

Рис. 2. Изменение твердости молибдена в зависимости от температуры отжига (выдержка при каждой температуре 30 мин):

1 — необлученные образцы; 2 — образцы, облученные интегральной дозой $2 \cdot 10^{20}$ нейтр/см²; 3 — образцы, облученные интегральной дозой $8 \cdot 10^{20}$ нейтр/см².

в два раза меньше, чем необлученных. Как видно из рис. 1, температурные зависимости свойств при растяжении облученного и необлученного молибдена

несколько различаются. В результате облучения возрастает температура перехода из пластичного в хрупкое состояние, причем после облучения дозой $8 \cdot 10^{20}$ нейтр/см² этот прирост составляет около 270° С.

Согласно данным рис. 2, твердость облученного молибдена восстанавливается в довольно широком интервале температур и независимо от интегральной дозы полностью заканчивается при температуре около 1100° С. Начало восстановления твердости у образцов, облученных дозой $2 \cdot 10^{20}$ нейтр/см², наблюдается при 700° С, а у образцов, облученных дозой $8 \cdot 10^{20}$ нейтр/см², — примерно при 600° С, т. е. с увеличением интегральной дозы температура начала отжига упрочняющих дефектов смещается в сторону низких температур. Ранее было показано [1, 2], что восстановление твердости облученного молибдена происходит в две стадии. Каждая стадия, вероятно, обусловлена отжигом определенного типа дефектов. Первая стадия протекает при более низких температурах и характеризуется энергией активации около 2 эв (1,7 эв, по данным работы [1] и 2,2 эв, по данным работы [2]), что почти в два раза меньше энергии активации для второй стадии. Поэтому можно полагать, что величина интегральной дозы облучения влияет лишь на первую стадию, а вторая стадия процесса восстановления свойств практически не зависит от количества дефектов, образовавшихся в процессе облучения.

Поступило в Редакцию 31/X 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш. Ш. Ибрагимов, А. Н. Воробьев. «Атомная энергия», 11, 65 (1961).
2. Reactor Materials, 6, 74 (1963).

Опыт спектрального γ -каротажа с использованием универсальных многоканальных спектрометров

Н. Д. БАЛЯСНЫЙ, В. М. МИЩЕНКО, А. Н. ПЕГОВЕВ, И. М. ТЕНЕНБАУМ,
Ш. Д. ФРИДМАН, В. Д. КАЛЫЖОВ

Гамма-спектральный каротаж является необходимым элементом геолого-поисковых работ, связанных с изучением ураноносности съемочных площадей, перекрытых рыхлыми образованиями. Обычно при этом используются пороговые или трехканальные спектрометры. Поисковые возможности таких устройств ограничены малым объемом регистрируемой информации, а также недостаточной стабильностью и точностью измерений [1]. Применяемые при каротаже глубоких нефтяных скважин приборы СГС-1 в комплекте с 50-канальными анализаторами хотя и не имеют указанных недостатков, однако чрезмерно усложнены и специализированы за счет блока амплитудно-временной трансформации, вынесенного в скважинный снаряд. Вследствие этого значительно затруднено использование спектрометра при измерении вне скважин (например, измерения на поверхности, γ -спектрометрия проб).

В настоящей работе описан опыт применения для каротажа картрировочных буровых скважин универсальных многоканальных спектрометров, построенных на базе серийных амплитудных анализаторов АИ-100-1 и АМА-6. Универсальность достигается передачей

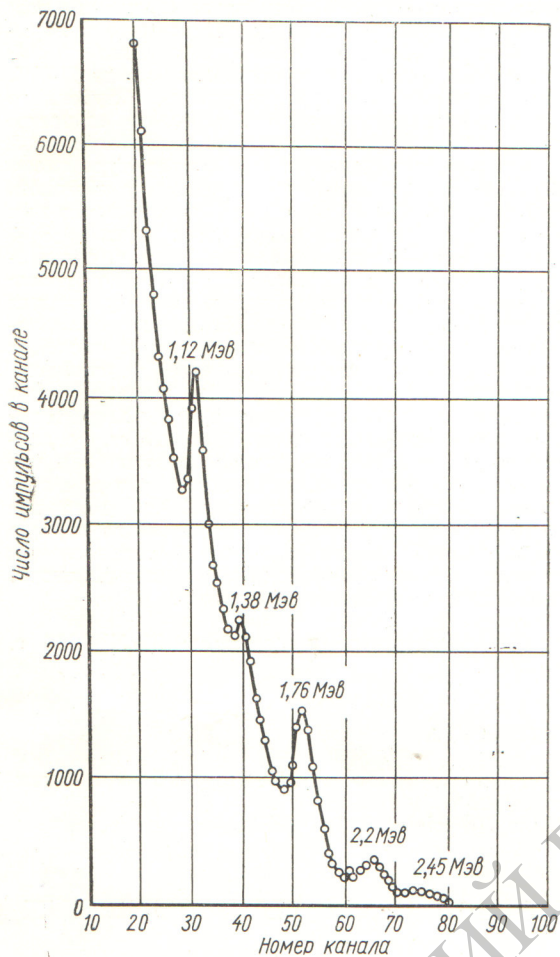
спектра амплитуд по кабелю без преобразования в интервалы времени. При этом упрощается скважинный снаряд, а весь прибор в целом за счет простой замены сцинтилляционных счетчиков может быть легко превращен из каротажного в наземный или лабораторный спектрометр.

Работы выполнялись в ураноносном районе а 1964—1965 гг. Было исследовано 85 буровых скважин.

Дифференциальный спектрометр АИ-100-1 был собран на основе 100-канального лампового анализатора АИ-100-1 [2]. В комплект спектрометра входили также скважинный датчик и блок питания.

Анализатор АИ-100-1 устанавливался в кузове автомашины ЗИЛ-151 в раме, амортизированной стальными пружинами; кроме того, монтажные схемы были укреплены дополнительно. Примененная система амортизации позволяла не выключать спектрометр при переездах между скважинами, что свело к минимуму время, необходимое для прогревания аппаратуры. Входной усилитель анализатора был заменен на неперегружающийся [3]. Просчеты схемы анализатора при концентрациях урана в породах $\sim 0,02\%$ менее 1% , поэто-

УДК 550.835



Р и с. 1. Спектрограмма, полученная при измерении в зоне дробления кварцевых порфиров.

му они не учитывались. При каротаже скважин с более высокой радиоактивностью для снижения просчетов вводилась энергетическая отсечка энергетической шкалы $E_n = 0,4 \text{ Мэв}$.

В результате проведения полевых работ установлена удовлетворительная надежность измерений в диапазоне температур атмосферного воздуха $0-35^\circ \text{C}$. При автоматической регистрации спектрограмм использовался релейный блок преобразования, соединенный с самописцем ЭПИ-09.

Каротажный датчик состоял из кристалла NaJ(Tl) размером $40 \times 40 \text{ мм}$ и ФЭУ-13. Датчик помещался в стальной вилзе, толщина стенки которой 1 мм и наружный диаметр 65 мм . Входной импульс с ФЭУ-13 подавался на предусилитель, собранный на транзисторах, а затем по каротажному кабелю КТШ-0,3 длиной 250 м поступал на вход анализатора. Энергетическое разрешение спектрометра составляло 12% на линии $0,66 \text{ Мэв}$. Измерения показали, что использование неокисляемого кабеля указанной длины ухудшает разрешение спектрометра примерно на $0,5-0,7\%$.

Питание спектрометра осуществлялось от электростанции (мощность $6,25 \text{ кВт}$) и комплекта щелочных



Условные обозначения

+++	1	[diagonal lines]	6
xxx	2	[diagonal lines]	7
+++	3	[dots]	8
yyy	4	[circles]	9
lll	5	[diagonal lines]	10

Масштаб
500 0 500 1500 м

Р и с. 2. Геологическая карта аномального участка с местоположением буровых скважин:

1 — гранит-порфиры; 2 — гранодиориты; 3 — гнейсовидные слениты и гранослениты; 4 — кварцевые порфиры; 5 — порфириты; 6 — аргиллиты; 7 — алевролиты; 8 — песчаники; 9 — конгломераты; 10 — тектонические нарушения; цифры на карте указывают номера скважин.

аккумуляторов, установленных на той же автомашине, что и анализатор.

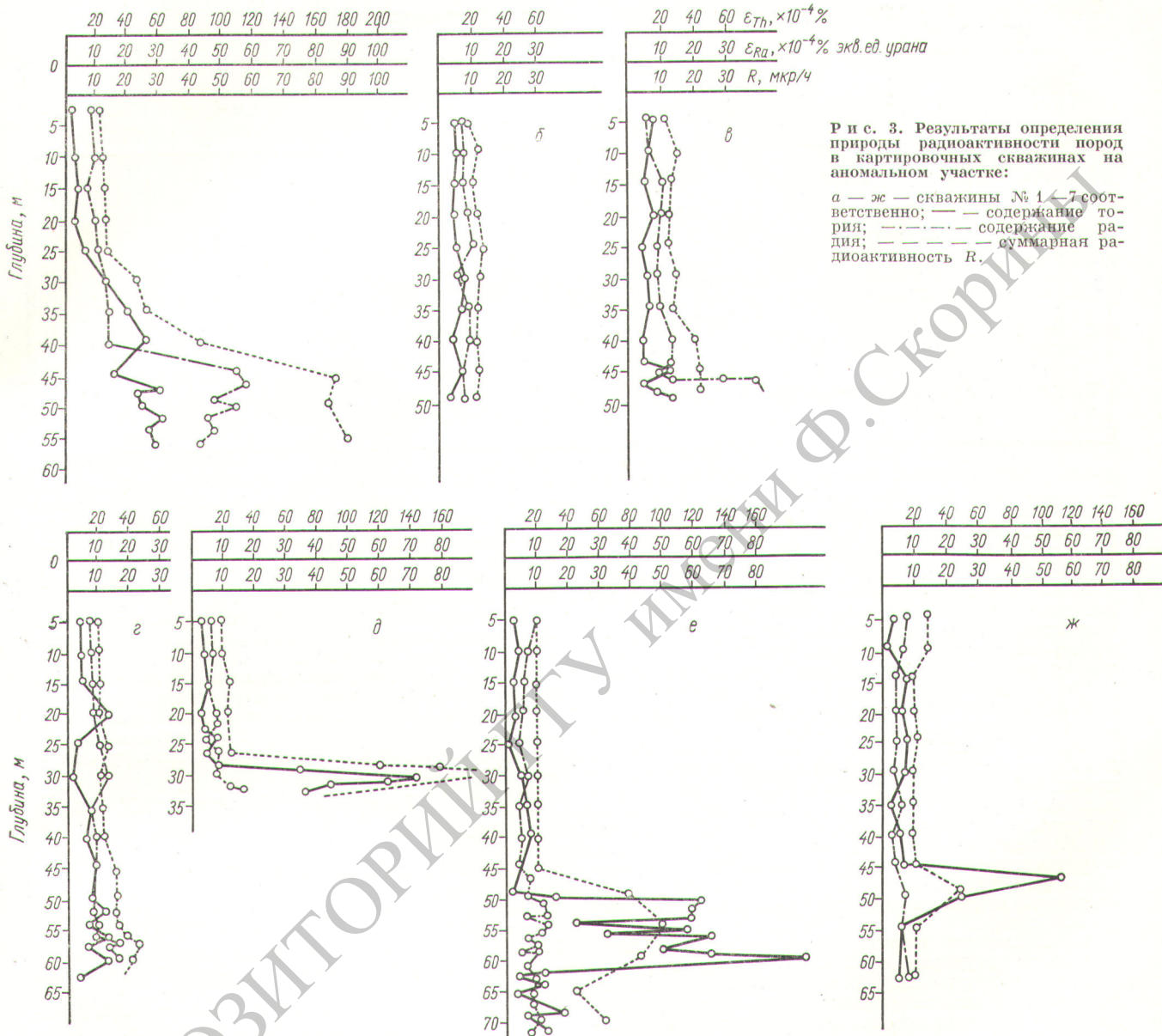
На рис. 1 приведен пример спектрограммы, полученной при каротаже одной из скважин (породы обогащены ураном, глубина скважины 70 м , время набора спектра 300 сек).

Дифференциальный спектрометр АМА-6 был собран на основе 64-канального амплитудного анализатора АМА-6 [4]. В комплект спектрометра входили скважинный датчик с предусилителем (те же, что и в приборе АИ-100-1), самопишущий прибор для регистрации спектрограмм и источник питания (аккумуляторные батареи СЦД-12). Полная потребляемая мощность спектрометра составляла 5 вт . Общий вес с датчиком (без кабеля) равен 7 кг . Прибор характеризуется высокой надежностью работы: в диапазоне температур атмосферного воздуха $0-35^\circ \text{C}$ среднее время между отказами составляло $200-300 \text{ ч}$. Спектрометр АМА-6 является «медленным» устройством, требующим учета просчетов даже при измерении близких к кларковым содержаниям радиоактивных элементов. Максимальная концентрация урана в скважине, регистрируемая этим прибором, не должна превышать $0,5-0,7\%$.

Точность γ -спектрального каротажа характеризуется следующими среднеквадратичными расхождениями: для урана (радия) $15-25\%$, тория $5-10\%$ и калия $10-12\%$ (содержания радиоактивных элементов, близкие к кларковым, время наблюдения $18-25 \text{ мин}$). Сравнение полученных результатов с данными химического и радиохимического анализа проб показало отсутствие систематических расхождений.

При проведении описываемых работ γ -спектральный каротаж скважин использовался для решения следующих геологических задач.

1. Определение содержания радия, тория и калия в горных породах, перекрытых чехлом рыхлых образований. Решение данной задачи представляет значительный интерес как для оценки геохимического фона, так и в связи с возможностью дифференциации пород



Р и с. 3. Результаты определения природы радиоактивности пород в картировочных скважинах на аномальном участке:

а — ж — скважины № 1—7 соответственно; — — содержание тория; - - - - содержание радия; - · - · - суммарная радиоактивность R.

по содержаниям указанных элементов. Полученные данные γ -каротажа по породам, слагающим палеозойский фундамент района исследований, приведены в таблице.

Как видно из таблицы, горные породы исследуемого района хорошо дифференцируются по содержанию в них тория, при этом максимальное содержание тория отмечается в кварцевых порфирах девона, минимальное — в аргиллитах и песчаниках карбона. Дифференциация пород по содержанию урана и калия, а также по суммарной (интегральной) интенсивности γ -излучения более слабая, чем по содержанию тория. Очевидно, что результаты γ -спектрального каротажа (в частности, определение содержания тория) могут использоваться в данном районе для разделения (картирования) пород, пересекаемых буровыми скважинами.

2. Выделение перспективных участков на площади геологической съемки. При γ -каротаже семи скважин картировочное бурение на съемочном участке № 1 в кварцевых порфирах и гранодиоритах, а также в коре выветривания этих пород была обнаружена повышенная радиоактивность — до 100—110 мкр/ч. Как видно из геологической схемы и графиков каротажа (рис. 2 и 3), аномалии интегральной интенсивности γ -излучения примерно одного порядка отмечаются в скважинах, расположенных на всей площади участка. В то же время природа γ -излучения пород резко изменяется с юга на север. На юге отмечаются высокие содержания тория при относительно низких концентрациях урана. В северной части, наоборот, возрастают содержания урана и падают концентрации тория. Таким образом,

Содержание радия, тория и калия в породах палеозойского фундамента (по данным спектрального γ -каротажа скважин)

Возраст пород	Порода	Число скважин	Содержание элементов ϵ			ϵ_{Th}/ϵ_U	Суммарная радиоактивность, $\mu\text{R}/\text{ч}$
			радий (уран), $\times 10^{-4} \%$	торий, $\times 10^{-4} \%$	калий, %		
Карбон	Аргиллиты, песчаники	3	6,3	3,7	1,1	0,6	9
Девон	Конгломераты, песчаники	7	8,9	21,2	2,3	2,4	2
Девон	Кварцевые порфиры	1	5,0	57,4	2,9	11,4	33
Ордовик	Гранодиориты, граниты	3	5,8	22,6	2,0	3,9	17
Ордовик	Аргиллиты, песчаники	9	4,9	16,2	1,7	3,9	15

данные γ -спектральных измерений позволили выделить северную часть площади как область избирательного обогащения ураном и рекомендовать ее для детального изучения. Аналогичные результаты были получены и в другом районе — на площади развития гранитов. При помощи спектрального каротажа удалось оконтурить зону с чисто урановой природой радиоактивности: содержание урана в интервале до 2 м достигает 0,015%, а содержание тория в несколько раз ниже кларкового. Кроме отмеченных выше случаев γ -спектральный каротаж применялся непосредственно для подсчетов запаса урана (по радио) по рудным скважинам. Сопоставление полученных значений с результатами опробования керна показало хорошую сходимость.

Рассмотренные примеры указывают на возможность и перспективность использования для геологических исследований мелких скважин (до 250 м) универсальных амплитудных γ -спектрометров. Есть основания полагать, что при помощи простых мер (экранирование кабеля, согласование входа анализатора с волновым сопротивлением кабеля и пр.) геологические исследования с применением указанных выше приборов можно проводить и при значительно больших глубинах (до 0,7—1 км).

В заключение отметим, что изложенные выше результаты получены при помощи аппаратуры, не предназначенной для такого рода исследований. В дальнейшем целесообразно выполнять каротаж с помощью специально спроектированных универсальных многоканальных дифференциальных спектрометров, в комплект которых необходимо включать следующие блоки:

- 1) блок автоматической стабилизации положения энергетической шкалы по одной из двух-трех референсных линий, всегда имеющихся в измеряемом спектре, например линия с энергией 1,46 Мэв (K^{40}), 1,76 Мэв (RaC) и др.;
- 2) блок автоматического и полуавтоматического учета подсчетов;
- 3) счетно-решающий блок для получения средних концентраций радиоактивных элементов непосредственно в процессе измерения;
- 4) блок автоматического вывода приборного спектра на носитель (перфоленга, перфокарта и пр.), пригодный для последующего ввода в ЭВМ и для более детальной обработки полученной информации (определение концентраций в забое скважины; корреляция между элементами и пр.).

Поступило в Редакцию 11/X 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Д. Б а л я с н ы й и др. «Физика Земли», № 4, 89 (1966).
2. Техническое описание анализатора АИ-100-1, М., Атомиздат, 1959.
3. В. О. В я з е м с к и й и др. Сцинтилляционный метод в радиометрии. М., Госатомиздат, 1961, стр. 201.
4. В. О. В я з е м с к и й, А. Н. П е г о е в, В. В. Т р и ф о н о в. В кн. «Материалы V Всесоюзной научно-технической конференции по ядерной электронике». Т. 2. М., Атомиздат, 1963, стр. 142.

Градуировка сцинтилляционного аэро-гамма-спектрометра АСГ-48

УДК 553.495:539.16.08

М. Б. ВАСИЛЬЕВ

В настоящей работе описан способ градуировки общего канала (ОК) сцинтилляционного аэро-гамма-спектрометра АСГ-48; детектором излучения служит пластмассовый сцинтиллятор n -терфенил + РОРОР в полистироле диаметром 230 см и высотой 400 см. Сцинтиллятор состоит из одного или из двух склеенных моноблоков, с торцов которых установлены два фотомножителя типа ФЭУ-49.

При градуировке необходимо учитывать влияние рассеянного излучения, которое искажает ход градуировочной кривой. Неискаженная градуировочная кривая описывается формулой

$$J = K_{\gamma} B(r) \frac{Q}{r^2}, \quad (1)$$