

И. Ю. Мелекесцева¹, Х. Каварая², О. Мацубая²

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

² – *Университет г. Акита, Япония*

**Источник флюида при формировании золото-кварцевых жил
Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений (Западная Тува)
по данным изотопного состава кислорода**

Введение. На западе Республики Тува с конца 60-х гг. 20 в. известен ряд небольших золото-кварцевых месторождений и рудопроявлений в конгломератах и лиственитах, на которых недавно возобновлены геологоразведочные и научно-исследовательские работы [Зайков и др., 2009]. Эти объекты сосредоточены в Алдан-Маадьрской золоторудной зоне, и наиболее крупными из них являются Улуг-Саирское месторождение в конгломератах и Хаак-Саирское – в лиственитах. Считается, что их образование связано с внедрением гранитоидов Сютхольского комплекса девонского возраста. Цель настоящей работы состояла в оценке источника флюидов при формировании золотосодержащих кварцевых жил на вышеуказанных месторождениях.

Алдан-Маадьрская зона находится на левобережье р. Алаш и представляет собой полосу шириной 5–6 км и длиной около 20 км, вытянутую в ВСВ направлении в районе сочленения Западного Саяна с Тувинским прогибом [Зайков и др., 2009]. Зона сложена силурийскими и ордовикскими отложениями, смятыми в линейные изоклинальные складки, в ядре которых находятся кембрийские базальты и гипербазиты. Хаак-Саирское месторождение находится на западе зоны и представлено участками развития золото-кварцевых жил в лиственитах. Улуг-Саирское месторождение расположено в 10 км к востоку от Хаак-Саирского в центральной части зоны; золото-кварцевые жилы локализованы в базальных конгломератах ордовика. На обоих месторождениях отмечается широкое развитие турмалина и аксинита.

Методика и результаты анализа. Для изотопного анализа кислорода был отобран кварц из золотоносных жил (табл.), для которых известны составы золота и проведены исследования флюидных включений в кварце. Анализ изотопного состава кислорода производился на масс-спектрометре Isoprime с использованием внутреннего стандарта AQS (Akita Quartz Standard) в университете г. Акита, Япония (аналитики Х. Каварая и О. Мацубая). Погрешность измерений – 0.1 ‰. Результаты анализа представлены в таблице.

Обсуждение. В результате анализа кварца из золотоносных жил обоих месторождений определен узкий интервал изотопного состава кислорода от 17.0 до 17.7 ‰ (18.5 ‰ в единичном случае), сходный с интервалом для многих жильных золоторудных месторождений мира и свидетельствующий о гомогенности изотопной системы и близких температурах минералообразования [Kerrick, 1987]. Последний вывод согласуется с частичным перекрытием температур гомогенизации флюидных включений в кварце: 340–200 °С (Улуг-Саир) [Анкушева, Зайков, 2009] и 250–120 °С (Хаак-Саир) [Melekestseva et al., 2011].

Близкие значения изотопного состава кислорода кварца обоих месторождений свидетельствуют: 1) об едином источнике флюидов при образовании жил с золотом и 2) об отсутствии изотопного обмена между вмещающими породами и флюидами [Goldfarb et al., 1991; Jia et al., 2001 и др.]. Необходимо отметить, что при сходном изотопном

**Изотопный состав кислорода в кварце
Хаак-Саирского и Улуг-Саирского месторождений**

№ п/п	Название жилы	№ лаб.	№ обр.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$, ‰
Хаак-Саирское месторождение в лиственигах				
1	<i>AQS</i>	<i>F2481</i>		9.2
2	№ 1	F2482	СТ	17.2
3	№ 2	F2483	СТ-26	17.0
4	№ 7	F2484	СТ-31-8	17.4
Улуг-Саирское месторождение в конгломератах				
4	№ 18	F2485	АЛ-18-2	17.2
5	<i>AQS</i>	<i>F2486</i>		9.2
6	Пиритовая	F2487	АЛР-Рy	17.3
7	№ 30	F2488	АЛР-30-ж	18.5
8	№ 33	F2489	АМ-13	17.5
9	№ 33	F2490	АМ-14-2	17.7

составе кислорода в кварце, состав флюидов, циркулировавших на месторождениях, отличается. Кварцевые жилы с золотом на Улуг-Саирском месторождении отлагались из $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ растворов с соленостью 4–10 мас. % NaCl -экв. [Анкушева, Зайков, 2009], тогда как на Хаак-Саирском – из $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O} \pm \text{NaHCO}_3$ и Na_2SO_4 растворов с соленостью 4–14 мас. % [Melekestseva et al., 2011].

Анализ обобщающих работ [Taylor, 1974; Фор, 1989; Hoefs, 2009], а также работ, посвященных отдельным месторождениям [Goldfarb et al., 1991; Jia et al., 2001 и др.], показал, что изотопный состав кислорода в кварце тувинских месторождений не соответствует океанской, метеорной и мантийной воде, вулканическим или интрузивным породам, а попадает в область метаморфических или осадочных пород (рис. а). Рассчитанные значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ по уравнению фракционирования изотопов между кварцем и водой при температуре 300 °С ($1000 \ln \alpha = 3.38 (10^6 T^{-2}) - 3.40$) [Clayton et al., 1972], составляют 10.02–11.51 ‰ и попадают в область метаморфической воды (рис. б).

Подобные значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ флюида и их небольшие вариации весьма характерны для многих жильных золоторудных месторождений, залегающих в осадочных толщах [Goldfarb et al., 1991]. Узкий интервал значений $\delta^{18}\text{O}$ отличает их от золоторудных эпитеpmальных месторождений, где обычно наблюдается широкий разброс значений изотопного состава кислорода в кварце и его соответствие метеорной воде [Neil, Silberman, 1974]. Происхождение флюидов на месторождениях в осадочных толщах объясняется прогрессивной метаморфической дегидратацией и дегазацией вмещающих пород [Goldfarb et al., 1991, 1993; Jia et al., 2001 al.]. В случае с тувинскими месторождениями можно предположить, что источником кремнекислородных соединений во флюиде послужили минералы докембрийских метаморфических толщ, в настоящий момент залегающие в северном борту Саяно-Тувинского разлома.

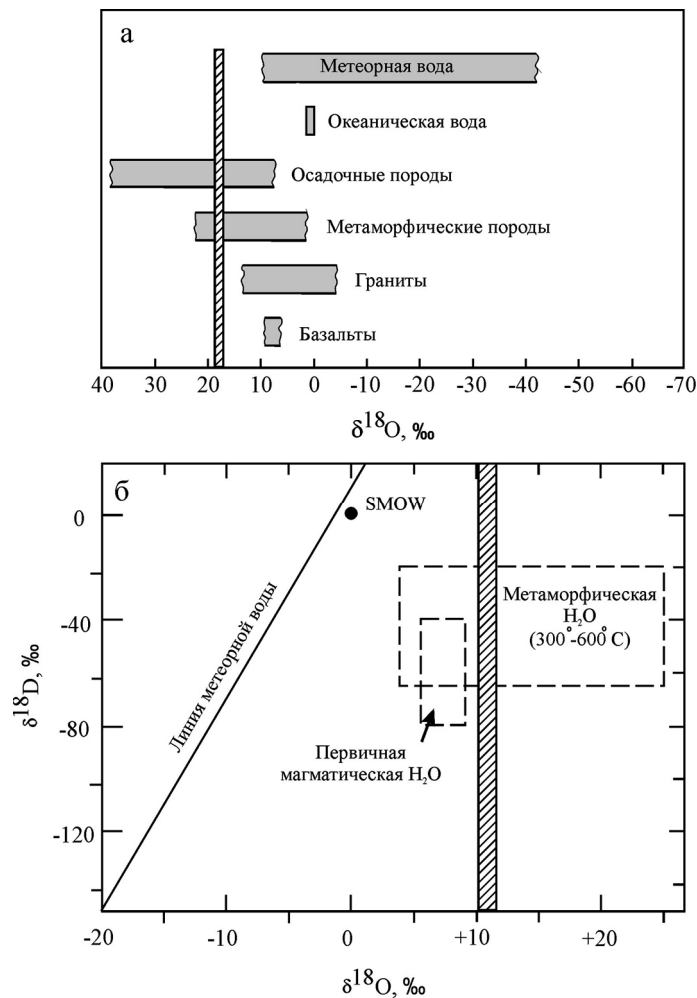


Рис. Поля измеренных значений $\delta^{18}\text{O}$ в кварце золоторудных жил (а, по [Hoefs, 2009]) и вычисленных величин $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ флюида (б, по [Taylor, 1974]) для Улуг-Саирского и Хаак-Саирского месторождений.

Выводы. В результате изотопного анализа кварца из золоторудных Улуг-Саирского месторождения в конгломератах и Хаак-Саирского месторождения в листовенитах Алдан-Маадырской зоны установлен единый источник кремнекислородных соединений во флюиде при образовании кварцевых жил. Измеренный изотопный состав кислорода в кварце и вычисленные значения изотопного состава воды имеют наибольшее сходство с таковыми из метаморфического источника, которым, предположительно, могли служить докембрийские метаморфические толщи района. В то же время, повышенная соленость растворов (по данным изучения флюидных включений в кварце) и широкое распространение боросодержащих минералов на месторождениях указывают на второй (магматический) источник при формировании месторождений.

Авторы благодарят В. В. Зайкова, Е. В. Белогуб, Г. А. Третьякова, А. И. Брусницына и А. Н. Зайцева за обсуждение результатов исследований, И. Г. Жукова – за

помощь в проведении аналитических работ. Работа поддержана грантами Президента РФ для молодых ученых № МК-485.2011.5 и РФФИ (№ 11-05-00187).

Литература

Анкушева Н. Н., Зайков В. В. Физико-химические условия образования золото-кварцевых жил Улуг-Саирского месторождения (Тува) // Металлогения древних и современных океанов–2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 127–131.

Зайков В. В., Мелекесцева И. Ю., Котляров В. А. и др. Алдан-Мадырская золоторудная зона на западном фланге Саяно-Тувинского разлома // Металлогения древних и современных океанов–2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 123–127.

Фор Г. В. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.

Clayton R. N., O'Neil J. R., Mayeda T. Oxygen isotope exchange between quartz and water // Journal of Geophysical Research. 1972. Vol. 77. P. 3057–3067.

Jia Y., Li I., Kerrich R. Stable isotope (O, H, S, C, and N) systematics of quartz vein systems in the turbidite-hosted Central and North Deborah gold deposits of the Bendigo gold field, Central Victoria, Australia: constraints on the origin of ore-forming fluids // Economic Geology. 2001. Vol. 96. P. 705–721.

Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry. 6th edition. Springer, 2009. 244 p.

Goldfarb R. J., Newberry R. J., Pickthorn W. J., Gent C. A. Oxygen, hydrogen, and sulfur isotope studies in the Juneau gold belt, southeastern Alaska: constraints on the origin of hydrothermal fluids // Economic Geology. 1991. Vol. 86. P. 66–80.

Goldfarb R. J., Snee L. W., Pickthorn W. J. Orogenesis, high-T thermal events, and gold vein formation within metamorphic rocks of the Alaskan Cordillera // Mineralogical Magazine. 1993. Vol. 57. P. 375–394.

Kerrich R. The stable isotope geochemistry of Au-Ag vein deposits in metamorphic rocks // Mineralog. Assoc. Canada Short Course Handbook. 1987. Vol. 13. P. 287–336.

Melekestseva I., Ankusheva N., Zaykov V. et al. Formation conditions of the Khaak-Sair and Sarytash gold deposits in listvenites, Western Tuva: evidences from fluid inclusions // Large Igneous Provinces of Asia: Mantle Plumes and Metallogeny. Irkutsk, 2011. P. 162–165.

O'Neil J. R., Silberman M. L. Stable Isotope Relations in Epithermal Au-Ag Deposits // Economic Geology. 1974. Vol. 69. P. 902–909.