

УДК 553.411'435 (470.5)

МИНЕРАЛЫ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В РУДНЫХ ФАЦИЯХ ЗОЛОТО-КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАЙМАКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

© 2011 г. В. В. Зайков, И. Ю. Мелекесцева

Институт минералогии УрО РАН
456317, Челябинская обл., г. Миасс

E-mails: zaykov@mineralogy.ru, melekesteva-irina@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.02.2011 г.

На золото-колчеданно-полиметаллических месторождениях и рудопроявлениях Баймакского рудного района на Южном Урале диагностированы рудные фации, свидетельствующие о различных условиях образования руд в пределах сульфидных построек: придонная гидротермальная, гидротермально-метасоматическая, кластогенная и фация субмаринного гипергенеза. Все разновидности рудных фаций содержат золото, отличающееся по химическому составу. Разброс содержаний Ag (8–49 мас. %) в золоте из придонной гидротермальной и гидротермально-метасоматической фаций связан с первичной минеральной ассоциацией, в золоте из кластогенной и фации субмаринного гипергенеза – обусловлен преобразованием руд и появлением новообразованного золота. Пробность золота из месторождений и рудопроявлений Баймакского рудного района варьирует от 498 до 919. Наименьший разброс пробности характерен для золота из придонной гидротермальной фации, наибольший – для золота из фации субмаринного гипергенеза. Набор элементов-примесей (Cu, Fe, Hg и Te) также сходен для золота из одних рудных фаций, но разных месторождений. Золото в кондуитах из придонной гидротермальной фации характеризуется незначительной примесью Fe, из гидротермально-метасоматической фации – Fe и небольшими примесями Cu, Hg и Te, из фаций, преобразованных субмаринным гипергенезом, – устойчивой примесью Hg (до 10 мас. %), Cu и Te.

Ключевые слова: минералы золота и серебра, рудные фации, колчеданные месторождения, палеостроновая дуга, Баймакский рудный район, Южный Урал.

ВВЕДЕНИЕ

Среди колчеданных месторождений на Урале повышенные содержания благородных металлов свойственны месторождениям баймакского типа [12, 32, 38]. В принятой авторами формационной классификации они относятся к золото-колчеданно-полиметаллической формации [10]. Предыдущие исследователи минералов золота и серебра на колчеданных месторождениях применяли разделение руд на парагенетические ассоциации и минеральные фации [2–4, 24, 25, 28]. Исследователи пришли к выводу, что на состав и морфологию самородного золота влияет степень метаморфического преобразования колчеданных залежей.

Настоящая работа основана на методе рудно-фациального анализа, который учитывает пространственно-временные соотношения и эволюцию минеральных типов руд в пределах сульфидных построек. Объектами исследований стали слабо метаморфизованные месторождения и рудопроявления Баймакского рудного района (рис. 1). Они разрабатывались и разведывались в последние 15–20 лет: Таш-Тау, Балта-Тау, Вишневское, Северный Уваряж, Звездное, Утреннее.

Цель работы заключалась в систематике новых данных по благороднометалльной минерализации в месторождениях Баймакского рудного района и выявлении закономерностей распределения минералов золота и серебра в различных рудных фациях низкой степени метаморфизма.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методологической основой работы явился рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений. Под рудной фацией понимаются рудные скопления со сходными текстурно-структурными, минералогическими и геохимическими признаками, которые образуются в сходных обстановках и в результате одних и тех же процессов [7, 16, 17]. Они слагают рудные тела, или отдельные части рудного тела, отличающиеся от другой части этого же тела важными генетическими признаками, по которым устанавливается механизм рудоотложения. Выявление рудных фаций на конкретных месторождениях зависит от степени вскрытия сульфидных холмов и их изученности. На примере месторождения Таш-Тау показано соотношение рудных фаций, выявленное в результате систематического картирования карьера в 1995–2004 гг. (рис. 2). Выделен-

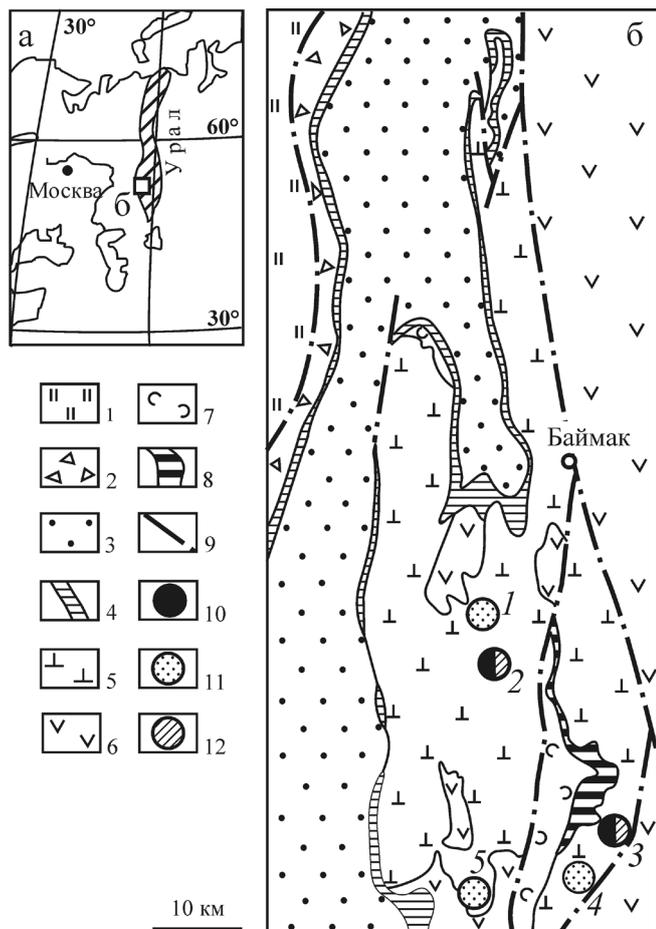


Рис. 1. Положение (а) и схематическая геологическая карта (б) Баймакского рудного района, по [30] с упрощениями и дополнениями.

1 – метаморфические сланцы зоны Урал-Тау, докембрий; 2 – базальтовые и офиолитовые комплексы зоны Главного Уральского разлома, ордовик–нижний девон?; 3 – песчаники, зилайрская свита, нижний девон–верхний карбон; 4 – кремнистые сланцы мукасовского горизонта, верхний девон; 5 – риолиты, дациты, андезибазальты, баймак-бурибайская свита, нижний девон; 6 – андезибазальты, ирендыкская свита, средний девон; 7 – вулканомиктовые отложения, улутауская свита, средний девон; 8 – яшмы, бугулыгырский горизонт, средний девон; 9 – разломы; 10–12 – исследованные рудные фации на месторождениях: 10 – придонная гидротермальная с реконструированными сульфидными холмами и кондуитами, 11 – гидротермально-метасоматическая с прожилково-вкрапленной минерализацией, 12 – субмаринного гипергенеза. Месторождения и рудопроявления: 1 – Северный Уваряж, 2 – Таш-Тау, 3 – Балта-Тау, 4 – Утреннее, Звездное, 5 – Вишневское.

ные рудные фации хорошо проявлены в современных сульфидных постройках в Мировом океане [1], что дает возможность сопоставления рудных полей различного возраста и степени метаморфизма.

Руды *придонной гидротермальной фации* слагают сульфидные постройки и представлены массивными и колломорфными рудами различных ми-

неральных типов. Отсутствие фрагментов вмещающих пород в рудах, зональные, пористые, колломорфные, полосчатые и массивные сульфидные агрегаты являются главными отличительными чертами руд этой фации. По аналогии с современными сульфидными залежами [1], они образовывались на поверхности морского дна в толще воды, вблизи устьев гидротермальных источников. Реликты сульфидных построек на древних колчеданных месторождениях содержат трубы “черных курильщиков” [19], а также рудные жилы с эффектными инкрустациями, которые реконструируются как рудо-подводящие каналы, или “кондуиты” [42]. Нередко “кондуиты” встречаются в центральных частях сульфидных холмов, указывая на пути поступления гидротермальных растворов, реже – в подстилающих метасоматитах.

Руды *гидротермально-метасоматической фации* локализованы в подрудных гидротермально измененных породах. По объему они могут превосходить массивные руды, например, на месторождении Балта-Тау. В составе этой рудной фации развиты системы многочисленных прожилков и жил, сформировавшихся в несколько этапов. Состав жил кварцевый, кварц-серицитовый, кварц-плагиоклазовый с примесью различных сульфидов. Руды этой фации образуются одновременно с придонными гидротермально-осадочными процессами.

Руды *кластогенной фации* образуются в результате разрушения руд различных фаций и формируют последовательный ряд по мере удаления от сульфидного холма: от рудного элювия и коллювия до проксимальных и дистальных рудных турбидитов. Их главные характерные черты: обломочные текстуры (от брекчиевых до псефитовых), градиционная слоистость, совместное нахождение обломков руд и вмещающих пород в пределах слоев.

Руды *субмаринной гипергенной фации* являются продуктом преобразования верхних частей сульфидных построек под воздействием морской воды и локализуются в их кровле и на флангах. Они включают продукты полного окисления (осидно-железистые апосульфидные отложения – госсаниты); выщелачивания (пиритовые песчаники) и вторичного сульфидного обогащения (баритсодержащие борнитовые, сфалеритовые, халькопиритовые, галенитовые руды слоистой текстуры). Главные доказательства их придонного происхождения: закономерная позиция в верхней части разреза колчеданных залежей, находки обломков руд этой фации в вышележащих обломочных отложениях и в ксенолитах дацитовых даек, переслаивание практически мономинеральных слоев с неизменными рудами [7, 15].

Исследование состава минералов золота и серебра проводилось в различных лабораториях на рентгеноспектральных микроанализаторах: JEOL JСХА (ИМин УрО РАН, г. Миасс), JEOL JXA 8900

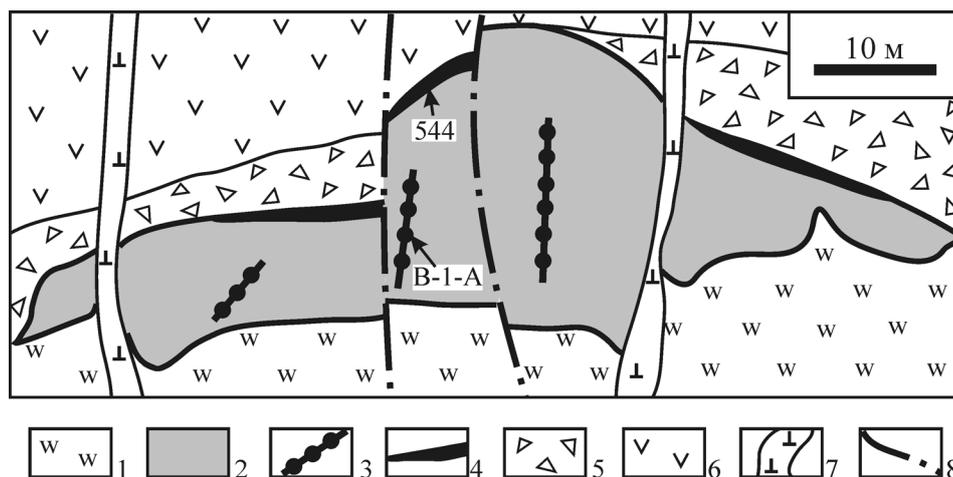


Рис. 2. Схема расположения исследованных рудных фаций в разрезе № 21 месторождения Таш-Тау (составил В.В. Зайков).

1 – гидротермально-метасоматическая фация с прожилково-вкрапленной минерализацией, 2 – придонная гидротермальная фация: реконструированный сульфидный холм с массивными рудами, 3 – кондуиты, 4 – фация субмаринного гипергенеза с борнит-содержащими рудами в кровле сульфидного холма, 5 – дациты с вулканомиктовыми прослоями, 6 – андезиты, 7 – дайки дацитов, 8 – разломы. Номера образцов 544 и В-1-А соответствуют номерам в табл. 1.

(Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия) и *Сатеса SX-50* (Музей естественной истории, г. Лондон, Великобритания), а также на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с ЭДП (ИМин УрО РАН, г. Миасс). Образцы для исследований отбирались в обнажениях рудных тел в карьерах и из разведочных скважин. Проведению исследований способствовало выполнение хозяйственных минералого-геохимических работ для Баймакского и Сибайского филиалов ОАО «Башкиргеология».

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТО-КОЛЧЕДАНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАЙМАКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Геологическому строению и минералогии руд золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района посвящено более 100 работ. Наиболее значительными являются монографии П.Ф. Сопко с соавторами [38], В.А. Прокина [30], И.Б. Серавкина [36] и фундаментальный труд «Медноколчеданные месторождения Урала» [20, 21], подготовленный большой группой специалистов. Результаты геолого-минералогических исследований последних лет в южной части Баймакского района изложены в работах сотрудников Института минералогии УрО РАН [7, 14, 22].

Исследованные месторождения приурочены к баймак-бурибайскому риолит-базальтовому комплексу (рис. 1) и образовались на раннем этапе развития Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги [31]. В составе рудовмещающих отложе-

ний большинством исследователей выделяются две толщи: базальтовая и андезит-дацит-риолитовая. Главные объекты локализованы в средней части разреза второй толщи, а рудные тела месторождения Балта-Тау и Утреннего рудопроявления приурочены к ее кровле.

Минеральный состав гипогенных руд месторождений сходен: главными минералами в тех или иных пропорциях являются пирит, сфалерит и халькопирит, второстепенными – галенит и блеклые руды. На месторождениях Таш-Тау и Балта-Тау также присутствуют борнит, энаргит, дигенит, ковеллин. К редким рудным минералам относятся золото, серебро, гессит, акантит, кервеллеит, пирсеит, Ag-Cu и Ag-Bi-Te сульфиды, теллуровисмутит, алтаит, германит, молибденит [10, 11, 14, 21, 22, 38, 46].

Месторождение Таш-Тау находится в 20 км к юго-западу от г. Баймак, в сводовой части базальтовой гряды, перекрытой потоками андезитов, дацитов и риолитов [14, 20]. Три полого залегающих и не выходящих на дневную поверхность рудных тела сосредоточены в зоне длиной 1.5 км во второй толще баймак-бурибайской свиты. Южное рудное тело (длина 430 м, ширина 80–160 м, мощность 10–25 м) содержит около 70% запасов месторождения (рис. 2). Его основу составляют два сросшихся субгоризонтальных сульфидных холма высотой 20–25 м и диаметром 50–100 м, окруженных шлейфом кластогенных руд мощностью первые метры. Макушка рудного тела нарушена потоком андезитов с проявлениями «бульдозерного эффекта». Отторженцы руд перемещены на несколько метров к западу от основной залежи. Поздней фазой магматической активности являются дайки дацитов, рас-

секающие сульфидную постройку. Они содержат тонкие жилки пренита и пумпеллиита. В риолитах, вмещающих и перекрывающих руды, сохранились первичная перлитовая текстура, также свидетельствующая о низкой степени метаморфизма.

Центральное рудное тело овальной в плане формы размером 40 × 100 м включает небольшую холмообразную постройку, реликты которой представлены линзой сплошных сфалерит-халькопирит-пиритовых руд мощностью 3–8 м, окруженной маломощной пластовой залежью кластогенных руд. В центральной части северного рудного тела (ширина – 10–40 м, длина – 360 м) присутствуют горизонты обломочных руд мощностью 1–15 м, а на северном и южном флангах – горизонт сульфидных песчаников мощностью десятки сантиметров – первые метры. Содержания **Au** и **Ag** в рудах в среднем составляют 3.2 и 27.9 г/т, достигая 20 и 200 г/т в Южном теле. На месторождении выделяются придонная гидротермальная, гидротермально-метасоматическая и фация субмаринного гипергенеза. Ограниченно развиты кластогенная и контактово-метасоматическая рудные фации.

Месторождение Балга-Тау расположено в 23 км к югу от г. Баймак и приурочено к СВ склону вулканической постройки, сложенной андезитами и андезибазальтами с риолит-дацитовыми субвулканическими телами [21]. Рудные тела залегают в апикальной части крупного субвулканического тела андезито-дацитов, локализируются в метасоматитах хлорит-серицит-кварцевого состава и на контакте с вулканогенно-осадочными породами. Псаммитовые разности последних содержат пренит и пумпеллит. Месторождение состоит из двух залежей (Центральной и Юго-Восточной) сложной морфологии с прожилково-вкрапленными и сплошными рудами, часть из которых характеризуется обломочными текстурами. Зона прожилково-вкрапленных руд оконтуривает массивные залежи с боков и подошвы, а над массивными рудами залегают практически мономинеральное линзообразное баритовое тело. В рудах месторождения были выделены придонная гидротермальная, кластогенная фации и фации субмаринного и континентального гипергенеза [9, 10, 15].

Вишневское месторождение находится в 60 км к юго-западу от г. Баймак и залегают в метасоматически измененных дацитах с подчиненным количеством пренитсодержащих андезитов и риолитов [5]. Во вкрапленниках дацитов присутствуют хорошо сохранившиеся многофазные расплавные включения [37], ассоциирующие с выделениями пренита. По данным В.А. Гильмаева и др. [5], на месторождении выделено 15 линзовидных рудных тел мощностью до 40–60 м, объединенных в три залежи. Восточная залежь представляет собой цепочку из 9 рудных тел (длиной до 370 м, шириной 20–180 м, мощностью от 1–2 до 104.6 м), погружаю-

щихся в ЮЮВ направлении. Западная залежь, состоящая из одного крупного и нескольких мелких рудных тел, залегают субпараллельно Восточной в 150–200 м юго-западнее. Крупное рудное тело протяженностью по простиранию 1375 м и вкрест простирания – от 70 до 290 м и СВ падением под углом 5–20° имеет очень сложную морфологию из-за раздувов, пережимов, расщепления рудного тела и переменного качества руд. В пределах Южной залежи сосредоточено два рудных тела. Для руд месторождения характерно широкое развитие прожилково-вкрапленных текстур (вкрапленных, прожилково-вкрапленных, гнездово-вкрапленных, прожилковых, брекчиевидных) по сравнению со сплошными (массивные, полосчатые) разностями руд и высокие содержания благородных металлов в высококачественных рудах – Au (0.6–2.4, до 27 г/т) и Ag (7.4–57.4, до 380 г/т). Керна пробуренных на месторождении скважин характеризуется преобладанием гидротермально-метасоматической фации с кондуитами при подчиненном значении кластогенной [22].

Месторождение Северный Уваряж расположено в 11 км юго-западнее г. Баймак и приурочено к зоне кулисообразных тел серицит-кварцевых метасоматитов по плагиоклазовым дацитам северо-восточного простирания длиной около 7 км с восточным падением [7]. Зона вмещает несколько пунктов минерализации со штокверковыми и сплошными рудами до глубины 200 м. Штокверковые руды с прожилково-вкрапленными и жильными сульфидами и отдельными полосами сплошных метасоматических сульфидно-баритовых руд установлены на северном, наиболее эродированном фланге рудопоявления. Они приурочены к рудоподводящему каналу, осевая часть которого, вероятно, фиксируется богатыми барит-сульфидными жилами. Сплошные руды залегают южнее штокверковых, на склоне предполагаемого купола, на более высоком стратиграфическом уровне. На выклинках и в кровле сплошных руд залегают кластогенные руды с обломками халькопирита и пирита. Сплошные и сопровождающие их обломковидные руды имеют довольно пологое южное склонение и крутое (40–50°) восточное падение. Протяженность по простиранию – 330 м, длина по падению 50–60 м, мощность 3–5 м. Содержания **Au** и **Ag** в рудах составляют 2.3–6.4 г/т (до 25.7 г/т) и 86.5 г/т (до 333.9 г/т), соответственно. В рудах месторождения выделены придонная гидротермальная и кластогенная фации.

Рудопоявление Утреннее находится в 20 км южнее г. Баймак и приурочено к апикальной части и склонам риолит-дацитового купола эйфельского возраста [11]. Оруденение находится непосредственно в эндоконтакте экструзивного купола или опускается вниз по разрезу на 25–30 м. Вмещающие породы метаморфизованы в условиях пренит-пумпеллиитовой фации. Основное рудное тело представлено сплошными и прожилково-

вкрапленными рудами, залегает с пологим восточным падением (от 25–30 до 45°), протяженность его по падению и простиранию – около 250 м. В кровле рудного тела залегают гематит-кварцевые породы с реликтами пиритовых рудокластов, сходные с продуктами придонного окисления сульфидных руд. Под ними развиты золотоносные массивные, полосчатые, плейчатые и пятнистые пирит-баритовые и баритовые руды мощностью 5–6 м (рудный горизонт 1) с рудокластами пирита размером до 1 см, слагающими прослойки мощностью 3–5 см. Ниже располагаются массивные и вкрапленные баритсодержащие сфалерит-пиритовые и халькопирит-сфалерит-пиритовые руды мощностью до 5 м с галенит-сфалеритовыми прожилками (рудный горизонт 2). В подошве сплошных руд залегают прожилково-вкрапленные халькопирит-сфалеритовые и сфалеритовые руды (рудный горизонт 3). Содержания Au в рудах составляют 0.4–18.9 г/т, Ag – 40–647 г/т. В рудах были выделены гидротермально-метасоматическая, кластогенная и субмаринная гипергенная фации.

Рудопроявление Звездное расположено в 22 км к югу от г. Баймак, локализуется в псаммит-псефитовых вулканических отложениях кислого и смешанного состава и сопровождается ореолами серицит-кварцевых, кварц-серицитовых, хлорит-серицит-кварцевых и серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов [11]. Рудные тела примыкают к кровле субвулканического тела кварцевых дацитов либо отделяются от него маломощными (до 1.7 м) интервалами метасоматитов. Контакт дацитов и рудного тела имеет восточное падение под углом 60–80°. В местах раздувов метасоматически преобразованных пород рудные тела фиксируются и на некотором удалении (до 60–70 м) от контакта субвулканического тела. Оруденение изучено на глубинах 300–500 м близ поверхности субвулканического тела кварцевых дацитов. Верхний рудный горизонт слагают халькопирит-пиритовые массивные руды с подчиненным количеством брекчиевых. Среднюю часть рудной залежи слагают пирит-халькопирит-сфалеритовые руды с обломочными текстурными параллельной и градиционной слоистостью, кремнистыми прослоями и гнездами барита. В нижней части рудного тела залегают барит-халькопирит-сфалеритовые прожилково-вкрапленные руды. Содержания Au в рудах составляют 1.6–3.4 г/т, Ag – 17–25.6 г/т. На рудопроявлении диагностируются руды гидротермально-метасоматической и кластогенной фаций.

Приведенная характеристика месторождений свидетельствует о слабом метаморфизме рудовмещающих толщ Баймакского рудного района. В них установлены включения и жилки пренит-пумпеллиитового состава, хорошо сохранившиеся расплавленные включения. Метаморфизм соответствует пренит-пумпеллиитовой фации, что рассматривается Ф. Тернером и Д. Ферхугеном как

переход к диагенезу [27], и не нарушает первичных геохимических характеристик горных пород [13, 20]. Большинство месторождений залегают в слабо дислоцированных толщах. Расчленения рудных тел на отдельные пластины, подобно ситуации на Гайском месторождении, не зафиксировано. Пострудные дислокации выполнены субвертикальными дайками дацитов и локальными разломами; контактовый метаморфизм руд ограниченно представлен проявлен в зальбандах даек.

МИНЕРАЛЫ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В РУДНЫХ ФАЦИЯХ

Придонная гидротермальная фация

Благороднометаллическая минерализация в рудах придонной гидротермальной фации установлена в “кондуитах”. Гидротермальные жилы с овальными и удлиненными поперечными сечениями, заполненные, преимущественно, рудными минералами (сфалеритом и халькопиритом), были реконструированы как “запечатанные” рудоподводящие каналы сульфидных построек. Главными элементами их строения являются концентрические, последовательно нарастающие от периферии к центру сульфидные зоны мощностью от первых миллиметров до 10 см.

На **месторождении Таш-Тау** “кондуиты” располагаются во внутренней части двух сульфидных холмов [14]. Диаметр каналов достигает 30–50 см. В их строении выделяется от 3 до 9 зон. Их внешняя часть образована зоной гигантозернистых (до 5 см) радиальных агрегатов шестоватого сфалерита с включениями халькопирита и теннантита. Внутренняя стенка инкрустирована пластинчатыми кристаллами халькопирита. Центр каналов заполнен баритом, карбонатом, сфалеритом.

Золото удлиненно-изогнутой морфологии размером первые мкм найдено в центральной зоне каналов с кристаллами кальцита, халькопирита, пирита и сфалерита, в промежуточной зоне – в халькопирит-сфалеритовой ассоциации и во внешней зоне – в сфалерит-пиритовой ассоциации. Содержания Ag меняются от 27–32 мас. % в центре до 18 мас. % на периферии кондуита (табл. 1, ан. 1–4).

На **месторождении Балта-Тау** кондуиты были найдены в 1998 г. в кровле залежи массивных руд на западном фланге месторождения. Они залежали в полосчатых сфалерит-халькопиритовых рудах и представляли чередование шестоватых и крупнокристаллических сфалеритовых агрегатов. Мощность зоны кондуитов превышала 0.6 м.

Золото удлиненной и сглаженно-угловатой формы размерами до 25 мкм приурочено к центральной зоне кондуитов и находится в сростках с халькопиритом, галенитом и теннантитом внутри шестоватых кристаллов сфалерита с ихтиоглиптами

халькопирита, подчеркивающими направленный рост. Оно содержит Ag (26–28 мас. %) и Fe (0.05–0.11 мас. %) (табл. 1, ан. 5–7).

Гессит (Ag_2Te) в рудах псевдоморфно замещает галенитовые агрегаты по краям в виде мелких удлиненных, угловатых, изогнутых зерен размером до 30–40 мкм. Состав гессита стехиометричен (табл. 2, ан. 1–4).

На **Вишневском месторождении** рудоподводящие каналы находятся в мелкозернистых халькопирит-пирит-сфалеритовых рудах [22]. Они характеризуются простой морфологией и составом. Поперечные срезы кондуитов имеют эллипсоидную форму шириной до 2 см и длиной около 10 см и состоят из двух зон. Внешняя зона шириной от 0.2 до 1 см выполнена шестоватыми кристаллами халькопирита размером до 0.5 см, растущими от края зоны к центру, внутренняя зона заполнена мелкокристаллическим сфалеритом с теннантитом и галенитом. Иногда центр канала заполнен кварцем.

Золото найдено во внутренней зоне канала: в сфалерите, а также на контактах сфалерита и галенита, теннантита и халькопирита, галенита и кварца. Срезы золотин характеризуются округлой субизометричной морфологией, иногда с кристаллическими очертаниями, а также удлиненно-изогнутой и прожилковидной формой размерами от первых микрон до 80 мкм. Золото содержит Ag (20–35 мас. %), Fe (0.05–1.14 мас. %), иногда Te (0.07–0.19 мас. %) (табл. 1, ан. 8–23).

В этой же минеральной ассоциации найден *гессит*, который псевдоморфно замещает галенит, развиваясь по краям и иногда в центре зерен. Химический состав минерала свободен от примесей (табл. 2, ан. 5–7).

Гидротермально-метасоматическая фация

Эта фация включает различные минеральные типы прожилково-вкрапленных руд с субвертикальной ориентировкой полосчатости, дискордантной общему напластованию пород. На **Вишневском месторождении** руды представлены прожилково-вкрапленной сфалерит-халькопирит-пиритовой минерализацией [22]. Главными рудными минералами здесь являются пирит, халькопирит и сфалерит, редким – галенит. Присутствуют также сульфидно-кварцевые жилы мощностью до 10 см в гидротермально измененных плагиоклазовых и кварцевых дацитах.

Золото обнаружено в густовкрапленных сфалерит-теннантит-халькопирит-пиритовых и пирит-халькопирит-сфалеритовых рудах в ассоциации со сфалеритом на контактах с нерудным веществом, а также в сульфидно-кварцевой жиле, где оно ассоциирует с халькопиритом, пиритом, сфалеритом и кварцем. Срезы золотин характеризуются удлиненной (до 20 мкм), линзовидной, треуголь-

ной, иногда – с кристаллографическими очертаниями или близкой к изометричной морфологией с извилистыми границами. Химический состав золота во вкрапленных рудах близок и содержит 14–17 мас. % Ag, тогда как в сульфидно-кварцевом прожилке золото характеризуется пониженными содержаниями Ag – 7–10 мас. % (табл. 1, ан. 24–45).

Штокверковые гидротермально-метасоматические руды **месторождения Северный Уваряж** установлены на северном, наиболее эродированном фланге [10]. Оруденение в виде субвертикальной зоны приурочено к метасоматитам по плагиоклазовым дацитам и распространено до глубины 271.5 м. Главными минералами вкрапленных руд являются пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды и барит. Были изучены образцы из жильной рудоподводящей зоны мощностью 3–5 м из скважины 4324 с высокими содержаниями Au и Ag (25.7 и 333.9 г/т). Благороднометальная минерализация в большом количестве обнаружена в сульфидных и баритовых агрегатах и представлена золотом, самородным серебром, акантитом, гесситом, кервеллеитом и пирсеитом.

Золото размером от первых до сотен микрометров находится в сростках с сульфидами, которые рассредоточены в баритовой матрице. Оно найдено в халькопирите и на контактах: халькопирита с 1) галенитом и сфалеритом, 2) пиритом, 3) акантитом, 4) баритом; самородного серебра и барита; акантита и барита, а также в обрамлении кристаллов пирита, рассеченных прожилками галенита. Содержания Ag в золоте зависят от вмещающего минерала. Так, в барите на контакте с самородным серебром золото характеризуется пониженными содержаниями Ag – 19.64–24.72 мас. % (гл. 42.3 м), тогда как на контакте с халькопиритом содержания Ag составляют 25.46–27.10 мас. % (гл. 48.7 м) и 32.81–35.85 мас. % (гл. 42.3 м). В составе золота фиксируются Te, Cu, Fe, изредка Zn (без S). Ртуть (1.56 мас. %) присутствует в электруме, который расположен по периферии кристаллов пирита с галенитовыми прожилками. Содержание Ag в нем составляет 51.70 мас. %.

В сростании с золотом в барите было также найдено субизометричное зерно *самородного серебра* размером 20 мкм; содержания Ag – 94–95 мас. %, золота – до 0.42 мас. %, из примесей обнаружены Cu, As, Te, Cd, Bi.

Акантит, Ag_2S , в виде зерен извилистой морфологии размером около 10 мкм обнаружен в сростании с золотом и халькопиритом в баритовом прожилке, а также в виде прожилков и округлых включений размером около 160 мкм в агрегатах галенита. В скрещенных николях видно, что минерал анизотропен, а его агрегаты характеризуются аллотриоморфнозернистой структурой. Состав акантита неустойчив (табл. 2, ан. 8–11), в нем фиксируются примеси Cu, Fe, Pb, Sb, As, Te, Cd и Bi.

Таблица 1. Состав золота в рудных фациях золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района (мас. %)

№ п/п	№ обр.	№ ан.	Au	Ag	Hg	Fe	Cu	Te	Сумма	Формула	Пробность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Придонная гидротермальная фация											
<i>месторождение Тау-Тау</i>											
1	B-1-A	1	72.19	27.51	-	-	-	-	99.70	Au _{0,59} Ag _{0,41}	724
2		2	67.62	30.66	-	-	-	-	98.28	Au _{0,55} Ag _{0,45}	688
3		3	66.90	32.14	-	-	-	-	99.04	Au _{0,53} Ag _{0,47}	675
4	среднее	4	80.71	18.21	-	-	-	-	98.92	Au _{0,71} Ag _{0,29}	816
			71.86	27.13	-	-	-	-			726
<i>месторождение Балта-Тау</i>											
5	586-5-2	14292a	71.51	28.28	-	0.11	-	-	99.90	Au _{0,58} Ag _{0,42}	716
6		14292b	71.32	28.75	-	-	-	-	100.07	Au _{0,58} Ag _{0,42}	713
7	среднее	14292c	73.09	26.80	-	0.05	-	-	99.94	Au _{0,60} Ag _{0,40}	731
			71.97	27.94	-	0.05	-	-			720
<i>Вышнее месторождение</i>											
8	4537	14289d	74.85	24.98	-	0.05	-	-	99.88	Au _{0,62} Ag _{0,38}	749
9		14289e	76.13	23.88	-	-	-	-	100.01	Au _{0,64} Ag _{0,36}	761
10		14289f	74.38	24.24	-	1.14	-	-	99.76	Au _{0,64} Ag _{0,36} Fe _{0,03}	746
11	среднее	14289g	73.40	26.28	-	0.26	-	-	99.94	Au _{0,60} Ag _{0,39} Fe _{0,01}	733
			74.69	24.85	-	0.36	-	-			761
12	3273/175-2a	13196a	70.09	29.82	-	-	-	-	99.91	Au _{0,70} Ag _{0,30}	702
13		13196b	70.10	29.84	-	-	-	-	99.94	Au _{0,70} Ag _{0,30}	701
14	среднее	13196c	65.33	34.49	-	0.04	-	-	99.86	Au _{0,63} Ag _{0,37}	654
			68.51	31.38	-	0.01	-	-			686
15	3273/175-2b	13196d	73.74	26.15	-	-	-	-	99.89	Au _{0,74} Ag _{0,26}	738
16		13196e	75.70	24.16	-	0.07	-	-	99.93	Au _{0,76} Ag _{0,24}	758
17		13196g	74.00	25.95	-	-	-	-	99.95	Au _{0,74} Ag _{0,26}	740
18		13196h	74.15	25.59	-	0.24	-	-	99.98	Au _{0,74} Ag _{0,26}	742
19		13196i	74.44	25.35	-	0.13	-	-	99.92	Au _{0,74} Ag _{0,26}	745
20	среднее	13196j	74.29	25.54	-	0.07	-	-	99.90	Au _{0,74} Ag _{0,26}	744
			74.39	25.46	-	0.09	-	-			744
21	3273/175-2c	13196k	72.90	27.05	-	-	-	-	99.95	Au _{0,73} Ag _{0,27}	729
22		13196l	74.22	25.38	-	0.20	-	-	99.80	Au _{0,74} Ag _{0,26}	744
23	среднее	17196m	72.61	27.16	-	-	-	-	99.77	Au _{0,73} Ag _{0,27}	728
			73.24	26.53	-	0.07	-	-			734
Гидротермально-метасоматическая фация											
<i>Вышнее месторождение</i>											
24	3254/326.1	15202a	85.14	14.66	-	-	-	-	99.80	Au _{0,74} Ag _{0,26}	853
25		15202b	84.88	14.61	-	-	-	-	99.49	Au _{0,74} Ag _{0,26}	853
26		15202c	84.30	15.51	-	-	-	-	99.81	Au _{0,75} Ag _{0,25}	845
27		15202e	83.47	15.67	-	-	-	-	99.14	Au _{0,74} Ag _{0,26}	842
28	среднее	15202f	82.51	17.07	-	-	-	-	99.58	Au _{0,73} Ag _{0,27}	829
			84.06	15.50	-	-	-	-			844

Таблица 1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
29	4555-Б	14287e	89.83	9.40	-	0.41	-	-	99.64	Au _{0,83} Ag _{0,16} Fe _{0,01}	902
30		14287f	91.94	7.79	-	0.27	-	-	100.00	Au _{0,86} Ag _{0,13} Fe _{0,01}	919
31		14287g	91.38	8.30	-	0.30	-	-	99.98	Au _{0,85} Ag _{0,14} Fe _{0,01}	914
32		14287h	89.88	9.40	-	0.59	-	-	99.87	Au _{0,82} Ag _{0,16} Fe _{0,02}	900
33		14287i	89.06	9.33	-	1.37	-	-	99.76	Au _{0,80} Ag _{0,15} Fe _{0,04}	893
34	среднее 4555-А	14287j	90.42	8.84	-	0.59	-	-	99.93	Au _{0,81} Ag _{0,16} Fe _{0,03}	906
35		14287k	89.16	9.89	-	0.88	-	-	99.90	Au _{0,80} Ag _{0,18} Fe _{0,02}	892
36		14287l	88.55	10.61	-	0.74	-	-	99.90	Au _{0,83} Ag _{0,15} Fe _{0,02}	886
37		14287m	90.40	8.97	-	0.72	-	-	100.09	Au _{0,82} Ag _{0,16} Fe _{0,02}	903
38		14287n	90.09	9.29	-	0.64	-	-	100.02	Au _{0,79} Ag _{0,16} Fe _{0,05}	901
39	среднее 4555-В	14287o	88.41	9.87	-	1.49	-	-	99.77	Au _{0,81} Ag _{0,15} Fe _{0,03}	886
40		14288e	89.64	9.29	-	0.97	-	-	99.90	Au _{0,81} Ag _{0,15} Fe _{0,03}	897
41		14288f	89.38	9.65	-	0.91	-	-	99.93	Au _{0,81} Ag _{0,13} Fe _{0,06}	894
42		14288g	90.24	7.91	-	1.78	-	-	99.84	Au _{0,81} Ag _{0,14} Fe _{0,04}	903
43		14288h	89.78	8.67	-	1.39	-	-	99.82	Au _{0,83} Ag _{0,13} Fe _{0,04}	899
44	среднее 42.3-1	14288i	90.63	7.80	-	1.39	-	-	99.82	Au _{0,83} Ag _{0,12} Fe _{0,05}	908
45		14288j	91.05	7.37	-	1.51	-	-	99.93	Au _{0,78} Ag _{0,14} Fe _{0,08}	911
46		Е-1	88.81	8.52	-	2.57	-	-	99.90	Au _{0,81} Ag _{0,15} Fe _{0,04}	889
47		Е-2	89.94	8.91	-	1.32	-	-	100.17	Au _{0,81} Ag _{0,15} Fe _{0,04}	898
48		Е-3	90.08	8.20	-	1.66	-	-	99.03	Au _{0,48} Ag _{0,48} Cu _{0,02} Fe _{0,02}	632
49	среднее 42.3-5	Е-3	62.52	34.81	-	0.74	0.86	0.06	101.08	Ag _{0,48} Au _{0,48} Cu _{0,03} Fe _{0,03}	626
50		Д-1	63.30	35.85	-	0.85	0.98	0.08	99.38	Au _{0,49} Ag _{0,47} Cu _{0,03} Fe _{0,01}	631
51		Д-2	62.66	35.05	-	0.72	0.88	0.05	98.85	Au _{0,66} Ag _{0,34}	629
52		Д-3	62.83	35.24	-	0.77	0.91	0.06	100.46	Au _{0,69} Ag _{0,31}	776
53		Д-4	76.69	21.96	-	0.04	0.07	0.05	99.00	Au _{0,62} Ag _{0,38}	804
54	среднее 48.7б1	1	80.74	19.64	-	0.02	0.05	0.02	99.71	Au _{0,68} Ag _{0,32}	748
55		3	73.95	24.72	-	0.10	0.11	0.03	100.73	Au _{0,60} Ag _{0,40}	729
56		5	79.13	20.38	-	0.03	0.11	0.05	99.42	Au _{0,61} Ag _{0,39}	741
57		среднее	77.63	21.68	-	0.05	0.09	0.04	98.12	Au _{0,59} Ag _{0,41}	721
58		среднее	73.42	27.10	0.07	0.00	0.04	0.05	100.73	Au _{0,60} Ag _{0,40}	730
59	среднее	3	73.66	25.46	0.16	0.00	0.00	0.13	99.42	Au _{0,65} Ag _{0,35} Hg _{0,01}	769
60		5	70.77	27.04	0.08	0.02	0.03	0.19	98.12	Au _{0,50} Ag _{0,49} Hg _{0,01}	637
61		среднее	72.62	26.53	0.10	0.01	0.02	0.12	98.71	Ag _{0,57} Au _{0,39} Hg _{0,04}	524
62		среднее	75.87	22.25	0.60	-	-	-	93.00*	Ag _{0,57} Au _{0,46} Hg _{0,02}	601
63		среднее	63.37	34.55	1.50	-	-	-	99.90	Ag _{0,49} Au _{0,48} Hg _{0,03}	618

месторождение Северный Уваряж

Фация субмаринного гипергенеза

месторождение Балта-Тав

Таблица 1. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
61	544-5-A	9	88.43	10.45	2.10	-	0.09	0.02	101.09	Au _{0,80} Ag _{0,18} Hg _{0,02}	875
62		13	88.29	12.24	1.40	-	-	0.05	101.98	Au _{0,79} Ag _{0,20} Hg _{0,01}	866
63		22	86.86	12.12	1.78	-	-	-	100.76	Au _{0,80} Ag _{0,19} Hg _{0,01}	862
64		41	87.67	11.91	1.63	-	0.07	0.14	101.42	Au _{0,79} Ag _{0,20} Hg _{0,01}	864
65	544-5-A	43	88.57	11.22	1.43	-	0.13	0.02	101.39	Au _{0,80} Ag _{0,19} Hg _{0,01}	874
66		50	87.34	10.67	1.52	-	0.01	0.02	99.56	Au _{0,81} Ag _{0,18} Hg _{0,02}	877
67		51	90.02	8.65	1.66	-	0.03	-	100.42	Au _{0,84} Ag _{0,15} Hg _{0,02}	897
68		52	88.13	11.84	1.80	-	0.08	-	101.85	Au _{0,79} Ag _{0,19} Hg _{0,02}	865
69		72	86.21	14.17	1.26	-	0.02	0.12	101.78	Au _{0,77} Ag _{0,23}	847
70	среднее		87.95	11.47	1.62	-	0.05	0.04			870
71	544-5-B	80	81.12	18.83	1.56	-	-	0.18	101.69	Au _{0,70} Ag _{0,29} Hg _{0,01}	798
72		79	84.14	16.12	1.56	-	0.05	0.04	101.91	Au _{0,74} Ag _{0,26}	826
73		15	83.51	16.75	1.32	-	0.13	0.15	101.86	Au _{0,73} Ag _{0,27}	820
74		16	76.55	23.50	1.30	-	0.14	0.09	101.58	Au _{0,63} Ag _{0,35}	754
75		17	71.90	27.82	1.65	-	0.17	0.15	101.69	Au _{0,58} Ag _{0,41} Hg _{0,01}	707
76		19	61.20	38.44	1.19	-	0.08	0.10	101.01	Au _{0,46} Ag _{0,53} Hg _{0,01}	606
77		24	78.35	20.54	1.35	-	0.38	0.13	100.75	Au _{0,68} Ag _{0,32}	778
78		31	80.73	19.04	1.39	-	0.07	-	101.23	Au _{0,69} Ag _{0,30} Hg _{0,01}	797
79		40	83.20	15.02	1.53	-	0.07	0.01	99.83	Au _{0,74} Ag _{0,24} Hg _{0,01}	833
80		42	84.92	14.92	1.40	-	0.02	-	101.26	Au _{0,75} Ag _{0,25} Hg _{0,01}	839
81		47	83.88	15.99	1.21	-	0.28	0.12	101.52	Au _{0,75} Ag _{0,25} Hg _{0,01}	827
82		54	79.49	19.11	1.43	-	0.02	-	100.05	Au _{0,69} Ag _{0,30} Hg _{0,01}	795
83		59	78.29	21.40	1.33	-	0.01	-	101.07	Au _{0,67} Ag _{0,33}	775
84		61	77.84	21.66	1.27	-	0.09	0.07	100.94	Au _{0,69} Ag _{0,30}	771
85		73	76.67	23.35	1.23	-	0.05	-	101.30	Au _{0,64} Ag _{0,33} Hg _{0,01}	757
86		75	78.13	21.20	1.39	-	0.00	0.05	100.77	Au _{0,66} Ag _{0,33} Hg _{0,01}	775
87		76	77.16	21.21	1.24	-	0.10	0.05	99.76	Au _{0,66} Ag _{0,33} Hg _{0,01}	773
		81	81.14	19.25	1.12	-	0.08	0.04	101.63	Au _{0,70} Ag _{0,30}	798
	среднее		78.79	20.79	1.36	-	0.10	0.09			779
						<i>руднопроявление Упреннее</i>					
88	4228/422.5	17251a	50.72	48.93	-	-	0.14	-	99.78	Ag _{0,64} Au _{0,36}	508
89		17251b	51.07	48.47	-	-	0.21	-	99.75	Ag _{0,63} Au _{0,37}	512
90		17251c	49.73	49.76	-	-	0.32	-	99.81	Ag _{0,65} Au _{0,35}	498
91		17251d	50.52	49.36	-	-	0.07	-	99.94	Ag _{0,64} Au _{0,36}	505
92	4228/422.5	17251e	50.84	48.97	-	-	0.20	-	100.02	Ag _{0,64} Au _{0,36}	508
93	среднее	17251f	49.96	49.80	-	-	0.16	-	99.92	Ag _{0,65} Au _{0,35}	500
			50.47	49.22	-	-	0.18	-			505

Примечание. Анализы выполнены на рентгеноспектральных микроанализаторах JEOL JXA (ИМин УрО РАН, г. Миасс, аналитик Е.И. Чурин; №№ 1-4), JEOL JXA 8900 (Фрайбургская горная академия, г. Фрайбург, Германия, аналитик К. Беккер; №№ 46-55), Самса SX-50 (Музей естественной истории, г. Лондон, Великобритания, аналитик Дж. Спратт; №№ 56-87), а также на растровом электронном микроскопе с ЭДП РЭММА-202М (ИМин УрО РАН, г. Миасс, аналитик В.А. Котляров - №№ 5-45, 88-93). Прочерк - не обнаружено. Анализы 61-69 - домены в агрегате золота, 70-87 - прожилки между доменами. * - в составе фиксируются постоянные примеси Cu и S, свидетельствующие о тонком взаимном проращении и вторичных сульфидов меди. Формула золота рассчитана по сумме золота и серебра, равной 1.

Таблица 2. Состав минералов серебра из рудных фаций золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района (мас. %)

№п/п	№ обр.	№ ан.	Ag	Au	Cu	Zn	Fe	Pb	Te	Sb	As	S	Сумма	Формула
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Придонная гидротермальная фация														
Гессит														
<i>месторождение Балта-Тай</i>														
1	586-5-2	17252a	62.78	-	-	-	-	-	37.31	-	-	-	100.09	Ag _{2,09} Te _{1,00}
2		17252b	62.44	-	-	-	-	-	37.17	-	-	-	99.61	Ag _{2,08} Te _{1,00}
3		17252c	62.77	-	-	-	-	-	37.09	-	-	-	99.87	Ag _{2,10} Te _{1,00}
4		17252d	62.86	-	-	-	-	-	37.08	-	-	-	99.94	Ag _{2,10} Te _{1,00}
<i>Вишневское месторождение</i>														
5	4537/310	14291a	62.76	-	-	-	-	-	37.03	-	-	-	99.79	Ag _{2,10} Te _{1,00}
6		14291b	62.49	-	-	-	-	-	37.56	-	-	-	100.05	Ag _{2,06} Te _{1,00}
7		14291c	62.99	-	-	-	-	-	37.13	-	-	-	100.12	Ag _{2,10} Te _{1,00}
Гидротермально-метасоматическая фация														
<i>месторождение Северный Уварж</i>														
Акантит														
8	42.3	16-Е	83.59	0.73	2.20	-	1.52	0.20	0.22	0.03	0.01	13.45	102.51	(Ag _{1,85} Cu _{0,07} Fe _{0,07}) _{1,98} S _{1,00}
9		31-В	65.44	0.29	7.95	-	0.00	0.00	0.87	1.58	5.64	15.77	98.34	(Ag _{1,05} Cu _{0,22}) _{1,27} (S _{0,84} As _{0,14} Sb _{0,02}) _{1,00}
10		33-В	65.49	0.00	8.32	-	0.14	0.00	1.08	1.86	5.37	15.82	98.82	(Ag _{1,04} Cu _{0,22}) _{1,26} (S _{0,83} As _{0,12} Sb _{0,03} Te _{0,01}) _{0,99}
11		39-А	66.94	0.50	9.64	-	0.08	0.50	0.43	1.22	2.48	15.81	98.40	(Ag _{1,17} Cu _{0,28}) _{1,45} (S _{0,92} As _{0,06} Sb _{0,02}) _{1,00}
Гессит														
12	45-a2	1	65.84	-	1.60	0.23	-	0.01	28.84	-	0.01	0.99	98.03	(Ag _{2,83} Cu _{0,01}) _{2,84} Te _{1,00}
13		2	69.04	-	0.61	0.05	-	0.14	30.27	-	0.00	0.86	101.04	Ag _{2,83} Te _{1,00}
14		3	64.08	-	1.07	0.14	-	0.00	33.10	-	0.02	0.13	98.54	(Ag _{2,40} Cu _{0,01}) _{2,41} Te _{1,00}
15	48.9a	1	63.51	-	0.00	0.07	-	0.22	37.08	-	0.64	0.03	101.85	Ag _{2,12} Te _{1,00}
16		2	60.01	-	0.00	0.03	-	0.11	37.50	-	0.69	0.16	98.54	Ag _{1,98} Te _{1,00}
17		3	61.33	-	0.18	0.03	-	0.26	36.15	-	0.76	0.30	99.64	Ag _{2,10} Te _{1,00}
18		1	59.31	-	0.08	1.51	-	1.51	37.85	-	1.08	0.36	101.94	(Ag _{1,94} Zn _{0,08} Pb _{0,02}) _{2,06} Te _{1,00}
Кервеллит														
19	44.2a1	1	67.65	-	4.40	0.26	-	1.42	22.60	-	-	5.67	102.00	(Ag _{3,72} Cu _{0,39} Pb _{0,04}) _{4,15} Te _{1,00} S _{1,00}
20		2	69.36	-	4.74	0.24	-	0.16	21.80	-	-	5.36	101.66	(Ag _{3,95} Cu _{0,44}) _{4,43} Te _{1,01} S _{0,98}
21		3	66.18	-	1.27	0.23	1.20	-	24.21	0.01	-	7.42	100.52	(Ag _{3,05} Cu _{0,09} Fe _{0,10}) _{3,25} Te _{0,90} S _{1,10}
22		4	68.47	-	1.50	0.01	1.07	-	21.93	0.02	-	6.08	99.08	(Ag _{3,68} Cu _{0,13} Fe _{0,11}) _{3,92} Te _{0,95} S _{1,05}
23		5	69.52	-	1.58	0.00	0.05	-	22.72	0.16	-	5.30	99.33	(Ag _{3,94} Cu _{0,14}) _{4,08} Te _{1,04} S _{0,96}
24		6	68.2	-	1.70	0.66	0.03	-	22.8	0.16	-	5.82	99.37	(Ag _{3,68} Cu _{0,15}) _{3,83} Te _{0,99} S _{1,01}
25		7	69.29	-	2.00	0.59	0.04	-	21.96	0.16	-	5.66	99.70	(Ag _{3,86} Cu _{0,18}) _{4,04} Te _{0,96} S _{1,01}
26		8	65.34	-	2.07	0.12	0.32	-	26.15	0.21	-	5.14	99.35	(Ag _{3,48} Cu _{0,18}) _{3,66} Te _{1,15} S _{0,88}
27		9	68.63	-	2.74	1.44	0.02	-	20.63	0.19	-	5.89	99.54	(Ag _{3,86} Cu _{0,25} Zn _{0,13}) _{4,24} Te _{0,94} S _{1,06}
28		10	68.14	-	3.52	1.24	0.02	-	20.99	0.15	-	5.84	99.90	(Ag _{3,82} Cu _{0,33} Zn _{0,11}) _{4,25} Te _{0,95} S _{1,05}

Таблица 2. Окончание.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
№ п/п	№ обр.	№ ан.	Ag	Au	Cu	Zn	Fe	Pb	Пирреит					Сумма	Формула
									Te	Sb	As	S			
29	41.5-2	10	67.41	0.00	8.29	0.03	0.03	-	0.03	0.00	6.89	17.47	100.80	$(Ag_{12.6}Cu_{2.63}Cd_{0.12}Zn_{0.01})_{15.36}As_{1.86}S_{10.99}$	
30		11	67.28	0.13	8.92	0.08	0.03	-	0.00	0.00	6.91	17.43	101.35	$(Ag_{12.62}Cu_{2.84}Cd_{0.1}Zn_{0.02}Fe_{0.01}Au_{0.01})_{15.60}As_{1.87}S_{11.00}$	
31	47-3	18	59.91	0.00	13.65	0.50	0.03	-	0.12	0.04	7.34	17.20	98.79	$(Ag_{11.37}Cu_{4.40}Zn_{0.16}Fe_{0.01})_{15.58}As_2(S_{10.98}Te_{0.02})_{11.00}$	
32		19	57.79	0.03	15.43	0.23	0.19	-	0.13	2.33	6.00	17.13	99.26	$(Ag_{11.01}Cu_{4.99}Zn_{0.07}Fe_{0.07})_{16.14}(As_{1.64}Sb_{0.39})_{2.03}(S_{10.98}Te_{0.02})_{11.00}$	
33		39	59.77	0.00	13.36	0.74	0.03	-	0.12	1.92	6.17	17.36	99.47	$(Ag_{11.24}Cu_{4.26}Zn_{0.23}Fe_{0.01})_{15.74}(As_{1.67}Sb_{0.32})_{1.99}(S_{10.98}Te_{0.02})_{11.00}$	
34		42	60.65	0.04	12.08	0.55	0.02	-	0.12	3.39	5.19	16.83	98.87	$(Ag_{11.76}Cu_{3.98}Zn_{0.18}Fe_{0.01})_{15.93}(As_{1.45}Sb_{0.58})_{2.03}(S_{10.98}Te_{0.02})_{11.00}$	
<i>Звездное рудопроявление</i>															
Гессит															
35	4117/353.7	1	62.75	0.00	0.59	-	0.45	0.00	37.42	0.36	0.00	0.35	101.92	$Ag_{2.08}Te_{1.00}$	
36		2	62.44	0.31	0.59	-	0.43	0.00	37.17	0.36	0.00	0.39	101.70	$Ag_{2.08}Te_{1.00}$	
Фация субмаринного гипергенеза															
<i>месторождение Балта-Тай</i>															
37	Б-9		61.55	0.30	-	0.90	-	0.23	36.10	0.21	-	0.25	99.52	$Ag_{2.11}Te_{1.00}$	
Гессит*															
<i>месторождение Тайи-Тай</i>															
38	544	g-1	60.28	-	2.48	-	1.48	-	34.24	-	-	1.00	100.35	$(Ag_{2.18}Fe_{0.10}Cu_{0.02})_{2.30}Te_{1.00}$	
Гессит															
Кервеллит															
39	544	F-2	59.61	-	5.49	-	2.59	-	25.01	-	-	5.94	99.85	$(Ag_{2.92}Cu_{0.44}Fe_{0.23})_{3.59}Te_{0.99}S_{0.93}Se_{0.08}$	
40		F-3	64.26	-	7.51	-	0.23	0.28	21.13	0.10	-	7.07	100.58	$(Ag_{3.24}Cu_{0.61}Fe_{0.02})_{3.87}Te_{0.86}S_{1.14}$	
41		F-4	65.89	-	7.26	-	0.60	0.28	21.73	0.00	-	6.26	102.02	$(Ag_{3.50}Cu_{0.63}Fe_{0.06})_{4.19}Te_{0.93}S_{1.07}$	
Ag-содержащий ковеллин															
42	544	F-7	18.66	-	44.30	-	0.67	-	-	-	-	36.20	99.94	$(Cu_{0.62}Ag_{0.15})_{0.77}S_{1.00}$	
43		F-8	17.86	-	44.21	-	0.62	-	-	-	-	37.09	99.88	$(Cu_{0.60}Ag_{0.14})_{0.74}S_{1.00}$	
44		F-9	17.41	-	43.96	-	0.49	-	-	-	-	37.97	99.96	$(Cu_{0.58}Ag_{0.14})_{0.72}S_{1.00}$	
45		F-11	24.70	-	39.18	-	0.52	-	-	-	-	35.45	99.93	$(Cu_{0.21}Ag_{0.56})_{0.76}S_{1.00}$	
46		F-12	22.05	-	40.07	-	0.64	-	-	-	-	37.14	99.98	$(Cu_{0.18}Ag_{0.54})_{0.72}S_{1.00}$	
<i>Утреннее рудопроявление</i>															
Сульфид Ag и Cu															
48	4228/426.7		75.05	0.00	7.04	-	0.00	0.00	0.34	0.63	5.06	13.82	101.94	$Ag_{2.79}Cu_{0.44}Sb_{0.02}(S_{1.73}As_{0.27})_{2.00}$	
49			71.57	0.00	6.36	-	0.00	0.00	0.41	1.22	5.48	14.99	100.02	$Ag_{2.45}Cu_{0.37}Sb_{0.04}(S_{1.73}As_{0.27})_{2.00}$	

Примечание. Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с ЭДП (ИМин УрО РАН, г. Миасс, аналитик В. А. Котляров – №№ 1–7) и рентгеноспектральных микроанализаторах JEOL JXA 8900 (Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия, аналитик К. Беккер; №№ 8–11), JEOL JСХА (ИМин УрО РАН, г. Миасс, аналитик Е.И. Чуриг; №№ 12–20, 35, 36, 47, 48) и Самеса SX-50 (Музей естественной истории, г. Лондон, Великобритания, аналитик Дж. Спратт; №№ 29–34, 37–46, 49). Прочерк – элемент не обнаружен. Формулы минералов рассчитаны: гессита – на 1 атом теллура; акантита – по сумме анионов, равной 1; кервеллита – по сумме анионов, равной 2; пиррита – по сумме анионов, равной 11; ковеллина – на 1 атом серы; сульфида серебра и меди – по формуле ялпанта Ag_2CuS_2 . В единичных случаях отмечаются (мас. %): Cd (ан. 9–12 – 0.09–0.68; ан. 30, 31 – 0.57–0.65), Se (ан. 38, 39 – 0.87–1.21; ан. 42–46 – 0.05–0.11), Hg (ан. 13–19 – 0.05–0.23), Bi (ан. 13–19 – 0.05–0.23), Au (ан. 39 – 0.22), Pt (ан. 39 – 1.20).

Гессит замещает галенит по краям в виде ксеноморфных агрегатов размером десятки микрон, реже гессит замещает кервеллеит. Состав минерала отличается на разной глубине: так, на глубине 45 м он содержит больше Ag, Cu и S, тогда как на глубине 48.5 м, наоборот, характеризуется повышением содержания Te, Pb и As (табл. 2, ан. 12–18).

Кервеллеит, Ag_4TeS (рис. 3), также развивается по галениту в виде ксеноморфных и прожилковидных агрегатов размером до 100 мкм, местами встречается на контактах с гесситом [10, 46]. В его составе отмечаются устойчивые примеси Cu, Zn, Fe, Sb и S (табл. 2, ан. 19–28).

Пирсеит наблюдается в виде тонких (1–5 мкм) жилок в галените и округлых зерен размером несколько микрометров в аллотриоморфнозернистых сфалерит-галенитовых агрегатах [10]. В его составе отмечаются примеси Au, Zn, Fe, Sb, Te и Cd (табл. 2, ан. 29–34).

Вкрапленные руды на **Звездном рудопроявлении** приурочены к контакту кварц-плагноклазовых дацитовых порфиров и хлорит-серицит-кварцевых порфиров и представлены вкрапленностью и прожилками пирита, халькопирита и сфалерита мощностью до 1 см [11]. Иногда встречаются удлиненные гнездовидные барит-сфалеритовые агрегаты размером до 2.5 см, в которых центральная часть представлена баритом, а периферия – сфалеритом. На глубине 355.9 м в рудах были найдены минералы серебра.

Гессит в виде ксеноморфных зерен размером до 30 мкм обнаружен в сростании с галенитом на границе халькопирита и сфалерита, а также вдоль границы теннантита и кварца совместно с теллуридом Bi и Ag. В составе гессита отмечаются примеси Cu, Fe, Au, Sb и S (табл. 2, ан. 35, 36).

Теллурид Bi и Ag, определенный как вольтскит [11], ассоциирует с гесситом и также находится вдоль границ теннантита и кварца. Размер его пластинчатых зерен достигает 50 мкм. Анализы минерала характеризуются сильными вариациями главных компонентов (мас. %): Bi (23.52–31.70), Te (22.39–33.81) и Ag (4.04–13.55) и примесей: Cu (6.51–18.05) и S (2.84–11.57). Также фиксируются Pb (от следов до 1.17), Fe (0.48–1.74), Au (от следов до 1.48), As (1.40–6.22) и Sb (0.45–0.81). Наиболее вероятное объяснение разбросу содержаний может заключаться в очень тонких сростаниях теллурида Bi и Ag с блеклыми рудами либо его тонким срезом и “подсветкой” блеклых руд.

Содержания Ag (0.27 мас. %) были установлены в *алтаите*, который наблюдался в виде субизометричных зерен размером около 10 мкм на границе сфалерита и халькопирита.

Субмаринная гипергенная фация

На исследованных месторождениях фация развития, главным образом, по кластогенным рудам и при полном развитии представлена продуктами полного окисления, выщелачивания и вторичного сульфидного обогащения.

На **месторождении Балта-Тау**, на контакте массивных руд и перекрывающих вулканитов, находится сульфидно-баритовое линзообразное тело мощностью первые метры [21]. В результате недавних исследований было предложено рассматривать его как гидротермально-осадочное на поверхности морского дна (придонная гидротермальная фация) [40, 43] и преобразованное в стадию субмаринного гипергенеза [15].

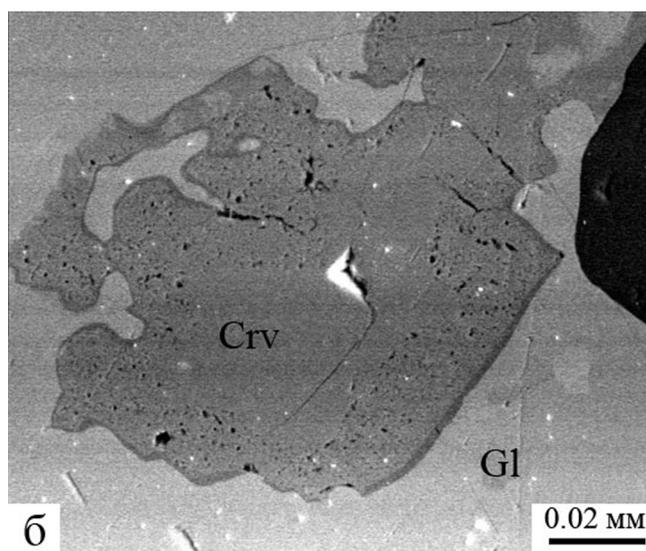
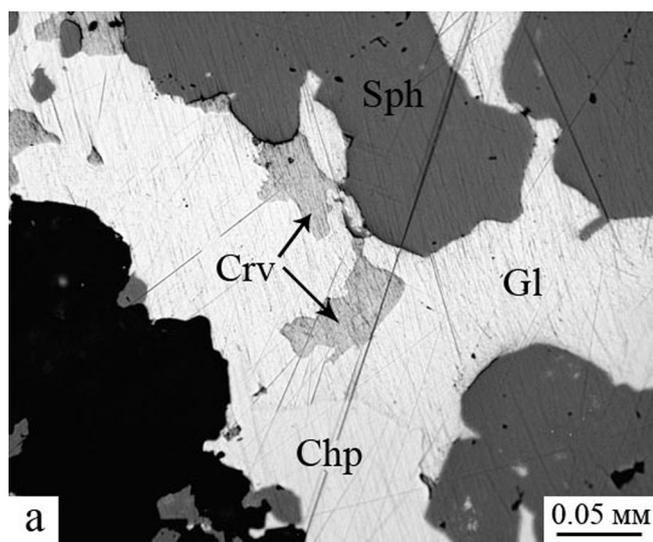


Рис. 3. Морфология кервеллеита (Crv) в прожилково-вкрапленных рудах Северо-Уваряжского месторождения. Gl – галенит, Chp – халькопирит, Sph – сфалерит (фото К.А. Новоселова), обр. 4324/44.2. Отраженный свет (а), СЭМ-фото (б).

Многочисленные *золотины* обнаружены в виде мелких (2–20 мкм) округлых и крупных (от 50 мкм до 0.8 мм) полигональных зерен или агрегатов в теннантит-халькопирит-галенит-сфалеритовых агрегатах, барите и на контактах барита и сульфидов [43]. В одном случае удлиненное зерно золота до 40 мкм найдено в сростке с халькопиритом и галенитом в реликтовом кристалле сфалерита, замещенном дигенитом. Вокруг окисленных сульфидов были найдены каймы “ремобилизованного” золота толщиной более 50 мкм. Состав золота зависит от вмещающего минерала: золото среди теннантит-халькопирит-(галенитовых) агрегатов содержит минимальное количество Ag (22.25 мас. %) и Hg (0.60 мас. %); “ремобилизованное” золото в барите, трещинах в сфалерите и вокруг сульфидов характеризуется повышенными содержаниями Ag и Hg (34.55 и 1.50; 42.18 и 5.18; 34.87 и 2.26 мас. %, соответственно, табл. 1, ан. 56–59).

Единичные включения *ртутистого кюстелита* (мас. %: Ag 60.66, Au 28.41, Hg 10.98) ассоциируют с теннантитом, галенитом, золотом и пирсеитом [10].

Пирсеит, $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$, найден в виде редких ксеноморфных зерен размером до 300 мкм в барите с вкрапленностью галенита [43]. В составе пирсеита не обнаружено каких-либо примей.

Самородное серебро установлено в одном образце в виде тонких (< 5 мкм) проволочных агрегатов между крупными кристаллами барита и вокруг тонкозернистых сульфидов [43]. В химическом составе отмечены примеси Cu (0.22 мас. %) и Zn (0.30 мас. %).

Золото на месторождении было также найдено в преобразованных коллювиальных сульфидных брекчиях, тектонически перемещенных в зону Восточного разлома. Брекчии состоят из обломков кристаллического и концентрически-зонального пирита размером до 2 см, расположенных в мелкокристаллическом барит-халькопирит-сфалерит-теннантит-галенитовом цементе [43].

Золото характеризуется прожилковидной морфологией, приурочено к трещинам и порам в пиритовых обломках и ассоциирует с поздними сфалеритом, халькопиритом, теннантитом и галенитом, которые, в свою очередь, замещают пиритовые обломки. Размер золотинок около 30 мкм. Редко золото встречается в пирит-сфалеритовой матрице в виде сферических образований размером менее 20 мкм и более крупных (до 300 мкм) зерен в сфалерит-галенит-теннантитовых агрегатах или в барите (кварце). Золото содержит высокие концентрации Ag (34.66 мас. %) и повышенные – Hg (3.55 мас. %) (табл. 1, ан. 60).

В кровле месторождения развиты слоистые руды мощностью до 1 м, состоящие из слоев сфалерита, халькопирита, в меньшей степени, пирита, галенита и теннантита [43]. По текстурно-структурным и минералогическим признакам они представляют

собой продукты вторичной сульфидизации кластогенных слоев [10].

Гессит в виде зерен размером от 50 до 200 мкм ассоциирует с галенитом в матрице сфалерита. В его составе, кроме Ag и Te, отмечаются примеси Au, Sb, Zn, Pb и S (табл. 2, ан. 37) [43].

В кровле сульфидного холма **месторождения Таш-Тау** барит-борнит-халькопиритовые руды с ковеллином образуют горизонт мощностью 0.5 м, обогащенный золотом (10–90 г/т) и серебром (100–475 г/т). Горизонт перекрывается барит-гематитовыми прослоями, ассоциирующими с розовыми силицитами и пелитолитами [7].

Золото размером от нескольких микрон до 4 мм встречается в виде округлых, удлиненно-изогнутых включений, тончайших просечек или прожилковидных агрегатов в борните, ксеноморфном и жильном галените, на контактах раздробленных кристаллов пирита с галенитовыми прожилками, халькопирита и барита [6]. Нередко наблюдаются каймы золота толщиной до 0.1 мм вокруг борнитовых агрегатов, а также кружевные выделения размером 0.5 мм (рис. 4).

Некоторые зерна образуют сетчатые агрегаты сложной морфологии (рис. 5), в которых домены содержат до 14 мас. % Ag (табл. 1, ан. 61–69), тогда как в прожилках и каймах его концентрация увеличивается от 15 до 35 мас. % (табл. 1, ан. 70–87). Из примесей отмечены Hg, Cu и Te. Ориентировка прожилков с повышенным содержанием Ag параллельна сколовым трещинам в окружающих сульфидах и свидетельствует о влиянии пострудных дислокаций на перераспределение металлов.

Гессит в виде зерен размером несколько мкм находится в агрегатах борнита и трещинах, пересекающих кристаллы пирита в ассоциации с галенитом и энаргитом [14]. В его составе отмечаются примеси Cu, Fe, Se и S (табл. 2, ан. 38). **Необходимо отметить**, что примесь Se также характерна для сульфидов месторождения Таш-Тау: до 0.19 мас. % – в пирите, халькопирите, сфалерите, борните и 0.11–2.42 мас. % – в галените [14].

Кервеллеит отмечается в виде мелких изометричных зерен размером около 30 мкм на границе агрегатов галенита и борнита [46]. Его состав, в целом, сходен с составом кервеллеита из руд Северо-Уваряжского месторождения (табл. 2, ан. 39–41), но в составе кервеллеита месторождения Таш-Тау зафиксированы примеси Se и Pb.

Сульфиды Cu и Ag наблюдались в борните в виде включений изогнутой морфологии размером до 15 мкм и были описаны как ялпаит и штрмейерит [14]. Штрмейерит был также отмечен в виде прожилков и интерстиций между другими рудными минералами [38]. Однако соотношения между Ag, Cu и S в химическом составе (табл. 2, ан. 42–46) не отвечают теоретическим составам ялпаита и штрмейерита [41] и более характерны для Ag-содержащего ковеллина. В качестве приме-

сей в минерале также отмечены Fe и Se (табл. 2). Из других сульфидов примесь Ag (0.22–0.68 мас. %) характерна также для борнита Южного рудного тела [14].

В верхнем рудном горизонте **Утреннего рудопроявления** установлены золотосодержащие барит-пиритовые руды, образовавшиеся по обломочным рудам (скв. 4228, гл. 425.1–427.5 м, мощность 2.4 м) [7]. Руды характеризуются полосчатой текстурой вследствие полосчатого распределения барита, пирита, серицита. Из других сульфидов встречены халькопирит, сфалерит, теннантит и галенит. Содержания Au составляют 3.4–18.9 г/т, Ag – 153–647 г/т.

Золото в виде изометричных включений округлой, треугольной, сглажено-угловатой, прожилковидной морфологии, иногда с кристаллическими очертаниями размером до 25 мкм найдено в кристаллическом пирите-II, который обрастает или замещает колломорфный пирит-I, во включениях сфалерита в пирите-II, а также в сростках со сфалеритом и халькопиритом в барите. Содержания Ag в золоте составляют 48–49 мас. %, в небольшом количестве присутствует Cu (табл. 1, ан. 88–93).

Сульфид Ag и Cu, определенный как ялпайт [11], в виде удлинено-изогнутых агрегатов наблюдается в тесных сростаниях с теннантитом среди кварц-баритовой массы. Его состав характеризуется пониженными по отношению к ялпайту содержаниями Ag (71–75 мас. %), а также нехарактерными для теоретического ялпайта содержаниями Cu (ялпайт – 15.1 мас. % [41], исследованный минерал – 6–7 мас. %, табл. 2, ан. 48, 49) и S (ялпайт – 7.7. мас. % [41], исследованный минерал – 13–14 мас. %). Группа сульфидов Ag и Cu также включает штрмейерит ($AgCuS$) и маккинстриит ($(Ag,Cu)_2S$) [41]. Возможно, здесь также наблюдается не один минерал, а тонкие сростания ялпайта (минерала с самым высоким содержанием Ag и низким S в группе) и штрмейерита или маккинстриита (минералов с пониженным содержанием Ag и повышенным S). В химическом составе также отмечаются значительные примеси As, Sb и Te (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Золото в придонной гидротермальной фации в кондуитах месторождений Таш-Тау, Балта-Тау и Вишневое сходно по минеральным ассоциациям и составу. В большинстве случаев оно находится в сфалерите, иногда в сростании с галенитом, теннантитом, халькопиритом, и реже пиритом. Разброс содержаний Ag (18–34 мас. %), пробности 162 ед. и количество примесей (Fe) является наименьшим по сравнению с золотом из других рудных фаций (табл. 3, рис. 6, 7). Характерным минералом серебра для кондуитов является гессит.

Золото в рудоподводящих каналах было также обнаружено на колчеданном месторождении Чейли в Понтийском колчеданном поясе (Турция) [8, 47]. По разбросу содержаний Ag (14–38 мас. %) оно сходно с таковым из кондуитов месторождений Таш-Тау, Балта-Тау, Вишневое. Разброс содержаний Ag также связан с минеральной ассоциацией. Золото в сростках с халькопиритом, борнитом и пиритом содержит 14–19 мас. % Ag, тогда как в золоте, ассоциирующем с теннантитом и галенитом, его содержания возрастают до 38 мас. %.

Своеобразным морфологическим аналогом кондуитов являются трубы “черных курильщиков”, главным генетическим отличием которых является их образование на поверхности сульфидного холма или на выходе вмещающих пород в толще морской воды [15, 19]. Трубы “черных курильщиков” таких месторождений, как Яман-Касы, Валенторское, Александринское также содержат золото [19]. Пробность золота в трубах “черных курильщиков” различна: так, на месторождении Яман-Касы она составляет 800–860 (содержания Ag 14–19 мас. %), на Александринском – 780–900 (Ag 10–22 мас. %); на Валенторском месторождении – 740–860 (Ag 15–22 мас. %). Из примесей в золоте отмечаются Cu, Fe, S, Te, Bi. Помимо самородного золота, в трубах отмечаются сильванит, петцит. Минералы серебра представлены вольтинским, штюцитом, гесситом, эмпресситом.

Золото из “труб черных курильщиков” указанных месторождений характеризуется наимень-

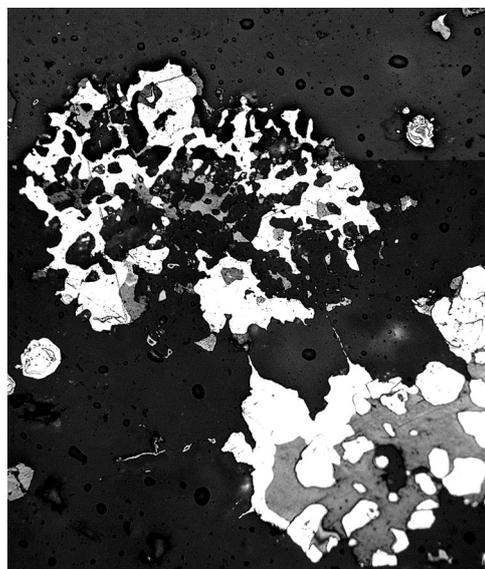


Рис. 4. Золото (ярко-белое) в барит-борнитовых рудах месторождения Таш-Тау.

В верхней части снимка зерна золота кружевной морфологии в сростках с борнитом, в нижнем правом углу – борнит (темно-серое) с кристаллами пирита (белое, рельефное) и каймой золота. Отраженный свет, ширина снимка 0.6 мм, обр. 544-5а.

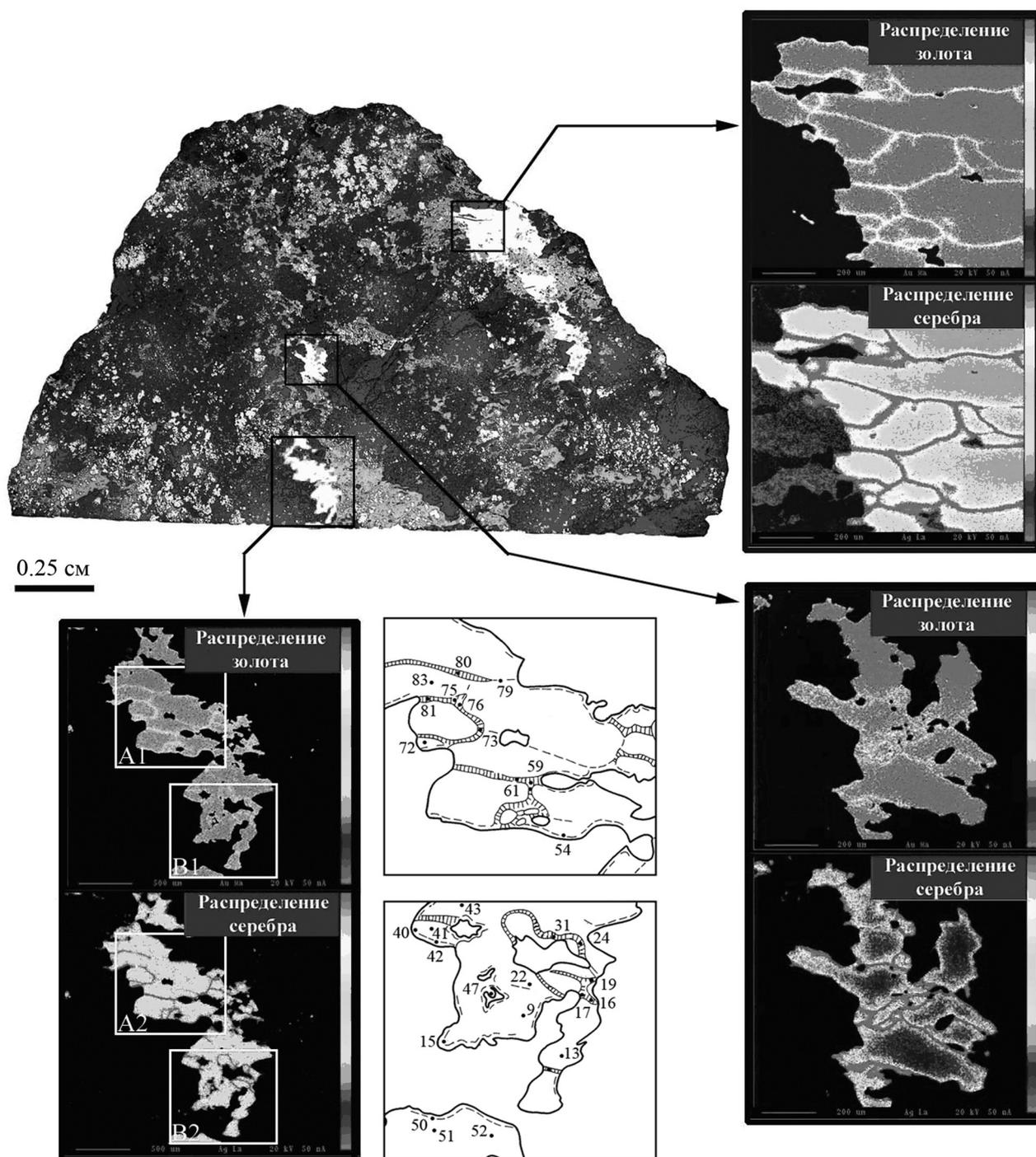


Рис. 5. Морфология и сетчатое строение золота в барит-борнит-халькопиритовой руде месторождения Таш-Тау и геохимические карты по золоту и серебру, обр. 544-4.

Цифры на графическом рисунке соответствуют номерам анализов в табл. 1. Карты получены на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA 8900 (Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия, аналитик К. Беккер).

шим разбросом значений пробности (до 120 ед.) по сравнению с золотом из руд других фаций этих месторождений [19], и в этом оно сходно с золотом из кондуитов золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района.

В гидротермально-метасоматической фации состав золота в прожилково-вкрапленных рудах разных объектов различается. Содержание Ag в самородном золоте в пирит-халькопирит-сфалеритовых рудах Вишневого месторождения составляет 15–17 мас. %, тогда как в сфалерит-халькопирит-пирит-

кварцевых жилах содержание Ag понижается (7–11 мас. %) и появляется ощутимая примесь Fe (до 2.6 мас. %). В рудах Северо-Уваряжского месторождения золото содержит 20–35 мас. % Ag и примеси Cu, Fe, Te. **Разный состав золота привел к большому разбросу точек на рис. 6 по сравнению с золотом из кондуитов.** Набор минералов серебра также различен: их наибольшее количество (самородное серебро, акантит, гессит, кервеллеит и пирсеит) установлено на месторождении Северный Уваряж, меньшее количество (гессит, Bi-Ag-Te-сульфид, Ag-содержащий алтаит) – на Звездном рудопроявлении. Минералы серебра характеризуются широким спектром примесей (табл. 3).

В подрудных метасоматитах Александринского месторождения золото (18–19.5 мас. % Ag) присутствует в сульфидно-баритовых жилах и локализовано на контактах с халькопиритом, пиритом, галенитом и баритом [39]. Золото в галените содержит 14–16 мас. % Ag (до 20 мас. % по краям). Золото, ассоциирующее с гесситом, обогащено Ag – до 24 мас. %. В гессите зафиксированы примеси (мас. %) Au (до 1), Pb (до 1), Cd (до 0.8), Sb (до 0.3), S (до 0.1). Отметим, что такие низкие содержания Ag для золота, ассоциирующего со сфалеритом, галенитом, баритом, не характерны для других месторождений (например, Северный Уваряж).

Главная черта состава золота из руд **фации субмаринного гипергенеза** – наибольший разброс содержаний Ag (мас. %): 22–42 – Балта-Тау; 9–38 – Таш-Тау, 48–49 – Утреннее (табл. 3, рис. 6, 7). Это, в первую очередь, связано не с минеральной ассоциацией, а с нарастанием новых генераций золота, обогащенных Ag, на первичное гидротермальное золото. Присутствие реликтового и новообразованного золота также характерно для руд, преобразованных в стадию

континентального гипергенеза [9, 26]. Отличием является “очистление” золота (понижение содержаний серебра) в процессе континентального гипергенеза.

Золото из фации субмаринного гипергенеза концентрирует Hg и Te, тогда как для золота из руд, не затронутых субмаринными преобразованиями (гидротермальная и гидротермально-метасоматическая фации) ртуть практически не характерна.

Помимо высоких концентраций Ag в золоте, руды содержат разнообразные минералы серебра (самородное серебро, гессит, пирсеит, кервеллеит, сульфиды Ag и Cu, Ag-содержащие сульфиды – борнит и ковеллин). Для минералов золота и серебра характерны примеси Cu и Fe (золото, гессит, кервеллеит – Таш-Тау, Утреннее), Hg (золото – Таш-Тау, Балта-Тау), Au, Zn, Pb, Sb, S (гессит – Балта-Тау), Pb, Se, Sb, As, S (гессит, кервеллеит, Ag-содержащий ковеллин, сульфид Ag и Cu – Таш-Тау, Утреннее).

По составу золота из колчеданных месторождений Урала, в различной степени преобразованных субмаринными процессами, к настоящему времени накоплен богатый фактический материал [4, 17, 18, 34, 35]. Для этого золота характерен широкий разброс содержаний Ag (мас. %): 12–27 (Дергамышское), 27–54 (Талганское), 27–45 (Сафьяновское), который связан с присутствием 1) реликтового золота (из обломков первичных гидротермальных руд) и 2) новообразованного золота, обрастающего или рассекающего реликтовое золото [34]. Основными примесями в золоте, помимо Ag, являются Cu и Fe (Яман-Касы, Дергамыш, Чебачье, Талган), ртуть характерна для золота из рудокластитов месторождений Яман-Касы и Талганское. Разброс пробности золота в преобразованных кластогенных рудах Александринского месторождения составляет 660–920 [18].

Существенно борнитовые руды Гайского, Кара-

Таблица 3. Сводная характеристика минералов золота и серебра из рудных фаций золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района

Минералы, месторождения	Рудные фации		
	придонная гидротермальная	гидротермально-метасоматическая	субмаринного гипергенеза
Минералы золота	электрум Ag 18–34 Fe 0.05–1.14	самородное золото электрум Ag 7–35 Fe 0.02–2.57 Cu 0.03–0.98 Hg 0.07–0.16 Te 0.02–0.19	самородное золото электрум кюстелит Ag 8–66 Hg 0.60–10.98 Cu 0.02–0.38 Te 0.02–0.15
Минералы серебра	гессит	самородное серебро (Au, Cu, As, Te, Cd, Bi) акантит (примеси Au, Cu, Fe, Pb, Te, Sb, As) гессит (Cu, Zn, Pb, As, S) кервеллеит (Cu, Zn, Fe, Pb, Sb) пирсеит (Au, Zn, Fe, Te, Sb) теллурид Bi и Ag	самородное серебро (Cu, Zn) гессит (Au, Zn, Pb, Zn, Sb, Fe, Cu) кервеллеит (Pb, Cu, Fe, Sb) сульфид Ag и Cu (Te, Sb, As)
Месторождения	Балта-Тау Таш-Тау Вишневское	Вишневское Северный Уваряж Звездное	Балта-Тау Таш-Тау Утреннее

Примечание. Содержания элементов даны в мас. %.

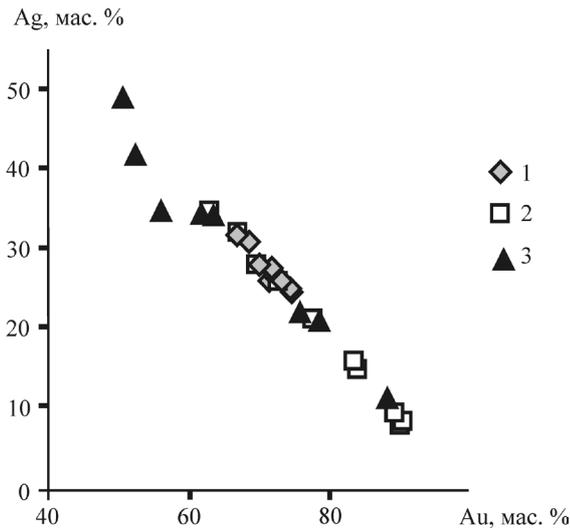


Рис. 6. Соотношение средних содержаний золота и серебра в золоте из различных рудных фаций золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района.

Здесь и на рис. 7: 1 – придонная гидротермальная фация, кондуиты; 2 – гидротермально-метасоматическая фация; 3 – субмаринная гипергенная фация.

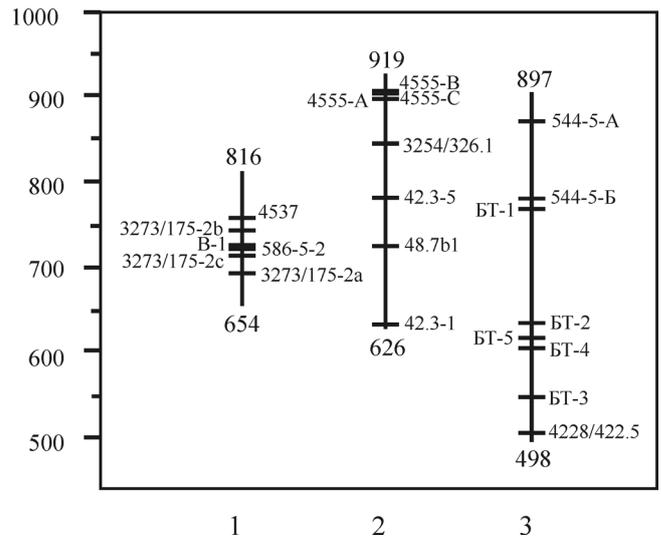


Рис. 7. Разброс пробности в золоте из разных рудных фаций золото-колчеданно-полиметаллических месторождений Баймакского рудного района с указанием средних значений для отдельных зерен (номера соответствуют номерам образцов в табл. 1).

башского, им. XIX Партсъезда, им. III Интернационала, Молодежного месторождений [23] и Бабарыкинского рудопроявления (Александринский рудный район) [29] могут быть сопоставлены с рудами месторождения Таш-Тау, обогащенными борнитом в результате процессов субмаринного преобразования. Золото в борнитовых рудах этих месторождения также имеет большой разброс содержаний Ag (9–30 мас. %), но в виде микропримесей содержит Cu, Bi, Sb и в единичном случае – Hg. Обращает на себя внимание идентичность каемок золота, нарастающих на борнит в рудах Гайского и Таш-Тауского месторождений. Содержание Ag в этих каемках 14–21 мас. % [4].

Для золота в борнитовых рудах месторождения Таш-Тау характерны сетчатые текстуры с микрожилками, обогащенными серебром. Подобные явления были описаны ранее М.И. Новгородовой с коллегами [28] для борнит-галенит-блеклорудной фации. Сходные структуры дезинтеграции золота [33] установлены также в зонах субмаринного окисления Александринского (Урал) и Урупского (Кавказ) месторождений [7]. Сетчато-чешуйчатое золото описано в современных сульфидных рудах задугового бассейна Лау [44].

При характеристике борнитовых руд ряд авторов придерживается точки зрения об их метаморфогенном происхождении, обусловленном “воздействием поздних гидротермальных растворов на медноколчеданные руды” [28, с. 74]. Однако, залегание горизонтов борнитовых руд в кровле рудных тел, в частности, на сульфидных песчаниках и ксенолиты борнитовых руд в вышележащих обломочных отложениях

являются противоречиями метаморфогенной гипотезе и свидетельствуют в пользу их придонного образования.

Широкие вариации пробности минералов золота (300–900), приуроченных к верхним частям рудных тел колчеданных месторождений, в частности, баритовым линзам, также отмечены для восточно-австралийских колчеданных месторождений [45]. Более узкий интервал пробности (750–1000) характерен для золота, ассоциирующего с халькопиритом и пиритом, из прожилково-вкрапленных руд. Авторы объясняют это отложением золота, в первом случае, из тиокомплексов, благодаря снижению концентрации H₂S во флюидах из-за их разбавления и окисления в результате смешения с морской водой и, во втором случае, – из хлорокомплексов, благодаря увеличению pH растворов или падению температуры в результате постепенного движения гидротермального флюида через сульфидное тело.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение золото-колчеданно-полиметаллических объектов Баймакского рудного района позволяет сделать следующие выводы:

1. На исследованных месторождениях и рудопроявлениях были диагностированы рудные фации, свидетельствующие о различных процессах образования руд в пределах сульфидных построек: придонная гидротермальная с реликтами сульфидных холмов, массивными рудами и рудоподво-

дьящими каналами (кондуитами), гидротермально-метасоматическая с прожилково-вкрапленной минерализацией в подрудном штокверке и субмаринного гипергенеза, которая проявлена в верхних частях рудных тел придонной гидротермальной и кластогенной фаций.

2. Образование борнитовых руд, отнесенных к фации субмаринного гипергенеза, не связано с метаморфизмом. Это доказывается приуроченностью соответствующих руд к кровле сульфидных залежей, закономерной позицией в сульфидных циклитах, находками борнитовых ксенолитов в обломочных отложениях.

3. Разброс содержаний серебра (7–35 мас. %) и пробности (626–919) в золоте из гидротермально-метасоматической фации, не подверженной процессам субмаринного преобразования, связан с образованием золота в ассоциации с разными минералами. Повышенные содержания серебра в золоте связаны с низкотемпературной барит-полиметаллической (сфалерит-галенит-теннантитовой) минеральной ассоциацией. Золото, ассоциирующее с более высокотемпературными минералами – кварцем, пиритом, сфалеритом и халькопиритом, содержит минимальные количества серебра.

Разброс содержаний серебра (8–49 мас. %) и пробности (498–897) в золоте из придонной гидротермальной и кластогенной фаций, преобразованных в стадию субмаринного гипергенеза, связан с нарастанием кайм новообразованного более низкопробного золота на более высокопробное реликтовое золото.

4. Набор элементов-примесей (Cu, Fe, Hg и Te) сходен для золота из одних рудных фаций, но разных месторождений. Золото в кондуитах из придонной гидротермальной фации не содержит примесей (Балта-Тау) либо характеризуется незначительной примесью Fe (Таш-Тау, Вишневское). Золото из гидротермально-метасоматической фации содержит Fe (Вишневское) и небольшие примеси (до 1 мас. %) Cu, Hg и Te (Северный Уваряж). Золото из фаций, преобразованных субмаринным гипергенезом, характеризуется устойчивой примесью Hg (до 10 мас. %), Cu и Te (Балта-Тау, Таш-Тау, Утреннее).

Авторы благодарят В.А. Гильмаева и Н.И. Татарко (ОАО “Башкиргеология”) за содействие при проведении полевых работ и предоставленные фондовые материалы. Авторы признательны коллегам из лаборатории минералогии рудогенеза Института минералогии УрО РАН за помощь и конструктивные замечания в ходе исследований, а также В.А. Котлярову, Е.И. Чуринову, Дж. Спратту и К. Бекеру за выполнение анализов.

Исследование поддержано интеграционным проектом УрО-СО РАН (09-И-5-2004) и грантом Президента РФ для молодых кандидатов наук МК-485.2011.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевич А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
2. Викентьев И.В. Состав самородного золота в колчеданных рудах Урала // Докл. АН. 2003. Т. 393, № 5. С. 659–663.
3. Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
4. Викентьев И.В., Молошаг В.П., Юдовская М.А. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 2. С. 91–125.
5. Гильмаев В.А. и др. Проект на проведение поисков на Вишнево-Матраевском рудном поле. Сибай, 2006ф.
6. Зайков В.В. Минералы золота и серебра в зонах субмаринного и континентального гипергенеза медно-колчеданных месторождений Южного Урала // Уральский минералогический сборник № 7. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. С. 33–67.
7. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 2006. 429 с.
8. Зайков В.В. Золото в рудоподводящих каналах колчеданных месторождений // Металлогения древних и современных океанов-2006. Условия рудообразования. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 171–176.
9. Зайков В.В., Белогуб Е.В., Котляров В.А. Галогениды серебра и самородное золото из зоны окисления месторождения Балта-Тау (Южный Урал) // Минералогия Урала-2003: мат-лы IV Всерос. совещ. Т. 2. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 16–20.
10. Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.
11. Зайков В.В., Новоселов К.А., Кулешов Ю.В., Зайцев В.Н. Золото и серебро в рудах Утреннего и Звездного рудопроявлений (Баймакский рудный район, Южный Урал) // Уральский минералогический сборник № 11. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 57–66.
12. Контарь Е.С., Либарова Л.Е. Металлогения меди, цинка и свинца на Урале. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 233 с.
13. Косарев А.М. Геохимические особенности вулканогенных формаций Южного Урала и их продуктивность на колчеданосное оруденение // Литосфера, 2010. № 3. С. 177–184.
14. Кулешов Ю.В., Зайков В.В. Месторождение Таш-Тау – пример девонских подводных сульфидных построек (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. 158 с.
15. Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
16. Масленников В.В., Зайков В.В. Колчеданосные поля окраинно-океанических структур Урала (классификация, рудные фации, модель развития). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 92 с.
17. Масленников В.В., Зайков В.В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 224 с.

18. *Масленникова С.П., Масленников В.В.* Пробность самородного золота в сульфидных трубах “черных курильщиков” колчеданных месторождений Урала // *Металлогения древних и современных океанов-2007. Гидротермальные и гипергенные системы*. Т. I. Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. С. 128–135.
19. *Масленникова С.П., Масленников В.В.* Сульфидные трубы палеозойских “черных курильщиков” (на примере Урала). Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.
20. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения / В.А. Прокин, В.М. Нечеухин, П.Ф. Сопко и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1985. 288 с.
21. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение / В.А. Прокин, Ф.П. Буслаев, М.И. Исмагилов и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 241 с.
22. *Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В., Котляров В.А.* Благороднометалльная минерализация в рудных фациях Вишневого колчеданного месторождения, Южный Урал // *Металлогения древних и современных океанов-2008. Рудоносные комплексы и рудные фации*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 94–98.
23. *Молошаг В.П., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я., Тесалина С.Г.* Борнитовые руды колчеданных месторождений Урала // *Литосфера*. 2005. № 3. С. 99–116.
24. *Молошаг В.П., Грабежеев А.И., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я.* Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфирировых месторождений Урала // *Литосфера*. 2004. № 2. С. 30–51.
25. *Мурзин В.В.* Состав самородного золота Урала и его типоморфное значение. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 58 с.
26. *Нестеренко Г.В., Воротников Б.А., Николаева Н.М., Пецевичский Б.И.* Новообразования минералов золота в зоне окисления сульфидных месторождений Казахстана // *Записки ВМО*. 1985. Ч. СХIV, вып. 5. С. 555–568.
27. *Нечеухин В.М.* Региональный зеленокаменный метаморфизм вулканогенных пород Баймакского рудного района на Южном Урале // *Метаморфизм горных пород главной вулканогенной зоны Урала*. М.: Недра, 1969. С. 5–119.
28. *Новгородова М.И., Шепелев В.М., Цепин А.И.* Золотосодержащие минеральные ассоциации в медноколчеданных месторождениях Южного Урала // *Геология рудных месторождений*. 1977. № 2. С. 63–76.
29. *Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Аюпова Н.Р.* Бабарькинское рудное поле (Александринский колчеданноносный район, Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 175 с.
30. *Прокин В.А.* Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. М.: Недра, 1977. 176 с.
31. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
32. *Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А.* Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГА, 2001. 622 с.
33. Самородное золото России. Атлас / Под ред. А.И. Кривцова. М.: ЦНИГРИ, 2003. 184 с.
34. *Сафина Н.П., Аюпова Н.Р., Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А.* Состав золота в рудокластитах и продуктах их придонного преобразования на колчеданных месторождениях Урала // *Уральский минералогический сборник № 17*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. С. 31–44.
35. *Сафина Н.П., Масленников В.В.* Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское, Урал. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 260 с.
36. *Серавкин И.Б.* Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: Наука, 1986. 268 с.
37. *Симонов В.А., Зайков В.В., Ковязин С.В.* Физико-химические параметры магматических систем на колчеданном месторождении Вишневого (Южный Урал) // *Металлогения древних и современных океанов-2010. Рудоносность рифтовых и островодужных структур*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. С. 119–124.
38. *Сопко П.Ф., Исмагилов М.И., Серавкин И.Б., Сопко Л.Н.* Колчеданные месторождения Баймакского рудного района. М.: Наука, 1973. 224 с.
39. *Тесалина С.Г., Масленников В.В., Оржеваль Ж.Ж.* Минералы золота и серебра в рудных фациях Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) // *Металлогения древних и современных океанов-2000. Открытие, оценка и освоение месторождений*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 140–145.
40. *Холланд Н.* Формирование золото-баритовой линзы на месторождении Балта-Тау (Южный Урал) // *Металлогения древних и современных океанов-2007. Гидротермальные и гипергенные системы*. Т. I. Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. С. 141–145.
41. *Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др.* Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. Л.: Недра, 1988. 503 с.
42. *Eldridge C.S., Barton P.B., Omoto H.* Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko ore bodies // *Econ. Geol. Monographs*. 1983. V. 5. P. 241–281.
43. *Holland N.G.* The formation of an ancient gold-rich volcanogenic massive sulfide deposit: a study of the Balta-Tau deposit in the Southern Urals of Russia // *PhD thesis, University of Southampton, 2002. (Unpublished)*.
44. *Herzig P.M., Hannington M.D.* Polymetallic massive sulfides and gold mineralization at mid-ocean ridges and in subduction-related environments // *Handbook of marine mineral deposits*. *Eos Trans. AGU*, 2000. P. 347–368.
45. *Huston D.L., Bottrill R.S., Creelman R.A. et al.* Geologic and geochemical controls on the mineralogy and grain size of gold-bearing phases, eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits // *Econ. Geol.* 1992. V. 87. P. 542–563.
46. *Novoselov K.A., Belogub E.V., Zaykov V.V., Yakovleva V.A.* Silver sulfotellurides from volcanic-hosted massive sulfide deposits in the Southern Urals // *Mineral. Petrol.* 2006. V. 87. P. 327–349.
47. *Zaykov V.V., Novoselov K., Kotlyarov V.* Native gold and tellurides in the Murgul and Cayely volcanogenic Cu deposits (Turkey) // *Au-Ag-Te-Se deposits. IGCP Project 486. Field workshop*. Izmir, Turkey, 2006. P. 167–172.

Рецензент В.П. Молошаг

Gold and silver minerals in the ore facies from gold-polymetallic deposits of Baimak ore district, the South Urals

V. V. Zaykov, I. Yu. Melekestseva

Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

The submarine hydrothermal, hydrothermal-metasomatic, clastogene and submarine hypogene ore facies were identified in the volcanogenic-hosted gold-polymetallic massive sulfide deposits of Baimak ore district in the South Urals. All ore facies contain gold and silver minerals with certain geochemical peculiarities. The dispersion of Ag contents (8–49 wt. %) in gold from the hydrothermal and hydrothermal-metasomatic facies is related to the primary mineral association whereas the dispersion of one in gold from clastogene and submarine hypogene facies is caused by ore transformation and the appearance of the newly formed gold. The gold fineness varies from 498 to 919. The least fineness dispersion is characteristic of gold from the hydrothermal facies, the greatest one is typical of gold from submarine hypogene facies. The set of trace-elements (Cu, Fe, Hg and Te) is similar for gold from different deposits but in the same ore facies. Gold from conduites of near-bottom hydrothermal facies contains insignificant Fe admixture; the one from hydrothermal-metasomatic facies includes Fe and some impurities of Cu, Hg and Te and gold from submarine hypogene facies contains stable Hg (up to 10 wt. %), Cu and Te contents.

Key words: minerals of gold and silver, ore facies, massive sulfide deposits, paleoisland arc, Baimak ore region, the South Urals.