УДК 553.065.12

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В КВАРЦЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ ЖИЛ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕКУЩИЙ (ЧУКОТКА)

Н. В. Сокерина¹, С. К. Кузнецов¹, С. И. Исаенко¹, Р. С. Ковалевич²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

²Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар
sokerina@geo.komisc.ru

Проведено исследование флюидных включений в кварце золоторудного проявления Секущий. Установлено, что температура гомогенизации большинства включений равна 340—350 °С. В газовой фазе включений преобладает углекислый газ, в меньшей степени присутствуют азот и метан. Высказано предположение о разнотипных флюидных растворах, которые участвовали в минералообразовании.

Ключевые слова: флюидные включения, золоторудная минерализация, гомогенизация, рамановская спектроскопия.

FLUID INCLUSIONS IN QUARTZ OF GOLD ORE VEINS OF DEPOSIT SEKUSCHIY (CHUKOTKA)

N. V. Sokerina¹, S. K. Kuznetsov¹, S. I. Isaenko¹, R. S. Kovalevich²

¹Institute of Geology Komi SC UB RAN, Syktyvkar

²Syktyvkar State University, Syktyvkar

Investigation of quartz fluid inclusions from gold occurrence Sekuscheye were studied. It was established that the homogenization temperature of most inclusions is about 340—350 °C. Carbon dioxide is the main component of the gas phase of inclusions; nitrogen and methane are present in smaller amounts. It is suggested that there are different types of fluid solutions that are involved in mineral formation.

Keywords: fluid inclusions, gold mineralization, homogenization, Raman spectroscopy.

Золоторудное проявление Секущий расположено на севере Чукотки в пределах Алярмагтынского рудного поля и охватывает территорию верхнего течения р. Куэкунь. Сведения о геологическом строении района и рассматриваемого проявления, рудных телах, условиях рудообразования изложены в работах В. А. Войнова и других геологов [1, 2]. Нами проведено изучение флюидных включений в кварце золотоносных жил и дополнены данные о минеральном составе руд.

Рудные тела проявления Секущий представляют собой кварцевые, кварц-карбонатные жилы север-северо-западного простирания с наложенной сульфидной минерализацией и

зоны прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации северо-западного и субширотного простирания, прослеживающиеся в углисто-глинистых филлитизированных сланцах иультинской свиты поздней перми-триаса. Золото находится в ассоциации с сульфидами, представленными главным образом пиритом, арсенопиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом. В составе руд также встречаются монацит, ксенотим и другие минералы, в которых присутствуют редкоземельные элементы.

Изучение флюидных включений в жильном кварце проводилось в двуполосных пластинах методами гомогенизации и криометрии с использова-

нием термостата ТНMSG600 фирмы Linkam, позволяющего проводить измерения при температурах от –196 до 600 °С. Кроме того, методом рамановской спектроскопии оценивался состав газовой фазы включений (спектрометр LabRam HR800 — Horiba Jobin Yvon). Спектры снимались при комнатной температуре, для их регистрации была задействована решетка спектрометра 600 ш/мм, размер конфокального отверстия составлял 300 мкм, щель — 100 мкм, мощность возбуждающего излучения Ag⁺ лазера — 120 мВт (514.5 нм).

Присутствующие в жильном кварце флюидные включения весьма разнообразны по форме, величине,

Рис. 1. Флюидные включения в золотосодержащем кварце рудопроявления Секужий: а–г — трехфазовые включения ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{Ж}_{\text{CO}_2} + \text{Г}_{\text{CO}_2}$), д, е — двухфазовые включения с жидкой углекислотой (д — при комнатной температуре, е — при -25°C)

содержанию газовой и жидкой фаз. По особенностям локализации можно выделить первичные и первично-вторичные и — реже — вторичные включения. Первичные включения распространены относительно равномерно в объеме минерала и имеют площадное распространение; первично-вторичные, как правило, располагаются в трещинах, не выходящих за пределы зерен. Первичные и первично-вторичные включения всегда содержат жидкую углекислоту, что довольно часто отмечается в золоторудных жилах [3, 5, 6, 7, 8]. Условно их можно подразделить на следующие типы.

1. Трехфазовые включения с содержанием газовой фазы 50–70 об. % (рис. 1, а–г). Они имеют разнообразную форму, часто неправильную, реже с элементами огранки, и форму обратного кристалла. Размер включений не превышает 10×7 мкм. В составе включений наблюдаются три фазы, представленные водным раствором ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$), жидкой углекислотой (Ж_{CO_2}) и газообразной углекислотой (Г_{CO_2}). При замораживании во

включениях всегда происходит образование газогидратов. Плавление газогидратов происходит при температуре $7.1\text{--}8.8^\circ\text{C}$, что свидетельствует о том, что давление внутри включений во время эксперимента приблизительно равно 4 МПа [4]. Плавление углекислоты происходило при температуре $-56.6 \dots -58.6^\circ\text{C}$. Известно, что температура плавления жидкой углекислоты равна -56.6°C . Более низкие значения температуры свидетельствуют о присутствии в составе газовой фазы низкокипящих газов. Включения гомогенизируются в газовую фазу в диапазоне температуры $342\text{--}369^\circ\text{C}$ (преимущественно при $340\text{--}350^\circ\text{C}$). Частичная гомогенизация (переход жидкой углекислоты в газовую фазу) происходит при $26.8\text{--}29.0^\circ\text{C}$. Полная гомогенизация также происходит в газовую фазу.

2. Трехфазовые включения с содержанием газовой фазы 25–70 об. %, обычно 50–60 об. %. Они имеют разнообразную форму, часто неправильную, реже с элементами огранки, и форму обратного кристалла. Размер

включений, как и в предыдущем случае, не превышает 10×7 мкм. В составе включений также наблюдаются три фазы, представленные водным раствором ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$), жидкой углекислотой (Ж_{CO_2}) и газообразной углекислотой (Г_{CO_2}). При замораживании во включениях всегда происходит образование газогидратов. Плавление газогидратов происходит при температуре $7.1\text{--}8.0^\circ\text{C}$, что свидетельствует о том, что давление внутри включений во время эксперимента приблизительно равно 4 МПа [4]. Плавление углекислоты происходит при температуре $-56.6 \dots -59.9^\circ\text{C}$. Температура частичной гомогенизации равна $8.5\text{--}27.9^\circ\text{C}$, гомогенизация всегда идет в жидкую фазу. Температура полной гомогенизации равна 317°C (удалось замерить только одно включение, остальные взорвались). Гомогенизация идет в жидкую фазу.

3. Двухфазовые включения, полностью состоящие из жидкой и газообразной углекислоты (рис. 1, е, д). Часто при комнатной температуре наблюдается только одна фаза, вторая появляется при замораживании. Включения имеют разнообразную форму, иногда с элементами огранки. Размер включений обычно не превышает 15×15 мкм. Температура плавления углекислоты $-56.9 \dots -57.3^\circ\text{C}$. Температура гомогенизации углекислоты $15.8\text{--}28.8^\circ\text{C}$. Гомогенизация всегда идет в жидкую фазу.

Как уже было отмечено выше, в кварце встречаются вторичные включения (табл. 1). Условно их также можно подразделить на следующие разновидности:

— двухфазовые включения, содержащие газовую фазу не более 10 об. %. В их составе присутствует водный раствор ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$) и газообразная углекислота (Г_{CO_2}). Такие включения имеют обычно неправильную форму. Размер включений не превышает 5×5 мкм. Температура гомогенизации равна $139\text{--}281^\circ\text{C}$;

— однофазовые водные включения встречаются крайне редко. Они имеют неправильную форму и размер не более 3×3 мкм. Так же редко наблюдаются двухфазовые включения, в составе которых присутствуют только вода и пар ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{Г}_{\text{H}_2\text{O}}$).

Газовый состав включений изучался методом рамановской спектроскопии. По её данным, в составе флюидных включений преобладает углекислый газ, содержание которого изменяется в интервале 85.2--

Таблица 1

Результаты изучения флюидных включений в золотоносном кварце проявления Секущий

№	Тип включения	ГФ, %	Т пл. CO ₂	Т пл. газогид, °С	Т гом., CO ₂ , °С	Т полн. гом., °С	Т декр., °С	Удельный объем, CO ₂ , см ³ /г	Плотность CO ₂ , г/см ³	Краткая характеристика
1	Ж _{H2O} ⁺ +Ж _{CO2} ⁺ +Г _{CO2}	50—70	–56.6... ...–58.6	7.1—8.8	26.8— 29.0	342—369 350*	—	1.479— 1.573	0.2720— 0.313	Трехфазовые включения с жидкой углекислотой. При нагревании частичная гомогенизация CO ₂ происходит в газовую фазу, полная гомогенизация также происходит в газовую фазу
2	Ж _{H2O} ⁺ +Ж _{CO2} ⁺ +Г _{CO2}	25—60	–56.6... ...–59.9	7.1—8.0	8.5— 27.9	317 (остальные взорвались)	250—300	1.145— 1.515	0.657— 0.875	Трехфазовое включение с жидкой углекислотой, вероятно первичное. При нагревании частичная гомогенизация CO ₂ происходит в жидкую фазу. Часто декрепитация происходит до температуры полной гомогенизации
3	Ж _{CO2} ⁺ +Г _{CO2}	100	–56.9... ...–57.3	—	15.8— 28.8	—	—	1.229— 1.567	0.629— 0.816	Двухфазовые включения с жидкой углекислотой. При нагревании гомогенизация CO ₂ происходит в жидкую фазу
4	Ж _{H2O} ⁺ +Г _{CO2}	до 10	—	—	—	136—281	—	—	—	Двухфазовые включения, вероятно, вторичные

Примечание: * — наиболее типичны.

100 мол. %. В некоторых случаях газовая фаза полностью состоит из углекислого газа, но чаще всего встречаются незначительные примеси таких газов, как азот и метан (табл. 2, рис. 2). Содержание азота колеблется в интервале 0—11.2 мол. % и в среднем составляет 6.6 мол. % (табл. 2). Метан присутствует в очень незначительных количествах — 0—3.6 мол. %, в среднем 1.6 мол. %. Соотношение CO₂/CH₄ в среднем равно 60.1, что свидетельствует об окислительных условиях минералообразования.

Результаты изучения флюидных включений в жильном кварце рудопроявления Секущий свидетельствуют о том, что формирование зо-

лото-сульфидно-кварцевых жил происходило при температуре 300—350 °С. Обращают на себя внимание широкие вариации соотношения жидкой и газовой фаз во включениях, наличие трехфазных включений с жидкой углекислотой, гомогенизация включений как в жидкую, так и газовую фазы. Можно полагать, что рудообразующая система была неоднородна по составу и фазовому состоянию. В системе присутствовали два флюида: водно-углекислотный с незначительными примесями азота и метана и существенно газовый углекислотный с незначительными примесями азота, метана и воды. Возможно, происходило вскипание

растворов с отделением углекислоты и других компонентов вследствие проявления тектонических подвижек и падения давления в трещинных полостях. Соотношение содержания CO₂/CH₄ в газовой фазе включений, обычно используемое для оценки окислительно-восстановительного потенциала, достаточно высокое — в среднем 60.1, что свидетельствует об окислительных условиях минералообразования.

Следует заметить, что значительная газонасыщенность флюидных растворов, повышенное содержание углекислоты характерны для золото-сульфидно-кварцевых месторождений [3, 5, 6, 7, 8]. В связи с этим полу-

Рис. 2. Рамановские спектры газовой фазы флюидных включений золотоносного кварца проявления Секущий: а — смесь CO₂, N₂ и CH₄; б — CO₂

**Состав газовой фазы флюидных включений золотоносного кварца
проявления Секущий (по данным рамановской спектроскопии)**

№	CO ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂ / CH ₄	Примечание
	мол. %				
1	87.1	10.6	2.3	37.9	Трехфазовое включение Ж _{H2O} + Ж _{CO2} + Г _{CO2}
2	100	0	0	—	Однофазовое газовое включение Ж _{CO2}
4	93.0	6.6	0.4	232.5	Трехфазовое включение Ж _{H2O} + Ж _{CO2} + Г _{CO2}
5	93.8	4.6	1.5	62.5	Трехфазовое включение Ж _{H2O} + Ж _{CO2} + Г _{CO2}
6	85.2	11.2	3.6	26.4	Трехфазовое включение Ж _{H2O} + Ж _{CO2} + Г _{CO2}
Среднее	93.8	6.6	1.6	60.1	—

ченные нами данные косвенно свидетельствуют о золотоносности Алярмагтынского рудного поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИИ 4795.20142; Программ: УрО и ДВО РАН № 12-С-5-1006, Президиума РАН № 12-П-5-1027; УрО РАН 12-5-6-016-АРКТИКА, Президиума РАН АРКТИКА.

Литература

1. Бортников Н. С., Брызгалов И. А., Кривицкая Н. Н., Прокофьев Ю. В., Викентьева О. В. Майское многоэтапное прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): минералогия, флюидные включения, стабильные изотопы и условия образования // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 6. С. 475—509.

2. Войнов В. А. и др. Поисково-оценочные работы на золото в пределах Алярмагтынского рудного поля (Чукотский АО): Информационный геологический отчет о результатах и объемах работ, выполненных в 2011 году по объекту. Певек, 2011.

3. Долгов Ю. А., Томиленко А. А., Гибшер Н. А. Флюидный режим формирования и термобарогеохимические критерии золотоносности кварцевых жил в метаморфических породах // Термобарогеохимия минералообразующих процессов. Новосибирск, 1990. С. 7—19.

4. Истомин В. А. Якушев В. С. Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992. 236 с.

5. Сокерина Н. В., Шанина С. Н. История формирования кварцевых жил и эволюция гидротермальных минера-

лообразующих растворов Приполярно-уральской хрусталеносной провинции // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2002. № 10. С. 13—15.

6. Сокерина Н. В., Шанина С. Н., Исаенко С. И. Газовый состав рудообразующего флюида золоторудного проявления Синильга, Приполярный Урал // Там же. 2012. № 3. С. 12—15.

7. Сокерина Н. В., Шанина С. Н. Геохимические условия формирования золоторудного проявления Караванное, Приполярный Урал // Там же. 2007. № 5. С. 2—4.

8. Сокерина Н. В., Шанина С. Н., Зыкин Н. Н., Исаенко С. И., Пискунова Н. Н. Условия формирования золоторудной минерализации на проявлении Синильга, Приполярный Урал (по данным изучения флюидных включений) // ЗРМО. 2013. № 6. С. 89—105.

Рецензент

д. г.-м. н. В. В. Мурзин