

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ПРОЖИЛКОВОМ КВАРЦЕ И КАРБОНАТЕ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

А.И. Грабежев, А.А. Боровиков, В.Г. Вигорова

Для уральских медно-порфировых объектов данные по температурам гомогенизации флюидных включений и минеральной геотермобарометрии весьма ограничены [Lehman et al., 1997; Грабежев и др., 1998, 2000; Боровиков и др., 2002]. Вместе с тем, такая информация необходима для выяснения специфики условий формирования уральских месторождений, поскольку они относятся к мало распространенному «диоритовому» типу медно-порфировых систем, и сопоставление условий их формирования с обычными для большинства регионов месторождениями «монцонитового» типа представляет значительный интерес.

Краткая характеристика месторождений и жильных образований (кварцевые и кварц-карбонатные жилы и прожилки) приведена в выше цитированных и ряде других работ [Грабежев, Белгородский, 1992 и др.]. В отличие от месторождений «монцонитового» типа жильные минералы наших месторождений довольно редко содержат рудные минералы, обычно являясь послерудными. Газово-жидкие включения в жильном кварце и карбонате имеют изометричную, неправильную, удлиненную или таблитчатую форму. Размер включений редко превышает 10 микрон, что сильно затрудняет их изучение.

На Гумешевском скарново-медно-порфировом месторождении преобладающим распространением пользуются послерудные карбонатные и кварц-карбонатные прожилки и жилы, в то время как кварцевые жилы и прожилки встречаются гораздо реже. Это явно обусловлено широким распространением мраморов в рудном поле, взаимодействие которых с флюидом приводит к обогащению его кальцием. Аргументацией влияния мраморов на состав флюида является промежуточное значение величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,7048-0,7071) отношения и значения $\delta^{13}\text{C}$ (-4,3...-0,5 ‰) в большей части жильных карбонатов между мрамором ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,70784$, $\delta^{13}\text{C}=+2,3$ ‰) и ювенильным (диоритовым) резервуаром ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7038-0,7045$, $\delta^{13}\text{C}=-6,9$ ‰), что обусловлено механизмом изотопного смешения. Наши предшествующие исследования показали, что в кварце и карбонате наблюдаются мелкие вторичные и первич-

но-вторичные двухфазовые флюидные включения с температурой гомогенизации 115-210 °С и общей концентрацией солей 3-8 мас. %-экв. в NaCl эквиваленте. Флюидные включения с температурой гомогенизации 210 °С и выше встречаются довольно редко. Так, они обнаружены в кварце (370-390 °С) из эпидот-кварцевого обособления в эпидозите. Местами в скарнах гранат и эпидот теряют прозрачность вследствие обилия мельчайших флюидных включений (мнимая пелитизация по терминологии Д.С. Коржинского). Поэтому приходится полагать, что месторождение претерпело интенсивнейшую послерудную низкотемпературную флюидную перекристаллизацию [Боровиков и др., 2002]. Новые данные подтверждают ранее полученные материалы. В горизонтальной скважине 3701, пробуренной на глубине 300 м, температура гомогенизации флюидных включений в кварце из пирит-кварцевого прожилка составляет 206-270 °С, а в безрудных кварцевых прожилках – 169-173 и 260-318 °С для одного образца и 185-198 °С – для другого (определения В.С. Карпухиной). В тоже время для других участков по этой скважине установлены, как нами, так и В.С. Карпухиной низкие температуры гомогенизации (135-170 °С). В эпидот-ангидрит-кальцитовый жиле из северной части месторождения в кальците и эпидоте обнаружены однофазные (солевой раствор) и двухфазные (солевой раствор + газ) флюидные включения (табл. 1, рис. 1). Двухфазные включения гомогенизируются в кальците и эпидоте при температуре 155-170 °С, соленость растворов включений составляет 4,9 мас. % в экв. NaCl. В мусковит-клиноцоизит(розовый)-кальцитовом прожилке температура гомогенизации включений составляет 170-175 °С, соленость – 9,3 мас. % в экв. NaCl. Однофазные включения захватывались при температурах меньше 100 °С. Солевой состав растворов включений состоит, главным образом, из NaCl. Давление раствора при его гомогенизации составляет 4-5 бар в эквиваленте водно-солевой системы NaCl+H₂O. Двухфазовые включения в кварце из кварцевых жил с халькопиритом и пиритом гомогенизируются при температуре 135-175 °С, соленость растворов (KCl, CaCl₂) составляет 7,8-10,5 мас.

Таблица 1

Параметры флюидных включений в прожилковых минералах Гумешевского (1-6), Михеевского (7-9), Тарутинского (10-12), Талицкого (13-16) и Промежуточного (17-26) месторождений Урала

№ п.п.	Скважина, глубина	Минерал	Фазовый состав включений	T _{гом} , °C	Температура плавления эв-тектики, °C	Температура плавления льда в °C	Концентрация, мас. % экв. NaCl	P, бар*
1	3616-558	Эпидот	Ж+Г	165-160	-21	-3	4,9	5
2	3616-558	Кальцит	Ж+Г	170-155	-21	-3	4,9	5
3	3648-347	Кальцит	Ж+Г	175-170	-21	-6	9,3	5
4	3675-517	Кварц	Ж+Г	170-165	Не установл.	-4 / -2	6,5-3,4	4
5	3701-4.1	Кварц	Г+Ж	170-175	-48 / -50	-6 / -5	7,8-9,3	
6	3701-21.8	Кварц	Г+Ж	135-160	-49 / -50	-7 / -5	7,8-10,5	
7	3011-86.5	Кварц	Г+Ж+Галит	185-195(газ) 235-255(галит)	-66	-31 (0)	33	
8	3011-86.5	Кварц	Г+Ж	200-215	-49 / -50	-5	8,9	
9	10405-196	Кварц	Г+Ж	200-205	-24	-7 / -6	9,3-10,5	
10	Та-515-301	Кварц	Ж+Г	200-160	-48	-8 / -7	11,7-10,5	13
11	Та-541-175	Кальцит	Ж+Г	135-120	-50	-10 / -9	14-12,9	4
12	Та-251-95	Кварц	Ж+Г	150-145	-44	-4 / -3	6,5-4,9	5
13	Пе-611-95	Кварц	Ж+Г	275-235	-48	-4 / -3	6,5-4,9	н.у.
14	Пе-611-95	Кварц	Ж(CO ₂)	+10/+5	-	Пл. CO ₂ -58	Пл. 0,86	1600**
15	Пе-621-65	Кварц	Ж(CO ₂)	-9 / -8	-	Пл. CO ₂ -58	Пл. 0,98	2400**
16	Пе-621-65	Кварц	Ж+Г	280-270	-44	-4 / -3	6,5-4,9	н.у.
17	Ту-17ка	Кальцит	Ж+Г	220-200	-28	-5 / -4	7,9-6,5	20
18	Ту-20ка	Кальцит	Ж+Г. Ж	<100-110	-40 / -38	-8 / -7	11,7-10,5	5
19	Ту-00-2-367ка	Кальцит	Ж+Г	110-105	н.у.	-5 / -4	7,9-6,5	5
20	Ту-00-2-378ка	Кальцит	Ж+Г. Ж	<100-110	-40 / -39	-5 / -4	7,9-6,5	5
21	Ту-00-3-376	Кальцит	Ж+Г. Ж	<100-110	-50 / -49	-3 / -2	4,9-3,4	5
22	Ту-01-3-104	Кальцит	Ж+Г	105-80	-42 / -40	-2 / -1	3,4-1,7	5
23	Ту-01-3-220	Кальцит	Ж+Г. Ж	<100-130	-55 / -50	-6 / -5	9,3-7,9	4
24	Ту-01-3-240	Кальцит	Ж+Г	120-90	-21	-6 / -5	9,3-7,9	4
25	Ту-01-3-240	Гранат	Ж+Г	125-120	-21	-7 / -6	10,5-9,3	4
26	Ту-01-3-342	Кальцит	Ж	<100	-50	0,5	0,9	1

Примечание. 1, 2 – ангидрит-кальцитовая жила с эпидотом; 3 – мусковит-клиноизит(розовый)-кальцитовый прожилок; 4, 11-14 – кварцевый прожилок безрудный; 5, 6, 10 – кварцевые жилы с халькопиритом и пиритом; 7-9 – кварцевые прожилки с молибденитом; 15 – кварцевые прожилки с калишпатом, флюоритом и молибденитом; 17, 18 – кальцитовый прожилок в массивной сульфидной руде; 19-26 – кальцитовый прожилок в скарне, Ж – однофазные включения. содержащие солевой раствор; Ж+Г – двухфазные включения, содержащие газы Ж(CO₂) – существование газовой включения с жидкой углекислотой; Пл. – плотность. * – давление в вакуули двухфазного включения при температуре его гомогенизации; ** – давление в вакуули газового включения при температуре гомогенизации сосудов, существующих с ним двухфазных включений. Более полная информация по Гумешевскому месторождению приведена в [Боровиков и др., 2002].

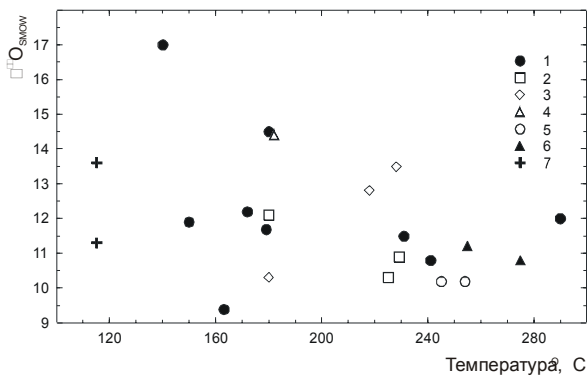


Рис. 1. Температура гомогенизации флюидных включений и изотопный состав кислорода жильного кварца из медно-порфировых месторождений Урала.

1-7 – месторождения: 1 – Гумешевское, 2 – Михеевское, 3 – Тарутинское, 4 – Березняковское, 5 – Томинское, 6 – Талицкое, 7 – Промежуточное медно-скарновое.

Кварцевые прожилки с сульфидами показаны пустыми кружками, безрудные прожилки – затемненными кружками.

% в экв. NaCl. В ИГ Коми филиала УрО РАН проводилось изучение состава газов (газовый хроматограф «Цвет-800» с пиролитической приставкой). Фугитивность углекислоты рассчитывалась для газа, выделившегося при $T=300-400$ °C. Для кварц-карбонатной жилы величина f_{CO_2} составляет 0,03 для кварца и 0,06 для карбоната. Для карбонатов из двух кальцитовых жил значение f_{CO_2} равно 0,08 и 0,02. Мольная доля CO не превышает 0,003-0,004, а для других газов она еще ниже.

На Михеевском молибденсодержащем медно-порфировом месторождении флюидные включения детально изучались только в двух образцах. В одном из них (скв. 3011, гл. 86,5 м, кварцевый прожилок с молибденитом) впервые для уральских медно-порфировых месторождений обнаружен высококонцентрированный флюид. Изученное трехфазовое включение включает газ, жидкость и галит. Температура его гомогенизации составляет 185-195 °C (газ) и 235-255 °C (галит), концентрация солей (NaCl, FeCl₂) во флюиде отвечает 33 мас. % в экв. NaCl. В этом образце установлено и двухфазовое включение с гомогенизацией в газ при температуре 200-215 °C, концентрация солей (CaCl₂, KCl) во флюиде отвечает 8,9 мас. % в экв. NaCl. Здесь же выявлено включение с жидкой углекислотой и ксеногенными рудными фазами, одна из которых отвечает гематиту. Второй образец

представлен кварцевым прожилком с редкими обособлениями молибденита и халькопирита (скв. 10405, гл. 196 м). Параметры включений здесь уже типичны для медно-порфировых месторождений Урала. Температура гомогенизации двухфазовых включений составляет 200-205 °C, концентрация солей (NaCl, KCl) в растворе отвечает 9,3-10,5 мас. % в экв. NaCl. В трех образцах карбонатных прожилков температура гомогенизации двухфазовых включений в карбонатах примерно такая же (178-220 до 246 °C), независимо от соотношения кварца, карбоната и наличия рудного минерала (определения В.С. Карпухиной).

В карбонате и кварце Тарутинского молибденсодержащего скарново-медно-порфирового месторождения присутствуют двухфазные (раствор+газ) флюидные включения. Они гомогенизируются при температуре от 120 до 150 °C в двух безрудных карбонатных прожилках и при 160-200 °C в обогащенном халькопиритом и пиритом кварцевом прожилке. Включения содержат водно-солевые растворы с концентрацией солей от 5 до 14 (в рудном прожилке 11-12) мас. % в экв. NaCl. Температура плавления эвтектики растворов включений (-48, -50 °C), близкая к температурам плавления эвтектик водно-солевых систем CaCl₂+H₂O и CaCl₂+KCl+H₂O, позволяет предполагать присутствие CaCl₂ и KCl в растворах включений в качестве преобладающих солевых компонентов. Давление внутри вакуолей включений при температуре их гомогенизации, оцененное в эквиваленте водно-солевой системы NaCl+H₂O, колеблется от 4 до 13 бар. По определениям В.С. Карпухиной температура гомогенизации двухфазовых включений в карбонатах и кварцах из пиритсодержащих (в одном случае с молибденитом) прожилков варьирует от 170-179 до 209-257 °C (5 обр.). Кварц из пустых кварцевых прожилков характеризуется даже более высокими температурами гомогенизации (193-272 °C, 4 обр.). В двух образцах наблюдались включения с углекислотой.

Повышенные температуры гомогенизации флюидных включений установлены (определения В.С. Карпухиной) для Томинского молибденсодержащего медно-порфирового месторождения. В скв. 397 в интервале глубин 116-208 м они составляют в различных участках 239-269, 229-262, 252-257 °C. Встречаются включения с углекислотой. Температура гомогенизации первичных двухфазных флюидных

РУДООБРАЗОВАНИЕ

включений из пострудного кварца рудных зон Березняковского месторождения обычно колеблется в интервале 145-185 °С, давление отвечает 200 бар, а соленость составляет 3-8 %-экв. NaCl [Lehman et al., 1997]. По нашим данным температура гомогенизации двухфазовых включений в кварце из поздних безрудных карбонат-кварцевых жил составляет 153-185 °С.

На Вознесенском молибденсодержащем медно-порфировом месторождении в кварцевых прожилках с молибденитом и пиритом фиксируется (определения В.С. Карпухиной) две группы флюидных включений в кварце – в одном образце 161-197 и 242-294, а в другом – 170-196 и 244-255 °С (есть и включения с углекислотой). В кварце из пирит-кварцевого прожилка температура гомогенизации двухфазовых включений составляет 166-207 °С, из пирит-кварцевого – 160-166 и 186-245 °С, а в кальците из пустого карбонатного прожилка – 151-191, 171-189 и 216-229 °С в различных зернах.

В кальцитах из прожилков в скарнах и сульфидных рудах Промежуточного медно-скарнового месторождения (Турьинские рудники) присутствуют однофазные (солевой раствор) и двухфазные (солевой раствор + газ) флюидные включения. Двухфазные включения гомогенизируются в интервале температуры 80-130 (в одном случае до 220) °С. Включения содержат растворы, концентрация которых варьирует от 3 (0,9) до 11 мас. % в экв. NaCl. Состав растворов включений, судя по температурам плавления их эвтектики (-55/-21), определяется по методике [Potter et al., 1978] присутствием NaCl, CaCl₂, MgCl₂, FeCl₂. Давление внутри вакуолей включений при температуре их гомогенизации, оцененное в эквиваленте водно-солевой системы NaCl+H₂O [Brown, Lamb, 1989], колеблется от 1 до 20 бар. Эти значения, в принципе, можно принять за минимальное давление гомогенного флюида при кристаллизации кальцита.

В кварце Талицкого медно-молибден-порфирового месторождения (связанного в отличие от предыдущих месторождений с монцонитоидами) обнаружены двухфазные включения (раствор + газ CO₂) и существенно газовые углекислотные включения. Гомогенизация двухфазных включений происходит при температуре в интервале 260-280 °С, при этом наблюдается интенсивная декрепитация флюидных включений, свидетельствующая о высоком давлении, которое развивается флюидом внутри

вакуолей включений. Существенно газовые включения содержат CO₂ с плотностью 0,8-0,9, возможно, с незначительной примесью азота и метана, о чем говорит немного пониженная температура плавления CO₂ в этих включениях. Давление углекислоты в газовых включениях при температуре гомогенизации, оцененное по [Brown, Lamb, 1989], составляет величину 1,6-2,4 кбар. Растворы двухфазных включений характеризуются концентрацией 6,5-4,9 мас. % в экв. NaCl.

На всех месторождениях слюда в аподiorитовых метасоматитах представлена модификацией 2M₁, гораздо реже она ассоциирует с 1M, что определяет по многочисленным экспериментальным исследованиям температуру ее формирования в пределах 280-330 °С и выше (при отсутствии модификации 1M). Совсем редко и в наиболее поздних метасоматитах наблюдается гидрослюда и смектит. Температура замещения амфибола гранитоидов хлоритом, определенная по количеству Al^{IV} в хлорите [Kranidiotis P., Mac-Leon, 1987], составляет 224-269 °С. Формирование аподiorитовых карбонат-(парагонит)-серицит-кварцевых метасоматитов происходило, по данным кальцит-доломитового геотермобарометра, при 210-300 °С и 0,3-0,8 кбар на Михеевском месторождении, 320-380 °С и 0,8-1,2 кбар на Березняковском месторождении [Грабежев и др., 2000], 285-400 °С и 0,3-1,4 кбар на Зеленодольском месторождении (по данным В.Н. Сазонова). На Гумешевском месторождении апоамраморные силикатно-кварц-сульфидно-магнетит-карбонатные метасоматиты послескарнового этапа образовались при температуре 160-450 °С и давлении 0,3-1,3 кбар [Грабежев и др., 2005].

Таким образом, формирование прожилковых систем происходит в широком интервале температур (от 160 до более 300 °С) при низкой солености флюида. Однако, наиболее характерны для уральских месторождений, в отличие от медно-порфировых месторождений «монцонитовой» модели других регионов, низкие температуры гомогенизации включений (до 200-250 °С). Кроме того, для ряда месторождений, особенно Гумешевского, где распространена поздняя флюидная перекристаллизация, свойственна первично-вторичная природа низкотемпературных (от 90 до 140-180 °С) газово-жидких включений. Температурные различия между отдельными месторождениями, рудными и безрудными кварцами, чисто кварцевыми

и кварц-карбонатными жилами, как правило, не наблюдаются. Повышенные температуры гомогенизации (240-260 °С) наиболее характерны для Томинского и Талицкого месторождений. Углекислотные включения встречаются только в кварце Тарутинского, Томинского и Талицкого месторождений. Во включениях из последнего давление составляет 1,6 и 2,4 кбар, для других месторождений давление определить не удалось. Общей особенностью месторождений является низкая степень минерализации флюида включений, составляющая 3-9 (до 12) мас. % в экв. NaCl. Характерные для монцитонитовидных медно-порфировых систем высокотемпературные газово-жидкие включения с высокой минерализацией (до 30-50 мас. % в экв. NaCl) встречаются только в одном из молибден-кварцевых прожилков Михеевского месторождения. В целом, преобладание низких температур гомогенизации и солёности флюидных включений на уральских месторождениях «диоритовой» модели, по-видимому, обусловлено низкотемпературностью и быстрым остыванием теплового поля материнских малых порфировых интрузивов диоритоидов. Они не сопровождаются предшествующими «прогревающими» гранитоидными батолитами, как это имеет место на большинстве месторождений других регионов. Возможно, также важнейшую роль играет монцитонитовидный характер рудоносных малых интрузивов в не уральских медно-порфировых регионах.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 06-05-64053) и НШ-4210.20065. Авторы признательны В.С. Карпухиной за помощь в работе.

Список литературы

Боровиков С.С., Грабежев А.И., Сотников В.И. Низкотемпературная флюидная перекристаллизация гидротермалитов Гумешевского месторождения // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 207-210.

Грабежев А.И., Белгородский Е.А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 199 с.

Грабежев А.И., Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфировой колонны натриевого типа (парагонитсодержащие ореолы, Урал). Екатеринбург, 1998. 171 с.

Грабежев А.И., Мурзин В.В., Сотников В.И. и др. Карбонаты из метасоматитов и жил Гумешевского скарново-медно-скарнового месторождения (Средний Урал): состав и геотермобарометрия // ЗВМО, 2005. № 4. С. 15-27.

Грабежев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В. и др. Березняковское золото-порфировое месторождение (Южный Урал, Россия) // Геол. рудн. месторожд. 2000. № 1. С. 38-52.

Brown Philip E., Lamb William M. New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1989. V. 53. № 6. P. 1206-1221.

Kranidiotis P., Mac-Leon W.H. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec // Econ. Geol. 1987. V. 82. № 7. P. 1898-1911.

Potter, II, R.W., Clynne M.A., Brown D.L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions // Econ. Geol. 1978. V. 73. P. 284-285.

Lehman B., Weisser D.J., Fedoseev V. et al. Exploration for epithermal gold mineralization on the Southern Urals, Russia: The Bereznjakovscoje gold deposit // Proc. of the 4-th biennial SGA Meeting. Turku, Finland, 1997. P. 233-236.