

## ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ РУД ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЛЬШОЙ КАРАН (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2018 г. С. Е. Знаменский<sup>1</sup>, Н. Н. Анкушева<sup>2,3</sup>, Н. М. Знаменская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа. E-mail: Znamensky\_Sergey@mail.ru*

<sup>2</sup> *Институт Минералогии УрО РАН, г. Миасс. E-mail: ankusheva@mail.ru*

<sup>3</sup> *Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе*

Месторождение Большой Каран, относящееся к нетрадиционному для Урала золото-порфирового типу, расположено в зоне Главного Уральского разлома в 33 км северо-восточнее города Учалы Республики Башкортостан. Оно приурочено к южному окончанию Вознесенского массива габбро-диорит-диоритового состава ( $D_1?$ ). Массив залегает среди меланжированных серпентинитов, содержащих блоки нижнедевонских известняков, базальтов, диабазов и кремней неизвестного возраста и пироксенитов. Рудные тела представляют собой линейные сульфидно-карбонатно-кварцевые штокверки и зоны дробления с сульфидно-карбонатно-кварцевым цементом (рис. 1), тесно пространственно связанные дайками габбро-диорит-порфиридов, диорит-порфиридов и плагиогранит-порфиридов [3]. Гранитоиды, слагающие рудоносные дайки, и вмещающие их рогово-обманковые габбро-диориты и диориты Вознесенского массива относятся к типу островодужных известково-щелочных магматитов нормальной щелочности. Околорудные метасоматиты имеют карбонат-серицит-кварцевый состав. Среди сульфидов преобладает пирит в подчиненном количестве присутствуют арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит и антимонит.

Модели формирования золото-порфировых месторождений разработаны главным образом на примере проявлений, развитых на активных континентальных окраинах [5, 9]. Условия образования золото-порфировых месторождений в энзиматических островодужных системах изучены значительно слабее. С целью выяснения физико-химических параметров и источников минералообразующих флюидов нами на месторождении Большой Каран исследованы флюидные включения и изотопный состав серы, углерода и кислорода в минералах руд. Ранее термобарогеохимические и изотопные исследования на месторождении не проводились.

Флюидные включения изучены в карбонате рудных прожилков, который по данным термического анализа является кальцитом. Флюидные включения в кальците из прожилково-вкрапленных руд месторождения Большой Каран проанализированы с помощью микротермокамеры TMS-600 (Linkam) с использованием оптического микроскопа Olympus BX 51 и программного обеспечения LinkSystem 32 DV-NC в лаборатории термобарогеохимии Южно-Уральского государственного университета (г. Миасс). Погрешность измерительной аппаратуры составляет  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  в интервале  $-20...+80^\circ\text{C}$  и  $\pm 1^\circ\text{C}$  — за пределами этого интервала. Солевой состав растворов оценивался по температурам эвтектик [1]. Концентрации солей в растворах рассчитаны по температурам плавления последних кристаллических фаз во включениях [6].

Кальцит образует изометричные прозрачные или полупрозрачные зерна, тонкие прожилки или скрытокристаллические скопления с характерным двупреломлением. В нем встречены первичные (I), первично-вторичные (II) и вторичные (III) включения (рис. 2) [2, 4].

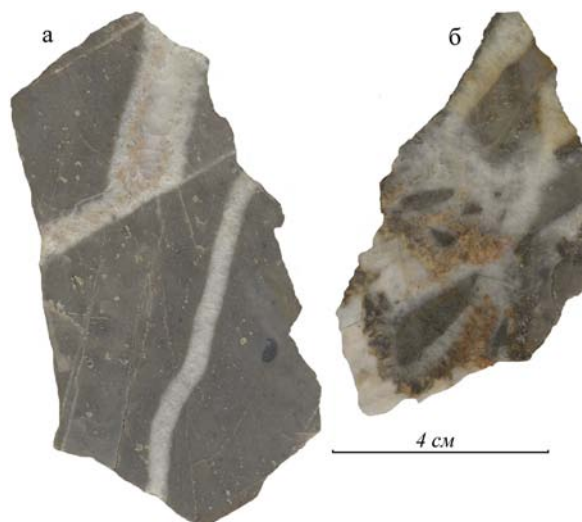


Рис. 1. Прожилковые и брекчиевые сульфидно-карбонатно-кварцевые руды месторождения Большой Каран

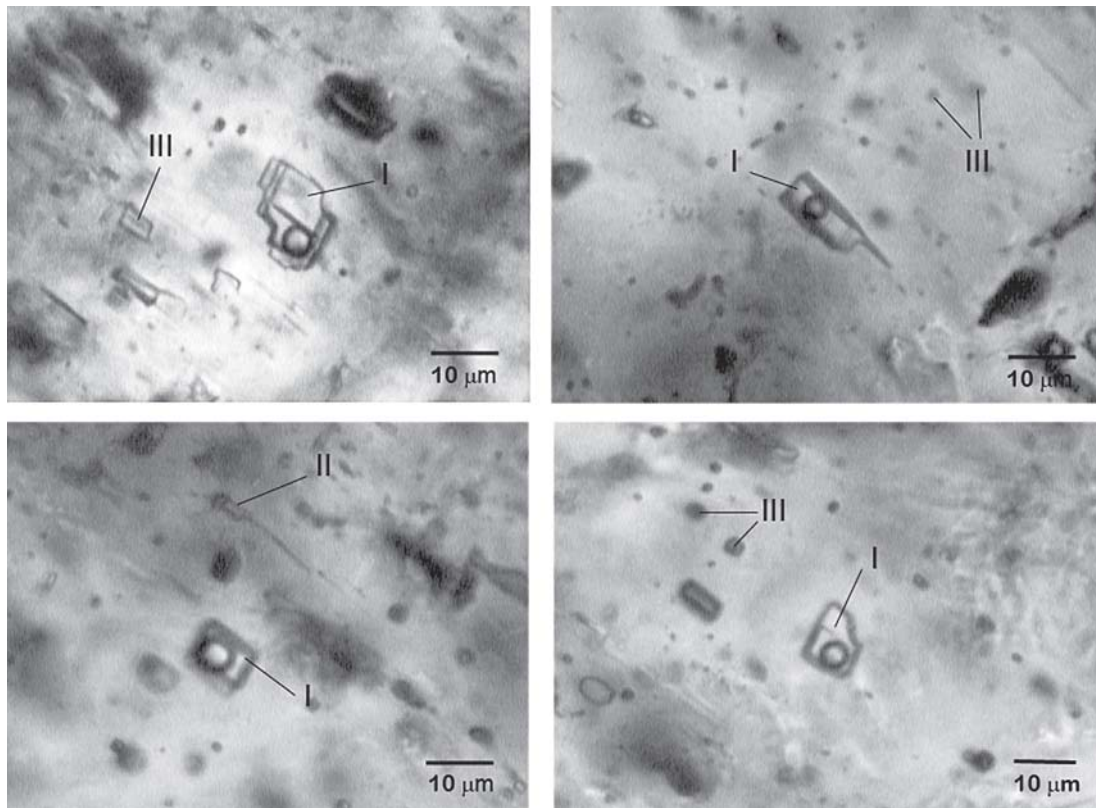


Рис. 2. Сосуществующие флюидные включения в кальците

I — первичные двухфазные включения; II — вторичные двухфазные включения; III — однофазные (газовые и жидкостные) включения

Двухфазные первичные и первично-вторичные включения (I тип) в прозрачных зернах кальцита расположены согласно направлениям спайности кристаллов, имеют размер 10–15 мкм, изометричную форму, часто в них присутствуют элементы кристаллографических граней. Проанализированы группы включений (по 2–3) с близким соотношением фаз или одиночные включения, расположенные в центральных частях зерен кальцита. В исследованных двухфазных флюидных включениях газ занимает до 20–30% объема вакуолей. Все включения, согласно  $T_{\text{эвт}} = -31.9... -33.9^{\circ}\text{C}$ , содержат флюиды со смесью хлоридов Na, Mg, и K. Соленость флюидов, определенная по температуре плавления льда во включениях, варьирует от 4 до 6.5 мас.%, NaCl-экв (рис. 3). Все включения гомогенизировались в жидкую фазу, общий интервал температур гомогенизации составляет 200–230 $^{\circ}\text{C}$  ( $n = 40$ ).

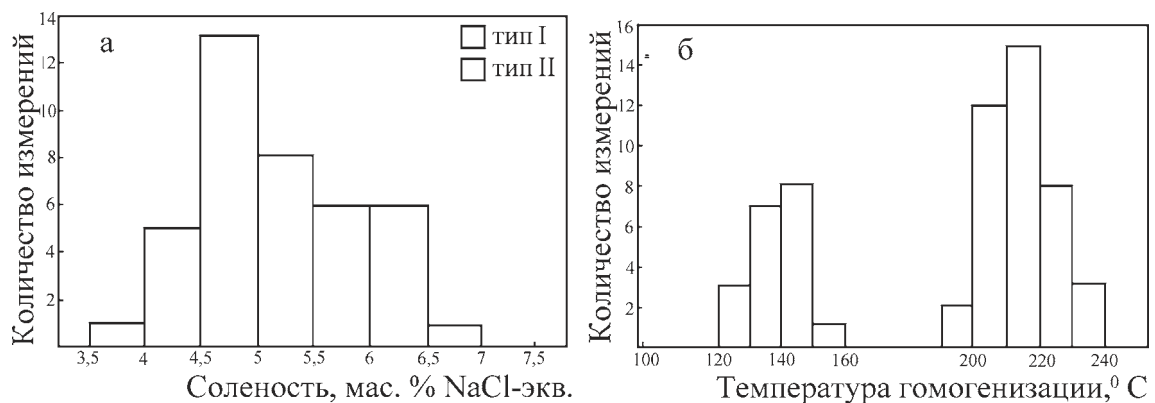


Рис. 3. Гистограммы температур гомогенизации (а) и солености (б) флюидных включений в кальците

Кальцит разбит множеством трещин, которые трассируются двухфазными (газ + раствор) вторичными флюидными включениями размером до 5 мкм (тип II). Такие включения, приуроченные к трещинам, не выходящим за пределы границ зерен кальцита, были также проанализированы. Температуры гомогенизации этих включений составили 120–160°C (n = 20), солевой состав и соленость флюидов в этих включениях измерить не удалось из-за их мелкого размера.

При визуальном изучении также были обнаружены однофазные существенно водные (включения слабоминерализованных растворов?) и газовые включения размером порядка 5 мкм.

Стабильные изотопы серы изучены в пирите и арсенопирите золотых руд (табл. 1). Определения изотопного состава серы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на масс-спектрометре Delta<sup>PLUS</sup> Advantage, сопряженным с элементарным анализатором EA Flash 1112 и интерфейсом ConFlo III (аналитик С.А. Садыков). Погрешность определений  $\delta^{34}\text{S}$  составила 0.27‰. Результаты измерений даны относительно международного стандарта CDT. Значения  $\delta^{34}\text{S}$  в пирите варьируют в интервале от –0.60 до +3.46‰. Полученные величины указывают на магматические источники серы в рудообразующем флюиде Большекаранского месторождения.

Таблица 1

### Изотопный состав серы в пирите месторождения Большой Каран

№ n/n	№ обр.	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ , CDT
1	БК-6/3	+1.17
2	БК-6/4	+1.50
3	БК-9/2	+1.03
4	БК-9/3	+1.10
5	23-16/2	+0.78
6	БК-108	–0.57
7	БК-110	+0.14
8	БК-115	–0.60
9	БК-116	+0.23
10	БК-117	–0.59

Вариации отношений стабильных изотопов углерода и кислорода изучены в кальците руд. Изотопные исследования выполнены в аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (рук. Т.А. Веливецкая) на изотопном масс-спектрометре MAT 253 (Thermo Fisher Scientific). Точность определений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O} \leq 0.1\text{‰}$ . Результаты измерений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  (табл. 2) даны в отношении к международным стандартам PDB и SMOW, соответственно.

Таблица 2

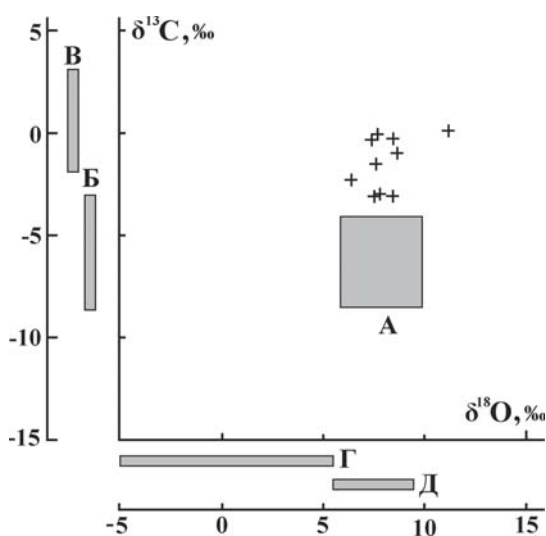
### Изотопный состав углерода и кислорода в кальците месторождения Большой Каран и равновесном с ним флюиде

№ n/n	№ образца	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ , PDB	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ , SMOW	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}\text{‰}$ , PDB	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ , SMOW
1	БК–3	–3.1	14.8	–2.5	6.1
2	БК–3/2	–1.1	15.8	–0.5	7.1
3	БК–4/1	–2.3	16.1	–1.7	7.4
4	БК–6/1	–1.7	17.3	–1.1	8.6
5	БК–6/4	–1.0	16.9	–0.4	8.2
6	БК–9/2	–0.6	19.8	0	11.1
7	БК–112	–3.9	15.0	–3.3	6.3
8	БК–113	0.7	14.7	–0.1	6.0
9	БК–118	–3.9	15.1	3.3	6.4
10	БК–130	–4.1	15.9	3.5	7.2

Величины  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в кальците изменяются от  $-4.1$  до  $0.6\text{‰}$  и от  $14.7$  до  $19.8\text{‰}$  соответственно. Значения  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  ( $6.1\text{...}8.5\text{‰}$ ) минералообразующего флюида, рассчитанные для температуры кристаллизации кальцита  $220^\circ\text{C}$ , за исключением одного анализа ( $11.1\text{‰}$ ) соответствуют изотопному составу воды магматического происхождения (рис. 4).

Величины  $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_2\text{O}}$  флюида ( $-3.5\text{...}0\text{‰}$ ) свидетельствуют о поступлении в гидротермальную систему углерода как магматогенной природы, так и извлеченного из вмещающих пород, по-видимому из известняков, слагающих тектонические блоки в серпентинитовом меланже вблизи Вознесенского массива.

Таким образом, кальцит рудных жил месторождения Большой Каран кристаллизовался при понижении температур от  $230$  до  $120^\circ\text{C}$  из Na-Mg-K-хлоридных растворов. Соленость флюидов варьировала незначительно в интервале от  $4$  до  $6.5$  мас.%. Температуры вторичных флюидных включений свидетельствуют о том, что залечивание трещин происходило одновременно с ростом более поздних зон кальцитовых агрегатов. Узкий диапазон изменения температур гомогенизации и солености растворов свидетельствует о стабильности условий минералообразования и/или малом поступлении новых порций гидротермальных растворов.



Изотопные исследования позволяют предполагать участие в образовании Большекаранского месторождения серы и кислорода магматогенного происхождения и углерода полигенной (магматогенной и метаморфогенной) природы.

*Изотопные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и АН РБ (грант № 17-45-020717). Термобарогеохимические исследования поддержаны Правительством РФ (пост. № 211 от 16.03.2013, согл. № 02. А03.21.0011).*

**Рис. 4.** Изотопный состав углерода и кислорода минералообразующего флюида, формировавшего кальцит месторождения Большой Каран

А — поле карбонатитов [7]; изотопные составы: Б — углерода магматического или глубинного корового флюида, В — морских известняков, Г — кислорода метеорной воды, Д — кислорода магматической воды [8].

### Литература:

1. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. — 1997. — № 8. — С. 16–28.
2. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах. — М. Недра, 1972. — 376 с.
3. Знаменский С.Е., Косарев А.М., Знаменская Н.М., Тимофеев С.П., Шафигуллина Г.Т. Структурный контроль и геохимия рудоносных даек золото-порфирирового месторождения Большой Каран (Южный Урал) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. — 2017. — № 24. — С. 39–46.
4. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. — М.: Мир, 1978. — Т. 1. — 360 с.
5. Стружков С.Ф., Аристов В.В., Данильченко В.А., Наталенко М.В., Обушков А.В. Открытие месторождений золота Тихоокеанского рудного пояса (1959–2008). — М.: Научный мир, 2008. — 256 с.
6. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications / Eds. B. de Vivo, M.L. Frezzotti. — Pontignana-Siena: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1994. — P. 117–130.
7. Keller J., Hoefs J. Carbonatite volcanism: Oldoinyo Lengai and the petrogenesis of natrocarbonatites. — Berlin: Springer, 1995. — 123 p.
8. Rollinson H.R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. — London: Longman Scientific and Technical, 1993. — 352 p.
9. Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery // SEG Reviews. — 2000. — V. 13. — P. 315–345.