Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIV, вып. 2, 1974 г.

О ВЛИЯНИИ ЭМАНИРОВАНИЯ УРАНОВЫХ РУД В СКВАЖИНУ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ГАММА-КАРОТАЖА

Г. Ф. Новиков, Э. Л. Озерков

Частичный выход радона в скважину, подвергающуюся длительной промывке в процессе бурения, приводит к уменьшению интенсивности излучения по оси скважины и занижению линейных запасов урана по данным гамма-каротажа. Однако до настоящего времени поправку на эманирование руд при интерпретации гамма-каротажных диаграмм не вводили [5], хотя при радиометрическом опробовании урановых руд в горных выработках учет эманирования обязателен [2]. В обоснование необходимости введения поправок на эманирование приводим результаты вычислений и измерений в скважинах.

Если излучение создается продуктами распада свободного и связанного радона [4, 6], распределение источников гамма-излучения $Q(r)$ в среде *II* (рис. 1) в направлении r записывается в виде

$$Q(r) = \alpha q_{Ra}\left[1 - \frac{K_0(br)}{K_0(br_0)}\right] + q_{Ra}(1 - \alpha) = q_{Ra}\left[1 - \alpha\frac{K_0(br)}{K_0(br_0)}\right], \qquad (1)$$

где q_{Ra} — содержание радия в среде *II*, *г/см*^{3}; α — коэффициент эманирования в среде *II*; $K_0(br)$ — модифицированная функция Бесселя 2-го рода нулевого порядка; $b = \sqrt{\frac{\lambda_{Rn}}{D_{Rn}}}$ — диффузионный параметр, определяемый постоянной распада радона λ_{Rn} и коэффициентом диффузии D_{Rn}.

Интенсивность излучения $I_{\infty\,\alpha}$ по оси скважины, вскрывающей безграничную эманирующую среду *II* с неравномерным распределением ис-

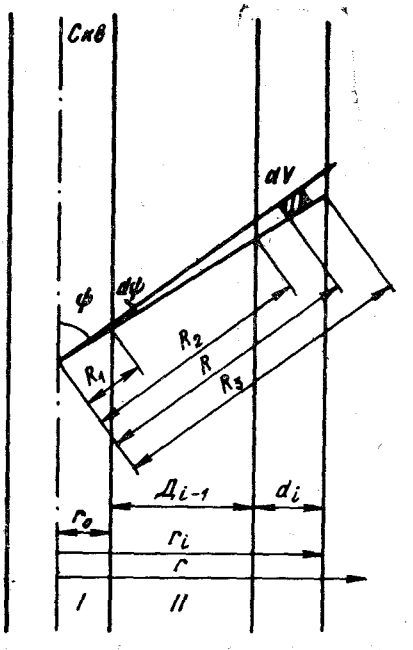


Рис. 1. Иллюстрация к выражениям (1)—(5)

сточников излучения $Q_i(r)$, можно представить в виде суммы интенсивностей $I_{т\,i}$ тонких цилиндрических труб, в каждой из которых распределение источников принимается постоянным.

Интенсивность излучения i-й цилиндрической трубы толщиной d_i и содержанием излучателя $Q(r_i)$, внутри которой находится поглощающая труба диаметром

$$Д_{i-1} = \sum_{m=1}^{i-1} d_m, \tag{2}$$

можно записать в сферической системе координат

$$I_{т,i} = 2KQ(r_i) \int_0^{2\pi} \int_{R_2}^{R_3} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\mu (R - R_1)} \sin\psi \, d\psi \, dR d\varphi =$$

$$= \frac{4\pi KQ(r_i)}{\mu} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\mu D_{i-1} \operatorname{cosec} \psi} \sin\psi \, d\psi - \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\mu (D_{i-1} + d_i) \operatorname{cosec} \psi} \sin\psi \, d\psi \right], \tag{3}$$

где K — константа излучения, равная $9{,}1 \cdot 10^9$ *мкр/ч · см²/г* Ra; μ — коэффициент ослабления излучения в среде *II*;

$$R_1 = r_0 \operatorname{cosec} \psi; \; R_2 = (r_0 + Д_{i-1}) \operatorname{cosec} \psi; \; R_3 = (r_0 + Д_{i-1} + d_i) \operatorname{cosec} \psi;$$
$$r_i = \Sigma d_i + r_0.$$

Подставив в формулу (3) значение $Q(r_i)$ из выражения (1), получаем

$$I_{т,i} = \frac{4\pi K q_{Ra}}{\mu} \left[1 - \alpha \frac{K_0(br_i)}{K_0(br_0)} \right] \{\Psi(\mu Д_{i-1}) - \Psi[\mu (Д_{i-1} + d_i)]\} = I_\infty X(\alpha, b, r, \mu d), \tag{4}$$

где I_∞ — интенсивность излучения в 4π-геометрии неэманирующей среды с содержанием радия q_{Ra}, *г/см³*.

Функция $\Psi(a) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-a \operatorname{cosec} \psi} \sin\psi \, d\varphi$ имеет следующие значения:

a	$\Psi(a)$	a	$\Psi(a)$	a	$\Psi(a)$
0,00	1,0	0,50	0,500	2,00	0,086
0,05	0,927	0,60	0,446	2,50	0,049
0,10	0,862	0,70	0,394	3,00	0,028
0,15	0,804	0,80	0,349	3,50	0,017
0,20	0,750	0,90	0,309	4,00	0,010
0,25	0,701	1,00	0,277	5,00	0,006
0,30	0,656	1,20	0,216	7,00	0,002
0,40	0,576	1,50	0,152		

Суммарная интенсивность излучения $I_{\infty\,\alpha}$ по оси скважины при удалении выделяющейся из среды II эманации равна

$$I_{\infty,\alpha} = \sum_{i=1}^{\infty} I_{т,i} = I_\infty \sum_{i=1}^{\infty} X_i(\alpha, b, r, \mu d). \tag{5}$$

В связи с малой проникающей способностью излучения ($\mu d \leqslant 7{,}0$) при расчетах можно ограничиться 10—15 членами суммы, постепенно

увеличивая d_1 от 1—2 до 10—20 *см*. Выражение (5) позволяет определить долю потерянного излучения $П_\alpha$ за счет эманирования

$$П_\alpha = \frac{I_\infty - I_{\infty,\alpha}}{I_\infty} = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} X_i(\alpha, b, r, \mu d), \qquad (6)$$

а также поправку на эманирование j_α, которую следует учитывать при интерпретации гамма-каротажных диаграмм [4]

$$j_\alpha = \frac{I_\infty}{I_{\infty,\alpha}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{\infty} X_i(\alpha, b, r, \mu d)}. \qquad (7)$$

Как видно из приведенной таблицы, процент потерянного излучения за счет эманирования достигает существенных значений лишь при $D_{Rn} = 1 \cdot 10^{-4}$ *см²/сек* и более. Если D_{Rn} снижается до $1 \cdot 10^{-5}$ *см²/сек*, что соответствует случаю полного заполнения порового пространства водой, поправка на эманирование составляет 1,03 при $\alpha = 20\%$ и соответственно 1,04 при $\alpha = 30\%$. Процент потерянного излучения в условиях 2π-геометрии повышается по сравнению со скважинными в 2—3 раза, и расхождение значений тем больше, чем меньше коэффициент диффузии D_{Rn}.

Вычисленные значения процента потерянного излучения $П_\alpha$ и поправки на эманирование для гамма-каротажа и радиометрического опробования урановых руд

D_{Rn}, *см²/сек*	α, %	$П_\alpha$			j_α		
		в скважинах r_0		в горной выработке, 2π-геометрии*	в скважинах r_0		в горной выработке, 2π-геометрии*
		3 *см*	6 *см*		3 *см*	6 *см*	
$1 \cdot 10^{-3}$	20	9,4	10,2	16,0	1,10	1,11	1,19
	30	14,1	15,7	23,9	1,16	1,18	1,31
$1 \cdot 10^{-4}$	20	5,8	6,2	11,7	1,06	1,07	1,13
	30	8,5	9,7	17,6	1,09	1,10	1,21
$1 \cdot 10^{-5}$	20	2,4	2,8	6,9	1,03	1,03	1,07
	30	3,6	4,0	10,4	1,04	1,04	1,12

* По формуле И. М. Хайковича [7].

Экспериментально влияние эманирования на результаты каротажа изучали на одном из гидротермальных месторождений мезозойского возраста. Процент потерянного излучения за счет эманирования в скважину определяли сопоставлением линейных запасов урана $q_U H$ (в процентах), полученных при каротаже и опробовании керна. Рассмотрены 86 рудных пересечений с практически полным выходом керна в скважинах диаметром около 120 *мм*, тщательно промытых перед каротажем в целях удаления радона и радоновых вод.

Корреляционная диаграмма значений $q_U H$ по данным каротажа и опробования керна представлена на рис. 2. Точки расположены асимметрично относительно биссектрисы. Уравнение регрессии имеет вид

$$Y = 0{,}95\,X - 0{,}003, \qquad (8)$$

где Y — соответствует результатам каротажа; X — опробования керна.

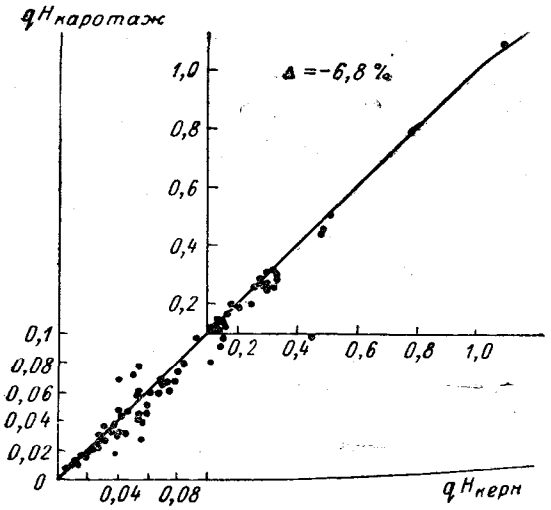


Рис. 2. Сопоставление результатов каротажа и опробования керна при $r_0=6$ *см*

Линейные запасы, полученные при каротаже, оказались в среднем на 6,8% ниже значений $q_U H$ по керну, т. е. $П_\alpha = 6{,}8\%$.

Для этого же месторождения в условиях 2π-геометрии по экспериментальным данным [1] $П_\alpha = 12{,}2\%$; средний коэффициент эманирования порошковых проб равен 24%.

Полученные значения $П_\alpha$ для условий 2π- и 4π-геометрии близки расчетным данным для среды, в которой $D_{Rn}=1\cdot10^{-4}$ *см/сек*, а $\alpha=20\%$ (см. таблицу). Нами не определялись диффузионные параметры сред на месте залегания руд, однако, исходя из общей теории радиоактивных методов [3, 4], такие значения D и α весьма вероятны.

Таким образом, расчеты и эксперименты показали заметную потерю γ-излучателей, когда коэффициент диффузии превышает $1\cdot10^{-4}$ *см*^{2}*/сек* при $\alpha \geqslant 20\%$. Диаметр скважины мало сказывается на потере эманации.

Чтобы оценить поправку на эманирование руд, необходимо экспериментально в условиях естественного залегания изучить диффузионные параметры руд, существенно влияющие на величину $П_\alpha$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцыбашев В. А., Болотников А. Н. Способ определения поправок на эманирование радиоактивных руд в естественном залегании при радиометрическом опробовании. В сб.: Вопросы рудной геофизики, вып. 3. Госгеолтехиздат, 1961.

2. Бондарев В. М. и др. Гамма-опробование урановых руд в естественном залегании. Недра, 1964.

3. Дощечкин В. П., Сердюкова А. С. Некоторые вопросы определения коэффициента диффузии эманаций в горных породах. Изв. вузов. Геология и разведка, № 7, 1969.

4. Новиков Г. Ф., Капков Ю. Н. Радиоактивные методы разведки. Недра, 1965.

5. Овчинников А. К. и др. Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.

6. Путиков О. Ф. К определению поправки на эманирование при гамма-каротаже скважин. Зап. ЛГИ, 1963, т. XLV, вып. 2.

7. Хайкович И. М. Интенсивность гамма-излучения радиоактивных пластов при нестационарной диффузии радона. В сб.: Вопросы разведочной радиометрии. Изд. ВИТР, 1958.