

УДК 612.014.482

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ РАССЕЯННЫХ И СКРЫТНО ПЕРЕВОЗИМЫХ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Антонов, Б. А. Бенецкий¹, А. А. Бергман¹, Г. Б. Жданов, А. И. Исаков,
А. В. Клячко¹, В. И. Попов¹, А. Е. Самсонов¹, В. А. Тукарев

Дано экспериментальное обоснование и оценка чувствительности метода обнаружения делящихся материалов, основанного на облучении участков окружающей среды импульсным потоком замедленных нейтронов и регистрации быстрых вторичных нейтронов деления, с дискриминацией γ -фона по форме импульса сцинтилляционного спектрометра нейтронов.

Все возрастающее накопление отходов ядерной энергетики, аварийные выбросы ее предприятий в сочетании с последствиями испытаний ядерного оружия и стремлением неядерных держав к приобретению делящихся материалов определяют актуальность непрерывного совершенствования методики обнаружения скрытых и рассеянных делящихся материалов, повышения ее чувствительности и надежности.

В работе [1] были изложены результаты разработки двух методов оперативного контроля наличия делящихся материалов в окружающей среде: по запаздывающим на десятки секунд вторичным нейтронам деления, а также по вторичным нейтронам от реакции (α, n) (в случае плутония). Чувствительность метода обнаружения делящихся веществ может быть существенно повышена при регистрации мгновенных быстрых нейтронов деления, возникающих при облучении среды импульсным источником тепловых нейтронов и отделяемых от фона гамма-квантов методом анализа формы импульсов от сцинтилляционного детектора.

¹ ГИЦ РФ "Институт ядерных исследований РАН".

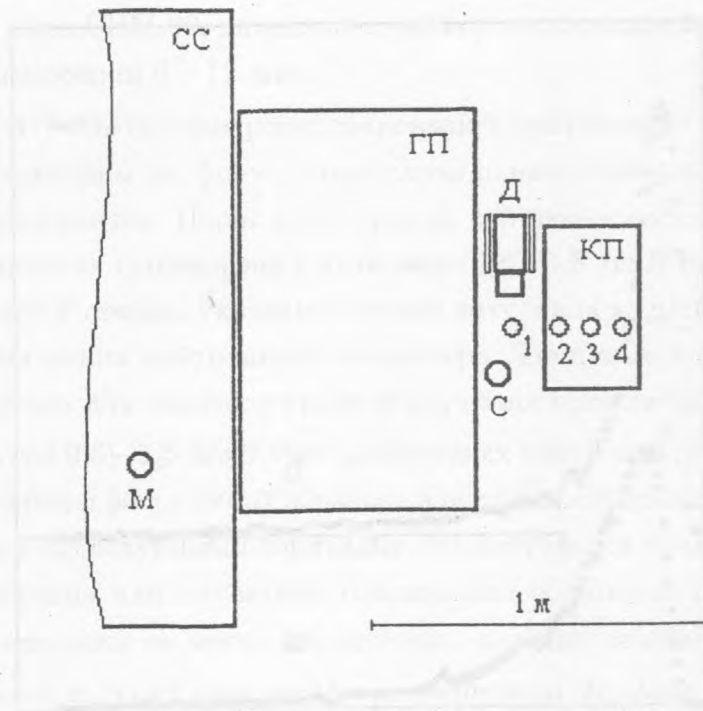


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. СС – свинцовая сборка, ГП – графитовая призма, Д – датчик сцинтилляционного спектрометра, С – борный счетчик тепловых нейтронов, М – борный счетчик-монитор, 1 – 4 – места расположения образца, КП – контейнер с песком.

Для проведения эксперимента использовался импульсный источник нейтронов с энергией 14 МэВ из (D,T)-реакции интенсивностью $\sim 10^9 \text{ с}^{-1}$, который располагался внутри массивной свинцовой сборки спектрометра СВЗ [2]. Замедленные в свинце нейтроны инжектировались в графитовую призму (рис. 1), создавая у ее внешней поверхности поток тепловых нейтронов интенсивностью $\sim 10^2 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, регистрировавшийся нейтронным счетчиком типа СНМ-20. Длительность рабочего цикла нейтронного генератора составляла 6800 мкс; интенсивность тепловых нейтронов нарастала в начале периода, достигая максимума через 540 мкс после импульса первичных дейтронов. Быстрых нейтронов от источника к этому моменту в призме уже не остается и, таким образом, если такие нейтроны будут зарегистрированы в интервале времени $\Delta T = 544 - 6800 \text{ мкс}$, их следует отнести к продуктам деления или фону.

Вблизи графитовой призмы помещался контейнер с песком массой 30 кг, модели-

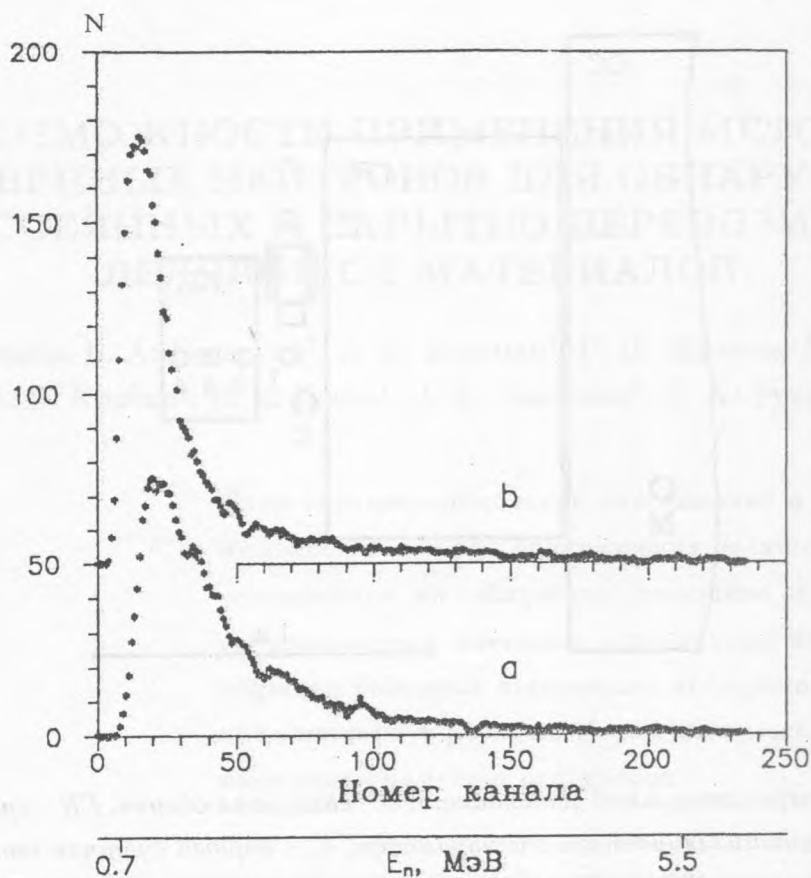


Рис. 2. Типичные аппаратные спектры мгновенных нейтронов деления с образцами урана-235 (а) и плутония-239 (б). По вертикали – число импульсов в канале (время измерений около 7 мин), по горизонтали – номера каналов (верхняя шкала) и диапазон энергий регистрируемых протонов отдачи (нижняя шкала).

ровавший исследуемый участок грунта (рис. 1). Между графитовой призмой и контейнером был размещен датчик сцинтилляционного спектрометра – кристалл стильбена размером $\phi 40 \times 40 \text{ мм}^3$ и ФЭУ-143. Фотоумножитель был защищен от активации потоком тепловых нейтронов кольцами из смеси парафина с ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$. Образцы делящихся веществ в виде обогащенного урана-235 (12,35 г U_2O_3) или плутония-239 (1,0 г PuO) располагались в различных позициях либо внутри контейнера с песком (на глубинах до 23,5 см), либо между ним и графитовой призмой. В некоторых сериях измерений позади контейнера располагался отражатель нейтронов – блок графита толщиной 10 см, не влиявший существенно, как было установлено, на результаты измерений. Длитель-

ность измерений с каждым образцом определялась набором $2 \cdot 10^5$ импульсов монитора – борного счетчика типа СМ-20, находившегося внутри свинцовой сборки, и составляла в разных сериях измерений 6 – 12 мин.

Мгновенные нейтроны деления регистрировались нейтронным спектрометром на линии с ЭВМ, позволяющим по форме сцинтилляционного импульса отделять быстрые нейтроны от гамма-квантов. Порог регистрации нейтронов составлял около 0,8 МэВ, коэффициент подавления гамма-фона в интервале 0,8 – 5,5 МэВ не хуже $3 \cdot 10^2$. Счет событий был разрешен в течение указанного выше интервала времени ΔT и блокировался на остальное время цикла нейтронного генератора. Типичные аппаратные спектры от быстрых нейтронов для образцов урана и плутония приведены на рис. 2.

В области спектра 0,8 – 5,5 МэВ счет мгновенных нейтронов деления в 1,5 – 13 раз (в зависимости от глубины погружения образцов в песок) превышал фон, измерявшийся до и после измерений с исследуемыми образцами. Фон оставался практически неизменным при отсутствии образца или его замене массивными образцами дюралюминия, стали, кобальта, помещавшимися на место исследуемых делящихся веществ.

Результаты одной из серий измерений с размещением образцов в песке на глубине от трех до 24 см и на поверхности представлены в таблице 1. Приведен интегральный счет нейтронов в интервале энергий 0,8 – 5,5 МэВ. Приведенные ошибки – статистические.

Т а б л и ц а 1
Счет мгновенных нейтронов деления для образцов U_2O_3 и PuO
в различных позициях (рис. 1)

Образец	Позиция	Толщина слоя песка, см	Число зарегистриро- ванных импульсов		Эффект за вычетом фона
			с образцом	фон	
U_2O_3	1	0	2348	187	2161 ± 50
	2	3	1591	144	1447 ± 42
	3	14	326	139	197 ± 22
	4	24	215	139	76 ± 19
PuO	1	0	3562	243	3319 ± 62
	2	3	614	139	475 ± 27
	3	14	482	139	343 ± 25
	4	24	382	139	243 ± 23

Из анализа данных таблицы следует, что при экспрессных измерениях (до 10 мин) чувствительность к рассеянному на поверхности грунта или вблизи нее на малых глубинах делящемуся веществу составляет $\sim 1 \text{ г/м}^2$ для ^{235}U и $\sim 10^{-1} \text{ г/м}^2$ для ^{239}Pu . Минимальные обнаруживаемые концентрации урана и плутония на глубинах грунта 15 – 25 см в условиях нашего эксперимента составляют, соответственно, $\sim 10^{-4} \text{ г/г}$ и $\sim 10^{-5} \text{ г/г}$.

Чувствительность метода может быть существенно повышена (до $\sim 10^{-6} - 10^{-7} \text{ г/г}$ по урану и $\sim 10^{-7} - 10^{-8} \text{ г/г}$ по плутонию) за счет 1) увеличения потока тепловых нейтронов; в частности, при использовании конвертора-замедлителя типа [3], даже при относительно малой интенсивности нейтронного генератора (10^9 н/с), можно получить поток тепловых нейтронов $\sim 1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$; 2) повышения эффективности регистрации нейтронов деления путем увеличения размеров или количества сцинтилляционных детекторов.

Для дальнейшего повышения чувствительности необходимо экранирование аппаратуры от нейтронной компоненты космических лучей.

Разработанная методика может применяться в целях экспрессного контроля за содержанием делящихся материалов как в окружающей среде, так и в пунктах таможенного досмотра. Во всех случаях глубина зондирования не менее 30 сантиметров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андреев А. В. и др., Краткие сообщения по физике ФИАН, N 5 – 6, 3 (1995).
- [2] Бергман А. А. и др., Ядерные константы, вып. 7, 50 (1971).
- [3] Андреев А. В. и др., Отчет ГИРЕДМЕТ Ан-536, Москва, 1985.

Поступила в редакцию 30 ноября 1995 г.