

УДК 553.212

М.А. Богуславский¹, В.Д. Сагалеви́ч², В.Ю. Прокофьев³**НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОЛЕЦ ВЫСОЧАЙШИЙ (БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН, РОССИЯ)***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии РАН, 119017, Москва, Ж-17, Старомонетный пер., 35**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1**Institut geologii rudnykh mestorozhdeniy, Petrografii, Mineralogii, Geokhimii RAS, 119017, Moscow, Staromonetnyy pereulok, 35*

Месторождение Голец Высочайший представляет собой субпластовую залежь, находящуюся во вмещающей толще черных углеродистых тонкозернистых алевропелитовых пород. Изучены флюидные включения в образцах кварца, отобранных из сульфидно-кварцевых жил в рудной зоне месторождения. Исследования позволили установить параметры рудообразующего флюида. Оказалось, что для флюидов месторождения характерны типичные черты рудообразующих флюидов орогенных жильных месторождений золота. Отложению самородного золота в рудах, возможно, способствовал процесс дегазации углекислоты из флюида.

Ключевые слова: золото, месторождение, флюидные включения, кварц, Ленский золотоносный район, орогенное месторождение Голец Высочайший, углеродистые сланцы.

The Golets Vysochaishy deposit has a sub-tabular orebody hosted by black carbonaceous fine-grained aleuropelitic rocks. We have studied fluid inclusions in quartz samples taken from sulfide-quartz veins in the ore zone of the deposit — performed studies made it possible to establish the parameters of the ore-forming fluid. Thus, the fluids of the deposit are characterized by the typical features of orogenic vein gold deposits' ore-forming fluids. The process of carbon dioxide degassing from the fluid may have contributed to the deposition of native gold.

Keywords: orogenic gold deposits, Lenskiy gold region, Baikalo-Patom foldbelt, fluid inclusions, quartz, Golets Vysochaishy, carboniferous shales.

Введение. Месторождение Голец Высочайший находится в Бодайбинском золотоносном районе, расположенном в северо-восточной части Иркутской области на Витимо-Патомском нагорье. Это золотодобывающий район мирового ранга, входящий в состав Ленской провинции, из недр которой добыто более 1200 т золота [Буряк, Хмелевская, 1997]. Здесь находится множество крупных россыпей и несколько коренных месторождений, среди них Сухой Лог, Голец Высочайший, Ожерелье, Вернинское, Невское, Угаханское и др. Территория рудного района приурочена к наиболее прогнутой части Бодайбинского синклинория, сложенного докембрийскими углеродсодержащими карбонатно-терригенными отложениями.

В настоящее время общепринято разделение золоторудных месторождений на следующие классы: орогенные, эпитермальные, связанные с интрузивами гранитоидного состава, палеороссыпи, порфировые

золотосодержащие, колчеданные золотосодержащие, IOGC-комплексные железо-окисные золотосодержащие. Коренные месторождения Бодайбинского золотоносного района относятся к орогенному классу и образовались в процессе формирования позднего неопротерозойского Байкальского складчатого пояса при закрытии океана Палеотетис [Phillips, 2013].

Геологическое строение района. Бодайбинский синклинорий представляет собой сложно построенную линейно-складчатую структуру, расположенную на севере от системы так называемых Байкальских рифтов и сложенную сопряжением парных складок и продольных разломов. С востока синклинорий ограничен краем щита, в позднем протерозое представлявшим собой область сноса гигантского количества обломочного материала общей мощностью около 20 км; на севере — обрамлен южным краем Сибирской платформы [Константинов, 2000]. Локально опущенная часть синклинория — изометрич-

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, доцент; *e-mail*: mikhail@geol.msu.ru

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, аспирант; *e-mail*: slavsag@gmail.com

³ Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии РАН, лаборатория геологии рудных месторождений имени академика А.Г. Бетехтина, вед. науч. с.; *e-mail*: vpr@igem.ru

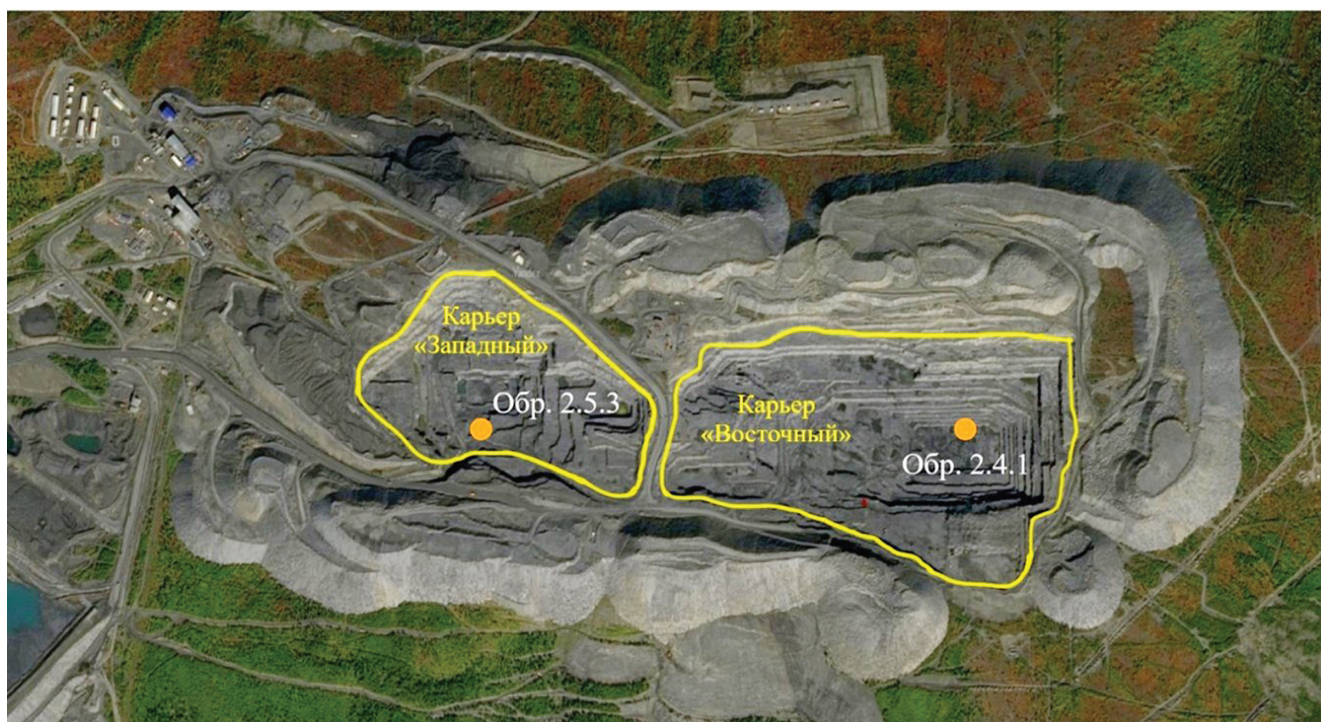


Рис. 1. Схема отбора проб

ная по форме и наиболее прогнутая — выделяется как структура Патомского нагорья, ограничивающая Бодайбинский золотоносный район.

В монотонном терригенном разрезе рифея-венда, характерном для этого района, выделено несколько формаций: кварцево-песчаниковая, вулканогенно-обломочная, сланцево-терригенная сероцветная, флишеидная, карбонатная, углеродистая терригенно-карбонатно-сланцевая, сланцево-карбонатная пестроцветная. Стратоуровень основных месторождений Бодайбинского золотоносного района определяется их приуроченностью к сланцево-карбонатной формации [Буряк, Хмелевская, 1997].

Около 95% золотоносной территории района занимает зона зеленосланцевой фации метаморфизма, которая, по мнению Р. Бойла, детально изучавшего зеленокаменные пояса Канады, наиболее благоприятна для регенерации золота и сопровождающих его элементов (Fe, S, SiO₂). К этой зоне приурочены месторождения Сухой Лог, Вернинское, Александровское, Догалдынская жила, Голец Кавказ и др.

Геологическое строение месторождения.

В структурно-тектоническом отношении месторождение Голец Высочайший локализовано в пределах Каменской флексуры, пологое крыло которой падает на север-северо-восток под углами 10–30°, а крутое крыло — на юг-юго-запад под углами 80–90°. Замок флексуры эродирован. Вмещающая толща представлена черными углеродистыми тонкозернистыми алевропелитовыми породами хомолхинской свиты. Породы метаморфизованы в условиях фации зеленых сланцев, субфации биотита [Буряк, 1997].

Месторождение представляет собой субпластовую залежь, вытянутую по простиранию на 1200 м и на глубину до 600 м; средняя мощность 25–30 м

[Иванов, 2014]. Залежь вскрыта двумя карьерами — Западным и Восточным, с перемычкой в центре. Встречаются два типа руд: прожилково-вкрапленные и жильно-штокверковые. По морфологии прожилки в штокверке делятся на три группы: прямолнейные, «складчатые», сложнотектонические. Прожилки различных групп могут встречаться как обособленно, так и совместно [Буряк, 1997].

Среди сульфидов в рудах преобладают пирротин и пирит, реже встречаются арсенопирит, халькопирит, сфалерит и галенит. Месторождение относится к малосульфидным (2,5–3,5%). Среднее содержание золота составляет 2,8–3,18 г/т [Иванов, 2014]. Возраст минерализации — 450 и 320 млн лет для прожилково-вкрапленных и жильно-штокверковых руд соответственно [Чугаев и др., 2010]. Минеральный состав пород рудовмещающей свиты следующий: серицит, хлорит, кварц, анкерит, кальцит. Углеродистое вещество присутствует в виде тонкодисперсной вкрапленности [Буряк, 1997]. Месторождение относится к золото-кварц-сульфидной формации метаморфогенно-плутоногенной генетической группы [Авдонин, 2005].

Материалы и методы исследования. Изучены флюидные включения в кварце из образцов месторождения Голец Высочайший. Образцы отобраны из сульфидно-кварцевых жил в рудных зонах карьеров Восточный и Западный соответственно (рис. 1). В двух пластинах обнаружены флюидные включения размером >10 мкм, пригодные для микротермометрических исследований.

Среди изученных флюидных включений в соответствии с известными критериями [Реддер, 1987] выделены первичные, первично-вторичные и вторичные флюидные включения. К первичным

отнесены флюидные включения, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина или приуроченные к зонам роста, а к вторичным — приуроченные к секущим трещинам минерала-хозяина. Первично-вторичные флюидные включения приурочены к трещинам внутри кристаллов и зерен, не достигающим внешних границ, а по фазовому наполнению аналогичны первичным включениям.

Микротермометрические исследования флюидных включений проведены в лаборатории геохимии ИГЕМ РАН с использованием измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam (Англия), микроскопа Olympus BX51, снабженного набором длиннофокусных объективов; видеокамеры и управляющего компьютера. Комплекс позволяет в режиме реального времени измерять температуру фазовых переходов внутри включений в температурном интервале от -196 до 600 °С, наблюдать за ними при большом увеличении и получать электронные микрофотографии. Солевой состав растворов определяли по температуре эвтектик [Борисенко, 1977]. Концентрацию

солей в растворе углекислотно-водных включений оценивали по значениям температуры плавления газогидратов [Collins, 1979]. Суммарная концентрация солей в двухфазовых флюидных включениях оценивалась по температуре плавления льда на основе экспериментальных данных для системы $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ [Bodnar, Vityk, 1994]. Концентрацию углекислоты и метана в растворе оценивали также из объемных соотношений фаз и значений плотности углекислоты и метана в газовой фазе по методике, опубликованной в работе [Прокофьев, Наумов, 1987], давление для гетерогенного флюида — по пересечению изохоры и изотермы. Оценку концентрации солей и давления флюида проводили с использованием программы FLINCOR [Brown, 1989].

Результаты исследований и их обсуждение.

В кварце рудных жил месторождения Голец Высочайший встречаются флюидные включения трех типов, различающихся по фазовому составу при комнатной температуре (рис. 2): 1) углекислотно-водные включения (рис. 2, *а, б*); 2) существенно газовые включения, заполненные углекислотой (рис. 2, *в, г*)

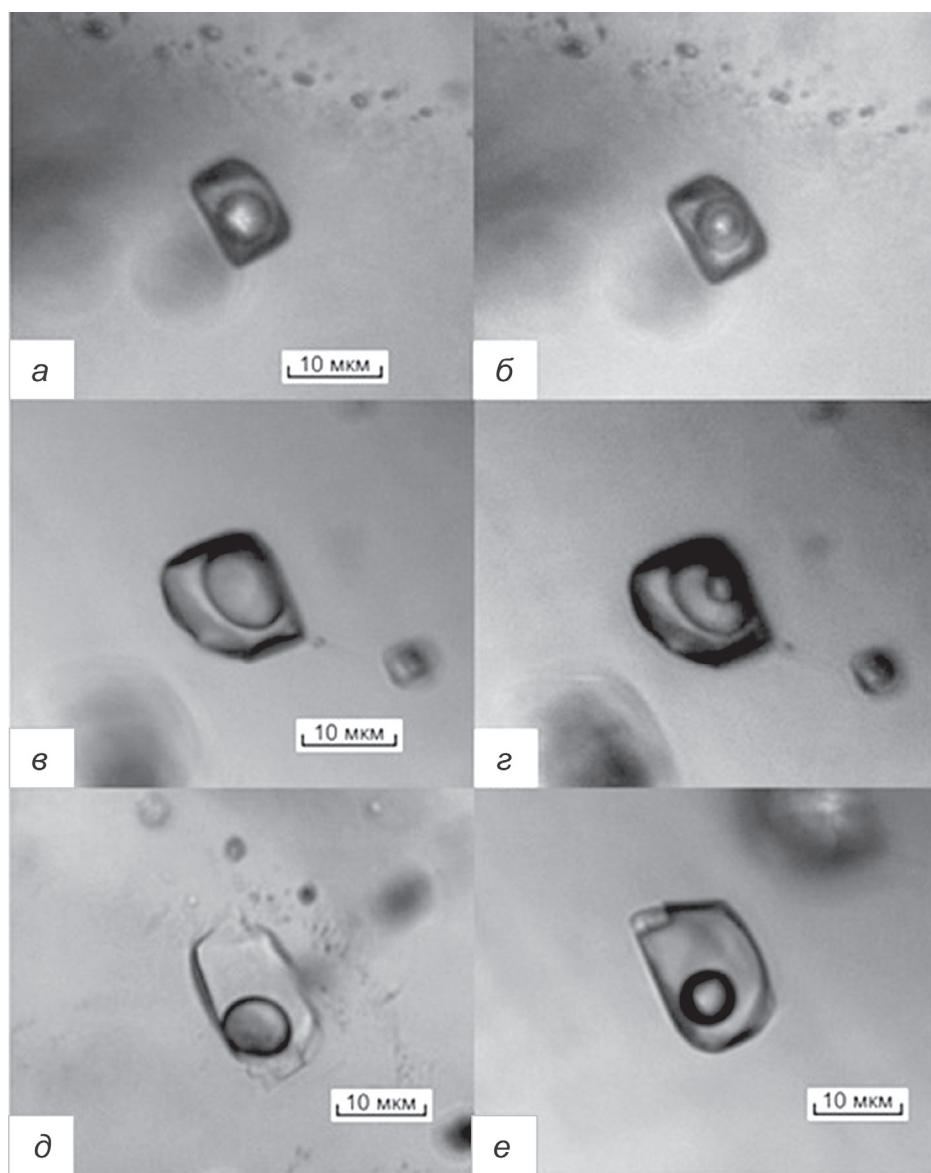


Рис. 2. Типы флюидных включений в кварце месторождения Голец Высочайший: *а, б* — углекислотно-водные типа 1 (*а* — $+25$ °С, *б* — $+9$ °С); *в, г* — газовые типа 2 (*в* — $+25$ °С, *г* — $+10$ °С), *д, е* — двухфазовые газовой-жидкие типа 3. Масштаб 10 мкм

Таблица 1

**Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце месторождения
Голец Высочайший**

Номер пробы	Тип включений	Число исследованных включений	T гомогенизации, °C	T эвтектики, °C	T плавления льда, °C	T плавления CO_2 , °C	T гомогенизации CO_2 , °C	T плавления газогидратов, °C
2.5.3	Первичные углекислотно-водные	15	245÷304	–29÷–30	–3,9÷–4,5	–58,1	17,6 ÷ 19,0 Ж	8,6
	Первичные газовые	8	–	–	–	–58,1÷–60,1	–1,7÷16,9 Ж	–
	Вторичные двухфазовые газовой-жидкие водно-солевые	8	235	–31	–4,2	–	–	7,1
2.4.1	Первичные двухфазовые газовой-жидкие водно-солевые	38	282÷315	–27÷–33	–2,9÷–6,4	–	–	5,7 ÷ 7,0
	Вторичные двухфазовые газовой-жидкие водно-солевые	14	237	–29	–2,6	–	–	–
Номер пробы	Тип включений	Число исследованных включений	Концентрация солей, масс. %-экв. NaCl	Концентрация CO_2 , моль/кг раствора	Концентрация CH_4 , моль/кг раствора	Плотность, г/см ³	Давление, бар	Давление общее/давление H_2O
2.5.3	Первичные углекислотно-водные	15	2,8	5,1÷7,7	0,6÷0,9	0,97÷1,00	1270÷2370	27,6÷39,8
	Первичные газовые	8	–	–	–	0,81÷0,94		
	Вторичные двухфазовые газовой-жидкие водно-солевые	8	6,7	–	–	0,88	–	–
2.4.1	Первичные двухфазовые газовой-жидкие водно-солевые	38	4,7÷9,7	–	–	0,78÷0,85	–	–
	Вторичные двухфазовые газовой-жидкие водно-солевые	14	4,2	–	–	0,86	–	–

Примечание. Ж — гомогенизация углекислоты в жидкую фазу; Г — в газовую фазу.

и 3) двухфазовые газовой-жидкие включения водно-солевых растворов (рис. 2, д, е). Встречаются ассоциации газовых включений с углекислотно-водными включениями типа 1, которые расположены в виде групп, что свидетельствует об одновременном захвате флюидных включений обоих типов и гетерогенном характере минералообразующего флюида. Такие ассоциации дают возможность оценить давление.

Данные изучения более 50 индивидуальных флюидных включений приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Температура гомогенизации первичных флюидных включений типа 1 в кварце изменяется от 245 до 304 °C. Концентрация солей в растворе флюидных включений этого типа составляет 2,8 масс. %-экв. NaCl. Концентрация углекислоты в минералообразующем флюиде лежит в диапазоне 5,1–7,7 моль/кг раствора, а метана — 0,6–0,9 моль/кг раствора. Плотность углекислотно-водного флюида составляет 0,97–1,00 г/см³. Судя по величине температуры эвтектики (от –29 до –30 °C), в минералообразующих

флюидах среди солей преобладали хлориды натрия, железа и магния.

Гомогенизация углекислоты во флюидных включениях типа 2 в этом же кварце, сингенетичных включениям типа 1, происходит в жидкую фазу при температуре от –1,7 до +16,9 °C, плавление углекислоты — при температуре от –58,1 до –60,1 °C. Температура плавления ниже температуры плавления чистой углекислоты (–56,6 °C), это связано с наличием в ней небольшого количества примесей метана или азота. Плотность газовой углекислотной фазы составляет 0,81–0,94 г/см³.

Давление флюида, оцененное для ассоциаций флюидных включений типов 1 и 2 в кварце, которые были захвачены в период гетерогенного состояния флюида, изменяется от 2370 до 1270 бар при изменении температуры от 304 до 245 °C.

Температура гомогенизации флюидных включений типа 3 в кварце составляет 235–315 °C. Включения содержат водный раствор, в котором преобладают хлориды натрия, железа и магния.

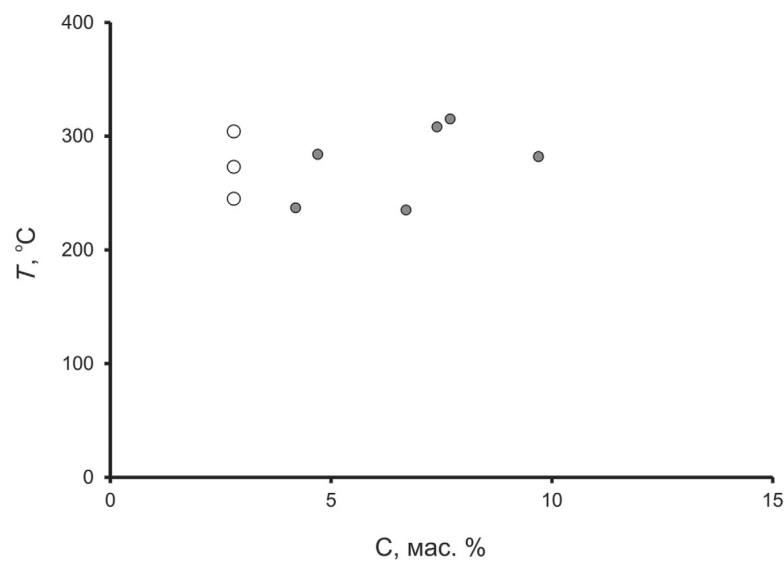


Рис. 3. Диаграмма температура–концентрация солей для минералообразующих флюидов месторождения Голец Высочайший. Типы флюидов: 1 — углекислотно-водный; 2 — водно-солевой

(температура эвтектики изменяется от -27 до $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей $4,2\text{--}9,7$ масс. %-экв. NaCl. Плотность водно-солевого флюида $0,78\text{--}0,88\text{ г/см}^3$.

Аналоги из ближайших районов. В недавно опубликованной статье [Prokofiev et al., 2019] рассмотрены результаты изучения включений в кварце месторождений Сухой Лог, Догалдынская Жила, Вернинское, Уряхское и Ирокиндинское.

Среди общих черт рудообразующих флюидов перечисленных золотоносных месторождений и месторождения Голец Высочайший отметим их относительно низкую соленость ($1,4\text{--}9,5$ масс. %-экв. NaCl), высокое содержание CO_2 ($1,4\text{--}8,6$ моль/кг) и температуру гомогенизации от 128 до $385\text{ }^{\circ}\text{C}$. Высокое флюидное давление от $0,6$ до $3,3$ кбар показало, что флюид имеет нижнекоровое происхождение (табл. 2). Рудообразующие флюиды Ирокиндинского месторождения отличаются от флюидов остальных месторождений (табл. 2).

Данные изучения флюидных включений в минералах месторождений Байкало-Патомского нагорья и Уряхского месторождения соответствуют параметрам типичных орогенных флюидов (табл. 2) и показывают, что золото откладывалось из богатых углекислотой флюидов, близких по параметрам к флюидам на месторождении Голец Высочайший. Источник рудообразующих флюидов Ирокиндинского месторождения, вероятно, был другой.

Мировые аналоги. Данные наших исследований можно сравнить с известными данными о флюидных включениях в минералах из других орогенных золоторудных месторождений мира [Prokofiev, Naumov, 2020]. Например, золотоносная минерализация неопротерозойского зеленокаменного пояса Гурупи на севере Бразилии образовалась в одну эпоху с месторождениями Бодайбинского района. Золоторудные месторождения пояса Гурупи вмещают палеопротерозойские метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы и известково-щелочные гранитоиды, сформировавшиеся $2240\text{--}2080$ тыс. лет назад (л.н.).

Золото встречается в кварцевых и кварц-карбонатных жилах в ассоциации с пиритом, арсенопиритом и халькопиритом. Точное время минерализации достоверно не установлено, но, предположительно, часть рудной минерализации возникла вместе с вмещающими породами в результате древнего осадконакопления, а затем в результате неопротерозойского орогенеза произошла дальнейшая ремобилизация и сформировалась основная масса золотокварцевых жил.

Известны детальные исследования флюидных включений на трех месторождениях этого пояса — Монтис Ауреос, Серринья и Чегу Туду [Klein et al., 2006, 2008; Klein, 2014]. Значения основных физико-химических параметров минералообразующих флюидов следующие: температура гомогенизации

Таблица 2

Сравнение основных характеристик рудообразующих флюидов месторождения Голец Высочайший и других месторождений Ленского и Муйского районов, по [Prokofiev et al., 2019]

Месторождение	Параметры рудообразующего флюида			
	T гомогенизации, $^{\circ}\text{C}$	C солей, масс. %-экв. NaCl	C CO_2 моль/кг раствора	P , бар
Сухой Лог	130–385	3,7–11,7	1,8–7,6	200–2500
Догалдынская Жила, Вернинское, Уряхское	128–385	1,4–9,5	1,4–8,6	600–3300
Ирокиндинское	179–453	4,6–46,3	1,5–7,7	600–5000
Голец Высочайший	245–305	2,8	5,1–7,7	1270–2370

Таблица 3

Сравнение основных характеристик рудообразующего флюида, по [Klein et al., 2006, 2008; Klein, 2014; Cheong, 2002]

Месторождение	Параметры рудообразующего флюида			
	<i>T</i> гомогенизации, °C	<i>C</i> солей, масс.%-экв. NaCl	<i>C</i> CO ₂ , моль/кг раствора	<i>P</i> , бар
Монтис Ауреос, Серринья, Чега Туду (Бразилия, пояс Гурупи)	100–430	0,2–21,0	11–12 мол.%	1300–3000
Месторождения северо-запада Невады	190–300	3–5	11–23 мол.%	1000–3000
Голец Высочайший	235–315	2,8–9,7	5,1–7,7	1270–2370

включений изменялась от 296 до 370 °C; давление — от 1,3 до 3 кбар; концентрация солей — в диапазоне 1,6–5,8 масс.%-экв. NaCl; концентрация CO₂ — от 11 до 12 мол.% раствора на месторождении Чега Туду и от 18 до 33 мол.% раствора на месторождении Серринья. На месторождении Монтис Ауреос встречены флюидные включения с более высокой соленостью; концентрация углекислоты не установлена. Кроме того, рудообразующий флюид всех месторождений демонстрировал взаимозависимое содержание метана и азота в углекислой фазе, а также локальное присутствие хлоридов магния и железа в водной фазе. Был сделан вывод, что удаление углекислого газа из раствора сыграло важную роль в отложении золота. Встречающиеся на месторождениях пояса Гурупи водные флюидные включения, скорее всего, относятся к более поздним инфильтрационным процессам и частично к посторогенному подъему.

Еще один хороший пример — месторождения на северо-западе штата Невада в США, которые так же заключены в метаморфизованных вулканогенно-осадочных и деформированных магматических породах, расположенных вдоль складок, разломных зон и т. д. Золото кварцевые жилы сформировались на границе террейнов в коллизионном поясе Кордильер в меловой период.

У района длинная и сложная геологическая история, в течение которой произошли осадконакопление, метаморфизм, деформация, внедрения гранитной интрузии в палеозое и мезозое, последующий магматизм с тектоническим растяжением в кайнозое. Детальное исследование золото-кварцевых жил на этой территории [Cheong, 2002] показало, что рудообразующий флюид — углекислотно-водный с низкой соленостью (3–5 масс.%-экв. NaCl). Его температура гомогенизации варьировала от 190 до 300 °C, но у большей части включений диапазон температуры более узкий (250–300 °C). Все образцы включений содержат переменное количество жидкого и газообразного CO₂ с соотношением жидкости и пара от 30 до 50 об.%. Плотность флюида, богатого углекислотой, — от 0,5 до 0,85 г/см³, она практически не меняется между рудными узлами на северо-западе Невады. Золото закономерно формировалась из богатого углекислотой метаморфогенного флюида [Cheong, 2002].

Параметры рудообразующих флюидов орогенных месторождений пояса Гурупи и северо-запада штата Невада в США близки к параметрам рудообразующего флюида на месторождении Голец Высочайший (табл. 3). Диапазон значений этих параметров — температуры гомогенизации, давления и концентрации солей — гораздо шире у месторождений более древнего возраста, находящихся в Бразилии. Это связано с глубиной формирования месторождений. С глубиной, соответственно, растут температура и давление; в качестве поровых вод все чаще выступают хлоридные рассолы [Prokofiev, Naumov, 2020]. Однако в целом состав флюидов орогенных месторождений золота одинаков: для него характерны небольшая концентрация солей и высокая — углекислоты.

Заключение. Исследования позволили установить следующие параметры рудообразующего флюида на месторождении Голец Высочайший: продуктивный кварц образовался в диапазоне температуры от 305 до 245 °C при давлении от 1270 до 2370 бар; характерная концентрация солей — 2,8 масс.%-экв. NaCl, концентрация CO₂ — от 5,1 до 7,7 моль/кг раствора. Таким образом, флюиды месторождения Голец Высочайший характеризуются типичными чертами рудообразующих флюидов орогенных жильных месторождений золота [Ridley, Diamond, 2000].

Сравнительный анализ показал, что параметры рудообразующих флюидов орогенных месторождений пояса Гурупи и северо-запада штата Невада в США близки к параметрам рудообразующего флюида на месторождении Голец Высочайший.

Установлено, что ранние флюиды на месторождении Голец Высочайший, содержащие большее количество углекислоты, сменялись при отложении собственно золотоносного кварца флюидами с низкой концентрацией углекислоты, но с более высокой концентрацией солей. Возможно, процесс дегазации углекислоты из флюида способствовал отложению самородного золота в рудах, как и на месторождениях пояса Гурупи [Klein et al, 2006].

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 075-15-2020-802).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. 2-е изд., испр. и доп. М.: Академический Проект, Трикста, 2005. 720 с.
- Борисенко А.С. Изучение солевого состава газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
- Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог — одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с.
- Иванов А.И. Золото Байкало-Патомы (геология, орудование, перспективы). М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. 215 с.
- Константинов М.М. Золоторудные месторождения России. М.: Акварель, 2010. 365 с.
- Лавров Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В. и др. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог (Россия) // Докл. РАН. 2000. Т. 371, № 1. С. 88–92.
- Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б. Геохимические особенности рудообразующих растворов Зырянского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Геохимия. 1987. № 3. С. 375–386.
- Чугаев А.В., Чернышев И.В., Сафонов Ю.Г., Сароян М.Р. Свинцово-изотопные характеристики сульфидов крупных месторождений золота Байкало-Патомского нагорья (Россия) по данным высокоточного изотопного MC-ICP-MS-анализа свинца // Докл. РАН. 2010. № 5. С. 677–680.
- Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignano: Siena, 1994. P. 117–130.
- Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineral. 1989. Vol. 74. P. 1390–1393.
- Cheong S. Fluid inclusion study of metamorphic gold-quartz veins in northwestern Nevada, U.S.A.: Characteristics of tectonically induced fluid // Geosci. J. 2002. Vol. 6. P. 103.
- Collins P.L.P. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity // Econ. Geol. 1979. Vol. 74. P. 1435–1444.
- Distler V., Yudovskaya M.A., Mitrofanov G.L. et al. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia // Ore Geol. Rev. 2004. Vol. 24, N 1–2. P. 7–44.
- Klein E. Ore fluids of orogenic gold deposits of the Gurupi Belt, Brazil: A review of the physico-chemical properties, sources, and mechanisms of Au transport and deposition // Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 2014. Vol. 402. 10.1144/SP402.2.
- Klein E.L., Harris C., Renac C. et al. Fluid inclusion and stable isotope (O, H, C, and S) constraints on the genesis of the Serrinha gold deposit, Gurupi Belt, Northern Brazil // Miner Deposita. 2016. Vol. 41. P. 160–172.
- Klein E.L., Ribeiro J.W.A., Harris C. et al. Geology and fluid characteristics of the Mina Velha and Mandiocall orebodies and implications for the genesis of the orogenic Chega Tudo gold deposit, Gurupi Belt, Brazil // Econ. Geol. 2008. Vol. 103. P. 957–980.
- Phillips G.N. Australian and global setting for gold in 2013 // Proceed World Gold 2013, Brisbane, Australia, 26–29 September, 2013. The Australian Institute of Mining and Metallurgy. P. 15–21.
- Prokofiev V.Yu., Safonov Yu.G., Lüders V. et al. The sources of mineralizing fluids of orogenic gold deposits of the Baikal-Patom and Muya areas, Siberia: Constraints from the C and N stable isotope compositions of fluid inclusions // Ore Geol. Rev. 2019. Vol. 111. P. 1–18. 102988.
- Prokofiev V.Y., Naumov V.B. Physicochemical parameters and geochemical features of ore-forming fluids for orogenic gold deposits throughout geological time // Minerals. 2020. Vol. 10. P. 50–57.
- Redder E. Fluid inclusions in Minerals. Vol. 2. M.: Mir, 1987. 621 p.
- Ridley J.R., Diamond L.W. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // Gold in 2000. SEG Rev. 2000. Vol. 13. P. 141–162.

Поступила в редакцию 24.03.2021

Поступила после доработки 30.06.2021

Принята к публикации 13.12.2021