

В заключение авторы выражают благодарность М. С. Антипову и Г. Н. Васендо за помощь при изготовлении каскада.

Поступило в Редакцию 25/XII 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Семиохин и др. «Ж. физ. хим.», 1, 124 (1962).
2. I. Huffmann, H. Urey. Industr. Engng. Chem., 29, 531 (1937).
3. S. Wells. Phys. Rev., 59, 679, 920 (1941).
4. K. Clusius, G. Dickel, E. Becker. Naturwissenschaften, 31, 210 (1943).
5. K. Clusius, G. Dickel. Z. Phys. Chem., 193, 274 (1944).
6. S. Wells. Phys. Rev., 69, 586 (1946).

7. I. Lauder. Trans. Faraday Soc., 43, 620 (1947).
8. E. Whalley, E. Winter, H. Briscoe. Trans. Faraday Soc., 45, 1085 (1949).
9. J. Dostrowsky, D. Llevellin, B. Vromen. J. Chem. Soc., 9, 3509 (1952).
10. J. Dostrowsky et al. J. Chem. Soc., 9, 3517 (1952).
11. О. В. Уваров, В. А. Сокольский, Н. М. Жаворонков. «Хим. пром-сть», 7, 20 (1956).
12. W. Kuhn. Chem.-Ingner-Techn., 29, No. 1, 6 (1957).
13. J. Dostrowsky, A. Raviv. Proceeding of the Symposium on Isotope Separation. Amsterdam, 1957. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1958.
14. M. Thürkau, A. Narten, W. Kuhn. Helv. chem. acta, 43, 989 (1960).

550.35.553.495

Спектры γ -излучения радиоактивных руд в естественном залегании, полученные с помощью пропорциональных счетчиков

Б. М. Колесов, Ю. П. Любавин, А. К. Овчинников

В работах [1—5] приведены результаты измерений сцинтилляционных спектров γ -излучения радиоактивных руд в естественном залегании. В связи с тем что энергетическое разрешение сцинтилляционных счетчиков к γ -квантам с энергией меньше 100 кэв обычно не превосходит 30—100%, представляет интерес изучить мягкую часть спектра при помощи γ -спектрометра с пропорциональным счетчиком, обладающим значительно лучшим энергетическим разрешением в этой области энергий [6, 7].

Измерения мягкой части спектра γ -излучения радиоактивных руд проводились на одноканальном спектрометре. В качестве детектора γ -излучения применялся пропорциональный счетчик длиной 200 и диаметром 34 мм, наполненный ксеноном под давлением 2 атм. Катод счетчика представлял собой стальной цилиндр с толщиной стенки 1 мм. Собирающим электродом служила вольфрамовая нить диаметром 0,1 мм. Счетчик экранировался алюминиевым фильтром толщиной 530 мг/см². Энергетическое разрешение спектрометра к γ -квантам с энергией 32 кэв составляло 12% при расположении источника с торцевой стороны счетчика и 28% при расположении источника сбоку. Ухудшение разрешения во втором случае, по-видимому, объясняется значительным влиянием стеночного эффекта из-за малого диаметра счетчика.

Изучение спектров γ -излучения радиоактивных руд проводилось на моделях рудных тел большого объема, воспроизводящих условия естественного залегания. Модели рудных тел представляли собой герметичные железные баки диаметром 430 и высотой 330 мм, наполненные смесью кварц-полевошпатового песка с соответствующими радиоактивными элементами, концентрация которых в каждой модели составляла 0,1% в единицах равновесного урана. Вес рудного материала в модели был равен 80 кг. В центральной части баков были установлены коаксиальные железные трубы

диаметром 100 мм, имитирующие скважины. Толщина стенок труб 0,35 мм. Измерения спектров γ -излуче-

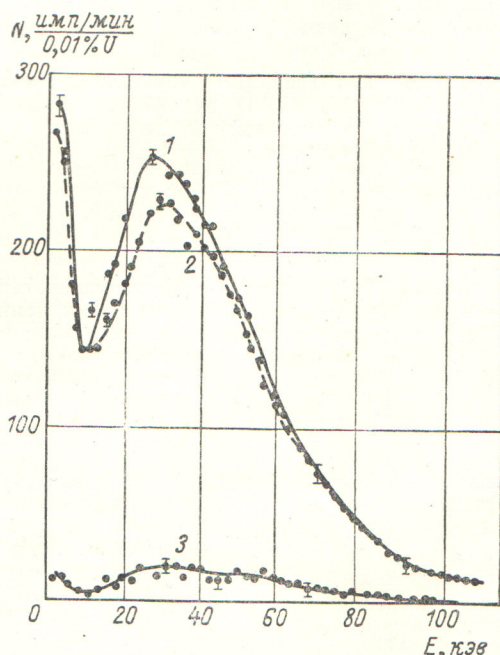


Рис. 1. Аппаратурные спектры γ -излучения руды с $Z_{эфф} = 13$:

1 — равновесной урановой руды; 2 — радиевой руды; 3 — руды, содержащей природную смесь изотопов урана с их короткоживущими продуктами распада.

ния проводились в центре моделей рудных тел. Геометрические размеры моделей и количество руды в них для этих условий измерений достаточны для изучения формы спектра бесконечного пласта в области энергий до 120 кэв [8]. Для учета влияния γ -излучения песчаной основы руд использовалась аналогичная по размерам модель, приготовленная из кварц-полевошпатового песка без примеси радиоактивных элементов.

На рис. 1 приведены спектры γ -излучения радиоактивных руд с элементами уран-радиевого ряда. Из анализа этих данных видно, что аппаратный спектр γ -излучения урановых руд в условиях естественного залегания в области энергий меньше 100 кэв по существу представляет собой непрерывное распределение с одним размытым максимумом в пределах 25—30 кэв. Образование этого непрерывного спектра обусловлено процессами многократного рассеяния γ -квантов в руде или породе [9]. Аналогичные измерения при помощи сцинтилляционных счетчиков показали, что для руд такого же вещественного состава в аппаратном спектре [1—5] размытый максимум наблюдается в области энергий 80—100 кэв. Это отличие можно объяснить особенностями спектральных характеристик сцинтилляционного и пропорционального счетчиков. Известно, что эффективность сцинтилляционного счетчика с кристаллом 30×10 мм в области энергий до 100—120 кэв близка к 100%, а для пропорционального счетчика указанной конструкции область 100%-ной эффективности не превышает 20—30 кэв. С дальнейшим ростом энергии γ -излучения эффективность регистрации резко уменьшается и для γ -квантов с энергией 100 кэв ее величина составляет лишь несколько процентов [6, 7]. Поэтому максимум в спектрах, приведенных на рис. 1, смещается в область энергий ~ 25 —30 кэв. Резкий подъем спектра в интервале энергий до 10 кэв, по-видимому, может быть объяснен влиянием стеночного эффекта и рассеянием γ -излучения на стальном катоде счетчика.

Результаты измерений спектров γ -излучения рудных моделей и модели, содержащей только природную смесь изотопов урана, позволили определить область энергий, в которой относительная доля γ -излучения, обусловленная ураном и продуктами его распада до иония (Th^{230}) и протактиния (Pa^{231}), в суммарном γ -излучении равновесной урановой руды имеет максимальную величину (табл. 1). Учитывая, что вес руды (80 кг), для которого получены данные, приведенные в табл. 1, ее обеспечивает насыщение по интенсивности γ -излуче-

ния продуктов распада радия в центре модели рудного тела [8], следует полагать, что для насыщенных объемов руд (вес 2,5 т) эти данные должны быть уменьшены на 30—40%. Для руд другого вещественного

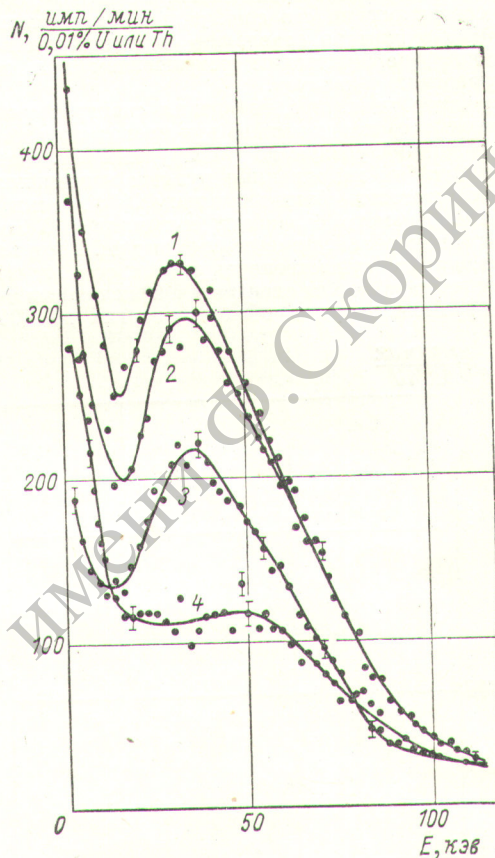


Рис. 2. Аппаратурные спектры γ -излучения моделей равновесной урановой руды различного вещественного состава с $Z_{\text{эфф}}$, равным 15, 27 и 17 (соответственно графики 1, 2, 4), и торфяной руды с $Z_{\text{эфф}}$, равным 15 (график 3).

Таблица 1

Относительная доля γ -излучения изотопов урана и их короткоживущих продуктов распада (Th^{231} , Th^{234} , Pa^{234}) в суммарном излучении равновесной урановой руды

Способ измерения	Пропорциональный Хе-счетчик		Сцинтилляционный NaJ-счетчик	
	энергетический интервал, кэв	%	энергетический интервал, кэв	%
Интегральный . .	>3,5	7,7	>20	4,7
Дифференциальный	60—100	12,9	80—120	7,1

Таблица 2

Относительные величины интенсивности γ -излучения равновесных урановых руд различного состава

$Z_{\text{эфф}}$	Пропорциональный Хе-счетчик	Сцинтилляционный NaJ-счетчик	
	интегральная интенсивность при пороге 3,5 кэв	интегральная интенсивность при пороге ≥ 20 кэв	дифференциальная интенсивность в диапазоне 20—250 кэв
15	100	100	100
17	83	97	95
27	48	84	60

состава (с другим значением $Z_{эфф}$ [10]) величина интенсивности γ -излучения изотопов урана может заметно отличаться от данных табл. 1. Увеличение относительной доли γ -излучения изотопов урана при измерениях с пропорциональным счетчиком обусловлено особенностями его спектральной характеристики и более высоким по сравнению со сцинтилляционным счетчиком энергетическим разрешением при небольших энергиях γ -квантов.

Изучение характера изменения спектров γ -излучения от вещественного состава руд проводилось на насыщенных по γ -излучению моделях рудных тел. Они представляли собой наполненные рудным материалом герметичные железные баки диаметром 1100 мм и высотой 1000 мм. Диаметр скважины составлял 100 мм. Результаты измерений, приведенные на рис. 2 и в табл. 2, указывают на существенную зависимость от вещественного состава формы спектра и интенсивности γ -излучения урановых руд в области энергий до 100 кэВ.

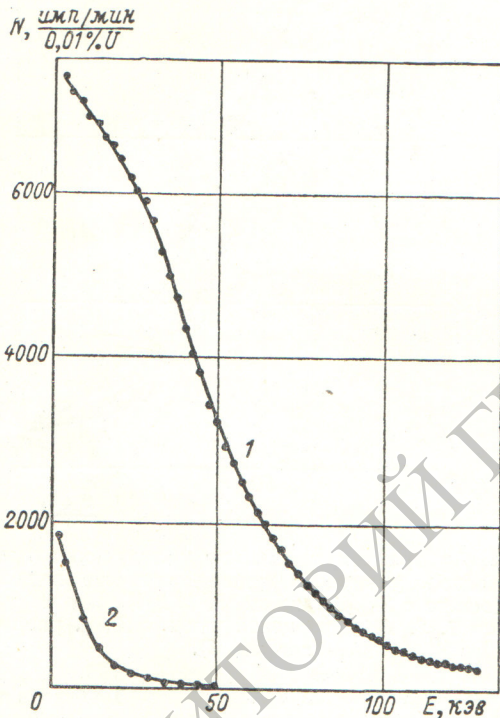


Рис. 3. Влияние свинцового экрана на интегральный спектр γ -излучения равновесной урановой руды в модели большого объема:

1 — с алюминиевым фильтром толщиной 530 мг/см²; 2 — то же, с дополнительным свинцовым фильтром толщиной 1230 мг/см².

Из полученных данных следует, что аппаратура с пропорциональным счетчиком обладает значительно большей чувствительностью к изменению $Z_{эфф}$ руд, чем сцинтилляционные счетчики. Таким образом, пропорциональные счетчики могут найти полезное применение при изучении вещественного состава руд и горных пород методами γ -каротажа и селективного γ -каротажа скважин.

Анализ аппаратурных спектров γ -излучения урановой и ториевой руд с примерно одинаковыми $Z_{эфф}$

показывает (см. рис. 2), что существенной разницы в энергетическом составе излучения в области энергий до 100 кэВ не отмечается.

Избирательная чувствительность пропорциональных счетчиков к γ -излучению весьма малых энергий позволит создать на его основе γ -радиометр направленного приема. Направленность приема в этом типе радиометра обеспечивается путем экранирования счетчика щелевым свинцовым фильтром и выбором начального порога регистрации γ -квантов. На рис. 3 приведены кривые интегральных спектров γ -излучения равновесной урановой руды в центре модели насыщенного по интенсивности γ -излучения рудного тела, построенные по данным измерений с пропорциональным счетчиком. Из графиков видно, что отношение скоростей счета импульсов при измерениях с экраном и без него уменьшается в зависимости от начального порога регистрации от 5 (порог 5 кэВ) до 200 (порог 45 кэВ) и более раз. Такое поглощение γ -излучения в свинцовом экране объясняется особенностями спектральной эффективности пропорционального счетчика. Для сравнения отметим, что экранирование сцинтилляционного счетчика с кристаллом NaJ свинцовым фильтром толщиной 1—5 мм (при любом начальном пороге регистрации) уменьшает скорость счета импульсов не более чем в три — семь раз.

Таким образом, применение пропорциональных счетчиков с щелевым экраном позволяет получить высокую направленность измерения γ -излучения в сочетании с высокой эффективностью, которая для телесного угла 2л составляет 1000—3000 имп/мин на 0,01% равновесного урана (порог 60—25 кэВ). Радиометр направленного приема такого типа регистрирует не только мягкое γ -излучение из приповерхностного слоя руды, но и мягкое рассеянное γ -излучение, обусловленное многократным взаимодействием жестких γ -квантов с атомами среды [9]. Вследствие этого представительность результатов резко возрастает. Следует подчеркнуть, что рассмотренный тип радиометра может быть использован для изучения распределения интенсивности γ -излучения только при незначительном γ -излучении окружающих предметов. Такое ограничение объясняется тем, что радиометр будет регистрировать обратно рассеянные от опробуемой поверхности γ -кванты, а это приведет к искажению результатов измерений.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что пропорциональные счетчики, которые до сих пор использовались главным образом в ядерной физике, могут найти применение в геологоразведочных работах.

Поступило в Редакцию 19/V 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Граммаков и др. В сб.: «Вопросы разведочной геофизики». Вып. 1. Л., Гостехиздат, 1962, стр. 3.
2. А. Г. Граммаков и др. «Атомная энергия», 10, вып. 6, 624 (1961).
3. Ю. П. Любавин, А. М. Сазонов. В сб.: «Вопросы разведочной геофизики». Вып. 1. Л., Гостехиздат, 1962, стр. 85.
4. Ю. П. Любавин, А. К. Овчинников. В сб.: «Вопросы рудной геофизики». Вып. 3. М., Гостехиздат, 1961, стр. 87.
5. С. Г. Троицкий, В. Л. Шашкин, К. Н. Быкова. «Атомная энергия», 12, вып. 1, 67 (1962).

6. Б. И. Хазанов. Сб.: «Аппаратура для ядерной спектromетрии». Вып. 1. М., Атомиздат, 1960, стр. 41.
7. Бета- и гамма-спектроскопия. Сб. под ред. К. Зигбана. М., Физматгиз, 1959.
8. А. Г. Граммаков и др. «Атомная энергия», 11, вып. 1, 69 (1961).
9. Г. И. Воскобойников. Интенсивность γ -излучения в однородной излучающей среде. «Геофизич. сборник» № 2. Свердловск, Изд-во Уральского филиала АН СССР, 1957, стр. 62.
10. И. В. Поройков. Рентгенометрия. М. — Л., Гостехиздат, 1950.

550.35.553.495

Гамма-излучение элементов уранового и ториевого рядов в области низких энергий

Б. И. Хазанов

Спектromетрия γ -излучения все шире используется в радиометрическом анализе естественных радиоактивных элементов.

До последнего времени измерения спектров γ -излучения проводились в области относительно жестких энергий, превышающих 200 кэв, хотя γ -излучение в этой области обязано не урану и торью, а элементам, находящимся в середине или конце соответствующих рядов распада. Создание спектromетрической аппаратуры для измерения мягкого γ -излучения (и рентгеновского излучения) позволило провести аналогичное измерение в области энергий 5—200 кэв, где наиболее существенным должен быть вклад именно от элементов, находящихся в начале естественных радиоактивных рядов.

Для измерений использовались сцинтилляционный спектromетр, обеспечивающий регистрацию энергий в областях до 120 и 300 кэв, и спектromетр с боковым пропорциональным счетчиком, регистрирующий излучение в области 5—40 кэв.

Спектры регистрировались на многоканальном анализаторе АИ-50. В сцинтилляционном спектromетре использовался фотоумножитель типа ФЭУ-13 с кристаллом иодистого натрия размером 30×20 мм. Детектор

и измеряемые препараты размещались в свинцовой защите толщиной 25 мм с кадмиево-медным покрытием внутренних стенок, ослабляющим характеристическое излучение свинца. Разрешение спектromетра на линии Cs^{137} ($E = 660$ кэв) составляло 9%.

В мягкоэнергетическом спектromетре использовался пропорциональный счетчик диаметром 48 мм, наполненный ксеноном с примесью 10% изопентана под давлением 760 мм рт. ст. Толщина бокового слюдяного окна 12 мк, площадь 3 см². Между счетчиком и амплитудным анализатором был включен низкочастотный усилитель с коэффициентом усиления 2000. Разрешение спектromетра составляло 20% при энергии 15 кэв.

Помимо спектров ториевой и урановой равновесных руд были сняты спектры отдельных элементов, выделенных радиохимическим путем из указанных руд. Все препараты имели близкий вес (0,2—0,3 г) и разме-

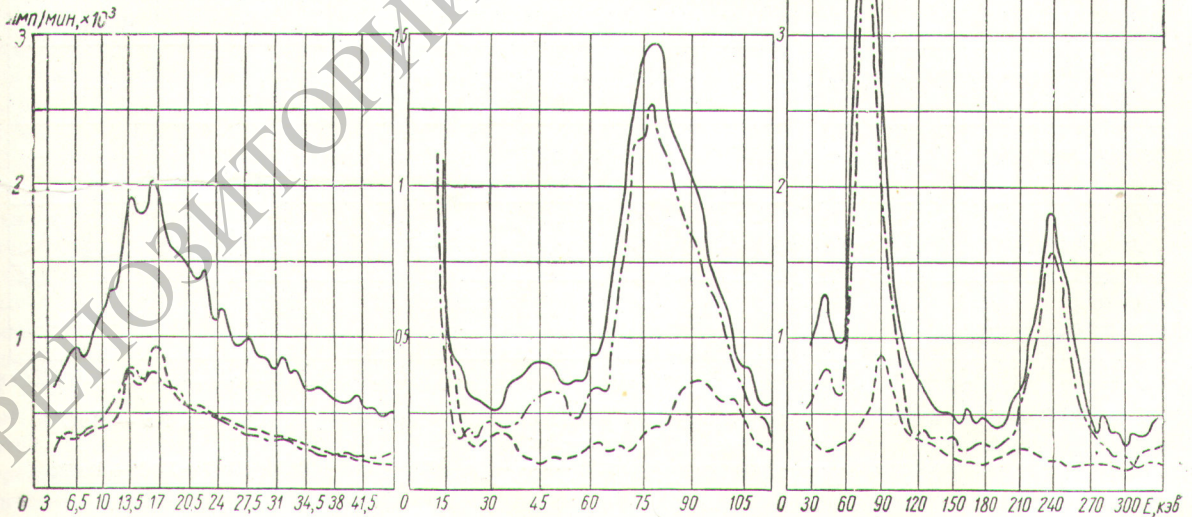


Рис. 1. Спектры γ -излучения препаратов ториевого ряда:

— равновесный торий; - - - - Th + RдTh + ThX + Th + ThA + ThB + ThC + ThC' + ThC"; - - - - MsTh₁ + MsTh₂.