

и учитывая соотношение (1), получаем

$$z_{\text{опт}} = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{x_{\text{опт}}}{\alpha} + \frac{\sigma^2}{2}, \quad (15)$$

где  $x_{\text{опт}}$ , как было показано в работе [7], не зависит от вида распределения и определяется равенством

$$x_{\text{опт}} = \frac{C_T + C_G}{C \varepsilon_G} \text{ кг/т}, \quad (16)$$

где  $C_T$  и  $C_G$  — стоимости транспортировки и металлургической переработки 1 т обогащенной руды;  $\varepsilon_G$  — степень извлечения урана из обогащенной руды в химическом концентрате;  $C$  — отпускная стоимость 1 кг урана.

На рисунке показано семейство кривых, построенных по уравнению (15) и связывающих величины  $z_{\text{опт}}$ ,  $F(z_{\text{опт}})$ ,  $\sigma$ ,  $V$  и  $F(z_{\text{опт}} - \sigma)$  при различных значениях  $\alpha/x_{\text{опт}}$ . Например, если  $\alpha/x_{\text{опт}} = 4$  и  $\sigma = 1$  (что соответствует  $V \approx 130\%$ ), то  $z_{\text{опт}} = -0,9$ ;  $F(z_{\text{опт}}) = 0,18$  и  $F(z_{\text{опт}} - \sigma) = 0,03$ . По формулам (8) — (14) легко найти показатели оптимального режима сортировки:  $\gamma = 0,82$ ;  $\gamma_{\text{хв}} = 0,18$ ;  $\beta_K = \alpha \frac{1-0,03}{1-0,18} = 1,18 \alpha$ ;

$$\beta_{\text{хв}} = \alpha \frac{0,03}{0,18} = 0,17 \alpha; \quad K = \frac{0,97}{0,82} = 1,18; \quad \varepsilon = 0,97; \quad \varepsilon_{\text{хв}} = 0,03.$$

Решение вопроса о целесообразности проведения сортировки. Проведение обогащения при данном оптимальном режиме в зависимости от ряда факторов может быть целесообразным или нецелесообразным. В работе [7] показано, что радиометрическое обогащение целесообразно проводить, если его режим обеспечивает выполнение неравенства

$$(\gamma_{\text{хв}})_{\text{опт}} \geq \frac{C_0}{C_T + C_G} + \frac{\alpha}{x_{\text{опт}}} (1 - \varepsilon_{\text{опт}}), \quad (17)$$

где  $C_0$  — стоимость радиометрического обогащения 1 т исходной руды.

На рисунке построены кривые

$$(\gamma_{\text{хв}})_{\text{опт}} = \frac{C_0}{C_T + C_G} + \frac{\alpha}{x_{\text{опт}}} (1 - \varepsilon_{\text{опт}}), \quad (18)$$

которые соответствуют наименьшим значениям выхода хвостов  $(\gamma_{\text{хв}})_{\text{опт}} = F(z)$ , обеспечивающим выполнение неравенства (17). Таким образом, для условий приведенного выше примера при  $\frac{C_0}{C_T + C_G} = 0,05$  целесообразно проводить сортировку, так как «точка» оптимального режима расположена выше линии «целесообразности сортировки» при  $\frac{C_0}{C_T + C_G} = 0,05$ , а при  $\frac{C_0}{C_T + C_G} = 0,1$  — нецелесообразно.

Поступило в Редакцию 9/IX 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G. Matheron. Ann. mines. No. 9, p. 566 (1957).
2. P. Formery, V. Ziegler. Proc. of the Second Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, UNO, 1958, V. 6, p. 1246.
3. J. Aitchison, J. Brown. The Lognormal Distribution. Cambridge University Press, 1957.
4. Н. К. Разумовский. Логарифмический нормальный закон распределения вещества и его свойства. «Зап. Ленинградского горного ин-та». Т. 20, Л., 1948.
5. Д. А. Родионов. Функции распределения содержания элементов и минералов в изверженных горных породах. М., «Наука», 1964.
6. Л. Ч. Пухальский. Теория контрастности урановых руд. М., Госатомиздат, 1963.
7. И. А. Андрушин и др. О целесообразности проведения радиометрического обогащения урановых руд и выборе оптимального уровня разделения при обогащении. «Атомная энергия», 19, 79 (1965).

УДК 553.495

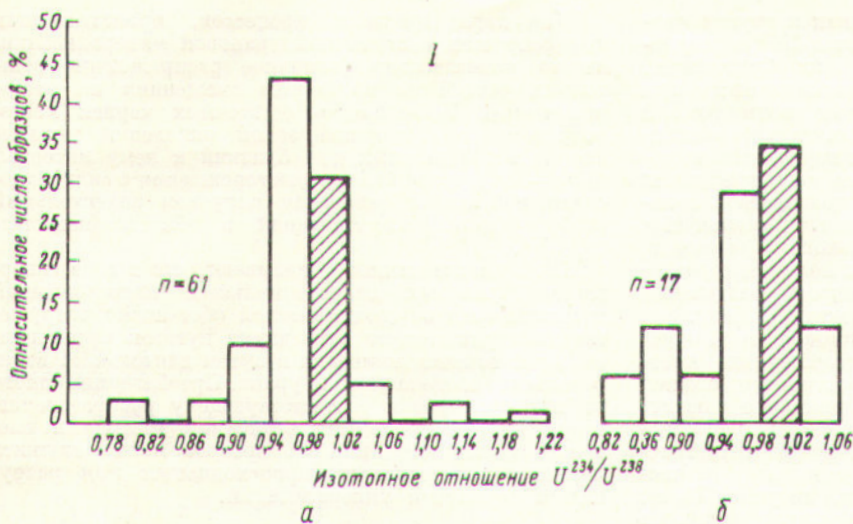
## Изотопное смещение между $U^{234}$ и $U^{238}$ во вторичных урановых минералах некоторых месторождений гидротермального типа

Н. И. Чалов, Я. А. Мусин, Т. В. Тузова, К. И. Меркулова

В соответствии с механизмом, предложенным для объяснения нарушений изотопного равновесия между  $U^{234}$  и  $U^{238}$  в природных условиях [1], для вторичных урановых минералов гидротермальных месторождений нельзя ожидать больших отклонений отношения  $U^{234}/U^{238}$  от равновесного. Результаты, полученные в работе [2], в основном подтвердили эту предпосылку. В дальнейшем изотопное отношение  $U^{234}/U^{238}$  в урановых минералах исследовалось также в работах [3, 4].

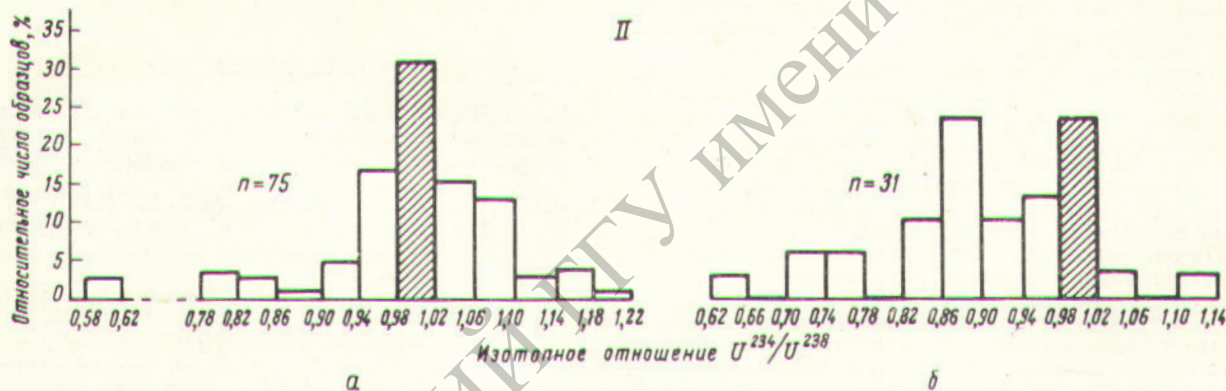
В настоящем сообщении сравниваются изотопные отношения  $U^{234}/U^{238}$  во вторичных урановых минералах двух гидротермальных месторождений, которые отличаются составом вещества, вмещающего урановое оруденение, и имеют вследствие этого различные типы зон окисления [5]: слюдяную и силикатно-слюдяную.

Изотопное отношение  $U^{234}/U^{238}$  в минералах после предварительного выделения из них урана и очистки



Распределение вторичных минералов по величинам изотопных отношений  $U^{234}/U^{238}$  для месторождений со слюдяной (I) и силикатно-слюдяной (II) зонами окисления ( $n$  — число проанализированных образцов):

$a$  — переотложенные минералы;  
 $b$  — остаточные черны.



от других радиоактивных элементов определялось путем  $\alpha$ -спектрометрических измерений на ионизационном  $\alpha$ -спектрометре с разрешением 60—70 кэв (полуширина линии) для линий изотопов урана. Результаты измерений обрабатывались по обычной схеме неравноточных измерений [6, 7].

В настоящей работе изотопное отношение  $U^{234}/U^{238}$  изучено для 184 образцов урановых минералов. Результаты исследований приводятся на рисунке в виде гистограмм распределения минералов по изотопным смещениям. По горизонтальной оси отложены интервалы изотопных смещений, а по вертикальной — относительное число образцов минералов с изотопным отношением  $U^{234}/U^{238}$  в указанных интервалах. Интервал 0,98—1,02 соответствует равновесному отношению изотопов урана, так как наибольшая ошибка определения изотопных смещений в минералах составляет 2%.

**Месторождение со слюдяной зоной окисления.** В зоне окисления этого месторождения развиты два основных вторичных минерала — отенит и метаторбернит, в зоне цементации — небольшие количества остаточных и переотложенных черней.

В большинстве случаев переотложенные минералы месторождения (см. рисунок, I, а) характеризуются

равновесием или небольшим недостатком  $U^{234}$ ; лишь около 8% имеет избыток  $U^{234}$ . В максимальном числе образцов изотопное отношение  $U^{234}/U^{238}$  лежит в интервале 0,94—0,98. Остаточные черны характеризуются примерно таким же распределением по величинам изотопных отношений  $U^{234}/U^{238}$  (см. рисунок, I, б) с той лишь разницей, что максимальное число образцов попадает в равновесный интервал.

Прежде чем перейти к обсуждению полученных результатов, отметим, что образование равновесных переотложенных минералов за счет настурана или других равновесных минералов возможно лишь путем их полного растворения, так как процессы выборочного выщелачивания приводят, с одной стороны, к образованию переотложенных минералов с изотопным отношением  $U^{234}/U^{238}$ , большим единицы, с другой, — к недостатку  $U^{234}$  в объекте выщелачивания. С этих позиций полученные данные позволяют сделать вывод, что на рассматриваемом месторождении разрушение настурана в гипергенных условиях происходило преимущественно путем растворения, а не избирательного выщелачивания. В результате у вторичных минералов зоны окисления в момент образования было равновесное соотношение изотопов урана. В ряде случаев (около 30%) это отношение сохрани-

лось до настоящего времени, тогда как в других произошло обеднение вторичных минералов  $U^{234}$  в результате выщелачивания урана уже после их образования.

Этот вывод, следующий из рассмотрения изотопных смещений в минералах, соответствует геохимической обстановке, характерной для месторождений со слюдяной зоной окисления вообще и для изученного месторождения в частности. На подобных месторождениях настуран сопровождается большим количеством сульфидов, в результате чего при окислении первичных руд имеются все условия для обильного образования серной кислоты. Последняя способна полностью разложить настуран, исключая возможность разделения изотопов урана при переходе их в жидкую фазу.

**Месторождение с силикатно-слюдяной зоной окисления.** Зона окисления этого месторождения представлена уранофаном, менее распространены отенит, тьямунит и фосфорно-мышьяковые урановые слюдки, а также встречается остаточная чернь. В переотложенных минералах обнаруживается почти симметричное распределение по изотопным сдвигам с максимумом в равновесном интервале (см. рисунок, II, а). Равновесным отношением  $U^{234}/U^{238}$  характеризуется приблизительно треть образцов. У большинства остаточных черней (около 70%) изотопное отношение меньше единицы, около 25% оказывается равновесным (см. рисунок, II, б).

Полученные данные приводят к заключению о том, что на втором месторождении широко развито выщелачивание урана не только из вторичных минералов, но и из настурана. Последнее, очевидно, обусловлено ничтожным содержанием сульфидов в первичных рудах месторождений с силикатно-слюдяной зоной окисления, вследствие чего сульфатное разрушение настурана не является преобладающим.

Таким образом, на месторождении со слюдяной зоной окисления переотложенные минералы чаще характеризуются недостатком  $U^{234}$ , а на месторождении с силикатно-слюдяной зоной — его избытком. По-видимому, отношение  $U^{234}/U^{238}$  во вторичных минералах во время их образования было на первом месторождении равновесным, а на втором преимущественно характеризовалось избытком  $U^{234}$ . Естественно, что при последующем выщелачивании  $U^{234}$  из переотложенных минералов обоих месторождений для снижения отношения  $U^{234}/U^{238}$  до величин, меньших единицы, в минералах месторождений с силикатно-слюдяной зоной окисления, при прочих равных условиях, потребовалось значительно больше времени.

Для характеристики процессов, происходивших при разрушении первичной урановой минерализации, весьма показательно различное распределение остаточных черней по изотопным смещениям на месторождениях. Большинство остаточных черней месторождения со слюдяной зоной окисления укладывается в равновесный или близкий к нему интервал (0,94—0,98), тогда как для месторождения с силикатно-слюдяной зоной окисления получаем значительный разброс изотопных смещений в области недостатка  $U^{234}$ .

Изложенные данные показывают, что в зоне гипергенеза урановых гидротермальных месторождений в зависимости от геохимической обстановки разрушение настурана может идти двумя путями: путем полного растворения минерала и путем длительного избирательного выщелачивания урана. Преобладание одного из них приводит к соответствующему распределению вторичных минералов по величинам изотопных смещений между  $U^{234}$  и  $U^{238}$ , которое может служить индикатором процессов, происходивших при разрушении первичной минерализации.

Поступило в Редакцию 9/IX 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Чердынецев В кн. «Труды III сессии Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций». М., Изд-во АН СССР, 1955, стр. 175.
2. П. И. Чалов. «Геохимия», № 2, 165 (1959).
3. Ю. В. Громцев и др. В сб. «Вопросы рудной радиометрии». Под ред. В. Л. Шашкина. М., Госатомиздат, 1962, стр. 238.
4. К. Е. Иванов, Р. К. Кудряшова. В сб. «Вопросы прикладной радиогеологии». Под ред. Д. Я. Суражского. М., Госатомиздат, 1963, стр. 244.
5. Г. С. Грицаенко и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Докл. советск. ученых. Т. 3. М., Атомиздат, 1959, стр. 127.
6. А. Уорсинг, Дж. Геффнер. Методы обработки экспериментальных данных. М., Изд-во иностр. лит., 1949.
7. Б. М. Шиголов. Математическая обработка наблюдений. М., Физматгиз, 1962.

УДК 543.52

## Измерение малых активностей радия сцинтилляционной камерой с электростатическим полем

Л. В. Горбушина, Г. С. Семенов, В. Г. Тыминский

Развитие атомной техники выдвинуло задачу определения малых количеств изотопов радия и продуктов его распада в природных и отработанных технологических водах, а также в воздухе производственных помещений [1—4]. Чувствительность серийной аппаратуры, используемой для определения активности

естественных и искусственных  $\alpha$ -излучателей (эманаций или аэрозольей), часто оказывается недостаточной [1]. Один из путей повышения чувствительности приборов связан с возможностью увеличения коэффициента использования  $\alpha$ -излучения продуктов распада радона и чувствительности сцинтилляционной камеры. Для