

A tale of precipitation and growth of giant selenite crystals within the caves of Naica (Chihuahua, Mexico)

Garofalo PS¹, Fricker M², Günther D², Forti P¹, Lauritzen S-E³, Mercuri A-M⁴, Loreti M⁴

¹*Department of Earth Sciences, Università di Bologna, Piazza di Porta S. Donato, 1 I-40127 Bologna, Italy, paolo.garofalo@unibo.it*

²*Trace Elements and Microanalysis Group - ETH Zürich*

³*Department of Earth Sciences, University of Bergen, Allegaten 41, N-5007 Bergen, Norway*

⁴*Department of Paleobiology and Paleobotany - University of Modena*

The caves located within the Ag-Pb-Zn mine of Naica (Mexico) in a depth range between -130m and -290m below entrance level constitute a unique karstic environment. The distinctive characteristics of these caves (Las Espadas, Los Cristales, Ojio de la Reina, and Las Velas) are the lack of direct interconnection with the surface, an actual groundwater temperature of about 53 °C, and the presence of gigantic selenite crystals (>10m in length). Here, we report the results of an ongoing multidisciplinary study that considers the vertical extent of the cave system, and that is aimed at determining the genesis of these crystals. Preliminary U/Th dating of the core of a crystal from one deep cave (Los Cristales) has determined a corrected age of 34.5±0.82 ka.

Fluid inclusions are abundant at Naica, occur in all the studied crystals, and are commonly big (>200 microns). In the deepest, clear and twinned crystals, they are typically found along crystallographic planes. In the shallowest Las Espadas cave, inclusions occur both at the transparent core and along the dark rims of zoned crystals, where Pb-Mn oxides and hematite/goethite inclusions occur as well. In all occurrences, the trapped fluid is mostly one-phase (L) at T_{lab}, and only occasionally two-phase (L-V). Solid phases (i.e., gypsum and oxides) are found as well, but do not show constant phase ratios with the L and V phases. Microthermometric data have been collected for eleven representative fluid inclusion assemblages (n_{tot}=402) from Las Espadas, Los Cristales, and Ojio de la Reina, and LA-ICP-MS data determined for 68 single inclusions from these assemblages.

Freezing experiments show the presence of two aqueous fluids with distinct bulk salinity within the cave crystals: one in the range 3-6 wt%NaCl_{eq} and the other between 7 and 8 wt%NaCl_{eq}. The high-salinity fluid occurs only in the darker rims of the Las Espadas crystals. Eutectic melting has been determined in the lower-salinity assemblages to be between -30 and -27 °C. Freezing experiments carried out on inclusions within the actual gypsum from the thermal waters (T=53 °C) show the presence of a fluid ranging between 0.7 and 1.2 wt%NaCl_{eq}. These are the lowest values measured in the entire set of samples. At Ojio de la Reina and Los Cristales, the distribution of total homogenisation temperatures display a mode in the 48-56 °C interval, which is essentially undistinguishable from that of Las Espadas. Hence, in contrast with the distribution of bulk salinity values, total homogenisation occurs in a relatively narrow range within the entire cave system.

The LA-ICP-MS data show that, in addition to Ca and S, the major components of the source fluid were Mg, Na, and K (in order of abundance), while Mn and Pb were minor. At Ojio de la Reina and Los Cristales, Na and Mg are present in the fluid in similar concentrations, between about 4000 and 3000 µg/g respectively, while K is in the 350-400 µg/g range. At Espadas, in contrast, the concentration range of Na and Mg in FIs at the core of zoned crystals (3300 and 6000 µg/g, respectively) is significantly different from that measured in the FIs along the dark rims (4500-10800 µg/g, respectively). In these inclusions the concentration of Pb is up to about 1000 µg/g.

In order to evaluate the climatic evolution of the Naica region at the time of crystal growth, we determined the pollen composition of cave crystals and sediments, and compared it

with the pollen found in the actual desert soil of Naica. We highlight that this study represents the first attempt to extract pollen from cave crystals, and therefore the first attempt to determine the genesis of cave crystals using a truly multidisciplinary approach. A total number of 52 pollen grains were extracted from two gypsum samples of Las Espadas and Los Cristales, which is a low absolute concentration. Pollen has a variable state of preservation within the crystals, from very well preserved to very altered, showing that oxidation took place either before the pollen infiltrated within the catchment area of the Naica aquifer, or within the caves during crystal growth. Despite the low abundance, many pollen taxa of woody plants (*Pinus*, Pinaceae undiff., *Quercus*, *Q. cf. garryana*, *Lithocarpus densiflora* cf., *Juniperus* type, *Taxus*), herb plants (*Artemisia*, *Plantago*, Poaceae), and spores (*Lycopodium*) are present within the crystals. Interestingly, *Quercus* and *Juniperus* type are found in all cave crystals, which suggests similar climatic conditions in the outside environment at the time of crystal growth. Even considering the limitation of the dataset, this floristic and vegetational assemblage indicates a catchment basin that is homogenous and in contrast with the actual desert-scrub communities and desert grassland of the Chihuahuan desert. This assemblage is akin to the mixed broadleaf wet forests actually present in the SW regions of the United States, characterized by pine-oak woodland and pine forest. At present, significant amounts of *Quercus* pollen is recorded within ca. 30 ka lake-sediments from the Alta Babicora basin of N Mexico (NW of Naica), and within the paleolimnological record of the region N of Chihuahua, where a deep-water lake is documented from 38 ka to about 29 ka.

Therefore, isotopic, fluid inclusion, and pollen data from Naica indicate that the climatic changes occurring in the region at least over the last 35 ka controlled substantially the composition of the source fluid present within the caves, and hence gypsum growth. These climatic changes were characterized by alternations of wet/fresh periods and hot/arid periods, which caused cycles of evaporation/replenishment of the cave fluid with time. Gypsum precipitation took place between about 50 and 55 °C from the mixing of the saline fluid generated by evaporation (Las Espadas) with the relatively more diluted fluid present in the deepest caves (Cristales, Ojio de La Reina, Las Velas).

Физико-химические параметры и генезис золоторудной минерализации Карелии (Россия)

Алексеев В.Ю., Прокофьев В.Ю., Волков А.В.
ИГЕМ РАН, Москва, Россия, victor@igem.ru

Physical-chemical conditions and genesis of gold mineralization in Karelia (Russia)

Alekseyev V.Yu., Prokofiev V.Yu., Volkov A.V.
IGEM RAS, Moscow, Russia, victor@igem.ru

Summary. Fluid inclusions in quartzes from Taloveis and Pedrolampy gold deposits have been studied. The primary inclusions of the Taloveis deposit have homogenization temperatures of about 347°C and salinities of 12.4-11.7 wt. % NaCl equiv. Secondary inclusions have lower homogenization temperatures 250 to 196 °C and salinities of 1.1 to 6.2 wt % NaCl equiv. According to fluid inclusions data, early ore mineralization at Pedrolampy deposit took place at 486°C and a salinity of 59.4 wt % NaCl equiv. Fluid inclusion of the later stage were more diluted (6.3 wt % NaCl equiv) and had lower homogenization temperature of 320-257°C. The observed deposits presumably belong to granite-related type.

Месторождение Таловейс расположено в Западной Карелии в южной части Костомукшской зеленокаменной структуры. Оруденение локализовано в небольшом массиве гранодиорит-гранитового комплекса позднего архея, который прорывает коматииты и метабазальты среднего лопия (Минерально-сырьевая..., 2005). Гранитоидный массив характеризуется 2-х фазным строением. Диориты и кварцевые диориты, относимые к породам I фазы, наиболее широко распространены в северной части массива, южная часть в основном сложена породами II фазы, представленной гранит-порфирами. Золоторудная минерализация представлена двумя морфологическими типами: кварцево-жильным и штокверковым. Минерализация штокверково типа выражена сетью кварцевых прожилков с вкрапленной и прожилково вкрапленной минерализацией в зонах трещиноватости и гидротермального изменения пород. Минерализация этого типа образовалась на раннем этапе формирования месторождения (Кулешевич и др., 2005). Основным является кварцево-жильный тип. Он представлен единичными жилами и группами мелких жил мощностью от 0.1 до 1.5 м и протяженности до 25 м. Ранее проведенными исследованиями, кроме золота в рудах был установлен пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, шеелит, самородный висмут висмутотеллуриды. Месторождение относится к золото-редкометальной формации, малосульфидному золото-кварцевому типу. (Минерально-сырьевая..., 2005). Для изучения был отобран кварц из наиболее крупной золотосодержащей кварцевой жилы.

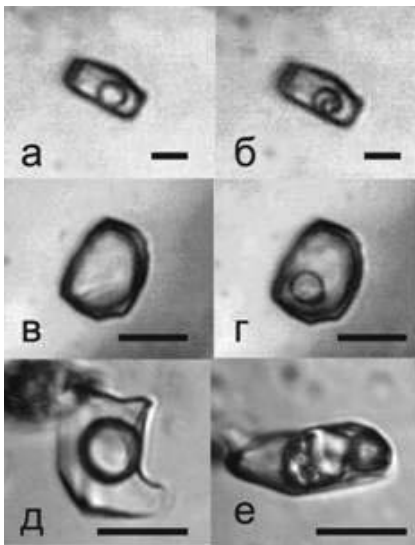


Рис. Флюидные включения разных типов. Масштаб 10 мкм:

а, б – углекислотно-водные включения типа I (а - +20 °С, б - -8 °С); в, г – существенно газовые включения типа II (в - +20 °С, г - -10 °С); д – двухфазовые включения слабоминерализованных растворов типа III (+20 °С); е – многофазовые включения хлоридных рассолов типа IV (+20 °С).

Fig. Different types of fluid inclusions in quartz of ore veins of Karelia gold deposits. Scale bar 10 mkm: а, b – three-phase inclusion with liquid CO₂ of type I (а- +20 °С, b- -8 °С); с, d – substantially gas inclusion with liquid CO₂ of type II (с - +20 °С, d - -10 °С); е – two-phase gas-liquid inclusion of type III (+20 °С); f – multiphase inclusion of chloride brine of type IV (+20 °С).

полупрозрачный. Азимут простирания контакта и жилы 330°. Подобные жилы встречаются как в архейских породах так и в протерозойских (вблизи контакта). Рудная минерализация в них не установлена. В протерозойских породах наблюдаются зоны ожелезнения к которым часто приурочены линзы и небольшие по мощности горизонты конгломератов согласные с простиранием контакта. В юго-западном направлении от контакта в рассланцованных лопийских породах присутствуют линзочки, прожилки кварца, имеющие субмеридиональную ориентировку (350-355°). В западной части проявления вскрыта зона смятия с кварцевым жильным материалом, с крупнокристаллическим желтовато-серым карбонатом, с пирит-халькопиритовой золотоносной минерализацией. Здесь преобладает золото-халькопиритовый минеральный тип. Пирит в отличие от основной продуктивной зоны мелкий (≤ 1мм), обогащен Со и As. Нейтронно-активационным методом в нем установлено (ppm) Со – 2860; As – 5416; Au – 16,9, повышенное относительно пиритов основной зоны содержание Se. Микрозондовый анализ показал высокие содержания до 41,64% серебра в золоте.

Рудопоявление *Педролампи*
расположено в северной части Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса центральной Карелии. Золотая минерализация локализована в субмеридиональной сдвиговой зоне рассланцевания вблизи контакта архейских и протерозойских пород. Основное оруденение заключено в тектонически переработанных, рассланцованных, карбонатизированных, пиритизированных, турмалинизированных породах лопья, превращенных в серицит-карбонат-кварц-хлоритовые, кварц-карбонат-хлоритовые и другие по составу сланцы. Повышенные содержания золота установлены так же в гематитовом (мартитовом) цементе линзы ятулийской конгломератобрекчии. Атомно-абсобионным анализом здесь выявлено содержание г/т Au 38,8; Ag 4; платины 0,47. Золото высокопробное около 930‰. В виде примеси присутствует серебро до 3% и часто фиксируется столько же железа. Продуктивная на золотую минерализацию считается площадь развития гидротермально-метасоматических преобразований с кристаллами и стяжениями кубического пирита размером от 2-3 мм до 8 см. В пределах этой площади наблюдаются линейные зонки прокварцевания мощностью от первых до десятков сантиметров. Концентрируясь на отдельных участках, они образуют зоны прокварцевания с густой вкрапленностью пирита. Контакт лопийских и ятулийских толщ выражен интенсивным рассланцеванием пород. Вдоль контакта прослеживается кварцевая жила мощностью около 0,5 м. Кварц светло серый

Наличие трех типов золоторудной минерализации: золото-пиритовой, золото-халькопиритовой; золотоносных конгломератов (золото-мартиновый минеральный тип), говорит о длительности формирования проявления. Начало накопления золотой минерализации, по-видимому, связано с процессами происходившими по субмеридиональным зонам в позднем архее.

Для исследования флюидных включений были отобраны образцы кварца из продуктивной зоны, из безрудных кварцевых жил и из зоны смятия.

Среди флюидных включений в кварце из рудных жил золоторудных месторождений Карелии нами выделены в соответствии с известными критериями (Реддер, 1987 и др.) первичные, первично-вторичные и вторичные включения. Первичные флюидные включения, изучению которых было уделено особое внимание, имеют форму отрицательных кристаллов. Они располагаются по зонам роста зерен минералов или распределены равномерно в объеме кварца внутри зерен. В большинстве изученных образцов размеры этих флюидных включений варьируют от 3 до 30 мкм, в основном же составляют 10–15 мкм. Первично-вторичные включения приурочены к трещинам, заканчивающимся в наружных зонах зерен и не выходящих за их границы. К вторичным включениям отнесены цепочки включений, приуроченные к секущим трещинам, пересекающим границы зерен. По фазовому составу при комнатной температуре флюидные включения подразделены на четыре типа:

Тип I: углекислотно-водные флюидные включения. Среди них установлены двухфазовые, в которых присутствует жидкая вода и газовая фаза - преимущественно плотная CO_2 , и трехфазовые, содержащие жидкую воду, жидкую и газообразную CO_2 .

Тип II: существенно газовые флюидные включения, однофазовые или двухфазовые (с каймой водного раствора), содержащие CO_2 с незначительными примесями других газов.

Тип III: двухфазовые флюидные включения, содержащие водный раствор и малоплотный газовый пузырек, заполненный преимущественно водяным паром.

Тип IV: трехфазовые флюидные включения, содержащие жидкий водный раствор, газовый пузырек (возможно, с плотной углекислотой) и изотропный кристалл кубической формы, идентифицированный как галит (рис.)

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились на установке THMSG-600 фирмы "Linkam". Концентрация солей для флюидных включений оценивалась по температуре плавления льда, с использованием данных из работы (Bodnar, Vityk, 1994). Давление определялось для гетерогенного флюида по сингенетичным существенно газовым и газовой-жидким ФВ как сумма парциальных давлений паров воды и давления CO_2 (Прокофьев, Кигай, 1999). Для оценки давления использовался метод пересечения изохоры (строилась по флюидным включениям газовой фазы) и изотермы (по температуре гомогенизации существенно водных флюидных включений (Калужный, 1982)). Оценка концентрации солей, плотностей водного флюида и CO_2 , а также давлений проводилась с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989).

Месторождение Таловейс. В кварце из образца T18/1 были обнаружены сингенетичные углекислотно-водные (тип I) и существенно газовые (тип II) включения, свидетельствующие о гетерогенном состоянии флюида. Углекислотно-водные включения содержат водный раствор хлоридов кальция, магния и натрия (Т эвт. $-55\text{...} -51\text{ }^\circ\text{C}$) с концентрацией солей 12.4–11.7 мас. % экв. NaCl и углекислоты 4.4–3.9 моль/кг р-ра, и гомогенизируются в жидкость при температуре 347 $^\circ\text{C}$. Существенно газовые включения содержат плотную углекислоту (плотность 0.90–0.88 г/см³), развивающую давления 2410–2300 бар при температуре 347 $^\circ\text{C}$. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет 15.9–15.1. В кварце из этого образца встречены также вторичные включения с температурой гомогенизации 250–196 $^\circ\text{C}$ и концентрацией солей 6.2–1.1 мас. % экв. NaCl.

Рудопроявление Педролампи. В кварце продуктивной зоны (обр. П1) имеются трехфазовые включения хлоридных рассолов с кристаллом галита (тип IV) и сингенетичные им существенно газовые включения (тип II) с плотной углекислотой,

отражающие гетерогенное состояние флюида. Трехфазовые включения рассолов содержат водный раствор хлоридов кальция, магния и натрия (Т эвт. $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 54.9 мас. % экв. NaCl и гомогенизируются в жидкость при температуре $486\text{ }^{\circ}\text{C}$. Существенно газовые включения содержат плотную углекислоту (плотность $0.58\text{--}0.66\text{ г/см}^3$), развивающую давления $2120\text{--}1770$ бар при температуре $486\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет $3.7\text{--}3.1$.

В этом же образце были обнаружены сингенетичные газопо-жидкие (тип III) и существенно газовые (тип II) включения. Двухфазовые газопо-жидкие включения содержат водный раствор хлоридов магния и натрия (Т эвт. $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 13.9 мас. % экв. NaCl, и гомогенизируются в жидкость при температуре $280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Существенно газовые включения содержат плотную углекислоту (плотность $0.94\text{--}0.88\text{ г/см}^3$), развивающую давления $2230\text{--}1840$ бар при температуре $280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет $37.2\text{--}30.7$.

В кварце из зоны смятия (Пз), безрудных кварцевых жил (П38, П56) были обнаружены сингенетичные углекислотно-водные (тип I) и существенно газовые (тип II) включения, свидетельствующие о гетерогенном состоянии флюида. Углекислотно-водные включения содержат водный раствор хлоридов магния и натрия (Т эвт. $-40\text{...}-31\text{ }^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей $8.8\text{--}6.3$ мас. % экв. NaCl и углекислоты $6.2\text{--}3.9$ моль/кг р-ра, и гомогенизируются в жидкость при температурах $342\text{--}257\text{ }^{\circ}\text{C}$. Существенно газовые включения содержат плотную углекислоту (плотность $0.93\text{--}0.69\text{ г/см}^3$), развивающую давления $2520\text{--}1770$ бар при температурах $342\text{--}257\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет $30.6\text{--}22.9$.

Полученные термобарогеохимические данные позволяют отнести изученные месторождения к типу месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов (Волков и др., 2007). Характерная черта этих месторождений - высокая соленость рудообразующих флюидов ($10\text{--}15$ мас. % экв. NaCl и более) на ранних стадиях процесса рудообразования. Признаки, указывающие на развитие отмеченного выше типа оруденения, кроме рассмотренных объектов, выявлены на месторождении Майское, рудном поле Алатту и Костомукша в различных рудных районах Карелии.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Международной геологической корреляции Юнеско IGCP 540.

Литература:

- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А. О плутогенных месторождениях с тонкодисперсным золотом // ДАН, 2007. Т.412. №1. С.76-80.
- Минерально-сырьевая база республики Карелия. Книга 1. Петрозаводск. 2005. 280 с.
- Кулешевич Л.В., Васюкова О.В. Условия формирования золоторудного месторождения Таловейс в докембрии // ДАН 2005. Т. 403. № 6. С. 792-795
- Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987
- Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Edited by: Benedetto De Vivo & Maria Luce Frezzotti. Pontignano-Siena. 1994. Pp. 117-130.
- Прокофьев В. Ю., Кигай И. Н. Практическая термобарогеохимия. Современные методы изучения флюидных включений в минералах. Учебно-методическое пособие для аспирантов и студентов старших курсов геологоразведочного факультета МГГА. М.: ИГЕМ; МГГА, 1999. 62с.
- Калужный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев: Наукова думка, 1982. 240 с.
- Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer.Mineralogist. 1989. V. 74. P. 1390-1393.

К 80-летию первой Колымской экспедиции
под руководством Ю.А. Билибина

Условия образования золотого оруденения в дайках Яно-Колымского пояса по данным изучения флюидных включений

Волков А.В.¹., Прокофьев В.Ю.¹., Егоров В.Н.².

¹ИГЕМ РАН, Москва, Россия tma2105@ya.ru

²ОАО «Полиметалл», Санкт-Петербург, Россия egorov@geos.polymetal.ru

Formation conditions of gold mineralization in dykes of the Yana-Kolyma belt (fluid inclusions study)

Volkov A.V.¹., Prokofiev V.Yu.¹., Egorov V.N.²

¹IGEM of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia tma2105@ya.ru,

²"Polymetal", Saint Petersburg, Russia egorov@geos.polymetal.ru

Summary. Fluid inclusion research in quartz from three gold deposits in dykes of the Yana-Kolyma belt was carried out. It was revealed, that ore-forming fluids were of moderate salinity and had high carbonic acid contents. Such features correspond to fluids of gold-orogenic vein deposits. The data obtained specify the affinity of the investigated gold mineralization in dykes to "intrusion-related" type of gold deposits.

Золотое оруденение в дайках (Среднеканской, Безымянной и Утиной) было выявлено в 1928 г. геологами первой Колымской экспедиции под руководством Ю.А. Билибина. В дальнейшем новые открытия россыпей золота на Колыме сопровождалось находками многочисленных золотоносных даек. Работы по геологическому изучению даек ведутся с перерывами вплоть до нашего времени. Завершены поисково-оценочные работы на двух новых объектах Дубач (Малыш) и Стахановское (Березитовое), которые показали их большое сходство с разведанными ранее месторождениями. Металлоносность даек обусловлена сетью секущих золото-кварцевых жил и прожилков, которые были отнесены к колымской россыпеобразующей формации тесно связанной с зеленосланцевым метаморфизмом толщ верхоянского комплекса (Шило и др., 1988, Фирсов, 1985). Однако как показывает анализ результатов термобарогеохимических исследований, приведенный ниже, есть основание полагать о близости дайковых месторождений к типу месторождений золота, связанных с интрузивами - «золото-редкометалльному» по терминологии магаданских геологов («intrusion-related», Lang et al., 2000), входящих в группу орогенных месторождений золота.

Золоторудные дайки залегают в породах Верхоянского комплекса. Они размещаются обычно среди толщ триаса и юры, причем большинство выявленных месторождений на современном эрозионном срезе концентрируется в юрских толщах. Рудовмещающие нижнеюрские отложения представлены преимущественно тонкотерригенными алевролит-аргиллитовыми осадками, с редкими прослоями песчаников и туффигов. Мощность осадков 800-1500 м. В средней юре они сменяются преимущественно флишевыми толщами алевролитов, аргиллитов и песчаников, часто с граувакками, содержащими турбидиты (мощность от 600-1000 м до 3-4 км).

Месторождения золота в дайках сформировались в течение длительного интервала времени от поздней юры до начала позднего мела в обстановках коллизии и последующей орогенной активизации. Пространственное распространение даек подчеркивает формирование в Яно-Колымском поясе в этот период крупных орогенных сводов. Пик золотого оруденения в дайках пришелся на неокон 145–125 млн. лет.

Золотоносность даек связана с интенсивностью гидротермально-метасоматических изменений пород. Маломощные дайки (до 2,0 м) обычно полностью метасоматически изменены и являются рудными телами в своих границах (Утинская). Более мощные дайки

отличаются неравномерной золотоносностью (Среднеканская, Арик, Россыпник и др.). Рудные столбы в этом случае приурочены либо к зальбанду дайки, либо к конкретным кварцево-жильным телам ее рассекающим. Весьма вероятно, что дайки являлись благоприятной средой для проникновения рудоносных флюидов. Протяженность золотоносных даек – от первых тысяч до полутора десятков тысяч метров, мощность колеблется от 1 до 50 м. Вертикальный размах оруденения достигает 600 м и более (Утинское месторождение). Дайки пронизаны сетью кварцевых, альбит-кварцевых, карбонат-кварцевых, сульфидно-кварцевых прожилков, переходящих в непротяженные жилы, и местами насыщены вкрапленностью сульфидов - пирита и арсенопирита. Из рудных минералов (первые проценты) распространены арсенопирит, пирит, самородное золото, пирротин, сфалерит, халькопирит, антимонит, шеелит и др. Среднее содержание на массу даек обычно не превышает первые г/т, более богатые руды характеризуются мелкогнездовым размещением.

Для изучения условий формирования золотого оруденения в дайках были выполнены термобарогеохимические исследования флюидных включений (ФВ) в кварце трех месторождений (Среднеканского, Крохалиного и Березитового).

Среди флюидных включений в кварце из рудных жил золоторудных даек выделены первичные, первично-вторичные и вторичные включения. Первичные флюидные включения, изучению которых было уделено особое внимание, имеют форму отрицательных кристаллов. Они располагаются по зонам роста зерен минералов или распределены равномерно в объеме кварца внутри зерен. В большинстве изученных образцов размеры этих флюидных включений варьируют от 3 до 30 мкм, в основном же составляют 10–15 мкм. Первично-вторичные включения приурочены к трещинам, заканчивающимся в наружных зонах зерен и не выходящих за их границы. К вторичным флюидным включениям отнесены цепочки включений, приуроченные к секущим трещинам, пересекающим границы зерен.

По фазовому составу при комнатной температуре флюидные включения подразделены на три типа:

Тип I: углекислотно-водные флюидные включения. Среди них встречаются двухфазовые, в которых присутствуют фазы жидкой воды и плотной CO_2 в газовой фазе, и трехфазовые, содержащие жидкую воду, а также жидкую и газообразную CO_2 .

Тип II: существенно газовые флюидные включения, однофазовые или двухфазовые (с каймой водного раствора), содержащие CO_2 с незначительными примесями других газов.

Тип III: двухфазовые флюидные включения, содержащие водный раствор и малоплотный газовый пузырек, заполненный преимущественно водяным паром.

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились на установке THMSG-600 фирмы "Linkam", позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале температур от -196 до 600°C и наблюдать за ними при больших увеличениях. Концентрация солей для флюидных включений оценивалась по температуре плавления льда. Давление определялось для гетерогенного флюида по сингенетичным существенно газовым и газовой-жидким флюидным включениям как сумма парциальных давлений паров воды и давления CO_2 . Для оценки давления использовался метод пересечения изохоры (строилась по флюидным включениям газовой фазы) и изотермы (по температуре гомогенизации существенно водных флюидных включений). Оценка концентраций солей, плотностей водного флюида и CO_2 , а также давлений проводилась с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989).

Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений изложены ниже.

Месторождение Крохалиное. В кварце из образца КЗ имеются углекислотно-водные (тип I, см.) включения, которые содержат водный раствор хлоридов магния и натрия (Т эвт. -43°C) с концентрацией солей 10.7 мас. % экв. NaCl и углекислоты 6.9 моль/кг

раствора, и гомогенизируются в жидкость при температуре 284 °С. Имеются также сингенетичные или существенно газоподобные (тип II) включения, свидетельствующие о гетерогенном состоянии флюида. Существенно газоподобные включения содержат плотную углекислоту (плотность 0.88 г/см³), развивающую давления 1860–1840 бар при температуре 284 °С. Отношение $P_{\text{общ}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет 28.7–29.2.

Месторождение Среднеканское. В кварце из образца С1 были обнаружены первичные и вторичные двухфазовые газоподобные включения (тип III, см.). Первичные газоподобные включения содержат водный раствор хлоридов Mg и Na (Т эвт. –37 °С) с концентрацией солей 3.7 мас. % экв. NaCl, и гомогенизируются в жидкость при температуре 314 °С. Вторичные включения также содержат водный раствор хлоридов Mg и Na (Т эвт. –37... –36 °С) с концентрацией солей 4.0–4.8 мас. % экв. NaCl, и гомогенизируются в жидкость при температурах 197–185 °С.

Месторождение Березитовое (Стахановское рудное поле). В кварце из 5 образцов были обнаружены сингенетичные углекислотно-водные (тип I) и существенно газоподобные (тип II) включения, свидетельствующие о гетерогенном состоянии флюида. Углекислотно-водные включения содержат водный раствор хлоридов магния и натрия (Т эвт. –32... –38 °С) с концентрацией солей 4.3–8.9 мас. % экв. NaCl и углекислоты 4.3–5.8 моль/кг р-ра, и гомогенизируются в жидкость при температурах 260–315 °С. Существенно газоподобные включения содержат плотную углекислоту (плотность 0.74–0.95 г/см³), развивающую давления 2500–1360 бар при температурах 315–260 °С. Отношение $P_{\text{общ}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет 13.5–49.0. Вторичные включения содержат водный раствор хлоридов Mg и Na (Т эвт. –30 °С) с концентрацией солей 4.3 мас. % экв. NaCl, и гомогенизируются в жидкость при температуре 201 °С.

Исследованные месторождения ранее традиционно относили к золото-кварцевому формационному типу, наложенному на дайки и парагенетически связанному с гранитоидами (Фирсов, 1985, Горячев, 1998). Полученные термобарогеохимические данные указывают на близость изученного золотого оруденения в дайках к месторождениям золота, связанным с интрузивами (“intrusion-related”, Lang et al., 2000). В целом рудообразующие флюиды содержат умеренные концентрации солей и высокие – углекислоты и по многим параметрам соответствуют флюидам орогенных жильных месторождений золота.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного проекта IGCP №540, РФФИ (проект 06-05-64659), Программы ОНЗ РАН №2.

Литература

- Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210с.
- Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Кольмского пояса. Новосибирск: Наука, 1985. 217с.
- Шило Н.А., В.И. Гончаров В.И., Альшевский А.В., Ворцепнев В.В. Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-востока СССР. М. Наука, 1988, 182с.
- Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // American Mineralogist. 1989. V. 74. P.1390–1393.
- Baker T. Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusions in intrusion-related gold deposits // Economic Geology. 2002. V. 97.P. 1111–1117.
- Lang J.R., Baker T., Hart C.J.R., Mortensen J.K. An Exploration model for intrusion-related gold systems // Seg. Newsletter. 2000. № 40. P.1-15.

Флюидные включения в метасоматитах золоторудного месторождения Макмал (Тянь-Шань)

Пак Н.Т.

Институт геологии НАН Кыргызской Республики, Бишкек, pak@istc.kg

Fluid inclusion in metasomatites of the Makmal gold deposit (Tien-Shan)

Pak N.

Institute of geology NAS Kyrgyz Republic, Bishkek, pak@istc.kg

Summary. Fluid inclusions in metasomatites of the Makmal large gold deposit were investigated. Temperatures of formation of fluid inclusions, as well as their gas and salt compositions establish regular evolution from early to later stages.

Методы термобарогеохимии успешно используются для выяснения условий образования золоторудных объектов многими исследователями. Метасоматически измененные породы являются одним из самых трудных объектов для исследования этими методами (Омельяненко, 1978). Нами проведены термобарогеохимические исследования включений в кварце из различных типов метасоматитов и кварцевых жил на крупном золоторудном месторождении Макмал. Это месторождение характеризуется формированием последовательного ряда метасоматитов на контакте пермской гранитоидной интрузии и кремнисто-карбонатных пород визейского яруса. В начальный период в экзоконтактовой зоне были сформированы волластонитовые, гранатовые и гранат-пироксеновые скарны. Далее по скарнам и гранитам развиваются богатые золотоносные кварц-полевошпатовые метасоматиты, грейзены и березиты в гранитах и окварцованные породы в скарнах и карбонатных породах. Березиты и окварцованные породы также золотоносны. В завершающую стадию формируются рудные и безрудные кварцевые жилы.

Изучение газово-жидких включений проводилось в кварце из внутренних и центральных частей метасоматитов. Ниже, говоря о включениях, подразумеваются газово-жидкие, или флюидные включения в кварце из соответствующих пород. Большинство включений имеет мелкие размеры, укладываемые в интервал 0,0005-0,02 мм. Включения в кварц-полевошпатовых метасоматитах имеют неправильные, угловатые, овальные, слегка удлинённые формы. Наиболее распространены 2-фазные газово-жидкие включения. Объем газовой фазы колеблется от 8 до 25 %. Встречаются также 1- и 3-фазные включения. Твердая фаза имеет форму куба и представлена, вероятно, галитом (?). Расположение включений хаотичное. В грейзенах включения имеют овальные, иногда геометрически правильные формы или слегка вытянутые. Встречаются в основном 2-фазные, реже 3-фазные включения. Газовая фаза составляет 15-30 %. Расположены включения вразброс скоплениями или одиночно. Форма включений в березитах неправильная, овальная, иногда имеет геометрические очертания. Состав включений 2-фазный, редко 1-фазный. Газовая фаза занимает объем от 8 до 20 %. Расположение включений в основном одиночное беспорядочное. В кварцевых жилах распространены 2- и 3-фазные включения неправильной формы. Газовая фаза составляет от 10 до 45 % объема включений. Твердая фаза имеет форму кубиков и ромбэдров. Распространение включений беспорядочное, одиночное. Вторичные включения наблюдаются во всех кварцах. Чаще всего они приурочены к трещинам в кварце, реже - к границам срастания отдельных зерен.

Определение температур образования метасоматитов (кроме скарнов) и кварцевых жил проводилось методом термовакuumной декрипитации и гомогенизации газово-жидких включений в кварце из этих пород. Исследования проводились в лаборатории термобарогеохимии КазИМСА (г.Алма-Ата). При термовакuumной декрипитации применялся способ регистрации взрывов включений, при котором фиксировались

импульсы увеличения давления. Давление увеличивалось при выделении газов и жидкости из включений при их вскрытии в вакуумной камере. В исследованиях применялся вакуумный декрипитометр ВД-4 с рабочим диапазоном вакуума 0,01- 0,09 мм.рт.ст. Температурный интервал нагрева составлял 20-1000°C, а скорость нагрева - 20°C/мин. Декрипитация включений происходила в трех температурных интервалах. Наибольший интерес представляет второй интервал 200-520°C, отражающий температурный режим формирования кварца метасоматитов и жил. В декриптограммах выделяются по одному максимуму приращения давления, характеризующие момент максимального раскрытия включений. По каждому типу метасоматитов было проведено несколько испытаний (табл. 1). Температуры начала и конца декрипитации в целом снижаются от ранних кварц-полевошпатовых метасоматитов к поздним кварцевым жилам. Исключение составляет температура окончания декрипитации кварца из березитов, которая выше на 10°C, чем из грейзенов. Однако температура максимальной декрипитации закономерно уменьшается в том же направлении без каких-либо исключений.

Гомогенизация газовой-жидких включений проводилась в пластинках кварца толщиной 0,1-0,3 мм. Нагревание осуществлялось в термокамере конструкции В.Е.Бочарова (КазИМС) до 1000°C. Гомогенизация проводилась лишь в 2-фазных газовой-жидких включениях. Замерялась температура гомогенизации, происходящей по 1 типу (гомогенизация в жидкость).

Таблица 1. Температура гомогенизации и декрипитации кварца

Вмещающая порода	Т°C декрипитации				Т°C гомогенизации			
	к-во проб	от	до	при P _{max}	к-во проб	от	до	средняя
Кварц-полевошпатовый метасоматит	3	340	520	435	18	266	348	308
Грейзен	2	240	420	390	31	203	365	285
Березит	5	210	430	370	14	187	309	240
Кварцевая жила	7	200	300	230	23	180	273	242

Анализ поведения температур гомогенизации кварца из разных метасоматитов показывает те же закономерности, что и декрипитация. Наиболее ранними метасоматитами на месторождении являются скарны. По минеральным парагенезисам скарны месторождения относятся к пироксен-гранат-волластонитовой, пироксен-гранатовой и гранат-эпидотовой фациям, характеризующимися температурами образования 750-450°C (по Жарикову, 1968). Данные декрипитации и гомогенизации позволяют говорить о том, что наиболее вероятными температурами образования кварц-полевошпатовых метасоматитов являются 440-300°C, грейзенов - 400-280°C, березитов - 350-230°C и кварцевых жил - 250-200°C.

Газовый и солевой состав включений изучался методом объемной дегазации минерала путем нагрева в потоке инертного газа (гелия) со сбором под запорной жидкостью (насыщенный раствор CaCl₂) в бюретку. Анализировались газы: CO₂, CO, CH₄, H₂, N₂, H₂O. Анализы выполнялись на лабораторном хроматографе "CHROM-5" в КазИМСе. Вскрытие включений проводилось термическим путем при температурах, соответствующих формированию метасоматитов (200-520°C). Установлено, что определяемые компоненты присутствуют во включениях всех метасоматических и жильных рудных кварцев (табл. 2). В нерудном жильном кварце в некоторых пробах часть компонентов не обнаружена. Наиболее распространенным компонентом во включениях является H₂O. Ее доля составляет в среднем 60 % в кварц-полевошпатовых метасоматитах, 85 % - в грейзенах, 79 % - в березитах, 72 и 97 % - в рудном и нерудном жильном кварце. Вторым по распространенности является CO₂, содержание которого от суммы газов (Σ), исключая H₂O, составляет соответственно 85, 40, 72, 73,

77 %. Наибольшее количество газов содержится в кварц-полевошпатовых метасоматитах и березитах, меньше его в грейзенах и рудных кварцевых жилах. Нерудный кварц содержит газов в 20 раз меньше, чем кварц-полевошпатовые метасоматиты, и в 4-5 раз меньше, чем рудный кварц.

Таблица 2. Состав газовой фазы включений в кварце, 0,00п мл/г

Вмещающая порода	№ пробы	N ₂	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	Сумма (Σ)	H ₂ O
Кварц-полевошпатовый метасоматит	3236	0,14	0,612	0,032	0,425	4,9	6,109	24,2
	3227	1,56	1,65	0,016	0,84	24,38	28,446	25,3
	3229	1,22	0,954	0,009	0,483	14,45	17,116	26,33
	Среднее	0,97	1,07	0,019	0,583	14,58	17,22	25,27
Грейзен	3452	0,69	0,539	0,03	1,137	0,93	2,326	13,51
Березит	3023	0,28	2,4	0,279	0,317	6,91	10,186	20,72
	3200	1,2	0,31	0,042	0,183	14,55	16,285	8,87
	3274	0,64	0,31	0,037	0,107	1,41	2,504	32,94
	3416	1,66	0,92	0,078	0,59	0,98	4,228	63,39
	Среднее	0,95	0,99	0,109	0,299	5,96	8,3	31,48
Рудная кварцевая жила	3379	0,62	0,17	0,018	0,033	4,98	5,821	12,06
	3381	0,56	0,374	0,013	0,035	2,3	5,302	12,1
	3381a	0,68	0,337	0,018	0,068	3,1	4,203	10,56
	3423	0,47	0,27	0,018	0,046	1,035	1,899	3,94
	Среднее	0,58	0,29	0,017	0,051	2,87	3,81	9,67
Нерудная кварцевая жила	3389	-	0,1	-	0,05	1,267	1,417	7,73
	3448	-	-	-	-	0,323	0,323	9,93
	3451	0,38	-	0,01	0,041	0,371	0,802	83,28
	Среднее	0,13	0,03	0,003	0,03	0,65	0,85	33,64

В направлении от ранних к поздним метасоматитам наблюдается закономерное уменьшение количества всех газов кроме CH₄. Содержание водорода и азота в кварц-полевошпатовых метасоматитах и березитах примерно одинаково, а в кварцевых жилах их количество уменьшается, причем в безрудном кварце в 7-8 раз. Восстановленная форма углерода - CH₄ во включениях содержится в очень небольших количествах и ее доля составляет от сотых долей процента до 1-1,5 %. Поведение CO и CO₂ схоже - от ранних к поздним образованиям происходит сначала более резкое уменьшение содержания, а затем более умеренное. Поскольку преобладающая часть газов представлена CO₂, то аналогичное поведение наблюдается и для суммы газов (Σ). Являясь основным компонентом включений, H₂O ведет себя очень нестабильно. Ее содержание сильно изменяется в различных пробах одних и тех же пород. Например, в березитах содержание H₂O колеблется от 8,87 до 63,39 тысячных мл/г, а в безрудных кварцевых жилах - от 7,73 до 83,28 тысячных мл/г.

Изучение солевого состава включений проводилось методом тройной водной вытяжки. Сущность метода заключается в выщелачивании бидистиллятом растворенных компонентов, находящихся во включениях, с последующим их определением. Na и K определялись пламенной фотометрией на приборе "Lange" с чувствительностью 0,001 мг/мл, а SO₄, F, Fe - коллориметрическим методом с чувствительностью 0,001 мг/мл. Трилонометрически определялись: HCO₃ с чувствительностью 0,006, Cl - 0,00035, Ca - 0,01, Mg - 0,006 мг/мл. Кислотность раствора определялась потенциометрическим методом на приборе "PH-340" с чувствительностью 0,01. Все анализы проводились в лаборатории КазИМСа. Полученные данные (табл. 3) показывают различное содержание элементов в различных породах.

Таблица 3. Солевой состав газово-жидких включений в кварце

Компонент	Кварц-полевошпатовый метасоматит		Грейзен		Березит		Рудная кварцевая жила		Нерудная кварцевая жила	
	мг/экв	%/экв	мг/экв	%/экв	мг/экв	%/экв	мг/экв	%/экв	мг/экв	%/экв
Na	0,0075	24,43	0,0067	24,54	-	-	-	-	0,0336	30,24
K	-	-	0,0087	31,86	-	-	0,0069	12,15	0,0064	5,76
Ca	0,0232	75,57	-	-	0,022	21,17	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	-	0,0119	43,6	0,0819	78,83	0,0499	87,85	0,0711	64,0
Сумма	0,0307	100,0	0,0273	100,0	0,1039	100,0	0,0568	100,0	0,1111	100,0
HCO ₃	-	-	0,0832	38,72	0,044	50,58	0,0653	29,13	0,0744	24,02
Cl	0,0367	30,13	0,0569	26,48	0,0348	40,0	0,0344	15,34	0,2354	75,98
F	-	-	0,0333	15,49	0,0023	2,64	0,0229	10,21	-	-
SO ₄	0,0851	69,87	0,0415	19,31	0,0059	6,78	0,1016	45,32	-	-
Сумма	0,1218	100,0	0,2149	100,0	0,087	100,0	0,2242	100,0	0,3098	100,0
pH сред. по 3 замерам	5,58		7,00		6,92		6,47		6,71	

Магний не обнаружен ни в одной пробе. Железо отсутствует в кварц-полевошпатовых метасоматитах, в березитах и кварцевых жилах составляет преобладающую часть - от 63 до 88 %, в грейзенах - 43 %. В кварц-полевошпатовых метасоматитах катионы представлены только натрием и кальцием с преобладанием второго в 3 раза. Присутствие этих элементов в растворах, видимо, является одним из факторов проявления кварц-полевошпатового метасоматоза. В грейзенах помимо железа ведущую роль играет калий. Из анионов только хлор присутствует во всех пробах. В грейзенах обнаружено наибольшее содержание фтора по сравнению с другими породами. Если в грейзенах и рудных кварцевых жилах присутствуют все анионы, которые составляют первые десятки %/экв, то в березитах и нерудном кварце резко преобладают HCO₃ и Cl. В кварц-полевошпатовых метасоматитах ведущая роль принадлежит SO₄.

Таким образом, на месторождении Макмал растворы, формировавшие ранние метасоматиты, содержат большее количество растворенных газов, чем растворы заключительных стадий, сформировавшие рудные кварцевые жилы и пострудный непродуктивный кварц. От ранних стадий образования месторождения к поздним происходит газовая разгрузка растворов. Также происходит уменьшение температур декрипитации и гомогенизации флюидных включений, солевой состав включений изменяется от сульфатно-хлоридного кальций-натриевого в кварц-полевошпатовых метасоматитах через гидрокарбонатно-хлоридного железо-калиевого в березитах и грейзенах до гидрокарбонатного железистого в кварцевых жилах.

Литература:

- Жариков В.А. Скарновые месторождения//Генезис эндогенных рудных месторождений. М: Наука, 1968. С. 220-302.
Омельяненко Б.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М: Недра, 1978. 216 с.

Физико-химические параметры и состав рудообразующих флюидов орогенных месторождений золота России

Прокофьев В. Ю.¹, Бортников Н. С.¹, Гарофало П.²

¹ИГЕМ РАН, Москва, Россия, vpr@igem.ru

²Университет Болоньи, Болонья, Италия

Physical-chemical conditions and composition of ore-bildung fluids of Russian orogenic gold deposits

Prokofiev V. Yu.¹, Bortnikov N. S.¹, Garofalo P.²

¹IGEM RAS, Moscow, Russia, vpr@igem.ru

²Universita di Bologna, Bologna, Italy

Summary. The detailed research of fluid inclusions and stable isotopes in minerals of industrial ore veins large-scale orogenic gold deposits of different regions of Russia was carried out. The deposits under investigation are Berezovskoye and Kochkarskoye (Ural), Olympiada (the Yenisei Ridge), Mayskoye (Chukotka), Nezhdaninskoye (Yakutiya) and Sukhoy Log (Eastern Siberia). Temperatures of industrial ores formation for all investigated deposits are stacked in an interval 190-485 °C. Fluid pressure under ore formations changed from 1.0 up to 3.6 kbar. The hydrothermal fluid of all orogenic gold deposits under investigation is a low-mineralized water solution with the general concentration of salts 2-17 % in weight, and sodium and potassium chlorides are prevailed. For fluids from the majority of deposits the high concentrations of dissolved CO₂ (3-7 mol/kg H₂O) with a small impurity of other gases are characteristic. Variations of geochemical ratio volumes for K/Rb, Br/Cl and others which can serve as indicators of the ore-forming fluid natures are established. Au-bearing fluid from all deposits had the magmatic nature and had mixed up with formation solutions under ore sediments.

Не так давно был выделен особый класс орогенных месторождений золота, возникших на заключительных стадиях формирования орогенов (Groves, 1998). Исследования флюидных включений в минералах руд этих месторождений имеют свою специфику: высокие концентрации углекислоты (иногда с другими газами) и умеренные концентрации солей в растворе (Ridley, Diamond, 2000). В настоящее время под эгидой Юнеско действует международный проект МПГК-540, посвященный изучению состава флюидов орогенных месторождений всего мира. Настоящее сообщение посвящено изложению результатов многолетних исследований в ИГЕМ РАН флюидных включений в минералах промышленных рудных жил крупномасштабных орогенных золоторудных месторождений разных регионов России. В круг изученных объектов вошел ряд известных Российских месторождений золота большого масштаба: Березовское и Кочкарское (Урал), Олимпиада (Енисейский Кряж), Майское (Чукотка), Нежданинское (Якутия), Сухой Лог (Восточная Сибирь). Часть результатов была опубликована ранее (Прокофьев и др., 1994; Бортников и др., 1998; Prokofiev et al., 1998; Лаверов и др., 2000; Vaksheev et al., 2001; Bortnikov et al., 2003; Бортников и др., 2004; 2007; Prokofiev, Vaksheev, 2007; Bortnikov et al., 2007; Bortnikov, Prokofiev, 2007). В рудном кварце всех месторождений установлено наличие ассоциации сингенетичных существенно газовых и углекислотно-водных флюидных включений, свидетельствующих о гетерогенном состоянии рудообразующего флюида в процессе рудоотложения.

Микротермометрические исследования индивидуальных флюидных включений выполнялись при помощи измерительного комплекса на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы "Linkam" (Англия) в ИГЕМ РАН. Солевой состав растворов определялся по температурам эвтектики (Борисенко, 1977). Концентрация солей во включениях с высокими содержаниями углекислоты оценивалась по температуре плавления газгидратов (Collins, 1979; Darling, 1991). В тех включениях, где такая оценка оказалась невозможна, поскольку в углекислоте содержится большое количество метана

(температура плавления углекислоты достигает $-60.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как у чистой CO_2 – 56.6 , температура плавления газгидратов выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$), концентрация солей оценивалась по температуре плавления льда и корректировалась на основании измерений объемных соотношений углекислотной и водной фаз и расчета концентраций газов в растворе. Концентрация метана оценивалась также из объемных соотношений и плотности метана в газовой фазе, связанной с парциальным давлением метана, в свою очередь определяющим температуру плавления газгидратов метана (выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, (Claypool, Kaplan, 1974)). На основании этих данных вычислялись поправки на количество воды, связанное в газгидратах и оценивалась концентрация солей в углекислотно-метаново-водных флюоидах способом, описанным в работе (Distler et al., 2004).

Таблица. Физико-химические параметры рудоотложения и состав рудообразующего флюида крупных мезотермальных золоторудных месторождений России.

Месторождение	Тип флюида	Основные компоненты	n	$T_{\text{гом.}}$, $^{\circ}\text{C}$	$C_{\text{солей}}$, мас. % экв. NaCl	$\text{CO}_2 \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$, мас. %	P, бар	$\frac{P_{\text{общее}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$		
Березовское, Урал	Газонасыщенный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{NaCl}$	380	365-255	14.9-2.0	27.7-10.6	3460-810	42.7-13.0		
	Газ	CO_2	816	-	-	98-86				
Кочкарское, Урал	Газонасыщенный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{NaCl}$	126	370-244	14.2-7.7	28.2-9.7	2580-450	22.7-3.8		
	Газ	CO_2	187	-	-	96-73				
	Водный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	51	272-180	16.7-6.3	2-0			-	-
Олимпиада, Енисейский край	Газонасыщенный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	434	485-190	17.8-2.4	6-1	2710-190	56.5-3.6		
	Газ	$\text{CO}_2 \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$	136	-	-	98-86				
	Водный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	273	335-105	25.0-1.2	2-0			-	-
Майское, Чукотка	Рассол	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$	22	535-170	37.5-30.2	8-1	-	-		
	Газонасыщенный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{NaCl}$	127	430-238	8.8-2.2	22.9-7.0				
	Газ	$\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$	103	-	-	92-75				
	Водный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	130	287-119	10.1-0.7	3-1				
Нежданское, Якутия	Газонасыщенный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{NaCl}$	330	387-249	9.6-1.2	31.7-8.4	1950-400	46.6-2.9		
	Газ	$\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$	481	-	-	97-78				
	Водный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	93	294-129	26.3-2.4	3-1			-	-
	Рассол	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$	15	204-199	31.1-31.0	2-1			-	-
Сухой лог, Ленский район	Газонасыщенный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4 + \text{NaCl}$	288	385-185	8.6-5.0	33.4-7.9	2450-130	70.6-1.03		
	Газ	$\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$	369	-	-	97-70				
	Водный раствор	$\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	213	335-130	9.5-3.7	2-0			-	-

Давление определялось для гетерогенных флюидов по пересечению изохоры и изотермы (Каложный, 1982). Для построения изохор и оценки давлений по существенно газовым включениям, содержащим плотные углекислотно-метановые смеси, использовались данные работы (Thiery et al., 1994). Валовый состав флюидных включений

из мономинеральных навесок 1.0–0.5 г фракции 0.5–0.25 мм проанализирован разными методами (газовая и ионная хроматография, ICP MS) в ЦНИГРИ (Кряжев и др., 2006). Для месторождений Олимпиада, Сухой Лог и Березовское проведены исследования газовой фазы флюидных включений методом КР-спектроскопии.

Основные результаты исследования флюидных включений в минералах руд всех изученных месторождений приведены в табл. Температуры формирования промышленных руд всех изученных месторождений укладываются в интервал 210–450 °С. Флюидное давление при формировании руд изменялось от 1.1 до 3.6 кбар. Гидротермальный флюид всех изученных орогенных месторождений золота является слабоминерализованным водным раствором с общей концентрацией солей 2–17 мас. %, в котором преобладали хлориды натрия и калия. Для флюидов большинства месторождений характерны высокие концентрации растворенной CO₂ (3–7 моль/кг H₂O) с небольшой примесью других газов. Только в газовой фазе флюида месторождения Олимпиада выявлены широкие вариации концентраций CO₂, CH₄ и N₂, что с наибольшей вероятностью связано с особенностями состава вмещающих оруденение пород. В газовой фазе флюида месторождения Сухой Лог установлено наличие высокоплотного азота. Даны оценки концентрации макро- (CO₂, CH₄, Cl, Na, K, Ca, Mg) и микрокомпонентов (Br, V, Rb, Li, Cu, Zn, Pb, Sr, Ba, Au, Ag и др.) в гидротермальных флюидах всех месторождений и выполнен сравнительный анализ. Изучены вариации величин геохимических отношений K/Rb, Br/Cl и других, которые могут служить индикаторами природы рудообразующих флюидов. Как показали исследования, гидротермальный рудообразующий раствор состоял из смеси флюидов разной природы. Обязательным компонентом рудообразующих растворов всех изученных месторождений являлся флюид магматической природы, который в ходе рудоотложения смешивался с растворами другого генезиса (метаморфогенными, формационными и др.). В рудообразующем флюиде месторождения Сухой Лог доля магматического флюида наименьшая по сравнению с остальными месторождениями. Изучение стабильных изотопов серы, углерода и кислорода, полученные для большинства рассмотренных месторождений, согласуются с данными исследования флюидных включений и подтверждают возможность смешения магматических и формационных флюидов в процессе рудоотложения.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОНЗ-2 РАН и проекта Международной геологической корреляции Юнеско IGCP 540.

Литература

- Борисенко А. С. Изучение солевого состава газовой фазы включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. №8. С. 16–27.
- Бортников Н. С., Брызгалов И. А., Кривичкая Н. Н., Прокофьев В. Ю., Викентьева О. В. Майское многоэтапное прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): минералогия, флюидные включения, стабильные изотопы (О и S), история и условия образования // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. №6. С. 475–509.
- Бортников Н. С., Гамянин Г. Н., Викентьева О. В., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Бахарев А. Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49. №2. С. 99–145.
- Бортников Н. С., Сазонов В. Н., Викентьева О. В. и др. Роль магматогенного флюида в формировании Березовского мезотермального золото-кварцевого месторождения, Урал // Доклады РАН. 1998. Т. 363. № 1. С. 82–85.
- Каложный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев: Наукова думка, 1982. 240 с.
- Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2006. №4. С. 30–36.
- Лаверов 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) // Доклады АН. 2000. Т. 371. №1. С.88–92.

- Прокофьев В. Ю. Типы гидротермальных рудообразующих систем (по данным исследования флюидных включений) // Геология рудных месторождений. 1998. № 6. С. 514–528.
- Прокофьев В. Ю., Афанасьева З. Б., Иванова Г. Ф., Буарон М. К., Мариньяк Х. Исследование флюидных включений в минералах Олимпиадненского Au-(Sb-W) месторождения (Енисейский край) // Геохимия. 1994. №7. С. 1012–1029.
- Прокофьев В. Ю., Спиридонов Э. М. Состав метаморфогенных флюидов и условия преобразования руд Кочкарского золоторудного месторождения (Урал) // Петрография на рубеже XXI века: Итоги и перспективы. Материалы Второго Всероссийского петрографического совещания 27-30 июня 2000 года. Геопринт: Сыктывкар, 2000. С. 88–90.
- Baksheev I. A., Prokofiev V. Yu., & Ustinov V. I. Genesis of metasomatic rocks and mineralized veins at the Berezovskoe deposit, Central Urals: evidence from fluid inclusions and stable isotopes // *Geochem. International*. 2001. V. 39. Suppl. 2. P. S129–S144.
- Bortnikov N.S., Prokofiev V.Yu. Major mesothermal gold ore deposit of Russia: composition and origin of ore-forming fluids // *Digging Deeper. Proceedings of the Ninth Biennial meeting of the society for geology applied to mineral deposits*. Dublin, Ireland, 20th-23rd august 2007. Dublin: Published Irish Association for Economic Geology, 2007. P. 793–796.
- Bortnikov N. S., Prokofiev V. Yu., Vikentieva O. V., Bryzgalov I. A., & Krivitskaya N. N. The Mayskoye disseminated gold deposit, Chukotka, Russia: mineral paragenesis, fluid inclusion, and oxygen and sulfur isotope studies // *Mineral exploration and Sustainable Development*. Eliopoulos et al. (eds). Millpress, Rotterdam, 2003. P. 743–746.
- Claypool G. M., Kaplan J. R. The origin and distribution of methane in marine sediments // *Natural gases in marine sediments*. New York and London: Plenum Press, 1974. V. 3. P. 132.
- Collins P. L. P. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity // *Economic Geology*. 1979. V. 74. P. 1435–1444.
- Darling R. S. An extended equation to calculate NaCl contents from final clatrate melting temperatures in H₂O-CO₂-NaCl fluid inclusions: Implications for P-T-isochore location // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. V. 55. P. 3869–3871.
- Distler V. V., Yudovskaya M. A., Mitrofanov G. L., et al. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2004. V. 24/1-2. P. 7–44.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M. et al. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // *Ore Geol. Rev.* 1998. V. 13: P. 7–27.
- Prokofiev V. Yu., Baksheev I. A. Fluid inclusion in minerals of the Berezovsky orogenic gold deposit, Central Urals, Russia // *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI-XIX)*. University of Bern, Switzerland, 17–20 July 2007. Abstract Volume. P. 254.
- Prokofiev V. Yu., Distler V. V., Spiridonov A. M., et al. Fluid Regime and Conditions of Origin of the Sukhoi Log (Russia) Gold-Platinum Deposit // *PACROFI VII University of Nevada, Las-Vegas, Nevada, USA June 1-4, 1998 Program and Abstracts*. P. 53.
- Ridley J. R., Diamond L. W. Fluid Chemistry of Orogenic Lode Gold Deposits and Implications for Genetic Models // *Gold in 2000. SEG Reviews*. 2000. V. 13. P. 141–162.
- Thiery R., Kerkhof A. M, Dubessy J. vX properties of CH₄-CO₂ and CO₂-N₂ fluid inclusions: modeling for T < 31 °C and P < 400 bars // *Eur. J. Miner.* 1994. №6. P. 753–771.

Условия формирования и состав рудообразующих флюидов Васильевского месторождения золота (Енисейский край, Россия)

Прокофьев В. Ю.¹, Дубровская И.В.²

¹ИГЕМ РАН, Москва, Россия, vpr@igem.ru

²МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Formation conditions and compositions of ore-forming fluid of Vasilyevskoye gold deposit (the Yenisey ridge, Russia)

Prokofiev V. Yu.¹, Dubrovskaya I. V.²

¹IGEM RAS, Moscow, Russia, vpr@igem.ru

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Summary. Conditions of ore veins formation and composition of ore-forming fluids of gold deposit Vasilyevskoye in the Yenisey ridge were studied.

Получены первые данные об условиях формирования рудных жил Васильевского месторождения золота, расположенного в центральной части Партизанского рудного узла Южно-Енисейского золоторудного района (Красноярский край). Район месторождения сложен осадочно-метаморфическими породами рифейского возраста. Золоторудная минерализация связана с кварцевыми жилами, околожильными окварцованными и сульфидизированными породами и зонами прожилкового окварцевания с рассеянной сульфидной минерализацией.

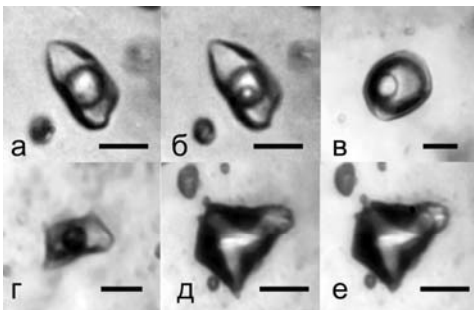


Рис. 1. Различные типы флюидных включений в кварце месторождения Васильевское: а, б – углекислотно-водные включения (тип 1), в – существенно газовое включение (тип 2), г – газожидкое включение (тип 3), д – е газовое включение с азотом. (тип 4).

а – +22 °С, б – +15 °С, в – +9 °С, г, д – +20 °С, е – –155 °С. Масштаб 10 мкм.

Ris. 1. Different types of fluid inclusions in quartz of Vasilyevskoye gold deposits: а, b – three-phase inclusion with liquid CO₂ of type 1, v – substantially gas inclusion with liquid CO₂ of type 2, g – gas-liquid inclusion type 3, d, e – gas inclusion type 4 with nitrogen.

а – +22 °С, б – +15 °С; в – +9 °С, д – +20 °С, г, д – +20 °С, е – –155 °С. Scale bar 10 mkm.

Главным жильным минералом является кварц, содержащий небольшое количество серицита, карбонатов и обломки вмещающих сланцев. Из рудных минералов преобладают пирит и арсенипирит. Встречаются также блеклые руды (в основном теннантит), сфалерит, халькопирит и галенит. Количество сульфидов в рудах не превышает 1–2%, редко достигает 10–15%.

Гидротермальная деятельность проходила в несколько стадий. Выделяется несколько типов жил различного минерального состава и морфологии: 1) жилы серого кварца; 2) кварцевые жилы с гнездами и прожилками сульфидов, карбонатов и силикатов; 3) линзы и прожилки гидрослюд с вкрапленностью сульфидов; 4) карбонатные прожилки с сульфидами и без них; 5) альбитовые прожилки с пиритом и хлоритом.

По фазовому составу при комнатной температуре флюидные включения в раннем кварце из рудных жил подразделены на два типа: углекислотно-водные флюидные включения (тип 1) и существенно

углекислотные флюидные включения с плотной CO_2 (тип 2). Эти два типа флюидных включений отражают две фазы гетерогенного рудообразующего флюида, расщепившегося при тектоническом падении давления. Кроме того, в позднем прозрачном крупнокристаллическом кварце обнаружены газиво-жидкие двухфазовые флюидные включения с небольшим газовым пузырьком (тип 3) и сингенетичные им газовые включения (тип 4).

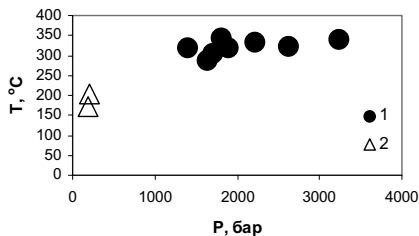


Рис. 2. Диаграмма «температура-давление» для рудных жил месторождения Васильевское.

1 – ранний кварц, 2 – поздний кварц.

Ris. 2. Temperature vs. pressure for different types ore veins of the Vasilyevskoye deposit.

1 – early quartz, 2 – late quartz.

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились на установке THMSG-600 фирмы “Linkam” в ИГЕМ РАН. Солевой состав растворов определялся по температурам эвтектики (Борисенко, 1977). Концентрация солей во включениях с большим количеством углекислоты оценивалась по температуре плавления газгидратов. Для оценки давления использовался метод пересечения изохоры (строилась по флюидным включениям газовой фазы) и изотермы (по температуре гомогенизации существенно водных флюидных включений). Оценка концентраций солей, плотностей CO_2 и давлений проводилась с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989).

Исследования показали, что углекислотно-водные флюидные включения содержат водный раствор хлоридов Mg и Na ($T_{\text{эвт.}}$ от -30 до -35 °C) с концентрацией солей 1.6–6.6 мас. % экв. NaCl и углекислоты 4.7–6.2 моль/кг р-ра, и гомогенизируются в жидкость при температуре 289–344 °C. Существенно газовые флюидные включения содержат плотную углекислоту (плотность 0.74–1.01 г/см³), развивающую давления 1400–3240 бар при температурах 289–344°C (рис. 2).

Газово-жидкие двухфазовые включения в позднем кварце содержат водный раствор хлоридов магния и натрия ($T_{\text{эвт.}}$ от -34 до -30 °C) с концентрацией солей 5.3–5.6 мас. % экв. NaCl, и гомогенизируются в жидкость при температурах от 172 до 205 °C. Сингенетичные им существенно газовые включения содержат малоплотный азот (0.12 г/см³), гомогенизация которого происходит в газовую фазу при -153 °C. Давление флюида при температурах от 172 до 205 °C составляло 180–200 бар (рис. 2).

Полученные данные свидетельствуют о сходстве физико-химических параметров рудоотложения на Васильевском месторождении с типичными представителями орогенных месторождений золота (Ridley, Diamond, 2000).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Международной геологической корреляции Юнеско IGCP 540.

Литература

- Борисенко А. С. Изучение солевого состава газиво-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. №8. С. 16–27.
- Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineralogist. 1989. V. 74. P. 1390–1393.
- Ridley J. R., Diamond L. W. Fluid Chemistry of Orogenic Lode Gold Deposits and Implications for Genetic Models // Gold in 2000. SEG Reviews. 2000. V. 13. P. 141–162.

**Условия формирования и состав рудообразующих флюидов
золоторудного месторождения Западное, Сухоложский рудный район,
Россия**

Сароян М. Р., Прокофьев В. Ю., Сафонов Ю. Г.
ИГЕМ РАН, Москва, Россия, vpr@igem.ru

**Formation conditions and composition of ore-forming fluids of the Zapadnoye
gold deposit, the Sukhoy Log ore area (Russia)**

Saroyan M. R., Prokofiev V. Yu., Safonov Yu. G.
IGEM RAS, Moscow, Russia, vpr@igem.ru

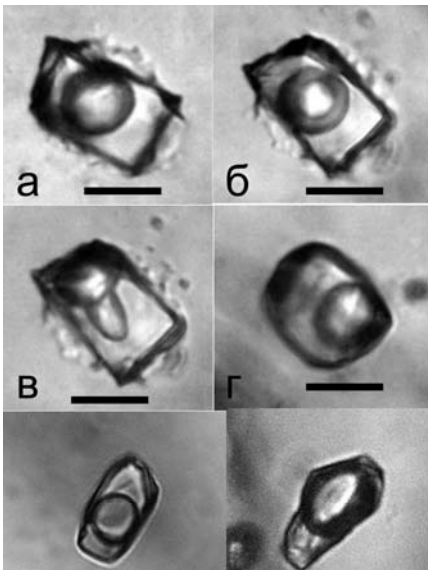


Рис. 1. Различные типы флюидных включений в кварце месторождения Западное: а-д – углекислотно-водные включения (тип 1), е – существенно газовое включение (тип 2). а – +20 °С, б – –18 °С, в – +9 °С, виден газгидрат, г-е – +20 °С. Масштаб 10 мкм.

Ris. 1. Different types of fluid inclusions in quartz of Zapadnoye gold deposits: а-d – three-phase inclusion with liquid CO₂ of type 1, е – substantially gas inclusion with liquid CO₂ of type 2. а – +20 °С, б – –18 °С; в – +9 °С, visible of clatrate, г-е – +20 °С. Scale bar 10 mkm.

1 м, редко более, характеризуются эпизодически встречающимися гнездо-вкрапленными выделениями сульфидов (пирит, галенит и др.) и видимого золота, часто ассоциирующего с карбонатом. Основная масса рудного золота заключена в прожилково-вкрапленных рудах, где оно фиксируется в мелких зернах (3–25 мкм) среди пирита и кварца. Пирит, ассоциирующий с золотом, по данным нейтронно-активационного анализа

Summary. Conditions of ore veins formation and composition of oreforming fluids of the Zapadnoye gold deposit in the Sukhoy Log orefield are studied. It was established, that ore veins with sulfides were formed at higher pressures, than sulfides-free ones. The fluid which formed veins with sulfides, was enriched with many ore and nonmetallic elements. The revealed features of the primary ore-bearing fluid of the Zapadnoye deposit, e.g. increased pressure and high concentrations of lithium, rubidium, boron and of some other components, testify to a deep source of the fluid and its probable association with granitic magmatism.

Месторождение Западное выделено как самостоятельное в пределах основной золотоносной минерализованной зоны Сухоложского рудного поля, в ее периферической западной части. Оно представлено несколькими ограниченными по размерам полого-залегающими золоторудными телами с прожилково-вкрапленной минерализацией, подобной представленной на основном месторождении – Сухой Лог. Здесь в пределах контуров рудных тел и вне их закартированы отдельные кварцевые жилы и жильные зоны – субгоризонтальные и секущие по отношению к напластованию терригенных пород рифейского сланцевого комплекса. Жилы мощностью от 5–10 см до

характеризуется содержанием золота до 60–200 г/т, частью относящимся к тонкодисперсному фазу.

Золотоносные жилы большинством исследователей относятся к позднему этапу минерализации, но маломощные жилы и крупные прожилки, мощностью в «и» см, в пределах контуров прожилково-вкрапленного оруденения, очевидно, представляют разновременные образования и содержат кварц и пириты различных генераций.

Объектами исследований флюидных включений служили кварцевые агрегаты, разделенные условно на две группы: 1) золотоносный кварц, представленный в прожилках и жилах, содержащих пирит, и 2) незолотоносный кварц, из крупных жил и прожилков, в которых пирит не наблюдался. В последних золото не устанавливается и по опробованию.

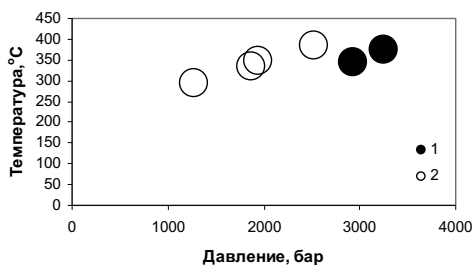


Рис. 2. Диаграмма «температура-давление» для кварца месторождения Западное.

1 – золотоносный кварц, 2 – незолотоносный кварц.

Ris. 2. Temperature vs. pressure for different types ore veins Zapadnoye deposit.

1 – Au quartz, 2 – without Au quartz.

плавления газгидратов (Collins, 1979; Darling, 1991). В тех включениях, где такая оценка оказалась невозможна, поскольку в углекислоте содержится большое количество метана (температура плавления углекислоты достигает -60.5°C , в то время как у чистой CO_2 – 56.6 , температура плавления газгидратов выше $+10^{\circ}\text{C}$), концентрация солей оценивалась по температуре плавления льда и корректировалась на основании измерений объемных соотношений углекислотной и водной фаз и расчета концентраций газов в растворе. Концентрация метана оценивалась также из объемных соотношений и плотности метана в газовой фазе, связанной с парциальным давлением метана, в свою очередь определяющим температуру плавления газгидратов метана (выше $+10^{\circ}\text{C}$, (Claypool, Kaplan, 1974)). На основании этих данных вычислялись поправки на количество воды, связанное в газгидратах и оценивалась концентрация солей в углекислотно-метаново-водных флюидах способом, описанным в работе (Distler et al., 2004). Давление определялось для гетерогенных флюидов по пересечению изохоры и изотермы. Для построения изохоры и оценки давлений по существенно газовым включениям, содержащим плотные углекислотно-метановые смеси, использовались данные работы (Thiery et al., 1994). Валовый состав флюидных включений из тщательно отобранных мономинеральных навесок 1.0–0.5 г фракции 0.5–0.25 мм проанализирован разными методами (газовая и ионная хроматография, ICP MS) в ЦНИГРИ (Кряжев и др., 2006).

Термо- и криометрическими исследованиями индивидуальных флюидных включений установлено, что золотоносный кварц формировался из гетерогенного углекислотно-водного флюида. Жидкая фаза флюида имела плотность $1.10-0.97 \text{ г/см}^3$, содержала растворенные хлориды магния и натрия (Т эвт. -33°C) с суммарной концентрацией солей 7.3 мас. % экв. NaCl, углекислоту (моль/кг p-ра) и метан (моль/кг p-

ра), и гомогенизировалась в жидкость при температурах 376–345 °С. Существенно газовые включения содержат плотную метаново-углекислотную смесь (плотность 0.97–0.83 г/см³, метана менее 5 мол. %), развивающую давления 3250–1500 бар при температурах 376–345 °С. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет 19.7–10.0.

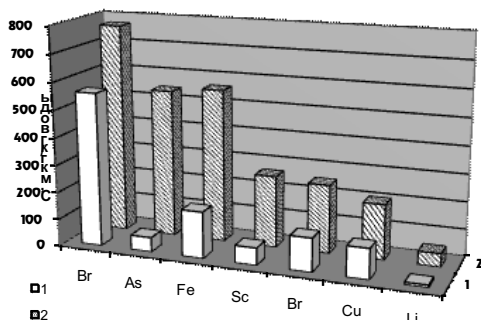


Рис. 3. Диаграмма концентраций некоторых элементов в растворе включений в кварце разного типа: незолотоносный кварц (1) и золотоносный кварц (2).

Ris. 3. Diagramme of concentrations of some elements in solutions of fluids inclusions in quartz of different types vein: without Au quartz (1) and Au quartz (2).

Незолотоносный кварц также форми-ровался из гетероген-ного углекислотно-вод-ного флюида, жидкая фаза которого имела плотность 1.07–0.87 г/см³, содержала растворенные хлориды магния и натрия (Т эвт. –37...–31 °С) с концентрацией солей 9.0–2.6 мас. % экв. NaCl, углекислоту (8.8–4.7 моль/кг р-ра) и метан (1.1–0.7 моль/кг р-ра), и гомогенизировалась в жидкость при температурах 386–230 °С. Существенно газовые включения содержат плотную метаново-углекислотную смесь (плотность 0.87–0.72 г/см³, метана 20–5 мол. %), развивающую давления 2510–1130 бар при температурах 386–279 °С. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ составляет 19.2–8.1.

В целом рудообразующие флюиды месторождения Западное близки по параметрам ко флюидам орогенных месторождений золота (Ridley, Diamond, 2000). Установлено, что золотоносный кварц формировался из флюида с большим давлением (до 3250 бар, рис. 2), чем незолотоносный (до 2510 бар). Сравнительный анализ составов изученных флюидов также обнаружил существенные различия для этих двух видов кварца. Флюид включений в золотоносном кварце содержит более высокие концентрации углекислоты и калия, а также многих микрокомпонентов, чем в незолотоносном кварце (мкг/кг воды): Br (769–567 и 561–324), As (542–95 и 53–21), Li (49–5.8 и 8.7–5.5), B (251–123 и 115–79), Rb (8.2–5.9 и 3.3–0.5), Cs (0.8–0.6 и 0.7–0.1), Mo (1.6–1.4 и 0.7–0.2), Ag (2.8–1.9 и 0.6–0.1), Sb (60–25 и 27–6.2), Cu (202–135 и 111–21), Zn (110–51 и 74–37), Pb (13.6–3.6 и 3.7–0.4), Bi (0.4–0.3 и 0.2–0.08), Ga (1.4–0.9 и 0.35–0.18), Ge (11.9–8.1 и 5.1–2.1), Sc (263–101 и 63–32), Ti (55–36 и 32–2.9), Fe (560–387 и 170–31), V (5.9–3.0 и 1.4–0.8), Cr (11.2–4.8 и 4.7–1.9), Y (0.3–0.18 и 0.14–0.01), Zr (6.4 и 3.2–1.0), Sn (12.3–8.4 и 3.7–0.6), W (2.5–1.5 и 0.9–0.2), Te (233–92 и 88–24), Au (0.7–0.5 и 0.4), Hg (3.9–1.5 и 1.6–1.2) и Se (9.9 и 3.1–0.9). Корреляция содержания этих элементов с водой позволяет утверждать (Кряжев и др., 2006), что они связаны с раствором включений, а не примесями сульфидов в кварце. То есть можно уверенно предположить, что раствор включений в золотоносном кварце ближе по составу к исходному («первичному») рудоносному флюиду, который осуществлял транспорт металлов. Примечательно, что обогащенный рудными и сопутствующими элементами золотоносный кварц представлен как в пирит-кварцевых гнездах, так и в маломощных пирит-кварцевых жилах. В группе незолотоносных кварцев максимальная концентрация индикаторных элементов-примесей характеризуется кварц, отобранный из «поздней» жилы. В эту же группу вошел кварц из сигмоидных прожилков, относимых некоторыми исследователями к образованиям ранней стадии хрупко-пластичных деформаций пород, что не подтверждается нашими наблюдениями. Отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ для изученного объекта существенно меньше, чем для месторождения Сухой лог (Лавров и др., 2000),

что свидетельствует о большей проницаемости рудоконтролирующих структур Западного месторождения, в рудный период развивавшихся в условиях хрупких деформаций.

В целом впервые установленные особенности первичного рудоносного флюида Западного месторождения – повышенные давления и высокие концентрации лития, рубидия, бора и ряда других компонентов – свидетельствуют о глубинном источнике флюида и возможной его связи с гранитоидным магматизмом. Внутренняя динамика развития золотоносной флюидной системы была сложной. По полученным ограниченным данным можно предполагать стадийное развитие минерализации с явлениями ремобилизации, переотложения рудных компонентов, включая золото. Целесообразность продолжения исследований представляется несомненной.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Международной геологической корреляции Юнеско IGCP 540.

Литература.

- Борисенко А. С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. №8. С. 16–27.
- Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В. Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2006. №4. С. 30–36.
- 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) // Доклады АН. 2000. Т. 371. №1. С.88–92.
- Claypool G. M., Kaplan J. R. The origin and distribution of methane in marine sediments // Natural gases in marine sediments. New York and London: Plenum Press, 1974. V. 3. P. 132.
- Collins P. L. P. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity // Economic Geology. 1979. V. 74. P. 1435–1444.
- Darling R. S. An extended equation to calculate NaCl contents from final clatrate melting temperatures in H₂O-CO₂-NaCl fluid inclusions: Implications for P-T-isochore location // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1991. V. 55. P. 3869–3871.
- Distler V. V., Yudovskaya M. A., Mitrofanov G. L., et al. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia // Ore Geology Reviews. 2004. V. 24/1-2. P. 7–44.
- Ridley J. R., Diamond L. W. Fluid Chemistry of Orogenic Lode Gold Deposits and Implications for Genetic Models // Gold in 2000. SEG Reviews. 2000. V. 13. P. 141–162.
- Thiery R., Kerkhof A. M., Dubessy J. vX properties of CH₄-CO₂ and CO₂-N₂ fluid inclusions: modeling for T < 31 °C and P < 400 bars // Eur. J. Miner. 1994. №6. P. 753–771.

Условия образования поздних золотоносных жил Ильинского рудного поля (Южный Урал)

Юминов А.М.¹, Белогуб Е.В.¹, Семibrатова Е.В.²

¹*Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Россия, umin@mineralogy.ru*

²*ООО «Кристалл», Билибино, Россия, SCaterinka@nektro.ru*

Formation conditions of latest gold-bearing veins of Il'yinka ore field (South Urals)

Yuminov A.M.¹, Belogub E.V.¹, Semibratova E.V.²

¹*Institute of mineralogy, Urals branch of RAS, Miass, Russia, umin@mineralogy.ru*

²*«Crystal», Bilibino, Russia, SCaterinka@nektro.ru*

Summary. The results of fluid inclusion study in vein quartz from several gold-polymetallic deposits of the Il'yinka ore field are presented in the paper. It was established these veins formed from low-concentrated sulfate-containing hydrothermal fluids at temperatures of 180–250 °C and pressures of 500–600 bar. Temperature decrease and salinity variation from one deposit to another depends on deposit's remoteness from the diorite massif.

Ильинское золоторудное поле (Учалинский р-н, Башкортостан), включающее месторождения Муртыкты (Промежуточная, Восточная и Западная Зоны) и Ик-Давлят, локализовано в зоне Тунгатаровского разлома – структурного шва северо-восточного простирания, являющегося границей Ирeндыкской и Учалинско-Александринской структурно-формационных зон в северной части Магнитогорского мегасинклинория на Южном Урале (Знаменский, 1992). Формирование месторождений происходило в несколько этапов. Рудные тела представляют собой согласные с общим простиранием структуры зоны сульфидной (сфалерит-пиритовой) прожилково-вкрапленной минерализации в измененных (хлоритизированных, серицитизированных, окварцованных, в меньшей степени – карбонатизированных) вулканогенно-обломочных породах *D₂kr*. Средние содержания золота составляют от 1 до 5, реже - 7 г/т. На всех объектах наблюдаются секущие кварц-гидрослюдисто-сульфидные жилы, характеризующиеся на порядок более высокими, вплоть до ураганных, превышающих 1 кг/т, содержаниями золота. Генетическая природа этих жил неясна. Ранее предполагалось, что первичное накопление золота в пределах рудного поля связано с вулканогенно-осадочными процессами, а его перераспределение – с наложенными тектоническими (Знаменский, 1992) и метасоматическими типа березитизации (Сазонов, 1998). Нами было предположено, что образование поздних жил обязано более поздним вулканическим и сопряженным с ними тектоническим процессам, происходившим во время завершающей стадии формирования островной дуги и близкими к эпитермальным (Новоселов, Белогуб, 2005; Novoselov, Belogub, 2005). В целях определения флюидного режима формирования поздних золотоносных жил были поставлены работы по изучению газово-жидких включений. Для сравнения использован материал по месторождению Красная Жила, находящемуся в близком районе, поздние золотоносные альбит-кварцевые жилы которого связаны с интрузией диоритов.

Физико-химические параметры рудообразования определялись методами термометрии и криометрии флюидных включений. Для исследований выбирались зерна кварца, имеющие четкие индукционные поверхности совместного роста с сульфидами, что свидетельствует о сингенетичном процессе минералообразования. В ходе экспериментов использовались микрокриокамеры и термокамеры конструкции В.А. Симонова и установка THMSG-600 фирмы «Linkam». Для каждого объекта было проведено более 50 замеров. Состав гидротермальных растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик. Концентрация растворов рассчитывалась по

температурам плавления последних кристаллических фаз (Борисенко, 1977; Роддер, 1987). Температуры гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере. Диагностика углекислоты производилась по тройной точке ($-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для оценки давления использованы данные по температурам захвата включений и плотностям углекислоты в них с использованием P–V–T диаграммы CO_2 . Результаты исследований приведены в таблице 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Результаты исследования флюидных включений в кварце из поздних золоторудных жил месторождений Ильинского рудного поля.

Место-рождение	Температура, $^{\circ}\text{C}$				Концентрация солей, масс. % экв. NaCl	Давление, бар	Температура образования, $^{\circ}\text{C}$
	гомогенизации	эвтектики	плавления льда	гомогенизации CO_2			
Муртыкты	130-160	$-4,5\div -2,1$	$-2,5\div -0,5$	29	3,5-5,5	500	180-210
Ик-Давлят	100-120	$-5,0\div -1,2$	$-2,5\div -0,1$	19,5	1,4-4,1	600	180-220
	130-180						
Красная жила	170-210	$-5,0\div -2,0$	$-2,5\div -0,5$	24	4,0-5,5	600	230-250
	230-250						

Материал месторождения *Муртыкты* был отобран из трех золотоносных зон, характеризующихся наличием рудоносных жил различного минерального состава: Восточной (халькопирит-кварцевые), Промежуточной (карбонат-кварцевые) и Западной (гематит-хлорит-кварцевые). Исследовались первичные и первично-вторичные флюидные включения. Они равномерно распространены по всей площади образца имеют угловатую, реже округлую или вытянутую форму. Размеры включений – 5-10 мкм. Подавляющее большинство включений двухфазные (прозрачная жидкость + газовый пузырек). В Промежуточной и, особенно, в Западной зонах отмечается присутствие небольшого количества многофазных (жидкость + газовый пузырек + жидкость в газовом пузырьке) включений. Жидкая фаза в газовом пузырьке представлена углекислотой. Измеренная температура оттаивания вымороженной твердой углекислоты ($-56,1\div -56,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) незначительно отличается от эталонной, что говорит о малом содержании других газов-примесей. Температура частичной гомогенизации углекислотных включений составила $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует давлению флюида 500 бар. Интервал температуры эвтектики во включениях $-4,5\div -2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это характерно для сульфатных и карбонатных растворов. Наибольшее число замеров находится в пределах $-2,5\div -3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура плавления последнего кристаллика не превышает $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и указывает на соленость 3,5-5,5 мас. % экв. NaCl. Отмечается незначительное повышение концентрации солей в направлении восток-запад. Большинство включений гомогенизируются в температурном интервале 130-160 $^{\circ}\text{C}$, при чем наиболее высокотемпературными являются включения Западной зоны. Истинная температура минералообразования, с учетом поправки на давление, составляет 180-200 $^{\circ}\text{C}$ (Семибратова, Юминов, 2007).

Флюидные включения золото-сульфидно-кварцевых жил месторождения *Ик-Давлят* по форме, размерам и фазовому составу близки к описанным на месторождении Муртыкты, а их количество больше. Температура эвтектики составляет $-5\div -1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, с преобладающим пиком на интервале $-3,2\div -2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. В составе флюида присутствует сложная солевая система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$. Растворы характеризуются низкой концентрацией солей (1,4-4,1 мас. % экв. NaCl). По температуре гомогенизации выделено два температурных интервала: низкотемпературный (100-120 $^{\circ}\text{C}$)

и относительно высокотемпературный (130-180 °С). Причем в последнем фиксируется повышенная соленость флюида. Температура гомогенизации жидкой углекислоты 19,5 °С. Рассчитанное давление – 600 бар. С учетом поправки на давление истинная температура минералообразования составляет 180-220 °С.

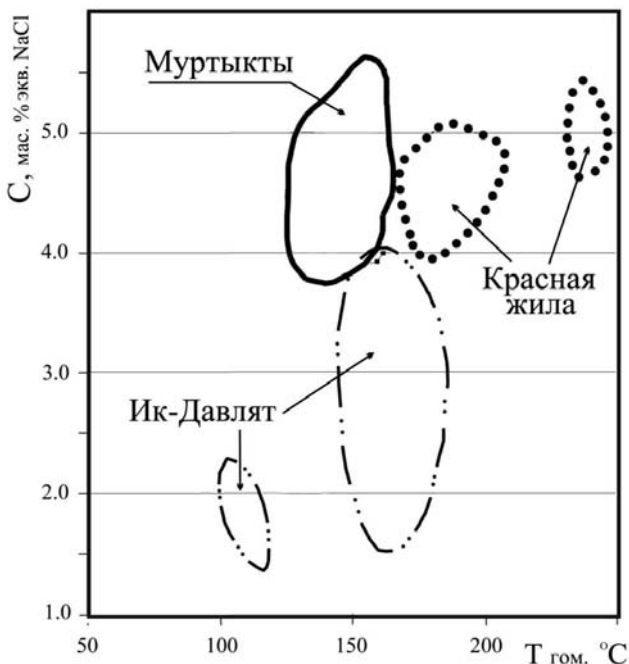


Рис. 1. Поля зависимости температуры гомогенизации флюидных включений от солености растворов в позднем рудном кварце месторождений Ильинского рудного поля.

Fig. 1. Homogenization temperature (Thom, °C) via salinity (C, wt.% NaCl eqv.) diagram for the latest gold-bearing quartz from the deposits of the Il'yinka ore field: Murtykty – solid line, Red Vein – dotted line, Ik-Davlyat – dashed-double-dotted line.

На месторождении «Красная жила» образец был отобран из альбит-кварцевой жилы с видимым золотом. Флюидные включения в кварце по форме, размерам и фазовому составу аналогичны включениям месторождений Муртыкты и Ик-Давлят. Согласно данным температур эвтектики (°C): $-3,5 \div -2$ и $-5 \div -4$, в составе флюида присутствует сложная солевая система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$. Температуры плавления последнего кристаллика составляют $-2,5 \div -0,5$ °С, что соответствует концентрациям солей в растворах 4,0-5,5 мас. % NaCl экв. Температура полной гомогенизации включений находится в пределах 170-210 °С и 230-250 °С. Для низкотемпературного интервала характерно присутствие в растворах сульфатов натрия и калия. Второй температурный интервал соответствует растворам, содержащих соли натрия и магния. В отдельных «низкотемпературных» включениях отмечено присутствие CO_2 . Температура гоогенизации. жидкой углекислоты составляет 24 °С. Давление – 600 бар. Учитывая поправку на давление, температура формирования жил составляет 230-250 °С (Семибратова, Юминов, 2007). Подобное дискретное распределение температур

фазовых превращений и изменение состава флюида предполагает длительный и многоэтапный процесс формирования жил.

Близость месторождений к глубинному разлому дала основание связывать их формирование месторождения с тектоническими процессами. Одинаковый состав флюида на месторождениях Муртыкты и Ик-Давлят и близкая концентрация солей в нем говорят о единой природе минералообразования поздних гидротермальных жил. Вместе с тем, последовательное увеличение температур образования кварцевых жил от Восточной зоны к Западной, вероятно, связано с удаленностью данных зон от общего очага. Более высокие температуры формирования позднего кварца на месторождении Красная Жила объясняются близостью месторождения к диоритовому массиву. Обращает на себя внимание сульфатно-карбонатный состав флюидов, абсолютно не свойственный рудообразующим растворам гидротермальных месторождений золота (Прокофьев, 2000). Крайне незначительные концентрации солей в растворах, а также широкое распространение в зонах окисления месторождений вторичных сульфатных минералов, не исключают участие в формировании поздних рудоносных флюидов метеорных вод. Однако, данное предположение нуждается в дополнительной изучении и проведении изотопного анализа.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (РНП.2.1.1.1840) и РФФИ (07-05-00824-э).

Литература:

- Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика № 8, 1977. С. 16-27.
- Знаменский С.Е. Структура и закономерности размещения золото-полиметаллического оруднения Ильинского рудного поля. БНЦ УрО РАН. Уфа, 1992. 80 с.
- Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Зайков В.В. Золоторудные месторождения в вулканогенных породах Магнитогорской палеостроводужной системы // Рудные месторождения: вопросы происхождения и эволюции. Материалы IV Уральского металлогенического совещания. ИМин УрО РАН, 2005. С. 146-148.
- Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов: (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 192 с.
- Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987, Т.1. 557 с.
- Сазонов В.Н. Золотопродуктивные метасоматические формации подвижных поясов (геодинамические обстановки и РТХ-параметры образования, прогностическое значение). Екатеринбург: УГГА, 1998. 181 с.
- Семибратова Е.В., Юминов А.М. Условия образования поздних золотоносных жил Ильинского рудного поля (Учалинский район) по данным термобарогеохимического анализа // Металлогения древних и современных океанов – 2007. Гидротермальные и гипергенные рудоносные системы. Т. II. Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. С. 13-19.
- Novoselov K., Belogub E. Gold-polymetallic mineralisation of the Il'inskoe ore field (South Urals) // *Geochemistry, Mineralogy, and Petrology*, vol. 43. Sofia: 2005. С. 138-142.

Fluid Inclusion Study on the Axile Gold Deposit in Altay, Xinjiang

WEI Xiaofeng¹, XU Jiuhua¹, SHAN Lihua¹, WANG Linlin¹,
CHEN Dongliang², ZHANG Rui¹, LIN Longhua¹, KONG Lingrui¹

¹University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083,

²Institute of High Energy Physics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Introduction. Axile gold deposit, located 40 km east to Habahe of Altai region, differs from many other gold deposits in wallrocks and alterations (Xu et al., 2005). It is a newly found gold deposit in this area, and little known about its mechanism of the ore origin is made. This paper focuses on fluid inclusion characteristics of vein quartz to provide evidences of ore-forming fluid about genesis of deposit.

Geological Setting. The Axile mineralizing zone occurs in the Ashele basin which is located in Kelan rift of Paleozoic/Main strata in the basin are Devonian and Carboniferous which consist of volcanic rocks, pyroclastic rocks and normal detrital rocks (Wang et al., 2000; Cheng et al., 1996). Regional faults strike mainly NW, namely the Kuerkali deep fault in the southwest and the Habahe deep fault in the northeast (Dong et al., 2002). The intrusive rocks occurs widely, which are mainly granitoids as well as associated veins, basic rocks and intermediate rocks. The intrusive rocks can be divided into two different stage: mid-Variscan and late-Variscan intrusive complexes. Mid-Variscan intrusive complex consists of basic-intermediate acid rocks, lithologically from gabbro to granite. The main intrusion in this region is Habahe plagioclase granite, in which develop the northwest Axile sub-fault containing gold-bearing quartz veins (Fig.1).

Ore Geology. Four mineralizing zones have been found in this mining area (Fig.1). Vein 33 occurs among diorite and granite in the northwest of the mining area, with 40m wide of Wallrock alteration zone. The ore bodies extend 240m and 1~3m wide, with 0.5~64g/t of gold grade. The alteration consists of silicification, pyritization, chloritization and epidotization. Silicification and pyritization are closely associated with mineralization. Vein 12 occurs in the diorites and is located in the deep fault of central mining zone, with 0.6~2g/t of gold grade. Vein 18, located in northeast mining area, occur in the sud-fault within the granites. The alterations are potassic alteration and sericitization. The ore body is 0.5~1m wide, with 0.2~5g/t of gold grade. Vein19 is controlled by sub-fault and located in the south of vein 18 vein. Ore body is 1~5m wide and gold grade is 0.5~24g/t. There is an obvious lithology change in the profile of axile main fault: hornblende granite - striped-granite (slight,schistosity)- mylonitic granite (chloritization)- mylonite- orebody- mylonite- mylonite (schistosity)- nubbly granite-quarternary.

The mineralizing stages can be divided into three: (I) early white quartz vein stage, which is characterized by white-lens quartz vein in shear zone; (II) sulfide-poor quartz vein stage, which is the main mineralized stage; (III) disseminated pyritized quartz vein stage, in which quartz shows miarolitic cavity sometimes. In stage II, the gold-bearing vein fills in diorite fracture, limonitization strongly occur near the surface, and the drilling samples are grey-transparent quartz. Some samples in this stage have 64g/t of gold grade.

The ore minerals are native gold, pyrite and chalcopyrite. Oxide minerals are limonite, hematite, and malachite. Gangue minerals are: quartz, feldspar, sericite and chlorite, ect. The ore contain granular texture, metasomatic texture,shattering texture, and nubbly structure, dissemination structure and drusitic cellular structure. The ore-bearing wallrock alterations includes limonitization, pyritization, silicification, sericitization, kaolinitization.

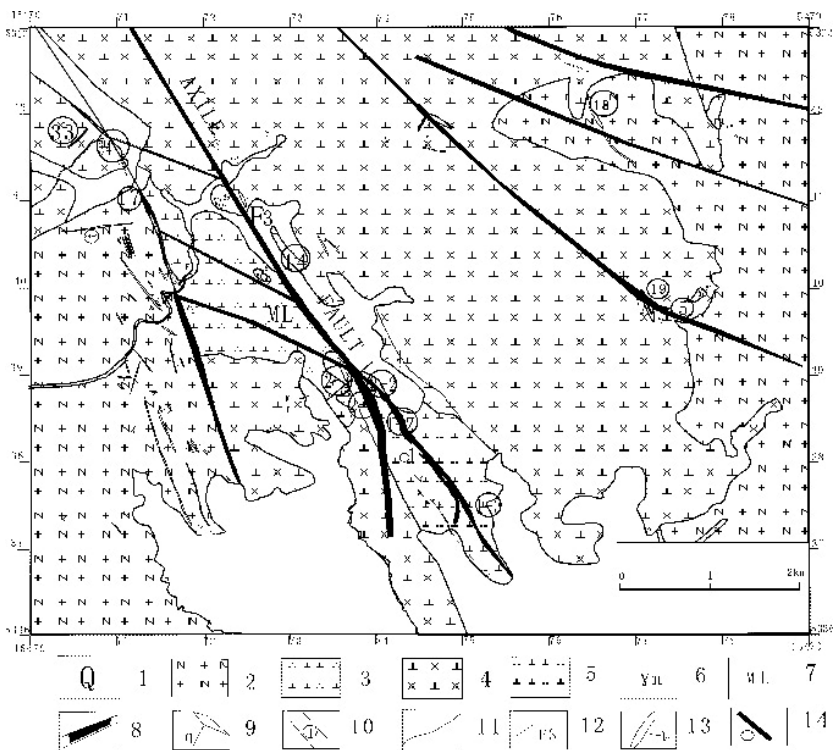


Fig.1 Regional geologic sketch map of the Axile gold deposit (After Shan et al., 2006). 1-Quaternary, 2-plagiogranite, 3-quartz diorite, 4-gabbro diorite, 5- granite, 6-phyric granitic, 7-mylonite, 8- tectonic belt, 9-gabbro vein, 10- Mineralized body, 11-line of geologic limitation, 12-axile fault, 13-quartz vein, 14-ore body

Fluid inclusions. Using advanced Linkam cooling-heating stage (THMS600) controlled by “Linksys” software, measuring accuracy between 0.1 and 0.2°C under 30°C, measuring accuracy between 0.5 and 1°C above 30°C, authors carried out systematic studies on the primary fluid inclusions in quartz through microscope observation, frozen and homogenization temperature, then concluded that there were three typical inclusions:

CO₂-rich inclusions (LH₂O-LCO₂), occurring in the stage I, consists of an aqueous phase and a liquid CO₂ phase, with the sizes ranging from 5 to 28μm. The homogenization temperatures range from 221.9~225.5°C (10 inclusions), with salinity from 5.8% to 7.1% (6.6% of average salinity) (fig.2) and fluid density from 0.65 g/cm³ to 0.82 g/cm³ (0.73 g/cm³ of average density). The melting temperatures of CO₂ (tm, CO₂) range from -61.8 to -66.3°C (33 inclusions), and the homogenization temperatures of CO₂ (th, CO₂) range from 15.3 to 28.6°C (46 inclusions).

Aqueous inclusions (L-V), occurring both in the stages II and III, consists of an aqueous phase and a vapor phase, with the sizes of ranging from 2 to 19.8μm. The homogenization temperatures range from 125.2 to 240.3°C (63 inclusions) (Fig.2).

Monophase aqueous inclusions, occurring in the stage III, consists of only one an aqueous phase in room temperature. They have -3.2 to -5.3°C of ice melting temperatures (5 inclusions), with salinity from 5.26wt% to 8.3wt%.

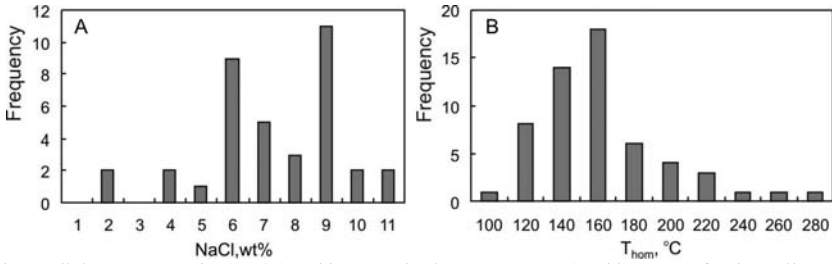


Fig.2 Salinity, wt.% NaCl eqw., (A) and homogenization temperature (B), histograms for the Axile gold deposit.

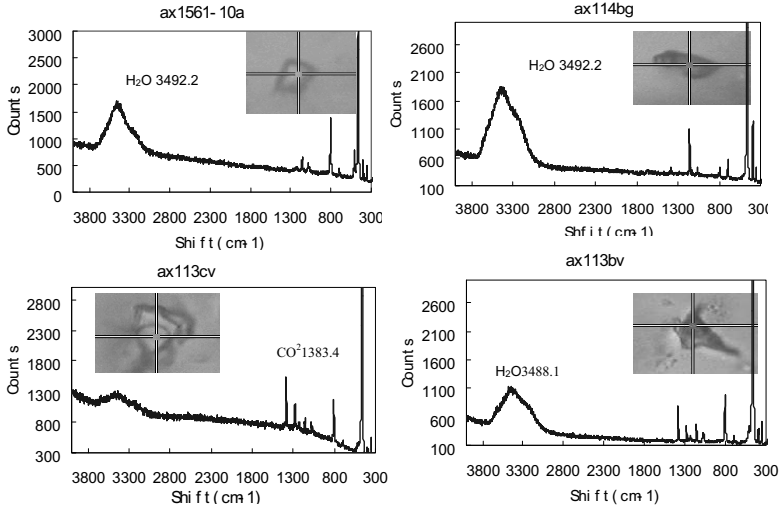


Fig.3 Laser Raman spectrum of fluid inclusions of the Axile gold deposit.

Raman analysis of fluid inclusions have been done in order to confirm the composition characteristics of fluid inclusions. Analysis on 20 inclusion samples (Fig.3) concluded that the inclusion (Lco2-V co2) in quartz shows distinct H₂O spectra peaks, and many inclusions show distinct CO₂ spectra peaks at 1384cm⁻¹, no signal CO₂ and other type spectra peaks. All the characteristics are identical with the phase changes of freezing test on inclusions.

Trace Elements picked up in fluid inclusions are measured by synchrotron radiation X-ray microprobe techniques. The method and test conditions can be referred from references (Huang et al, 2001; Yang et al., 2002). Samples are from Vein 18 of ore-bearing quartz and were tested two times by synchrotron radiation X-ray.

The net peak area counts and the standard deviations(1σ) of glass standard samples, mineralized quartz vein and inclusions were measured by SRXRF method, and the result of average net peak area was gained by normalized correction(net area of the peak counts/ detector counts*105), the element contents of ore bearing quartz vein and inclusions were obtain by the following formula:

$$C^i/P^i = C^s/P^s ,$$

Cⁱ-sampling content; C^s-glass sampling content ; Pⁱ-sampling net peak; P^s-glass sampling net peak

Test results showed that there were Fe(277.6ppm), Co(4.5ppm), Cu(7.1ppm), Zn(5.0ppm), Se(0.2ppm), Au(0.6ppm) anomalies in AX181-18 inclusion compared with background. The result should be confirmed by further verification for some reasons such as AX181-14 inclusion small.

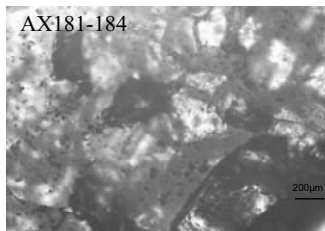


Fig. 5 The fluid inclusion tested by SRXRF.

Conclusion

There were three types of fluid inclusions in the Axial gold deposit. They are CO₂-rich inclusions (L_{H₂O}-L_{CO₂}), aqueous inclusions (L-V) and monophasic aqueous inclusions. L_{H₂O}-L_{CO₂} inclusions have 221.9~225.5°C of Th, and L-V inclusions have 125.2 to 240.3°C of Th. It is indicated that the ore-forming fluid in the Axile gold deposit may be a low- medium temperature, low salinity (from 5.8% to 7.1%) and low density (from 0.65 g/cm³ to 0.82 g/cm³). The Laser Raman microprobe analysis mainly shows H₂O and CO₂ spectra peaks at Raman shift 3492.2cm⁻¹ and 1383.4cm⁻¹. The SRXRF Test showed that there were anomalies of Fe, Co, Cu, Zn, Se,

Au in AX181-18 inclusion, but it needed to be discussed further.

This study was funded by NSFC (Natural Science Foundation of China, 40672060)

References

- Dong YG., Zhang CL., Rui HJ., et al., 2002, Gold and copper mineralization in the Habahe-Burjin Drainage Area. Beijing: Geolocal Publishing House, 1-19
- Cheng ZF Ru XJ. 1996, Minerogenetic characteristics of Saidu gold deposit in Habahe County. Xinjiang Geology, 14(3): 247-254
- Huang Y.Y, et al., 2001, Single fluid inclusion study by SRXRE microprobe, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 467-468: 1315-1317.
- Wang J., Zhang J., Ding R., et al., 2000, Tectonic-Metallogenic System in the Altay Orogenic Belt, China. Acta Geologica Sinica, 74(3): 485-491
- Xu JH, Ding RF, Xie YL, et al., 2005, Pure CO₂ fluids in the Sarekoubu gold deposit at southern margin of Altai Mountains in Xinjiang, West China, Chinese Science Bulletin, 50(4):333-340
- Yang C, Huang YY, He W., et al. 2002, Nuclear Techniques, 25(10) :864-868 (in Chinese)

Alteration, Fluid Inclusions and Isotope Composition of the Xindigou and the Maoduqing Gold Deposits in Daqingshan Mt., Inner Mongolia, China

Xu Jiuhua, Zhang Rui, Lin Longhua, Wei Hao

University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, jiuhuaxu@ces.ustb.edu.cn

Introduction. Gold deposits in Wulashan-Daqingshan area of Inner Mongolia can be divided into three types (Xu et al., 1999; Hu et al., 2002): (1) the quartz-vein-altered rock type related to ductile shear zones; (2) the altered-quartz vein type within fractured quartz diorites; and (3) the veinlet-disseminated type in carbonate formation of Proterozoic strata. The former two types are actually orogenic gold deposits according to Groves et al. (1998) and Goldfarb et al. (2001). This study is focused on two newly found orogenic gold deposits, the Xindigou and the Maoduqing in eastern Daqingshan area, mainly by alteration and fluid inclusions.

Ore Geology. The Xindigou gold deposit, located 70km northeast of Huhhot, occurs in the Liushugou formation of the Upper Archean Sertungshan Group (Fig.1). The petrology of the Liushugou formation consists of metamorphic basic and acid volcanic rocks, which include chlorite schist, chlorite-sericite-quartz schist and sericite-quartz schist. These rocks had become mylonite and phyllonite. The ore bodies occur as banded or lenticular which were folded as the strata, striking 330° ~ 150° and dipping SWW with dip angle 45° . The length of single ore body is more than 300m and the width 1~25m, with average grades of 2.01~4. 49×10^{-6} (Wang et al., 2004; Zheng et al., 2005).

The Maoduqing gold deposit, located 20km north of Huhhot, occurs also in the Liushugou formation of the Upper Archean Sertungshan Group. The petrology of the mine area consists of biotite-muscovite-quartz schist, chlorite schist and dolomite marble. The ore bodies occur between schist and marble layers and are controlled by the foot wall of a reverse fault, striking 295° and dipping 25° with dip angle 30° ~ 50° . The length of single ore body is more than 150m, with average width 14m, and the average grades are 2.07×10^{-6} (Kang, 2000; Yang, 2003). The main ore minerals are native gold, pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, magnetite and hematite, and the wallrock alteration were dominated by silicification, pyritization and sericitization.

The main ore minerals of both deposits are native gold, pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, magnetite and hematite, and the wallrock alteration were dominated by silicification, pyritization and sericitization. The mineralizing stages can be identified in three: (I) early pyritization-sericitization-silicification stage; (II) disseminated pyrite-mylonitization-eye ball quartz stage; and (III) tiny veinlets of pyrite and quartz stage.

Wallrock Alteration. The typical tectonic-altered rocks in the Xindigou and the Maoduqing gold deposits are as follows.

Phyllonitized quartz-(chlorite)-sericite-schist consists of cataclastic-augen quartz (0.1~0.5mm, 8~10%), granule recrystallized quartz (0.01~0.05mm, 30%), sericite (30~50%), chlorite (0~20%), cataclastic oligoclase or microcline (<5%) and relict volcanic clast or debris (<5%), with lepidoblastic texture, rotary texture and schistose structure.

Mylonitized chlorite-quartz-schist consists of lenticular-augen quartz (20%), fine recrystallized quartz (30%), cataclastic oligoclase (20%), chlorite (25%) and small amounts of muscovite, sericite, calcite and essonite, with lepidoblastic texture, mylonitic texture and schistose structure.

Sericite-chlorite-(feldspar)-quartz mylonite consists of flour quartz (0.03~0.1mm, 30%), cataclastic-augen quartz (0.2~0.5mm, 20%), chlorite (20%), sericite (15%), disseminated pyrite and calcite, with mylonitic texture and augen structure.

Pyrite-sericite(chlorite)-quartz-schist consists of lenticular-augen quartz (0.2~0.5mm, 40%), fine recrystallized quartz (0.01~0.05mm, 20%), sericite(30%), chlorite (<5~10%), pyrite

(5%) and calcite (<5%), with lepido-granoblastic texture and schistose structure. Pyrite occurs as tiny veils or disseminated, with small amounts of chalcopyrite.

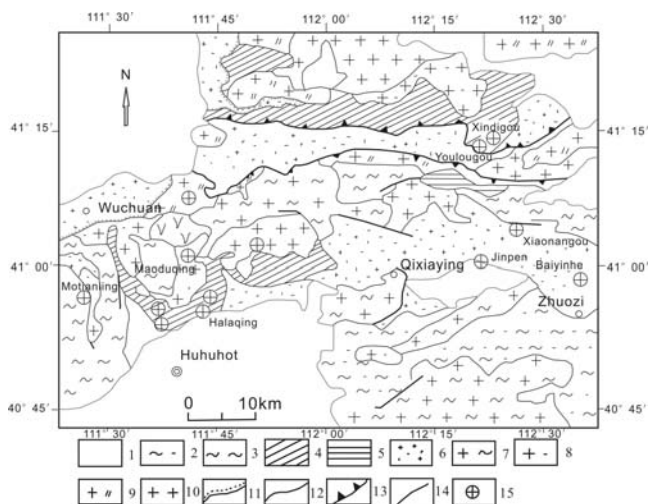


Fig.1 Regional geologic sketch map of Xindigou and Maoduqing gold deposits. (Simplified from Hu et al., 2002). 1-Quaternary and Tertiary ; 2-Mid-Archean Jining Group; 3-Mid-Archean Wulashan Group; 4- Upper Archean Sertungshan Group; 5- Paleoproterozoic Zhaertaishan Group; 6-Neopaleozoic-Mesozoic strata; 7-Archean intrusions; 8- Paleoproterozoic intrusions; 9- Neopaleozoic intrusions; 10- Mesozoic intrusions; 11-Unconformity; 12-Line of geologic limitation; 13-Decken structure; 14-Fault; 15-Gold deposit

Rare earth element analysis of altered rocks was carried out in Geology Research Center of Nuclear Industry. The instrument for measurement is ELEMENT type Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) made by Finnigan MAT, with 300 of resolving power and 1.25kw of RF power. The laboratory conditions are: 0.85L/min of sample gas current velocity, 0.83L/min of supplementary gas current velocity and 12.0L/min of cooling gas current velocity. The results are as follows.

(1) The total contents of REE (Σ REE) in main altered rocks of the Maoduqing and the Xindigou gold deposit range from 44.9×10^{-6} to 155.4×10^{-6} , which are resemble to those of original mid-basic volcanic rocks, indicating that no obvious changes have happened during hydrothermal wallrock alteration.

(2) The ratios of light REE to heavy REE (LREE/HREE) are 7.0~26.1, showing that the altered rocks are rich in light rare earth elements and appear right decline of curves in REE pattern model grams (Fig. 2). The fractionation in LREE exists, with 2.2~6.1 of $(La/Sm)_N$, while that in HREE is not obvious, with 1.8~1.0 of $(Gd/Yb)_N$. These characteristics are also similar to original intermediate-basic volcanic rocks.

(3) Abnornity of Eu is not clear in the altered rock samples of the Maoduqing and the Xindigou, with 0.6~1.2 of δEu . The δCe (0.8~1.0) is also unclear. Those reflect the features of original intermediate-basic volcanic rocks.

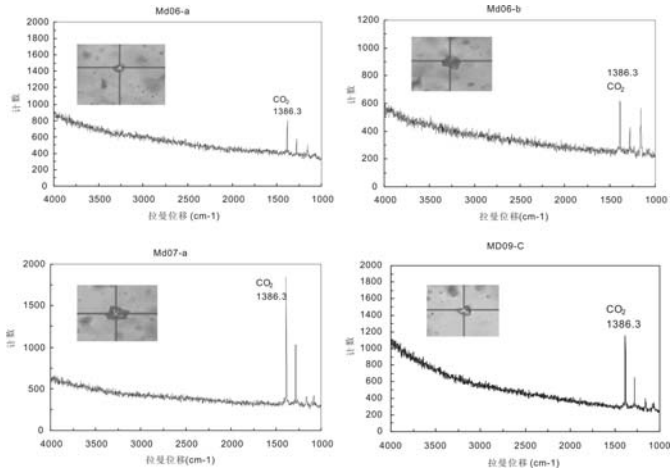


Fig.2 REE patterns of altered rocks of Maoduqing and Xindigou gold deposits
 XD03- Mylonitized chlorite-quartz-schist; XD06- Seicite-chlorite-quartz mylonite; MD102-Chlorite-schist; MD113- Pyrite-sericite-quartz-schist

Fluid Inclusions and Isotope Composition. Fluid inclusion study has been done for the Maoduqing and the Xindigou gold deposits. Because late tectonic events were frequency, microfractures are developed and most primary fluid inclusions were broken. In some samples, primary fluid inclusions (Roedder, 1984) can be found and may be divided into three types: 1) CO₂-rich inclusions (L_{H₂O}-L_{CO₂} or L_{H₂O}-V_{CO₂}), which consists of liquid H₂O and liquid CO₂ (with 50-80% of CO₂ / H₂O); 2) aqueous inclusions, which consists of a liquid H₂O phase and a vapor phase, with more than 90% of L/V; 3) CO₂ inclusions, which consists of a liquid CO₂ phase and a gas CO₂ phase, or only a liquid phase under the room temperatures. These carbonic inclusions are usually found in place where mylonitization was intensive and occur vertically to the long axis of lenticular quartz.

The first type of fluid inclusions is the main sort in the Maoduqing gold deposit, but the size of those inclusions are small (less than 2 μ). Wang et al. (2004) gained 278-323 °C of homogenization temperatures. CO₂ inclusions may be dominant in some samples and the melting temperatures (*t_{m,CO₂}*) range from -57.5 to -56.5 °C. They have two behaves when heating. For the first group, the homogenization temperatures (*t_{h,CO₂}*) range from -20 to -10 °C, and for the second group, *t_{h,CO₂}* range from -1.6 to +14.3 °C. Laser Raman microprobe analysis shows distinct CO₂ spectra peaks at Raman shift 1386cm⁻¹ and 1278cm⁻¹ (Fig.3), and no CH₄, H₂O and other spectra peaks.

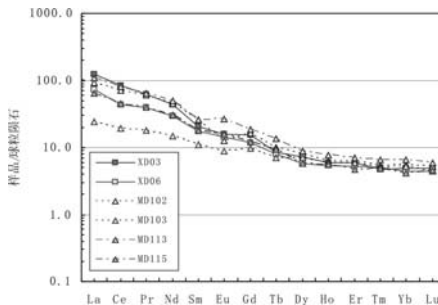


Fig.3 Laser Raman spectrum of CO₂ fluid inclusions of Maoduqing gold deposit

The values of $\delta^{18}\text{O}_{\text{snow}}$ in vein quartz vary from 10.78~15.5‰, which are identical with other gold deposits of this area, such as the Wulashan gold deposit (11.36~12.89‰), the Donghuofang (12.5~12.9‰), and the Houshuhua (12.5~13.2‰). The values of δD range from -60.3~-102‰, which are also similar to the Wulashan and others. When the $\delta^{18}\text{O}_{\text{snow}}$ are turned to $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ with Clayton formula (1972), most points projected in $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} - \delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ coordinate diagram is under normal magmatic water region, but there is an oxygen-shift towards rain water. Hence, it is illustrated that the ore-forming fluid was related with magmatic activity and locally influenced by meteoric water.

The values of sulfide $\delta^{34}\text{S}$ for the Xindigou and the Maoduqing range from 1.46‰ to 5.45‰, which are also similar with other gold deposits of the Daqingshan area. The fact that $\delta^{34}\text{S}$ round 0 indicates that the ore sulfur would come from mantle or lower crust. However, from the Wulashan gold deposit to east, $\delta^{34}\text{S}$ sequentially changes from -7~-14 (Wulashan), -0.5~-6.2 (Houshuhua, No.15), +0.02~+6.1 (Donghuofang), to +1.46~ 5.45‰ (Xindigou and Maoduqing).

This study was funded by NSFC (Natural Science Foundation of China, 40672060)

References:

- Goldfarb, R.J., Groves, D. I., Gardoll, S., 2001, Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Review*, 18, 1-75
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., et al., 1998, Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Review*, 13, 7-27
- HU FX., Huang, ZQ, Li, SW, et al., 2002, The Geological Characteristics of Greenstone and Greenstone-type Gold Deposit in Central InnerMongolia. *Progress in Precambrian Research*, 25(3-4):191-199
- Kang Hongzai. 2000. The geological characteristics of Maoduqing gold deposit of Daqingshan area in Hohhot, Inner Mongolia. *Geology of InnerMongolia*, 97 (4) : 9-12.
- Roedder E. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, 12. Washington, Mineral. Soc. Amer., 1984
- Wang, SG., Wang, CX., Zhen BJ., et al. 2004, The geochemical characteristics of Xindigou Gold Deposit , Inner Mongolia, *Geological Survey and Research*, 27(2): 112-116
- Xu Jihua, Xie Yuling, Qian Dayi, et al., 1999, Characteristics of Ore-forming Fluids of Gold Deposits in Daqingshan District, InnerMongolia, China *Jour. of Uni.of Sci. and Tech. Beijing*, 6(2), 77-82
- Yang L., 2003, Geological features of paleoproterozoic Maoduqing gold deposit in Daqingshan , Inner Mongolia. *Geological Survey and Research*, 26(3): 177-182
- Zheng, G FS., Xu GQ, Feng, Z. 2005, Geological characteristics and prospective value of greenstone type gold deposits of central part of InnerMongolia Autonomous Area. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 232-248.