

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amesz J., Volta G. In: Proc. 11th Biennial Conf. on Carbon. Galtinburg, 4—8 June 1973, MP-5.
2. Барабанов В. Н., Вяткин С. Е., Лобастов Н. А. В сб.: Конструкционные материалы на основе графита. Вып. II. М., «Металлургия», 1966, с. 135.
3. Шапошников Н. А. Механические испытания металлов. М.—Л., Машгиз, 1954.
4. Свойства конструкционных материалов на основе углерода. Справочник. Под ред. В. П. Соседова. М., «Металлургия», 1975.
5. Виргильев Ю. С. «Атомная энергия», 1974, т. 36, вып. 6, с. 479.
6. Nuclear Graphite. N. Y.—London, Acad. Press, 1962.

УДК 539.1.074

Детекторы CsI(Tl) с колодцем для низкофоновой гамма-спектрометрии

СОБОРНОВ О. П.

Для анализа низких содержаний радионуклидов в образцах малого объема (5—30 см³) представляют интерес детекторы с колодцем.

В настоящей работе сравнивались спектрометрические параметры, собственный фон и фотоэффективность детекторов CsI(Tl) и NaI(Tl) размером (диаметр × высота) 100 × 100, 80 × 80, 60 × 60 мм с колодцами диаметром 33 (35) мм и глубиной соответственно 60, 50 и 47 мм. Измерения проводились в идентичных условиях с использованием одного ФЭУ-110 и аппаратуры, описанной в работе [1]. Детекторы размером 100 × 100 мм имели конические кварцевые окнасветоводы толщиной 20 мм, а остальные окна — из кварцевого или натриевого стекла. Внешний диаметр колодцев всех детекторов 30 мм. Использовались точечный (¹³⁵Cs) и объемные γ-источники [⁴⁰K (KCl кристаллический), ¹³⁷Cs, ²³²Th и ²³⁸U (с продуктами распада)]. Последние были распределены в среде Na₃PO₄ (н. д. а.) и имели при размере 27 × 50 мм плотность 1,3—1,4 г/см³. Разрешение определялось с объемными γ-источниками ¹³⁷Cs и ⁴⁰K (R_{Cs}, R_K, %), а также по стандартной методике с точечным ¹³⁷Cs (R, %) на расстоя-

нии, равном диаметру детектора. В настоящей работе под «разрешением» понимается разрешение спектрометра, определяемое уравнением

$$R = (r_c^2 + r_\phi^2 + r_a^2)^{1/2},$$

где r_c, r_φ и r_a — соответственно собственное разрешение сцинтиллятора, фотоумножителя и анализирующей аппаратуры. Поскольку r_φ и r_a — постоянные, то R условно рассматривается как разрешение детектора. При этом правильным считается разрешение, определенное в реальных условиях измерений, т. е. в колодце детектора с объемным источником. Установлено, что в данной системе R_{Cs} = 1,32 R_K.

Сравнение фотоэффективности и собственного фона спектрометра проводилось в энергетических интервалах (ΔE_γ, МэВ), включающих пики полного поглощения (ППП) γ-источников; а также ППП и суммарные пики каскадов ¹¹²⁰+^{0,609}²¹⁴Bi и ^{2,615}+^{0,583}²⁰⁸Tl, выбранных применительно к задаче отдельного определения этих радионуклидов в смеси. Фотоэффективность детекторов ε_φ определялась по ППП ⁴⁰K (1,461 МэВ) при условии, что 1 г калия испускает

Параметры детекторов CsI(Tl) и NaI(Tl) с колодцем

Детектор		Разрешение, %			Скорость счета фона (имп./мин) в интервале ΔE _γ , МэВ					ε и M (отн. ед.) в интервале ΔE _γ , МэВ										
										ε _φ , %										
Размер, мм	Тип	R	R _{Cs}	R _K	0,40—3,40		0,55—1,55		1,70—2,00		2,50—3,40		0,55—0,75		1,35—1,55		1,70—2,00		2,50—3,40	
					ε	M	ε	M	ε	M	ε	M	ε	M	ε	M	ε	M	ε	M
100 × 100; колодец 33 × 60	CsI (Tl)	11,0	10,7	8,1	304,0 (155,8)*	163,2 (45,6)	8,00 (7,30)	5,35 (5,52)	5,64 (5,76)	19,14	4,62	0,95 (1,79)	6,17	2,66	7,80	3,40	7,38	3,89		
	NaI (Tl)	9,4	9,4	7,1	108,2	25,5	5,76	4,44	4,80	14,20	3,18	1,66	4,94	2,51	5,52	2,63	5,60	3,20		
80 × 80; колодец 35 × 50	CsI (Tl)	10,6	10,1	7,8	89,3	24,9	4,42	3,28	3,61	10,00	2,60	1,37	3,33	1,94	3,67	2,04	3,80	2,50		
	NaI (Tl)	8,8	8,4	6,5	71,4	16,6	3,78	2,64	2,88	7,62	2,08	1,34	2,54	1,60	2,65	1,64	2,82	2,08		
60 × 60; колодец 35 × 47	CsI (Tl)	10,5	10,6	8,2	39,3	10,0	2,28	1,27	1,80	4,96	1,60	1,34	1,65	1,33	1,70	1,51	1,74	1,63		
	NaI (Tl)	7,7	8,0	6,0	29,5	7,04	1,50	1,01	1,56	3,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		

* Второй детектор аналогичного размера.

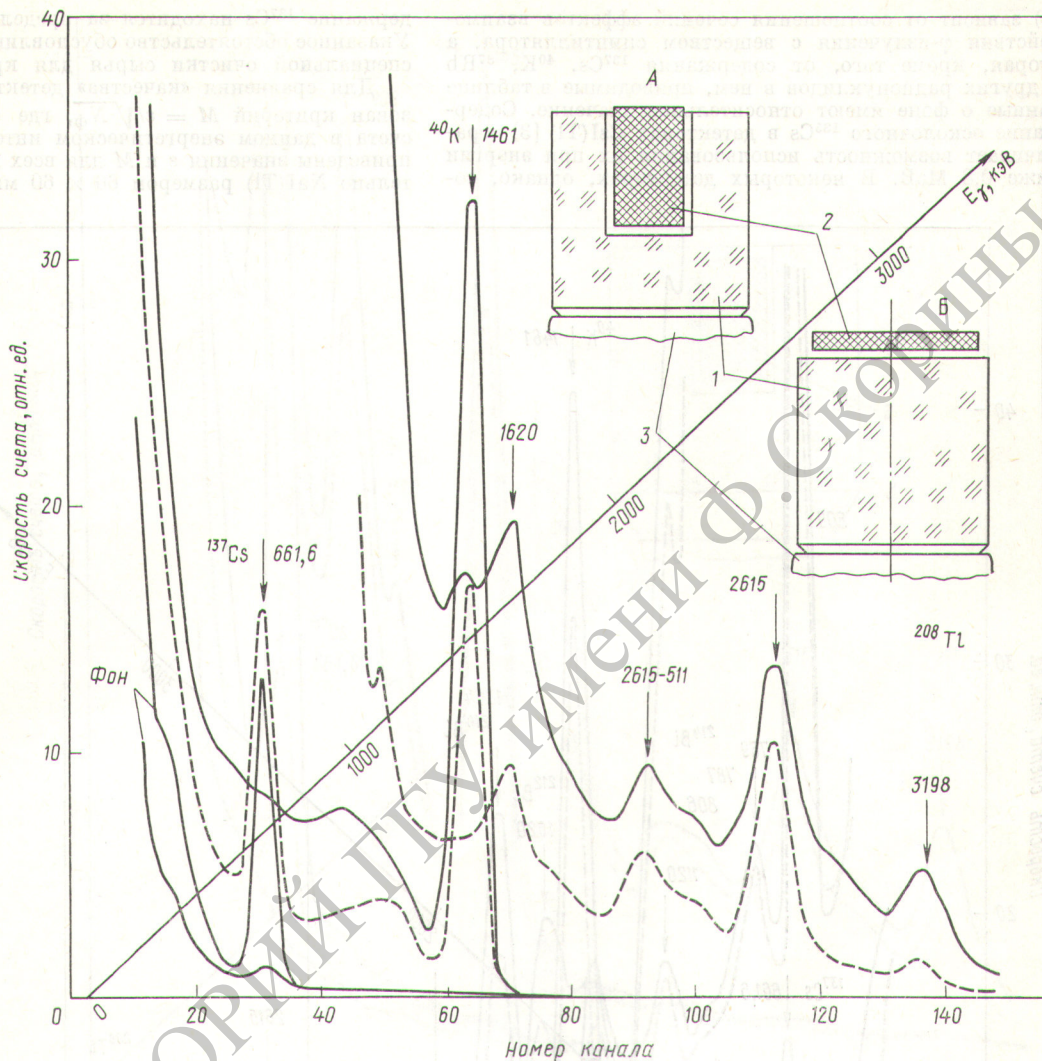


Рис. 1. Спектры фона и объемных γ -излучателей ^{232}Th (с продуктами распада) и ^{40}K (KCl). Геометрии измерения А и Б:

— сцинтиляционный блок CsI(Tl) размером 76×76 мм; ———— — детектор CsI(Tl) размером 80×80 мм с колодцем диаметром 35×50 мм; 1 — детектор; 2 — образец; 3 — ФЭУ

3,25 γ -квант/с [2]. Для детекторов размером 100×100 мм при измерениях в колодцах эффективность по ^{40}K составила 58,9 и 65,6% для NaI(Tl) и CsI(Tl); при фото-вкладах — соответственно 23,3 и 29,2%. Различия в форме спектров и в эффективности детекторов равного чувствительного объема, но разной формы показаны на рис. 1, где приведены γ -спектры одних и тех же источников, полученные со сцинтиляционным блоком с кристаллом CsI(Tl) размером 76×76 мм и с детектором CsI(Tl) размером 80×80 мм с колодцем диаметром 35×50 мм. Источники ^{40}K (KCl 51,5 г) и Th (стандартный образец СВТ-16А 55 г) измерялись равное время в геометрии счета, оптимальной для указанных кристаллов (на торце и в колодце соответственно). Результаты измерения параметров сравнивае-

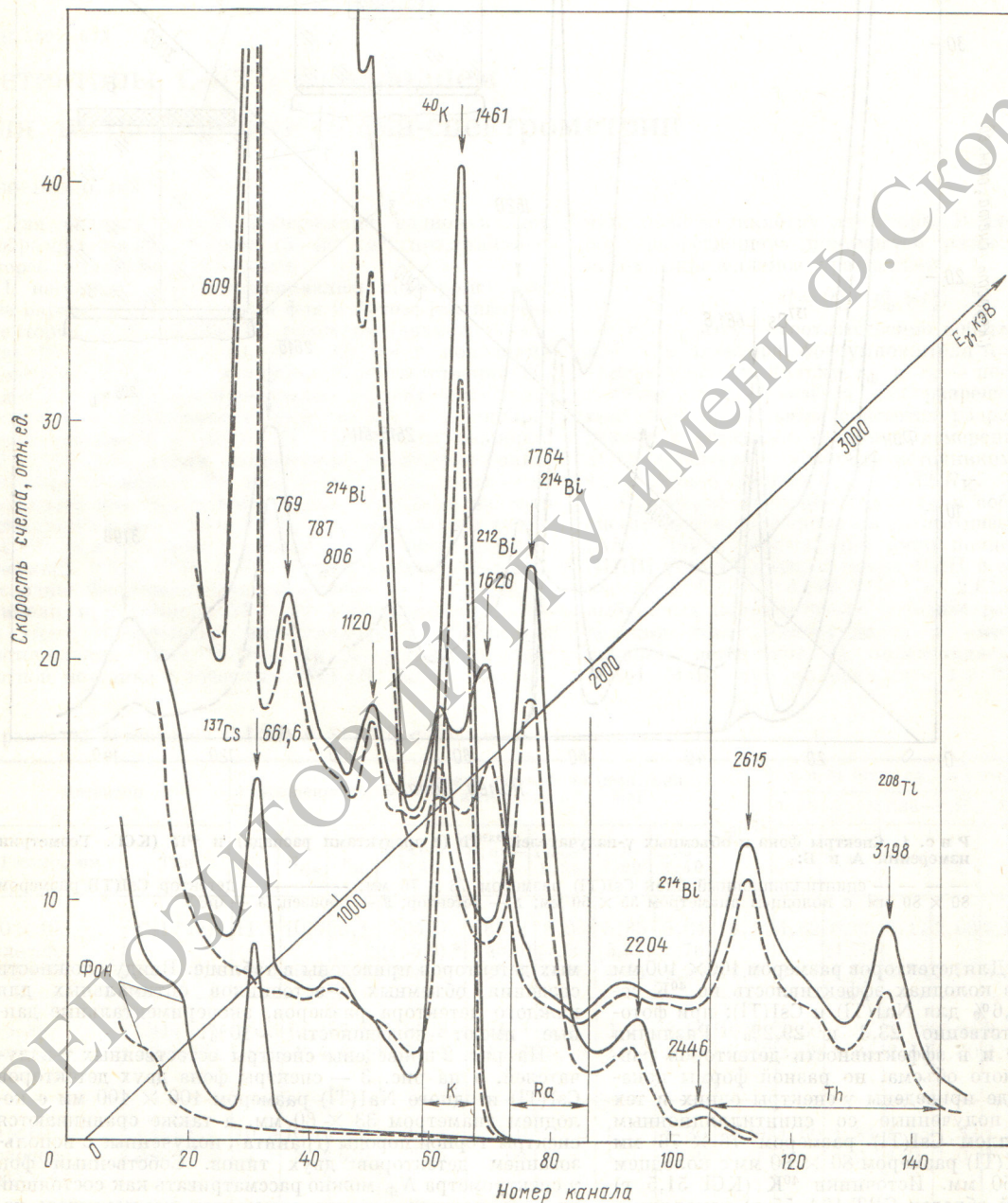
мых детекторов приведены в таблице. Ввиду сложности создания объемных γ -источников оптимальных для каждого детектора размеров, экспериментальные данные имеют погрешность $\sim 10\%$.

На рис. 2 приведены спектры естественных γ -излучателей, а на рис. 3 — спектры фона двух детекторов CsI(Tl) и одного NaI(Tl) размером 100×100 мм с колодцем диаметром 33×60 мм, а также сравниваются спектры горной породы (гранита), полученные с использованием детекторов двух типов. Собственный фон γ -спектрометра N_{ϕ} можно рассматривать как состоящий из двух регистрируемых детектором компонентов: излучения окружающей среды n_0 и собственного излучения сцинтилятора n_c , т. е. $N_{\phi} = n_0 + n_c$. Поскольку первая составляющая (при конкретной защи-

те) зависит от соотношения сечений эффектов взаимодействия γ -излучения с веществом сцинтиллятора, а вторая, кроме того, от содержания ^{137}Cs , ^{40}K , ^{87}Rb и других радионуклидов в нем, приводимые в таблице данные о фоне имеют относительное значение. Содержание осколочного ^{135}Cs в детекторах CsI(Tl) [3] ограничивает возможность использования их при энергии ниже 0,8 МэВ. В некоторых детекторах, однако, со-

держание ^{137}Cs находится за пределами обнаружения. Указанное обстоятельство обуславливает необходимость специальной очистки сырья для кристаллов CsI(Tl).

Для сравнения «качества» детекторов был использован критерий $M = \epsilon/\sqrt{N_{\text{ф}}}$, где ϵ — эффективность счета в данном энергетическом интервале. В таблице приведены значения ϵ и M для всех детекторов относительно NaI(Tl) размером 60×60 мм с колодцем диа-



Р и с. 2. Спектры фона и естественных γ -излучателей ^{40}K , U—Ra и Th (с продуктами распада). Детекторы размером 100×100 мм с колодцами диаметром 33×60 мм:

— — — NaI(Tl); — — — CsI(Tl)

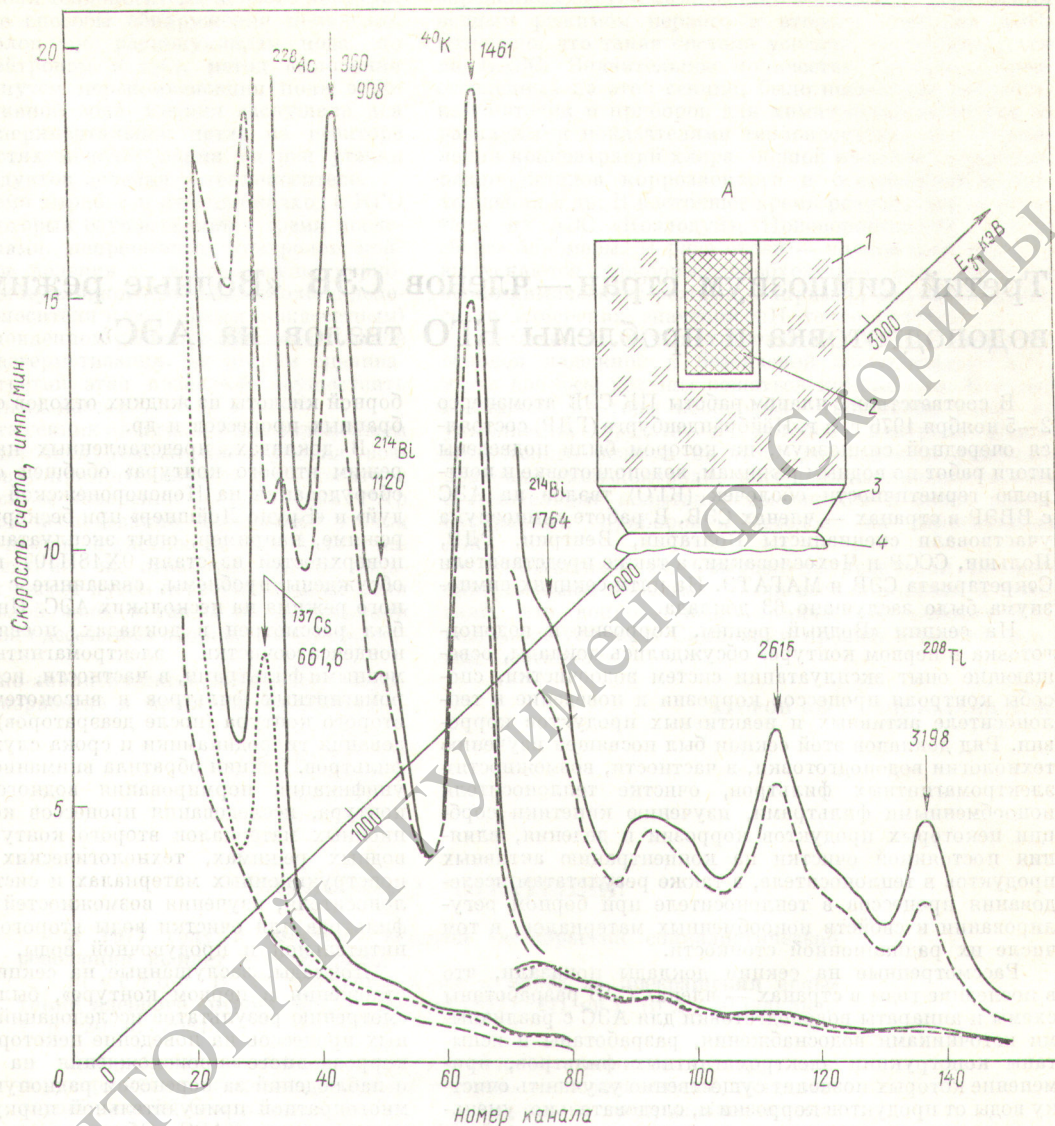


Рис. 3. Спектры фона и порной породы (40 г гранита) в гэмэгррии измерения А:
 — — — NaI(Tl); ... — CsI(Tl); — — — CsI(Tl); 1 — детектор; 2 — образец; 3 — ФЭУ; 4 — оло-
 световод

метром 35 × 47 мм. Из этих данных следует, что применение CsI(Tl) с колодцем позволяет существенно увеличить производительность анализов или (при тех же экспозициях) повысить чувствительность и уменьшить погрешности. Этому же способствует большая стабильность их спектрометрических параметров во времени, что сокращает число измерений, выполняемых для контроля метрологических параметров и калибровки гамма-спектрометров. Заметим также, что детектор CsI(Tl) размером 60 × 60 мм с колодцем превосходит по «качеству» детектор CsI(Tl) размером 76 × 76 мм (без колодца), чувствительный объем которого примерно в 2,8 раза больше.

Автор выражает благодарность Л. Л. Нагорной и Я. А. Захарину за изготовление детекторов CsI(Tl) размером 100 × 100 мм высокого качества.

Поступило в Редакцию 14/IX 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурков Ю. А., Соборнов О. П. «Атомная энергия», 1973, т. 34, вып. 2, с. 125.
2. Adams J., Gasparini P. Gamma-Ray Spectrometry of Rocks. Elsevier, Publ. Comp. Amsterdam — London — N. Y., 1970.
3. Соборнов О. П., Щеглов О. П. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 1, с. 63.