

**ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-БЕТА-СПЕКТРОМЕТРА МКС-АТ1315
В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
УДЕЛЬНОЙ И ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ**

**А. Н. КИЙКО¹, Е. С. БОРОВКОВА², Д. О. ОКУНЕВ²,
канд. физ.-мат. наук Д. И. БРИНКЕВИЧ³,
канд. физ.-мат. наук, доц. С. А. ВАБИЩЕВИЧ²**

¹*(Белорусский государственный институт метрологии)*

²*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

³*(Белорусский государственный университет)*

В настоящей работе изучены перспективы использования гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 в лабораторном практикуме для обучения студентов практическим навыкам оперативного контроля содержания радионуклидов в различных материалах и продуктах в целях обеспечения радиационной безопасности персонала и населения.

Ключевые слова: *гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315, радиационная безопасность, удельная активность, объемная активность.*

В последние годы в Республике Беларусь введены в эксплуатацию и интенсивно функционируют объекты ядерной энергетики и медицины [1; 2]. В процессе их работы неизбежно возникают вопросы образования и утилизации радиоактивных отходов (РАО), радиационной безопасности персонала и населения, контроля загрязнения окружающей среды техногенными и природными радионуклидами [2–6]. В этой связи возрастают требования к знаниям и навыкам работы специалистов по контролю радионуклидов в различных производственных материалах, пищевых продуктах, воде и т. д. Эти знания приобретаются в процессе обучения в стенах учебных заведений. Практические навыки нарабатываются студентами при выполнении лабораторных работ. Эксперимент в его современной форме играет все большую роль в подготовке специалистов, которые должны иметь навыки исследовательской работы с первых шагов своей профессиональной деятельности [7]. Для студентов немаловажным фактором является работа на отечественном оборудовании, отвечающем всем современным требованиям. Таковым является разработанный в Республике Беларусь гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315, предназначенный для экспресс-контроля слаборадиоактивных образцов в лабораторных условиях. Он позволяет проводить одновременный контроль содержания как γ - так и β -излучающих РН в различных материалах и пищевых продуктах [8; 9].

Целью настоящей работы являлось изучение возможности применения гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 для контроля образцов малой активности в лабораторных условиях при изучении дисциплин, связанных с радиационной безопасностью.

Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315 представляет собой комбинированное двухдетекторное спектрометрическое и радиометрическое средство измерения смешанного гамма-бета-излучения. В качестве детектора гамма-излучения используется сцинтилляционный блок детектирования гамма-излучения (БДГ) с кристаллом NaI(Tl) Ø63×63 мм. В качестве детектора бета-излучения используется сцинтилляционный блок детектирования бета-излучения (БДБ) с пластмассовым сцинтиллятором Ø128×9 мм.

Спектрометр предназначен для качественного и количественного гамма-спектрометрического и радиометрического анализа проб объектов окружающей среды различной консистенции (продуктов питания, питьевой воды, сельскохозяйственной продукции и сырья и др.) на содержание гамма-бета-излучающих радионуклидов. Данный измерительный прибор обеспечивает регистрацию гамма-излучения в диапазоне энергий от 50 до 3000 кэВ и бета-излучения в диапазоне граничных энергий от 150 до 3500 кэВ.

Диапазоны измерения объемной (удельной) активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K и ^{90}Sr для проб плотностью 1 г/см^3 соответствуют значениям, приведенным в таблице 1.

Таблица. – Диапазоны измерения объемной (удельной) активности радионуклидов

Наименование и обозначение сосуда	Диапазон измерений объемной (удельной) активности радионуклидов, Бк/л (Бк/кг)		
	^{137}Cs	^{40}K	^{90}Sr
Сосуд Маринелли 1,0 л	1 – $1 \cdot 10^5$	20 – $2 \cdot 10^4$	10 – $3 \cdot 10^5$
Плоский сосуд 0,5 л	6 – $4 \cdot 10^5$	75 – $2 \cdot 10^4$	10 – $3 \cdot 10^5$
Плоский сосуд типа «Дента» 0,1 л	15 – $1 \cdot 10^6$	170 – $2 \cdot 10^4$	100 – $1 \cdot 10^6$

Принцип действия спектрометра основан на накоплении и обработке амплитудных спектров импульсов, поступающих от БДГ и БДБ. Амплитуда импульсов, пропорциональная энергии гамма-бета-излучения, преобразуется в цифровой код, который хранится в запоминающем устройстве (ЗУ) блоков детектирования. Информация из ЗУ в реальном масштабе времени считывается ПК и после обработки выводится на монитор.

Детекторы преобразуют энергию гамма-излучения в световые импульсы. ФЭУ обеспечивает преобразование световых импульсов в импульсы тока. Усилитель спектрометрический предназначен для преобразования импульсов тока ФЭУ

в импульсы напряжения нормированной длительности, амплитуда которых прямо пропорциональна энергии гамма-излучения или бета-излучения, в зависимости от выбранного детектора. В преобразователе напряжения производится подстройка высокого напряжения с помощью сигнала, поступающего со схемы светодиодной стабилизации. С выхода усилителя импульсы поступают на вход АЦП для последующего амплитудного анализа и обработки результатов.

В комплекте спектрометра поставляется программное обеспечение «SPTR», которое позволяет:

- управлять режимами работы спектрометра;
- отображать накопление информации в гамма- и бета-трактах;
- проводить анализ и обработку аппаратных спектров, включая:
 - поиск пиков полного поглощения (ППП);
 - идентификацию радионуклидов;
 - расчет активности и погрешности измерения;
- учитывать физические свойства исследуемого объекта;
- определять параметры ППП (положение центроиды, разрешение, площадь за вычетом фонового пьедестала, ширину на полувысоте) с их погрешностями;
- сохранять измеренные спектры, формировать базу данных результатов измерений;
- протоколировать результаты измерений.

Для измерения активности радионуклидов используются два метода:

- радиометрический метод. Для обработки спектров используется метод максимального правдоподобия (МП). Метод специфичен к радионуклидному составу проб и используется в предположении наличия в пробе радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{40}K ;

- спектрометрический метод предназначен для обработки гамма спектров произвольного радионуклидного состава исследуемой пробы.

Измерения эффективной удельной активности природных радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40 предназначены для обеспечения радиационного контроля следующих объектов:

- строительные материалы и изделия;
- минеральные фосфорные и фосфорсодержащие;
- изделия из тарного стекла (стеклянные банки для консервов, бутылки для пищевых жидкостей), изделия из бесцветного и цветного стекла, изделия из хрусталя, фарфоровая и керамическая посуда;
- природные материалы и изделия из них, входящие в состав наборов для игр, наборов для детского творчества.

Метод измерений основан на гамма-спектрометрическом анализе контролируемых объектов с использованием сцинтилляционного блока детектирования

с детектором NaI(Tl). Зарегистрированные аппаратурные спектры гамма-излучения от проб объектов в заданной геометрии измерения подвергаются обработке на персональном компьютере с использованием программы «SPTR». Алгоритмы расчета удельной активности радионуклидов построены на основе метода максимального правдоподобия для случая статистики Пуассона, сложного радионуклидного состава проб и учитывают влияние статистических флуктуаций в измеряемых спектрах, нестабильность измерительного тракта гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315, нестабильность фона, зависимость эффективности регистрации от плотности пробы, наличие других радионуклидов в пробе. Особенностью метода является автоматическая оптимизация модели расчета исходя из минимизации погрешности расчета активностей радионуклидов. При обработке спектрометрической информации анализу подвергаются не только пики полного поглощения, но и комптоновская часть спектра, что повышает информативность и точность оценок активностей радионуклидов. Расчет удельной активности радионуклидов основан на использовании библиотеки функций отклика гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 (градуировочных спектров), создаваемой при его заводской градуировке. Количество градуировочных спектров определяется составом контролируемых природных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , а также возможным наличием в пробе гамма-излучающих радионуклидов техногенного происхождения.

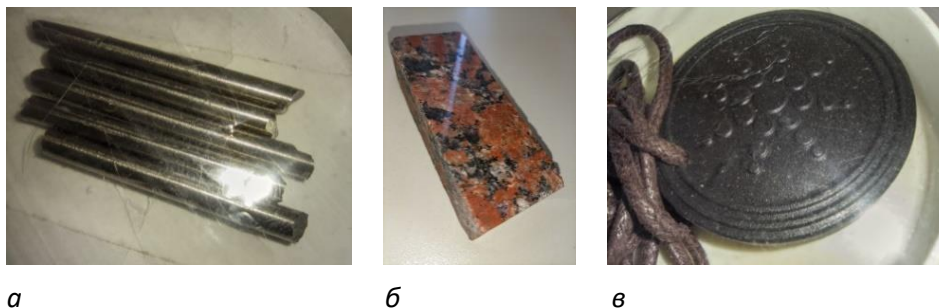
Ниже представлен экспресс-контроль слаборадиоактивных образцов при помощи гамма-бета спектрометра МКС-АТ1315. Объектами исследования были:

а) фрагменты сварочного вольфрам-ториевого электрода WT-20 (массовое содержание тория 2%) толщиной 3,2 мм (рисунок 1, а);

б) гранит красный среднезернистый облицовочный, неизвестного места добычи (рисунок 1, б);

в) «медальон» полимерный китайского производства (рисунок 1, в).

Замеры производились в течение 5 минут для каждого из образцов в режиме «Строительные материалы», «Экспресс контроль». Данный тип исследования позволяет быстро определить изотопный состав содержащихся в образце радионуклидов и оценить их удельную активность.



а – вольфрам-ториевый электрод; б – гранит; в – полимерный материал

Рисунок 1. – Исследуемые образцы

Таблица 2. – Результаты экспресс-контроля слаборадиоактивных образцов

Образец	Удельная активность, Бк/кг		Стат. погрешность, %
Электрод	^{232}Th	760	6,9
	^{137}Cs	135	40,7
Гранит	^{232}Th	150	14,0
	^{40}K	1760	24,8
	^{226}Ra	21,8	104,6
«Медальон»	^{232}Th	880	5,6
	^{40}K	587	83,0
	^{226}Ra	130	31,9
	^{137}Cs	27,8	117,3

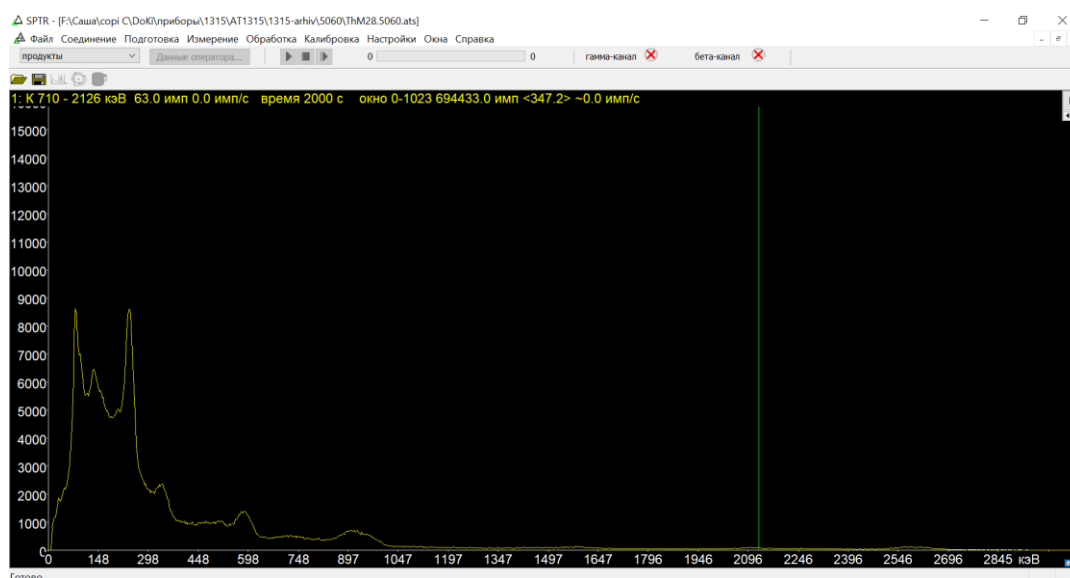


Рисунок 2. – Характерный спектр образца, содержащего радионуклид торий-232

Результаты измерений представлены на рисунке 2 и в таблице 2. Можно видеть, что даже при столь непродолжительных измерениях, оборудование позволяет справиться с поставленной задачей. Было обнаружено содержание тория в каждом из образцов, разной концентрации и активности.

Очевидно, что для более точных исследований требуются более длительные замеры.

Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315 – прибор с огромными возможностями для радиометрических и спектрометрических исследований. Особенно интересна его функция детального исследования спектров разнообразных образцов. Представленные в данной статье экспресс-замеры – лишь начало освоения данного оборудования.

В дальнейшем спектрометр планируется использовать для обучения магистрантов новой сетевой магистратуры специальности «Ядерная и радиационная

безопасность», а также для научной работы студентов и сотрудников Полоцкого государственного университета имени Ефросинии Полоцкой. Несомненным достоинством указанного спектрометра является то, что на нем возможно изучать методики измерений активности как γ -, так и β -излучающих радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бринкевич, С. Д. Позитронно-эмиссионная томография Ч.1: Характеристика метода. Получение радиофармпрепаратов / С. Д. Бринкевич [и др.] // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2013. – 2. – С. 129–137.
2. Радиоуглеродный и тритиевый мониторинг системы гидросфера-биосфера в районе размещения Белорусской АЭС / И. Л. Колосов [и др.] // Літасфера. – 2018. – № 2. – С. 121–130.
3. Brinkevich, S. D. Activation Radionuclides in the Process of Irradiation of a Niobium Target at the Cyclone 18/9 HC Cyclotrone / S. D. Brinkevich, D. I. Brinkevich, A. N. Kiyko // Physics of Atomic Nuclei. – 2020. – V. 83, N 12. – P. 1732–1737.
4. Обращение с активированными материалами термоядерных энергетических установок / М. Цуккетти [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2009, вып. 2, с. 3–42.
5. Кийко, А. Н. Накопление радионуклидов в сменных деталях и водной мишени циклотрона / А. Н. Кийко, С. А. Вабищевич, Н. В. Вабищевич, Д. И. Бринкевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. Физика. – 2022. – № 4. – С. 69–80.
6. Долгоживущие β -излучающие радионуклиды при производстве радиофармпрепаратов на основе ^{18}F / Д. И. Бринкевич [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2019. – № 4. – С. 67–76.
7. Алефиренко В. М. Использование возможностей лабораторных и практических занятий для проведения научных исследований // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: материалы X Межд. науч.-метод. конф. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 3–8.
8. Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ 1315. Руководство по эксплуатации.
9. МВИ.МН 4498-2013. Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40 на гамма-бета-спектрометрах МКС-АТ1315.