

И. Ю. Мелекесцева¹, С. Г. Кряжев², В. В. Зайков¹, Н. Н. Анкушева^{1,3}

*¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
melekestseva-irina@yandex.ru*

² – ФГУП ЦНИГРИ, г. Москва

³ – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе

Состав флюидов золоторудных месторождений Алдан-Маадырской зоны, Западная Тува

Введение. Золоторудные объекты Алдан-Маадырской зоны в Западной Туве в последнее время привлекают к себе внимание как производственных, так и академических организаций. С одной стороны, это связано с растущим спросом на золото и истощающимися запасами крупных месторождений. С другой стороны, эти объекты представляют собой уникальный «полигон» для изучения процессов формирования золоторудных месторождений, залегающих в различных породах, но локализованных в единой структуре.

Ранее были проведены термо- и криометрические исследования флюидных включений в кварце золотоносных жил и определен изотопный состав кислорода в кварце месторождений всех типов (см. статьи в сборниках «Металлогения древних и современных океанов–2009, 2012»). Было установлено, что флюидные включения в кварце разных месторождений содержат достаточно однотипные щелочно-хлоридные водные растворы переменной солености (от 3 до 14 мас. % NaCl-экв), а температуры гомогенизации включений изменяются от 340 до 110 °С. Узкие вариации изотопного состава кислорода кварца ($\delta^{18}\text{O} +17.0\dots+17.7\%$) указывают на единый источник водной фазы рудообразующих растворов и вероятную связь оруденения с гранитоидным магматизмом. Целью данной работы явилось определение химического состава рудообразующих флюидов методом валового анализа флюидных включений в кварце.

Месторождения Алдан-Маадырской золоторудной зоны расположены в зоне Саяно-Тувинского разлома. Золото-кварцевые жилы с сульфидами и турмалином залегают среди лиственитов (Хаак-Саирское), конгломератов и алевролитов (Улуг-Саирское) и березитов (Арысканское) [Рудные..., 1981]. Для исследований были использованы образцы кварца, в которых ранее были обнаружены и изучены относительно крупные флюидные включения.

Методика исследований. Валовый анализ включений в кварце выполнен по единой методике [Кряжев и др., 2006], что обеспечивает корректность сравнения результатов, полученных для разных месторождений. Отобранные под бинолупой номинеральные фракции кварца (класс $-0.5+0.25$ мм) массой 0.5–1 г были очищены азотной кислотой, затем – электролитически в потоке воды. Включения вскрывали термическим способом при 400 °С; выделившиеся газы (H_2O , CO_2 и CH_4) анализировали газовым хроматографом (Agilent 6890). Затем реактор с декрепитированной пробой заливался очищенной водой и помещался в ультразвуковую ванну. Содержания анионов в водной вытяжке определялись ионной хроматографией (ЦВЕТ-3000), содержание катионов и микроэлементов – методом ICP MS (Elan-6100). Содержание HCO_3^- рассчитывалось по балансу. Для исключения влияния матрицы делали повторную («холостую») вытяжку, результаты анализа которой вычитали из первой.

Результаты исследований представлены в таблице. Рудообразующие флюиды золоторудных месторождений Алдан-Маадырской зоны характеризуются сложным многокомпонентным составом. Во включениях установлены не только все компоненты, присущие золотоносным рудообразующим растворам (Na, K, Ca, Mg, Rb, Cs, Li, Sr, Ba, B, As, Sb, Cu, Pb, Cd, Ge), но также и широкий ряд элементов (Au, Ag, Mo, W, Co, Ni, Cr), которые валовым анализом фиксируются в редких случаях [Кряжев и др., 2008]. В следовых количествах находятся только Zn, Bi, Sn, Hg и Tl.

Т а б л и ц а

**Средние содержания флюидных компонентов
в кварце золоторудных месторождений**

Компонент	XC (4)	YC (4)	A (1)	Компонент	XC (4)	YC (4)	A (1)
Главные компоненты, мг/кг кварца				Микроэлементы, мкг/кг кварца			
H ₂ O	871	1955	1544	Li	4.0	3.8	5.4
CO ₂	127.0	114.3	37.0	Rb	1.2	1.0	1.2
CH ₄	0.21	0.11	0.30	Cs	0.3	0.4	0.7
Cl	0.91	6.48	6.59	Sr	56.0	57.0	97.2
HCO ₃ ⁻	14.0	25.0	56.0	Sb	9352.7	18.2	0.0
Na	4.08	13.51	21.34	Ge	0.1	0.1	0.2
K	0.78	0.69	0.81	Cu	1.3	178.6	73.3
Ca	2.29	0.45	2.68	Cd	2.8	0.2	0.3
Mg	0.35	0.14	0.69	Pb	43.6	0.3	0.3
B	0.92	0.48	0.32	Au	0.08	0.07	0.16
Ba	1.13	0.37	0.54	Ag	2.8	0.1	4.8
As	0.69	0.16	0.16	Mo	8.2	3.1	4.5
Мольные отношения				W	19.4	1.9	0.0
CO ₂ /H ₂ O	0.06	0.02	0.01	Co	0.2	0.1	0.7
CO ₂ /CH ₄	223	370	44	Ni	2.9	7.6	2.2
Cl/HCO ₃ ⁻	0.11	0.45	0.21	Cr	0.5	0.0	1.4
B/Cl	3.22	0.24	0.15	Mn	9.5	16.9	54.2
Na/Cl	6.9	3.2	4.9	Fe	35.9	4.3	28.7

Примечание. Анализы выполнены в ЦНИГРИ, аналитик Ю. В. Васюта. Месторождения: YC – Улуг-Саирское, XC – Хаак-Саирское, A – Арысканское. В скобках – число анализов.

По результатам анализа корреляционных связей между компонентами флюида, можно выделить три группы элементов, которые, вероятнее всего, находятся в разных генерациях флюидных включений (рис. 1, 2).

К первой группе относятся Cl и Na, основное количество которых поступает в вытяжку из включений водно-солевого раствора, на что указывает сильная положительная корреляция указанных элементов с количеством воды в кварце.

Вторую группу составляет триада B–As–Sb, которая обнаруживает сильную отрицательную корреляцию с элементами первой группы. Природу выявленной закономерности пока трудно интерпретировать однозначно, возможно, она отражает процесс

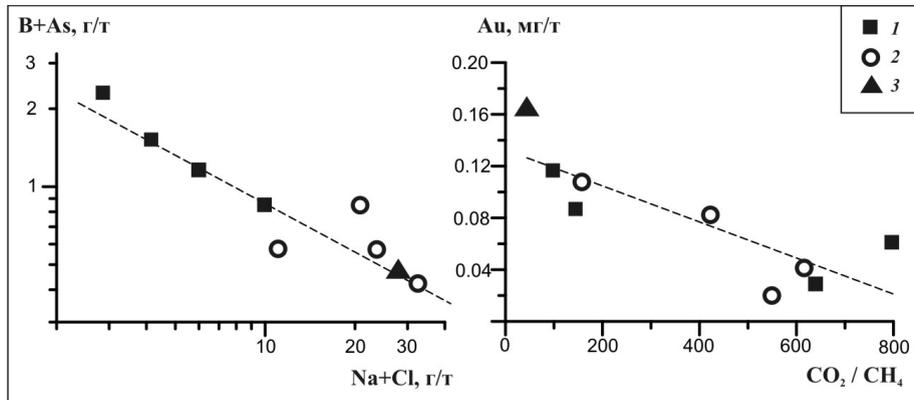


Рис. 1. Примеры зависимостей между компонентами флюида.
Месторождения: 1 – Хаак-Саирское, 2 – Улуг-Саирское, 3 – Арысканское.

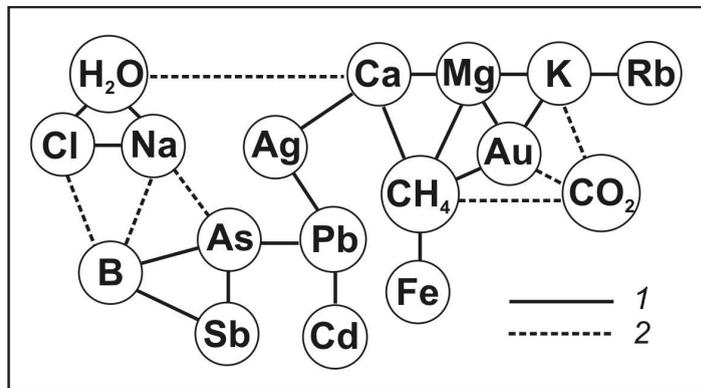


Рис. 2. Общая структура основных корреляционных связей между компонентами флюида.
Связи: 1 – положительная, 2 – отрицательная.

смешения флюидов различного состава в рудообразующих системах. Важно отметить, что рассматриваемая корреляционная связь (как и большинство других) проявлена как в пределах каждого месторождения, так и при рассмотрении Алдан-Маадырской зоны в целом (см. рис. 1). Данный факт является еще одним свидетельством однотипности гидротермальных рудообразующих систем рассматриваемых месторождений.

В третью группу входят K, Mg, Ca и углеродсодержащие газы. Именно с данными компонентами коррелируют содержания благородных металлов (Au и Ag), что позволяет предполагать определенную связь элементов третьей группы с рудообразованием. Например, корреляция между содержанием Au и степенью окисленности флюида (отношением CO₂/CH₄) может указывать на то, что окисление служило одной из причин рудоотложения.

Сравнительный анализ полученных данных позволяет отметить следующие особенности флюидов каждого из месторождений. Относительное содержание газовой фазы (отношение CO₂/H₂O), косвенно отражающее давление и, соответственно,

уровень эрозионного среза рудообразующей системы, закономерно возрастает в западном направлении и максимально на Хаак-Саирском месторождении. Здесь же во флюидных включениях отмечалось присутствие фазы жидкой углекислоты.

Хаак-Саирское месторождение выделяется повышенными содержаниями широкого ряда элементов во флюиде (As, B, Sb, Pb, Cd, W, Mo). Здесь же отмечаются следы Bi, Zn, Hg. Эта особенность согласуется с присутствием в жилах и лиственитах блеклых руд, турмалина, аксинита, галенита, сульфоарсенидов, висмутина, киновари, шеелита [Васильев и др., 1975ф]. Высокие концентрации Cu во флюиде Улуг-Саирского месторождения можно сопоставить с широким развитием халькопирита в кварцевых жилах. Повышенные концентрации HCO_3^- , K, Ca, Mg, Mn и Sr в кварце Арысканского месторождения, возможно, отражают процессы березитизации, проявившиеся на этом объекте.

Выводы. Результаты валового анализа флюидных включений в кварце показали, что золотоносные кварцевые жилы месторождений Алдан-Маадырской зоны, залегающих в различных породах, были сформированы при участии сходного многокомпонентного метан-углекислотно-водного флюида, содержащего щелочные и щелочноземельные металлы. Главные различия между сравниваемыми объектами заключаются в содержании элементов-примесей (B, Ba, As, Sb, Cd, Pb, Mo, W, Mn, Cu), которые отражают минералогические особенности месторождений.

Авторы благодарят Г. А. Третьякова за участие в обсуждении результатов. Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ № 11-05-00187.

Литература

Васильев Б. Д., Дружков В. П., Красиков А. И., Боярко Г. Ю. Ревизионно-оценочные работы на золото в Алашском и Эйлиг-Хемском районах Западной Тувы: Заключительный отчет ТувГРЭ КГУ. Кызыл, 1977ф. 337 с.

Кряжев С. Г., Прокофьев В. Ю., Васюта Ю. В. Использование метода ICP MS при анализе рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология, 2006. № 4. С. 30–36.

Кряжев С. Г., Прокофьев В. Ю., Васюта Ю. В. Геохимические особенности включений в кварце золоторудных месторождений по данным анализа водных вытяжек методом ICP MS // Мат. XIII Междунар. конф. по термобарогеохимии и IV симпозиума APFIS. М.: ИГЕМ РАН, 2008. Т. 1. С. 30–33.

Рудные формации Тувы. Новосибирск: Наука, 1981. 201 с.

Е. Е. Паленова

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
palenova@mineralogy.ru*

Вмещающие породы рудопроявления золота Красное (Бодайбинский рудный район) (научный руководитель Е. В. Белогуб)

Бодайбинский рудный район расположен в знаменитой Ленской золотоносной провинции (Патомское нагорье), в пределах которой находится гигантское золоторудное месторождение черносланцевой формации Сухой Лог, а также ряд более мелких объектов. До сих пор не решенным является вопрос источника золота в этих