
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ПРОЖИЛКОВОМ КВАРЦЕ ТАРУТИНСКОГО СКАРНОВО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2013 г. А. И. Грабежев, А. А. Гараева

Тарутинское месторождение (располагающееся в 220 км к югу от г. Челябинска) находится в зоне сочленения Восточно-Уральской вулканогенной зоны и Зауральского микроконтинента. Рудное поле приурочено к юго-западной части небольшого Карамысовского диоритоидного массива $D_3^2-C_1^1$ возраста [4]. Гранитоиды первой фазы массива представлены кварцевыми диоритами-плагиогранодиоритами, сопровождающимися существенно меденосными скарнами и прожилково-вкрапленными рудными телами. Последние обычно характеризуются близкартковыми содержаниями молибдена. С дайками гранодиорит-порфиров второй фазы ассоциирует существенно молибденовая минерализация. Обширные зоны и жилы с молибденовой минерализацией содержат всего 0.05–0.08 мас. % меди. Только в отдельных участках наблюдается сомещение Cu и Mo оруденения.

В пределах рудного поля широкое распространение имеют эпидотовые, кварц-эпидотовые (иногда содержат пирит), кварц-сульфидные, сульфидные, кварцевые, карбонатные и гипсовые прожилки. Мощность прожилков варьирует от долей миллиметра до 2–3 см. Кварцевые и карбонатные жилы достигают мощности 15–20 см. Прожилки, как правило, имеют крутое падение – 50–90° (обычно 60–75°), в отдельных участках образуют штокверковые системы. Наиболее широко в гранитоидах обеих фаз распространены пиритовые и пирит-кварцевые прожилки мощностью 1–2 мм и менее. Халькопирит (пирит)-кварцевые прожилки наблюдаются только в гранитоидах первой фазы.

Молибденит-содержащие прожилки и волосявидные просечки секут все типы гранитоидов, в том числе дайки гранодиорит-порфиров. Наиболее распространены кварц (светло- или темно-дымчатый)-молибденитовые (очень тонкочешуйчатый) прожилки мощностью до 1–4 мм, часто образующие мелкие штокверки. Иногда в таких прожилках фиксируется пирит. Изредка встречаются халькопирит-кварцевые прожилки с молибденитом. Нередко фиксируется выделение тонкочешуйчатого молибденита по плоскостям расщепления пород или в карбонатном цементе брекчий скарнов, а также в сколовых трещинах. Кварцевые жилы и прожилки слагаются светло-дымчатым или белым кварцем. В отдельных случаях они сопровождаются зонами серицитизации мощностью до 15 см,

обычно 0.5–1.5 см. Дымчатые кварцевые прожилки секутся белыми кварцевыми и карбонатными прожилками. Наиболее вероятная общая последовательность минералообразования включает: кварцевые диориты – кварц-халькопирит-пиритовая минерализация – пустые кварцевые прожилки – гранодиорит-порфиры – кварц-молибденитовые и молибденитовые прожилки – возможно, пустые кварцевые прожилки.

Изучение флюидных включений проводилось на термокриостатике ТНМСС-600 фирмы “Linkam” (Англия). В каждом из изученных образцов температуры гомогенизации (колонка № 4 в табл. 1, 2, здесь и далее приведены номера колонок в таблицах) замерялась для 5–27 флюидных включений (№ 3). В работе использовались группы однофазных включений, отличающиеся по размеру и по наполненности вакуоли. По температуре начала таяния эвтектики ($T_{эвт}$, № 5) определялся, в соответствии с методикой [1], качественный химический состав солевого раствора включений. Растворы, имеющие $T_{эвт}$ (35–38°C), могут содержать преимущественно $MgCl_2$, $FeCl_2$, $FeCl_3$, иногда с примесями $CaCl_2$ или $NaCl$. $T_{эвт}$ (33–35°C) соответствуют растворам с $MgCl_2$, $MgCl_2 + NaCl$, $MgCl_2 + KCl$. $T_{эвт}$ составляющие (21.2–23.5°C), характерны для растворов $NaCl$. Растворы с $T_{эвт}$ (49–55°C) содержат, в первую очередь, $CaCl_2$ или $CaCl_2$ с примесями хлоридов $NaCl$, $MgCl_2$, KCl . Соленость раствора (в мас. %-экв. $NaCl$, № 8) рассчитывалась по методике [11], по температуре плавления последней льдинки (№ 6) при нагреве замороженного включения. Состав газовой фазы и температура гомогенизации для CO_2 приведена в колонке № 7. В некоторых образцах при криометрических исследованиях появлялись признаки чистой углекислоты с плавлением в тройной точке при температуре 56.6 °C. Данные по температуре гомогенизации CO_2 использовались для определения плотности флюида (№ 9). В ряде образцов газовая фаза представлена малоплотным водяным паром. В обр. 515-291 соленость раствора оценивалась [12] по температуре плавления газгидрата. В обр. 522-157 включение содержит твердую фазу внутри вакуоли (дочерний минерал, предположительно галит), концентрация раствора вычислялась по температуре растворения галита. Плотность растворов в вакуолях, определялась по концентрации солей в растворе и

Таблица 1. Результаты изучения газовой-жидких включений в кварце из сульфидно-кварцевых прожилков

№	Номер шлифа	N	Гомогенизация, Т°С	Эвтектика, Т°С	Лед, Т°С	Газ/Т°С частичной томогензации CO ₂	Мас. %- экв. NaCl	D флюида, г/см ³	P флюида, бар	Состав раствора	Размер, мкм	V, %
1	517-77	8	193-186	-(37.8-34.5)	-(9.4-8.2)	H ₂ O	13.3-11.9	0.97	13	Mg+	6.5-4.5	30-25
2	526-65	5	209-176	-(25.8-23.5)	-(5.4-4.7)	CO ₂ /22.5	8.4-7.6	1.14	800	Na+	9.2-6.5	20
3	522-157	5	189-178	-(28.9-24.1)	-(2.5-2.1)	H ₂ O	4.2-3.6	0.92	12	Na+	4.6-4.1	25
4	515-288	2	162-158	-(54.9-51.9)	-27.5	H ₂ O	27.3	1.10	5	(Ca, Na)	9.2-7.3	20
5	515-288	6	274-262	-(39.6-34.7)	-(8.8-7.4)	CO ₂ /15.6	12.6-11.0	1.15	1380	Mg+, Fe ²⁺	9.8-8.2	40-30
6		2	228	-(35.9-33.2)	-(6.7-5.9)	CO ₂	10.1-9.1			Mg+, Fe ²⁺	13.4-10.7	30-25
7		7	211-174	-(38.5-34.6)	-(5.4-4.8)	CO ₂	8.4-7.2			Mg+, Fe ²⁺	8.2-4.9	15-10
8	515-273	7	285-260	-(43.7-38.4)	-(8.6-6.3)	CO ₂	12.4-9.6			(Mg+K)+Ca	12.1-5.8	30-20
9		11	249-231	-(39.6-36.3)	-(7.4-4.4)	CO ₂	11.0-7.0			(Mg+K)+Ca	9.5-4.8	20-15
10		9	220-200	-(32.3-29.6)	-(6.9-6.2)	CO ₂	10.4-9.5			(Mg+K)+Ca	10.9-5.6	15-10
11	526-144	2	258-250	-(33.7-32.2)	-(5.6-4.4)	H ₂ O	8.7-7.0	0.85	45	Mg+	9.8-9.2	30
12		2	217-213	-(35.3-28.3)	-(5.1-4.2)	H ₂ O	8.0-6.7	0.92	20	Mg+	19.5-17.1	25
13		6	184-174	-(37.2-30.7)	-(6.8-5.7)	H ₂ O	10.2-8.8	0.97	12	Mg+	22.9-12.5	25-20
14		4	134-126	-(37.2-30.7)	-(9.4-6.5)	H ₂ O	13.3-9.9	1.05-1.01	3	Mg+	9.6-8.2	10

Примечание. 1-4 – кварцевые прожилки, содержащие незначительные чешуйки молибдена. 5-10 – халькопирит-кварцевые прожилки; 11-14 – кварц-пирит-карбонатный прожилок. Анализ (кроме № 7, 14) отвечают первичным включениям. Расшифровка обозначений колонок приведена в тексте.

Таблица 2. Результаты изучения газовой-жидких включений в кварце из безрудных кварцевых прожилков

№	Номер шлифа	N	Гомогенизация, Т°С	Эвтектика, Т°С	Лед, Т°С	Газ/Т°С частичной томогензации CO ₂	Мас. %- экв. NaCl	D флюида, г/см ³	P флюида, бар	Состав раствора	Размер, мкм	V, %
1	525-95	3	410-398	-(23.7-23.1)	-(9.6-7.8)	CO ₂	13.5-11.5	1.10	870	Na+K	6.2-4.9	40
2		6	233-195	-(28.2-23.1)	-(8.8-4.6)	19.8	12.6-7.3	1.08	945	(Na+K)+Fe?	10.8-6.2	30-25
3		7	188-182	-(42.9-39.3)	-(3.4-1.1)	15.4-15.1	5.6-1.9	0.87	1900	Mg+	12.1-6.2	20-10
4	515-156	2	420-390	-(39.1-38.6)	-(9.6-7.1)	CO ₂ /23.8	13.5-10.6	1.08-1.01	1850-1580	Mg+	11.6-11.4	35-25
5		7	360-345	-(41.9-38.9)	-(9.6-5.1)	23.8-16.5	13.5-8.0	1.20	1030-950	Mg+	10.5-5.7	40-30
6		7	210-185	-(40.3-37.9)	-(5.5-2.4)	23.3-19.3	8.5-4.0			Mg+	15.2-11.4	30-20
7		11	175-143	-(54.2-49.4)	-(9.2-5.1)	CO ₂	13.1-8.0			Ca+	15.7-8.2	10-5
8	522-190	3	330-310	-(39.6-38.8)	-(6.9-3.7)	CO ₂	10.4-7.7			Mg+	8.6-7.3	25-20
9		10	289-268	-(39.9-38.1)	-(6.8-3.7)	25.7-20.0	10.2-6.1	1.06-1.03	1400-1080	Mg+	15.6-6.1	40-30
10		7	258-248	-(39.6-28.8)	-(9.7-4.1)	26.9-21.8	13.6-6.5	1.07-0.99	1120-980	Mg+	10.6-6.2	25-20
11		7	205-190	-(50.2-48.1)	-(8.8-7.2)	27.0-23.6	12.6-10.7	1.19-1.12	820-710	Ca	12.2-7.3	40-20
12		9	314-267	-(28.7-22.6)	-(11.0-5.2)	CO ₂ /21.2	4.3-2.4		1500	Na+	11.1-8.1	25-20
13		6	227-219	-(33.7-32.5)	-(8.5-7.0)	28.3-22.3	5.0-2.7	1.14-1.06	930-825	Mg+	18.7-10.2	40-30
14	525-142	6	235-219	-(39.1-33.6)	-(8.5-7.0)	16.5	16.0-8.3	1.2	1230	Mg+	18.2-11.6	30-20
15		6	205-160	-(49.8-45.9)	-(4.4-3.9)	18.1-18.0	12.3-10.6	1.17	1080	Ca	7.2-4.0	30-20
16		2	188-175	-(38.3-37.6)	-(5.9-4.2)	CO ₂	7.0-6.3			Mg+	6.5-5.8	15
1117	525-155	5	235-205	-(49.9-45.8)	-(5.9-4.2)		9.1-6.7			Ca	8.8-5.4	20-15
18		4	190-182	-(39.8-38.5)	-(3.6-3.1)		5.9-5.1			(Mg+K)+Ca	7.9-6.3	25-10

Примечание. 1-3 – светлосветлые кварцы; 4-18 – молочно-белый кварц. Анализ № 7 и 13 могут отвечать вторичным включениям. Расшифровка обозначений колонок дана в тексте.

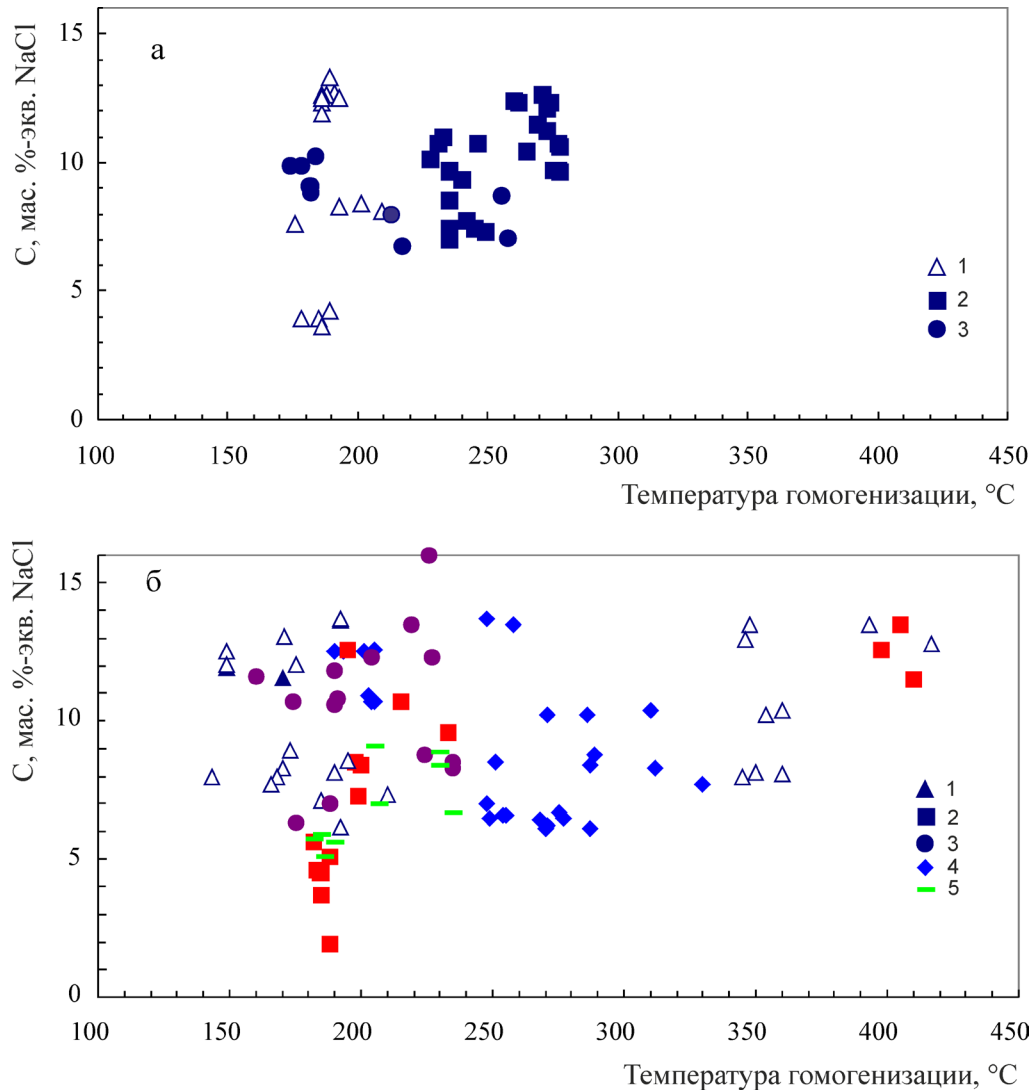


Рис. 1. Зависимости между температурой гомогенизации и соленостью раствора из флюидных включений в кварце из сульфидо-содержащих (а) и безрудных (б) кварцевых прожилков.

а: 1–3 – прожилки, содержащие молибденит (1), халькопирит (2), пирит и карбонат (3); б: 1–5 – шлифы соответственно 156, 95, 142, 190, 155 (см. табл. 2).

его $T_{\text{гом}}$, используя данные работ [7, 10]. Плотность CO_2 определялась на линии равновесия жидкость – пар по температуре его гомогенизации. Плотность флюида, захваченного в момент кристаллизации минерала, рассчитывалась с учетом плотностей всех фаз. Оценка давления (№ 10) производилась по сингенетичным, существенно газовым и газожидким включениям, захваченным при гетерогенизации флюида [5, 8]. При отсутствии углекислого газа давление в системе равняется давлению паров воды. Для оценки использовались экспериментальные данные по системе $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ при температуре ниже 300°C [6] и выше 300°C [9].

Полученные данные позволяют сделать следующие краткие выводы. Температура гомогенизации первичных включений в кварце из рудных прожилков составляет ($^\circ\text{C}$): халькопирит-кварцевых –

230–290, пирит-кварцевых – 170–260, молибденит-кварцевых – 160–190 (табл. 1, рис. 1). Таким образом, судя по верхней температуре гомогенизации, молибденит отлагается преимущественно в наиболее низкотемпературную стадию рудного минералообразования. При такой же температуре ($160\text{--}210^\circ\text{C}$) гомогенизируется около половины включений в кварце из прожилков, не содержащих сульфидов (табл. 2). Другая группа включений в кварце из пустых прожилков гомогенизируется при более высокой температуре – до $350\text{--}400^\circ\text{C}$. Частично она перекрывается с температурой гомогенизации включений из пирит-, халькопирит-содержащих кварцевых прожилков ($210\text{--}280^\circ\text{C}$) или представлена еще более высокотемпературными включениями ($280\text{--}420^\circ\text{C}$). При этом в двух шлифах встречаются флюидные включения как с низкими, так

и наиболее высокими (340–420°C) температурами гомогенизации. Наиболее низкие температуры гомогенизации флюидных включений в кварце из молибденит-содержащих прожилков можно объяснить следующим образом. Так как эти прожилки сформировались, вероятно, после кристаллизации гранодиорит-порфиоров второго этапа, то можно полагать, что порфиры кристаллизовались при меньшей температуре, чем диориты первого этапа. Полученные нами температуры гомогенизации флюидных включений принципиально не отличаются от немногочисленных определений, ранее выполненных В.С. Карпухиной. По ее данным, для молибденит-содержащих прожилков интервал температур гомогенизации составляет 177–246°C, а для халькопирит-содержащих – 195–343°C. Необходимо отметить, что в многочисленных статьях по порфировым месторождениям других регионов наиболее высокие температуры гомогенизации включений фиксируются для молибденит-содержащих прожилков.

Частое наличие углекислоты во включениях, что отмечалось и В.С. Карпухиной, позволило установить величину давления флюида при минералообразовании, которое варьирует от 0.8 до 1.9 кбар. Преобладает давление, превышающее 1 кбар, т.е. минералообразование происходило при значительном литостатическом напоре флюида. Соленость флюида варьирует от 4 до 16 (обычно 8–12) мас. %-экв. NaCl, независимо от состава прожилков. Аналогичные значения для Тарутинского и других порфировых месторождений Урала получены и А.А. Боровиковым [3]. На этом фоне выделяется Гумешевское месторождение, флюидные включения в кварце которого содержат всего 2–9 мас. %-экв. NaCl [2], что может быть связано с широким распространением на месторождении флюидной низкотемпературной перекристаллизации. В каждом конкретном флюидном включении на фоне хлорида натрия резко преобладают одна или две других соли (хлориды Mg, Ca), остальные присутствуют в них в количествах на порядок ниже. $T_{\text{зв}}$, равная –34...–38°C, характерная для наших образцов, говорит об усложненном составе солевой системы за счет возможного появления в ней хлоридов K, Fe^{+2} и Fe^{+3} .

Авторы признательны В.В. Мурзину, приложившему много усилий для постановки методов изучения газовой-жидких включений в ИГГ УрО РАН.

Исследования выполнены по программе Президиума РАН № 27, финансируемой УрО РАН (проект 12-П-5-2015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисенко А.С.* Изучение солевого состава газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
2. *Боровиков А.А., Грабежьев А.И., Сотников В.И. и др.* Низкотемпературная флюидная перекристаллизация гидротермалитов Гумешевского месторождения // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 207–210.
3. *Грабежьев А.И., Боровиков А.А., Вигорова В.Г.* Флюидные включения в прожилковом кварце и карбонате медно-порфировых месторождений Урала // Ежегодник-2007. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. С. 308–312.
4. *Грабежьев А.И., Сотников В.И., Белгородский Е.А., Мурзин В.В., Молошаг В.П.* Кислотное выщелачивание в скарново-медно-порфировых системах: Тарутинское месторождение, Южный Урал // Геол. рудн. месторожд. 2004. № 6. С. 510–523.
5. *Калюжный В.А.* Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев, 1982. 240 с.
6. *Леммлейн Г.Г., Клевцов П.В.* Влияние концентрации на температуру гомогенизации систем, состоящих из водных растворов солей // Записки ВМО. 1956. № 3. С. 310–320.
7. *Наумов В.Б.* Возможности определения давления и плотности минералообразующих сред по включениям в минералах // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М: Недра, 1982. С. 85–94.
8. *Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М: Мир, 1987. 558 с.
9. *Bischoff J.L.* Densities of liquids and vapors in boiling NaCl-H₂O solutions: a PVTX summary from 300°C to 500°C // American Journ. Sci. 1991. V. 291. P. 309–338.
10. *Bodnar R.J.* A method of calculating fluid-inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluids // Econ. Geol. 1983. V. 78. P. 535–542.
11. *Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals, methods and applications. Pontignano-Siena. 1994. P. 117–130.
12. *Darling R.S.* An extended equation to calculate NaCl contents from final clatrate melting temperatures in H₂O-CO₂-NaCl fluid: Implication for P-T-isochore location // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. P. 3869–3871.