

6. Б. И. Хазанов. Сб.: «Аппаратура для ядерной спектрометрии». Вып. 1. М., Атомиздат, 1960, стр. 41.
7. Бета- и гамма-спектроскопия. Сб. под ред. К. Зигбана. М., Физматгиз, 1959.
8. А. Г. Грамаков и др. «Атомная энергия», 11, вып. 1, 69 (1961).

9. Г. И. Воскобойников. Интенсивность  $\gamma$ -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

Спектрометрия  $\gamma$ -излучения все шире используется в радиометрическом анализе естественных радиоактивных элементов.

До последнего времени измерения спектров  $\gamma$ -излучения проводились в области относительно жестких энергий, превышающих 200 кэв, хотя  $\gamma$ -излучение в этой области обязано не урану и тории, а элементам, находящимся в середине или конце соответствующих рядов распада. Создание спектрометрической аппаратуры для измерения мягкого  $\gamma$ -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 спектрометр, обеспечивающий регистрацию энергий в областях до 120 и 300 кэв, и спектрометр с боковым пропорциональным счетчиком, регистрирующий излучение в области 5—40 кэв.

Спектры регистрировались на многоканальном анализаторе АИ-50. В сцинтилляционном спектрометре 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 спектрометра на линии  $\text{Cs}^{137}$  ( $E = 660$  кэв) составляло 9%.

В мягкоэнергетическом спектрометре использовался пропорциональный счетчик диаметром 48 мм, наполненный ксеноном с примесью 10% изопентана под давлением 760 мм рт.ст. Толщина бокового слюдяного окна 12 мм, площадь 3 см<sup>2</sup>. Между счетчиком и амплитудным анализатором был включен низкошумящий усилитель с коэффициентом усиления 2000. Разрешение спектрометра 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-

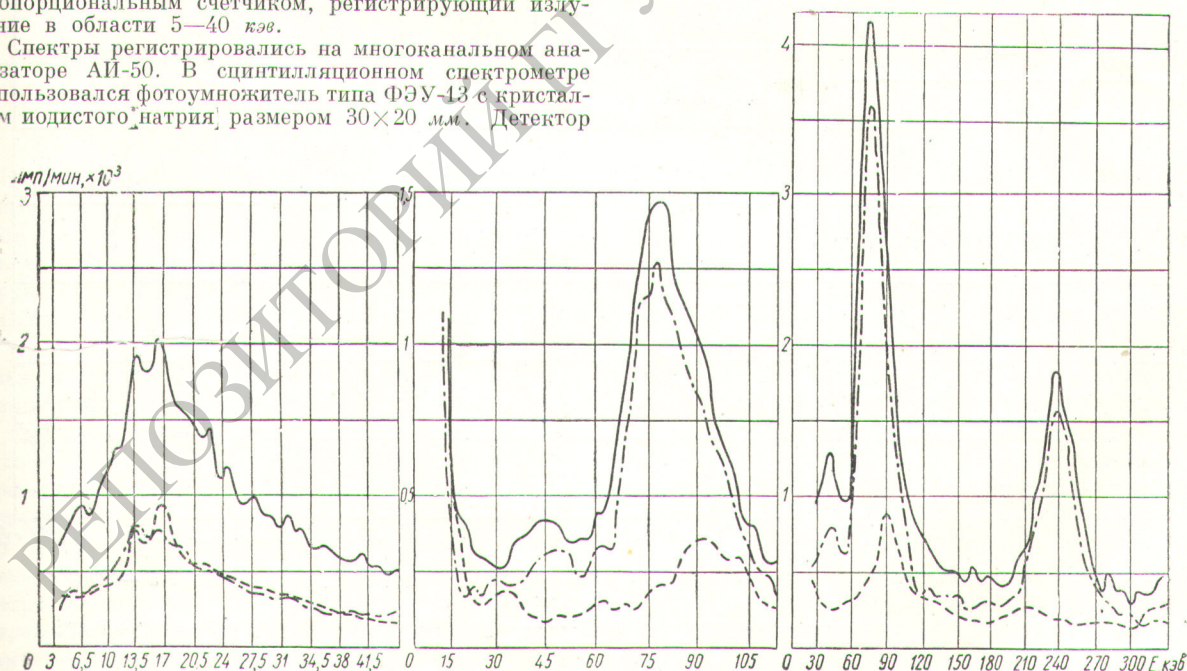


Рис. 1. Спектры  $\gamma$ -излучения препаратов ториевого ряда:

— — — равновесный торий; - - - - -  $\text{Th} + \text{RdTh} + \text{ThX} + \text{Tn} + \text{ThA} + \text{ThB} + \text{ThC} + \text{ThC}' + \text{ThC}''$ ; - - - - -  $\text{MsTh}_1 + \text{MsTh}_2$ .



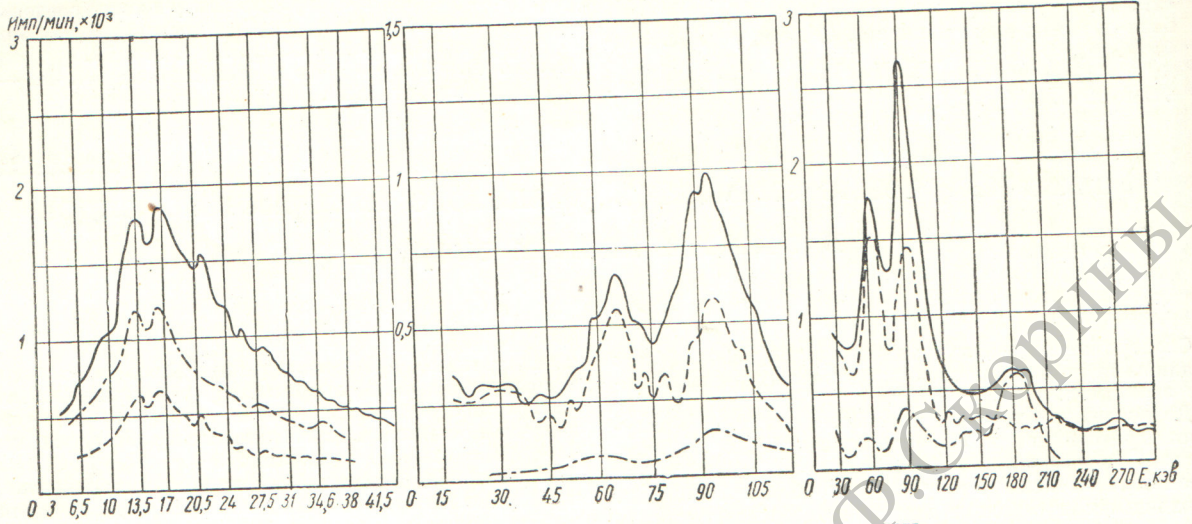


Рис. 2. Спектры  $\gamma$ -излучения препаратов урана и  $UX_1$ :  
 —  $U + UX_1 + UX_2$ ; ---  $UX_1 + UX_2$ ; - · - · -  $U^{238} + U^{235} + U^{234} (+ UY)$ .

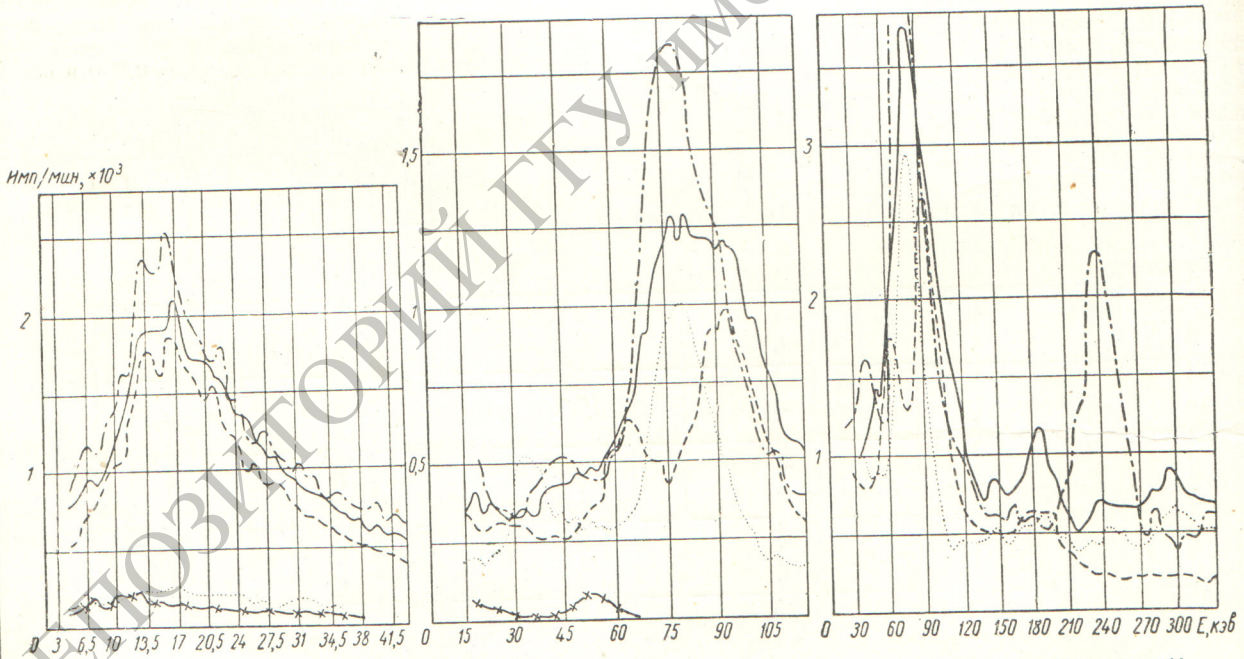


Рис. 3. Сравнительные спектры  $\gamma$ -излучения равновесных препаратов урана, тория, Ra —  $RaC''$  и  $RaD-Po$ :  
 — равновесный уран; --- равновесный торий; ···· —  $Ra + Rn + RaA + RaB + RaC + RaC' + RaC''$ ;  
 - · - · -  $U + UX_1 + UX_2$ ; - × - × —  $RaD + RaE + Po$ .



щались в тонкостенных держателях площадью около  $1 \text{ см}^2$ , занимая при измерениях одинаковое положение по отношению к детектору. Гамма-излучение препаратов, содержащих короткоживущие изотопы, определялось сразу после получения препаратов. В ряде случаев спектры  $\gamma$ -излучения измерялись повторно по мере распада одного из элементов. Результаты измерений приведены к 1 г равновесного урана или тория.

На рис. 1 представлены спектры элементов ториевого ряда. Кроме спектра  $\gamma$ -излучения ториевой равновесной руды, были измерены спектры радиохимически чистых препаратов тория ( $\text{Th} + \text{RdTh}$ ) и радия ( $\text{MsTh}_1 + \text{ThX}$ ). Через 10–15 дней первый из препаратов содержал все элементы ториевого ряда, кроме  $\text{MsTh}_1 + \text{MsTh}_2$ , а второй — только  $\text{MsTh}_1 + \text{MsTh}_2$ . В спектре равновесного тория выделяются две интенсивные линии в области 80 и 240 кэв, определяемые  $\text{ThB}$  (квантами  $E_\gamma = 238 \text{ кэв}$  и квантами внутренней конверсии  $E_K = 75 \text{ кэв}$ ). Доля излучения от  $\text{MsTh}_1 + \text{MsTh}_2$  в общем спектре равновесного тория сравнительно невелика. В спектре  $\gamma$ -излучения  $\text{MsTh}_1 + \text{MsTh}_2$  заметно достаточно интенсивное характеристическое излучение радия ( $E_K = 88,4 \text{ кэв}$ ).

При рассмотрении спектра в области 10–20 кэв отчетливо видны достаточно интенсивные линии, соответствующие  $L_{\alpha_1}$ -,  $L_{\beta_1}$ - и  $L_\gamma$ -характеристическим излучениям ( $E = 10,5 \div 13 \text{ кэв}$ ,  $E = 13 \div 16 \text{ кэв}$  и  $E = 20 \div 23 \text{ кэв}$ ). Приблизительно одинаковый вклад вносят группы  $\text{MsTh}$  и  $\text{Th} + \text{RdTh}$  с продуктами распада. Интенсивное излучение в мягкой области спектра, представляющее собой характеристическое излучение серии  $L$ , свидетельствует о значительной внутренней конверсии ряда  $\gamma$ -линий в спектре равновесного тория. На высокий коэффициент внутренней конверсии указывает, в частности, отсутствие сильных линий в области 57–59 кэв.

На рис. 2 представлены спектры элементов начала уранового ряда: ( $\text{U}^{238}$ ,  $\text{U}^{235}$ ,  $\text{U}^{234}$ ) +  $\text{UX}_1 + \text{UX}_2$ . Измерялось  $\gamma$ -излучение препарата закиси-оксида урана (содержание урана ~82%), а также выделенных из него препаратов урана и  $\text{UX}_1 + \text{UX}_2$ . В области энергий, выше 50 кэв  $\gamma$ -излучение урана полностью определяется  $\text{U}^{235}$  (линии 52, 93, 145 и 185 кэв); линии  $\text{U}^{235}$  с энер-

гией 145 и 185 кэв вносят основной вклад в суммарный спектр  $\text{U} + \text{UX}_1 + \text{UX}_2$ . В то же время для энергии 60–90 кэв вклад  $\text{U}^{235}$  незначителен; в этой области наблюдаются интенсивные линии  $\text{UX}_1$  ( $E = 64 \text{ кэв}$  и  $E = 93 \text{ кэв}$ ).

В области  $L$ -характеристического излучения спектр  $\text{U} + \text{UX}$  по своей форме сходен со спектром тория. Интенсивность почти полностью определяется излучением непосредственно урана, что связано с большим коэффициентом внутренней конверсии  $\gamma$ -излучения  $\text{U}^{238}$  ( $E = 48 \text{ кэв}$ ) и с большой интенсивностью характеристического излучения  $\text{U}^{235}$ .

На рис. 3 представлены для сравнения спектры равновесных препаратов тория, урана  $\text{U} + \text{UX}$  (закись-окиси урана), радия (включая ряд распада до  $\text{RaC}'$  и  $\text{RaC}''$ ) и  $\text{RaD} + \text{RaE} + \text{Po}$ . Широкий пик спектра  $\gamma$ -излучения равновесного урана представляет собой сумму смещенных по энергии двух максимумов спектра  $\text{U} + \text{UX}_1 + \text{UX}_2$  и максимума в области энергий 70–90 кэв в спектре радия. Указанный пик в спектре радия определяется характеристическим излучением  $\text{RaB}$  ( $E = 74,9 \text{ кэв}$ ),  $\text{Ra}$  ( $E = 88,4 \text{ кэв}$ ) и  $\text{RaC}$  ( $E = 77,1 \text{ кэв}$ ).

В области более жестких энергий спектр равновесного урана близок к спектру радия, за исключением области 184 кэв. При этой энергии, так же как при энергии 294 кэв, минимальной интенсивности в спектре тория соответствуют максимумы в спектре равновесного урана; в области 240 кэв наблюдается обратная картина. Результаты измерения в этих областях использовались ранее для разделения радия и тория\*.

Наконец, для области характеристического излучения необходимо отметить относительно малый вклад, вносимый препаратами радиевого ряда в общий спектр равновесного урана.

В заключение автор выражает благодарность В. Л. Шашкину за внимание и интерес к работе и А. Д. Веревкину за большую помощь при проведении измерений.

\* P. Hyrley. Bull. Geol. Soc. Amer., 67, 395 (1956).

Поступило в Редакцию 1/VIII 1962 г.

