

Распределение плотности треков  $\alpha$ -частиц на образцах нитроцеллюлозы: а, б, в — 1, 2, 3 участки трубопровода соответственно; — — — фон, обусловленный естественной  $\alpha$ -активностью радиоактивных примесей в нитроцеллюлозе

нутых скоплений протяженность изменялась от 0,2 до 5 мм. На третьем участке не замечены ярко выраженные аномальные скопления, вероятно, вследствие того, что общая плотность осаждаемых частиц здесь в несколько раз ( $\sim 7$  раз) выше, чем на первых двух участках, и достаточно, чтобы более или менее равномерно покрыть поверхность трубопровода.

Исследование пробы натриевого теплоносителя первого контура показало малое содержание в нем топлива (на уровне фоновых  $\alpha$ -частиц нитроцеллюлозы), и поэтому какой-либо очевидной неоднородности не обнаружено.

Все попавшее в теплоноситель топливо обычно осажается на стенках контура [7]. Логично предположить,

что в первую очередь будут осажаться крупные кусочки топлива. Наблюдаемая на двух участках контура аномальная концентрация атомов (рис. 1, а, б), по-видимому, является следствием суммарного эффекта воздействия разных факторов. С одной стороны, это коррозия, отщепление частиц, химические соединения, а также возможное загрязнение внешней поверхности оболочек твэлов при их изготовлении, с другой — наличие в теплоносителе и на стенках контура сорбционных центров. Кусочки топлива, находящиеся в нейтронном поле реактора, будут размельчаться за счет делений в них.

Исследования показали, что топливо не только осажается неоднородно по отдельным участкам трубопровода, но и в пределах одного участка имеются значительные различия в плотности и размере скоплений атомов. Такой характер осадения необходимо учитывать при определении загрязнения оборудования и первого контура реактора.

Авторы благодарны М. П. Никулину за содействие в проведении эксперимента и обсуждение результатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogers M., Adam J. — J. Nucl. Mat., 1962, v. 6, p. 182.
2. Rogers M. — J. Nucl. Mat., 1964, v. 12, p. 332; 1965, v. 15, p. 65; 1965, v. 16, p. 298.
3. Biersack J., Finik D., Mertens P. — Ibid., 1974, v. 53, p. 194.
4. Бессонов В. А. и др. — Атомная энергия, 1976, т. 40, вып. 5, с. 395.
5. Аристархов Н. Н. и др. — В кн.: Труды II симп. СЭВ «Состояние и перспективы работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах». Т. I. Обнинск, изд. ФЭИ, 1975, с. 374.
6. Королева В. П. и др. — Атомная энергия, 1979, т. 46, вып. 2, с. 125.
7. Hart R. Distribution of fission product contamination in the SRE. NAA-SR-6890. North American Aviation, 1961.

Поступило в Редакцию 29.05.80

УДК 543.52:543.51/53

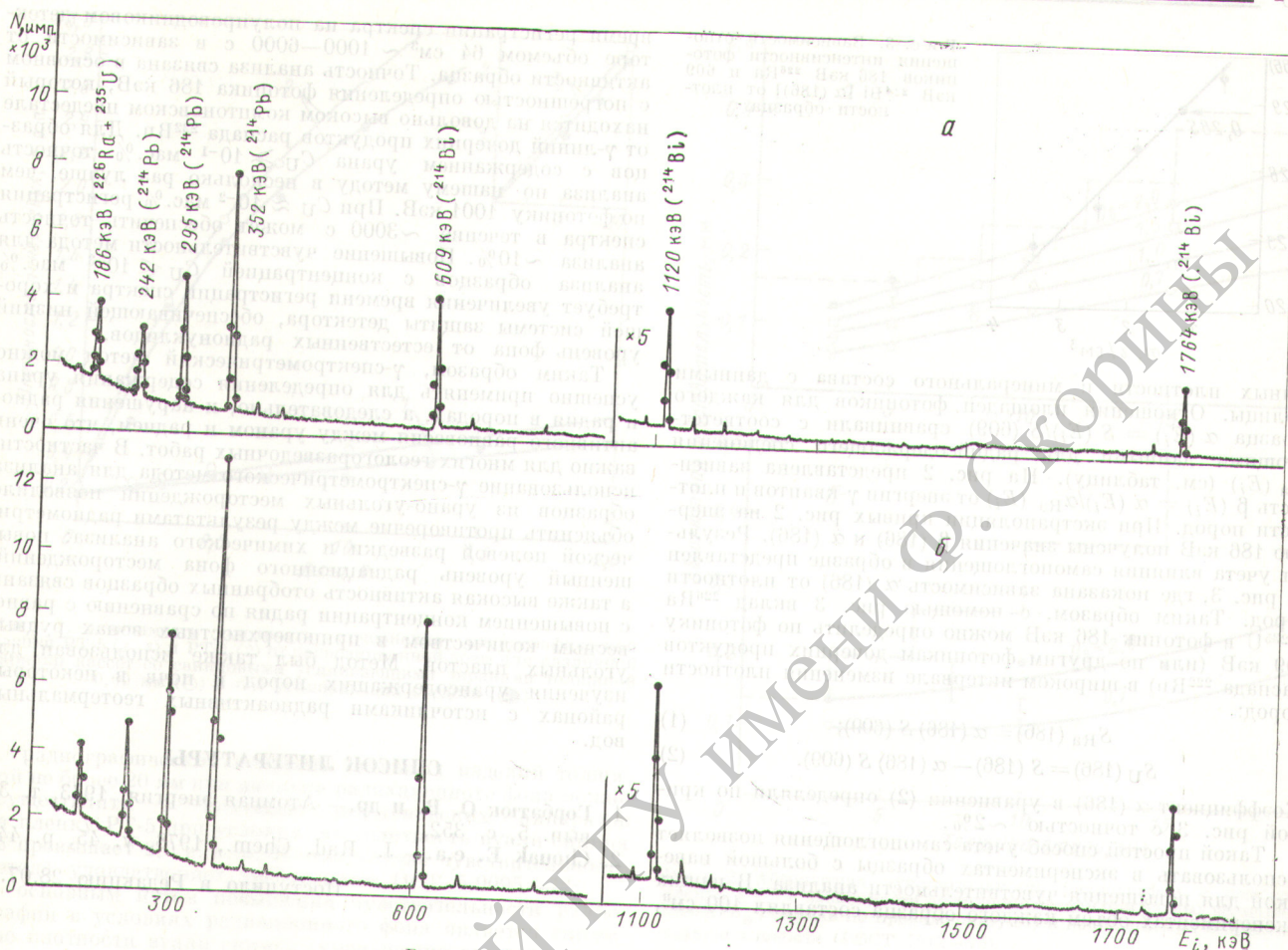
## Гамма-спектрометрический метод определения урана в породах с нарушенным радиоактивным равновесием

ФАМ ЗУИ ХИЕН, НГУЕН ТАТ ТО, НГУЕН ВАН ДО (ИНСТИТУТ ФИЗИКИ, СРВ)

Большинство интенсивных фотопиков  $\gamma$ -спектра урансодержащих пород принадлежит дочерним продуктам распада  $^{222}\text{Rn}$ . Для определения содержания урана измеряют слабые фотопиков нуклидов, находящихся в радиоактивном равновесии с ураном (63 кэВ  $^{234}\text{Th}$  [1] или 1001 кэВ  $^{234}\text{Pa}$  [2]). Невысокая чувствительность определения урана по фотопику 1001 кэВ связана с низким выходом  $\gamma$ -квантов данной энергии ( $8 \cdot 10^{-3}$   $\gamma$ -квант/распад  $^{238}\text{U}$ ). Для регистрации низкоэнергетических  $\gamma$ -квантов энергией 63 кэВ предпочтительнее использовать полупроводниковый детектор малого объема, однако и в этом случае чувствительность анализа недостаточна вследствие сильного самопоглощения  $\gamma$ -излучения в образце.

Среди фотопиков урана и элементов, находящихся с ним в равновесии, наиболее сильным является фотопик 185,7 кэВ  $^{235}\text{U}$ . В  $\gamma$ -спектре образца из  $\text{U}_3\text{O}_8$ , определенном с помощью полупроводникового детектора объемом 64 см<sup>3</sup>, интенсивность этого фотопика в 13 раз больше, чем интенсивность фотопика 1001 кэВ  $^{234}\text{Pa}$ . Однако

в спектре урансодержащих пород он сливается с фотопиком 186,2 кэВ  $^{226}\text{Ra}$ , поэтому для определения урана необходимо правильно учесть вклад  $^{226}\text{Ra}$  в общий пик 186 кэВ (при радиоактивном равновесии между ураном и радием этот вклад составляет 59% [1]). В настоящей работе указанный вклад и концентрацию  $^{226}\text{Ra}$  определяли по  $\gamma$ -линиям дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$ , а радиоактивное равновесие между Ra и Rn обеспечивали путем герметизации образца. Для этого необходимо заранее знать отношение интенсивности фотопиков  $^{226}\text{Ra}$  (186,2 кэВ) и дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  (например, 609 кэВ) при равновесии между радием и радием для радийсодержащего образца. Для экспериментов был изготовлен образец из карбонатных пород, наличие радия в которых обусловлено абсорбцией геотермальной воды, содержащей радий. Концентрация радия в образце в 63 раза превышала значение, соответствующее равновесию с ураном ( $1,4 \cdot 10^{-7}$  мас. % Ra и  $5 \cdot 10^{-5}$  мас. % U). Оценка с использованием данных работы [1] показала, что небольшая



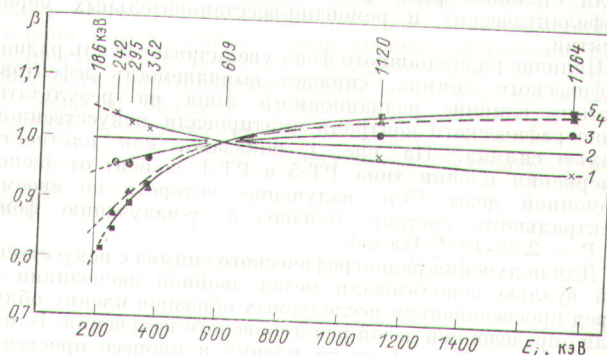
Р и с. 1. Спектры радийсодержащего образца

концентрация урана в этом образце дает лишь 1%-ный вклад в фотопик 186,2 кэВ. На рис. 1 изображены  $\gamma$ -спектры, зарегистрированные сразу (а) и через двадцать дней (б) после герметизации образца. В то время как фотопик 186,2 кэВ остался неизменным, интенсивность других фотопиков спектра увеличилась в 1,78 раза за счет накопления радона в герметизированном образце. Вычисленные по спектру рис. 1, б отношения интенсивности фотопиков  $^{226}\text{Ra}$  и дочерних продуктов  $^{222}\text{Rn}$  для образца, в котором радий и радон находятся в равновесии, приведены в таблице.

При определении радия в урансодержащих образцах по фотопикам дочерних продуктов  $^{222}\text{Rn}$  геометрия измерения остается такой же, как при регистрации спектров (см. рис. 1), т. е. исследуемая проба диаметром 7,0 и высотой 2,6 см (объемом 100 см<sup>3</sup>) находится непосредственно

на полупроводниковом детекторе. Однако за счет самопоглощения отношение интенсивности фотопиков может отличаться от данных таблицы и зависит от плотности пород. Для учета влияния этого эффекта проведено сравнение отношений интенсивности фотопиков дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  в урансодержащих образцах раз-

ных в равновесии с радием. Однако за счет самопоглощения отношение интенсивности фотопиков может отличаться от данных таблицы и зависит от плотности пород. Для учета влияния этого эффекта проведено сравнение отношений интенсивности фотопиков дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  в урансодержащих образцах раз-



Р и с. 2. Зависимость влияния самопоглощения на отношение интенсивности фотопиков дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  от плотности пород: 1 — образец из урано-угольных месторождений ( $\rho = 0,6 \text{ г/см}^3$ ); 2 — радийсодержащие карбонатные породы ( $\rho = 1,23 \text{ г/см}^3$ ); 3 — пиррохлор, рассеянный в пирите, магнетите и амфиболе ( $\rho = 1,9 \text{ г/см}^3$ ); 4 — уранинит, рассеянный в барите ( $\rho = 2,48 \text{ г/см}^3$ ); 5 — измельченный уранинит в порошке из окиси олова ( $\rho = 3,43 \text{ г/см}^3$ )

Параметр	$^{226}\text{Ra}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$
$E_i$ , кэВ	186	242	295 352 609 768 1120 1764
$\alpha_{\text{Ra}}$	0,285	0,435	0,896 1,493 10,091 0,179 0,124

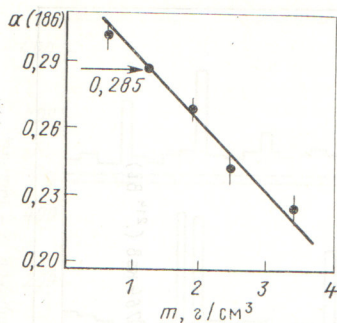


Рис. 3. Зависимость отношения интенсивности фотопиков 186 кэВ  $^{226}\text{Ra}$  и 609 кэВ  $^{214}\text{Bi}$  [ $\alpha(186)$ ] от плотности образца

личных плотности и минерального состава с данными таблицы. Отношения площадей фотопиков для каждого образца  $\alpha(E_i) = S(E_i)/S(609)$  сравнивали с соответствующими данными для радийсодержащего соединения  $\alpha_{\text{Ra}}(E_i)$  (см. таблицу). На рис. 2 представлена зависимость  $\beta(E_i) = \alpha(E_i)/\alpha_{\text{Ra}}(E_i)$  от энергии  $\gamma$ -квантов и плотности пород. При экстраполяции кривых рис. 2 на энергию 186 кэВ получены значения  $\beta(186)$  и  $\alpha(186)$ . Результат учета влияния самопоглощения в образце представлен на рис. 3, где показана зависимость  $\alpha(186)$  от плотности пород. Таким образом, с помощью рис. 3 вклад  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{235}\text{U}$  в фотопик 186 кэВ можно определить по фотопику 609 кэВ (или по другим фотопикам дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$ ) в широком интервале изменения плотности пород:

$$S_{\text{Ra}}(186) = \alpha(186) S(609); \quad (1)$$

$$S_{\text{U}}(186) = S(186) - \alpha(186) S(609). \quad (2)$$

Коэффициент  $\alpha(186)$  в уравнении (2) определяли по кривой рис. 3 с точностью  $\sim 2\%$ .

Такой простой способ учета самопоглощения позволяет использовать в экспериментах образцы с большой навеской для повышения чувствительности анализа. В наших экспериментах объем каждого образца составлял  $400 \text{ см}^3$ ,

время регистрации спектра на полупроводниковом детекторе объемом  $64 \text{ см}^3 \sim 1000\text{--}6000 \text{ с}$  в зависимости от активности образца. Точность анализа связана в основном с погрешностью определения фотопика 186 кэВ, который находится на довольно высоком комptonовском пьедестале от  $\gamma$ -линий дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$ . Для образцов с содержанием урана  $C_{\text{U}} \geq 10^{-1}$  мас. % точность анализа по нашему методу в несколько раз лучше, чем по фотопику 1001 кэВ. При  $C_{\text{U}} \approx 10^{-2}$  мас. % регистрация спектра в течение  $\sim 3000 \text{ с}$  может обеспечить точность анализа  $\sim 10\%$ . Повышение чувствительности метода для анализа образцов с концентрацией  $C_{\text{U}} \leq 10^{-3}$  мас. % требует увеличения времени регистрации спектра и хорошей системы защиты детектора, обеспечивающей низкий уровень фона от естественных радионуклидов.

Таким образом,  $\gamma$ -спектрометрический метод можно успешно применять для определения содержания урана и радия в породах, а следовательно, и нарушения радиоактивного равновесия между ураном и радием, что очень важно для многих геологоразведочных работ. В частности, использование  $\gamma$ -спектрометрического метода для анализа образцов из урано-угольных месторождений позволило объяснить противоречие между результатами радиометрической полевой разведки и химического анализа: повышенный уровень радиационного фона месторождений, а также высокая активность отобранных образцов связаны с повышением концентрации радия по сравнению с равновесным количеством в приповерхностных зонах рудных угольных пластов. Метод был также использован для изучения урансодержащих пород и почв в некоторых районах с источниками радиоактивных геотермальных вод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатов О. В. и др. — Атомная энергия, 1973, т. 35, вып. 5, с. 352.
2. Chouak E. e.a. — J. Rad. Chem., 1978, v. 45, p. 445.

Поступило в Редакцию 28.07.80

УДК 620.179.15

## Радиографический контроль реакторных элементов в условиях радиационного фона

СЕМЕНОВ А. П., ЖАКЕВИЧ Л. М., ГОРБАЧЕВ В. И., ЛЯШЕНКОВ С. С., НАГИНАЕВ Е. Н.

Цель работы — исследование влияния радиационного фона на чувствительность радиографического метода контроля стальных реакторных элементов при проведении профилактических и ремонтно-восстановительных мероприятий.

Наличие радиационного фона увеличивает вуаль радиографического снимка, снижает выявляемость дефектов. Поэтому влияние радиационного фона на результаты радиографического контроля имитировали искусственной вуалью снимка. На рис. 1 показано, как плотность почернения пленки типа РТ-5 и РТ-1 зависит от экспозиционной дозы  $^{60}\text{Co}$ , излучение которого по своему спектральному составу близко к  $\gamma$ -излучению фона ( $1 \text{ Р} \approx 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ ).

Для получения радиографического снимка с искусственной вуалью использовали метод двойной экспозиции — перед просвечиванием исследуемых образцов пленку облучали определенной дозой рентгеновского излучения. Влияние радиационного фона на пленку и процесс просвечивания изделия были разделены во времени. Такая методика исследований упрощает изучение влияния радиационного фона на результат радиографического контроля. Исследования по просвечиванию стали толщиной 8 мм показали, что чувствительность снимка не зависит от последовательности операций наложения на пленку искусственной вуали и радиационного изображения.

В исследованиях использовали проволоочные и канальные эталоны чувствительности (ГОСТ 7512—75), которые устанавливали на наборы пластин из стали 1Х18Н9Т толщиной от 3 до 20 мм со стороны источника излучения. Просвечивание осуществляли рентгеновским аппаратом РУП-150/300-10 с трубкой 2,5 ВПМ-250 на радиографическую пленку РТ-5 со свинцовыми усиливающими экранами толщиной 0,09 мм при фокусном расстоянии 500 мм.

Все радиографические снимки имели два участка для определения плотности почернения первоначальной (до облучения) и искусственной вуали. Оптическую плотность почернения искусственной вуали изменяли дискретно: 0,7; 1,0; 1,5 и 2,0 единиц оптической плотности (е.о.п.). Для расшифровки снимков использовали негативоскоп ОД-10Н («Рапан»), который позволяет просматривать снимки с плотностью почернения до 4,5 е.о.п. В расшифровке снимков принимали участие три опытных рентгеновских техника. На рис. 2 приведены результаты исследования зависимости абсолютной чувствительности радиографического метода от толщины стали при разных значениях плотности почернения вуали (пунктир — требования к чувствительности радиографических снимков в соответствии с ОСТ 5.9095—72).

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: