотельные (монокристаллические и гранулированные) источники различного радионуклидного состава и плотностей.

Для производства радионуклидных источников имеется необходимое радиохимическое и технологическое оборудование.

Вторичные и рабочие эталоны единиц активности, удельной и объёмной активности радионуклидов:

обеспечивают возможность передачи размера единиц растворам, точечным источникам и объёмным имитантам реальных радиоактивно-загрязнённых проб окружающей среды, строительных материалов, сельскохозяйственных и пищевых продуктов, и др.;

обеспечивают возможность передачи размера единиц источникам с простым (моноклидным) и многоуклидным составом;

обеспечивают возможность передачи размера единиц источникам в широком диапазоне плотностей;

обеспечивают возможность передачи размера единиц источникам как интегрально по спектру излучения, так и по заданной энергии излучения источника.

Таким образом, обеспечение современного парка спектрометрических средств измерений альфа-, бета-, гамма- и рентгеновского излучений объёмными гранулированными эталонными источниками, имитирующими реальные пробы окружающей среды, загрязнённые радионуклидами, позволяет избежать существенного увеличения погрешности средств измерений, которые поверяются (калибруются) в искусственных условиях точечной геометрии измерений, и принятия на основании недостоверных результатов измерений неверных решений, затрагивающих важнейшие аспекты жизни и здоровья населения в сфере применения радиационных технологий: от ядерных технологий, радиационной безопасности при чрезвычайных ситуациях и противодействия терроризму до медицины (например, лучевой терапии в онкологии) и контроля продукции сельского хозяйства, ветеринарии, питания, а также объектов окружающей среды (почва, вода, воздух).

Литература

1. Саркисов Э.Р. Эталоны единицы активности радионуклидов ВНИИФТРИ и метрологическое обеспечение радиационной экологии. - Сб. научн. трудов ВНИИФТРИ, М., 2005 г., вып. 52 (144), с.74.
2. Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения, закрытые ИМН-Г. [Электронный ресурс] / Сведения об утвержденных типах средств измерений - Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. — Электрон.текст.дан. — Режим доступа: http://www.fundmetrology.ru/10_tipy_si/11/7list.aspx, свободный.