

Чувствительность эмиссионных детекторов,  
пА/(Р/с)

| Материал<br>эммитера | Энергия,<br>МэВ | Расчет     |           | Эксперимент     |
|----------------------|-----------------|------------|-----------|-----------------|
|                      |                 | без трубки | с трубкой |                 |
| $^{73}\text{Ta}$     | 1,25            | 2,34       | 2,60      | $2,32 \pm 0,18$ |
|                      | 0,661           | 5,70       | 2,82      | —               |
|                      | 0,412           | 5,60       | 1,82      | —               |
| $^{40}\text{Zr}$     | 1,25            | 0,62       | 0,73      | $0,60 \pm 0,04$ |
|                      | 0,661           | 1,01       | 0,50      | —               |
|                      | 0,412           | 4,32       | 1,81      | —               |
| $^{26}\text{Fe}$     | 1,25            | 0,14       | 0,82      | $0,22 \pm 0,03$ |
|                      | 0,661           | 0,13       | 0,92      | —               |
|                      | 0,412           | 0,07       | 1,82      | —               |

зы, равное 1240 и 1640 Р/с для установок К-120000 и К-200000 соответственно.

Токи детекторов регистрировались электрометром ДФГ2-20, мощность экспозиционной дозы измерялась дозиметром ДРГ2-03 с выносной ионизационной камерой. Экспериментальная погрешность определения чувствительности для детекторов с эммитерами из тантала, циркония и нержавеющей стали равна  $\pm 8$ ,  $\pm 9$  и  $\pm 10\%$  соответственно.

Как видно из таблицы, для детекторов с эммитерами из тантала и циркония соответствие расчета и эксперимента при энергии  $\gamma$ -квантов 1,25 МэВ вполне удовлетворительное. Это подтверждает правильность нашего предположения о том, что чувствительность такого

типа детекторов определяется в основном быстрыми электронами. Для детектора с эммитером из нержавеющей стали, как и следовало ожидать, расхождение расчетной и экспериментальной чувствительности значительно. Эммитер и коллектор этого детектора имеют одинаковый атомный номер, поэтому в расчетах чувствительности необходимо учитывать вклад медленных электронов. Детектор с эммитером из тантала и с кварцевой трубкой между электродами имеет наименьшую зависимость чувствительности от энергии  $\gamma$ -квантов. Отклонение его чувствительности от средней величины не превышает  $\pm 25\%$ . Детекторы без кварцевой трубки имеют гораздо более сильную зависимость чувствительности от энергии  $\gamma$ -квантов.

Поступило в Редакцию 10/1 1975 г.

В окончательной редакции 20/X 1975 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухачев Б. В. и др. В сб.: Ядерное приборостроение. Вып. XVII. М., Атомиздат, 1972, с. 63.
2. Мухачев Б. В. и др. In: Proc. IAEA Symp. «Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine». Vienna, May 1972, p. 515.
3. Иванов В. И. и др. Там же, р. 663.
4. Кулаков Г. В. Канд. дис. М., МИФИ, 1973.
5. Кулаков Г. В. и др. «Измерительная техника. Метрология», 1974, № 5, с. 69.
6. Смирнов В. В. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия. Вып. 3. М., Атомиздат, 1972, с. 161.
7. Mar B. Boing Rep. D2-90414, 1963.
8. Oda N., Sudzuki H. «J. Phys. Soc. Japan», 1960, v. 15, p. 2365.
9. Брегер А. Х. и др. Основы радиационно-химического аппаратостроения. М., Атомиздат, 1967.

УДК 550.424:553.492

## К вопросу о миграции радиогенного свинца при гидротермальном метаморфизме урановых минералов

ЕРШОВ В. М.

В большинстве урановых и урансодержащих минералов свинец присутствует в двух формах и имеет коэффициенты диффузии  $10^{-6}$  и  $10^{-20}$  см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>. Около половины радиогенного свинца, содержащегося в этих минералах, может легко покидать минеральный агрегат без видимых его изменений [1—4]. В связи с возможностью формирования ореолов вокруг зон урановой минерализации вопрос о миграции радиогенного свинца приобретает практическое значение.

Гидротермальный метаморфизм урановых минералов докембрийских месторождений привел к выделению части радиогенного свинца в самостоятельную минеральную фазу [4—6]. На изучаемом объекте минерализация имеет возраст около 1800 млн. лет. Более поздний метаморфизм, протекавший, как установил А. И. Тугаринов, в палеозойский период обусловил образование галенита с радиогенным свинцом. При этом агрегаты настурана и уранинита в основном сохранили форму своих первичных выделений. Следовательно, можно говорить о преимущественной миграции радиогенного свинца.

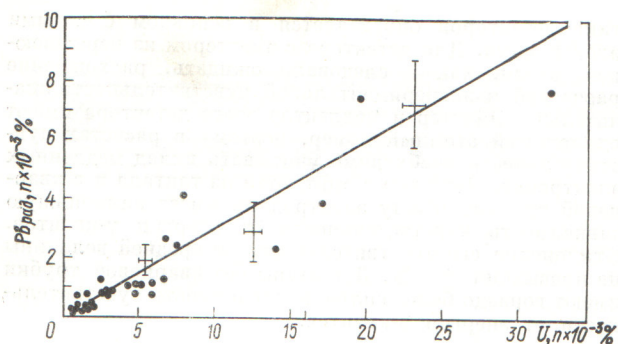
Для исследуемой минерализации расчетное значение отношения радиогенного свинца к урану равно  $0,306 \approx 0,31$ . Доля радиогенного свинца в минерализован-

Отношение Pb/U  
в технологических пробах

Таблица 1

| Тип минерализации               | Pb/U           |
|---------------------------------|----------------|
| Силикатный                      | 0,308<br>0,298 |
| Железкарбонатный                | 0,274<br>0,306 |
| Карбонатный                     | 0,296          |
| Среднее . . . $0,297 \pm 0,013$ |                |





Зависимость концентрации радиогенного свинца во вмещающих горных породах от концентрации урана

ных зонах составляет 0,94—0,96, поэтому поправку на примесь обыкновенного свинца можно не вносить.

Так как определить свинцово-урановое отношение во всем объеме минерализованных зон нельзя, то можно использовать результаты определения свинцово-урановых отношений в пяти технологических пробах (табл. 1). Отклонение среднего значения этого отношения от расчетного не превосходит аналитической погрешности.

Из тех же зон была отобрана еще 51 аналогичная проба. Среднее значение свинцово-уранового отношения оказалось равным 0,307. Это позволяет заключить, что практически весь радиогенный свинец находится в пределах минерализованных зон и средняя длина его миграции при метаморфизме существенно меньше размеров этих зон. Аналогичная картина наблюдается и на месторождениях Витватерсранда [1].

В работе [6] приводятся данные о содержании свинца в рудах докембрийских урановых месторождений, на основании которых авторы приходят к выводу о миграции радиогенного свинца за пределы рудных тел и образовании обширных ореолов рассеяния. Если эти данные относятся к случайным 66 пробам, то можно сопоставить величину средней длины миграции радиогенного свинца с размерами рудных тел. Без учета допущенных погрешностей среднее значение отношения фактического содержания свинца к расчетному, вычисленному по концентрации урана, равно 0,99. С учетом только арифметических погрешностей при определении расчетного содержания свинца это отношение равно 1,03. Следовательно, и в данном случае весь радиогенный свинец находится в пределах рудных тел и средняя длина его миграции меньше размеров рудных тел.

Этот вывод подтверждается отсутствием избытка радиогенного свинца в околорудном пространстве, так как содержание свинца соответствует концентрации урана ( $Pb = 0,001 \pm 0,3 U$ , %). В области низких концентраций урана ( $< 0,003\%$ ) эта зависимость становится менее четкой вследствие вариаций содержания примесного свинца и соотношения между ураном и свинцом могут быть какими угодно, что, однако, не свидетельствует об избытке или недостатке радиогенного свинца. В пробах с низким содержанием урана нет избытка радиогенного свинца [угловой коэффициент уравнения регрессии соответствует возрасту минерализации (рисунок)].

Таким образом, можно сделать общий для метаморфизованных месторождений и рудных зон вывод:

средняя длина миграции радиогенного свинца при метаморфизме намного меньше размеров рудных тел.

В однородной среде при неравномерном распределении урана соотношения радиогенного свинца и урана зависят от соизмеримости линейных размеров штучных проб и средней длины миграции радиогенного свинца. Если размер проб равен удвоенной длине миграции свинца или больше ее, то свинцово-урановые отношения должны соответствовать абсолютному возрасту. При этом зависимость средней длины миграции свинца  $l$  от размера штучной пробы массой  $Q$  можно представить выражением

$$l = \sqrt[3]{3Q/4\pi\rho},$$

где  $\rho$  — удельная масса, а размер пробы аппроксимирован размером шара соответствующей массы.

В табл. 2 приведены средние значения свинцово-

Средние значения отношения Pb/U Таблица 2

| Масса пробы, кг | Тип минерализации |             |
|-----------------|-------------------|-------------|
|                 | Железокарбонатный | Силикатный  |
| 0,001—0,01      | 0,40±0,27         | —           |
| 0,1—1,0         | 0,338±0,080       | 0,346±0,208 |
| 1,0—2,0         | 0,315±0,082       | 0,654±0,363 |
| 2,0—5,0         | 0,320±0,014       | 0,33        |
| 5,0—40,0        | —                 | 0,340±0,040 |

урановых отношений, вычисленные по результатам анализа 5—7 проб каждого весового класса. По этим данным средняя длина миграции свинца для минерализации железокарбонатного типа, определенная указанным способом, равна 5,4—7,5 см, а для минерализации силикатного типа ~ 9,3 см.

Среднее значение свинцово-уранового отношения по 47 ядерным пробам, имеющим размер по оси зерна 0,5 м и отобраным без пропусков по всей зоне минерализации, равно  $0,31 \pm 0,01$ , точно соответствует расчетному и согласуется с величиной средней длины миграции радиогенного свинца.

Знание средней длины миграции радиогенного свинца позволяет объективно выбрать для геохронологических исследований образцы, в котором урано-свинцовую систему можно считать «закрытой». Гидротермальный метаморфизм, очевидно, не всегда ведет к рассеянию радиогенного свинца в околорудном пространстве.

Поступило в Редакцию 30/I 1975 г.  
В окончательной редакции 19/XII 1975 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тугаринов А. И., Бибилова Е. В., Зыков С. И. «Атомная энергия», 1964, т. 16, вып. 4, с. 332.
2. Брандт С. Б., Вороновский С. Н. «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1963, № 7, с. 83.
3. Киркинский В. А., Макаров Е. С. В сб.: Проблемы геохимии. М., «Наука», 1965, с. 463.
4. Ершов В. М. «Геохимия», 1974, № 10, с. 1565.
5. Либенберг У. В сб.: Геология атомного сырья. М., Атомиздат, 1959, с. 377.
6. Тарханов А. В., Жукова В. И. «Атомная энергия», 1973, т. 34, вып. 6, с. 455.