Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1983, т.98

УДК 550.835

ГРАДУИРОВАНИЕ КАРОТАЖНЫХ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ МАЛЫХ РУДНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.В.ВЫШЕНКОВ, Г.Ф.НОВИКОВ

Градуирование полевых каротажных γ-спектрометров является важным, но слабо разработанным вопросом. Обычно оно производится в насыщенных по γ-излучению средах, моделирующих условия измерений в скважинах [4, 8].

Изготовление таких моделей связано с рядом трудностей и возможно лишь на стационарных полигонах. Вместе с тем, имеется необходимость периодического (иногда экстренного) выполнения градуирования γ-спектрометров непосредственно в полевых отрядах, что обусловлено выходом из строя ФЭУ и монокристаллов, заменами каротажного кабеля и другими причинами. Поэтому в полевой практике достаточно широко используются малые модели с массой от 10 до 100 кг. Имеются основания полагать, что малые модели станут обязательным звеном в схеме метрологического обеспечения скважинной гамма-спектрометрии [7].

Вследствие изложенного в СССР и за рубежом продолжаются исследования, направленные на разработку способов градуирования γ-спектральной аппаратуры и текущей поверки результатов градуировки с помощью портативных устройств [2, 5, 9].

К градуировочным образцам предъявляются следующие требования:

необходимость использования долгоживущих серийно изготовляемых ампульных γ-источников или природных радиоактивных руд;

идентичность спектров γ-излучения градуировочных образцов спектрам насыщенных излучающих сред;

простота конструкции и транспортировки.

Соблюдение этих требований является трудновыполнимой задачей. Так, например, отсутствие ампульных источников ^{208}Tl лишает возможности смоделировать спектр излучения Th для условий насыщения [5].

Частичным решением проблемы является использование малых рудных моделей, представляющих собой полые цилиндрические сосуды, заполненные природной рудой U, Th, K.

В этих моделях с высокой точностью находят эквивалентные содержания $q_{ji,м}$ элемента j в энергетическом окне i путем сравнения излучения малой „М" и насыщенной „Н" моделей:

$$q_{ji,м} = q_{j,н} \frac{N_{ji,м} - N_{i,фон}}{N_{ji,н} - N_{i,фон}}, \qquad (1)$$

где $$q_{j,н} = q_j + r_{ij_1} q_1 + r_{ij_2} q_2 , \quad (2)$$

$q_{j,н}$ – содержание основного элемента в насыщенной модели; q_1; q_2 – содержания в насыщенной модели сопутствующих радиоактивных элементов I и 2; r_{ij_1}; r_{ij_2} – эквиваленты основного элемента j относительно сопутствующих элементов I и 2 в i-ом энергетическом окне; $N_{ji,м}$; $N_{ji,н}$ – скорости счета импульсов в малой и насыщенной модели с толщиной внутренней цилиндрической стенки d и коэффициентом ослабления γ-излучения в ней μ.

При такой паспортизации малых моделей пересчетные коэффициенты a_{ji} в импульсах на секунду на I % элемента j [3] вычисляют по формуле:

$$a_{ji} = \frac{N_{ji,м} - N_{i,фон}}{q_{ji,м}} . \quad (3)$$

Наши исследования были направлены на выяснение погрешностей, обусловленных градуированием в малых моделях, имеющих место при использовании спектрометрического гамма-каротажа (СГК) для решения различных геологических задач [3, 6], и выбор оптимальных размеров моделей.

Поскольку γ-излучение калия регистрируется практически в одном рабочем окне, проблема насыщения спектра малой калиевой модели не имеет места. Вследствие этого изучены только малые модели U и Th.

Основной объем исследований проведен с ториевыми рудами, так как имитация насыщенного спектра $U(Ra)$ решена удовлетворительно [2, 5]. Диаметр моделей изменялся от I7 до 50 см, высота – от I7 до I00 см, объем – от 6 до I04 дм^3, масса – от I0 до I85 кг. Всего было приготовлено 6 урановых и 20 ториевых моделей.

Использовались руды с содержаниями U и Th около 0,I5 %, из которых ранее были изготовлены эталонные насыщенные модели, опробованные и проанализированные с высокой точностью.

Измерения γ-излучения выполнены модернизированной станцией АГС-3М (К) в энергетических окнах I,37-I,55; I,60-I,90; 2,05-2,65 МэВ с экспозицией 6-I2 мин сразу после засыпки предварительно деэманированной рудной массы в цилиндрические сосуды. Циклы наблюдения скоростей счета N в моделях разного диаметра повторялись 2-5 раз в разные дни. Статистическая погрешность измерений была не хуже I-2 %. Контрольными образцами служили герметически закрытые насыщенные модели с урановой и ториевой рудой.

Обработка полученных материалов с ториевыми моделями выполнена по двум параметрам: I) по отношению скоростей счета $K_0 = N_{3,м}/N_{3,н}$ в окне 2,05-2,65 МэВ для малых и насыщенных моделей и 2) по величине коэффициента $K_{нр}$ насыщения γ-спектра рассеянным излучением в рабочих окнах I и 2 (i) относительно окна 3. Значение этого коэффициента вычислялось по формуле

$$K_{нр,Th} = \frac{N_{i,м}/N_{i,н}}{N_{3,м}/N_{3,н}} . \quad (4)$$

Для урана нормирование проведено на отношение скоростей счета $N_{2,м}/N_{2,н}$.

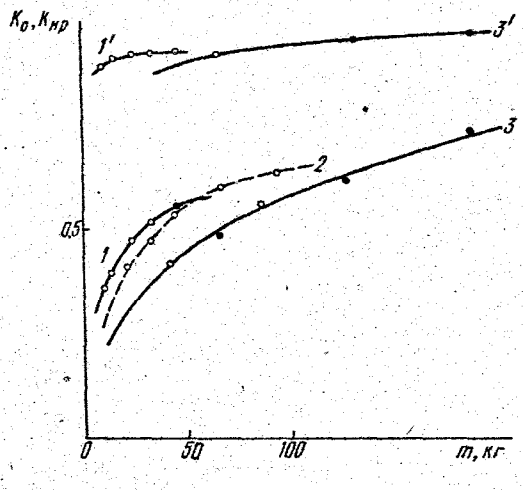


Рис.1. Графики нарастания коэффициентов K_0 (кривые 1-3) и $K_{нр}$ (кривые 1', 3') для малых ториевых моделей; 1, 2, 3 - высота моделей 20, 40, 80 см

Как видно из выражения (4), параметр $K_{нр}$ характеризует степень относительного различия спектров γ-излучения малых и насыщенных моделей в разных участках энергетической шкалы. Кроме того, для некоторых случаев изучено поведение коэффициента $K_{нр}$ при разных энергетических уровнях порогов дифференциальных каналов ДК спектрометра.

Зависимость K_0 и $K_{нр}$ от массы руды m при некоторых соотношениях высоты h и диаметра d моделей и от положения энергетических окон аппаратуры показана на рис.I и 2. Анализ этих и других полученных данных приводит к следующим выводам:

I. Параметр K_0, характеризующий эквивалентные содержания U или Th (см. выражение (I)) в малых моделях с диаметром 20-40 см резко возрастает с увеличением массы до 30-70 кг, после чего градиент роста K_0 становится незначительным. В удлиненных моделях (h = 80 см) насыщение излучения в зависимости от массы руды идет медленнее, чем в изометричных (см. кривую 3 на рис.I). Это позволяет рекомендовать модели с соотношением h/d около I,5 и диаметром 20-30 см.

2. Полное подобие γ-спектров малых и насыщенных моделей для указанных ранее рабочих окон γ-спектрометра не достигается даже при увеличении массы ториевой руды до 300-500 кг (табл.I).

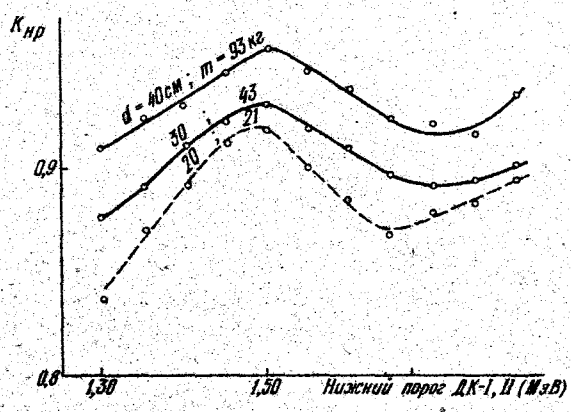


Рис.2. Зависимость коэффициентов $K_{нр}$ от положения нижнего энергетического порога рабочих каналов ДК-I и ДК-II (высота модели 40 см)

3. Коэффициенты насыщения $K_{нр}$ в энергетических интервалах ДК-I и ДК-II, попадающих в область комптоновского распределения, различаются между собой несущественно (I-2 %).

4. Величина $K_{нр}$ зависит от положения нижних порогов ДК-I и ДК-II (рис.2). Вследствие этого изменение нижнего порога более чем на 50 кэВ

Таблица 1

Средние значения коэффициентов насыщения $K_{нр}$ спектров малых моделей U и Th в рабочих каналах ДК-i γ-спектрометра (детектор $CsJ(Tl)$ 30 х 70 мм)

Масса модели, кг	Модель U			Модель Th		
	ДК-I	ДК-II	ДК-III	ДК-I	ДК-II	ДК-III
10	0,98	1,00	0,94	0,90	0,90	1,00
30	0,99	1,00	0,96	0,92	0,93	1,00
100	1,00	1,00	0,98	0,94	0,95	1,00
500	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00

должно сопровождаться внесением поправок в паспортные данные малых моделей.

В связи с тем, что значение $K_{нр}$ отлично от единицы и зависит от массы руды в модели, исследована величина систематической погрешности нахождения содержания U, Th, K для обычно принятой методики градуирования γ-спектрометров малыми моделями (см. выражение (3)), когда не учитывается различие эквивалентных содержаний основного элемента для разных энергетических окон.

Расчеты погрешностей определения содержаний элементов, обусловленных градуированием в малых моделях, экспериментальная проверка их и анализ полученных нами и ранее опубликованных [I, 4, 5] материалов показали следующее:

I. Главным фактором, определяющим величины рассматриваемых систематических погрешностей, является соотношение концентраций определяемых элементов и прежде всего торий-урановое отношение. Это и последующие положения иллюстрируются данными градуирования в малых моделях с массой около I0 кг, которые ранее выпускались серийно, и в моделях с массой около I00 кг, являющейся, вероятно, предельной для переносных стандартных рабочих образцов (табл.2).

2. При близкларковых содержаниях элементов систематические погрешности определения урана в несколько раз превышают погрешности определения тория и являются недопустимыми (превышают I0 %) при торий-урановом отношении более 3-5 даже при использовании моделей с массой I00 кг (табл.2).

3. Погрешности определения калия, обусловленные систематическими погрешностями определения урановых и ториевых спектральных пересчетных коэффициентов, являются значительными, но имеют противоположные знаки (табл.2). Вследствие этого ошибки определения калия сильно возрастают лишь при увеличении содержаний одного из радиоактивных элементов (урана или тория).

Градуирование с помощью малых моделей приводит к погрешностям при настройке аналоговых блоков записи содержаний элементов. При работе с по-

Таблица 2

Погрешности δ_{q_i} определения содержаний U, Th и K в породах среднего состава[x] с аномалиями урана и тория разной амплитуды, обусловленные градуированием в малых моделях

Определяемый элемент	Амплитуда аномалий Th, 10^{-4} %	Амплитуда аномалий U, 10^{-4} %							
		0		20		50		100	
		m = 10 кг	m = 100 кг	m = 10 кг	m = 100 кг	m = 10 кг	m = 100 кг	m = 10 кг	m = 100 кг
U	-	+35	+8,2	+11,2	0	+0,5	0	-0,8	0
Th	0	-3,0	0	+4,5	+4,3	+11,5	+13,5	+33	+26
K		-1,8	-0,5	+3,5	+1,8	+11,3	+4,5	+27	+1,3
U		+139	+33	+23	+5,2	-	-	-	-
Th	20	-4,0	0	-2,5	-0,5	-	-	-	-
K		-7,5	-1,0	-1,9	+1,5	-	-	-	-
U		+295	+69	-	-	+9,5	+2,1	-	-
Th	50	-3,0	-0,2	-	-	-1,8	-1,2	-	-
K		-17,5	-1,4	-	-	-2,0	+4,4	-	-
U		+545	+139	-	-	-	-	-0,8	+1,6
Th	100	-3,0	-0,3	-	-	-	-	-1,4	-2,2
K		-30	-1,7	-	-	-	-	-4,5	+8,2

[x] Фоновые содержания U, Th и K в породе составляют соответственно $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ %; $7 \cdot 10^{-4}$ % и 2,3 %.

Таблица 3

Истинные и эквивалентные содержания элементов в стандартных малых моделях Th (d = 250 мм, h = 170 мм, m = 10 кг)

Сопоставляемые параметры	K, %	U, %	Th, %
Истинное содержание элементов в руде модели	4,5	0,0057	0,154
Эквивалентные содержания элементов, рассчитанные с помощью коэффициента перехода k_0 = 0,46 от реальной геометрии измерений к насыщенной модели, для ДК-III	2,1	0,0026	0,0718
Измеренные эквивалентные содержания (по пересчетным коэффициентам насыщенных моделей)	3,0	(-) 0,0008	0,0727

левыми γ-спектрометрами малые рудные модели обычно рассматриваются как монозлементные.

Вследствие этого по нашим данным возникают систематические погрешности определений содержаний U и Th соответственно со знаками „–" и „+" (табл.3), что может привести к неправильным заключениям о радиогеохимическом типе аномалий. Это имело место и в нашей практике, когда на одном из месторождений в урановых рудах с фоновыми содержаниями Th по результатам СГК были получены содержания Th до 0,03 %.

Приведенные материалы показывают, что практические возможности использования малых моделей с массой 10–30 кг без строгого количественного учета ненасыщенности их спектров, крайне ограничены. Это допустимо лишь при определениях преобладающего (аномального) элемента.

Дифференцированное определение эквивалентных содержаний U и Th в каждом энергетическом окне (см. выражения (1) и (2)) необходимо при массе моделей рудных тел до 50 кг и до 150–200 кг соответственно для урановых и ториевых моделей.

Поскольку строгий количественный учет ненасыщенности γ-спектров малых рудных моделей при градуировании достаточно сложен, для количественных определений содержаний K, U и Th целесообразно производить градуирование в насыщенных моделях, а малые модели использовать в основном как контрольные для оценки сохранности спектрометрических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балясный Н.Д., Фридман Ш.Д. Влияние погрешностей эталонирования на точность количественного радиоизотопного анализа. – В кн.: Геофизическая аппаратура. Л., Недра, 1971. Вып. 45.

2. Ветров А.Г. К вопросу об эталонировании пешеходных гамма-радиометров. – В кн.: Вопросы рудной геофизики. М., Госгеолтехиздат, 1961. Вып. 3.

3. Вышенков В.В. Опыт применения гамма-спектрометрии при поисках погребенных месторождений урана. – В кн.: Методы рудной геофизики. Л., Недра, 1972. Вып. 10.

4. Методическое руководство по пешеходной, автомобильной и скважинной гамма-спектральной съемкам. М., Мингео СССР, 1975.

5. Новиков Г.Ф., Синицын А.Я., Габитов Р.М. Способы определения и контроля пересчетных коэффициентов каротажного гамма-спектрометра. – В кн.: Геофизическая аппаратура. Л., Недра, 1978. Вып. 63.

6. Основы метрологического обеспечения геофизических измерений в скважинах методами радиоактивного каротажа / Я.Н.Басин, А.И.Блюменцев, Ю.А.Гулин, Е.Н.Юрятин, В.И.Фоминых. – В кн.: Ядерная геофизика при подсчете запасов нефти и газа. М., 1979.

7. Синицын А.Я., Новиков Г.Ф. Состояние и перспективы развития сцинтилляционного гамма-спектрального каротажа. – Зап. ЛГИ. 1978. Т. 76.

8. Radiometric reporting methods and Calibration in uranium exploration. IAEA, Technical report series, N 174, Vienna, 1976, 56 p.

9. Wormald M.R., Clayton C.G. IAEA, Exploration for uranium ore deposits, Vienna, 1976, p. 149–154.