

УДК 553.411.071

МИНЕРАЛОГИЯ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД КОНТРОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УЧАЛИНСКИЙ РАЙОН, БАШКОРТОСТАН)

М.В. Заботина¹, Ю.Д. Крайнев²

Институт минералогии УрО РАН, 456317, Россия, г. Миасс, Ильменский заповедник.

Золотоносные сульфидные руды группы Контрольных месторождений представлены вкрапленными и прожилково-вкрапленными (пиритными, полиметаллическими), полосчатыми полиметаллическими и массивными пиритными разновидностями.

Основным рудным минералом вкрапленных сульфидных руд является пирит, второстепенными – сфалерит, халькопирит, галенит, редким – золото. Пирит-полиметаллические руды состоят из пирита, галенита, сфалерита, блеклой руды ряда теннантит-тетраэдрит, обогащенной серебром, халькопирита и золота. В качестве вторичных минералов развиваются ковеллин и халькозин. Реликты слоистости, фрамбоидальных и конкреционных форм сульфидов свидетельствуют о вулканогенно-осадочном генезисе руд.

Околорудные барит-кварц-серицитовые метасоматиты, развитые по лавокластитам, ксенокластолавам и лавобрекчиям основного-среднего состава, текстурно-структурные и минералогические особенности руд типичны для колчеданно-полиметаллических месторождений баймакского типа. При этом наличие в рудах реликтов фрамбоидального, колломорфного и конкреционного пирита свидетельствует о его формировании в условиях резкого пересыщения растворов, которое может быть реализовано только при смещении горячего восстановительного металлоносного флюида с холодной окислительной морской водой. Этот процесс, вероятно, был синхронным с вулканизмом и незначительным накоплением вулканокластических осадков. Образование конкреций, атоллоидных форм и замещение ангидрита пиритом, пирита – ассоциацией сульфидов цинка и свинца обязано дальнейшему взаимодействию морской воды с первичными сульфидами и более поздними порциями гидротермальных растворов.

Ключевые слова: полиметаллические руды; золото; Контрольное месторождение; колчеданный тип; Учалинский район.

MINERALOGY OF KONTROLNOE DEPOSIT GOLD POLYMETALLIC ORES (UCHALY REGION, BASHKORTOSTAN)

M.V. Zabolina, Yu.D. Krainev

Institute of Mineralogy UB RAS, Ilmen reserve, Miass, 456317, Russia.

Gold sulfide ores of the group of Kontrolnoe deposits are represented by disseminated and stringer-porphyry (pyrite and polymetallic), banded polymetallic, and massive pyrite types.

The main ore mineral of disseminated sulfide ores is pyrite, minor minerals are represented by sphalerite, chalcopyrite and galena, rare mineral is gold. Pyrite-polymetallic ores consist of pyrite, galena, sphalerite, fahlerz of tennantite-tetrahedrite series enriched with silver, chalcopyrite and gold. Secondary minerals are covellite and chalcocite. Stratiform relics of framboidal and concretion sulfides are indicative of volcanic-sedimentary genesis of ores.

Wallrock barite-quartz-sericite metasomatites are developed in lavoclastite, xenoclastolava and lava breccia of basic-intermediate composition. Structural, textural and mineralogical features of ores are typical for pyrite-polymetallic VHMS deposits of the Baimak type. The presence of Framboidal, colloform and concretion pyrite in relic ores proves its formation under conditions of sharp supersaturated solutions that occur only by mixing of a hot metalliferous reducing fluid with cold oxidizing seawater. Apparently, this process was synchronous with volcanism and insignificant accumulation of volcanoclastic sediments. Formation of concretions, atoll-shaped

¹Заботина Мария Владимировна, аспирант, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: mary_7-88@mail.ru

Zabolina Maria, Postgraduate, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: mary_7-88@mail.ru

²Крайнев Юрий Дмитриевич, кандидат геолого-минералогических наук, тел.: (3513) 574012, (3513) 298098, факс: (3513) 570286, e-mail: j.kraynew@mail.ru

Krainev Yuri, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, tel.: (3513) 574012, (3513) 298098, fax: (3513) 570286, e-mail: j.kraynew@mail.ru

forms and substitution of anhydrite by pyrite, pyrite by an association of zinc and lead sulfides are caused by further interaction of seawater with primary sulfides and later portions of hydrothermal solutions.

Keywords: polymetallic ores; gold; Kontrolnoe deposit; VHMS deposit type; Uchaly region.

Введение. Учалинский район Башкирии известен как классический колчеданосный район. Колчеданные месторождения и золото-сульфидные вулканогенные проявления здесь локализованы [11] преимущественно в карамалыташской вулканогенно-осадочной толще (D₂ ef-zv kr). В пределах района находится Курпалинское рудное поле, которое объединяет разрабатывавшиеся золотоносные «шляпы» месторождений Курпалы и Контрольного (участки Контрольное I и III, Южно-Контрольное) и ряд рудопроявлений (Березки, Высоковольтное, Кротовые норки, Ялшанское).

Месторождение Контрольное разрабатывалось в середине прошлого века на участке Контрольное I, окисленные руды участков Контрольное III и Южно-Контрольное отрабатывались в 2007–2009 гг. Руды перерабатывались методом кучного выщелачивания. При достижении смешанных и сульфидных руд, несмотря на высокие содержания в них золота и серебра, добыча была приостановлена. На данный момент участок Контрольное III рекультивирован. В 2014 г. произведена вскрыша сульфидного тела. Перспективы возобновления отработки обусловили необходимость проведения минералого-петрографических исследований.

Ранее считалось, что месторождения Контрольной группы локализованы в зонах метасоматитов, развитых по вулканогенным породам карамалыташской свиты (D₂ ef-zv kr) в тектонических швах, т.е. золотоносная минерализация имеет орогенную природу (В.А. Крылатов и др., 2006). Соответственно, поисковые работы в районе ориентировались на поиск рудоносных тектонических структур. Однако при отработке выяснилось, что рудоносные метасоматиты приурочены к кровле лавовых потоков порфировых базальтов, андезитобазальтов, андезито-дацитов, дацитов и

горизонтам кластолав и пирокластики. Наличие литологического и стратиграфического контроля оруденения указывает на то, что первичное накопление золотоносных сульфидов на месторождениях изучаемой группы происходило синхронно с вулканизмом [1, 2].

Методы исследования. Отбор проб руд и вмещающих пород осуществлялся в карьере и керне поисковых скважин точечным, бороздовым и штупным способами с учетом минерального состава и макроскопических отличий в текстурно-структурных особенностях.

Минералого-петрографическое изучение руд и вмещающих пород проводилось с помощью поляризационных микроскопов (ПОЛАМ-Р113, ПОЛАМ-312, Axiolab CZ, Olympus BX51, Neophot 2) с цифровыми приставками.

Определение состава минералов выполнялось при помощи сканирующего электронного микроскопа (Институт минералогии УрО РАН) РЭММА-202М с энергодисперсионным анализатором (аналитик В.А. Котляров) и микрозонда JXA-733 (аналитик Ю. Крайнев).

Краткая характеристика Контрольного месторождения. Контрольное месторождение золота объединяет несколько участков с промышленной минерализацией (Контрольное I, III и Южно-Контрольное) и находится в 20 км к юго-юго-востоку от г. Учалы в пределах Восточно-Утлыкташской площади, которая расположена в Учалинско-Александринской золото-цинк-медноколчеданной зоне [7]. Наиболее перспективными участками являются Контрольное III и Южно-Контрольное (В.М. Мосейчук, 2006).

В формировании месторождений участвуют вулканогенно-осадочный комплекс риолит-базальтовой формации карамалыташской свиты александринской толщи [1, 2].

Залегание пород субмеридиональное. Характерны многочисленные разрывные нарушения, зоны дробления и трещиноватости. На месторождениях получили распространение дайки диабазов и субвулканические кварц-плагиоклазовые дациты и риодациты (В.А. Крылатов и др., 2006).

Вмещающие породы в восточной части карьеров представлены преимущественно базальтами, андезитобазальтами, в западной – дацитами. Контакт между породами основного и кислого составов нерезкий, что позволяет рассматривать эти породы составляющими единого лавового потока. Непосредственно рудоносными являются серицит-кварцевые метасоматиты, развитые преимущественно по лавобрекчиям и кластолавам дацитов.

Рудные тела выделялись по данным опробования, их мощность невыдержанная и составляет 4–6, реже – до 7–8 м. По простиранию они прослеживаются в субмеридиональном направлении на 100–140 м. Обычно они крутопадающие и имеют жилообразную, линзовидную и более сложные формы.

Минералогия руд. На месторождениях Южно-Контрольное и Контрольное III первичные руды представляют собой сульфидную и барит-полиметаллическую минерализацию, распространенную в метасоматически измененных дацитах, андезито-дацитах, их лавобрекчиях и вулканокластитах.

Основной объем руд представлен вкрапленными и прожилково-вкрапленными разновидностями, отмечаются участки сплошных и полосчатых полиметаллических руд. Среднее содержание золота в первичных рудах составляет 1–3 г/т. В южной части Южно-Контрольного месторождения присутствуют линзы полосчатых сульфидно-баритовых, сульфидно-кварц-баритовых руд, содержания золота в которых достигают 10 г/т, а серебра – 500 г/т. Процессы окисления привели к образованию охристых лимонитизированных разновидностей, замещающих вкрапленные

руды, и кварц-баритовых, развитых по сплошным и полосчатым рудам.

Основным рудным минералом вкрапленных сульфидных руд является пирит, второстепенными – сфалерит, халькопирит, галенит, редким – золото. Барит-полиметаллические руды состоят из пирита, галенита, сфалерита, блеклой руды ряда теннантит-тетраэдрит, обогащенной серебром, халькопирита и золота. В качестве вторичных минералов развиваются ковеллин и халькозин. Нерудная часть представлена кварцем, баритом, серицитом, эпидотом [1].

Пирит преимущественно мелкозернистый (0,1–0,5 мм), тонкозернистый (0,05–0,1 мм), редко крупнозернистый (1–2 мм), представлен несколькими морфологическими разновидностями.

Пирит-1 представлен фрамбоидами диаметром 0,05–0,3 мм. Скопления фрамбоидов часто согласны со сланцеватостью серицитовых участков. Часто фрамбоидальный пирит концентрируется в центре пиритовых скоплений, образует скопления в галенит-сфалеритовом и халькопиритовом агрегатах. При травлении азотной кислотой фрамбоиды быстро разрушаются, оставляя тонкий кристаллический пирит.

Пирит-1а представлен реликтами колломорфного строения, которые образуют кристаллическим зональным пиритом-2.

Пирит-1б наблюдается в виде атоллоидных и фестончатых структур в нерудной матрице и является продуктом перекристаллизации колломорфных почек. Структуры пирита первой группы свидетельствуют о быстром осаждении из значительно пересыщенных растворов [3, 4, 10], что соответствует его сингенетическому происхождению.

Пирит-2 образует конкреции, диаметр которых варьирует от 0,05 до 0,2 мм. Часто затравками для конкреций служит фрамбоидальный пирит-1. Из пирита-2а состоит сплошной тонкозернистый агрегат, образующий прослой и линзы в серицит-кварцевых сланцеватых метасоматитах, образованных по

тонкой вулканокластике. В этих линзах иногда сохраняются метаколлоидные агрегаты с реликтами удлиненно-призматических выделений нерудного минерала, сходного по форме и наличию реликтов спайности с первично-осадочным ангидритом, широко распространенным на современных субмаринных гидротермальных полях [5]. По-видимому, формирование конкреций и тонкозернистых линз с псевдоморфозами пирита по ангидриту (?) происходило при раннедиагенетическом преобразовании вулканокластике.

Преобладающий в рудах *пирит-3* встречается в виде идиоморфных и гипидиоморфных кубических и пентагондодекаэдрических кристаллов, размер которых составляет 0,1–0,5 мм. Реже на их фоне встречаются более крупные трещиноватые кристаллы размером до нескольких миллиметров и корродированные зерна. Пирит-3 преимущественно однородный с единичными включениями сфалерита, галенита, халькопирита и блеклой руды. При травлении азотной кислотой проявляются пойкилитовые структуры (мелкие кристаллы пирита, заключенные в крупный кристалл пирита) и зональность пирита, отражающая смену ростовых форм. Иногда зоны подчеркнуты галенитом и блеклой рудой.

Пирит-3а представлен катаклазированными субгедральными зернами, размер которых достигает 1–2 мм, содержит многочисленные включения нерудных минералов, а также сфалерита, галенита, халькопирита, реже блеклой руды. Пирит третьей группы является, по-видимому, результатом медленной кристаллизации из гидротермальных растворов в толще породы, а также частично – продуктом переотложения сингенетического пирита.

Сфалерит, блеклая руда и галенит образуют сложные взаимные сростания.

Сфалерит образует гипидиоморфные, слабо вытянутые зерна близкой к эллиптической формы размером около 0,1–0,5 мм. Участками сфалерит

корродирован галенитом, халькопиритом, блеклой рудой. При травлении азотной кислотой проявляются полисинтетические двойники. В сфалеритовом матриксе часто наблюдается густая вкрапленность эвгедральных и субгедральных кристаллов пирита. Сфалерит встречается в виде пятен, скоплений крупных порфирированных зерен размером 1,5–2 мм, линзообразных выделений в пиритовом агрегате. Зерна трещиноватые, содержат единичные включения блеклой руды, галенита и нерудных минералов, по трещинам развивается ковеллин.

Галенит образует ксеноморфные сростания со сфалеритом, блеклой рудой, участками с халькопиритом и пиритом, реже собственные крупные скопления и линзы, вытянутые согласно общей полосчатости. Размер линз составляет порядка 0,1×0,15 мм. Галенит заполняет интерстициальное пространство между зернами сфалерита, иногда сфалерита и халькопирита. При травлении азотной кислотой в галените наблюдаются тонкие (до 0,001 мм) идиоморфные полнокристаллические или скелетные структуры.

Блеклая руда представлена гипидиоморфными и ксеноморфными зернами размером до 0,1–0,2 мм. Тесно ассоциирует со сфалеритом и пиритом. Участками блеклая руда совместно с халькопиритом корродирует сфалерит. Блеклые руды по составу переменны, относятся к железисто-цинковистым теннатитам, смешанному ряду теннатит-тетраэдрит, реже к тетраэдритам с единичными находками, близкими к фрайбергиту. В составе блеклых руд всегда содержатся примесь серебра, мас. %: 0,44–2,75, до 12,47 во фрайбергите (рис. 1, табл. 1, 2). *Халькопирит* встречается в виде ксеноморфных зерен размером 0,05–0,5 мм, образует сростания с галенитом, блеклой рудой, редкие мелкие вкрапленники в сфалерите, галените, реже обрастает вокруг пирита, «облекает» зерна сфалерита. Содержит

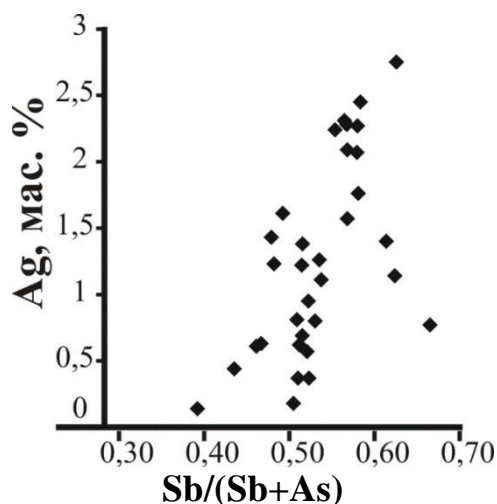


Рис. 1. Вариации составов блеклых руд (фрайбергит не приведен)

включения галенита, пирита, редко сфалерита и блеклой руды.

Ковеллин участками образует сплошные выделения, развивается по сфалериту, галениту и блеклой руде вплоть до полного их замещения, образует каемки вокруг них, отмечен в трещинах этих минералов, редко встречается в сростках с пиритом, характеризуется повышенными концентрациями серебра (на качественном уровне).

Халькозин совместно с ковеллином образует каемки вокруг сфалерита и халькопирита.

Таблица 1

Состав блеклых руд, мас. %

Номер лабораторной пробы		Химический элемент						
		Cu	Ag	Fe	Zn	As	Sb	S
16199j	содержание	41,56	0,44	2,3	4,68	13,53	10,42	26,92
	формула	$(Cu_{9,94}Ag_{0,06})_{10}(Cu_{0,18}Zn_{1,11}Fe_{0,64})_{1,93}(As_{2,8}Sb_{1,33})_{4,12}S_{13}$						
16199k	содержание	42,2	0,63	2,06	5,29	12,08	10,57	26,93
	формула	$(Cu_{9,91}Ag_{0,09})_{10}(Cu_{0,37}Zn_{1,25}Fe_{0,57})_{2,19}(As_{2,5}Sb_{1,34})_{3,84}S_{13}$						
16199l	содержание	40,86	1,26	1,62	5,71	11,03	12,68	26,51
	формула	$(Cu_{9,82}Ag_{0,18})_{10}(Cu_{0,29}Zn_{1,37}Fe_{0,46})_{2,12}(As_{2,31}Sb_{1,64})_{3,95}S_{13}$						
16199m	содержание	41,02	0,14	2,11	5,98	14,63	9,42	26,68
	формула	$(Cu_{9,98}Ag_{0,02})_{10}(Cu_{0,10}Zn_{1,43}Fe_{0,59})_{2,12}(As_{3,05}Sb_{1,21})_{4,26}S_{13}$						
16200b	содержание	39,91	0,77	1,71	6,06	8,36	16,59	26,27
	формула	$(Cu_{9,89}Ag_{0,11})_{10}(Cu_{0,07}Zn_{1,47}Fe_{0,49})_{2,03}(Sb_{2,16}As_{1,77})_{3,93}S_{13}$						
16203d	содержание	41,18	1,11	1,77	5,7	11,11	12,89	26,24
	формула	$(Cu_{9,84}Ag_{0,16})_{10}(Cu_{0,45}Zn_{1,38}Fe_{0,50})_{2,33}(As_{2,36}Sb_{1,68})_{4,04}S_{13}$						
16205b	содержание	40,17	1,4	1,28	6,1	9,51	15,1	26,08
	формула	$(Cu_{9,79}Ag_{0,21})_{10}(Cu_{0,31}Zn_{1,49}Fe_{0,37})_{2,17}(As_{2,03}Sb_{1,98})_{4,01}S_{13}$						
16207a	содержание	40,66	12,47	1,48		11,1	8,41	25,65
	формула	$(Cu_{8,12}Ag_{1,88})_{10}(Cu_{2,28}Fe_{0,43})_{2,71}(As_{2,41}Sb_{1,12})_{3,53}S_{13}$						

Примечание: анализы проводились на СЭМ РЭММА-202М с энергодисперсионным анализатором (аналитик В.А. Котляров, ИМин УрО РАН) и микрозонде JXA-733 (аналитик Ю. Крайнев).

Таблица 2

Состав блеклых руд по данным микрозондового анализа, мас. %

Номер лабораторной пробы		Химический элемент							Сумма
		Fe	Cu	Zn	Ag	Sb	As	S	
14135a	содержание	0,68	40,11	6,54	1,57	13,96	10,63	25,79	99,26
	формула	$(Cu_{9,76}Ag_{0,24})_{10}(Cu_{0,44}Zn_{1,62}Fe_{0,2})_{2,26}(As_{2,29}Sb_{1,85})_{4,14}S_{13}$							
14135b	содержание	1,19	40,06	6,49	1,76	14,42	10,41	25,83	100,16
	формула	$(Cu_{9,74}Ag_{0,26})_{10}(Cu_{0,43}Zn_{1,60}Fe_{0,34})_{2,37}(As_{2,24}Sb_{1,91})_{4,15}S_{13}$							
14135c	содержание	1,05	39,29	6,73	2,45	14,44	10,33	25,48	99,76
	формула	$(Cu_{9,63}Ag_{0,37})_{10}(Cu_{0,48}Zn_{1,68}Fe_{0,31})_{2,47}(As_{2,26}Sb_{1,94})_{4,2}S_{13}$							
14135d	содержание	1,08	40,18	6,41	1,14	15,93	9,62	25,95	100,31
	формула	$(Cu_{9,83}Ag_{0,17})_{10}(Cu_{0,33}Zn_{1,58}Fe_{0,31})_{2,22}(Sb_{2,1}As_{2,06})_{4,16}S_{13}$							

14135e	содержание	1,15	38,6	6,3	2,07	14,45	10,51	25,87	98,95
	формула	$(\text{Cu}_{9,69}\text{Ag}_{0,31})_{10}(\text{Cu}_{0,1}\text{Zn}_{1,55}\text{Fe}_{0,33})_{1,98}(\text{As}_{2,26}\text{Sb}_{1,91})_{4,17}\text{S}_{13}$							
14135f	содержание	1,16	39,61	6,41	2,09	14,35	10,92	25,99	100,53
	формула	$(\text{Cu}_{9,69}\text{Ag}_{0,31})_{10}(\text{Cu}_{0,31}\text{Zn}_{1,57}\text{Fe}_{0,33})_{2,21}(\text{As}_{2,34}\text{Sb}_{1,89})_{4,23}\text{S}_{13}$							
14135g	содержание	1,13	39,11	6,3	2,28	14,01	10,7	26,15	99,67
	формула	$(\text{Cu}_{9,66}\text{Ag}_{0,34})_{10}(\text{Cu}_{0,15}\text{Zn}_{1,54}\text{Fe}_{0,32})_{2,01}(\text{As}_{2,28}\text{Sb}_{1,83})_{4,11}\text{S}_{13}$							
14135h	содержание	1,08	38,95	6,31	2,31	13,85	10,69	26,24	99,43
	формула	$(\text{Cu}_{9,66}\text{Ag}_{0,34})_{10}(\text{Cu}_{0,08}\text{Zn}_{1,53}\text{Fe}_{0,31})_{1,92}(\text{As}_{2,27}\text{Sb}_{1,81})_{4,08}\text{S}_{13}$							
14135i	содержание	1,21	40,03	6,31	2,24	13,15	10,61	26,07	99,62
	формула	$(\text{Cu}_{9,67}\text{Ag}_{0,33})_{10}(\text{Cu}_{0,4}\text{Zn}_{1,54}\text{Fe}_{0,35})_{2,29}(\text{As}_{2,26}\text{Sb}_{1,73})_{3,99}\text{S}_{13}$							
14135k	содержание	1,24	38,91	6,4	2,27	13,99	10,14	25,81	98,75
	формула	$(\text{Cu}_{9,66}\text{Ag}_{0,34})_{10}(\text{Cu}_{0,23}\text{Zn}_{1,58}\text{Fe}_{0,36})_{2,17}(\text{As}_{2,19}\text{Sb}_{1,86})_{4,05}\text{S}_{13}$							
14135l	содержание	1,29	39,15	6,28	2,75	15,33	9,18	25,88	99,85
	формула	$(\text{Cu}_{9,59}\text{Ag}_{0,41})_{10}(\text{Cu}_{0,33}\text{Zn}_{1,55}\text{Fe}_{0,37})_{2,25}(\text{Sb}_{2,03}\text{As}_{1,97})_{4,0}\text{S}_{13}$							
14136a	содержание	1,5	40,22	5,68	1,23	11,41	12,28	26,46	98,78
	формула	$(\text{Cu}_{9,82}\text{Ag}_{0,18})_{10}(\text{Cu}_{0,15}\text{Zn}_{1,37}\text{Fe}_{0,42})_{1,94}(\text{As}_{2,58}\text{Sb}_{1,48})_{4,06}\text{S}_{13}$							
14136b	содержание	1,58	40,39	5,95	0,61	11,03	12,9	26,65	99,12
	формула	$(\text{Cu}_{9,91}\text{Ag}_{0,09})_{10}(\text{Cu}_{0,03}\text{Zn}_{1,42}\text{Fe}_{0,44})_{1,89}(\text{As}_{2,69}\text{Sb}_{1,42})_{4,11}\text{S}_{13}$							
14136c	содержание	1,42	40,49	6,08	0,69	12,63	11,91	26,23	99,45
	формула	$(\text{Cu}_{9,9}\text{Ag}_{0,1})_{10}(\text{Cu}_{0,23}\text{Zn}_{1,48}\text{Fe}_{0,4})_{2,11}(\text{As}_{2,53}\text{Sb}_{1,65})_{4,18}\text{S}_{13}$							
14136d	содержание	1,53	41,05	5,93	1,43	11,25	12,26	26,39	99,85
	формула	$(\text{Cu}_{9,79}\text{Ag}_{0,21})_{10}(\text{Cu}_{0,41}\text{Zn}_{1,43}\text{Fe}_{0,43})_{2,27}(\text{As}_{2,58}\text{Sb}_{1,46})_{4,04}\text{S}_{13}$							
14136e	содержание	1,49	40,59	6,41	0,81	12,39	11,98	26,42	100,08
	формула	$(\text{Cu}_{9,88}\text{Ag}_{0,12})_{10}(\text{Cu}_{0,2}\text{Zn}_{1,55}\text{Fe}_{0,42})_{2,17}(\text{As}_{2,52}\text{Sb}_{1,61})_{4,13}\text{S}_{13}$							
14136f	содержание	1,41	40,29	5,93	1,38	12,37	11,64	26,6	99,6
	формула	$(\text{Cu}_{9,8}\text{Ag}_{0,2})_{10}(\text{Cu}_{0,14}\text{Zn}_{1,42}\text{Fe}_{0,4})_{1,96}(\text{As}_{2,43}\text{Sb}_{1,59})_{4,02}\text{S}_{13}$							
14136g	содержание	1,43	40,9	6,31	0,37	12,62	11,53	26,59	99,75
	формула	$(\text{Cu}_{9,95}\text{Ag}_{0,05})_{10}(\text{Cu}_{0,14}\text{Zn}_{1,51}\text{Fe}_{0,4})_{2,05}(\text{As}_{2,41}\text{Sb}_{1,62})_{4,03}\text{S}_{13}$							
14136h	содержание	1,31	40,51	6,4	0,57	12,54	11,56	27,03	99,93
	формула	$(\text{Cu}_{9,83}\text{Ag}_{0,08})_{9,91}(\text{Zn}_{1,51}\text{Fe}_{0,36})_{1,87}(\text{As}_{2,38}\text{Sb}_{1,59})_{3,97}\text{S}_{13}$							
14136i	содержание	1,45	40,17	6,06	1,22	12,19	11,52	26,59	99,2
	формула	$(\text{Cu}_{9,82}\text{Ag}_{0,18})_{10}(\text{Cu}_{0,09}\text{Zn}_{1,45}\text{Fe}_{0,41})_{1,95}(\text{As}_{2,41}\text{Sb}_{1,57})_{3,98}\text{S}_{13}$							
14136k	содержание	1,33	40,42	6,16	0,8	12,45	11,04	26,95	99,14
	формула	$(\text{Cu}_{9,84}\text{Ag}_{0,11})_{9,95}(\text{Zn}_{1,46}\text{Fe}_{0,37})_{1,83}(\text{As}_{2,28}\text{Sb}_{1,58})_{3,86}\text{S}_{13}$							
14136l	содержание	1,43	40,47	6,04	0,18	11,91	11,7	26,78	98,51
	формула	$(\text{Cu}_{9,91}\text{Ag}_{0,03})_{9,94}(\text{Zn}_{1,44}\text{Fe}_{0,4})_{1,84}(\text{As}_{2,43}\text{Sb}_{1,52})_{3,95}\text{S}_{13}$							
14136m	содержание	1,43	40,23	5,73	1,61	11,56	11,94	26,73	99,23
	формула	$(\text{Cu}_{9,77}\text{Ag}_{0,23})_{10}(\text{Cu}_{0,1}\text{Zn}_{1,37}\text{Fe}_{0,4})_{1,87}(\text{As}_{2,49}\text{Sb}_{1,48})_{3,97}\text{S}_{13}$							
14136n	содержание	1,45	39,57	5,85	0,95	12,51	11,45	26,58	98,34
	формула	$(\text{Cu}_{9,77}\text{Ag}_{0,14})_{9,91}(\text{Zn}_{1,4}\text{Fe}_{0,41})_{1,81}(\text{As}_{2,4}\text{Sb}_{1,61})_{4,01}\text{S}_{13}$							
14136o	содержание	1,46	41,21	6,06	0,37	11,95	11,49	26,79	99,33
	формула	$(\text{Cu}_{9,95}\text{Ag}_{0,05})_{10}(\text{Cu}_{0,14}\text{Zn}_{1,44}\text{Fe}_{0,41})_{1,99}(\text{As}_{2,39}\text{Sb}_{1,53})_{3,92}\text{S}_{13}$							
14136p	содержание	1,4	40,09	6,04	0,62	12,4	11,85	26,33	98,72
	формула	$(\text{Cu}_{9,91}\text{Ag}_{0,09})_{10}(\text{Cu}_{0,08}\text{Zn}_{1,44}\text{Fe}_{0,4})_{1,94}(\text{As}_{2,5}\text{Sb}_{1,61})_{4,11}\text{S}_{13}$							

Примечание: анализы проводились на микрозонде JXA-733 (аналитик Ю.Д. Крайнев, ИМин УрО РАН). Содержания Mn, Ni, Cd, Hg, Pb, Bi, Te, Se ниже предела обнаружения. Пределы обнаружения: Fe (<0,054), Mn (<0,042), Ni (<0,043), Cu (<0,044), Zn (<0,055), Ag (<0,102), Cd (<0,114), Hg (<0,232), Pb (<0,332), Bi (<0,281), Sb (<0,076), Te (<0,062), As (<0,129), Se (<0,155), S (<0,069).

Золото в сульфидных рудах встречается в виде мелких включений в сульфидах, где может как иметь округлые очертания, так и заполнять трещины, являясь более поздним по отношению к минералу-хозяину. Также золото встречается в сростаниях с сульфидами и в виде тонких волосовидных просечек в нерудных минералах.

Во вкрапленных рудах золото приурочено к пириту, образует в нем включения пластинчатой формы и сростается с ним. В барит-полиметаллических рудах золото приурочено к блеклым рудам, реже сфалериту и трещинам в нерудных минералах. В теннантите золото образует тонкие включения и просечки, в сфалерите – вытянутые и идиоморфные включения, в галените встречается редко. Размер выделений золота варьирует от 3 до 50 мкм. Золото по окраске неоднородное. Состав золота варьирует. Содержание се-

ребра, мас. %: в золоте из теннантита – 24,2–29,67; в трещинах нерудных минералов – 19,36–30,02 (табл. 3). Тонкое золото во включениях в ковеллине, имеющее гипергенное происхождение, содержит 15,96 мас. % серебра. Реликты золота в минералах окисленных руд по составу сходны с золотом из руд сульфидных.

Обсуждение. Генезис золото-сульфидных руд Контрольных месторождений является дискуссионным. С одной стороны, по минеральному составу и приуроченности к контакту между вулканическими потоками, ассоциации с кварц-серицитовыми метасоматитами, месторождения близки к колчеданному семейству, сформировавшемуся на морском дне палеобассейна или вблизи его. С другой стороны, отсутствие заметных толщ осадочных пород, указывающих на перерывы в вулканизме, которые и

Таблица 3

Состав золота, мас. %

Номер лабораторной пробы	Cu	Ag	Au	Формула	Примечание
Yuk-ib2,16199a	3,73	25,46	70,09	$Au_{0,55}Ag_{0,36}Cu_{0,09}$	золото из теннантита
16199b	0,88	26,35	72,53	$Au_{0,59}Ag_{0,39}Cu_{0,02}$	
16199c	1,57	25,82	72,41	$Au_{0,58}Ag_{0,38}Cu_{0,04}$	
16199d	2,2	24,99	72,4	$Au_{0,58}Ag_{0,37}Cu_{0,05}$	
16199e	1,5	29,67	68,85	$Au_{0,54}Ag_{0,42}Cu_{0,04}$	
16199f	0,68	24,39	74,6	$Au_{0,62}Ag_{0,37}Cu_{0,02}$	
16199g	1,14	27,64	70,64	$Au_{0,57}Ag_{0,40}Cu_{0,03}$	
16199h	0,84	24,2	74,68	$Au_{0,61}Ag_{0,36}Cu_{0,02}$	
16199i	0,8	25,82	72,87	$Au_{0,59}Ag_{0,38}Cu_{0,02}$	
16200a	6,07	30,02	63,36	$Au_{0,46}Ag_{0,40}Cu_{0,14}$	золото из кварц-баритовых трещин
16202a	1,13	23,34	75,57	$Au_{0,62}Ag_{0,35}Cu_{0,03}$	
16202b	0,28	21,48	77,97	$Au_{0,66}Ag_{0,33}Cu_{0,01}$	
16202c	1,26	19,36	78,72	$Au_{0,67}Ag_{0,30}Cu_{0,03}$	
16202d	1	27,25	71,68	$Au_{0,58}Ag_{0,40}Cu_{0,02}$	золото из халькозина
16205d	–	15,96	83,6	$Au_{0,74}Ag_{0,26}Cu_{<0,01}$	
1673a	–	28,58	71,15	$Au_{0,58}Ag_{0,42}$	золото из малахита
1673b	–	31,11	68,51	$Au_{0,55}Ag_{0,45}$	–
1673c	–	29,36	70,46	$Au_{0,57}Ag_{0,43}$	
1673d	–	29,58	70,21	$Au_{0,57}Ag_{0,43}$	
1673e	–	29,93	70,06	$Au_{0,56}Ag_{0,44}$	

Примечание: анализы проводились на СЭМ РЭММА-202М с энергодисперсионным анализатором (аналитик В.А. Котляров, ИМинУрО РАН).

фиксируются отложением массивных и кластогенных колчеданных руд, позволяет предполагать их возможное сходство с гидротермальными барит-полиметаллическими жилами, образование которых не связано с взаимодействием вулканогенных гидротерм и морской воды.

При этом наличие в рудах реликтов фрамбоидального, колломорфного и конкреционного пирита свидетельствует о его формировании в условиях резкого пересыщения растворов, которое может быть реализовано только при смешении горячего восстановительного металлоносного флюида с холодной окислительной морской водой. Этот процесс, вероятно, был синхронным с вулканизмом и незначительным накоплением вулканокластических осадков. Образование конкреций, атоллоидных форм и замещение ангидрита пиритом, пирита – ассоциацией сульфидов цинка и свинца обязано дальнейшему взаимодействию морской воды с первичными сульфидами и более поздними порциями гидротермальных растворов [5].

Сходство составов блеклых руд с выделенными типами на колчеданных месторождениях Учалинского района [8] дает еще одну возможность отнесения Контрольного месторождения к месторождениям, близким колчеданному типу.

В целом экономически важная золотоносность свойственна колчеданным месторождениям баймакского (куроко) типа. Повышенные концентрации серебра в золоте и его тесная ассоциация с барит-галенит-сфалерит-блекловорудной ассоциацией также характерна для колчеданных месторождений этого типа [6, 9].

Выводы. На Контрольных месторождениях основным рудным минералом вкрапленных руд является пирит, реже встречаются сфалерит, халькопирит, галенит. Барит-полиметаллические полосчатые руды состоят из пирита, галенита, сфалерита, блеклой руды ряда теннантит-тетраэдрит, обогащенной се-

ребром, и халькопирита. Нерудная часть представлена кварцем, баритом, серицитом, эпидотом.

Серебро в рудах связано преимущественно с изоморфной примесью в блеклых рудах вплоть до образования собственной минеральной формы – фрайбергита. Блеклые руды по составу переменчивы и сходны с выделенными типами на колчеданных месторождениях Учалинского района. Золото в первичных рудах связано с сульфидами и встречается в виде включений, тонких просечек и сростков с пиритом, сфалеритом, блеклыми рудами и редко галенитом. Золото в нерудных минералах формирует редкие волосовидные прожилки. В составе золота значительна примесь серебра. Размер золотин варьирует от нескольких микрон в сульфидах до 50 мкм в блеклых рудах и в прожилках нерудных минералов.

Реликты фрамбоидальных, колломорфных и конкреционных форм сульфидов свидетельствуют о сингенетическом характере первоначального накопления металлов.

Характерный минеральный состав руд и рудоносных метасоматитов, повышенная золотоносность руд позволяют отнести Контрольные месторождения к баймакскому типу колчеданных месторождений. Уточнение формационной принадлежности месторождения при обогащении первичных руд позволяет ориентироваться на технологии, применяемые при переработке золотоносных колчеданных руд.

Авторы выражают искреннюю благодарность И.Б. Фадиной и Г.Н. Дрокиной (ЗАО «НПФ “БЗДК”») за предоставленную возможность работы в карьерах месторождений.

Работы проводились в рамках госбюджетной темы лаборатории минералогии рудогенеза ИМин УрО РАН.

Библиографический список

1. Белогуб Е.В. Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала:

дис. ... д-ра геолог.-минералог. наук: 25.00.05. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 536 с.

2. Знаменский С.Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2009. 348 с.

3. Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб.: Невский курьер, 1995. 228 с.

4. Лебедев Л.М. Современные рудообразующие системы. М.: Недра, 1975. 261 с.

5. Масленников В.В. Литогенез и колчеданобразование. Миас: Изд-во ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

6. Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / В.А. Прокин, Ф.П. Буслаев, М.И. Исмагилов [и др.]. Свердловск: Изд-во УрО АН СССР, 1988. 242 с.

7. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината

/ И.Б. Серавкин, П.И. Пирожок, В.Н. Скуратов [и др.]. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1994. 328 с.

8. Пшеничный Г.Н., Рыкус Н.Г. Систематика блеклых руд колчеданных месторождений Учалинского рудного поля // Минералогия Урала: мат-лы III регион. сов. Миасс: Изд-во ИМин УрО РАН, 1998. Т. 2. С. 87–90.

9. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана / В.В. Зайков, В.В. Масленников, Е.В. Зайкова, Р. Херрингтон. Миасс: Изд-во ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.

10. Farrand M. Framboidal sulphides precipitated syntetically // Min. Dep. 1970. V. 5. P. 237–247.

11. Prokin V.A., Bushlaev F.P. Massive copper-zinc sulfide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 1999. № 14. С. 1–69.

Рецензент старший преподаватель
Иркутского государственного технического университета М.В. Яхно