

УДК 539.172.12

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРА MKS-AT1315 ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ
Бринкевич Д.И.¹, Гузов В.Д.², Киевицкая А.И.³, Кийко А.А.², Кийко А.Н.⁴, Бумай Ю.А.⁵

¹Белорусский государственный университет

²УП «Атомтех»

³Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова

⁴Белорусский государственный институт метрологии

⁵Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Спектрометр MKS-AT1315 позволяет оперативно выявлять технологические радионуклиды в процессе производства РФП на основе ¹⁸F как в регенерированной воде, так и в картриджах сорбционной очистки. Оценку содержания нежелательных радионуклидов целесообразно проводить по пику с максимумом 130 кэВ, обусловленному изотопом кобальта ⁵⁷Co, который является доминирующим нежелательным радионуклидом.

Ключевые слова: радиофармпрепарат, радионуклиды, сцинтиляционный спектрометр MKS-AT1315, регенерат воды [¹⁸O]H₂O.

APPLICATION OF THE MKS-AT1315 SPECTROMETER FOR CONTROL OF RADIONUCLIDES FORMED DURING THE PRODUCTION PROCESS OF RADIOPHARMACEUTICALS
Brinkevich D.I.¹, Bumai Y.A.⁵, Kiyavitskaya H.I.³, Kiyko A.N.⁴, Guzau V.D.², Kiyko A.A.²

¹Belarusian State University

²SPE "Atomtex"

³International Sakharov Environmental Institute

⁴Belarusian State. Institute of Metrology

⁵Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The MKS-AT1315 spectrometer allows you to quickly identify technological radionuclides during the production of ¹⁸F-based radiopharmaceuticals both in regenerated water and in sorption purification cartridges. It is advisable to assess the content of unwanted radionuclides based on the peak with a maximum of 130 keV, caused by the cobalt isotope ⁵⁷Co, which is the dominant unwanted radionuclide.

Key words: radiopharmaceutical, radionuclides, scintillation spectrometer MKS-AT1315, water [¹⁸O]H₂O regenerate.

Адрес для переписки: Бринкевич Д.И., пр. Независимости, 4, г. Минск, 220030, Республика Беларусь
e-mail: brinkevich@bsu.by

В соответствии с требованиями *GMP (Good Manufacturing Practice)* при производстве радиофармпрепаратов (РФП) должен проводиться ежедневный контроль примесных радионуклидов (РН) в готовом лекарственном препарате. Кроме того [1], загрязнение расходных материалов радиохимического синтеза побочными радионуклидами приводит к увеличению номенклатуры и объемов жидких и твердых РАО и требует периодического выборочного контроля их радионуклидного состава. При интенсивном ежедневном производстве РФП (до 3 синтезов в день) в ПЭТ-центре накапливается большое количество твердых и жидких радиоактивных отходов, которые представляют собой картриджи сорбционной очистки, регенерированную воду [¹⁸O]H₂O и, в меньшей степени, растворы для дезактивации оборудования [2–4]. Кроме того, требуется мониторинг сменных деталей циклотрона с целью оценки доз, получаемых персоналом [5]. Ранее [3] была проведена идентификация γ -излучающих радионуклидов и определение их

активности в регенерированной воде и твердых РАО с использованием спектрометра с детектором на особо чистом германии. При рутинном производстве РФП, когда радионуклидный состав РАО известен, разрешающая способность такого спектрометра избыточна. Для контроля примесных РН в рутинном производстве РФП целесообразно использовать более дешевые спектрометры со сцинтиляционными детекторами. Для качественной работы с этими спектрометрами необходимо установить принадлежность пиков в γ -спектрах, полученных на сцинтиляционном спектрометре, с конкретными радионуклидами.

С этой целью нами были проведены одновременные измерения γ -спектров одних и тех же образцов жидких и твердых РАО на ППД-спектрометре ORTEC и на отечественном сцинтиляционном спектрометре MKS-AT1315.

Материалы и методы измерений. Нарработку радионуклида ¹⁸F в условиях рутинного производства РФП осуществляли на ускорителе Cyclone 18/9 HC (IBA, Бельгия) при облучении 18

МэВ протонами воды, обогащенной по кислороду ^{18}O до 97 % («Центр молекулярных исследований», Россия). 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 μA .

Сцинтилляционный спектрометр МКС-АТ1315 обеспечивает регистрацию гамма-излучения в диапазоне энергий от 50 до 3000 кэВ и бета-излучения в диапазоне граничных энергий от 150 до 3500 кэВ. Чувствительность для ^{137}Cs в геометрии «Дента» составляет $8,87 \cdot 10^{-3}$ имп-л/(с·Бк), чувствительность для ^{90}Sr в геометрии 0,03л – $3,5 \cdot 10^{-3}$ имп-л/(с·Бк). Одновременно определение активности γ -излучающих радионуклидов выполняли с использованием спектрометра на основе 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}F измерения проводили не менее, чем через двое суток после последнего облучения.

В качестве образцов для измерений были использованы твердые РАО (картриджи сорбционной очистки *QMA, Alumina* и *SCX*, использовавшиеся в процессе производства РФП), а также 6 проб объемом 1 мл воды H_2^{18}O , облученной в разные дни дозами 4800–9900 мкА·мин и прошедшей выделение ^{18}F на картридже *QMA* (далее – регенерат) и растворы, полученные после дезактивации оборудования

Эксперимент. На рисунке 1 приведены сравнительные γ -спектры регенерата. Нижний спектр измерен на ППД-детекторе, верхний – на спектрометре МКС-АТ1315. Результаты измерений активностей долгоживущих радионуклидов на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 и при использовании спектрометра на основе чистом германии практически совпадали. Во всех сцинтилляционных спектрах наблюдалось 9 пиков с максимумами при 130, 510, 840, ~1030, 1250, 1350, 1750, 2050 и 2600 кэВ (рисунок 1). Наиболее интенсивные из них – низкоэнергетические. При увеличении энергии ширина пика возрастает, а его интенсивность снижается. идентифицировать радионуклиды, ответственные за указанные выше пики. Пик 1 с максимумом энергии 130 кэВ обусловлен изотопом кобальта ^{57}Co , имеющим две интенсивных линии γ -излучения с энергиями равными 122,1 и 136,5 кэВ. Пик 2 с максимумом порядка 511 кэВ обусловлен аннигиляцией позитрона. Она присуща всем β^+ -излучающим изотомам и для

идентификации технологических радионуклидов в данном случае не пригодна. Отметим, что по этому пику обычно определяется интенсивность целевого радионуклида ПЭТ диагностики ^{18}F . Пик 3 связан с изотопом марганца ^{54}Mn , имеющим энергию излучения гамма-квантов равную 834,85 кэВ. В этом же диапазоне находятся энергии излучения изотопов кобальта ^{56}Co (846,8 кэВ) и ^{57}Co (810,8 кэВ). Можно с большой долей уверенности утверждать, что пик 4 с максимумом вблизи 1100 кэВ обусловлен изотопом цинка ^{65}Zn , поскольку пики других технологических РН в этом диапазоне отсутствуют. Слабоинтенсивные пики с энергиями ~1030, 1250, 1350, 1750, 2050 и 2600 кэВ, вероятнее всего, связаны с ^{56}Co .

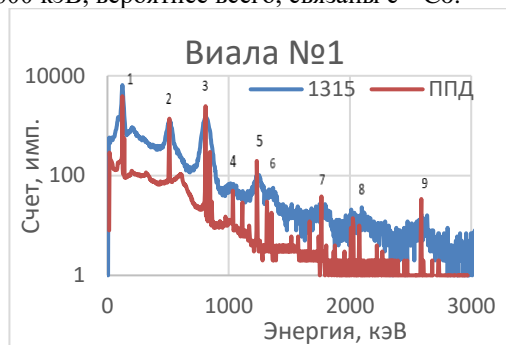


Рисунок 1 – γ -спектры регенерата

Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315 позволяет оперативно выявлять нежелательные технологические радионуклиды в процессе производства РФП на основе ^{18}F как в регенерированной воде, так и в картриджах сорбционной очистки. Причем оценить содержание нежелательных технологических радионуклидов можно по пику с максимумом вблизи 130 кэВ, обусловленному изотопом кобальта ^{57}Co , который является доминирующим нежелательным РН.

Литература

1. Очистка ^{18}F фторида от долгоживущих радионуклидов при производстве ^{18}F фтордезоксиглюкозы / А.А. Иванович [и др.] // Медицинская физика. – 2018. – № 4(80). – С. 59–65.
2. Reprocessing of Irradiated ^{18}O H_2O under the Conditions of a PET Center / S.D. Brinkevich [et al.] // Radiochemistry. – 2019. – Vol. 61, N 4. – P. 483–490.
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. Separation of Long-Lived Radionuclides on QMA Light Anion-Exchange Cartridge in Manufacture of Radiopharmaceutical Preparations Based on ^{18}F / V.O. Krot [et al.] // Radiochemistry. – 2021. – V. 63, № 2. – P. 235–242.