

## Условия образования месторождения Голец Высочайший по данным изучения флюидных включений (Ленский золотonosный район)

Сокерина Н.В., Онищенко С.А.

ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, [sokerina@geo.komisc.ru](mailto:sokerina@geo.komisc.ru)

**Аннотация.** Проведено исследование флюидных включений в кварце перекристаллизованных золотonosных сульфидных прослоев и в пирротин-кварцевом прожилке месторождения Голец Высочайший. Установлено, что минералообразующий флюид имел соленость 7-13 мас. % экв. NaCl. В жидкой фазе растворены хлориды натрия и магния. В составе газов присутствовали азот, метан и углекислота, в подчиненных количествах – пропан и этан. Гомогенизация включений проходила при температурах 232-473 °С.

**Ключевые слова:** флюидные включения, золото, углеродистые сланцы, сульфиды.

## Conditions of deposit Goletz Vysochayshy formation, according to the study of fluid inclusions (Lensky gold region)

Sokerina N.V., Onishchenko S.A.

IG Komi SC UB RAS, Syktyvkar, [sokerina@geo.komisc.ru](mailto:sokerina@geo.komisc.ru)

**Abstract.** We have studied fluid inclusions in quartz of recrystallized gold sulfide layers and in a pyrrhotine-quartz vein of the Goletz Vysochayshy deposit. The mineral formation proceeded in aqueous solutions with the salinity 7-13 wt. % the NaCl eq. Sodium and magnesium chlorides dissolved in liquid phase. The gases included nitrogen, methane and carbon dioxide, propane and ethane are also present in small quantities. The homogenization temperature of the fluid inclusions in quartz of laminated sulfide segregations was 232-473 °С.

**Key words:** fluid inclusions, gold, carboniferous shales, sulfide.

### Введение

Золоторудные месторождения Ленского района (Байкало-Патомское нагорье) заключены в мощной (несколько км) толще докембрийских углеродсодержащих карбонатно-терригенных отложений, слагающих Бодайбинский синклиниорий (Иванов, 2008). Породы смяты в серию линейных складок запад-северо-западного простирания. Золото концентрируется на нескольких стратиграфических уровнях, к отложениям хомолхинской свиты рифейского возраста приурочено месторождение Голец Высочайший (нижняя подсвита), а также крупнейшее месторождение России – Сухой Лог (верхняя подсвита). Условия образования золоторудной минерализации месторождения Сухой Лог неоднократно обсуждались в литературе. Близкое к нему территориально, по характеру локализации и времени образования, месторождение Голец Высочайший в значительно меньшей степени привлекало внимание исследователей. Между тем, более простое строение этого месторождения, которое проявляется в меньшей дислоцированности рудоносных отложений, незначительном развитии кварцево-жильной минерализации, полном отсутствии интрузивных пород в рудном поле, позволяет считать его эталоном метаморфогенно-гидротермальных золоторудных объектов в углеродисто-терригенных черносланцевых толщах.

### Геологическое строение месторождения

Месторождение Голец Высочайший приурочено к северному пологому крылу антиклинальной складки, в ядре которой обнажаются терригенно-карбонатные отложения угаханской свиты, а крылья сложены терригенными отложениями хомолхинской свиты. Породы метаморфизованы в условиях фации зеленых сланцев и подверглись региональному рассланцеванию, плоскость которого под острым углом пересекает слоистость.

Золотonosными являются темно-серые и черные углеродистые сульфидсодержащие алевритистые сланцы нижней подсвиты хомолхинской свиты. Рудная залежь имеет субпластовую форму, осложнена раздувами и пережимами, при длине залежи около 2 км ее мощность колеблется от 5 до 120 м.

Рудоносные породы имеют хлорит-кварц-серицитовый состав. Присутствуют карбонаты (2-10 мас. %), которые входят в состав тонких (2-3 см) прослоев карбонатсодержащих сланцев или образуют неравномерную вкрапленность в породе. Среди карбонатов преобладает анкерит, распространен кальцит, отмечается сидерит. Углеродистое вещество (0.6-2 мас. %, максимально 5 мас. %) находится в виде тонкодисперсной вкрапленности или мельчайших скоплений и ячеистых сгустков в цементе породы. Текстура породы слоистая, наложенная сланцеватая.

Наиболее яркой чертой руд месторождения являются сульфидные выделения, концентрирующиеся в виде прослоев монолитного или густовкрапленного строения, подчеркивающих слоистую текстуру породы. Содержание сульфидов в рудах составляет около 5 %, за пределами рудных залежей уменьшается до 2-2.5 %. Сульфиды представлены пиритом и пирротинном, их соотношение значительно варьирует от места к месту, но в целом по месторождению эти минералы распространены примерно одинаково. В небольшом количестве присутствуют также халькопирит, арсенопирит, сфалерит и галенит, отмечаются сульфиды никеля.

Пирит-пирротинные прослои имеют линзовидную форму, толщина их составляет 0.3-3 см, протяженность обычно изменяется от 0.3 до 2 м. Для них наиболее характерна средне- и крупнозернистая гранобластовая структура с размером зерен в агрегате 0.5-5 мм, иногда до 1.0-1.2 см. Сульфидные прослои содержат гнезда и прожилки кварца, включения вмещающей породы и часто окружены тонкой (до 1.5 мм) кварцевой оторочкой. К сульфидным прослоям и линзам приурочена вкрапленность самородного золота, которое находится в сростании с сульфидами, а также в тонких кварцевых прожилках в сульфидном агрегате.

Строение сульфидных прослоев отражает многоэтапную историю их формирования, включающую седиментацию, диагенез и, главным образом, метаморфические преобразования. Породы смяты в складки и подверглись региональному рассланцеванию совместно с заключенными в них сульфидсодержащими прослоями. При метаморфизме происходила перекристаллизация пород и частичное перемещение сульфидного вещества, что наиболее заметно проявляется в замещении пирротина пиритом, а также разрастании сульфидных обособлений при сохранении их послыонного распределения.

В рудной залежи присутствуют немногочисленные кварцевые и карбонат-кварцевые жилы мощностью до 15 см, иногда содержащие сульфидную минерализацию и золото.

### **Методы исследования**

Изучение флюидных включений в кварце проводилось в полированных пластинах методами гомогенизации и криометрии с использованием термо-криостоллика THMSG600 фирмы Linkam. Соленость растворов во включениях измерялась по температуре плавления льда (Bodnar, 1994). Солевой состав включений определялся по температуре эвтектики водно-солевой системы (Борисенко, 1977). Газовый состав индивидуальных включений изучался в полированных пластинах на высоко-разрешающем рамановском спектрометре LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon) при комнатной температуре. Для регистрации спектров применялась решетка спектрометра 600 ш/мм, размер конфокального отверстия составлял 300 и 500 мкм, щель – 100 мкм, мощность возбуждающего излучения He-Ne лазера (длина волны 632.8 нм) – 20 мВт, Ar<sup>+</sup> лазера – 120 мВт (514.5 нм). Все анализы были выполнены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН.

### **Результаты исследований**

Проведено изучение флюидных включений в кварце трех типов (табл. 1, рис. 1):

1. Включения в мелкокристаллическом кварце кварц-сульфидных прослоев. Этот тип кварца изучен особенно тщательно, связано это с тем, что именно с ним связано основное количество золота. Кварц образует тонкие каймы, прожилки, линзы и стяжения, которые не выходят за пределы сульфидного агрегата. Их мощность обычно не превышает 1-2 мм. Самородное золото заключено как в сульфидах, так и в кварцевых обособлениях.

Изучение флюидных включений в этом кварце показало, что во всех образцах распространены двухфазовые (водный раствор солей + газ) и однофазовые газовые включения (табл. 1). Сре-

ди газовых встречаются высокоплотные включения. Это наиболее характерно для образцов, которые содержат видимое золото. В образцах без видимого золота такие включения встречаются значительно реже. Гомогенизация двухфазовых включений происходила как в жидкую, так и в газовую фазу. По температуре эвтектики было установлено, что в составе водной фазы присутствуют, вероятнее всего, хлориды натрия и, реже, магния. Соленость растворов 7-12 мас. % экв. NaCl. В составе газов преобладает азот и метан, в подчиненном количестве присутствует углекислый газ, причем однофазовые газовые включения отличаются незначительным содержанием CO<sub>2</sub> или его отсутствием. В некоторых включениях в очень малых количествах встречаются этан и пропан.

Таблица 1. Флюидные включения в кварце месторождения Голец Высочайший.  
 Table 1. Fluid inclusions in quartz of the Goletz Vysochayshy deposit.

Тип кварца	Типы включений						Т эвт., °С	Солен., мас. %, NaCl экв
	Однофазовые	Двухфазовые с гомогенизацией в газовую фазу, °С	Двухфазовые с гомогенизацией в жидкую фазу, °С	Высокоплотные включения				
				Тгом ГФ, °С	Тпл. ГФ, °С	Тгом, °С		
В кварц-сульфидных прослоях	много газовых	399–473 (n=5)	232–415 (n=34)	-130 – -92 (n=18)	–	–	-37.5±0.5 (n=4) -34 (n=1) -30 (n=4) -25±3 (n=10)	8–12
В пирротин-кварцевом прожилке	много газовых	400–507 (n=7)	385–400 (n=2)	мало			-26.5±0.5 (n=3)	11–13 (n=4)
				-47 – -37 (n=4)	~ -75 (n=4)	~270*		
На участке Барон	мало газовых	380–560 (n=5)	320–420 (n=15)	много			-26±2 (n=17) -37.5±0.5 (n=3)	8–10 (n=14)

Примечание: \* – взрыв включения до гомогенизации. В скобках указано количество измерений; Тгом – температура гомогенизации; Тпл – температура плавления; Т эвт. – температура эвтектики; ГФ – газовая фаза.

2. Включения в пирротин-кварцевом прожилке из рудной залежи. Прожилок мощностью 2–3 см сложен белым полупрозрачным крупнокристаллическим кварцем, который содержит гнезда пирротина. Флюидные включения в этом кварце разнообразны по составу. Как и в предыдущем случае, распространены однофазовые газовые и двухфазовые включения (водный раствор солей + газ). Газовая фаза некоторых включений представлена сжиженной углекислотой с примесью других газов. Гомогенизация включений происходила как в жидкую, так и в газовую фазу. Температура эвтектики растворов во включениях, вероятно, свидетельствует о присутствии в составе водной фазы хлоридов натрия и магния. Соленость растворов 11-13 мас. % экв. NaCl. В составе газов присутствует азот, метан и углекислый газ. В отдельных включениях отмечаются примеси этана, водорода и сероводорода, а также наличие гидросульфид-иона. Предполагается, что сульфидсодержащие кварцевые прожилки, как и кварц в сульфидных прослоях, формируются в ходе единого процесса метаморфизма руд.

3. В крупнокристаллическом кварце, отобранном за пределами месторождения Голец Высочайший на участке Барон. Этот тип кварца не связан с золоторудной минерализацией. Данные по этому типу приведены для сравнения. Включения в этом типе жильного кварца отличаются очень высоким содержанием CO<sub>2</sub>, что визуально фиксируется наличием во включениях трех фаз (водный раствор солей, жидкая углекислота и газовая фаза), наблюдаемых при комнатной температуре или, чаще, при их охлаждении.

### Заключение

В работах Буряка В.А. на примере золоторудных месторождений Ленского района (Сухой Лог, Голец Высочайший и др.) предложена модель метаморфогенно-гидротермального рудообразования (Буряк, 1982, Буряк, Хмелевская, 1997). Согласно этой модели рудообразование связано с региональным метаморфизмом металлоносных углеродистых толщ, причем в первичном накоплении

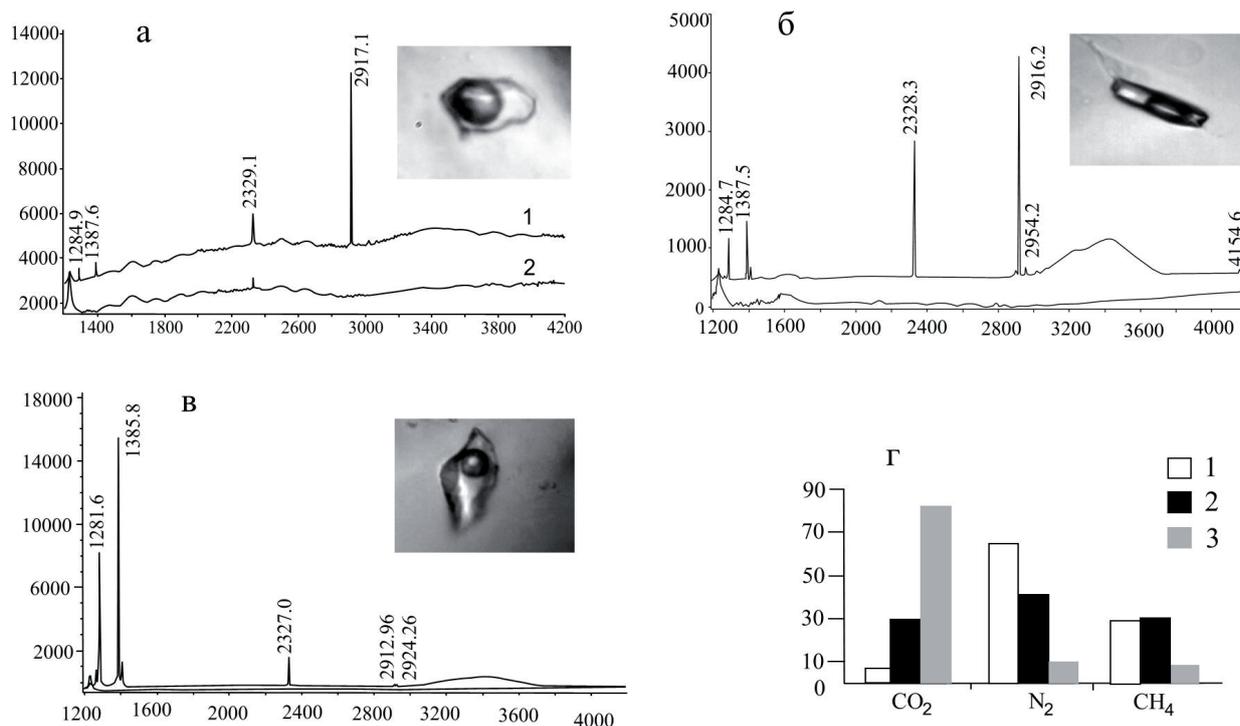


Рис. 1. а-в – типичные спектры газовой фазы во флюидных включениях: а – в мелкозернистом кварце кварц-сульфидных прослоев; б – в крупнозернистом кварце пирротин-кварцевого прожилка; в – в крупнозернистом кварце, отобранном за пределами месторождения; г – среднее содержание газов в составе флюидных включений (1 – в мелкозернистом кварце кварц-сульфидных прослоев; 2 – в пирротин-кварцевом прожилке; 3 – в крупнокристаллическом кварце на участке Барон).

Fig. 1. а-в – typical spectra of the gas phase in fluid inclusions: а – in fine-grained quartz of sulfide layers; б – in coarse-grained quartz of a pyrrhotine-quartz vein; в – in coarse-grained quartz in the Baron area, г – average content of gases in the fluid inclusions (1 – in fine-grained quartz of sulfide layers; 2 – in pyrrhotine-quartz vein; 3 – in coarse-crystallized quartz in the Baron area).

сульфидов и золота в осадке значительная роль отводится гидротермально-осадочными процессам. При последующем метаморфизме пород первичное оруденение подвергалось трансформации и переотложению с образованием промышленных руд.

Реалистичность этой модели была показана для месторождения Сухой Лог на основании данных по распределению золота в последовательно формировавшихся генерациях пирита. Золото в обогащенных органическим веществом глинистых сланцах фиксировалось в структуре диагенетического мышьяковистого пирита. При перекристаллизации диагенетического пирита в процессе метаморфических преобразований пород золото высвобождалось и концентрировалось в виде свободного золота в метаморфическом пирите и деформированных послойных пирит-кварцевых прожилках (Large et al., 2007, и др.).

Результаты изучения месторождения Голец Высочайший вписываются в концепцию первичной концентрации золота в углеродисто-терригенных черносланцевых отложениях с последующим их преобразованием в результате метаморфогенно-гидротермальных процессов (Онищенко, 2014). Переотложение сульфидов и золота происходило, видимо, во время и после основных складчатых деформаций.

Изучение газовой-жидких включений в кварце сульфидных прослоев и в пирротин-кварцевом прожилке позволило оценить условия гидротермально-метаморфического этапа образования руд.

Состав флюидов в кварце послойных сульфидных обособлений – водный раствор солей, метан, азот, углекислота, в небольшом количестве также пропан и этан. Минералообразование протек-

кало при температурах близких 230-470°С. Золотоносные флюиды имели восстановительный характер, отношение  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  в флюидных включениях заключено в интервале от 0.07 до 0.40.

Состав флюидов в пирротин-кварцевом прожилке отличается большей долей углекислоты, отношение  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  увеличивается до 1.0. Кроме того, в составе газовой фазы иногда фиксируется примесь сероводорода. Температура гомогенизации включений 380-507°С.

Работа выполнена по теме НИР госзадания (ГРН№ АААА-А17-117121270036-7) ИГ Коми НЦ УрО РАН. Аналитические исследования выполнены в ЦКП «Геонаука».

## Литература

1. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
2. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. М. Изд-во: Недра. 1982. 256 с.
3. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). Владивосток. Изд-во: Дальнаука. 1997. 156 с.
4. Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотоносность Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. 2008. № 3. С. 43–61.
5. Онищенко С.А. Геохимия золотоносных черных сланцев (месторождение Голец Высочайший, Ленский золотоносный район) // Геохимия литогенеза: материалы Рос. совещ. с междунар. участием (Сыктывкар, 17-19 марта 2014 г.). Сыктывкар. 2014. С. 302–306.
6. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}$  fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignano: Siena. 1994. P. 117–130.
7. Large R.R., Maslennikov V., Robert F., Danyushevsky L.V. and Chang, Z. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia / Economic Geology. 2007. V. 102. P. 1233–1267.