

**КЫСЫЛГА – ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ  
ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКИХ МЕЗОЗОИД**

*Г.Н. Гамянин<sup>1,2</sup>, Н.А. Горячев<sup>3</sup>, О.В. Викентьева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Старомонетный пер. 35, г. Москва, 119017; e-mail: ggn@igem.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр-т Ленина 39, г. Якутск, 677007

<sup>3</sup>ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,  
ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000

Поступила в редакцию 10 сентября 2015 г.

Описываются минералого-геохимические особенности золоторудного месторождения Кысылга, локализованного в ороговикованных норийских осадочных породах и относимого к малосульфидному золото-кварцевому типу месторождений, характерному для Верхояно-Колымской металлогенической провинции. На основании детального изучения типоморфизма основных минералов рудных жил – кварца, арсенопирита и золота – месторождение отнесено к золото-серебряному типу. Приводятся минералого-геохимические данные, дающие основания для подобного вывода.

**Ключевые слова:** минералого-геохимические особенности, типоморфизм минералов, минералогическая зональность, распределение редкоземельных элементов, золото-серебряное месторождение, Верхояно-Колымская складчатая система.

**ВВЕДЕНИЕ**

В пределах Верхояно-Колымской складчатой системы давно известен ряд месторождений золота и серебра, заметно отличающихся по текстурно-структурным и минералогическим особенностям руд от типичных орогенных месторождений золота региона [4–6], которые нами ранее были отнесены к категории близповерхностных объектов [2, 10]. Эти месторождения обычно локализованы среди терригенных толщ, нередко ороговикованных под воздействием позднеорогенных и посторогенных интрузивов гранитоидов. К таковым объектам относятся месторождения Маастах, Альфа и Кысылга. В ряде публикаций месторождения этого генетического типа были отнесены либо к золото-арсенопиритовому типу золото-кварцевой [14], либо к редкометалльно-кварцевой формации [9]. Все они приурочены к оперяющим крупным продольным региональным нарушениям структурам на северо-западном фланге Верхояно-Колымских мезозоид. Детальной характеристики данных объектов ранее не приводилось в силу их слабой изученности. Нами в течение ряда лет было проведено изучение руд наиболее разведанного и перспективного месторождения

Кысылга, расположенного на северо-западном фланге Яно-Колымского орогенного пояса [13]. Цель статьи – дать вещественную характеристику руд и показать минералогическую специфику месторождения.

**КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

Район месторождения сложен песчано-сланцевыми отложениями норийского яруса верхнего триаса. Структурно месторождение приурочено к субширотным или северо-восточным нарушениям, являющимся оперяющими к крупному региональному Кысылгинскому нарушению (рис. 1), неоднократно активизированному в позднемеловое время как сдвиговая система [13]. Рудные тела месторождения локализируются среди биотитовых роговиков в кровле нескрытого гранитоидного массива, контакт которого, по данным геофизики, располагается не глубже 300–500 м. Рудные тела представлены минерализованными зонами дробления роговиков с кварцевым цементом и редкой (1–2 %) вкрапленностью сульфидов. Протяженность рудных тел – до 350 м, мощность – до 2.5 м. Простирание рудных тел преимущественно субширотное (р.т. 1, 2–4, 5) или северо-восточное (р.т. 3). Рудное тело 5 находится у самого уреза ручья, а сближенные



Рис. 1. Геологическое строение месторождения Кысылга.

1 – песчано-сланцевые отложения верхнего горизонта верхнего триаса; 2 – существенно сланцевые отложения нижнего горизонта верхнего триаса; 3 – чередующаяся алевролитово-сланцевая толща нижнего горизонта верхнего триаса; 4 – шток диоритов; 5 – минерализованные зоны дробления с оловянным оруденением; 6 – минерализованные зоны дробления с антимонитовым оруденением; 7 – рудные тела с золото-серебряным оруденением; 8 – точки наблюдения по рудным телам; 9 – главное региональное нарушение; 10 – второстепенная система нарушений; 11 – каналы: р.т. – рудные тела. Прямоугольником очерчена площадь, относимая непосредственно к месторождению Кысылга.

рудные тела 2–4 – гипсометрически выше на 250 м. Роговики в пределах 10–20 см от контакта с рудной зоной осветлены за счет развития тонкозернистого метасоматического кварца в прилегающих к зальбанду участках (2–5 см) и кварц-серицитовых новообразований на удалении от последнего. Весьма характерно насыщение измененных околожильных пород вкрапленностью пирита и арсенопирита, местами до 10–15 %, но чаще всего до 5 %.

В пределах рудного поля распространены рассеянная прожилковая кварц-силикатно-(турмалин, хлорит)-касситеритовая минерализация, золото-кварцевые и золото-кварцевые с антимонитом жилы и минерализованные зоны дробления. Золото-кварцевые жилы протяженностью до 150 м и мощностью 30–40 см развиты преимущественно между ручьями Дутовый и Коука. В жилах присутствует редкая вкраплен-

ность (до 1 %) арсенопирита и единичные зерна пирита. По данным геолого-разведочных работ, содержание золота в них не превышает 10 г/т. Для участка Пролет характерны золото-кварцевые жилы (длина – до 120 м; мощность – до 40 см), минерализованные зоны дробления (длина – до 300 м и мощность – до 100 см) с антимонитом. Антимонит представлен крупнозернистыми образованиями, формирующими линзовидные скопления в кварцевых жилах. Здесь установлены более высокие (до 20–30 г/т) содержания золота. Этот участок по данным разведочных работ считается перспективным. Все выделенные типы минерализации пересекаются продуктивными золото-серебряными прожилками. Возраст касситерит-силикатной минерализации, установленный Ag-Ag-методом по мусковиту из дорудных кварц-турмалиновых прожилков, –  $93 \pm 4$  млн лет (определения А.В. Тра-

вина, ИГМ СО РАН, Новосибирск), что позволяет говорить о позднемеловом возрасте золоторудной минерализации.

#### МИНЕРАЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ

Вещественный состав рудных тел участка Кысылга достаточно простой. Наибольшим распространением пользуется кварц – 96–98 %, 1–3 % приходится на долю пирита и арсенопирита. Оставшаяся доля представлена, в порядке убывания распространенности, фрейбергитом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и сульфоантимонитами – джемсонитом, бурнонитом, буланжеритом и овихиитом. Самородное золото встречается как непосредственно в кварце, так и в сростании со всеми перечисленными минералами.

Учитывая близость минерального состава с типичным минеральным составом малосульфидных золото-кварцевых жил Верхояно-Колымской золоторудной провинции, В.В.Шошин и В.Г.Вишневский [14] отнесли месторождение Кысылга к золото-мышьяковому (арсенопиритовому) типу золото-кварцевой формации. Однако, как показали детальные исследования, кварц рудных тел месторождения Кысылга существенно отличается от кварца оловосодержащих (Дутый) и золото-кварцевых (Пролет) рудных тел, что наглядно иллюстрируется данными таблицы 1.

*Кварц* рудных тел месторождения Кысылга характеризуется высокими содержаниями оксидов лития, глинозема, двуокиси углерода, водонасыщенностью, однопиковым характером термолюминесценции при высоких значениях интенсивности пика и низкими значениями степени кристаллического совершенства структуры (табл. 1). Кроме того, пики вакуумной декрепитации его сдвинуты в низкотемпературную область и площадь приращения давления в этой области значительно превышает аналогичные площади высокотемпературной (> 300°C) области. В дополнение ко всему этому, параметр элементарной ячейки его очень высокий – 0.11303 нм<sup>3</sup>, по сравнению с кварцем оловорудных (0.11295 нм<sup>3</sup>) и золото-кварцевых (0.11297 нм<sup>3</sup>) месторождений. Все выше-

приведенные характеристики однозначно определяют принадлежность кварца месторождения Кысылга к близповерхностным [5, 15] и близким по своим типоморфным свойствам к кварцу золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Забайкалья. Следует подчеркнуть, что и визуально кварц рудных тел месторождения Кысылга заметно отличен от кварца оловорудных и золото-кварцевых жил участков Пролет и Дутый. В двух последних это крупнозернистый от маслянисто-полупрозрачного до молочно-белого кварц, массивного сложения, обычно слабо друзовидный, но с крупными (5–10 мм) кристаллами в друзах. Кварц же рудных тел месторождения Кысылга представлен гребенчатыми, шестоватыми или крустификационными агрегатами (рис. 2) с многочисленными мелкими друзовыми полостями, выполненными мельчайшими щетками микрокристаллов с разной степенью замутненности. При обрастании таким кварцем обломков измененных роговиков отчетливо проявляется геометрический отбор агрегатов, в связи с чем крупность зерен в агрегате увеличивается с удалением от контактов с вмещающими породами, в том числе и в шестовато-гребенчатых прожилках.

*Пирит* и *арсенопирит* из всех сульфидных минералов по распространенности явно преобладают. На их долю в тяжелой фракции рудных проб из околожилных метасоматитов приходится 95–100 % объема фракции, а из рудных тел – 50–80 %, причем более существенное преобладание их над остальными рудными минералами отмечается для рудного тела 5, располагающегося на наиболее низких гипсометрических отметках. Здесь же отмечается и некоторое преобладание пирита над арсенопиритом, тогда как в рудном теле 2–4 арсенопирит несколько преобладает над пиритом. Преимущественное развитие этих минералов приходится на околожилные измененные породы. Здесь отчетливо проявлена тенденция увеличения содержания и размерности метакристаллов по направлению к зальбандам рудных тел. В отдельных образцах количество их вкрапленности на контак-

Таблица 1. Типоморфные особенности кварца месторождения Кысылга и участков Пролет и Дутый.

Привязка	Li <sub>2</sub> O, г/т	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	K/Na	H <sub>2</sub> O, %	CO <sub>2</sub> , %	ЕТЛ, у.е.	СКС, %
р.т. № 2–4	140	0.76	1.3	0.44	0.042	400	32
р.т. № 1	240	0.85	1.6	0.16	0.060	740	37
р.т. № 5	200	0.80	1.2	0.11	0.044	500	43
Пролет Au-Q	2.3	0.30	1.0	0.007	0.044	1230/670	64
Дутый Sn-Si	24	0.14	2.3	0.05	0.012	152/70	75

*Примечание.* ЕТЛ – естественная термолюминесценция; СКС – степень кристаллического совершенства. Химический анализ выполнен в химико-аналитической лаборатории ИГАБМ СО РАН, аналитик Галенчикова Л.Т.

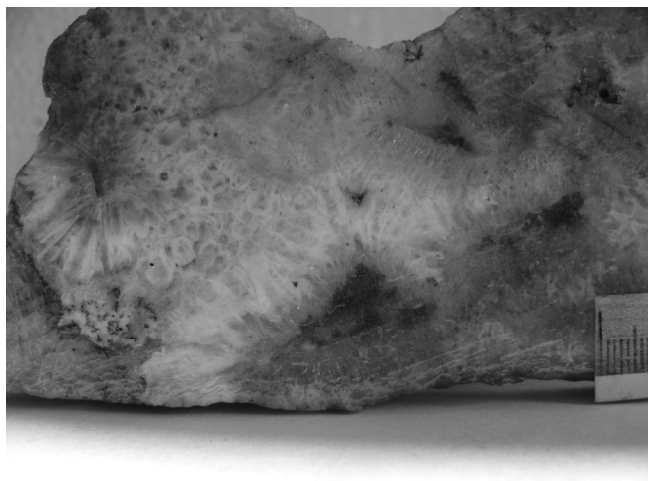


Рис. 2. Друзовидно-шестоватые образования кварца.

те с рудным телом достигало 50–70 %. Характерно, что почти всегда в таких участках на контакте между вмещающими породами и жильным кварцем располагается узкая (до 1 мм) полоска сплошных пирит-арсенопиритовых кайм. Размерность вкрапленников метакристаллов возрастает от сотых долей мм до первых десятых, иногда до 1 мм. Аналогичная тенденция изменения размерности этих минералов просматривается и в жильном кварце. В призальбандовых частях их размер варьирует в пределах 0.2–1 мм, а редко встречающиеся кристаллы во внутренних частях рудных тел достигают размерности 3–5 мм. Намечается некоторая изменчивость и в морфологическом облике пирита и арсенопирита от внешних зон метасоматитов до центральных частей рудных тел. Пирит во внешних зонах метасоматитов представлен мелкими кубическими зернами, с обильными включениями реликтов вмещающих пород. По направлению к жиле отмечается их очищение от включений, возрастает совершенство гранных форм и в призальбандовых частях в кристаллах появляются единичные грани октаэдра. В жильном кварце около зальбандов количество и ширина граней октаэдра увеличиваются, а в центральных частях жил отдельные кристаллы имеют кубооктаэдрический или пентагондодекаэдрический облик. Для арсенопирита изменения морфологического облика в целом не отмечается, но существенно улучшается кристаллографическая огранка минерала. Особенно это заметно для метакристаллов. Во внешних зонах метасоматитов арсенопирит не имеет четких кристаллографических очертаний. Лишь изредка отмечаются его скелетовидные контуры. В призальбандовых частях это уже четко ограниченные ромбовидно-изометричные зерна, нередко содержащие включения

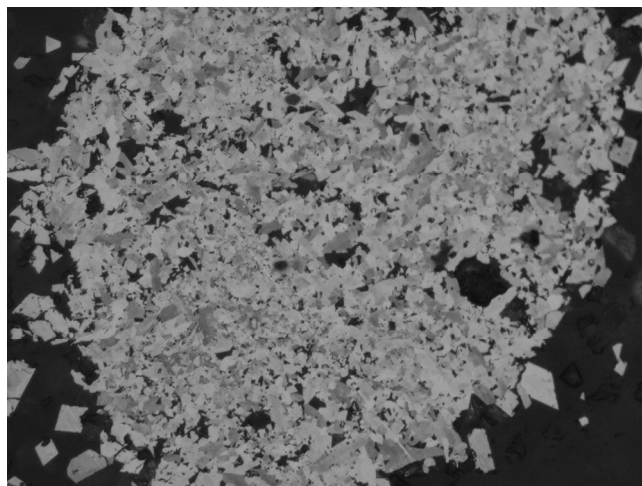


Рис. 3. Слабо выраженная зональность агрегатов арсенопирита. Ув. 99.

микросталликов пирита. В метакристаллах пирита и арсенопирита других включений, кроме реликтов переработанных пород, не отмечается. В жильном кварце преобладает арсенопирит, который представлен как мелкими вкраплениями, так и гнездообразными обособлениями, сложены мелкозернистым агрегатом с неясно выраженным зональным строением отдельных зерен (рис. 3), выявленных при их травлении 1:1  $\text{HNO}_3$ . Агрегаты арсенопирита нередко обрастаются фрейбергитом. Все более поздние минералы (золото, халькопирит, фрейбергит) содержат включения арсенопирита и нередко проникают в его агрегаты.

Состав пирита и арсенопирита приведен в таблице 2. Особенность состава арсенопирита в существенной примеси сурьмы (до 2.1 %), что не свойственно арсенопириту оловорудных, золото-кварцевых и даже золото-сурьмяных месторождений, но типично для арсенопирита близповерхностных месторождений [1, 2, 8]. Повышенная сернистость арсенопирита влияет на его сорбционные способности, и по этой причине арсенопирит месторождения обладает повышенной золотоносностью, особенно арсенопирит из околожильных метасоматитов. Арсенопирит содержит также высокие концентрации примесей свинца, меди и серебра (табл. 3). В отличие от пирита в нем кобальт преобладает над никелем. Изредка в арсенопиритах встречается примесь висмута и в единичных случаях – олово. Для пирита характерна примесь мышьяка в количестве до 1.1 % (табл. 2), распределенная в пределах кристаллов не равномерно, а в виде узких зон с повышенными концентрациями на общем беспримесном или с малыми концентрациями (0.2–0.5 %) фоне. Наиболее характерна подобная изменчивость для пирита рудного тела 5. Эта особенность подчеркивается

Таблица 2. Состав (мас. %) арсенопирита и пирита месторождения Кысылга.

№ р.т.	минерал	Fe	As	S	Sb	Сумма
1	Арсенопирит (3)	35.52	40.87	22.98	0.92	99.37
2–4	Арсенопирит (3)	35.62	40.40	22.52	0.89	99.43
5	Арсенопирит (2)	35.52	40.61	22.26	1.05	99.44
1	Пирит (4)	47.0	0.8	51.8	-	99.6
2–4	Пирит (3)	47.1	1.1	51.2	-	99.4
5	Пирит(3)	47.5	0.8	50.9	-	99.3

Примечание. В скобках – количество анализов; цифры в таблицах – средние содержания элементов. Анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ИГАБМ СО РАН, микрозонд Camebax-Microbeam, аналитик Попова С.К.

Таблица 3. Содержание (г/т) примесей в ранних сульфидах.

Минерал	Тип минерализации	Au*	Ag*	Co*	Ni*	Cu*	Sn**	Bi**	Pb**	Zn**
Aspy мета	Au-Ag	16	38	35	6	117	-	7		300
Aspy игольч.	Au-Ag	30943	15155	44	106	2780	-	30	500	1000
Aspy призм.	Au-Ag	1729	17	208	136	84	10	20	500	500
Py куб.	Au-Ag	448	35	104	131	421	-	20	100	200
Py б/ф	Au-Ag	248	153	401	171	2460	-	10	50	150
Aspy	Au Q	7.4	8.2	367	376	292	-	5	700	500
Py б/ф. к/з	Au Q	3.9	43	18	133	120	7	30	100	300
Aspy к/з	Sn-Si	1.0	2.7	314	203	1984	100	20	700	500
Py	Sn-Si	0.6	111	222	301	295	20	20	500	300

Примечание. Анализы: \* – атомно-абсорбционный; \*\* – спектрометрический. Типы минерализации: Au-Ag – золото-серебряный; Au-Q – золото-кварцевый; Sn-Si – касситерит-сульфидный; Aspy – арсенопирит; Py – пирит; мета – метасоматический; игольч. – игольчатый; призм. – призматический; куб. – кубический, б/ф – без формы, к/з – крупнозернистый. Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН на микроанализаторе Camebax-Micro-50A. Аналитик Попова С.К.

и данными по содержанию элементов-примесей – в пирите (табл. 3) из рудного тела 5. Содержание примеси мышьяка в рудном теле 1 несколько выше 1 %, а в рудном теле 3 – меньше 1 %. Для пирита характерна также примесь серебра, висмута и сурьмы, особенно для пирита рудного тела 5, в котором данные элементы находятся в повышенных концентрациях. Следует также подчеркнуть преобладание в пирите никеля над кобальтом.

*Халькопирит* в рудах месторождения – довольно распространенный минерал, хотя не образует заметных концентраций. Обычно он встречается в виде мелких и мельчайших зерен в тесной ассоциации с фрейбергитом, либо формируя самостоятельные мелкие гнездообразные выделения в кварце. Во фрейбергите халькопирит наблюдается в виде включений и бескорневых прожилковидных обособлений между зернами, а в его гнездообразных выделениях содержатся скелетные обособления фрейбергита. Лишь изредка встречаются гнезда халькопирита, в которых присутствует вкрапленность арсенопирита и фрейбергита (рис. 4). Состав халькопирита достаточно стабилен и обычен, характеризуясь лишь незначительной примесью (%) цинка (Cu – 34.8; Fe – 30.6; S – 34.1; Zn – 0.2).

*Галенит* встречается в рудах спорадически. Он не обнаружен в рудном теле 2–4, очень редок в р.т. 1 и 3 и несколько чаще обнаруживается в р.т. 5, где наблюдались его мелкие (до 1мм) гнезда среди кварца. В полированных шлифах он встречается также в виде контурной цементирующей массы среди жильных пирита и арсенопирита. В качестве единичной округлой вкрапленности присутствует также среди халькопирита и фрейбергита. В мелких гнездах галенита в качестве включений изредка присутствуют сульфосоли, что определяет повышенное содержание в нем селена, висмута и серебра (табл. 4).

*Фрейбергит* в виде мелких гнездовых скоплений в кварце присутствует во всех рудных телах, но максимальная распространенность его отмечается в рудном теле 2–4, в котором размер его гнездообразных выделений достигает 1–1.5 мм. Намечается отчетливая приуроченность фрейбергита к кварцевым пустоткам, размер которых, по сути дела, и определяет размерность его выделений. В полированных шлифах видно, что гнездовые выделения фрейбергита в кварцевой пустотке сопровождаются ореолом его мелкой овальной вкрапленности в кристаллах кварца, которая постепенно укрупняется в направле-

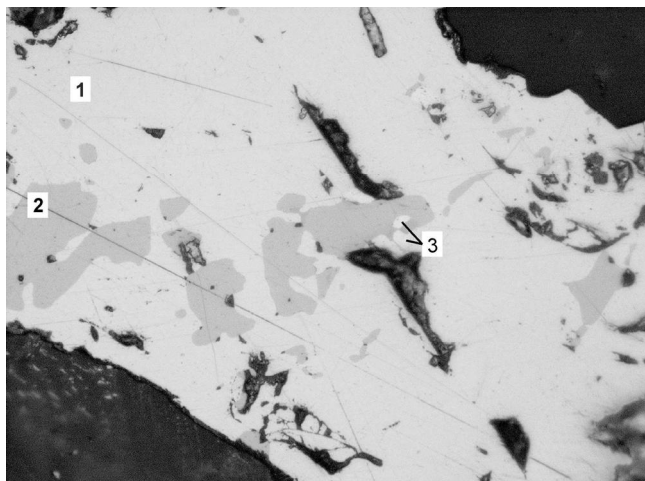


Рис. 4. Включения арсенопирита и фрейбергита в халькопирите. Ув. 147.

1 – халькопирит, 2 – фрейбергит, 3 – арсенопирит.

нии от внутренних частей кристалла кварца к гнездам фрейбергита. Очень редкие выделения фрейбергита свободны от каких-либо включений. Наиболее часто в нем присутствуют включения халькопирита, различных сульфосолей, золота, пирита и арсенопирита. Последние присутствуют в нем в виде совершенных кристаллов. Помимо этого, фрейбергит нередко выступает в качестве цементирующей массы по отношению к пириту и арсенопириту, особенно в призальбандовых участках, где последние наиболее часто концентрируются. В этих случаях фрейбергит проявляет по отношению к этим минералам явно коррозионные свойства, проникая во внутренние части их кристаллов. Почти всегда в этих случаях совместно с фрейбергитом присутствуют мельчайшие обособления золота. Состав фрейбергита (табл. 4) относительно стабилен,

хотя некоторые колебания его серебрности между рудными телами и отмечаются. Следует заметить, что сереброносность фрейбергита в определенной мере является показателем глубины эрозионного среза. Для мало эродированных месторождений характерны фрейбергиты повышенной серебрности (40–50 %) и резкие изменения ее не только на одном гипсометрическом уровне, но и в пределах одного образца или даже смежных зерен. По своему составу фрейбергит месторождения Кысылга отвечает месторождениям со средним уровнем среза.

*Минералы группы сульфосолей* на месторождении относятся к спорадически встречаемым. В этом отношении показательным является практическое отсутствие таких характерных для золото-серебряных месторождений минералов, как миаргирит и пираргирит. Анализ многочисленных данных по аналогичным месторождениям Магаданской области позволил Н.Е. Савва [12] прийти к выводу о вертикальной зональности в распределении серебросодержащих минералов золото-серебряных месторождений. По ее данным, присутствие в рудах только фрейбергита свидетельствует о существенном срезе месторождения. На месторождении группа сульфосолей представлена джемсонитом, овихитом, бурнонитом и буланжеритом (табл. 4), что отражает повышенную роль висмута и селена к концу процесса минералообразования.

*Самородное золото* месторождения Кысылга, основной промышленно важный минерал, распространен в рудных телах весьма неравномерно. Его повышенные концентрации в рудных телах отчетливо наблюдаются визуально. В других случаях на рудную пробу весом 1–2 кг встречается 2–3 знака золота. Наиболее часто самородное золото встречается в рудных телах 5 и 2–4, причем в первом из них предпочтительнее. Обогащенные участки руд, как правило, полиминеральны, в них

Таблица 4. Состав галенита и сульфосолей (в %).

Минерал	Рудное тело	S	Ag	Fe	Pb	Sb	Se	Cu	Bi	Zn	сумма
галенит	1	11.8	1.2	0.3	80.0	0.0	3.9	0.4	2.3	0.0	99.83
	3	12.0	1.2	0.2	80.9	0.0	3.7	0.5	2.0	0.0	100.32
	5	11.8	1.1	0.8	79.7	0.0	3.8	0.4	2.0	0.0	99.53
фрейбергит	1	22	23	5	0	27	0	21	0	2	99.7
	2–4	24	21	5	0	27	0	23	0	1	100.5
	2–4	23.6	18.9	4.9	0.0	27.4	0.0	24.2	0.1	1.6	100.71
	5	23.5	15.6	5.1	0.0	27.2	0.0	25.2	0.0	1.5	98.09
джемсонит	1	21.8	1.3	3.0	34.2	33.6	0.4	0.9	4.4	0.3	100.02
овихит	2–4	20.1	5.5	0.3	39.4	31.4	0.4	1.7	2.5	0.0	101.22
бурнонит	5	20.2	0.0	0.0	42.3	24.3	0.2	12.8	0.2	0.0	99.95
буланжерит	2–4	18.8	0.0	0.0	54.4	24.9	0.6	0.0	0.6	0.0	99.23

Примечание. Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН на микроанализаторе Camebax- Micro-50A. Аналитик Попова С.К.

существенно возрастает роль всего минерального комплекса, развитого на месторождении.

По своему гранулометрическому составу золото месторождения (табл. 5) относится преимущественно к мелкому классу по классификации Н.В. Петровской [11]. Нет существенных различий в гранулометрическом составе золота различных рудных тел, кроме резкого преобладания фракции размерностью 0.16–0.25 мм в рудном теле 1. По морфологии золото месторождения достаточно своеобразно. На 90 % оно представлено округло-изометричными формами, в единичных случаях встречаются многогранные кристаллы и бесформенное золото цементационного типа. В полированных шлифах выявляется значительное количество включений в золоте арсенопирита. Распределение его в пределах ряда изометричных зерен золота местами напоминает эпитактические срастания. При этом нередко целые группы зерен арсенопирита имеют близкую оптическую ориентировку. Кроме арсенопирита, в золоте нередко отмечается фрейбергит и халькопирит. Само золото часто цементирует аг-

регаты пирита и арсенопирита, выполняет в них каверны, а иногда в виде тончайших просечек сечет их кристаллы. Во фрейбергите, в свою очередь, отмечались его мелкие многогранные микрокристаллы. По своему составу золото месторождения относится к электруму с колебанием пробности от 500 до 700 промилле (рис. 5), а подавляющая часть анализов ложится в интервал 576–675 промилле. На уровне чувствительности микронного анализа (0.05–0.1 %) в золоте не установлено ртути, но для него свойственны высокие содержания примесей – мышьяка, железа, сурьмы, меди. Показательно практически постоянное присутствие висмута, а в рудном теле 2–4 – платины (табл. 6). Особенностью золота месторождения является очень частое присутствие по периферии золотин или в межзерновом пространстве коричневой разновидности золота, относящейся к кислородсодержащим соединениям (Au – 69.3 %; O – 29.28 %).

Карбонаты присутствуют во всех типах месторождений Верхояно-Колымской металлогенической провинции. В жилах с оловянным оруденением месторождений Дербек-Нельгесинского поперечного ряда, пространственно расположенного наиболее близко к описываемому месторождению, присутствуют сидерит, анкерит и кальцит. В месторождении Кысылга сидерит отсутствует. Здесь в золото-кварцевых жилах достаточно широко распространен лишь анкерит, в которых он образует крупные скопления среди молочно-белого кварца. В золото-серебряных жилах изредка встречается кальцит. Состав карбонатов приведен в таблице 7. Как видно из таблицы, анкерит оловянных проявлений более железистый. Более высокие содержания в нем и MnO.

Таблица 5. Гранулометрический состав (%) золота.

Размер фракций, мм	№ рудных тел			
	2–4	1	5	5
> 0.5	17.1	16.1	7.1	6.0
0.25–0.5	25.0	16.1	40.4	40.4
0.16–0.25	42.0	59.7	39.5	35.8
< 0.16	15.9	8.1	13.0	17.8

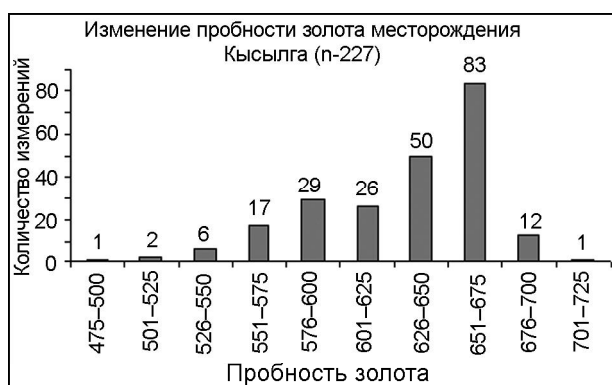


Рис. 5. Изменение пробности золота месторождения Кысылга.

#### МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ЭЛЕМЕНТЫ МИНЕРАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

На основании проведенного исследования рудных тел месторождения и взаимоотношений минералов можно выделить несколько последовательных минеральных ассоциаций: метасоматическую кварц-пирит-арсенопиритовую, жильную пирит-арсенопирит-кварцевую, редуцированную галенит-халькопиритовую и электрум-фрейбергитовую. Две последние ассоциации наблюдаются в виде мелких гнездовых обособлений и рассеянной вкрапленности

Таблица 6. Элементы-примеси в золоте месторождения Кысылга (в %).

Рудные тела	As	Pb	Sb	Fe	Pt	Cu	Bi
1	0.016	0.024	0.032	0.020		0.0034	0.0009
2–4	0.014	0.033	0.084	0.023	0.0009	0.0011	
5	0.034	0.046	0.157	0.043	0.0008	0.0068	0.0052

Примечание. Атомно-абсорбционный анализ. ИГАБМ СО РАН. Аналитик Олейникова Н.Н.

Таблица 7. Состав карбонатов месторождения Кысылга.

Тип минерализации	Компоненты, в %					
	CaO	FeO	MgO	MnO	CO <sub>2</sub>	Сумма
Касситерит-силикатно-сульфидный	28.53	18.15	8.66	0.76	43.45	99.55
Золото-кварцевый	28.26	13.70	11.89	0.75	44.03	98.63
Золото-серебряный	54.92	0.29	0.17	0.06	43.51	98.95

Примечание. Анализ выполнен в ИГАБМ СО РАН. Аналитик Галенчикова Л.Т.

в предшествующей пирит-арсенопирит-кварцевой жильной ассоциации. Учитывая положение рудных тел на разном гипсометрическом уровне (р.т. 2–4 – 820 м; р.т. 1 – 700 м; р.т. 5 – 570 м), можно с определенной долей условности рассмотреть вертикальную минеральную зональность [3]. В частности, совершенно определено к нижним уровням оруденения уменьшается встречаемость фрейбергита, увеличивается роль арсенопирита и особенно пирита. На нижних уровнях более интенсивно проявлено метасоматическое преобразование пород. В целом, по изменению типоморфных свойств минералов – пирита, арсенопирита, золота, кварца – можно считать характерной для месторождения прямую минералогическую зональность.

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЗЭ В МИНЕРАЛАХ

Изучено распределение редкоземельных элементов в карбонатах и кварце из разных типов минерализации месторождения Кысылга. Для графического представления результатов применялось нормирование по хондриту [16]. Аномалии Eu ( $Eu/Eu^*$ ) и Ce ( $Ce/Ce^*$ ) рассчитывались по формулам:  $Eu/Eu^* = Eu/(Sm \cdot (Tb \cdot Eu)^{1/2})^{1/2}$ ,  $Ce/Ce^* = Ce/((2La+Sm)/3)$  (значения нормированы к хондриту).

**Карбонаты.** Суммарные концентрации РЗЭ в карбонатах варьируют от 42 до 77.6 г/т, увеличиваясь к поздним стадиям минералообразования (табл. 8). Анкерит касситерит-сульфидного и золото-кварцевого типа минерализации при одинаковом уровне концентрации лантаноидов имеет различные картины распределения РЗЭ (рис. 6).

Анкерит касситерит-сульфидного типа обогащен легкими лантаноидами ( $La/Yb = 2.27$ ), свидетельствуя о том, что распределение РЗЭ в нем характеризует рудообразующий флюид, а не контролируется кристаллохимическим фактором, как в анкерите золото-кварцевой ( $La/Yb = 0.38$ ) и золото-серебряной ( $La/Yb = 0.24$ ) минерализации. Положительная аномалия европия присутствует только в карбонатах касситерит-сульфидной минерализации ( $Eu/Eu^* = 5.7$ ), для карбонатов поздних типов минерализации она не выражена ( $Eu/Eu^* = 0.9–1.1$ ). Во всех карбо-

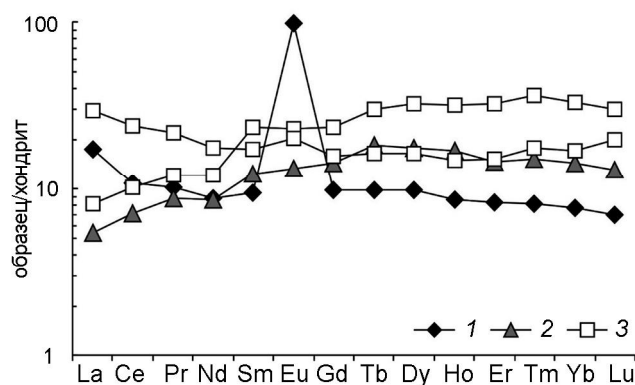


Рис. 6. Распределение РЗЭ в карбонатах месторождения Кысылга.

Типы минерализации: 1 – касситерит-сульфидный, 2 – золото-кварцевый, 3 – золото-серебряный.

натах присутствует слабо выраженная отрицательная аномалия Ce ( $Ce/Ce^* = 0.7–0.9$ ). Низкое значение  $La/Yb$  для анкерита золото-серебряной минерализации может указывать на отложение из более низкотемпературных и более щелочных растворов.

**Кварц.** Максимальные суммарные концентрации лантаноидов отмечаются в оловоносном кварце (0.6–12.8 г/т). В метаморфогенном кварце содержания РЗЭ низкие (~1 г/т), аномалии Eu и Ce отсутствуют (табл. 8). Кварц золото-кварцевой минерализации отличается минимальными концентрациями РЗЭ (0.1–0.6 г/т) и присутствием незначительной отрицательной аномалии Eu ( $Eu/Eu^* = 0.7–0.9$ ). Незначительная отрицательная аномалия Eu характерна также для оловоносного и Au-Ag кварца, тогда как для метаморфогенного кварца  $Eu/Eu^* \sim 1$  (рис. 7, 8).

Отсутствие микровключений РЗЭ-фаз и корреляционных связей между лантаноидами и другими микрокомпонентами дает основание полагать, что распределение РЗЭ в кварце характеризует состав гидротермального флюида. Вероятно, при формировании оловоносной и золото-кварцевой минерализации флюид, обогащенный легкими РЗЭ был более восстановленным, тогда как при образовании Au-Ag руд – относительно окисленным.



Таблица 8. Распределение редкоземельных элементов в карбонатах и кварце разных типов минерализации месторождения Кысылга (г/т).

№ п/п	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣP3Э	Eu/Eu*	Ce/Ce*	La/Yb	La/Sm	Gd/Yb
	кварц																			
1	0.16	0.37	0.05	0.20	0.05	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.96	0.96	1.10	12.29	2.19	4.69
2	0.36	0.74	0.08	0.37	0.07	0.02	0.08	0.01	0.05	0.01	0.03	<0.01	0.03	0.01	1.86	0.76	1.01	9.24	3.18	2.35
3	0.08	0.19	0.02	0.10	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.55	0.82	1.09	2.81	2.07	1.40
4	0.35	0.73	0.09	0.37	0.07	0.01	0.07	0.01	0.06	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	1.88	0.56	1.03	4.98	3.14	1.20
5	2.76	5.33	0.62	2.32	0.39	0.07	0.38	0.03	0.10	0.01	0.04	<0.01	0.02	0.01	12.08	0.81	1.00	82.33	4.42	13.74
6	0.03	0.05	0.01	0.02	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.14	0.70	0.86	12.33	4.92	2.69
7	0.14	0.26	0.03	0.12	0.03	0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.64	0.93	0.91	11.99	3.26	2.22
8	0.51	1.34	0.16	0.67	0.13	0.03	0.12	0.01	0.03	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	3.16	0.81	1.27	5.53	2.49	1.59
9	0.45	0.92	0.10	0.42	0.08	0.02	0.08	0.01	0.06	0.01	0.03	<0.01	0.03	0.01	2.22	0.87	1.04	9.53	3.63	2.00
10	0.40	0.84	0.10	0.41	0.08	0.02	0.07	0.01	0.05	0.01	0.03	<0.01	0.03	<0.01	2.05	0.95	1.05	9.89	3.40	2.17
11	0.33	0.71	0.08	0.34	0.07	0.02	0.07	0.01	0.04	0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	1.73	0.89	1.07	13.45	3.09	3.22
12	0.72	1.45	0.17	0.64	0.13	0.03	0.14	0.02	0.08	0.02	0.05	0.01	0.05	0.01	3.52	0.81	1.01	10.41	3.45	2.45
карбонаты																				
13	6.32	10.35	1.39	6.17	2.18	8.53	2.99	0.57	3.75	0.73	2.05	0.29	1.89	0.27	47.47	5.73	0.74	2.27	1.82	1.29
14	2.01	6.83	1.20	6.12	2.85	1.15	4.37	1.07	6.79	1.45	3.64	0.55	3.59	0.50	42.11	0.96	0.92	0.38	0.44	0.99
15	2.99	9.83	1.65	8.59	5.46	1.99	7.23	1.75	12.40	2.73	8.09	1.30	8.28	1.15	73.46	0.92	0.77	0.24	0.34	0.71
16	10.84	22.83	3.02	12.50	4.02	1.75	4.83	0.96	6.19	1.28	3.78	0.62	4.24	0.76	77.61	1.13	0.94	1.73	1.70	0.92

Примечание. Типы минерализации: 1 – метаморфогенный; 2–5, 13 – касситерит-сульфидный; 6–7, 14 – золото-кварцевый; 8–12, 15–16 – золото-серебряный. Карбонаты: 13–15 – анкерит, 16 – кальцит. Анализы выполнены методом ICP MS с индуктивно связанной плазмой: кварц – в ИТИГ ДВО РАН, исполнитель Бердников Н.В.; карбонаты – в лаборатории рентгеноспектрального анализа ИГЕМ РАН, аналитик Бычкова Я.С.

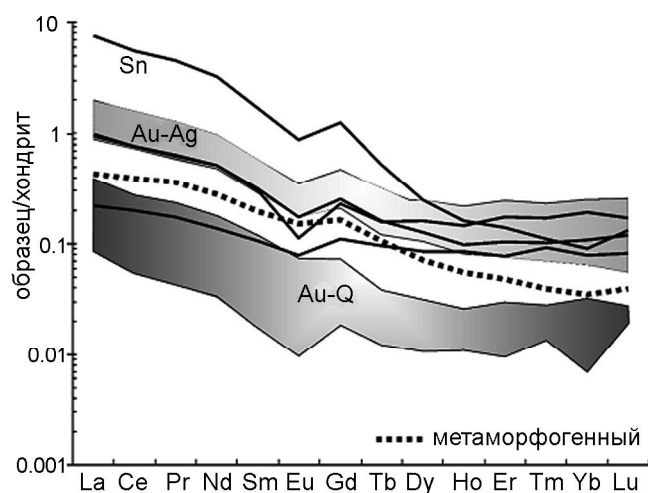


Рис. 7. Распределение РЗЭ в кварце разных генераций месторождения Кысылга.

### ФЛОИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

Первичные флюидные включения в кварце рудных тел месторождения Кысылга встречаются как равномерно распределенные по объему минералохозяина, так и приуроченные к зонам роста. Группы флюидных включений, приуроченные к трещинам, не выходящим за пределы кристаллов, также отнесены нами к первично-вторичному генетическому типу включений. Включения, приуроченные к секущим трещинам, являются вторичными. Термо- и криометрические исследования 48 индивидуальных флюидных включений, выполненные В.Ю. Прокофьевым (ИГЕМ РАН), представлены в табл. 9 и на фиг. 9.

Таблица 9. Параметры флюидных включений в кварце.

Тип минерализации	n	T <sub>гом</sub> °C	T <sub>гом</sub> °CO <sub>2</sub>	C <sub>солей</sub> , мас. %-экв. NaCl	d г/см <sup>3</sup>	P, бар	$\frac{P_{\text{общ}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$
Au-Q	33	296–233	-85.4 Ж, CH <sub>4</sub>	6.5–5.0	0.87–0.79	1140–880	34.0–14.8
Sn-Si	69	223–148	-80; -82.6 К	2.4–0.8	0.15	451	
Au-Ag	23	222–211	-73.8 Ж CH <sub>4</sub>	2.6–1.7	0.86–0.87		

Примечание. Au-Q – из золото-кварцевых жил; Sn-Si – из касситерит-силикатных жил; Au-Ag – из золото-серебряных жил; T<sub>гом</sub> °C – температура гомогенизации включений; T<sub>гом</sub> °CO<sub>2</sub> – температура гомогенизации жидкой CO<sub>2</sub>; К – включения кристалла, Ж – жидкое включение; C<sub>солей</sub>, мас. % экв. NaCl – концентрация солей во включениях; d г/см<sup>3</sup> – плотность газовой-жидких включений; P, бар – расчетные давления во включениях;  $\frac{P_{\text{общ}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$  – отношение общего давления к давлению во флюидных включениях. Анализ выполнен в ИГЕМ РАН. Аналитик Прокофьев В.Ю.

Таблица 10. Основные компоненты водных вытяжек кварца разных типов минерализации (в %).

Тип минерализации	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Ca	Mg	Σ	H <sub>2</sub> O	Σ/H <sub>2</sub> O
Au-Q	24	10	12	0.6	0	3.6	0.09	1.30	0	51.0	2341	0.0218
Sn-Si	9.2	0.14	0.12	7.10	0	0.19	1.60	0	0.01	18.3	4602	0.0040
Au-Ag	7.1	0.4	0.9	0.9	0	0.7	0.2	0.2	0	11	2040	0.0051

Примечание. H<sub>2</sub>O – в г/т. Анализы выполнены в аналитической лаборатории ЦНИГРИ. Аналитик Васюта Ю.В.

Кварц рудных жил всех типов минерализации месторождения Кысылга содержит первичные двухфазовые включения типа 1, которые гомогенизируются в жидкость в интервале температур 296–211 °C. Наиболее высокие температуры гомогенизации свойственны золото-кварцевым жилам, а наиболее низкие – касситерит-силикатным. Включения содержат водный флюид с концентрацией солей 6.5–1.7 мас. %-экв. NaCl. При этом наименьшие концентрации солей отмечаются во включениях кварца из оловосодержащих жил. Сингенетичные им существенно газовые включения содержат плотный метан (иногда с небольшой примесью углекислоты), который гомогенизируется в жидкость при температурах от -85.4 до -73.8 °C. Оценка давления по сингенетичным включениям в кварце из золото-кварцевых жил составляет 1140–880 бар при температурах 296–233 °C. Отношение  $\frac{P_{\text{общ}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$  составляет 34.0–14.8.

Валовый анализ водных вытяжек исследован в образцах кварца разных типов минерализации (табл. 10). Наибольшая концентрация основных компонентов характерна для включений в кварце золото-кварцевого типа минерализации, который относится к натрово-хлоридному типу. Наиболее разбавленные флюидные включения сульфатно-калиевого состава свойственны касситерит-силикатной минерализации. Наименьшая сумма основных компонентов характерна для флюидных включений золото-серебряной минерализации, имеющих преимущественно хлоридно-сульфатно-натровый состав. Для флюида всех типов минерализации, особенно для касситерит-силикатного типа, характерно существенное преобладание CO<sub>2</sub> над CH<sub>4</sub>.

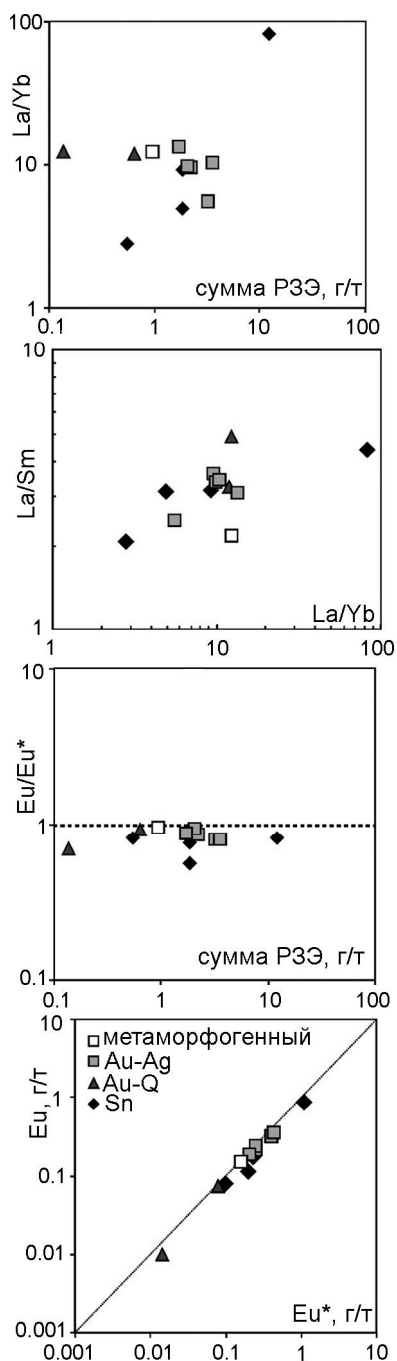


Рис. 8. Параметры распределения РЗЭ в кварце месторождения Кысылга.

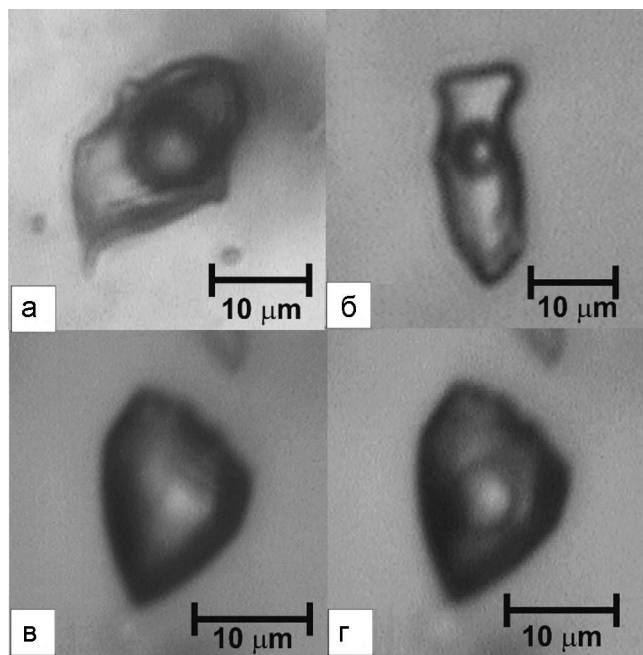


Рис. 9. Первичные включения в кварце руд месторождения Кысылга.

а, б – двухфазовые газовой-жидкие типа 1 (+20 °С); в, г – существенно газовое включение с метаном (в – +20 °С, г – -90 °С).

Ниже приведены концентрационные ряды содержания микрокомпонентов (мг/кг, под символом элемента) в водных вытяжках выделенных типов минерализации (табл. 11).

Очевидно, что в водных вытяжках из кварца касситерит-силикатной минерализации общее содержание микрокомпонентов весьма низкое, в отличие от обогащенности их основными компонентами. В то же время, в них содержатся повышенные количества компонентов, характерных для месторождений олова Верхояно-Колымской металлогенической провинции. Следует подчеркнуть ведущую роль среди микрокомпонентов As и Sb в водных вытяжках из кварца золото-кварцевой и золото-серебряной типов минерализации, что отражает и ведущую роль в них минералов, содержащих данные компоненты. Показательны также высокие содержания Li в вытяжках из кварца

Таблица 11. Концентрационные ряды рудных компонентов в водных вытяжках (мг/кг H<sub>2</sub>O) флюидных включений из кварца разных типов минерализации.

Au-Q	Sb	As	Zn	Li	W	Ni	Cu	Co	Pb	Au	Sn	Ag	Bi
	7672	867	82.1	9.98	1.82	1.05	0.60	0.38	0.08	0.04	0.04	0.01	0.004
Sn-Si	As	Li	Sb	Ni	Cu	W	Mo	Cd	Sn	Pb	Co	Au	Bi
	81	8.9	6.3	2.83	2.60	0.50	0.18	0.08	0.07	0.05	0.02	0.01	0.003
Au-Ag	As	Sb	Li	Ni	Cu	Pb	Mo	Co	W	Au	Sn	Ag	Bi
	6902	218	30.1	4.97	0.83	0.51	0.33	0.30	0.26	0.09	0.04	0.03	0.002

Примечание. Анализы выполнены в аналитической лаборатории ЦНИГРИ. Аналитик Васюта Ю.В.

золото-сурьмяного типа минерализации, который является типоморфным для данного типа.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исходя из общего вещественного состава месторождения, а главное, из особенностей типоморфных свойств минералов, из сопоставления этих данных с таковыми близких по геологическим и минералогическим особенностям месторождений, можно уверенно констатировать, что месторождение Кысылга относится к близповерхностным золото-серебряным эпитермальным месторождениям. Формирование оруденения данного типа происходило в тыловой зоне позднемелового Охотско-Чукотского окраинно-континентального вулканогенного пояса в тесной ассоциации с глубинными разломами сдвиговой кинематики.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ – 14–17–00465.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамянин Г.Н., Некрасов И.Я., Лескова Н.В., Рябева Е.Г. Сурьмянистая разновидность арсенопирита – первая находка // Минер. журн., 1981. № 5. С. 87–96.
2. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Близповерхностное оруденение восточной Якутии // Тихоокеан. геология. 1988. № 2. С. 82–89.
3. Гамянин Г.Н. Зональность золоторудных месторождений Верхояно-Колымской складчатой области // Минералогический аспект магматизма и оруденения Якутии. Якутск, 1993. С. 5–22.
4. Гамянин Г.Н. Минералогический аспект оруденения Верхояно-Колымских мезозойских поясов. М.: ГЕОС, 2001. 221 с.
5. Горячев Н.А. Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО, 1992. 135 с.
6. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 1998, 210 с.
7. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов северного обрамления Тихоокеана. Магадан, 2003, 134 с.
8. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Велицкая Т.Н., Игнатьев А.В., Лескова Н.В. Серебро-сурьмяная минерализация Яно-Колымского пояса // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 31, № 2. С. 82–89.
9. Москвитин С.Г. Золото-сульфидное месторождение Кючус (Куларское поднятие). Геологическое строение и полезные ископаемые Республики Саха (Якутия): Материалы конференции. Якутск: ИГН СО РАН, 1997. Т. 3. С. 28–30.
10. Некрасов И.Я., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Жданов Ю.Я., Лескова Н.В. Минералогический аспект оруденения Верхояно-Колымской складчатой области: минеральные ассоциации оловосеребряной и серебро-свинцово-цинковой формаций // Минер. журн. 1988. № 1. С. 3–14.
11. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 345 с.
12. Савва Н.Е. Эволюция видообразования минералов серебра в эпитермальных месторождениях северо-востока России: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Магадан, 1998, 38 с.
13. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК. НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА. 2001. 571 с.
14. Шошин В.В., Вишневский А.Г. Оловянное оруденение одного из рудных узлов северо-востока Якутии и его взаимоотношение с золотым и сурьмяным оруденением // Геология и минералогия рудных узлов Яно-Колымской складчатой области, Якутск: ЯФАН СССР, 1984. С. 72–79.
15. Юргенсон Г.А. Типоморфизм рудоносного жильного кварца. М.: Недра, 1984. 150 с.
16. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford: Blackwell, 1985.

*Рекомендована к печати И.Ю. Рассказовым*

*G.N. Gamyagin, N.A. Goryachev, O.V. Vikentjeva*

#### **Kysylga – gold-silver deposit in the terrigenous units of the Verkhoyansk-Kolyma mesozoids**

Mineralogical and geochemical features of the Kysylga gold ore deposit located in hornfelsed Norian sedimentary rocks and classified with low sulfide gold-quartz type of the deposits typical for the Verkhoyansk-Kolyma metallogenic province. The deposit is assigned to gold-silver type, based on the detailed typomorphic investigation of major minerals of ore veins – quartz, arsenopyrite and gold. Mineralogical and geochemical evidence substantiate this conclusion.

**Key words:** mineralogical-geochemical features, mineral typomorphism, mineralogical zonation, REE distribution, gold-silver deposit, Verkhoyansk-Kolyma fold belt.