

Применение гамма-спектрометра с Ge(Li)-детектором для анализа урановых и ториевых руд

ГОРБАТЮК О. В., КАДИСОВ Е. М., МИЛЛЕР В. В., ШАШКИН В. Л.

УДК 550.8 : 553.495 : 539.1.55 : 539.122.164

Спектрометры с Ge(Li)-детекторами благодаря своему высокому энергетическому разрешению широко используются при анализе радиоактивных руд по спектру γ -излучения. В частности, характер аппаратурных спектров γ -излучения рудных проб (рис. 1, 2) позволяет по однократному измерению определять в них содержание урана, радия, радона и тория. Для этого в спектрах γ -излучения могут быть использованы характерные линии определяемых элементов либо тех продуктов их распада, которые в рудах находятся в равновесии с данными элементами.

Содержание урана можно определять по характерным линиям γ -излучения, сопровождающего распад самого урана (^{235}U) или продуктов его распада ^{234}Th (UX_1) и ^{234}Pa . Для определения радия используется единственная линия 186,2 кэВ, возникающая при рас-

паде ^{226}Ra . Радон определяется по интенсивным линиям γ -излучения, сопровождающего распад ^{214}Pb (RaB) или ^{214}Bi (RaC). Торий можно определять по γ -излучению ^{208}Tl (ThC'') или ^{228}Ac (MsTh_2). В спектре γ -излучения этих изотопов имеется ряд интенсивных линий [1].

При выборе аналитической линии для определения изотопа нужно учитывать квантовый выход данной линии, эффективность ее регистрации, величину и форму фона в области этой линии, в частности вклад неразрешенных γ -линий других радиоизотопов в суммарный аппаратурный пик.

В табл. 1 представлены наиболее удобные для аналитических целей линии указанных изотопов.

Рассмотрим один из возможных вариантов независимого определения урана и радия в пробах урановой

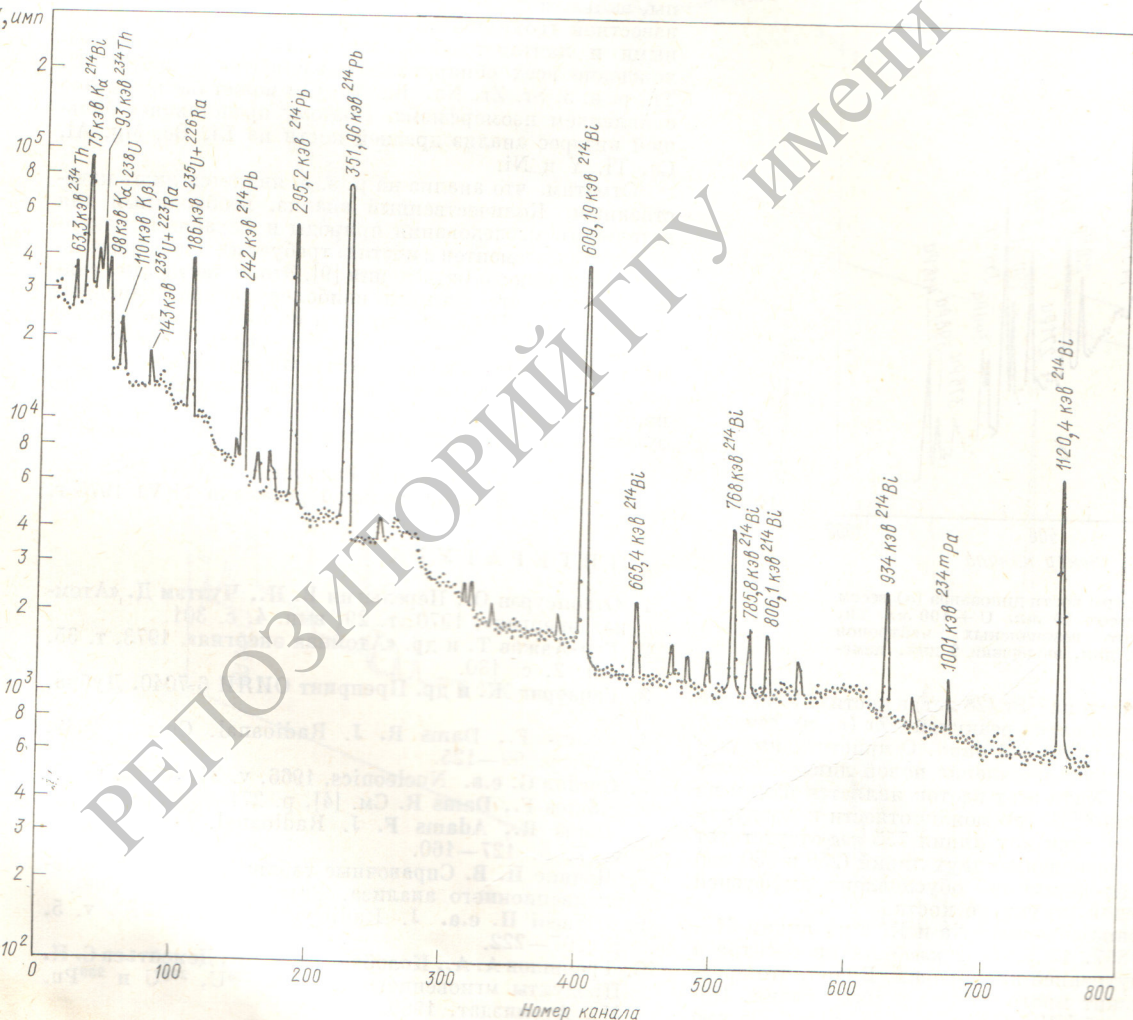


Рис. 1. Спектр γ -излучения образца урановой смолки.

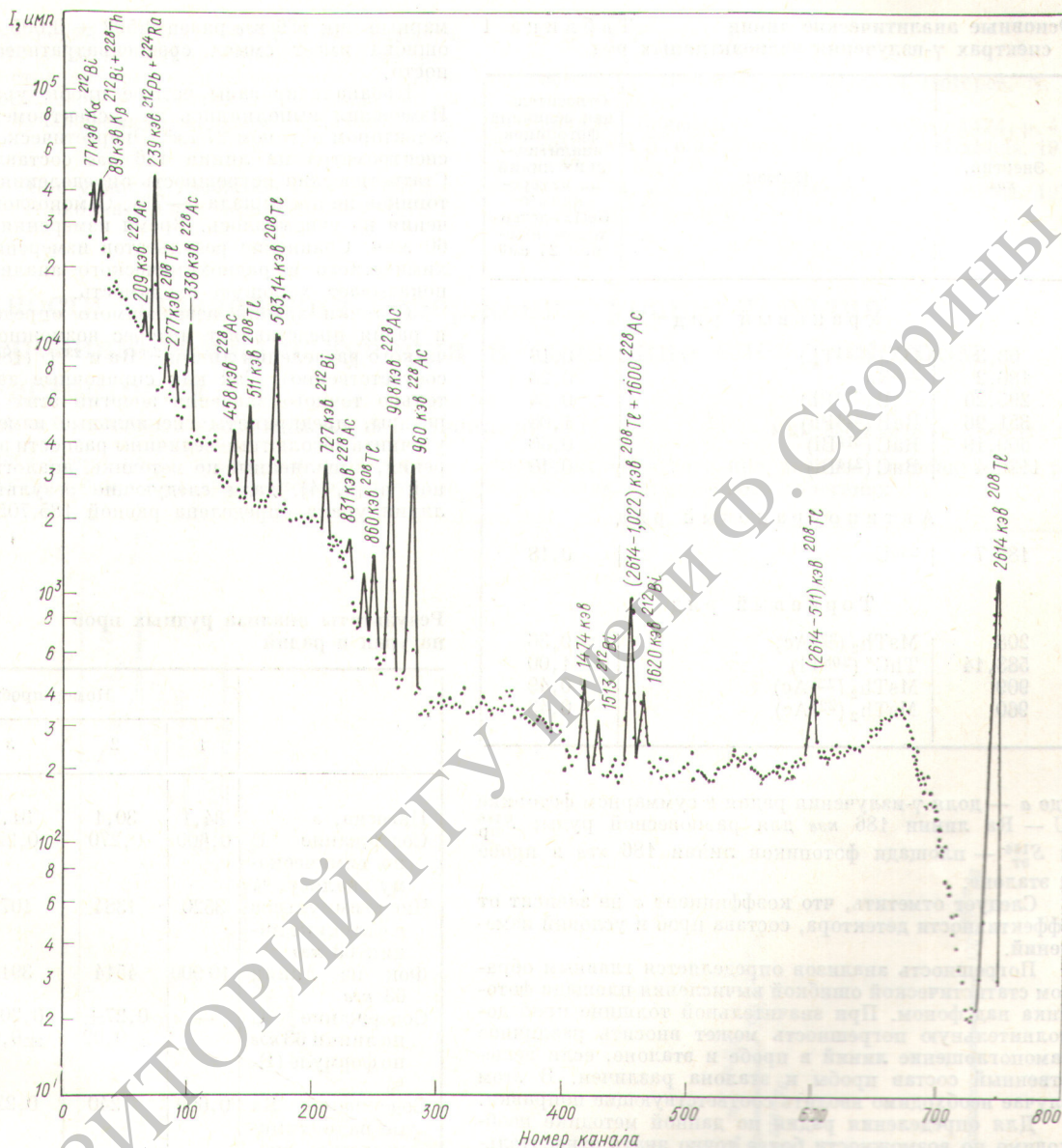


Рис. 2. Спектр γ -излучения образца урана в равновесии с продуктами распада.

руды. Для определения урана используется линия 63,3 кэВ изотопа ^{234}Th , которая практически является монолинией. При разрешении спектрометра 2 кэВ вклад в аппаратный пик от этой линии γ -излучения основного мешающего изотопа ^{231}Pa не превышает 1% [2].

Так как единственная линия γ -излучения ^{226}Ra 186,2 кэВ при обычном разрешении полупроводниковых спектрометров (2,5 кэВ в этой области) сливается с линией 185,7 кэВ излучения ^{235}U , содержание радия в пробе определяется после вычитания вклада урана, определенного по линии 63 кэВ, в суммарный аппаратный пик. При этом предполагается, что относительное содержание ^{238}U и ^{235}U в рудах практически не меняется.

Если условия измерения таковы, что поглощением γ -излучения данной энергии в пробе можно пренебречь, то площадь фотопика аналитической линии пропорцио-

нальна количеству γ -излучающего изотопа. В этом случае содержание урана в пробе вычисляется по формуле

$$q_{\text{U}}^{\text{пр}} = q_{\text{U}}^{\text{эт}} \frac{S_{\text{пр}}^{63}}{S_{\text{эт}}^{63}} \cdot \frac{P_{\text{эт}}}{P_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{U}}^{\text{пр}}$ и $q_{\text{U}}^{\text{эт}}$ — содержание урана в пробе и эталоне; $S_{\text{пр}}^{63}$ и $S_{\text{эт}}^{63}$ — площадь фотопиков линии 63 кэВ в пробе и эталоне; $P_{\text{пр}}$ и $P_{\text{эт}}$ — вес пробы и эталона.

Эталоном могут быть хорошо проанализированные пробы урановой руды. Содержание радия в единицах эквивалентного урана определяется по формуле

$$q_{\text{Ra}} = \frac{q_{\text{U}}^{\text{эт}} \frac{S_{\text{пр}}^{186}}{S_{\text{эт}}^{186}} \cdot \frac{P_{\text{эт}}}{P_{\text{пр}}} - q_{\text{U}}^{\text{пр}} (1-a)}{a}, \quad (2)$$

Основные аналитические линии в спектрах γ -излучения радиоактивных руд Таблица 1

Энергия, кэВ	Изотоп	Относительная величина фотопиков аналитических линий по измерениям с Ge(Li)-детектором объемом 27 см^3
Урановый ряд		
63,3	UX ₁ (²³⁴ Th)	0,16
186,2	²²⁶ Ra	0,26
295,20	RaB (²¹⁴ Pb)	0,64
351,96	RaB (²¹⁴ Pb)	1,00
609,19	RaC (²¹⁴ Bi)	0,60
1120,4	RaC (²¹⁴ Bi)	0,10
Актиноурановый ряд		
185,7	²³⁵ U	0,18
Ториевый ряд		
208	MsTh ₂ (²²⁸ Ac)	0,36
583,14	ThC' (²⁰⁸ Tl)	1,00
909	MsTh ₂ (²²⁸ Ac)	0,49
960	MsTh ₂ (²²⁸ Ac)	0,43

где a — доля γ -излучения радия в суммарном фотопике U — Ra линии 186 кэВ для равновесной руды; $S_{\text{пр}}^{186}$ и $S_{\text{эт}}^{186}$ — площади фотопиков линии 186 кэВ в пробе и эталоне.

Следует отметить, что коэффициент a не зависит от эффективности детектора, состава проб и условий измерений.

Погрешность анализов определяется главным образом статистической ошибкой вычисления площади фотопика над фоном. При значительной толщине проб дополнительную погрешность может вносить различное самопоглощение линий в пробе и эталоне, если вещественный состав пробы и эталона различен. В этом случае необходимо вводить соответствующие поправки.

Для определения радия по данной методике необходимо по возможности более точно знать относительный вклад урана и радия (E_{γ} равно 185,7 и 186,2 кэВ соответственно) в суммарный аппаратный пик [коэффициент a в формуле (2)].

Для определения величины вклада γ -излучения радия в суммарный пик предприняты специальные измерения. Приготовлены тонкие ($\sim 85 \text{ мг/см}^2$) герметизированные препараты равновесной урановой смолки и радия. После измерения спектров γ -излучения этих препаратов вычислялось отношение площадей пиков 186 кэВ , нормированных по одному из пиков, соответствующих линиям γ -излучения изотопов ²¹⁴Pb или ²¹⁴Bi. Вследствие некоторого самопоглощения γ -излучения в образцах при нормировке по разным линиям вклад γ -излучения радия в суммарный пик получился разным. Окончательное значение этой величины определено экстраполяцией величин, полученных с различными нормировочными пиками. Вклад радия в сум-

марный пик 186 кэВ равен $0,592 \pm 0,005$. Приведенная ошибка имеет смысл среднеквадратической погрешности.

Проанализированы четыре пробы урановой руды. Измерения выполнялись на γ -спектрометре с Ge(Li)-детектором объемом 27 см^3 . Энергетическое разрешение спектрометра на линии 186 кэВ составляло 2,2 кэВ . Статистическая погрешность определения площади фотопиков не превышала 6—7%. Самопоглощение γ -излучения не учитывалось. Время измерения одной пробы 60 мин. Сравнение результатов измерений с данными химического и радиохимического анализов (табл. 2) показывает хорошую сходимость.

С точки зрения независимого определения урана и радия представляет интерес возможность энергетического разделения линий ²²⁶Ra и ²³⁵U (186,2 и 185,7 кэВ соответственно). Так как справочные данные относительно точного значения энергий этих линий разноречивы, предприняты специальные измерения, чтобы уточнить абсолютные величины разности энергий. Измерения, выполненные по методике, аналогичной описанной в [3, 4], дали следующие результаты: энергия линии урана определена равной $185,705 \pm 0,015 \text{ кэВ}$;

Результаты анализа рудных проб на уран и радий Таблица 2

	Номер пробы *			
	1	2	3	4
Навеска, г	34,1	30,1	31,2	35,6
Содержание U по химическому анализу, %	0,609	0,270	0,220	0,396
Число импульсов в фотопике линии 63 кэВ	3520	1384	1073	2024
Фон на линии 63 кэВ	10 900	4514	3912	6742
Содержание U по линии 63 кэВ по формуле (1), %	—	$0,27 \pm \pm 0,02$	$0,20 \pm \pm 0,02$	$0,34 \pm \pm 0,03$
Содержание Ra по радиохимическому анализу, % равновесного U	0,609	0,240	0,220	0,376
Число импульсов в фотопике линии 186 кэВ	9260	3540	2947	5712
Фон на линии 186 кэВ	6020	2458	2240	3465
Содержание Ra по формуле (2), % равновесного U	—	$0,26 \pm \pm 0,02$	$0,22 \pm \pm 0,02$	$0,38 \pm \pm 0,03$

* Проба 1 принята за эталон.

энергия линии радия — $186,215 \pm 0,015$ кэв. Разность составляет 510 ± 20 эв. Таким образом, для их раздельной регистрации требуется спектрометр с разрешением около 500 эв, т. е. спектрометр на основе Ge(Li)-детекторов с охлаждаемым головным каскадом преусилителя.

Поступило в Редакцию 22/VIII 1972 г.
В окончательной редакции 29/V 1973 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lederer C., Hollander J. Tables of Isotopes, N. J., Wiley, 1967.
2. Lange R., Hagee G. Nucl. Phys., 1969, v. A124, p. 412.
3. Greenwood R. e.a. Nucl. Instrum. and Methods, 1970, v. 17, p. 141.
4. Helmer R. e.a. Nucl. Instrum. and Methods, 1971, v. 96, p. 173—196.

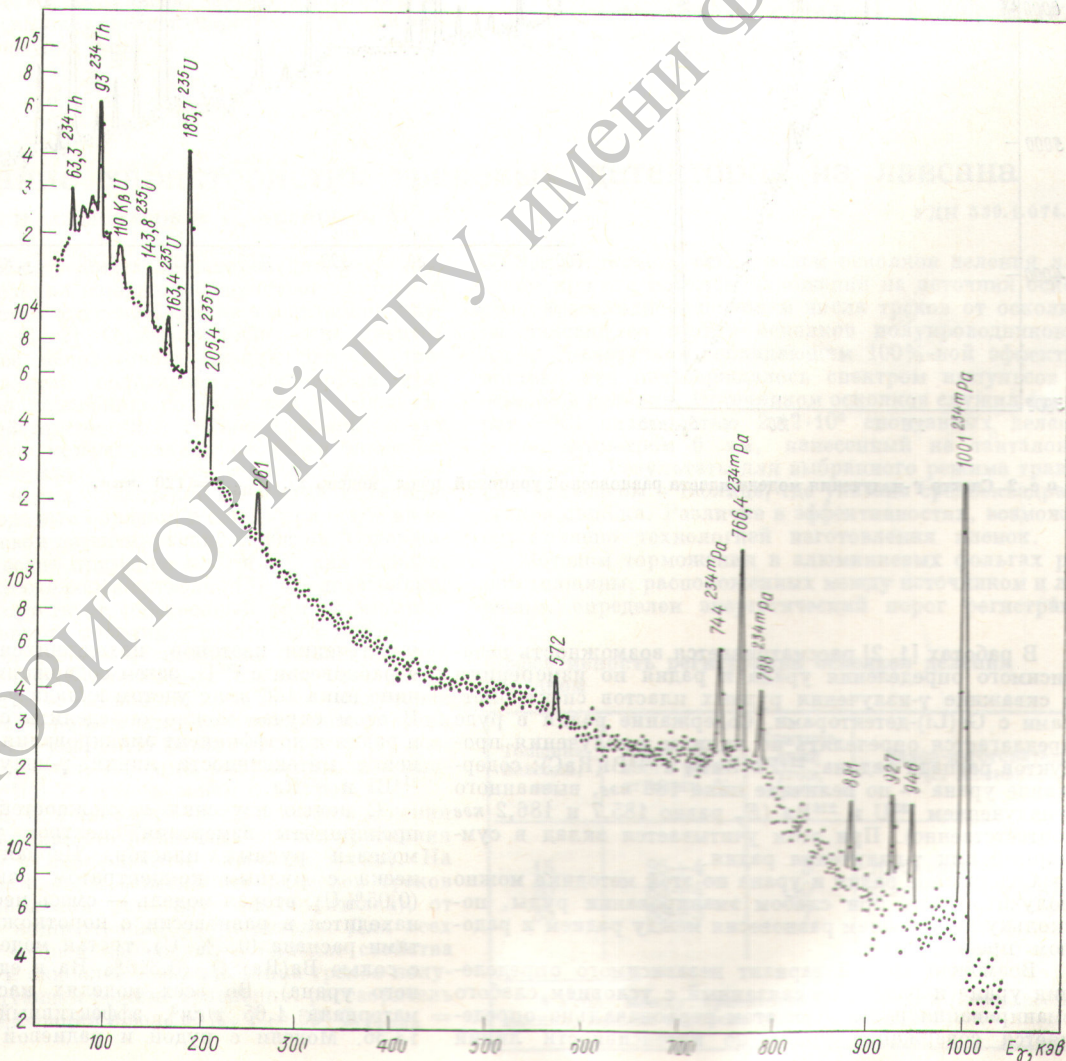
Возможности определения содержания урана и радия по измерениям гамма-излучения в скважине спектрометром с Ge(Li)-детектором

ГОРБАТЮК О. В., КАДИСОВ Е. М., МИЛЛЕР В. В., ТРОИЦКИЙ С. Г.

УДК 550.8 : 553.495 : 539.122.164

В настоящее время разрабатываются первые скважинные γ -спектрометры с Ge(Li)-детекторами, которые

можно использовать при анализе радиоактивных руд в условиях естественного залегания.



Р и с. 1. Спектр γ -излучения модели пласта урановой руды с выделенным радием (модель 2). $T_{\text{взм}} = 60$ мин.