

## Универсальная градуировка сцинтилляционного спектрометра с детектором NaI(Tl) при измерении активности $^{137}\text{Cs}$ в счетных образцах произвольной плотности и объема

К.А. Седнев, В.А. Некрасов, В.С. Репин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*В статье описан эмпирический метод построения универсальной градуировки для сцинтилляционного гамма-спектрометра, позволяющей с точностью не более 15% определять активность и удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  в счетных образцах произвольной плотности и объема в контейнерах цилиндрической формы объемом 250 мл и 500 мл. Для построения градуировочных соотношений выполнены измерения образцовых сред  $^{137}\text{Cs}$ , приготовленных на основе материалов различной плотности: кварцевого песка, пластмассовых гранул и древесных опилок. Градуировка проводилась путем подготовки из перечисленных материалов проб объемом от 50 до 250 мл с шагом 50 мл для контейнера 250 мл и 100–500 мл с шагом 100 мл для контейнера 500 мл. Наряду с учетом объема счетного образца, проводилось также его взвешивание. Итогом измерений, выполненных для каждого материала, стали соотношения активности счетного образца к интенсивности счета в окне  $^{137}\text{Cs}$  в зависимости от объема. Универсальный градуировочный коэффициент получен посредством учета интенсивности счета от массы и объема образца для соответствующей измерительной емкости.*

**Ключевые слова:** сцинтилляционная гамма-спектрометрия, градуировочный коэффициент, счетный образец, масса, объем, цезий-137.

### Введение

При исследовании проб окружающей среды (почвы, растительности, природных пищевых продуктов и пр.) и их использованием гамма-спектрометрии не всегда удается отобрать такой объем или массу, которые достаточны для приготовления стандартного счетного образца, для которого получен градуировочный коэффициент, необходимый для определения активности или удельной активности. Поскольку эффективность счета (количество регистрируемых импульсов) зависит от объема и плотности материала счетного образца и энергии гамма-излучения, корректная оценка активности или удельной активности может быть произведена только с учетом этих двух параметров [1, 2].

В большинстве современных гамма-спектрометров, например, «Прогресс-гамма» производства НПП «Доза», МКГБ-01 производства НТЦ «РАДЭК», «МУЛЬТИРАД-гамма» производства НТЦ Амплитуда», учет этих параметров заложен в программном обеспечении [3–5]. Стандартная комплектация таких приборов включает градуировку прибора для 4 радионуклидов, измерение которых является наиболее распространенным в настоящее время:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Градуировка таких приборов выполнена для 2 стандартных геометрий измерения:

сосуд Маринелли и чашка Петри. В некоторых случаях заказчику предоставляется возможность произвести градуировку для иных вариантов геометрии измерений, приобрести объемные меры активности в нестандартной геометрии [3].

Наиболее распространенными методами градуировки являются методы, основанные на использовании объемных мер [6], однако в литературе приводятся и иные методы градуировки прибора, например, с использованием точечных образцовых спектрометрических гамма-источников – ОСГИ [7]. Данный вариант градуировки позволяет не только учесть объем источника и его плотность, но и построить зависимость эффективности регистрации от энергии. Такая зависимость необходима при определении активности радионуклидов по пикам полного поглощения. В упрощенном варианте, когда нет необходимости измерять активности нескольких радионуклидов, калибровку прибора достаточно произвести только с учетом объема и плотности образца для соответствующей геометрии измерений (измерительной емкости).

**Цель исследования** – разработка универсального калибровочного соотношения для сцинтилляционного гамма-спектрометра, позволяющего установить связь между активностью пробы и скоростью счета для произ-

Репин Виктор Степанович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева  
Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: v.repin@mail.ru

вольного объема и плотности счетного образца, содержащего  $^{137}\text{Cs}$ .

### Материалы и методы

Для градуировки использован сцинтилляционный детектор на основе кристалла NaI(Tl) размером 63×63 мм. Диапазон регистрируемых энергий: от 50 до 3000 кэВ. Энергетическое разрешение по гамма-линии 661,7 кэВ  $^{137}\text{Cs}$  – 8,5%. Блок детектирования размещен в свинцовой защите толщиной 75 мм. Градуировка выполнена для двух цилиндрических измерительных емкостей: 250 мл, диаметром 70 мм и 500 мл, диаметром 90 мм. В качестве градуировочных смесей использованы песок плотностью 1,64 г/см<sup>3</sup> и удельной активностью 3860 Бк/кг, пластмассовые гранулы плотностью 0,92 г/см<sup>3</sup> и удельной активностью 3180 Бк/кг и сухие опилки плотностью 0,18 г/см<sup>3</sup> с удельной активностью 11 700 Бк/кг. Все значения удельных активностей приведены на дату измерений.

Процедуру градуировки производили путем последовательной засыпки в измерительную емкость градуировочных сред с шагом 50 мл для емкости 250 мл и 100 мл для емкости 500 мл. После каждой очередной засыпки пробу взвешивали и производили ее измерение в течение 30 мин. Индекс пробы, объем, масса, название спектра и число зарегистрированных импульсов под пиком полного поглощения  $^{137}\text{Cs}$  заносились в журнал регистрации. Процедура градуировки для каждой измерительной емкости повторялась 3 раза. Обработка полученных результатов производилась средствами Excel. Расчет площади пика полного поглощения (фотопика) производился методом вычитания пьедестала (рис. 1).

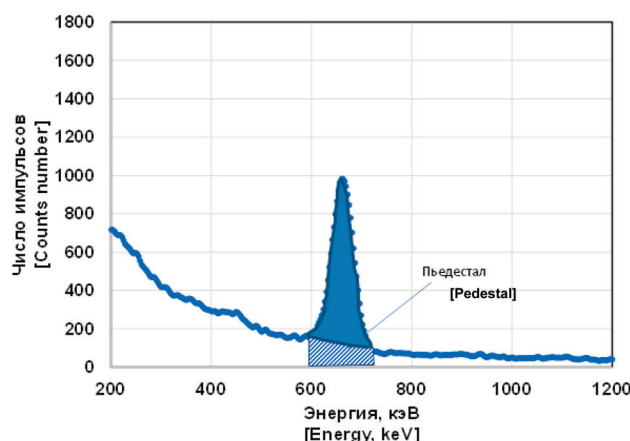


Рис. 1. Иллюстрация метода расчета площади фотопика путем вычитания пьедестала

[Fig. 1. The illustration method of the photopeak area calculation by subtracting of the pedestal]

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты измерений счетных образцов, приготовленных из объемных градуировочных сред на основе опилок, пластмассовых гранул и кварцевого песка. Измерения выполнены в измерительной емкости объемом 250 мл, диаметром 70 мм.

Сопоставляя результаты, приведенные в таблице 1, можно видеть, что с увеличением объема проб вне зависимости от плотности образцов скорость счета возрастает, но темп прироста скорости счета с увеличением

Таблица 1

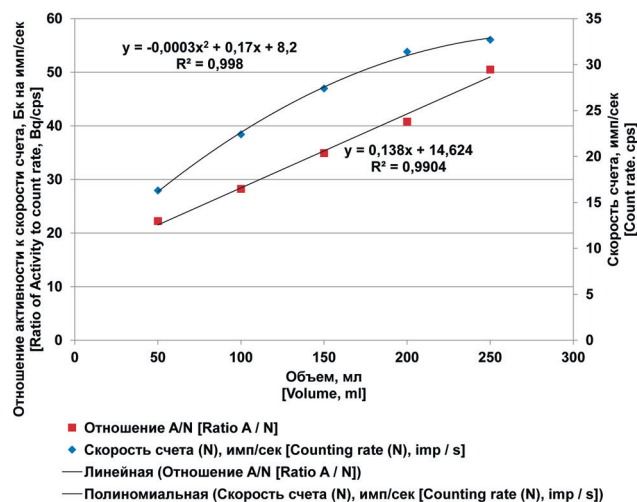
Результаты измерений счетных образцов и расчета средних значений градуировочных соотношений для проб различной плотности и объема

[Table 1

Results of measurements of counting samples and calculation of average calibration ratios for samples of different density and volume]

Материал пробы [Sample material]	Объем, мл [Volume, ml]	Активность (A), Бк [Activity (A), Bq]	Скорость счета (N), имп/с [Counting rate (N), imp / s]	Стандартное отклонение N, имп/с [St/ dev N, cps]	Отношение A/N Бк на имп/с [Ratio A / N, Bq on cps]	Стандартное отклонение A/N, имп/с [St/ dev A/N, cps]
Опилки [Sawdus]	50	105	5,99	0,13	17,61	0,38
	100	211	9,62	0,08	21,92	0,18
	150	312	12,30	0,36	25,39	0,43
	200	418	14,37	0,85	29,16	2,11
	250	527	16,07	0,31	32,42	1,21
Пластмассовые гранулы [Plastic granules]	50	157	8,24	0,31	19,08	0,92
	100	312	12,80	0,17	24,38	0,81
	150	452	15,63	0,25	28,85	0,88
	200	587	17,47	0,25	33,60	0,27
	250	741	18,97	0,06	39,06	0,42
Кварцевый песок [Quartz sand]	50	357	16,27	0,15	21,97	0,31
	100	652	23,20	0,72	28,10	0,21
	150	963	27,80	0,87	34,65	0,43
	200	1273	31,33	0,50	40,62	0,31
	250	1616	33,37	0,65	48,45	1,77

объема замедляется, что естественно, поскольку эффективность регистрации активности, находящейся в верхней части измерительной емкости в силу отдаленности от детектора меньше. В то же время отношение активности к скорости счета возрастает линейно с объемом, во всяком случае, до объема счетного образца 250 мл и высоты 6,5 см (рис. 2). Аналогичные по форме зависимости имеют место и для измерительной емкости 500 мл.



**Рис. 2.** Зависимости от объема счетного образца скорости счета (вертикальная ось справа) от объема и отношения активности к скорости счета (вертикальная ось слева)

[Fig. 2. Dependences of the counting rate on the volume (vertical axis on the right) on the volume and the ratio of activity to the counting rate on the volume (vertical axis on the left)]

Графики отношения активности опилок, пластмассовых гранул и кварцевого песка к скорости счета в зависимости от объема показаны на рисунке 3. Тренды отношений на всех представленных на рисунке 3 графиках описываются линейными зависимостями с коэффициентами корреляции, близкими к 1.

Представленные на рисунке 3 уравнения линий тренда характеризуются примерно одинаковыми величинами

свободных членов (14,24; 14,24 и 15,11) и определяют значения градуировочных коэффициентов при нулевом объеме пробы (бесконечно тонкий плоский источник). Небольшие расхождения этих значений могут быть связаны с неопределенностями удельной активности используемых для градуировки объемных образцовых сред и коэффициентов наклона линий тренда, обусловленных ошибками измерения объема и массы при подготовке счетного образца. Теоретически свободные члены всех 3 уравнений должны совпадать, поскольку при нулевом объеме отсутствует самопоглощение гамма-излучения в веществе пробы.

В основу универсального градуировочного соотношения положено соотношение для гранул, уравнение линии тренда которого показано на рисунке 3 в центре. Перепишем его в несколько ином виде:

$$\frac{A}{N} = 0,1 \cdot V + 14,24 \quad (1)$$

где  $\frac{A}{N}$  – соотношение между активностью пробы в Бк и скоростью счета в имп/с;

$V$  – объем пробы, мл.

Активность пробы в соответствии с соотношением 1 определяется следующим образом:

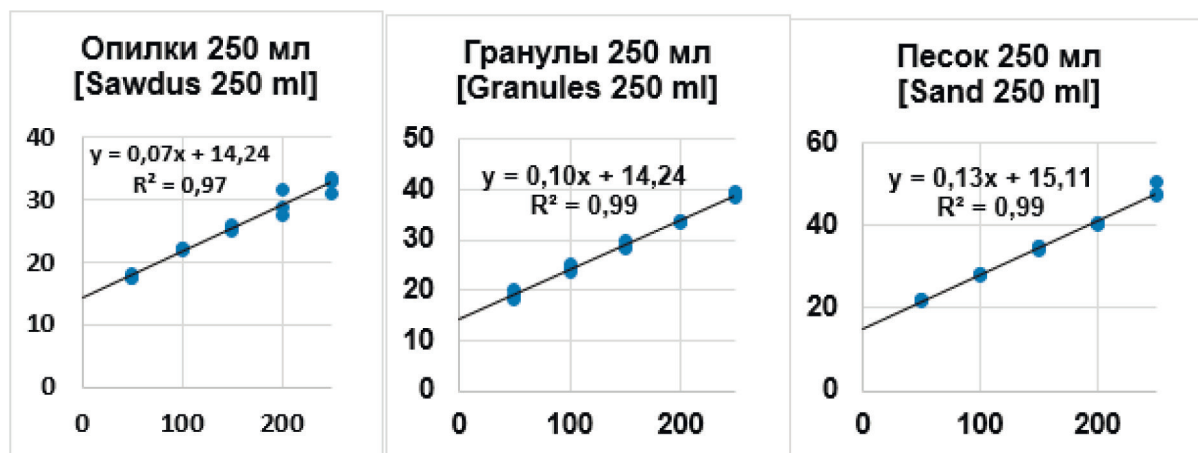
$$A = N \cdot (0,1 \cdot V + 14,24); \quad (2)$$

Поскольку при измерении пробы плотность образца может отличаться от плотности гранул, необходимо сделать поправку на коэффициент наклона, соответствующего фактической плотности измеряемого образца. Такой учет выполнен на основе данных, представленных в таблице 2.

Величина поправочного коэффициента рассчитана путем нормирования коэффициентов наклона для опилок и песка на коэффициент наклона для гранул. Поправочный коэффициент для гранул принят при этом за 1.

На рисунке 4 построена линия тренда, характеризующая зависимость поправочного коэффициента от плотности измеряемого образца.

Уравнение линии тренда на рисунке 4 определяет величину поправки к коэффициенту наклона для проб раз-



**Рис. 3.** Зависимость соотношения между активностью (Бк) и скоростью счета образца (имп/с) от объема пробы (по оси X – объем пробы, мл; по оси Y – скорость счета, имп/с)

[Fig. 2. Dependence of the ratio between the activity (Bq) and the sample count rate (counts / sec) from volume (X-axis – sample volume, ml; Y-axis – count rate, counts / sec)]

Таблица 2

Значения поправочных коэффициентов наклона для опилок и песка при использовании градуировочного графика для гранул

[Table2]

Slope correction values for sawdust and sand when using the calibration curve for granules

Материал пробы [Sample material]	Плотность, г/см <sup>3</sup> [Density, g / cm <sup>3</sup> ]	Коэффициент наклона [Slope coefficient]	Поправочный коэффициент [Correction factor]
Опилки [Sawdust]	0,18	0,07	0,7
Гранулы [Granules]	0,92	0,10	1,0
Песок [Sand]	1,65	0,13	1,3

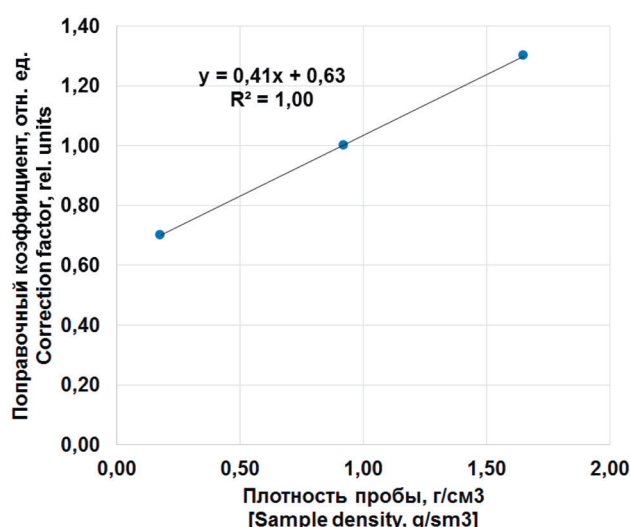


Рис. 4. Зависимость поправочного коэффициента от плотности измеряемого образца  
[Fig. 4. Dependence of the correction factor from a density of samples]

личной плотности при использовании градуировочного коэффициента для гранул (уравнение 2), плотность которых равна 0,92 г/см<sup>3</sup>.

Перепишем это уравнение для определения поправочного коэффициента  $K_{slope}$  в очевидном виде, где вместо переменной «х» – плотности счетного образца поставим отношение массы к объему счетного образца

$$K_{slope} = 0,41 \cdot \frac{M}{V} + 0,63, \quad (3)$$

где М – масса счетного образца, г;  
V – объем счетного образца, см<sup>3</sup>.

После подстановки в уравнение 2 поправочного коэффициента окончательная форма универсального градуировочного соотношения для определения активности пробы произвольного объема и плотности для измерительной емкости 250 мл будет выглядеть следующим образом:

$$A = N \cdot (0,1 \cdot K_{slope} \cdot V + 14,24) \text{ или}$$

$$A = N \cdot \left( 0,1 \cdot \left( 0,41 \cdot \frac{M}{V} + 0,63 \right) \cdot V + 14,24 \right) \quad (4)$$

В окончательном виде после перемножения и округления коэффициентов до одной значащей цифры после запятой получим:

$$A = N \cdot (0,04 \cdot M + 0,06 \cdot V + 14,2) \quad (5)$$

Для тестирования приведенного соотношения (5) была проведена серия независимых измерений проб, приготовленных из опилок, гранул и песка. Результаты тестирования показали, что ошибка расхождений расчетных и фактических результатов не превышает 10% (рис. 5).

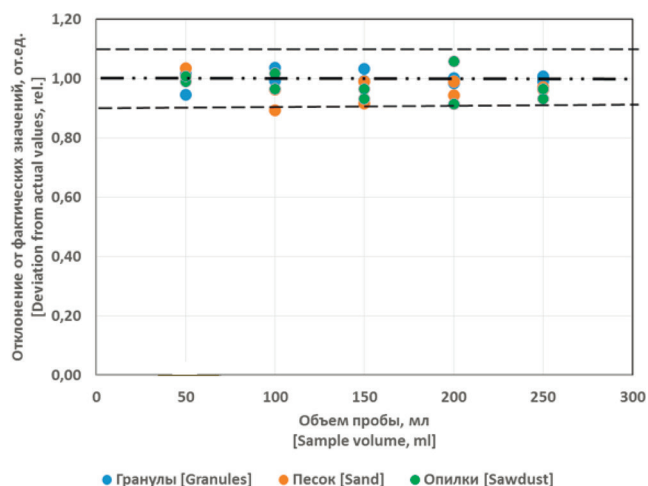


Рис. 5. Отношение активности счетных образцов, рассчитанной с помощью соотношения (5) к фактическим значениям их активности

[Fig. 5. The ratio of the activity of counting samples, calculated using the ratio (5) to the actual values of their activity]

Таким образом, на основе тестирования полученного универсального градуировочного соотношения, как это видно из рисунка 5, величина ошибки для проб разного объема и плотности не превысит 10%.

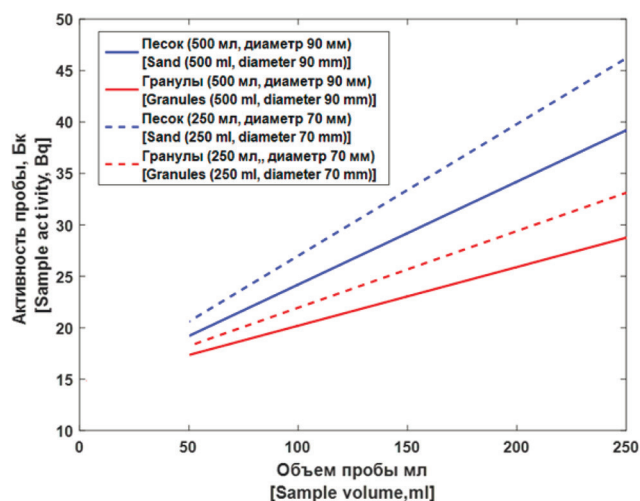
Из таблицы 1 видно, что верхние слои счетных образцов, приготовленных в измерительной емкости диамет-

ром 70 мм, дают незначительную добавку к интенсивности счета по сравнению с нижними слоями, поэтому при увеличении диаметра измерительной емкости эффективность счета активности, находящейся в верхних слоях, должна быть выше. Для получения возможности измерять пробы объемом более 250 мл была проведена аналогичная серия градуировочных измерений для емкости 500 мл с диаметром 90 мм. В результате произведенных измерений было получено новое универсальное градуировочное соотношение (6):

$$A = N \cdot (0,025 \cdot M + 0,032 \cdot V + 14,5) \quad (6)$$

Для сравнения калибровочных соотношений 5 и 6 были произведены расчеты значений активности  $A$  от объема пробы для гранул плотностью  $1 \text{ г/см}^3$  и песка плотностью  $1,7 \text{ г/см}^3$ . Расчеты произведены при условии, что интенсивность счета цезия-137 в пробах вне зависимости от объема составляет 1 имп/с. Масса измеряемого образца рассчитывалась путем умножения объема пробы на плотность вещества (гранул и песка соответственно).

На рисунке 6 приведены графики зависимости активности пробы от объема для 2 вариантов измерений: в измерительной емкости диаметром 70 мм и в измерительной емкости диаметром 90 мм.



**Рис. 6.** Зависимость расчетных значений активности  $^{137}\text{Cs}$  от объема проб при скорости счета 1 имп/с для вариантов измерений в емкостях диаметром 70 мм и 90 мм

[Fig. 6. Dependence of the calculated values of  $^{137}\text{Cs}$  activity on the sample volume at a counting rate of 1 cps for measurement options in containers with a diameter of 70 and 90 mm]

Из рисунка 6 видно, что при измерениях, выполняемых в измерительной емкости 90 мм, на 1 имп/с приходится меньшее количество Беккерелей, чем в емкости 70 мм, то есть при одной и той же активности в емкости 70 мм и в емкости 90 мм емкость с диаметром 90 мм позволяет получить в единицу времени большее количество импульсов счета, то есть эффективность

регистрации, выражаемая в имп/с на Бк, становится выше.

Результаты исследования и сопоставление градуировочных соотношений, полученных в процессе калибровки, показали, что при измерении проб нестандартного объема в диапазоне до 500 мл 2 измерительные емкости разного диаметра позволяют выбрать оптимальный вариант измерений для широкого диапазона плотностей выпадений.

### Закключение

Результаты выполненной работы показывают, что при гамма-спектрометрическом измерении  $^{137}\text{Cs}$  с детектором NaI(Tl) в пробах нестандартного объема с различной плотностью можно получить универсальное градуировочное соотношение, позволяющее произвести оперативный расчет активности счетного образца или удельной активности, используя 3 параметра: интенсивность счета под пиком полного поглощения, массу счетного образца и объем.

Для детектора NaI(Tl) размером 63×63 мм получены 2 градуировочных соотношения:

$A = N \cdot (0,04 \cdot M + 0,06 \cdot V + 14,2)$  – для измерительной емкости с диаметром 70 мм (объем 250 мл) и

$A = N \cdot (0,025 \cdot M + 0,032 \cdot V + 14,5)$  – для измерительной емкости с диаметром 90 мм (объем 500 мл).

Тестирование полученных соотношений для проб плотностью от 0,12 до  $1,64 \text{ г/см}^3$  показало, что ошибка в определении активности не превышает 10%.

Использование универсальных градуировочных соотношений позволяет расширить измерительные возможности спектрометра для проб объемом до 500 мл при плотности от 0,12 до  $1,6 \text{ г/см}^3$ .

### Литература

- Вартанов Н.А., Самойлов П.С. Прикладная сцинтилляционная гамма-спектрометрия. Москва.: Атомиздат, 1969. 463 с.
- Трошин В.С. Характеристики радионуклидов для градуировки гамма-спектрометров: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. Москва.: НИЯУ МИФИ, 2011. 101 с.
- Характеристика прибора «Професс-гамма» URL: <https://www.doza.ru/catalog/spectrometers/3/> (дата обращения: 30.09.2021).
- Характеристика прибора МКГБ-01. URL: <https://www.radek.ru/product/Spektrometry---radiometry-gamma---beta--i-alfa-izlucheniya/23/> (дата обращения: 25.09.2021).
- Характеристика прибора «МУЛЬТИПАД-гамма». URL: <https://amplituda.ru/catalog/radiatsionnyy-kontrol/oborudovanie-radiatsionnogo-kontrolya-2/spektrometry-i-radiometry/> (дата обращения: 30.09.2021).
- Гаврин В.Н. Низкофоновый полупроводниковый гамма-спектрометр для измерения сверхнизких концентраций  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ . М.: ИЯИ, 1986. 28 с.
- Добрынин Ю.Л., Кузьмич В.В. Метод полевой полупроводниковой гамма-спектрометрии для радиоэкологических исследований (реализация расчетных моделей). М.: ЦНИИАтоминформ, 1989. 20 с.

Поступила: 14.10.2021 г.

**Седнев Константин Андреевич** – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника лаборатории аварийного реагирования Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Некрасов Владислав Аркадьевич** – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника лаборатории внешнего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Репин Виктор Степанович** – доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Repin@mail.ru

**Для цитирования:** Седнев К.А., Некрасов В.А., Репин В.С. Универсальная градуировка сцинтилляционного спектрометра-детектора NaI(Tl) при измерении активности  $^{137}\text{Cs}$  в счетных образцах произвольной плотности и объема // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. – С. 96-102. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-96-102

## Universal calibration of a scintillation spectrometer with a NaI(Tl) detector when measuring $^{137}\text{Cs}$ activity in counting samples of arbitrary density and volume

Konstantin A. Sednev, Vladislav A. Nekrasov, Victor S. Repin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

*The article proposes an empirical method for constructing a universal calibration for a scintillation gamma spectrometer, which allows determining the activity and specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  with an accuracy of no more than 15% in counting samples of arbitrary density and volume in cylindrical containers with a volume of 250 ml and 500 ml. To construct calibration ratios, measurements of  $^{137}\text{Cs}$  sample media prepared on the basis of materials of different densities (quartz sand, plastic granules and sawdust) were performed. The calibration was carried out by preparing samples from the listed materials with a volume of 50 to 250 ml in increments of 50 ml for a 250 ml container and 100-500 ml in increments of 100 ml for a 500 ml container. Along with taking into account the volume of the counting sample, its weighing was also carried out. The result of the measurements performed for each material was the ratio of the activity of the counting sample to the counting intensity in the  $^{137}\text{Cs}$  window, depending on the volume. The universal calibration factor is obtained by taking into account the counting rate from the mass and volume of the sample for the corresponding measuring vessel.*

**Key words:** scintillation gamma spectrometry, calibration coefficient, counting sample, mass, volume.

## References

1. Vartanov NA., Samoilov PS. Applied scintillation gamma spectrometry. Moscow: Atomizdat; 1969. 463 p. (In Russian).
2. Troshin VS Characteristics of radionuclides for the calibration of gamma spectrometers: study guide for university students. Moscow: NRNU MEPhI; 2011. 101 p. (In Russian).
3. Characteristics of the «Progress-gamma» device. Available on: <https://www.doza.ru/catalog/spectrometers/3/> (Accessed: 30.09.2021).
4. Characteristics of the device MKGB-01. Available on: <https://www.radek.ru/product/Spektrometry---radiometry-gamma--beta--i-alfa-izlucheniya/23/> (Accessed: 25.09.2021).
5. Characteristics of the device MULTIRAD-gamma. Available on: <https://amplituda.ru/catalog/radiatsionny-control/oborudovanie-radiatsionnogo-kontrolya-2/spektrometry-i-radiometry/> (Accessed: 30.09.2021).
6. Gavrin VN. Low background semiconductor gamma spectrometer for measuring ultra-low concentrations  $^{238}\text{I}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ . INR; 1986. 28 p. (In Russian).
7. Dobrynin YL, Kuzmich VV. Field semiconductor gamma spectrometry method for radioecological research (implementation of computational models). Moscow: TsNIatominform; 1989. 20 p. (In Russian).

Received: October 14, 2021

**Viktor S. Repin**

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Repin@mail.ru

**Konstantin A. Sednev** – Acting junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**Vladislav A. Nekrasov** – Acting junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**For correspondence: Viktor S. Repin** – Doctor of Biological Sciences, Head of Ecology Laboratory of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: v.repin@mail.ru)

**For citation: Sednev K.A., Nekrasov V.A., Repin V.S. Universal calibration of a scintillation spectrometer with a NaI(Tl) detector when measuring  $^{137}\text{Cs}$  activity in counting samples of arbitrary density and volume *Radiatsionnaya Gygiena* = *Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 4. P. 96-102. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-96-102.**