

УДК 539.172.12

**ОДНОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ  $\gamma$ - И  $\beta$ -ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ**

**Бринкевич Д.И.<sup>1</sup>, Бумай Ю.А.<sup>5</sup>, Киевицкая А.И.<sup>3</sup>, Кийко А.Н.<sup>4</sup>, Крот В.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет

<sup>2</sup>Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии

<sup>3</sup>Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова

<sup>4</sup>Белорусский государственный институт метрологии

<sup>5</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Проведены одновременные измерения  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучающих радионуклидов в регенерированной воде и картриджах сорбционной очистки, использовавшиеся в процессе производства радиофарм препаратов на основе  $^{18}\text{F}$ . Показана целесообразность использования гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 для оперативного контроля содержания технологических радионуклидов при производстве радиофарм-препаратов.

**Ключевые слова:** радиофармпрепарат, радионуклиды, гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315, регенерат воды [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$

**SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF  $\gamma$ - AND  $\beta$ -EMITTING RADIONUCLIDES FORMED DURING THE PRODUCTION OF RADIOPHARMACEUTICALS**

**Brinkevich D.<sup>1</sup>, Bumai Y.<sup>5</sup>, Kiyavitskaya H.<sup>3</sup>, Kiyko A.<sup>4</sup>, Krot V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State University

<sup>2</sup>N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus

<sup>3</sup>International Sakharov Environmental Institute

<sup>4</sup>Belarusian State. Institute of Metrology

<sup>5</sup>Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Simultaneous measurements of  $\gamma$ - and  $\beta$ -emitting radionuclides in regenerated water and sorption purification cartridges used in the production of radiopharmaceuticals based on  $^{18}\text{F}$  were carried out. The expediency of using the MKS-AT1315 gamma-beta spectrometer for operational control of the content of technological radionuclides in the production of radiopharmaceuticals is shown.

**Key words:** radiopharmaceutical, radionuclides, gamma-beta spectrometer MKS-AT1315, water regenerate [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$ .

Адрес для переписки: Бринкевич Д.И., пр. Независимости, 4, Минск 220030, Республика Беларусь

e-mail: brinkevich@bsu.by

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) является динамично развивающимся методом ранней диагностики онкологических, неврологических и кардиологических заболеваний, в котором используется внутривенное введение радиофармацевтических препаратов (РФП) на основе позитрон-излучающих короткоживущих радионуклидов [1]. На ПЭТ-исследования приходится основная доля из ~ 40 миллионов диагностических процедур ядерной медицины, ежегодно выполняемых в мире. Доминирующее положение в ПЭТ-диагностике занимают радиофармпрепараты на основе  $^{18}\text{F}$ , который образуется по реакции  $^{18}\text{O} (p, n) ^{18}\text{F}$  при бомбардировке водной мишени, обогащенной  $^{18}\text{O}$ , протонами с энергией 18 МэВ.  $^{18}\text{F}$  является  $\beta^+$ -эмиттером с периодом полураспада 108 мин.

В работе [2] в облученной на ускорителе Cyclone 18/9 НС воде были идентифицированы более 20 нежелательных  $\gamma$ -излучающих радионуклидов (РН). Большинство из них являются также  $\beta$ -излучателями [3], причем энергия их

излучения варьируется в широких пределах (вплоть до ~ 900 кэВ). Указанные обстоятельства обуславливают необходимость контроля содержания как  $\gamma$ - так и  $\beta$ -излучающих РН в промежуточных продуктах, отходах производства и конечном РФП. Кроме того, требуется мониторинг рабочих помещений ПЭТ центра с целью оценки доз, получаемых персоналом. Для этих целей может быть полезен гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315, который представляет собой комбинированное двухдетекторное спектрометрическое и радиометрическое средство измерения смешанного гамма-бета-излучения.

**Целью настоящей работы** являлось изучение возможности применения гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 для одновременного измерения  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучающих нежелательных РН, образующихся при производстве РФП на основе  $^{18}\text{F}$ .

**Материалы и методы измерений.** В настоящей работе наработку радионуклида  $^{18}\text{F}$  осуществляли на ускорителе Cyclone 18/9 НС (ИВА, Бельгия) при облучении 18 МэВ протонами воды,

обогащенной по кислороду  $^{18}\text{O}$  до 97 % («Центр молекулярных исследований», Российская Федерация). Использовали ниобиевую мишень Nirta Fluor (IBA, Бельгия) объемом 3,2 мл. Время облучения мишени за один производственный цикл составляло 60–140 минут, ионный ток на мишени – 75–80 мкА.

Контроль содержания РН проводился с использованием гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315. Он обеспечивает регистрацию гамма-излучения в диапазоне энергий от 50 до 3000 кэВ и бета-излучения в диапазоне граничных энергий от 150 до 3500 кэВ. Средний фон для  $\beta$ -частиц – 270 имп/мин, чувствительность для  $^{90}\text{Sr}$  в геометрии 0,03 л –  $3,5 \cdot 10^{-3}$  имп-л/(с·Бк). Для сравнения определение активности  $\gamma$ -излучающих радионуклидов выполняли с использованием спектрометра на особо чистом германии: детекторная система GEM40-83/DSPEC jr 2.0; энергетический диапазон 14,5–2911,4 кэВ; разрешение 0,182 кэВ/канал. Из-за высокой активности  $^{18}\text{F}$  измерения проводили не менее, чем через двое суток после последнего облучения.

В качестве образцов для измерений были выбраны картриджи сорбционной очистки QMA, Alumina и SCX, использовавшиеся в процессе производства РФП, а также 6 проб объемом 1 мл воды  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ , облученной в разные дни дозами 4800–9900 мкА·мин и прошедшей выделение  $^{18}\text{F}$  на картридже QMA (далее – регенерат)

**Эксперимент.** Результаты измерений представлены в табл. 1. Кроме приведенных в таблице наблюдались фоновые  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ , и технологические РН  $^{56}\text{Co}$  и  $^{58}\text{Co}$  в концентрациях до 300 Бк. В картриджи сорбционной очистки QMA и Alumina были обнаружены в следовых количествах также технологические радиоизотопы рения, ниобия, тантала и вольфрама, которые образуются при облучении входного окна водной мишени и осаждаются на ионно-обменном картридже QMA [2, 4]. Доминирующими РН в регенерированной воде являются радиоизотопы хрома и кобальта (табл. 1). Отметим, что активности радионуклидов варьируются в широких пределах, что, вероятнее всего, связано с различной радиационной историей облучаемых мишеней [2, 6].

В  $\beta$ -спектрах регенерированной воды наблюдался ряд максимумов в высокоэнергетичной области, что указывает на облучение мишеней с большой накопленной дозой [3]. Как и для  $\gamma$ -излучающих РН интенсивность максимумов  $\beta$ -спектров варьировалась в широких пределах. К сожалению определить конкретные РН, связанные с

этимися максимумами, не удалось. Имеет место суперпозиция ряда (до 10) РН.

Полученные в работе численные значения активностей технологических радионуклидов коррелируют с результатами работ различных авторов [2–6], Результаты измерений активностей РН на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 и при использовании спектрометра на особо чистом германии практически совпадали. Различия для всех образцов не превышали 20 %, что позволяет сделать вывод о целесообразности использования гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 для оперативного контроля содержания технологических радионуклидов при производстве РФП на основе  $^{18}\text{F}$ .

Таблица 1. Активности радионуклидов (в Бк) в регенерированной воде и картриджах сорбционной очистки через месяц после облучения

Образец	$^{51}\text{Cr}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{57}\text{Co}$	$^{65}\text{Zn}$
Регенерат1	12000	30	5050	297
Регенерат2	20500	47	783	238
Регенерат3	5900	43	410	35
Регенерат4	6410	48	180	-
Регенерат5	7040	31	73	31
Регенерат6	15000	60	380	26
QMA6	7200	29	140	47
QMA	11000	5	56	=
SCX	5	3	16	-
Alumina	-	30	358	12

#### Литература

1. Позитронно-эмиссионная томография. – Ч.1: Характеристика метода. Получение радиофармпрепаратов / С. Д. Бринкевич [и др.] // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2013. – № 2 – С. 129–137.
2. Brinkevich, S. D. Activation Radionuclides in the Process of Irradiation of a Niobium Target at the Cyclone 18/9 HC Cyclotron / S. D. Brinkevich, D. I. Brinkevich, A. N. Kiyko // Physics of Atomic Nuclei. – 2020. – V. 83, № 12. – P. 1732–1737.
3. Долгоживущие  $\beta$ -излучающие радионуклиды при производстве радиофармпрепаратов на основе  $^{18}\text{F}$  / Д. И. Бринкевич [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2019. – № 4. – С. 67–76.
4. Separation of Long-Lived Radionuclides on QMA Light Anion-Exchange Cartridge in Manufacture of Radiopharmaceutical Preparations Based on  $^{18}\text{F}$  / V. O. Krot [et al.] // Radiochemistry – 2021. – V. 63, № 2. – P. 235–242.
5. Radionuclide impurities in proton-irradiated [ $^{18}\text{O}$ ]H $_2$ O for the production of  $^{18}\text{F}$ : Activities and distribution in the [ $^{18}\text{F}$ ]FDG synthesis process / L. Bowden [et al.] // Applied Radiation and Isotopes. – 2009. – V. 67. – P. 248–255.
6. Очистка [ $^{18}\text{F}$ ]фторида от долгоживущих радионуклидов при производстве [ $^{18}\text{F}$ ]фтордезоксиглюкозы / А. А. Иванюкович [и др.] // Медицинская физика. – 2018. – № 4 (80). – С. 59–65.