Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1987, т. 111

УДК 550.83

РАЗДЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДОНА И ТОРОНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭМАНАЦИОННОЙ СЪЕМКИ СПОСОБОМ АКТИВНОГО НАЛЕТА

Г.Ф.НОВИКОВ

Способ активного налета приобретает доминирующее значение в методике эманационных работ. Сущность его состоит в том, что в закопушку или шпур помещается камера, представляющая собой пластмассовый стакан или дюралевую трубку, на дно которой помещается адсорбент (металлическая фольга, лавсановая пленка и др.) твердых продуктов распада эманации. Закопушка (шпур) с поставленной в нее вверх дном камерой засыпается рыхлым материалом грунта. Радон и торон, проникая в камеру, распадаются, образуя короткоживущие дочерние продукты с атомными номерами 81–84, частично осаждающиеся на адсорбенте. Через 20–25 ч камера с адсорбентом вынимается. С помощью α-дозиметра регистрируется частота импульсов J_1 и J_2 в моменты времени t_1 и t_2 после извлечения камеры из закопушки, и по этим данным рассчитываются радоновая и тороновая составляющие активности дочерних продуктов распада.

Существующая методика расчетов[x] не учитывает всех особенностей относительного изменения во времени суммарной α-активности дочерних продуктов Rn и Tn (вещества A, B, C, C', C'') и условий их осаждения на сорбенте. Вследствие этого может возникнуть искаженное представление о природе эманационной аномалии, связанное с относительным занижением тороновой составляющей.

Ниже предлагается уточненная методика определения радоновой и тороновой составляющих α-активности способом активного налета.

При выводе аналитических выражений для раздельного определения Rn и Tn учитываются следующие особенности превращения и адсорбции дочерних продуктов эманации:

1. Время полной активации продуктов распада Rn составляет 4 ч, для Tn – около 4 сут.

2. Среди дочерних продуктов Rn имеется два α-излучателя RaA и $Ra(C+C')$, для Tn – один, $Th(C+C')$.

[x] Титов В.К., Венков В.А., Авдеева Т.Л., Кувшинникова Е.И. Экспозиционные эманационные методы поисков месторождений полезных ископаемых. Л., Недра, 1985. 132 с.

3. Концентрация торона $N(z)$, перемещающегося вследствие диффузии на расстояние z от эманирующего слоя к адсорбенту, убывает по закону $N(z)=N_0 \exp(-z\sqrt{\lambda/D})$, где N_0 – концентрация эманации у границы эманирующего слоя; λ – вероятность распада торона; D – коэффициент диффузии его в воздухе. Концентрация Rn практически одинакова во всем объеме камеры.

С учетом этих положений и при условии равновесия RaC и RaC', а также ThC и ThC' суммарная активность дочерних продуктов Rn и Tn в момент времени t_i после извлечения адсорбента из камеры

$$J_i=\lambda_{RaA}N_{RaA,\tau}\,e^{-\lambda_{RaA}t_i}+\lambda_{RaC}N_{RaC,\tau}(t_i)+\lambda_{ThC}N_{ThC,\tau}(t_i,z), \qquad (1)$$

где $N_{j,\tau}$ – относительное число атомов дочернего радионуклида с вероятностью распада λ_j, накопившихся на адсорбенте за время активации τ; $N_{j,\tau}(t_i,z)$ – оставшееся количество атомов спустя время t_i после извлечения адсорбента, находившегося на расстоянии z от эманирующего слоя на дне закопушки.

При экспонировании адсорбента в течение суток дочерние продукты уранового ряда приходят в равновесие с радоном и находятся в состоянии насыщенной активации. Однако за это время образование атомов ThC не достигает насыщения.

Используя формулы радиоактивных превращений и равновесных соотношений нуклидов одного семейства[x], с учетом коэффициента недонасыщения $a_{нд}$ равенство (1) можно записать в виде

$$J_i=\lambda_{Rn}N_{Rn}\left[\frac{N_{RaA,\tau}(t_i)}{N_{RaA,\tau,0}}+\frac{N_{RaC,\tau}(t_i)}{N_{RaC,\tau,0}}\right]+\lambda_{Tn}N_{Tn}a_z a_{нд}\,\frac{N_{ThC,\tau}(t_i)}{N_{ThC,\tau,0}}= \qquad (2)$$

$$=J_{Rn}K_{Rn\,i}+J_{Tn}a_z a_{нд}K_{Tn\,i},$$

где J_{Rn} и J_{Tn} – соответственно радоновая и тороновая составляющие α-активности, отнесенные к подпочвенному воздуху на уровне установки камеры; a_z – коэффициент, учитывающий распад Tn в камере при движении его к адсорбенту; $N_{j,\tau,0}$ – количество атомов радионуклида j, накопившегося на адсорбенте за время τ в момент извлечения камеры ($t=0$) из закопушки; K_j – относительная активность нуклида.

Коэффициент недонасыщения активации для атомов ThC

$$a_{нд}=\frac{\lambda_{ThC}}{\lambda_{ThC}-\lambda_{ThB}}\left[\left(1-e^{-\lambda_{ThB}t}\right)-\frac{\lambda_{ThB}}{\lambda_{ThC}}\left(1-e^{-\lambda_{ThC}t}\right)\right]. \qquad (3)$$

Значения коэффициента K_{ij} для нуклидов уранового и ториевого рядов приведены в табл.I и 2.

---

[x] Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н. Радиоактивные методы разведки. Л., Недра, 1965. 759 с.

Таблица 1

Распад дочерних продуктов Rn спустя время t после насыщенной активации ($\tau_н > 4$ ч)

t, мин	$\frac{N_{RaA}(t)}{N_{RaA,0}}$	$\frac{N_{RaC}(t)}{N_{RaC,0}}$	$\Sigma N_{Ra(A+C)}$	K_{Rn}
0	1,0	1,0	2,0	1,0
1	0,797	1,0	1,797	0,898
3	0,506	0,999	1,505	0,752
5	0,321	0,997	1,318	0,659
10	0,103	0,982	1,085	0,542
20	0,011	0,906	0,917	0,458
30	0,001	0,818	0,819	0,409
60	-	0,505	0,505	0,252
90	-	0,277	0,277	0,138
120	-	0,143	0,143	0,071
180	-	0,035	0,035	0,018
240	-	0,008	0,008	0,004
300	-	0,002	0,002	0,001

Таблица 2

Значения K_{Th} в зависимости от времени активации адсорбента

t, мин	τ, ч		
	10	24	96
0	1,0	1,0	1,0
1	1,0	1,0	1,0
10	1,01	1,01	1,0
60	1,05	1,00	0,99
180	1,01	0,92	0,91
300	0,88	0,82	0,81
600	0,64	0,57	0,56
1200	0,32	0,30	0,29
1440	0,25	0,24	0,23

Для нуклидов ториевого ряда коэффициенты недонасыщения в зависимости от времени активации имеют следующие значения (в числителе – для ThB, в знаменателе – для ThC):

τ, ч	10	20	24	48	96
a_{Hg}	0,480 0,426	0,730 0,706	0,792 0,773	0,956 0,950	0,998 0,995

На основе равенства (2) запишем исходные уравнения для разделения радоновой и тороновой составляющих активности

$$J_1 = J_{Rn} K_{Rn1} + J_{Tn} K_{Tn1}\,; \quad J_2 = J_{Rn} K_{Rn2} + J_{Tn} K_{Tn2}\,. \qquad (4)$$

Решение этой системы дает следующие рабочие формулы для расчета J_{Rn} и J_{Tn}:

$$J_{Rn} = \frac{K_{Tn2}}{\Delta} J_1 - \frac{K_{Tn1}}{\Delta} J_2\,;$$
$$J_{Tn} = \frac{1}{a_{\ell} a_{Hg}} \left(\frac{K_{Rn1}}{\Delta} J_2 - \frac{K_{Rn2}}{\Delta} J_1 \right), \qquad (5)$$

где $\Delta = K_{Rn1} K_{Tn2} - K_{Rn2} K_{Tn1}$.

Принимая время активации адсорбента τ = 24 ч, t_1 = I мин, t_2 = 60 мин, получаем следующие числовые значения коэффициентов: K_{Rn1} = 0,90; K_{Rn2} = 0,25; K_{Tn1} = I,0; K_{Tn2} = I,0; a_{Hg} = 0,77. Тогда равенства (5) принимают вид

$$J_{Rn} = 1{,}54\,(J_1 - J_2)\,; \qquad J_{Tn} = \frac{1{,}3}{a_{\ell}} \left(1{,}38 J_2 - 0{,}38 J_1 \right). \qquad (6)$$

Равенства (6) при других значениях τ и t_i могут быть получены по данным табл.I и 2.

Вычисление коэффициента a_{ℓ} для камер разной формы и размера при том или ином расположении в них адсорбента требует специальных исследований. По данным В.К.Титова, В.А.Венкова, Т.Л.Авдеевой и др., для ℓ, равного 5 и I0 см, коэффициент a_{ℓ} соответственно равен 0,5I и 0,03.