

МЕТРОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТОМСКЕ**В.Д. Каратаев, В.С. Яковлева, Д.Э. Эргашев, Н.И. Башкиров****Томский политехнический университет,***Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды*

Использование полупроводниковых гамма-спектрометров в радиоэкологии позволяет точно и надежно идентифицировать радиоактивные элементы (радионуклиды) в пробах, отобранных на объектах природной среды, а также определять их активность. В городе Томске в разных лабораториях установлены и аттестованы такие спектрометры. Поскольку все эти лаборатории параллельно производят радиоэкологические исследования на территориях города и области, то их потенциал можно использовать более эффективно, если не будет сомнений в достоверности получаемых результатов. Настоящая работа выполнена с целью сравнительного анализа метрологических характеристик полупроводниковых спектрометров пяти лабораторий г. Томска.

В связи с тем, что г. Томск расположен в 30 километровой зоне Сибирского химического комбината (СХК), который является одним из самых представительных предприятий ядерного топливного цикла в мировом масштабе, необходим постоянный контроль радиационной обстановки и радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды. Контроль осуществляет ряд государственных организаций. Это Госкомэкологии Томской области, Томский центр гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, Центр госсанэпиднадзора Томской области, а также несколько независимых организаций, таких, как лаборатория радиационного контроля Томского политехнического университета (ЛРК ТПУ) и лаборатория НИИ ядерной физики при ТПУ. Как принято в мировой практике, для измерения малых активностей в прикладной гамма-спектрометрии названные организации и лаборатории используют гамма-спектрометры на основе полупроводниковых германиевых литий-дрейфовых коаксиальных детекторов, термостатированных при температуре жидкого азота. Применение полупроводниковых гамма-спектрометров в анализе на концентрации радионуклидов в составе веществ, а также при контроле или сертификации продукции промышленного производства и товаров народного потребления на радиоактивность определяет ряд требований, предъявляемых к ним с метрологической точки зрения [1-3]:

- высокое энергетическое разрешение;
- высокая степень ослабления фона и наименьший уровень его флуктуаций;
- наименьшее значение минимальной измеряемой активности (МИА);
- температурная стабильность в помещении, где расположена установка;
- высокое качество электронной аппаратуры.

Выполнение перечисленных требований при разработке гамма-спектрометров является основным условием для получения качественной информации о радионуклидном составе вещества (образца) и активности идентифицированных радионуклидов. Высокое энергетическое разрешение детектора позволяет четко идентифицировать радионуклиды, регистрируемые в сбросах СХК, четко разделять близко расположенные гамма-линии в узком интервале энергий [1, 4, 5], что, в свою очередь, уменьшает вероятность образования интерферирующих линий в аппаратном спектре. Высокая степень ослабления фона приводит к уменьшению МИА, что дает возможность проводить измерения слабоактивных образцов. Наименьший уровень флуктуации фона сокращает время на ежедневную проверку стабильности спектро-

метра. Температурная стабильность в помещении и качественная электронная аппаратура уменьшают статистические флуктуации в аппаратурном спектре, а также аппаратурную погрешность, определяют стабильность энергетической калибровки и высокое энергетическое разрешение. Важным параметром спектрометра является эффективность спектрометра при регистрации фотонов гамма-излучения, которая учитывается автоматически при восстановлении активности стандартного образцового источника и, в основном, определяет погрешность измерения активности анализируемого образца [1, 6].

Приборы и методика

Авторами выполнены тестовые испытания пяти полупроводниковых гамма-спектрометров, которые эксплуатируются в перечисленных лабораториях радиационного контроля г. Томска, с последующей оценкой метрологических параметров и их сравнительного анализа. В табл. 1 представлены технические характеристики тестируемых гамма-спектрометров. Для сравнения выбраны следующие метрологические параметры гамма-спектрометров:

- энергетическое разрешение;
- точность восстановления активности;
- относительный вклад пика обратного рассеяния в интеграл по спектру;
- минимальная измеряемая активность;
- степень защищенности от фонового излучения (коэффициент ослабления фона).

Таблица 1

Наименование спектрометра	Тип детектора	Анализатор	Программа обработки спектров	Тип защиты, толщина (L)	Производитель
IN1200	ДГДК-100В	СТ-4103	NUCL (IN-1200 GROUPE INTERTECHNIQUE)	свинец (оригинальной конструкции из стандартных свинцовых блоков, типа «ласточкин хвост», L = 100 мм)	Франция
УРС-27	ДГДК-80В	LP-4900	ASPRO (NUC-8192)	свинец (оригинальной конструкции из стандартных свинцовых блоков, типа «ласточкин хвост», L = 50 мм)	Финляндия
Прогресс-Г(1)	ДГДК-100В	На основе платы АЦП	ПРОГРЕСС-310 (IBM PC)	свинец (стандартной конструкции, L = 100 мм)	НПП «Доза»
Прогресс-Г(2)	ДГДК-120В	На основе платы АЦП	ПРОГРЕСС-320 (IBM PC)	свинец (оригинальной конструкции из стандартных свинцовых блоков, типа «ласточкин хвост», L = 50 мм)	НПП «Доза»
ALIGAS	ДГДК-100В	АМА-03Ф	ALIGAS-2,22 (IBM PC)	чугун (стандартной конструкции, L = 100 мм)	АО «Радек»

Из пяти перечисленных в табл. 1 спектрометров три имеют низкофоновую камеру (НФК) оригинальной конструкции. НФК в спектрометрах IN-1200 и УРС-27 представляют собой комбинированный защитный контейнер, стенки которого выполнены в виде последовательного набора слоев из защитных материалов: свинца, стали, алюминия. Контейнер обеспечивает поглощение внешнего фонового излуче-

ния и уменьшает относительный вклад рассеянного излучения. Отличительная особенность конструкции НФК спектрометра IN-1200 заключается в том, что внутренний объем камеры позволяет полностью разместить в нем ППД вместе с сосудом Дьюара. Конструкции всех НФК обеспечивают «теневую защиту» от прострелов фонового излучения через каналы и проемы.

Для калибровки и серии тестовых измерений использованы образцовые источники, выполненные в геометрии сосуда Маринелли. Источники аттестованы в Центре метрологии ионизирующих излучений ГНМЦ «ВНИИФТРИ» Госстандарта России. Основные параметры образцовых источников приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование источника	Радионуклидный состав	Активность радионуклида, Бк/кг	Геометрия источника	*Погрешность, %
СИГИ С № 6587 (плотность – 1,62 г/см ³)	⁴⁰ K	250	МАРИНЕЛЛИ (1 литр)	7
	²³² Th	260		
	²²⁶ Ra	230		
ОИСН № 420/7044-1 (плотность – 1,02 г/см ³)	¹⁵² Eu	260	МАРИНЕЛЛИ (1 литр)	5

* – Погрешность указана при 95 % доверительной вероятности.

Источник СИГИ С № 6587 использован для восстановления активности на всех пяти тестируемых спектрометрах. Для калибровки по энергии, энергетическому разрешению и эффективности регистрации спектрометров использован источник ОИСН № 420/7044-1. Время измерения аппаратурного спектра 2 ч (для источника СИГИ С № 6587) и 0,5 ч для источника (ОИСН №420/7044-1). В табл.3 представлены результаты измерений контрольного источника с известной активностью. Восстановление активностей радионуклидов ⁴⁰K и ²³²Th стандартного источника СИГИ С № 6587 показало, что наиболее точно воспроизведена активность на спектрометре IN-1200. Это можно объяснить достаточно массивной защитой НФК и совершенным программным обеспечением спектрометра.

Таблица 3

Наименование спектрометра	Образцовый источник СИГИ С № 6587					
	⁴⁰ K		²²⁶ Ra		²³² Th	
	активность Бк/кг	погрешность, %	активность Бк/кг	погрешность, %	активность, Бк/кг	погрешность, %
IN-1200	243	3	252	10	259	0,2
УРС-27	344	37	237	3	274	6
Прогресс-Г(1)	307	23	261	13	285	10
Прогресс-Г(2)	292	17	247	7	274	5
ALIGAS	285	14	248	8	252	0,9

В спектрометрах УРС-27 и Прогресс-Г(1) получены результаты, существенно отличающиеся от паспортных значений активности образцового источника, но укладывающиеся в 95 % в доверительный интервал. По нашему мнению, это может быть связано не с техническими характеристиками спектрометров, а с несовершенством программного обеспечения обработки аппаратурных спектров и восстановления активностей или с нестабильностью фона в помещении. Доказательством тому являются результаты тестирования указанных спектрометров, представленные в табл.4. Это расхождение образцового источника с паспортной активностью наблюдается при достаточно низких значениях суммарного вклада пика обратного рассеяния фотонов гамма-излучения и фотонов характеристического рентгеновского излучения

(ХРИ), генерируемого свинцовой защитой, в интеграл по спектру. Они обладают также относительно высокой степенью ослабления фона, вычисленной как по фотопику радионуклида K^{40} , так и интегрально по всему спектру.

Таблица 4

Тестируемый параметр		Наименование спектрометра				
		IN-1200	УРС-27	Прогресс -Г(1)	Прогресс -Г(2)	ALIGAS
Вклад пика обратного рассеяния, имп/с	Источник	36	26	27	71	44
	Фон	1,9	4	0,7	3	2
Интегральная кратность ослабления спектра фона		12	-	12	1,6	3
Степень ослабления фона (по фотопику ^{40}K)		220	6	-	1,3	5
МИА, Бк (геометрия Мари-нелли)*		5	5	10	-	-
Энергетическое разрешение, кэВ**		4	3,5	4	2,7	3
Энергетический диапазон, кэВ		23÷2800	100 ÷ 3000	20÷1900	30÷3000	50 ÷ 2000

* – данные из свидетельства об аттестации спектрометра по радионуклиду ^{137}Cs ;

** – энергетическое разрешение определено по линии ^{60}Co (1332 кэВ).

Наибольший вклад пика обратного рассеяния и ХРИ при измерении стандартного источника в спектрометре Прогресс-Г(2), что можно объяснить конструктивными особенностями НФК. Расстояние от детектора до стенок камеры довольно большое, не менее 20 см, но внутренний объем НФК не облицован материалами с малым атомным номером для поглощения ХРИ, генерируемого в свинцовой защите, что и приводит к увеличению эффекта обратного рассеяния гамма-квантов от свинцовых стенок НФК. Пик обратного рассеяния и ХРИ при измерении фонового спектра наблюдался большим в спектрометре УРС-27. Наилучшее энергетическое разрешение у спектрометра Прогресс-Г (2), имеющего детектор с самым большим чувствительным объемом. Необходимо также отметить, что наиболее компактной и удобной в работе является НФК, выполненная в НПП «Доза» для спектрометра Прогресс-Г (1).

Заключение

В результате проведенного сравнительного анализа показано, что все тестируемые полупроводниковые гамма-спектрометры имеют приемлемые и близкие метрологические параметры, позволяющие с высоким качеством производить анализы на определение удельных активностей гамма-излучающих радионуклидов, производить перекрестное сравнение результатов измерений радиоактивности в натуральных образцах, отобранных с объектов окружающей среды. Это особенно актуально для г. Томска при решении спорных вопросов, связанных с идентификацией и количественным определением концентраций радионуклидов, относимых к радиоактивным выбросам СХК.

Литература

1. *Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды* /Под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. – М.: Минздрав СССР, 1980. 366 с.
2. *Барбашев С.В., Верховецкий Н.А., Пристер Б.С.* Радиоактивное и химическое загрязнение почвы и растительности в районе Запорожской АЭС.–М.: ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1991. 82 с.
3. *Григорьев Е.И., Степанов Э.К., Фоминых В.И., Харитонов И.А, Ярына В.П.* // АНРИ. 1994. №3. С. 10-12.
4. *Кондрашов А.П., Шестопалов Е.В.* Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений. – М.: Атомиздат, 1977. 200 с.

5. Акимов Ю.К., Игнатов О.В., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике.—М.: Энергоатомиздат, 1989. 344 с.
6. Друзягин А.В., Исаков А.П., Романцев В.П., Ткаченко В.В. // АНРИ. 1994. №3. С. 12-16.

METROLOGY OF TECHNICAL MEANS FOR RADIOECOLOGICAL INVESTIGATION IN TOMSK

V.D. Karataev, V.S. Iakovleva, D.E. Ergashev, N.I. Bashkirov*

*Tomsk Polytechnical University, *The Tomsk centre for hydrometeorology and monitoring of an environment*

Use of semi-conductor gamma spectrometers in radioecology allows precisely and reliably to identify radioactive elements (radionuclides) in samples of environment, and also to determine their activity. Such spectrometers are certified and established in different laboratories of Tomsk. As all these laboratories make radioecological researches in parallel in territories of city and area, their potential can be used more effectively, if nobody will be of doubts in reliability of obtained results. The present work is executed with the purpose of the comparative analysis of metrological characteristics of semi-conductor spectrometers of five Tomsk laboratories.

УДК 621.039.736

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТВЁРДЫХ И ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ю.В. Островский

Новосибирский государственный проектно-изыскательский институт "ВНИПИЭТ"

В статье представлены результаты исследований по созданию новых технологий обезвреживания жидких и твёрдых радиоактивных отходов органического и неорганического происхождения — термохимическая деструкция в расплаве солей и щелочей, окислительный пиролиз и каталитическое окисление в аппаратах кипящего слоя, гальванохимическая обработка водно-хвостовых растворов с последующей иммобилизацией радионуклидов в высокопрочные алюмосиликатные матрицы.

Переработка облучённого ядерного горючего приводит к накоплению значительного количества радиоактивных отходов (РАО) различного происхождения. Проблема обращения с отходами вызывает повышенный интерес в связи с их потенциальной опасностью РАО для экосферы.

В процессе производственной деятельности отечественных предприятий ядерного топливного цикла непрерывно образуются как твердые (ТРО), так и жидкие отходы органического и неорганического происхождения (ЖРО), загрязненные ураном, трансурановыми элементами и продуктами их деления.

ТРО —отработанные иониты, ткань Петрянова, резиновые изделия, пластикат, бумага и т.д. Повторное их использование не представляется возможным вследствие потери технологических свойств, и поэтому из-за отсутствия экологически безопасной технологии переработки в настоящее время они захораниваются в приземном слое на специальных полигонах.

Органические ЖРО, представляют собой отработанные индустриальные и вакуумные масла, экстрагенты и их растворители. На большинстве предприятий отрасли из-за отсутствия технологии переработки эти отходы либо накапливают в ёмкостях, либо закачиваются в глубинные скважины, либо сжигаются в открытом пла-