

5.9. Радиохимические и ядерно-физические методы в исследованиях окружающей среды и живых систем.

Р.А. Алиев. ramiz.aliev@gmail.com

Работа посвящена производству радионуклидов, использующихся в ядерной медицине и в качестве радиоактивных меток в анализе объектов окружающей среды. Предложены способы получения радионуклидов с высокой линейной передачей энергии, перспективных для радиоиммунотерапии: ^{67}Ga , ^{77}Br , ^{111}In , ^{211}At и методики получения короткоживущих аналогов тех элементов, которые обладают наиболее высокой радиотоксичностью в долгосрочной перспективе – технеция, селена и стронция. Методики основаны на экстракционном и хроматографическом выделении из мишеней, облученных на циклотроне α -частицами и дейтронами. Галлий-67 ($T_{1/2} = 3,26$ сут) широко применяется в ядерной медицине для диагностики ряда заболеваний, однако он перспективен также и для лечения раковых опухолей. Галлий-67 получали по реакции $^{65}\text{Cu}(\alpha, 2n)^{67}\text{Ga}$, облучая стопку медных фольг толщиной 14 мкм пучком α -частиц энергией 27 МэВ. При использовании меди естественного изотопного состава образуется также значительное количество ^{66}Ga ($T_{1/2} = 9,49$ ч) по реакции $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)^{66}\text{Ga}$ и небольшое количество ^{65}Zn . Наиболее выгодное отношение $^{67}\text{Ga}/^{66}\text{Ga}$ наблюдается ближе к поверхности мишени, в области, где сечение образования ^{67}Ga имеет максимум, а ^{66}Ga – минимум. Галлий выделяли двумя способами: экстракцией метилизобутилкетонам (МИБК) и ионным обменом. Стронций-85 получали по реакции $^{85}\text{Rb}(d, 2n)^{85}\text{Sr}$. Сульфат рубидия естественного изотопного состава заключали в оболочку из молибденовой фольги (25 мкм) и облучали пучком дейтронов энергией 15 МэВ, при токе до 1,5 мкА. Стронций отделяли на колонке, заполненной сорбентом Sr Resin. Короткоживущие изотопы технеция $^{95\text{m.g}}\text{Tc}$, ^{96}Tc применяют как радиоактивные метки при анализе ^{99}Tc и при исследовании поведения технеция. Предложен метод одновременного получения трех радионуклидов: $^{95\text{g}}\text{Tc}$ ($T_{1/2} = 20$ ч), $^{95\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2} = 61$ сут) и ^{96}Tc ($T_{1/2} = 4,35$ сут) из одной мишени, представляющей собой стопку молибденовых фольг естественного изотопного состава, толщиной 25 мкм каждая. Мишень облучали α -частицами энергией 30 МэВ. На рис. 1 показано распределение радионуклидов в молибденовой мишени. Для выделения ^{96}Tc использовали первую фольгу в стопке, для $^{95\text{m.g}}\text{Tc}$ – фольги 3-5, соответствующие диапазону энергий α -частиц 24→11 МэВ. Технеций отделяли от Ru и Mo экстракцией МИБК из 1 М H_2SO_4 . При получении $^{95\text{m}}\text{Tc}$ и $^{95\text{g}}\text{Tc}$ отделение технеция проводили дважды. Сначала отделяли смесь изомеров, потом в водной фазе накапливался короткоживущий изомер за счет распада ^{95}Ru ($T_{1/2} = 1,65$ ч), через 6 ч его отделяли повторной экстракцией.

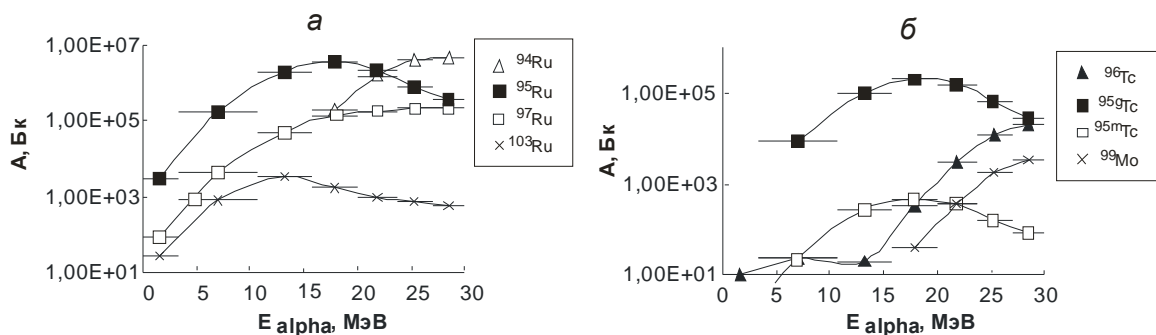


Рис. 1. Распределение изотопов рутения (а), технеция и молибдена (б) в молибденовой мишени в зависимости от энергии пучка. Время облучения 15 мин, ток 1 мкА, для $^{95m,g}\text{Tc}$ активность пересчитана на сутки после конца облучения

Для получения ^{111}In ($T_{1/2} = 2,8$ сут) использовали реакцию $^{109}\text{Ag}(\alpha,2n)^{111}\text{In}$, поскольку она обеспечивает наиболее чистый продукт. Облучение проводили α -частицами с энергией 30 МэВ, током 1 мкА в течение 2 ч. В результате анализа ядерно-физических данных выбраны оптимальное время выдерживания мишени после облучения, равное 24 ч и оптимальная толщина мишени 100 мкм. Расчеты показали, что при этом суммарное содержание побочных продуктов (^{109}In и ^{110}In) в облученной мишени составляет не более 27%, а еще через сутки - не более 1%. При толщине 100 мкм теряется только 0,6% продукта по сравнению с толстой мишенью. ^{111}In экстрагировали 15% раствором ди-2-этилгексилфосфорной кислоты (Д2ЭГФК) в гексане из 3,5 М HNO_3 [3]. Затем ^{111}In реэкстрагировали 50% HBr , экстрагировали бутилацетатом и реэкстрагировали водой (рис. 5). Эксперименты, проведенные с радиоактивной меткой ^{110}Ag , показали, что происходит эффективное разделение индия и серебра еще на стадии экстракции Д2ЭГФК. Выход составил около 80%.

В работе принимали участие: Р.А. Алиев, Д.А. Царев, А.Б. Приселкова, В.И. Кузнецов, В.Л. Гируц, В.Н. Меднова, А.Е. Рылова.

Работа отражена в публикациях:

1. R.A. Aliev. Production of ^{95g}Tc via ^{95}Ru . *Radiochim. Acta.* 97, 303-307 (2009)
2. Р.А. Алиев, Д.А. Царев, С.Н. Калмыков, Р.В. Хрестенко. Получение радионуклидов для экологических исследований и радиотерапии. Вестник Моск. Ун-та, серия 2, Химия, 2009, №5, 402-406.