

Литература

- Белогуб Е. В.* Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала // Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Миасс, 2009ф. 537 с.
- Зайков В. В., Юминов А. М., Зайкова Е. В. и др.* Минеральное сырье района историко-ландшафтного заповедника Аркаим. Отчет. Миасс, 1994ф. 292 с.
- Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок / Под ред. Г. С. Гусева. Т. 1. М.: ГЕОС, 2002. 409 с.
- Овчинников Л. Н.* Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформмарк, 1998. 412 с.
- Садрисламов Б. М., Веретенников В. В., Дурнев Ю. Ф.* Геологическое строение района верховьев рр. Уй и Миасс. Уфа, 1961ф.
- Тютев Я. М., Анкушев М. Н., Блинов И. А.* Минералогические особенности медного месторождения Таш-Казган (Южный Урал, республика Башкортостан) // Металлогения древних и современных океанов–2015. Месторождения океанических структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 215–218.
- Черных Е. Н.* Древнейшая металлургия Урала и Поволжья / В серии: Материалы и исследования по археологии. № 172. М.: Наука, 1970. 180 с.
- Юминов А. М., Зайков В. В.* Никольское месторождение серебряно-медных руд (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов–2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 194–197.

А. С. Целуйко^{1,2}, Н. Н. Анкушева^{2,1}

¹ – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе
celyukoa@rambler.ru

² – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

Условия формирования труб «палеокурильщиков» Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) по данным термобарогеохимии и КР-спектроскопии (научный руководитель В. В. Масленников)

В последние годы накоплено много геологических, геохимических и минералогических данных о гидротермальных системах «черных курильщиков» колчеданных месторождений Урала [Зайков и др., 2001; Масленников, 2006 и др.]. Большое значение в этих исследованиях имеет изучение флюидных включений в прозрачных минералах, позволяющее получать информацию о физико-химических параметрах рудообразующих систем. Целью данной работы является оценка условий формирования и газового состава рудоносных гидротермальных растворов, сформировавших трубы «черных курильщиков» на Юбилейном колчеданном месторождении. Данные исследования продолжают и дополняют работы, начатые в 2015 г. [Целуйко, Анкушева, 2015].

Юбилейное месторождение расположено в Бурибайском рудном районе в пределах силур-девонской Западно-Магнитогорской островной дуги. Шесть рудных тел линзовидной формы залегают на контакте базальтовой и андезит-риолит-дацитовой толщ и реконструированы как пологие сильно разрушенные сульфидные холмы [Масленников, 2006]. Многочисленные хорошо сохранившиеся фрагменты диффузеров

и гидротермальных труб «палеокурильщиков» обнаружены в сульфидных брекчиях, залегающих в кровле рудного тела № 2 [Maslennikov et al., 2013]. Стенки каналов сульфидных труб сложены крупнозернистым удлинённым или изометричным халькопиритом с включениями сфалерита, пирита, самородного золота и теллуридов. Оболочка трубы состоит из агрегатов почковидного колломорфного, дендритовидного, тонко- и мелкозернистого пирита, находящихся в халькопиритовом и кварцевом цементе. Осевые каналы «черных курильщиков» заполнены кварцем, кальцитом, кварцем+кальцитом, тальком+кальцитом и сульфидами. Нами были проанализированы флюидные включения в кварце из осевых каналов многоканальных кварц-пирит-халькопиритовых труб (обр. юб-12-20-1; юб-12-21; юб-12-35), а также карбонат из кальцит-пирит-сфалерит-халькопиритовой трубы (обр. юб-11-12).

Исследования флюидных включений проводились в микротермокамере THMSG-600 (Linkam), позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале от -196 до $+600$ °C на микроскопе Olympus BX-51 (Геологический факультет ЮУрГУ, г. Миасс, аналитик Н. Н. Анкушева) с использованием программного обеспечения LinkSys V-2.39. Погрешность измерительной аппаратуры составляет ± 0.1 °C при $-20 \dots +80$ °C и ± 1 °C – за пределами этого интервала. Солевой состав растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик [Борисенко, 1977]. Температуры гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере. Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз [Vodnar, Vityk, 1994]. Проанализировано 125 флюидных включений в кварце и 35 – в кальците. Обработка результатов измерений выполнена в программе Statistica 6.1.

С помощью спектроскопии комбинационного рассеяния определены газовые фазы флюидных включений в кварце кварц-пирит-халькопиритовой трубы (обр. юб-12-21) в лаборатории термобарогеохимии ИГМ СО РАН (г. Новосибирск, аналитик Н. Н. Анкушева) с использованием спектрометра Horiba Lab Ram HR 800 с полупроводниковым детектором. Возбуждение производилось твердотельным лазером (532 нм) мощностью 50 мВт, для получения удовлетворительного соотношения сигнал/шум производилось 10 накоплений по 10 секунд каждое. Оценка молекулярных соотношений газов в пузырьках без учета паров воды проводилась с использованием величин относительного рамановского сечения [Burke, 2001]. Пределы обнаружения зависят от чувствительности прибора, парциального давления каждого газа и формы и размеров индивидуальных включений. Исследовано 12 флюидных включений и снято 53 спектра. Процедуры вычитания фона и сглаживания проведены в программе Origin 8.0.

Кварц из каналов труб «черных курильщиков» представлен полупрозрачными и прозрачными зёрнами размером до 0.5 см. На периферии каналов в кварце и кальците отмечены многочисленные включения халькопирита, сфалерита и пирита, которые исчезают ближе к центру осевого канала или сменяются фрамбоидальным пиритом. Предполагается, что часть кварца и карбоната формировались синхронно с сульфидами, а часть – после окончания процесса сульфидоотложения.

Флюидные включения распределены в зёрнах кварца равномерно. Они имеют размеры 10–15, реже 20–30 мкм, округлую, изометричную, часто вытянутую форму, с четкими границами. Присутствуют включения с элементами кристаллографической огранки. Они образуют группы по 3–5 включений и приурочены к участкам прозрачного кварца в центре зёрен. По фазовому составу включения относятся к газожидкому типу (объём газового пузырька при 25 °C составляет 10–15 % от объёма включения). Вторичные включения располагаются в виде цепочек или скоплений и

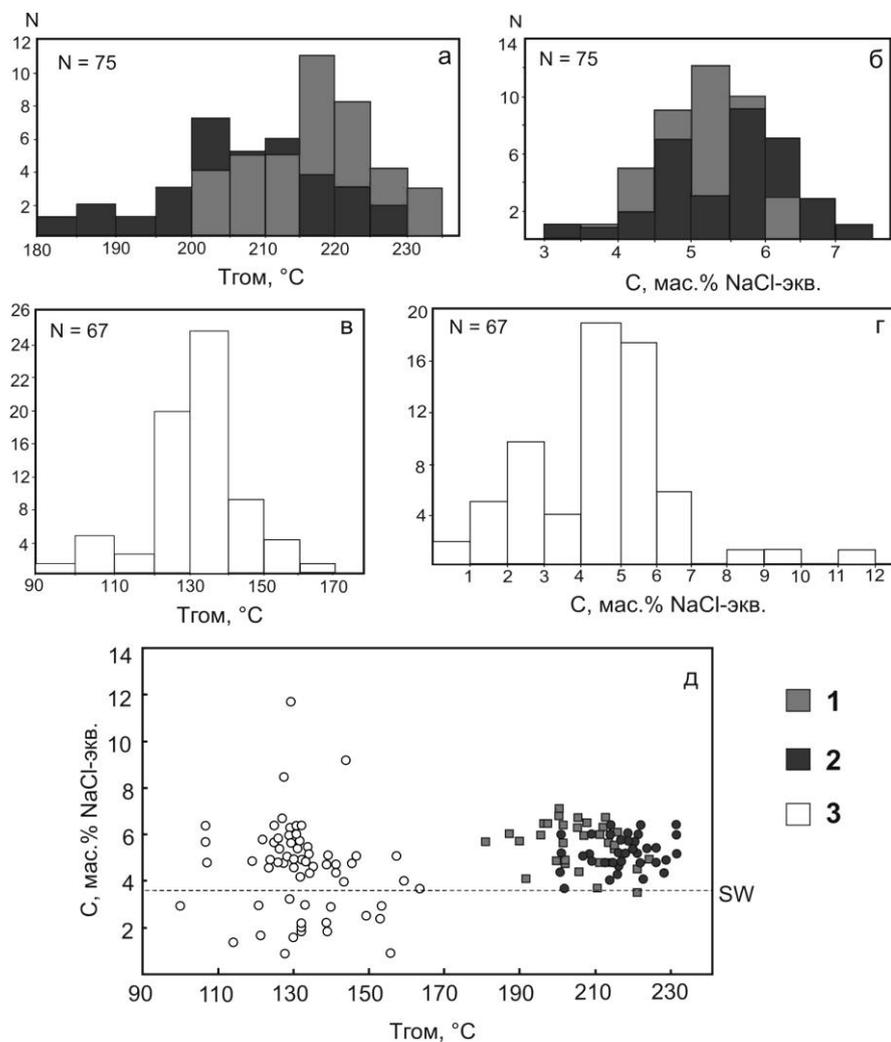


Рис. 1. Результаты термометрических исследований флюидных включений.

Кварц-1 и кальцит: а – температуры гомогенизации, б – соленость растворов флюидных включений; кварц-2: в – температуры гомогенизации, г – соленость растворов флюидных включений; д – соотношение солености и температур гомогенизации включений: 1 – кварц-1, 2 – кальцит, 3 – кварц-2; SW – соленость морской воды при 25 °С.

приурочены к трещинам в кварце. С двухфазными включениями также ассоциируют однофазные светлые водные и темные газовые включения, имеющие размеры до 5 мкм и округлую форму.

По результатам термометрических исследований выделены 2 генерации кварца: ранний кварц-1, ассоциирующий с кальцитом и сульфидами, и поздний кварц-2. Температуры эвтектики образуют два интервала (–21.0...–22.1 °С (n = 26) и –22.8...–24.0 °С (n = 17)), которые соответствуют солевым системам NaCl–H₂O и NaCl–KCl–H₂O. Более низкие значения T_{эвт} (–25.7...–28 °С, n = 6) отвечают, вероятно, водно-

солевым растворам NaCl с примесями других солей, понижающих $T_{эвт}$. Гомогенизация включений происходила в жидкую фазу: для кварца-1 – при 200–230 °С (пик 215–225 °С), для кварца-2 – при 100–170 °С (пик 120–140 °С) (рис. 1а, в). Соленость растворов включений в кварце-1 составляет 4–6 мас. % NaCl-экв. (рис. 1б). В кварце-2 наблюдается бимодальное распределение солености с пиками 1–3 и 4–6 мас. % (рис. 1г). Также присутствуют единичные включения с соленостью менее 1 мас. % и до 8–11 мас. % NaCl-экв. При нагревании некоторых включений от отрицательных температур газовый пузырек перестает перемещаться только при положительной температуре – до 5–12 °С.

Включения в кальците из осевого канала кальцит-пирит-сфалерит-халькопиритовой трубы «черного курильщика» имеют размеры 5–15 мкм, располагаются равномерно в зернах и ориентированы по их удлинению. Газовые пузырьки во включениях занимают до 10–15 % их объема. Температуры эвтектики растворов отвечают солевым системам NaCl–H₂O и NaCl–KCl–H₂O ($T_{эвт} = -21.7...-21.8$ (n = 3) и $-22.9...-23.7$ (n = 9)). Распределение температур гомогенизации одномодальное с максимумом 200–220 °С (см. рис. 1а). Среди значений солености преобладает интервал 4.5–6 мас. %.

По результатам КР-спектроскопии флюидные включения в кварце заполнены CH₄ (2917 см⁻¹) с подчиненным количеством N₂ (2331 см⁻¹) (рис. 2, табл.). КР-спектры флюидных включений в кварце сходны. Относительные концентрации N₂ варьируют от 0 до 21.3 мол. %, CH₄ – от 78.7 до 100 мол. %. В четырех включениях N₂ доминирует над CH₄ (до 62–82 и 18–38 мол. %, соответственно). Повышенные содержания CH₄ обычно отмечают в флюидах гидротермальных сульфидных полей, ассоциирующих с гипербазитами [Леин и др., 2000]. В то же время, присутствие CH₄ может быть связано с восстановлением CO₂ [Xu et al., 2011]. Наличие азота описано во флюидах труб «черных курильщиков» гидротермального поля ТАГ [Леин и др., 2000]. Во флюидах золоторудных месторождений присутствие азота связывают с разрушением аммонийсодержащих силикатов вмещающих пород, в которых азот в форме NH₄⁺ изоморфно замещает калий [Гибшер и др., 2011].

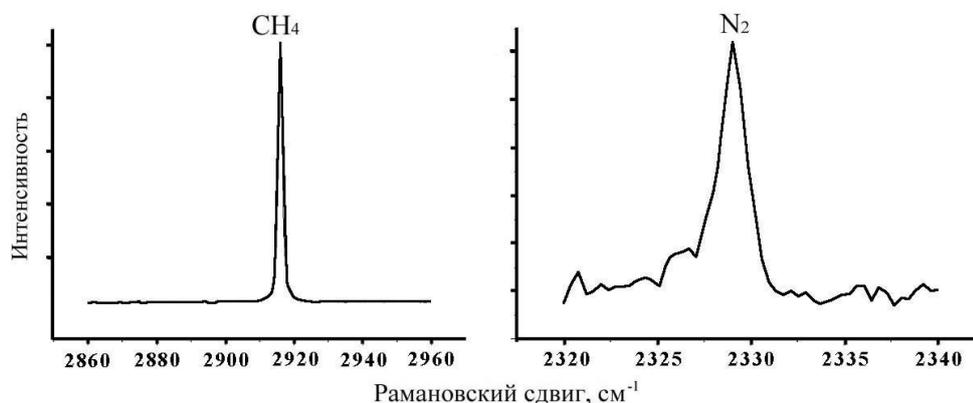


Рис. 2. Типичные спектры комбинационного рассеяния газового пузырька включения в кварце (обр. Юб-12-21).

Т а б л и ц а
Состав газов во флюидных включениях
в кварце, мол. %

№ п/п	CH ₄	N ₂	№ п/п	CH ₄	N ₂
1	83.4	16.6	7	100.0	0.0
2	78.7	21.3	8	37.9	62.1
3	17.2	82.8	9	20.1	79.9
4	83.5	16.5	10	87.7	12.3
5	82.2	17.8	11	86.3	13.7
6	84.1	15.9	12	28.1	71.9

Примечание. Сумма каждого анализа – 100 %.

пиритовой стенкой кварц-1 с включениями сульфидов и кальцит более высокотемпературные ($T_{\text{гом}} = 200\text{--}230\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2) центр канала заполнен более низкотемпературным кварцем-2 ($T_{\text{гом}} = 120\text{--}140\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Авторы признательны В. В. Масленникову за консультации в работе и С. З. Смирнову (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) за предоставленную возможность изучения включений в кварце методом спектроскопии КР и обсуждение результатов работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 14-05-00630.

Л и т е р а т у р а

Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.

Бортников Н. С., Викентьев И. В. Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в мировом океане // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 1. С. 16–50.

Гибшер Н. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М., Рябуха М. А., Тимкина А. Л. Золоторудное месторождение Герфед: характеристика флюидов и РТ-условия образования кварцевых жил (Енисейский край, Россия) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 11. С. 1851–1867.

Зайков В. В., Масленников В. В., Зайкова Е. В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 313 с.

Леин А. Ю., Гричук Д. В., Гурвич Е. Г., Богданов Ю. А. Новый тип гидротермальных растворов, обогащенных водородом и метаном в рифтовой зоне срединно-атлантического хребта // Доклады академии наук. 2000. Т. 375. № 3. С. 380–383.

Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

Целуйко А. С., Анкушева Н. Н. Физико-химические параметры гидротермальных процессов на Юбилейном медноколчеданном месторождении, Южный Урал // Металлогения древних и современных океанов–2015. Месторождения океанических структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 101–105.

Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena, 1994. P. 117–130.

Burke E. A. J. Raman microspectrometry of fluid inclusions // Lithos. 2001. Vol. 55. № 1. P. 139–158.

Ассоциация однофазных газовых и жидкостных, а также сильноразбавленных (менее 1 мас. %) и более концентрированных двухфазных включений свидетельствует о фазовой сепарации флюида на Юбилейном месторождении [Бортников, Викентьев, 2005]. Локальные изменения температур гомогенизации включений в кварце из сульфидной трубы можно объяснить ростовой зональностью осевого канала трубы: 1) на контакте осевого канала с халькопиритовой стенкой кварц-1 с включениями сульфидов и кальцит более высокотемпературные ($T_{\text{гом}} = 200\text{--}230\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2) центр канала заполнен более низкотемпературным кварцем-2 ($T_{\text{гом}} = 120\text{--}140\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Maslennikova S. P. et al. Mineral and chemical peculiarities of vent chimneys from the Yubileynoye VMS deposit at the Early Devonian basalt-boninite basement of West Magnitogorsk arc, the Southern Urals, Russia // 12 SGA Biennial Meeting. Uppsala, 2013. V. 4. P. 1512–1515.

Xu J., Hart C. J., Wang L. et al. Carbonic fluid overprints in volcanogenic massive sulfide deposits: examples from The Kelan volcanosedimentary basin, Altaides, China // *Economic Geology*. 2011. Vol. 106. P. 145–158.

И. А. Блинов, Е. В. Белогуб, К. А. Новоселов
Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
ivan_a_blinov@mail.ru

**Гипергенные самородные металлы, интерметаллиды,
сульфиды и селениды в бурых железняках
Юбилейного медноколчеданного месторождения, Южный Урал**

Юбилейное медноколчеданное месторождение находится в Баймак-Бурибайском рудном районе Западно-Магнитогорской зоны в междуречье рек Таналык и Бузавлык. Медноколчеданное оруденение приурочено к вулканогенной толще преимущественно основного состава девонского возраста [Медноколчеданные..., 1988]. Золотоносная зона окисления триасового возраста развита над II и III колчеданными залежами и перекрыта угленосными лагунно-морскими осадками среднеюрского возраста [Татарко и др., 1996ф]. К настоящему времени зона окисления отработана. Первичные руды преимущественно сплошные (брекчиевидные, полосчатые и массивные), вкрапленные разности приурочены к подрудным и околорудным метасоматитам. В минеральном составе первичных руд преобладают сфалерит, халькопирит и пирит; из второстепенных минералов отмечаются галенит и пирротин; список редких минералов включает борнит, блеклые руды, теллуриды, самородное золото [Масленников и др., 2014]. В продуктах субмаринного окисления руд (госсанитах) диагностирован клаусталит [Аюпова и др., 2012].

В строении зоны окисления выделяются (снизу вверх): слабоокисленные руды с вторичными сульфидами (мощность зоны от 5–10 до 30 м); зона выщелачивания невыдержанной мощности, представленная фрагментами барит-кварц-пиритовых и кварц-пиритовых (с примесью каолинита) сыпучек; бурые железняки мощностью до 32 м; обогащенные глинистыми минералами продукты размыва бурых железняков, иногда содержащие остатки кораллов. Зона окисления перекрыта углесодержащими юрскими алевритами, мощность которых в современном эрозионном срезе достигает 50–60 м. В основании осадочных отложений наблюдался выдержанный горизонт сульфидизированных базальных конгломератобрекчий. Особенностью зоны окисления Юбилейного месторождения является значительное распространение сидерита в породах «железной шляпы» и отсутствие ярозита [Новоселов и др., 2005].

Среди слагающих бурые железняки гипергенных минералов преобладают гетит, рыхлые гидрогетит-опаловые агрегаты (лимониты) и сидерит, менее распространены гидроксиды марганца, глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит),