

## Наработка короткоживущих изотопов на ускорителе "ЭПОС" ННЦ ХФТИ для позитрон-эмиссионной томографии

*Г.Л.Бочек, А.Н.Довбня, А.С.Задворный, В.И.Кулибаба, А.А.Каплий, В.Д.Овчинник, И.М.Прохорец, А.В.Торговкин, Б.И.Шраменко*

*ННЦ ХФТИ, г. Харьков*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в медицинских учреждениях Украины, использующих радионуклидную диагностику, сложилась критическая ситуация, обусловленная практически полным отсутствием фармпрепаратов на основе радиоактивных нуклидов (изотопов). Хотя основную часть (~80%) диагностических средств составляют фармпрепараты на основе технеция  $^{99m}\text{Tc}$ , весьма существенная (а в ряде случаев и определяющая) роль в диагностике различного рода заболеваний отводится фармпрепаратам, меченым ультракороткоживущими (УКЖ) радионуклидами:  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ . Указанные позитрон-активные радионуклиды широко используются во всем мире в качестве источников аннигиляционного гамма-излучения с энергией 511 кэВ в позитрон-эмиссионных томографах (ПЭТ). Неоспоримым достоинством ПЭТ-методики, использующей УКЖ-изотопы, является то, что, обеспечивая работу электронной аппаратуры с высокими нагрузками ( $10^5$ – $10^6$  сек $^{-1}$ ), достигается высокое пространственное разрешение и низкий уровень радиационного воздействия на пациента (доли рад), а сама процедура обследования длится несколько минут. В связи с возрастающим интересом к ПЭТ-методике и принимаемыми усилиями по созданию в ННЦ ХФТИ томографа целесообразно изучить возможности наработки УКЖ-радионуклидов на имеющихся линейных ускорителях электронов ННЦ ХФТИ. Настоящая работа предпринята именно с этой целью. Необходимо было в условиях работы ЛУЭ-20 ("ЭПОС") получить данные о величинах удельных активностей УКЖ-изотопов, нарабатываемых на конкретных мишенях.

### МЕТОДИКА ОБЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОНУКЛИДОВ

В качестве мишеней для наработки использовались следующие вещества: дистиллированная вода  $\text{H}_2\text{O}$  (в стеклянных ампулах по 2 см $^3$  медицинского назначения), порошки борной кислоты  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и нитрида бора  $\text{BN}$ , пленки тетраполифторэтилена (фторопласта)  $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ , углерода (графита) реакторной чистоты и пленок полиэтилена  $(\text{C}_2\text{H}_2)_n$ . Мишени-

образцы собирались с общую сборку размером 25×40 мм $^2$ , которая устанавливалась на пучок электронов на расстоянии 70 см от выходной фольги ускорителя непосредственно за свинцовым конвертором толщиной 2 мм. Специально для этих работ на ускорителе ЭПОС создавался следующий режим облучения:

энергия электронов – 25 МэВ;  
частота сканирования – 3 Гц;  
импульсный ток – 500 мА;  
площадь развернутого пучка – 80×300 мм $^2$ ;  
длительность импульса – 4 мкс;  
частота посылок – 150 Гц;  
время облучения – 10 мин.

### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ ОБРАЗЦОВ

Определение удельной активности производилось путем измерения на спектрометрическом стенде числа гамма-квантов в пике фотопоглощения от облученных образцов известного химического состава и веса при известной плотности тока ускоренных электронов в месте расположения конвертора. Спектрометрический стенд оснащен  $\text{Ge(Li)}$ -детектором типа ДГДК-50 1А объемом 50 см $^3$  или сцинтилляционным детектором на базе кристалла  $\text{NaI(Tl)}$  размерами  $\varnothing 63 \times 63$  мм промышленного изготовления. Энергетическое разрешение первого детектора составляет 3,8 кэВ (по линии 511 кэВ), второго – ≈8% по линиям  $\text{Co}^{60}$ . Спектрометрический канал включал предусилитель БУСи-57, усилитель типа 1101 в стандарте КАМАК или спектрометрический усилитель БУС-2-47, амплитудно-цифровой преобразователь типа 712 в стандарте КАМАК. Регистрация и обработка набранных спектров производилась с помощью компьютера IBM PC 386-DX.

Для определения удельной наработанной активности различных изотопов были выбраны реакции  $(\gamma, n)$  на ядрах  $\text{O}^{16}$ ,  $\text{N}^{14}$ ,  $\text{F}^{19}$  и  $\text{C}^{12}$ . Облученные образцы помещались на расстоянии 35 мм от поверхности детектора. Мертвое время спектрометра определялось по стандартной методике двух источников и было равно  $\tau=33$  мкс. После обработки всех экспериментально набранных спектров проводилось построение кривой распада по значениям

суммы под пиком фотопоглощения. С целью минимизации погрешностей был использован метод наименьших квадратов, позволяющий приближать данные эксперимента кривой вида  $A=A_0 \cdot \exp(-\lambda t)$ , где  $\lambda$  – постоянная распада,  $t$  – время с момента окончания облучения,  $A_0$  – активность на момент конца облучения. Учет просчетов проводился по следующей формуле:

$$N_0 = N / (1 - N_s(\tau/t_1)), \quad (1)$$

где  $N$  – число фотонов в фотопике, зарегистрированное детектором,  $N_0$  – число фотонов с учетом просчетов,  $N_s$  – полное число импульсов в спектрометрическом канале,  $\tau$  – мертвое время спектрометра,  $t_1$  – время набора спектра.

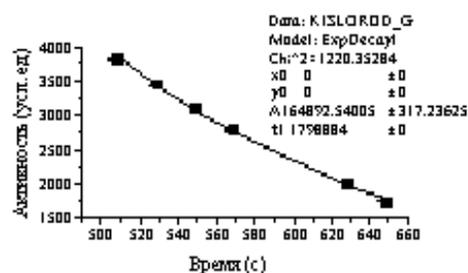
Погрешность величины  $N_0$  складывается из погрешности определения суммы под фотопиком  $\sigma_{n_0}$ , погрешности, вносимой конечным временем набора спектра  $\sigma_{t_1}$ , и погрешности, обусловленной вычитанием фона  $\sigma_f$ . Суммарная погрешность определяется как среднеквадратичная от всех составляющих. Основной вклад в общую погрешность вносят  $\sigma_{n_0}$  и  $\sigma_f$ . Для изотопов с периодом полураспада, сравнимым со временем набора (30 – 50 с) погрешность  $\sigma_{t_1}$  должна учитываться.

На рисунке в качестве иллюстрации приведена кривая распада изотопа  $^{15}\text{O}$ .

Представляет интерес сравнить полученные данные с расчетами [1,2]. Сравнимые результаты представлены в таблице 1 и показывают, что полученные данные по наработке УКЖ-изотопов (приведенные ко времени облучения, достаточному для насыщения) находятся в разумном согласии с расчетами.

Таблица 1

Изо–топ	Удельная активность, Бк/г·мкА при 25 МэВ		
	Мак Грегор [1]	Лутц [2]	Наш эксперимент (до насыщения)
$^{11}\text{C}$	$7.5 \cdot 10^6$	$0.8 \cdot 10^6$	$2.25 \cdot 10^6$
$^{13}\text{N}$	$3 \cdot 10^6$	$1.4 \cdot 10^6$	$3.36 \cdot 10^6$
$^{15}\text{O}$	$1.85 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^6$
$^{18}\text{F}$	$1.85 \cdot 10^6$	$0.75 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$



В таблице 2 приведены сравнительные данные по наработке изотопа  $^{15}\text{O}$  на различных ускорителях. Из таблицы 2 видно, что на ускорителе ЭПОС в  $200 \text{ см}^3$  воды за 10 минут нарабатывается изотопа  $^{15}\text{O}$  в 26 раз больше, чем требуется на обследование одного пациента. Приведенные данные показывают возможность наработки медицинских изотопов на ускорителях ННЦ ХФТИ.

Работа выполнена при поддержке фонда УНТЦ, проект № 285 и проекта INTAS LA-96-09.

Таблица 2

Ускоритель	ЛУ “Факел” ИАЭ им. И.В. Курчатова, г. Москва, Россия	ЛУ–30 МэВ, Центр ядерной медицины, г. Цинцинати, США	ЛУ–ЭПОС ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина
Условия облучения образцов	$E_0=30 \text{ МэВ}$ $I_{cp}=100 \text{ мкА}$ $T_{obl}=7 \text{ мин}$ $V=200 \text{ см}^3$	$E_0=26 \text{ МэВ}$ $I_{cp}=100 \text{ мкА}$ $T_{obl}=4 \text{ мин}$ $V=500 \text{ см}^3$ $\varnothing_{бс} \times 18 \text{ см}$	$E_0=25 \text{ МэВ}$ $I_{cp}=300 \text{ мкА}$ $T_{obl}=10 \text{ мин}$ $V=200 \text{ см}^3$
Интегральная активность на момент окончания облучения	700 мКи	184 мКи	130 мКи (пересчет из $1 \text{ см}^3$ )

### Литература

1. М.Н. Мс. Gregor. Nucleonics. 15, № 11 (1957).
2. G.J. Lutz. Anal. Chem. 41, 425 (1969).

Статья поступила: в редакцию 15 мая 1998г.,  
в издательство 1 июня 1998г.