

3. Увеличение значений  $\alpha$  не всегда означает повышение плотности полюсов [100] в направлении измерения. Об этом свидетельствуют полюсные фигуры  $D$  и  $Z$  (текстура однотипна). Образец  $D$  имеет более высокий коэффициент термического расширения, чем образец  $Z$  ( $16,0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  и  $15,3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  соответственно), в то время как индекс роста, рассчитанный по полюсной фигуре  $D$ , составляет  $-1,96$ , а по полюсной фигуре  $Z$   $GI = -2,55$ . Это объясняется относительным увеличением плотности полюсов [001] в направлении оси прутка (см. полюсную фигуру  $D$ ).

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что измерения среднего коэффициента термического расширения в одном каком-либо направлении не позволяют судить о соотношении вклада отдельных полюсов текстуры, а следовательно, такие данные нельзя использовать для предсказания анизотропного радиационного роста урановых изделий.

Поступило в Редакцию 15/VII 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Вуклеу. Institute of Metals Symposium on Uranium and Graphite. Paper 6. London, March, 1962.

2. Ф. Г. Фут. В кн. «Металлургия ядерной энергетики и действие облучения на материалы. Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955)». Докл. иностр. ученых. М. Metallurgizdat, 1956, стр. 89.

3. С. Т. Конобеевский и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. (Женева, 1958)». Докл. советских ученых. Т. 3. М. Атомиздат, 1959, стр. 396.

4. С. Г. Пейн, Дж. Киттел. См. [2], стр. 642.

5. E. Sturcken, W. McDonnell. J. Nucl. Mat., 7, 85 (1962).

6. В. Е. Иванов и др. «Атомная энергия», 18, 357 (1965).

7. G. Harris. Philos. Mag., 43, 113 (1952).

8. L. Jetter, C. McHargue. J. Metals, 9, 291 (1957).

9. В. Е. Иванов и др. «Атомная энергия», 16, 325 (1964).

10. А. Н. Холден. Физическое металловедение урана. М., Metallurgizdat, 1962, стр. 103.

## Содержание урана в сульфидах как индикатор уранового оруденения

Э. Н. БАРАНОВ, Г. И. ВЕРТЕЦОВ

УДК 550.42:546.791

В последние годы проведено много работ по изучению распределения урана в горных породах. Однако данные по содержанию урана в отдельных минералах, в особенности в минералах рудных месторождений, скудны.

По мнению В. Л. Барсукова [1], общее повышение концентрации урана в гидротермальных образованиях не приводит к увеличению содержания урана в неурановых жильных и рудных минералах. По данным Х. Райта, Ч. Смита и Д. Хутта [2], содержание урана в пиритах, сфалеритах и галенитах жильных ураносодержащих месторождений США составляет  $(1 \div 78) \times 10^{-4}\%$ . Н. А. Ворошилов и Ю. И. Михайлова [3] указывают, что содержание урана в галените и пирите урановых гидротермальных месторождений превышает  $7 \cdot 10^{-3}\%$ , тогда как содержание урана в галенитах полиметаллических месторождений ниже  $1 \cdot 10^{-4}\%$ .

Авторы настоящей работы принимали участие в разработке геохимических методов поисков скрытых урановых рудных тел и месторождений по первичным ореолам рассеяния [4]. Показателями скрытых урановых рудных тел часто являются первичные ореолы рассеяния элементов — спутников урана (свинец, цинк, молибден и другие), представленные в основном тонкой вкрапленностью сульфидов во вмещающих породах.

При оценке геохимических аномалий необходимо различать ореолы рассеяния свинца, цинка, молибдена и других элементов, связанные со скрытыми урановыми рудными телами, и ореолы неурановых рудных проявлений. Высказывалось мнение [3], что одним из признаков различия может быть величина содержания урана в сульфидах, входящих в состав жил и прожилков и рассеянных во вмещающих породах.

С целью проверки этого положения было изучено содержание урана в сульфидах урановых и неурановых полиметаллических месторождений.

Содержание урана в сульфидах определяли люминесцентным методом с предварительной химической обработкой проб. Для разложения сульфидов пробы кипятили со смесью концентрированных азотной и соляной кислот (1:1). Концентрацию урана в перлах определяли визуально путем сравнения со стандартами. При навеске пробы 0,2 г чувствительность метода составляет  $2 \cdot 10^{-5}\%$ , при навеске 0,5 г —  $1 \cdot 10^{-5}\%$ . Для содержаний  $1 \cdot 10^{-5}$ — $1 \cdot 10^{-4}\%$  точность определения равна  $\pm 30\%$ , для содержаний выше  $1 \cdot 10^{-4}\%$  равна  $\pm 20\%$ . Аналитическая часть работы выполнена Б. М. Еловым и А. К. Цветковым.

Содержание урана в пирите и галените, рассеянных во вмещающих породах, изучалось на гидротермальном урановом месторождении настурин-сульфидной формации, залегающем в палеозойской эффузивно-осадочной толще. Рудные тела, представленные сериями крутопадающих жил и прожилков, сопровождаются зонами пиритизации и ореолами рассеяния урана, свинца, молибдена, меди, цинка и серебра. Для выделения пирита и галенита, рассеянных во вмещающих породах, отбирались штуфные пробы весом до 0,5 кг, которые дробились до крупности 0,25 мм, затем фракционировались в бромформе. Из полученных тяжелых фракций под бинокулярным микроскопом отбирались пробы чистого пирита и галенита.

Содержание урана в пирите и галените, рассеянных во вмещающих породах, как правило, превышает  $1 \cdot 10^{-4}\%$  и достигает  $1 \cdot 10^{-2}\%$  и более (см. рисунок, 1). Определено высокое содержание урана в сульфидах,

отобранных из пород на небольшом удалении от рудных тел, причем в пиритах содержится урана больше, чем в галенитах, отобранных из одних и тех же проб. Содержание урана в галените из рудных прожилков всегда превышает 0,01% (достигает 0,5—1%).

Ураноносность сульфидов жильных образований изучалась на урановом месторождении, залегающем в граносиенит-порфирах и кварцевых порфирах. На месторождении выделяются три типа прожилков: ранние анкерит-сульфидные и сульфидные, настурановые (с сульфидами) и поздние кварц-барит-флюорит-кальцитовые (с сульфидами). Предполагается, что все прожилки сформированы в последовательные стадии единого гидротермального процесса. Из прожилков различного типа были отобраны и проанализированы на содержание урана сульфиды железа, свинца, цинка и меди. Содержание урана в сульфидах из настурановых прожилков превышает 0,02%. Содержание урана в сульфидах анкерит-сульфидных и сульфидных прожилков составляет  $3 \cdot 10^{-4}$ — $6 \cdot 10^{-3}$ % (см. рисунок, II), в сульфидах кварц-барит-флюорит-кальцитовых прожилков — от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$ %, превышая в основном величину  $1 \cdot 10^{-4}$ % (III).

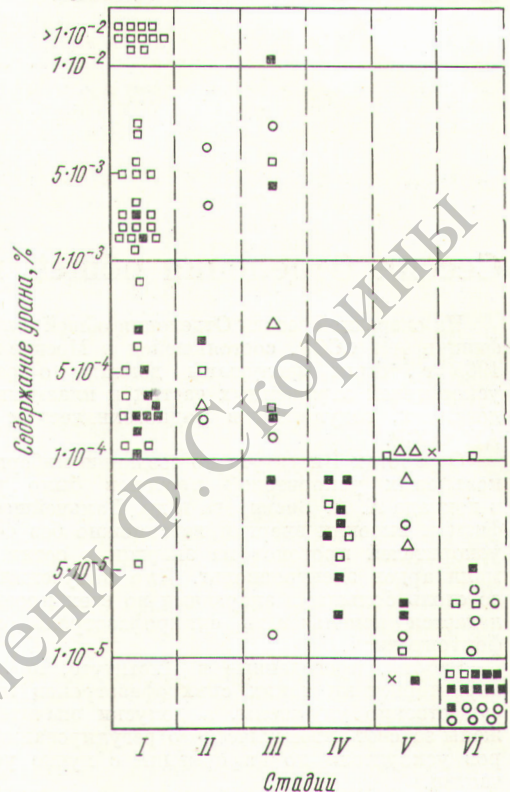
Содержание урана в пирите и галените свинцовых месторождений и рудопоявлений, находящихся в тех же рудных полях, где и отмеченные выше урановые месторождения, составляет  $(3 \div 9) \cdot 10^{-5}$ % (см. рисунок, IV). Аналогичные и более низкие содержания урана установлены в сульфидах полиметаллических месторождений других рудных районов (V и VI).

Из полученных данных следует (см. рисунок), что сульфиды урановых месторождений, входящие в состав настурановых прожилков, слагающие жилы и прожилки, лишены видимых урановых минералов, а также рассеянные в виде вкрапленности во вмещающих породах, содержат более высокие концентрации урана, чем сульфиды неурановых месторождений. В первых содержания урана, как правило, превышает  $1 \cdot 10^{-4}$ %, а во вторых — обычно ниже  $1 \cdot 10^{-4}$ %.

Интересен факт повышения содержания урана в сульфидах гидротермальных образований неурановых стадий минерализации на урановом месторождении. Если повышенные содержания урана в сульфидах послеурановой стадии можно связать с растворением ранее отложенного настурана, то аномальные содержания урана в сульфидах ранних анкерит-сульфидных и сульфидных прожилков свидетельствуют о повышенной концентрации урана уже в ранних порциях гидротермальных растворов при образовании данного месторождения. Это может служить дополнительным доказательством геохимического единства многостадийного процесса минералообразования на урановых месторождениях.

В результате микрорадиографического анализа было установлено, что высокое (более 0,01%) содержание урана в сульфидах обусловлено микровключениями урановых минералов (по-видимому, окислов урана). Это подтверждается наличием на микрорадиографиях сульфидов с высоким содержанием урана скопленных следов  $\alpha$ -частиц, испускаемых точечными источниками. В сульфидах с более низким содержанием урана (менее 0,01%) устанавливается равномерно рассеянное распределение урана. Последнее, по мнению некоторых исследователей [2], обусловлено адсорбцией урана сульфидами во время их кристаллизации, а не расположением урана в решетке сульфидов.

Заметная разница в содержаниях урана в сульфидах урановых и неурановых месторождений позволяет использовать их для разделения проявлений сульфид-



Содержание урана в сульфидах:

I — рассеянные во вмещающих породах уранового месторождения; II — ранние анкерит-сульфидные и сульфидные прожилки; III — поздние кварц-барит-флюорит-кальцитовые прожилки; IV — свинцовые месторождения и рудопоявления; V — полиметаллические месторождения в эффузивно-осадочных породах; VI — полиметаллические месторождения в карбонатно-терригенных породах; □ — пирит; ■ — галенит; △ — халькопирит; ○ — сфалерит; × — блеклые руды.

ной минерализации, генетически связанной с урановым оруденением, от сульфидных проявлений, не связанных с урановым оруденением. Это имеет практическое значение при геохимических поисках скрытых урановых рудных тел и месторождений.

В заключение авторы выражают благодарность Б. М. Елоеву и А. К. Цветкову, которые принимали участие в настоящей работе.

Поступило в Редакцию 2/VIII 1965 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вик, Л. Барсуков, Г. Б. Наумов, Н. Т. Соколова. В сб. «Основные черты геохимии урана». М., Изд-во АН СССР, 1963.
2. Н. Wright, C. Smith, I. Hutt. 21st Internat. Geol. Congr. 1960, Part XVI, Genetic Problems of Ores. Copenhagen, 1960.
3. А. Н. Боголюбов. В кн. «Использование ореолов рассеяния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений». М., «Недра», 1954, стр. 142.
4. Е. М. Янишевский и др. Эндеогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. М., Гостеолтехиздат, 1963.