

УДК 553.411:553.21/24

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДООБРАЗУЮЩЕГО ФЛЮИДА Au–Ag-ЭПИТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУПОЛ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

© 2012 г. В. Ю. Прокофьев, А. В. Волков, член-корреспондент РАН А. А. Сидоров,
Н. Е. Савва, Е. Е. Колова, К. В. Уютнов, М. А. Бянкин

Поступило 03.05.2012 г.

Au–Ag-эпитермальное месторождение Купол – крупнейшее на северо-востоке России, расположено во внешней зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) в Чукотском АО (рис. 1). К настоящему времени месторождение Купол дало около 80 т золота и 1000 т серебра, содержание которых в руде составляет в среднем 21.5 и 266.6 г/т [1].

Региональное положение, геологическое строение и вещественный состав месторождения Купол достаточно подробно рассмотрены в ряде предыдущих публикаций [2, 3]. В настоящей работе приведены только основные геолого-структурные особенности. Месторождение приурочено к узлу пересечений нескольких региональных разломов в обрамлении крупной Вармекайской кальдеры. Оно локализовано в пределах сложно построенного субвулканического комплекса – одного из побочных центров перманентной вулканической активности [2]. Важная структурная особенность месторождения Купол – формирование золото-сереброносных жильных зон контролируется мощными и протяженными дайками и силами риолитов (более 4 км). Приуроченность к границе между Анадырским и Центрально-Чукотским секторами Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (рис. 1) позволяет предполагать особую специфику образования месторождения Купол. Прежде всего, оно отличается значительным размахом рудной колонны (более 450 м), что типично для месторождений, связанных с жерловыми фациями [4, 5]. В пользу этого говорит также наличие в рудных телах большого количества брекчий и мегабрекчий с кокардовыми текстурами обрастания обломков различ-

ного петрографического состава халцедон-адуляровым агрегатом и взрывных брекчий. Мощность рудовмещающего разлома достигает 22 м, а вместе с дайкой – 40 м. Обращает на себя внимание и присутствие ярозита в рудных брекчиях [4], цементирующего обломки кварцевого агрегата, при общей низкой сульфидности руд (0.5–1%). Подобные образования не являются следствием экзогенных процессов, они типичны для фумарол или сольфатар, сопровождающих вулканические извержения, и характеризуются высокими давлениями и температурами, достигающими до 300°C [6]. В рудах отмечено преобладание сульфида серебра – пакангита над сульфосолями Ag. Для месторождения характерна обратная зональность Au/Ag-отношения – последовательное снижение от поверхности на глубину от 1 : 3 до 1 : 100 [6].

Ниже рассмотрены результаты термобарогеохимических исследований флюидных включений в кварце из жильных рудных тел месторождения Купол, выполненных в секторе минераграфии ИГЕМ РАН по методике, детально изложенной в ранее опубликованной работе [7]. Анализ водных вытяжек из включений комплексом методов, включающим газовую и ионную хроматографию и ICP MS, был выполнен из навесок 0.5 г фракции 0.5–0.25 мм в ЦНИГРИ (аналитик – Ю.В. Васюта) по методике, опубликованной в работе [8]. Предварительно во включениях той же навески определялось количество воды для расчета концентраций элементов в гидротермальном растворе. Анализировались также углекислота и метан, а после приготовления вытяжки в растворе определяли Cl, K, Na, Ca, Mg и все элементы, которые удалось обнаружить методом ICP MS.

При визуальном изучении флюидных включений в кварце и аметисте из руд месторождения были обнаружены два типа флюидных включений: 1) двухфазовые газовой-жидкие включения (рис. 2), 2) малоплотные газовые включения (в одном образце “Купол 2”). Большинство флюидных включений имеет форму отрицательного кристалла кварца. Иногда встречаются флюид-

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Магадан*

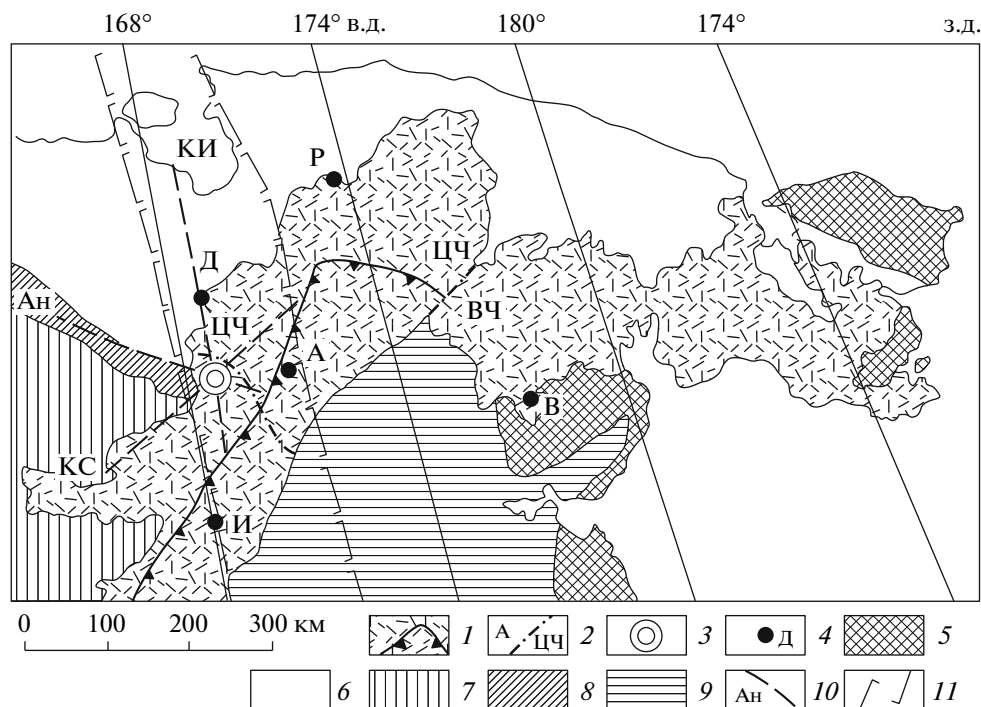


Рис. 1. Положение Вармекайской кальдеры в структурах Чукотки. 1 – ОЧВП и граница его внешней и внутренней зон (вершины треугольников обращены в сторону внутренней зоны); 2 – границы Анадырского (А) и Центральнo-Чукотского (ЦЧ) секторов и Восточно-Чукотской фланговой зоны (ВЧ); 3 – Вармекайская кальдера, вмещающая месторождение Купол; 4 – месторождения и наиболее значительные рудопроявления золото-серебряного типа (А – Арыкваам, Д – Двойной, Р – Сопка Рудная, В – Валунистое, И – Иргуней); 5 – Эскимосский срединный массив; 6 – Анюйская и Чаунская зоны Чукотской складчатой системы; 7 – Олойская зона Алазейско-Олойского островодужного террейна; 8 – Южно-Анюйская рифтогенная зона; 9 – Анадырско-Корякская складчатая система; 10 – зоны региональных разломов в фундаменте внешней зоны ОЧВП, определившие положение Вармекайской кальдеры (КИ – Кайемравеим-Имравеемская, КС – Крестовско-Саламихинская, Ан – Анюйская); 11 – границы скрытого трансрегионального Азиатско-Тихоокеанского линеймента [5].

ные включения неправильной формы. Размер включений изменялся от 1 до 23 мкм. Газовые включения (тип 2) приурочены к одним и тем же зонам или трещинам, что и газово-жидкие (тип 1) с большим газовым пузырьком (т.е. наиболее высокотемпературные), образуя единую ассоциацию флюидных включений. Наличие такой ассоциации свидетельствует о гетерогенном состоянии рудообразующего флюида (вскипании). Для термо- и криометрических исследований выбирали прежде всего флюидные включения, расположенные в зонах роста (рис. 2а) или равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца и отнесенные нами к первичным включениям.

Результаты термо- и криометрических исследований 59 индивидуальных флюидных включений в кварце месторождения Купол приведены в табл. 1 и на рис. 3. Двухфазовые газово-жидкие включения в кварце и аметисте рудных жил месторождения Купол гомогенизируются в жидкую фазу при температурах от 276 до 222°C и содержат водный раствор с концентрацией солей от 3.2 до 0.5 мас. %, экв. NaCl. В растворе этих включений преобладают хлориды натрия и магния (темпера-

тура эвтектики от –34 до –21°C). Плотность флюида составляет 0.75–0.86 г/см³. В образце “Купол 2” встречены существенно газовые включения, сингенетичные поздним газово-жидким с температурой гомогенизации 229°C. Давление водяного пара составляет 25 бар, что свидетельствует о приповерхностных условиях (примерно 250 м для гидростатического давления) в период залечивания трещин и образования поздних включений.

Состав растворов приведен на рис. 4. Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H₂O): Na 1.6 и K 0.75, а Ca 0.36 и Mg 0.40 находятся в подчиненном количестве. Установлены заметные количества (г/кг H₂O): Cl 0.16, SO₄ 1.3, HCO₃ 6.6, CO₂ 4.8 и CH₄ 0.05, а также В 0.49. Кроме того, в составе флюида выявлены многие микрокомпоненты (мг/кг раствора): Sb 78, Ba 75, As 56, Mn 12, Li 9.5, Zn 7.0, Sr 5.6, Rb 1.6, Ni 0.66, Cs 0.3, Au 0.27, Mo 0.2, Co 0.18, V 0.12, Cd 0.05, REE 0.025.

Если сравнить данные, полученные по месторождению Купол, с данными по аналогичному месторождению Двойной (расположенному в

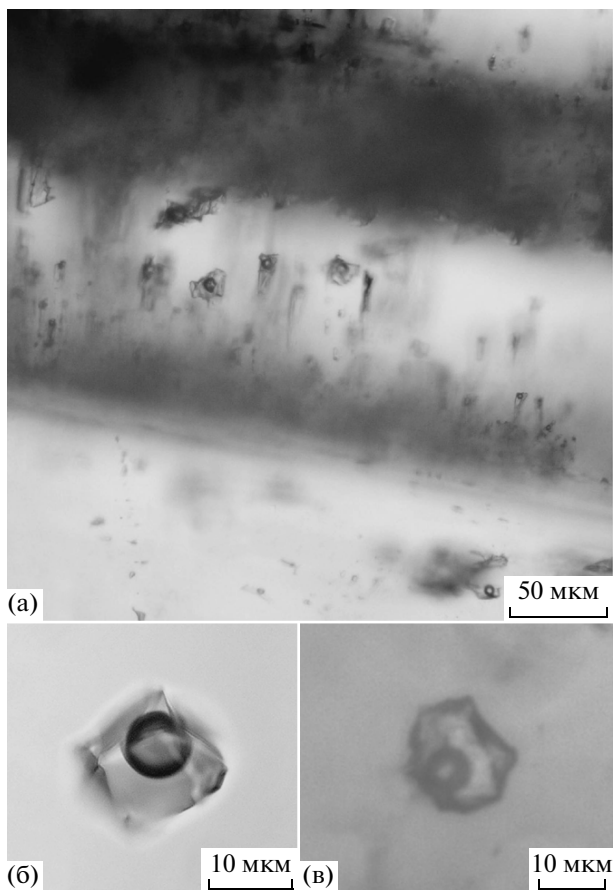


Рис. 2. Флюидные включения в аметисте и кварце эпитермальных золото-серебряных месторождений Купол и Двойной. а – первичные двухфазовые флюидные включения в зоне роста аметиста из руд месторождения Купол; б – двухфазовое флюидное включение в аметисте месторождения Купол ($T_{\text{гом}} 267^{\circ}\text{C}$); в – двухфазовое флюидное включение в кварце месторождения Двойной ($T_{\text{гом}} 251^{\circ}\text{C}$).

80 км к северу, рис. 1), то можно заключить, что параметры и состав рудообразующих флюидов этих месторождений очень близки (рис. 3, 4; табл. 1). На рис. 3 и по данным табл. 1 видно, что проба рудного кварца месторождения Двойной несколько более низкотемпературная, чем исследованные пробы месторождения Купол. Возможно, изучаемый срез месторождения Купол имел несколько большую глубину формирования, чем месторождение Двойной. Кроме того, в сравнительном плане были изучены безрудные эпитермальные аметистовые жилы рудного поля Арык-ваам (расположено в 100 км к юго-востоку от месторождения Купол) из коллекции В.Ф. Белого [9]. В аметисте из жил Арык-ваам обнаружены существенно газовые и газово-жидкие включения (рис. 2а). Газовые включения содержат водяной пар и водный раствор с концентрацией солей 0.5 мас. %, экв. NaCl. Они гомогенизируются в газ при температуре 267°C, давление водяного пара

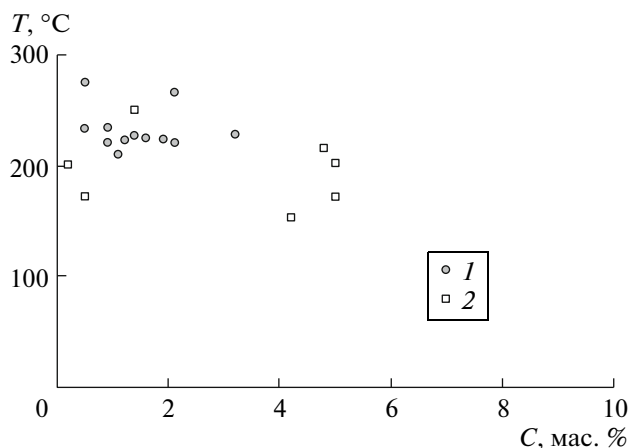


Рис. 3. Диаграмма “температура–концентрация” для рудообразующего флюида месторождений Купол (1) и Двойной (2).

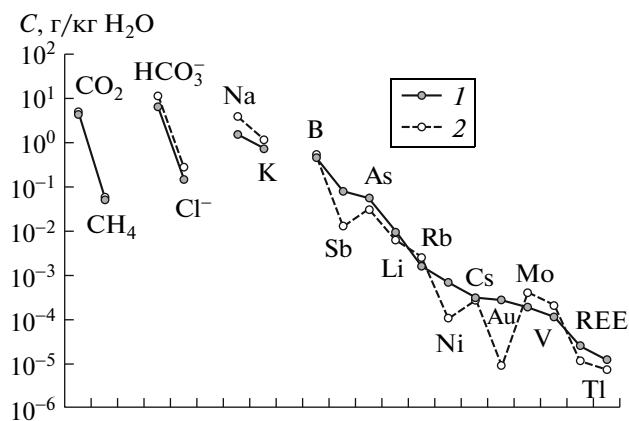


Рис. 4. Сравнение составов рудообразующих флюидов месторождений Купол (1) и Двойной (2).

составляет 50 бар. Газово-жидкие включения содержат хлоридный водный раствор с концентрацией солей 1.2–0.4 мас. %, экв. NaCl, их температура гомогенизации 257–234°C. В результате исследований выяснилось, что включения в кварце и аметисте из рудных жил месторождения Купол в отличие от безрудных жил Арык-ваам содержат растворы в 2–3 раза более концентрированные [9].

Полученные данные подтверждают выдвинутую ранее гипотезу об участии в рудообразовании месторождения Купол фумарол или сольфатар. Они подтверждают наш вывод [9] о связи месторождения Купол не только с золото-сульфидной, но и с медно-порфировой формацией.

Данные исследования химического состава водных вытяжек из включений месторождений Двойной и Купол (рис. 4) также свидетельствуют о сходстве химического состава рудообразующих флюидов по большинству элементов. Существен-

Таблица 1. Результаты исследования флюидных включений в минералах месторождений Купол и Двойной (северо-восток России)

Проба	Минерал, тип включений *	<i>n</i>	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{солей}}, \text{мас. \%}, \text{экв. NaCl}$	$d, \text{г/см}^3$
Купол							
КР01	Кварц, П	4	276	-30	-0.3	0.5	0.75
	То же, П	4	235	-31	-0.5	0.9	0.82
	», П	3	234	-33	-0.3	0.5	0.82
	», П-В	3	228	-33	-0.8	1.4	0.84
	», П-В	4	226	-32	-0.9	1.6	0.85
	», П-В	3	222	-32	-0.5	0.9	0.84
	», П-В	5	211	-30	-0.6	1.1	0.86
Кр04-295а-328.8	Аметист, П	11	267	-21	-1.2	2.1	0.78
	То же, П-В	8	222	-21	-1.2	2.1	0.86
Купол2	Кварц, П	3	229	-34	-1.9	3.2	0.86
	То же, П	6	225	-33	-1.1	1.9	0.85
	», П	5	224	-28	-0.7	1.2	0.84
Двойной							
DV05	Кварц, П	7	251	-27	-0.8	1.4	0.80
	То же, П	6	216	-29	-2.9	4.8	0.89
	», П	6	203	-33	-3.0	5.0	0.90
	», П	4	202	-28	-0.1	0.2	0.87
	», П-В	3	173	-31	-0.3	0.5	0.90
	», П-В	3	172	-30	-3.0	5.0	0.95
	», П-В	3	154	-32	-2.5	4.2	0.95

* П – первичные включения, П-В – первично-вторичные включения.

ное различие рудообразующих флюидов изученных месторождений состоит главным образом в наличии заметных концентраций сульфата в рудообразующем флюиде месторождения Купол, что характерно также для эпitherмальных месторождений алунитового подтипа (“high sulfidation”).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 12-05-01083-а, 11-05-00006-а, 11-05-00007-а, 11-05-00504-а), ДВО РАН № 12-П-0-08-2 и Минобрнауки (Госконтракт № 16.515.11.5014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканического пояса. М.: Науч. мир, 2005. 310 с.
2. Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Ващилов Ю.Я. // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 10–18.
3. Кравцов В.С., Белый В.Ф., Волков А.В. и др. // ДАН. 2005. Т. 404. № 2. С. 616–620.
4. Сидоров А.А., Волков А.В., Чехов А.Д. и др. // Вулканология и сейсмология. 2011. № 6. С. 21–35.
5. Ващилов Ю.Я. Структура и геокинематика литосферы Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. С. 19–43.
6. Савва Н.Е., Бянкин М.А. Чтения памяти академика К.В. Симакова. Тез докл. Всерос. науч. конф. Магадан, 25–27 ноября 2009 г. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. С. 138–139.
7. Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Горячев Н.А., Сидоров А.А. // ДАН. 2005. Т. 401. № 5. С. 673–678.
8. Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.
9. Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В., Прокофьев В.Ю. // ДАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 234–239.