

СЕРЕБРО-СУРЬМЯНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

**Н.А. Горячев¹, Г.Н. Гамянин², В.Ю. Прокофьев², Т.А. Веливецкая³,
А.В. Игнатьев³, Н.В. Лескова⁴**

¹Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000; e-mail: goryachev@neisri.ru

²Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии РАН, Старомонетный 35, г. Москва, 119017

³Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100-лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022

⁴Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина 39, г. Якутск, 677892

Поступила в редакцию 2 августа 2010 г.

Изучены минеральные ассоциации серебро-сурьмяных месторождений Яно-Колымского складчатого пояса. Приводятся данные по составам рудных минералов, изотопному составу серы в них углерода и кислорода в карбонатах. Арсениопирит изученных месторождений существенно обогащен примесью сурьмы (1–16 %). Это связано с первичным обогащением рудовмещающих толщ Sb и малыми глубинами формирования месторождений. По данным изучения флюидных включений, месторождения формировались при $T=329–149^{\circ}\text{C}$ и $P=0.30–1.04\text{ кб}$ из слабоконцентрированных хлоридно-сульфатно-бикарбонатных растворов, обогащенных Sb и Ag. На последовательность отложения Ag-Sb минералов существенное влияние оказывают концентрация Sb, активность и потенциал S во флюиде.

Ключевые слова: серебро-сурьмяное оруденение, Sb-арсениопирит, стабильные изотопы и флюидные включения, Яно-Колымский складчатый пояс, Северо-Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

В 1988 г. нами была опубликована статья, посвященная типизации близповерхностного оруденения Восточной Якутии [4], в которой был выделен самостоятельный тип серебро-сурьмяного оруденения и дана его геолого-минералогическая характеристика. За прошедшие годы накопилось большое количество наблюдений и аналитического материала, уточняющих высказанные нами положения и позволяющих рассмотреть металлогеническую позицию и минералообразующую роль серебра и сурьмы в данном типе месторождений. Основная цель работы – показать взаимовлияние Ag, Sb и As в процессе формирования руд серебро-сурьмяных месторождений раннемелового металлогенического этапа развития региона. В основу статьи положены материалы личных полевых наблюдений авторов, минералого-геохимических исследований, выполненных в разных лабораториях (микронзондовые и атомно-абсорбционные определе-

ния – ИГАБМ СО РАН и СВКНИИ ДВО РАН, исследования стабильных изотопов – ДВГИ ДВО РАН, исследование флюидных включений – ИГЕМ РАН, ЦНИГРИ МПР РФ). Объектами исследований для “чистоты эксперимента” выбраны моноэтапные месторождения, сформированные в единый тектоно-магматический цикл. Месторождения, которые имеют сложную историю формирования или неопределенное металлогеническое положение, использовались нами только в качестве сравнения и сопоставления.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРЕБРО-СУРЬМЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ И РЕГИОНАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Серебро-сурьмяное оруденение Яно-Колымского пояса представлено самостоятельными объектами, промышленное значение которых неопределенно и которые, собственно, явились предметом нашего исследования (Кавказ, Морозовское, Дичек, Аид,

Приметное, Тихон, Урультун). Этот тип оруденения входит также в состав комплексных полиформационных Sn-Ag объектов, таких как Купольное, Тигрец-Индустрия, Хатыс, Громада, где формируются руды позднего серебряного этапа [9, 13, 17]. Кроме того, нами зафиксированы многочисленные серебро-сурьмяные точки минерализации, располагающиеся в золото- или оловорудных узлах.

В Тарыно-Пильском золоторудном узле прожилки (до 10 см мощности) криптозернистого от серой до черной окраски с вкрапленностью мельчайшего (<0.01 мм) пирита, а иногда и фрейбергита, пересекают продуктивные золото-кварцевые рудные тела. В Нельканском гранитоидном массиве известны многочисленные прожилки и маломощные жилы (до 15 см) сферолитового кварца, сочетающегося с криптозернистым или ритмично-полосчатым колломорфным кварцем. Встречаемые в гранитоидах кварц-турмалиновые жилы пересекаются такими прожилками. Подобный поздний кварц пересекает кварц-касситерит-турмалиновые жилы в Барыэллах-Тарынском массиве, кварц-вольфрамит-молибденит-касситеритовые жилы Эбир-Хаинского массива. В кварце отмечается мелкая вкрапленность арсенопирита и редких зерен фрейбергита и пираргирита. Обособленные точки минерализации с серебро-сурьмяным оруденением выявлены также на северо-западном фланге Дарпирского разлома, недалеко от месторождения Морозовское, а также в Тарынском субвулкане.

Серебро-сурьмяные месторождения и рудопроявления локализованы преимущественно в центральной части Яно-Колымского складчатого пояса в разных геологических структурах и контролируются крупными региональными разломами (рис. 1, табл. 1). По соотношениям их с месторождениями иных типов минерализации, они явно послезолото- и оловорудные. Для Хатысского рудного поля, локализованного в иной структурной зоне, также установлено позднее положение серебро-сурьмяного оруденения относительно оловянного [18]. Со стерильным, в отношении содержаний Ag, сурьмяным оруденением, формирующим комплексные золото-сурьмяные руды месторождений Сентачан и Сарылах, а также с собственно сурьмяными месторождениями (Узловое), соотношения серебро-сурьмяных руд неопределены, но и те и другие явно сформировались до ртутных месторождений, самых молодых в рассматриваемом регионе [18]. Более того, известны примеры наложения ртутного оруденения на серебро-сурьмяные руды с образованием амальгам серебра (Хачакчан) в соседнем регионе Верхоянья [18].

Помимо геохимических различий (присутствие/отсутствие Ag), существует регионально-структур-

ное свидетельство, позволяющее предполагать разновременность серебро-сурьмяной и сурьмяной минерализаций, заключающееся в их различном пространственном распределении. Сурьмяное оруденение сконцентрировано в узких линейных зонах преимущественно северо-западного простирания, подобно ртутоносным зонам [18], а серебро-сурьмяное, как показано выше, имеет рассредоточенное положение с тенденцией тяготения к поперечным структурам, секущим складчатость (рис. 1). В этом отношении просматриваются определенные параллели между серебро-сурьмяным оруденением Яно-Колымского пояса и серебро-полиметаллическим оруденением (Прогноз, Мангазея и пр.) Верхоянского складчатого пояса. Последние отчетливо контролируются поперечными разломами [6]. Все изложенное позволяет нам предполагать более раннее формирование серебро-сурьмяного оруденения относительно сурьмяного.

Относительно взаимоотношений с золоторудной минерализацией данных немного, но и они свидетельствуют о позднем проявлении серебро-сурьмяных ассоциаций. Так на золото-кварцевом месторождении Хангалас известны поздние секущие жилы халцедоновидного кварца, подобные жилам серебро-сурьмяного рудопроявления Приметное [12], на золото-висмутовом месторождении Эргелях также установлены поздние жилы с серебро-сурьмяной с золотом минерализацией [10] (рис. 2). Таким образом, серебро-сурьмяное оруденение проявилось после орогенных руд золота и олова, но до явно посторогенных [18] руд сурьмы и ртути. Учитывая существующие представления об этапности рудообразования и тектогенеза, на рассматриваемой территории Северо-Востока Азии [11, 13, 18] проявления серебро-сурьмяного оруденения следует отнести к этапу завершения формирования Охотско-Корякского орогенного пояса в конце раннего мела. В пользу этого свидетельствуют и датировки магматических тел (120–100 млн л.), с которыми пространственно ассоциируют эти месторождения. Т.е. это – отдельный этап Ag металлогении Северо-Востока Азии.

По геологической позиции все изученные месторождения различны (табл. 1). Часть из них (Тихон, Дичек, Аид) локализована в позднеюрских вулканогенных породах, другая часть размещается в терригенных триасово-юрских песчано-сланцевых отложениях верхоянского комплекса (Приметное, Кавказ, Морозовское), и одно месторождение – в массиве гранодиоритов и ороговикованных песчано-сланцевых породах юрского возраста (Громада). Однако в большинстве случаев серебро-сурьмяное оруденение тесно ассоциирует с раннемеловыми дайками и штоками гранит-порфиров, либо пространственно (Кав-

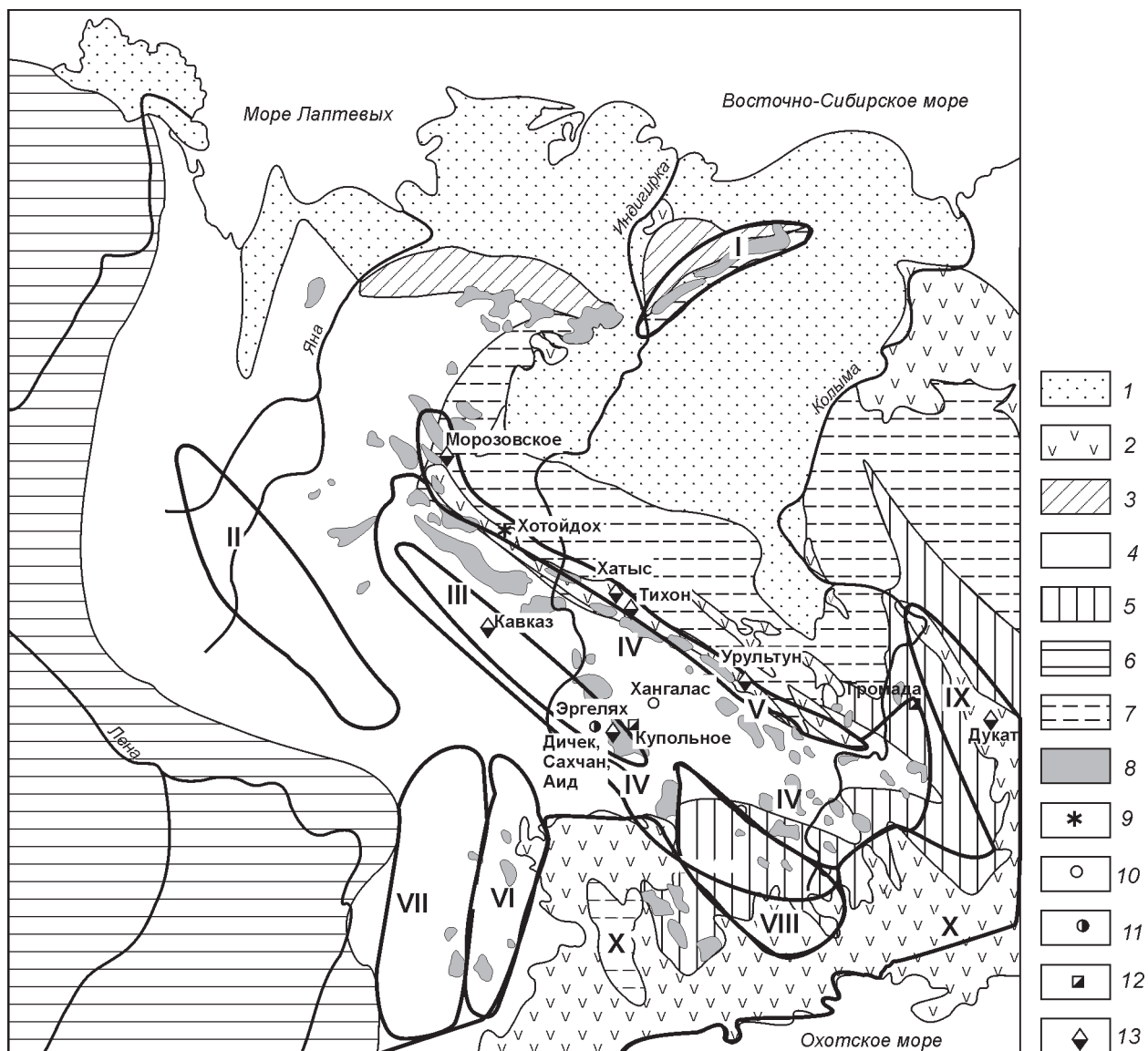


Рис. 1. Позиция изученных месторождений в металлогенических золото-серебро-сурьмяных зонах мезозойд Северо-Востока России (по [13] с упрощениями и изменениями).

1 – аллювий, 2 – вулканиты позднего мезозоя, 3 – островодужные образования, 4 – Верхоянская пассивная окраина, 5 – Вилигинский и Чукотский шельфовые террейны, 6 – Сибирская платформа, 7 – кратонные террейны, 8 – гранитоидные плутоны позднего мезозоя; 9–13 – типы месторождений, упомянутые в тексте: 9 – барит-колчеданно-полиметаллический, 10 – золото-кварцевый, 11 – золото-висмутный, 12 – серебро-оловянный, 13 – серебро-сурьмяный. I–X зоны: I – Улахан-Тасская, II – Верхоянская, III – Адыча-Тарынская, IV – Иньяли-Дебинская, V – Уяндино-Ясачненская, VI – Верхнеюдомская, VII – Аллах-Юньская, VIII – Верхнеколымская, IX – Омсукчанская, X – Охотско-Чукотская.

каз, Громада), либо непосредственно в них (Тихон, Морозовское). Рудные тела представлены зонами кварцевого прожилкования, реже – кварцевыми жилами, окруженными ореолами метасоматически преобразованных пород (окварцевание и серицитизация, заметна аргиллизация), иногда содержащими рассеянное тонкое кварцевое прожилкование. Текстуры кварца жил и прожилков разнообразны: сферолито-друзовидные, ритмично-полосчатые с чередованием

раскристаллизованных и халцедоновидных полос, криптозернистые, в пустотах – мелко-друзовые хрусталевидные. В составе руд количество сульфидов редко превышает 1%. Обычно это тонкая вкрапленность (редко больше 2 мм), иногда микропросечки в кварце и метасоматитах. Среди рудных минералов существенно преобладают пирит и арсенопирит (70% и более от суммы рудных минералов), вторым по распространенности является антимонит (до

Таблица 1. Сводная характеристика изученных Ag-Sb месторождений и рудопроявлений.

Признаки	Тихон	Приметное	Кавказ	Морозовское	Аид	Дичек	Громада
Вмещающие породы	Риолиты и их туфы, поздняя юра	Триасовые песчаники и алевролиты	Юрские алевролиты	Среднеюрские песчаники и алевролиты, дайки дацитов	Дациты Тарынского субвулкана	Дациты Тарынского субвулкана	Гранодиориты (147 млн л.) и роговики по юрским песчано-сланцевым отложениям
Морфология и параметры рудных тел	Жилы и жильные зоны, до 300 м протяженностью, при мощности 4 м	Жильные зоны	Жильные зоны, до 250 м, при мощности до 3 м	Жильные зоны, мощностью до 6 м в ореоле прожилкования	Жильные зоны, до 400 м, при мощности до 10 м	Жильные зоны, до 300 м, при мощности до 4 м.	Жилы и жильные зоны, до 1 км, мощностью до 5 м
Ассоциирующий магматизм	Штоки и дайки гранит-порфиров	Дайки порфиров	Субвулкан гранит-порфиров	Гранит-порфиры	Нет	Нет	Шток и дайки гранит-порфиров
Метасоматоз	Серицитизация, окварцевание, аргиллизация	Окварцевание, Серцитизация	Серицитизация	Серицитизация, окварцевание, аргиллизация	Серицитизация, окварцевание, аргиллизация	Серицитизация, окварцевание, диккитизация	Хлоритизация и окварцевание
Главные жильные минералы	Кварц, диккит	Кварц крипто-зернистый	Кварц, кальцит	Кварц, анкерит, кальцит	Кварц, анкерит, кальцит, диккит	Кварц, диккит, кальцит	Кварц, кальцит
Рудные минералы	Пирит, сфалерит, фрейбергит, пираргирит, миаргирит, стефанит, дискразит, алларгентум, серебро самор.	Арсенопирит, пирит, сфалерит, фрейбергит, пираргирит, антимонит	Арсенопирит, пирит, сфалерит, фрейбергит, пираргирит, антимонит	Арсенопирит, пирит, сфалерит, фрейбергит, пираргирит, антимонит	Арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, пираргирит	Арсенопирит, гудмундит, пирит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, пираргирит, бертьерит, сурьма самор., валентинит гипоген.	Галенит, сфалерит, фрейбергит

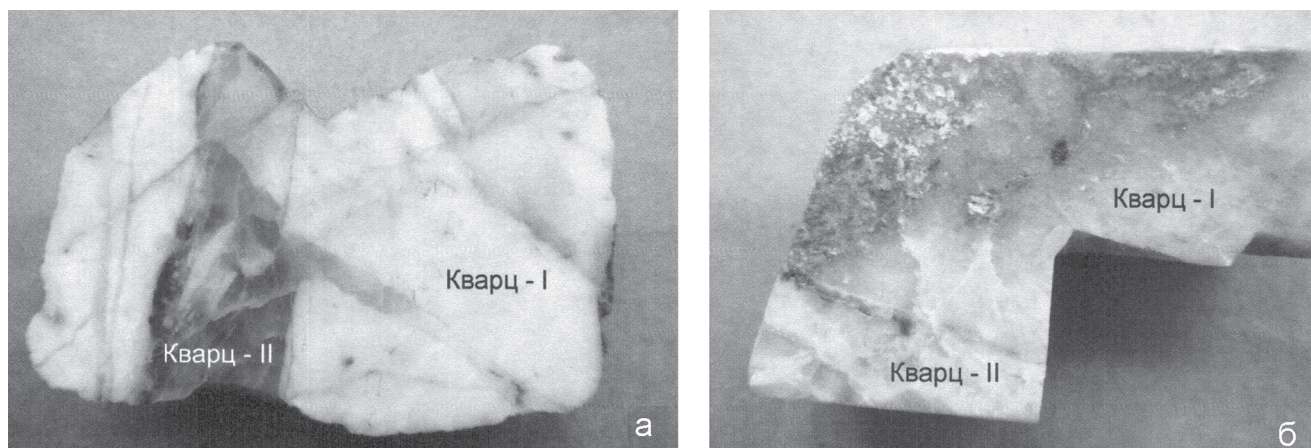


Рис. 2. Пересечение кварцевыми прожилками с серебро-сурьмяной минерализацией золото-висмутовых (б – месторождение Эргелях) и золото-кварцевых (а – месторождение Хангалас) жил.

10 %), менее распространены сульфиды полиметаллов (сфалерит, галенит, халькопирит) и минералы серебра, причем доля последних больше, чем поздних сульфидов, а в связи с резкой неравномерностью распределения отмечаются локальные участки рудных тел, где их концентрация может достигать 5–10 %.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ

В составе руд рассматриваемых месторождений известно более 20 рудных минералов, среди которых выделяются арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, сульфосоли серебра, акантит, самородное серебро и дискразит.

Изучение минералогии руд, взаимоотношений минералов в жилах и прожилках, а также исследование особенностей их состава позволяют нам выделить в составе руд серебро-сурьмяных месторождений Яно-Колымского пояса четыре минеральных ассоциации: (1) раннюю пирит-арсенопиритовую метасоматическую и кварц-пирит-арсенопиритовую жильную; (2) полиметаллическую, обычно халькопирит-сфалеритовую с редким галенитом; (3) главную продуктивную сульфосольную – пираргирит-фрейбергитовую и (4) позднюю, обычно антимонитовую (табл. 2).

Ранняя метасоматическая пирит-арсенопиритовая ассоциация приурочена к внутренней кварц-гидрослюдистой фации гидротермальных метасоматитов, где метакристаллы пирита и арсенопирита образуют вкрапленность разной насыщенности (3–20 %). Ширина зон сульфидной вкрапленности не превышает 10 см, а среднее содержание сульфидов не выходит за рамки 5 %. На ряде объектов (Дичек, Сахчан) в естественных обнажениях наблюдалось

снижение роли сульфидизации в объеме метасоматитов до практически полного исчезновения на интервале 200–300 м по вертикали. Практически повсеместно арсенопирит преобладает над пиритом. Пирит представлен пентагон-додекаэдрическими кристаллами, при травлении которых конц. HNO_3 иногда выявляется зональность. Зоны различаются степенью протравленности и насыщенности реликтами вмещающих пород. Арсенопирит формирует как обособленные призматические и ромбовидные зерна, так и ступково-пятнистые обособления. По составу это сернистые разновидности ($S/As = 1.075 \pm 0.006$) с содержанием Sb в пределах 0.2–0.5 %.

Жильная пирит-арсенопирит-кварцевая ассоциация составляет основу рудных тел месторождений. Серебро-сурьмяные месторождения при мало-сульфидном составе рудных тел обладают сложным текстурно-структурным рисунком руд, что обусловлено сочетанием кварца различного структурно-морфологического облика. Разнообразные сочетания колломорфного, криптозернистого, друзовидно-сферолитового кварца приводят к появлению ритмично-зональных, полосчатых, кокардовых, сферолитовых, друзовых и других типов текстур (рис. 3а), находящихся между собой в различных соотношениях. Кварц этих месторождений имеет ряд специфических особенностей. Это, прежде всего, весьма высокие содержания оксида лития 100–1000 г/т, стабильно повышенная водонасыщенность (0.15–0.20 % H_2O), однопиковая низкотемпературная естественная термолюминесценция, низкая степень совершенства кристаллического строения ($< 50\%$), большой объем элементарной ячейки ($V_{\text{э.я.}} > 113.000 \text{ \AA}^3$). В содержании петрогенных примесей отмечается следующая зависимость: с уменьшением зернистости агрегатов

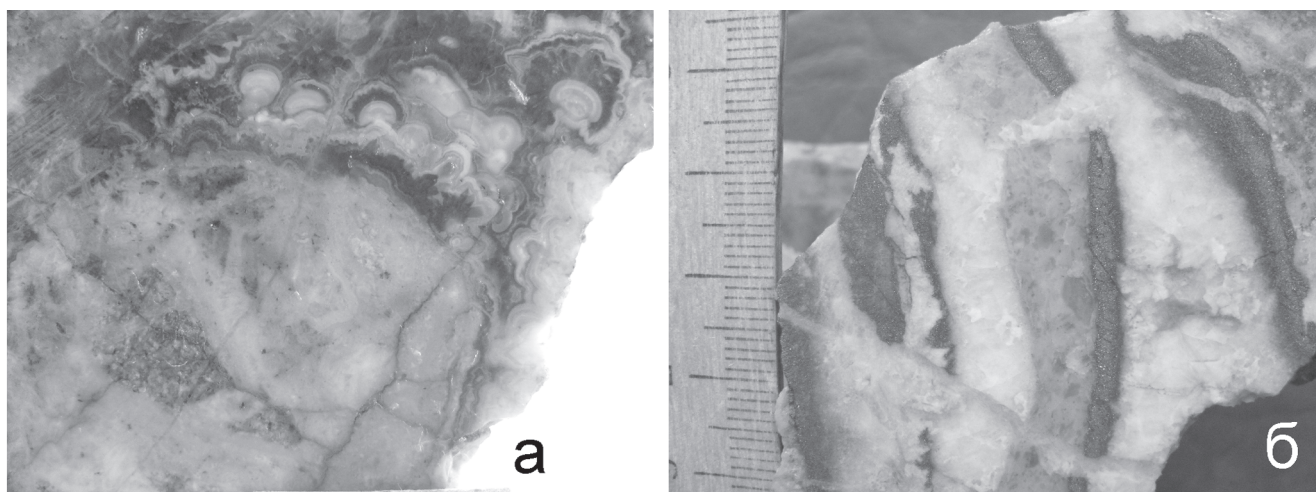


Рис. 3. Колломорфные текстуры кварца месторождения Купольное (а) и приуроченность сурьмянистого арсенопирита (черное) на месторождении Морозовское (б) к зальбандам карбонат-кварцевых прожилков (белое).

Таблица 2. Минеральные ассоциации Ag-Sb изученных месторождений.

Месторождение	Рудные минеральные ассоциации			
	Ранняя	Полиметаллическая	Сульфосольная	Поздняя
Тихон	Пиритовая (As до 5 %)	Сфалеритовая	Пираргирит-фрейбергитовая	Дискразит-самородно-серебряная
Аид, Громада	Пирит-арсенопиритовая (Sb в арсенопирите = 0.1–3.1 %)	Галенит-халькопирит-сфалеритовая	Пираргирит-фрейбергитовая	
Кавказ, Морозовское, Приметное, Урультун	Арсенопирит-пиритовая (Sb в арсенопирите = 0.3–8 %)	Сфалеритовая	Пираргирит-фрейбергитовая	Антимонитовая
Дичек, Сахчан	Пирит-арсенопиритовая (Sb в арсенопирите = 1–16 %)	Халькопирит-сфалеритовая	пираргирит-фрейбергитовая	Гудмундит-бертьерит-самородно-сурьмяно-антимонитовая

кварца – увеличивается их количество. Например, криптозернистые кварцы месторождения Приметное содержат максимальное количество оксида лития и они наиболее водонасыщенны.

Распространенность пирита и арсенопирита в кварцево-жильных телах весьма изменчива. Отчетливо проявляется угнетенность в распространенности пирита при значительном развитии арсенопирита (месторождения Урультун, Дичек), хотя в ряде объектов отмечается только пирит (Тихон). Пирит образует в кварце рассеянную вкрапленность кубических или усложненных (с гранями октаэдра) кубических кристаллов. Арсенопирит помимо отдельных кристаллов формирует мелкие скопления кристаллических сростков, иногда в виде веерообразных или сноповидных агрегатов, а в ряде случаев обособления в виде тонких полос или каемок на обломках вмещающих пород (рис. 3б). Состав пирита близок к стехио-

метрическому, но на месторождении Тихон, в котором арсенопирит отсутствует, он содержит повышенное (3–5 %) количество As. Во внутренних частях кристаллов здесь иногда выделяются 2–3 зоны, обогащенные мышьяком. Из примесных элементов в нем отмечаются высокие (500–1500 г/т) содержания Sb, Pb и Ag.

В месторождении Урультун нами была впервые описана сурьмянистая разновидность арсенопирита [3], которая оказалась типоморфной для серебро-сурьмяных месторождений (табл. 3). Установлено, что содержание Sb в арсенопирите на месторождениях с более глубокими уровнями среза существенно снижается. Распределение концентраций Sb в арсенопиритах крайне неравномерное – от десятых долей процента до 10–15 %. При этом наряду с относительно равномерным распределением в пределах отдельных зерен или даже агрегатов, существуют и обога-

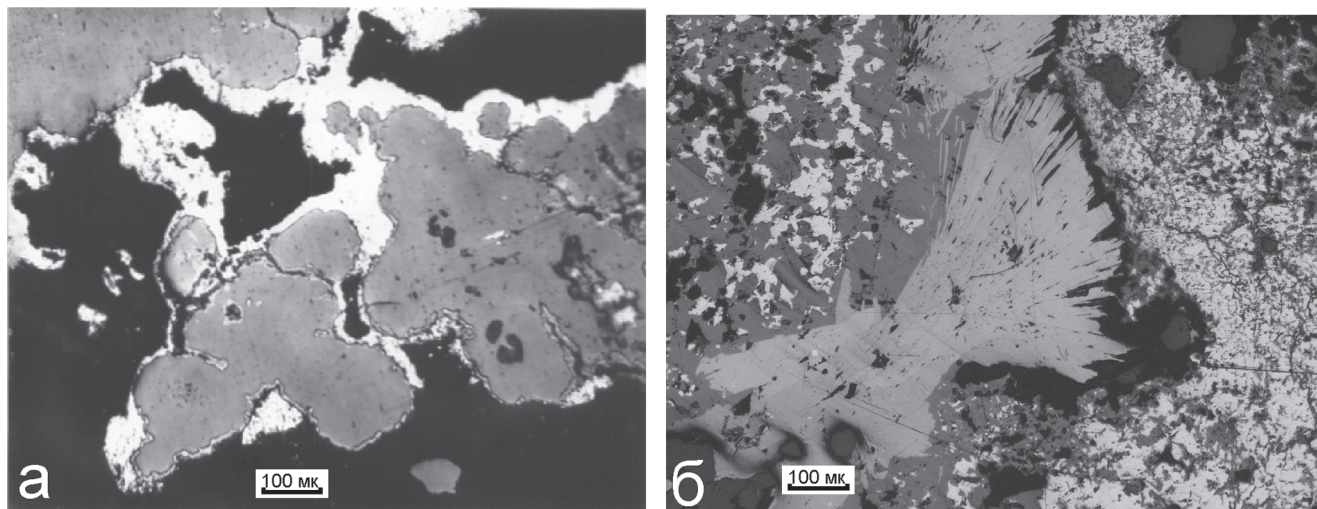


Рис. 4. Сфалерит (серое) в кайме самородного серебра (белое), месторождение Тихон (а) и ассоциация антимонита (серое, мозаичное в центре) с самородной сурьмой (белое) и валентинитом (серое) на месторождении Дичек (б).

щенные Sb зоны. Обычно это краевые зоны кристаллов [3]. Элементно-примесный состав арсенопирита, помимо существенной примеси Sb, специфичен прежде всего резким преобладанием содержаний Ag над Au и низким Au/Ag отношением $\ll 0.01$. Второй общей особенностью их является присутствие существенных количеств Cu (600–1500 г/т) при низких содержаниях Co и Ni.

Полиметаллическая ассоциация представлена сфалеритом совместно с халькопиритом и галенитом, которые, выделяясь вслед за пиритом и арсенопиритом, иногда локализуются рядом с ними. Они не имеют заметной приуроченности к скоплениям ранних сульфидов, но в участках их совмещения обычно являются секущими или цементирующими минералами. Повсеместно распространенный сфалерит образует как сростания с минералами парагенезиса, отражающие совместную сокристаллизацию, так и обособленные округлые или глобулярные образования. В свою очередь, сфалерит часто обрастается каймами сульфоантимонитов серебра и самородного серебра (рис. 4а). Халькопирит и галенит в серебро-сурьмяных месторождениях редки. Совместно со сфалеритом они обнаружены только на месторождении Аид. Кроме того, халькопирит выявлен на месторождении Громада и Дичек. Состав халькопирита стехиометричен, а в галените обнаруживается примесь Ag до 1% (табл. 3).

Сульфосольная ассоциация. По своему положению в рудных телах она относится к интерстициальным или прожилково-секущим образованиям, выполняя разноразмерные пустотки или микропро-

жилки и микропросечки в кварце, гнездах сульфидов, и располагаются по контуру выделений последних. Скопления минералов этой ассоциации могут быть приурочены к одному из зальбандов жил, локализоваться в их центральных частях или равномерно распределяться по всей мощности жил или прожилков. Отмечаются их гнездовые, линзовидные, полосчатые, редко зонально-полосчатые или ритмические обособления. Наиболее распространенным минералом сульфосольной ассоциации во всех месторождениях является фрейбергит, который в отдельных месторождениях является основным носителем серебра (Кавказ, Морозовское). Форма и размерность его выделений определяются формой выполняемого им пространства. Обычно это неправильные мелкие (до 1 мм), реже относительно более крупные (5–6 мм, очень редко 10 мм и более) гнезда. Для фрейбергита, выполняющего микродрозовые пустотки в кварце, отмечается интересная особенность: насыщенность головок кристаллов кварца мелкими (< 0.05 мм) овальными включениями фрейбергита. Поэтому его гнездовые обособления окружены ореолом мельчайшей вкрапленности. В ряду последовательности минералообразования фрейбергит является как бы связующим звеном между минералами полиметаллической и сульфоантимонитовой ассоциаций, образуя с ними тесные сростания.

Характерная особенность фрейбергита серебро-сурьмяных месторождений – высокое содержание в них Ag (как правило, выше 10 % и до 51 %) и некоторое преобладание в их составе железа над цинком

Таблица 3. Состав рудных минералов серебро-сурьмяных месторождений.

Месторождение	Минерал	n	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Se	S	Σ
Морозовское	Арсенопирит	18					35.0	40.1	2.8		21.9	99.8
Кавказ	Арсенопирит	17					33.9	39.7	4.4		20.9	98.8
Дичек	Арсенопирит	12					33.8	39.4	5.8		19.2	98.2
Сахчан	Арсенопирит	9					34.8	41.5	2.2		20.6	99.1
Урультун	Арсенопирит	11					35	39	4		21	99.0
Кавказ	Сфалерит	3				56.2	9.5				33.4	99.1
Аид	Сфалерит	4				60.9	6.9				33.2	101.0
Дичек	Сфалерит	5				57.9	9.0				33.2	100.0
Урультун	Сфалерит	2				59.1	5.9		0.6		33.5	99.1
Тихон	Сфалерит	4	0.3			63.0	0.4	0.7	0.5		34.6	99.2
Аид	Галенит*	3	0.8		84.3					0.5	13.1	97.9
Кавказ	Андорит	4	11.7	1.1	22.1		0.2		42.4	0.4	21.7	99.5
Дичек	Андорит	5	11.9	0.5	22.9		0.4		41.9	0.2	21.7	99.4
Морозовское	Фрейбергит	3	12.3	26.8		2.5	4.3		29.9		23.2	99.0
Кавказ	Фрейбергит	9	16.7	24.6		2.0	4.5		27.8		22.6	98.2
Аид	Фрейбергит	21	25.4	19.9		0.6	5.5	0.6	25.8		22.3	100.0
Дичек	Фрейбергит	21	32.1	14.8		1.5	4.5		25.4		21.1	99.4
Тихон	Фрейбергит	9	36.9	12.2		1.6	4.2	0.5	24.3		20.0	99.7
Дичек	Миаргирит	8	34.8	2.0					41.1		21.4	99.4
Сахчан	Миаргирит	7	36.0						41.1		21.0	98.1
Аид	Миаргирит	3	35.6	0.6					41.2		21.9	99.2
Тихон	Миаргирит	11	40.0	0.3	0.4		0.2	0.4	37.6	0.3	19.8	99.0
Дичек	Пираргирит	11	58.1	1.9				0.4	21.3		16.7	98.5
Тихон	Пираргирит	15	60.1	0.2	0.4			0.6	20.5	0.3	16.3	98.4
Тихон	Стефанит	7	67.0						16.7		15.7	99.4
Дичек	Полибазит	2	63.5	9.5				1.1	9.4	0.2	15.8	99.5
Тихон	Полибазит	3	77.0	1.4				1.2	10.5		11.5	101.6
Тихон	Пирсеит	5	78.2		0.4		2.3	5.1	0.4		13.2	99.6
Тихон	Дискразит	2	75.0						24.2			99.3
Дичек	Акантит	14	84.7	0.4			1.2	0.4	0.5	0.5	12.4	100.2
Аид	Акантит	3	84.5	0.2	0.4				1.2	0.2	12.9	99.3
Сахчан	Акантит	7	84.4						1.9		12.7	99.0
Тихон	Акантит	11	84.4	0.2			0.2	1.4	2.4		12.3	100.9
Тихон	Алларгентум	3	85.7						15.4			101.1
Тихон	Ag самородное	34	97.3						2.1			99.4

Примечание. * – присутствует Bi – 1.7 %, пустые клетки – содержание элемента ниже чувствительности микрозондового рентгено-спектрального анализа.

(табл. 3). Выявлены широкие вариации состава фрейбергита по содержанию Ag и Fe как в пределах месторождений (Дичек, Аид, Кавказ, Тихон), так и отдельных зерен. Нередко встречаются сростания зерен одинаковой железистости, но различной серебрисности и наоборот.

Среди других сульфоантимонитов преобладает пираргирит, несколько реже встречается миаргирит и спорадически стефанит. Мономинеральные выделения серебряных минералов весьма редки. Обычно же распространены мелкие гнезда тесно сроставшихся минералов. В таких случаях отмечается преобладание одного из минералов – фрейбергита, пираргирита или миаргирита.

Состав сульфоантимонитов серебра приведен в таблице 3. Конкретные анализы свидетельствуют о существенных вариациях концентраций основных компонентов – Ag , S и Sb . Нестехиометричность свойственна всем минералам. Пираргириты, например, в целом обогащены серебром и обеднены сурьмой и серой, хотя в ряде месторождений отмечаются пираргириты с дефицитом серебра. Это, в частности, характерно для пираргирита месторождения Дичек, в котором зато присутствует медь. По обогащенности серебром пираргириты простираются в область стефанитового состава. Для последней вариации компонентов также широки, приближаясь практически к составам полибазитов. Следует отметить, что типич-

ному полибазиту отвечают лишь данные анализов минерала из месторождения Дичек. Отсутствие меди характерно для пирсеита месторождения Тихон, но в нем обнаруживается примесь железа. В месторождении Тихон в ассоциации с пираргиритом и акантитом встречено зерно Cu -миаргирита. В пределах зерна распространение Cu неравномерное, постепенно уменьшающееся от краевых частей зерен с 25 % до 7 %, но повсюду соблюдается обратная зависимость содержания Cu-Ag . В настоящее время в малоглубинных месторождениях установлен широкий изоморфизм Cu-Ag в минералах серебра [5]. Помимо меди существенную примесь в серебряносодержащих сульфосолях играет мышьяк, концентрируясь преимущественно в высокосеребристых сульфосолях (табл. 3).

В поздней ассоциации минералов серебро-сурьмяных месторождений установлено три различных микропарагенезиса (табл. 2), не встречающихся совместно. Это дает основание выделить три группы месторождений: 1 – с сереброинтерметаллидно-самородным, 2 – сурьмяно-окисно-самородно-сульфосольно-сульфидным и 3 – сурьмяно-сульфидным парагенезисами.

Сереброинтерметаллидно-самородный парагенезис представлен на месторождении Тихон (табл. 3). Здесь минералообразование заканчивается отложением интерметаллидов серебра – дискразитом, алларгентумом и самородным серебром. Наряду с тесными совместными сростаниями, в пустотках нередко встречаются комковатые и сложнопереплетенные нитевидные выделения самородного серебра. Сурьмяно-окисно-самородно-сульфосольно-сульфидный парагенезис, который представлен гудмундитом, бертьеритом, валентинитом, антимонитом и самородной сурьмой, распространен в месторождениях рудного поля Дичек (Дичек, Сахчан, Серп). Спецификой данного парагенезиса является сокристаллизация гудмундита, бертьерита и самородной сурьмы, имеющих ровные границы сростаний и взаимные вросстки. Сменяющий их валентинит-антимонитовый парагенезис (рис. 4б) представлен пластинчатыми и сноповидными агрегатами антимонита в валентините. В валентините отмечаются вросстки самородной сурьмы. Границы валентинита с самородной сурьмой и антимонитом ровные, бескоррозионные.

В сурьмяно-сульфидном парагенезисе основная роль принадлежит антимониту (1–5 %, локально до 10 %), ассоциирующему с небольшим количеством марказита. Антимонит занимает, как правило, интерстициальное положение между агрегатами ранних минералов, преимущественно, кварца. В криптозернистых агрегатах кварца он образует также тончай-

шую вкрапленность игольчатых зерен, окрашивая кварц в темно-серые или черные тона. Иногда совместно с антимонитом пустотки в кварце выполнены кальцитом.

Стабильные изотопы. Нами было проведено исследование изотопов серы в пирите (10), арсенипирите (8), галените (1), фрейбергите (1), бертьерите (2), пираргирите (1) и антимоните (7) изученных месторождений по стандартной методике на приборе Finnigan Mat 260. Всего было изучено 33 пробы разных минералов из всех месторождений (табл. 4).

Закономерное облегчение состава серы в последовательном ряду кристаллизации минеральных ассоциаций, характерное практически для всех изученных месторождений, отражает общую эволюцию процесса минералообразования в пределах конкретных месторождений. По абсолютным же значениям соотношения изотопов серы все изученные месторождения разделились на три пространственно разобобщенные группы. В первую группу попадают месторождения, приуроченные к зоне влияния Адыча-Тарынского разлома, где концентрируются и крупнейшие тела субвулканических дацитов и гранит-порфиров. Для них характерна умеренно легкая S ($-0.9\div-5.6$ ‰), близкая по изотопному составу сере месторождений золота и олова, локализованных в центральной части Яно-Колымского пояса. Вторую группу составляют месторождения флангов Яно-Колымского пояса (Морозовское, Урультун, Громада), сульфиды которых обладают максимально легкой S ($-8.6\div-13.0$ ‰), характерной для золото-висмутовых месторождений, генетически связанных с гранитоидами [7]. И, наконец, третью группу составляет Тихонское месторождение и рудопроявление Приметное, сульфиды которых обладают максимально тяжелой S ($8.6\div-0.1$ ‰), обычной для месторождений, связанных с вулканитами Уяндино-Ясачненского вулканогенного пояса (Хотойдох) [7].

Разделение месторождений на указанные группы подчеркивается и разным составом изотопов углерода и кислорода карбонатов месторождений Аид и Приметное (анкерит) и Урультун, Громада и рудное поле Дичек (кальцит) (табл. 5). Так для месторождения Громада, обладающего весьма легкой серой, характерен легкий углерод и весьма тяжелый кислород в составе кальцита по сравнению с кальцитом месторождений Урультун, Дичек и Сахчан. Анкерит же Приметного рудопроявления обладает существенно более тяжелым кислородом по сравнению с Аидинским месторождением при практически одинаковом изотопном составе углерода.

Флюидные включения в кварце. Было проведено изучение температуры, давления и состава ми-

Таблица 4. Изотопный состав серы рудных минералов.

Месторождение	Кол-во проб	Минерал	Значения
Дичек	1	Пирит	-2.3
	2	Арсенопирит	-2.2; -1.9
	1	Гудмундит	-2.3
	1	Фрейбергит	-2.2
	1	Бертьерит	-4.8
	1	Антимонит	-5.6
Аид	3	Пирит	-0.9; -1; -1.1
	1	Арсенопирит	-1.2
Кавказ	2	Пирит	-3.1; -3.7
	1	Арсенопирит	-3.2
	2	Антимонит	-4.6; -5.4
Морозовское	1	Пирит	-11.7
	3	Арсенопирит	-9.5; -11.6; -10.6
	2	Антимонит	-13
Громада	1	Арсенопирит	-8.6
	1	Галенит	-11.7
Приметное	2	Антимонит	-0.1; 0.2
Тихон	3	Пирит	4.1; 4.2; 8.6
	1	Пираргирит	2.6
Урультун	1	Пирротин	-10.2
	1	Пирит	-9.3
	2	Арсенопирит	-9.5; -9.6

Таблица 5. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов.

Месторождение	Минерал	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
Аид	Анкерит	-6	5.9
Приметное	Анкерит	-6.5	16.6
Урультун	Кальцит	-13.4; -13.4	3.8; 4.3
Дичек	Кальцит	-11.4	4.7
Сахчан	Кальцит	-11.6; -11.1	2.3; 1.5
Громада	Кальцит	-10.5; -13.2	12.3; 9.9

нералообразующих флюидов по включениям их в рудоносном кварце некоторых месторождений (табл. 6, 7). В нем были обнаружены многочисленные флюидные включения размером 25–1 мкм, имеющие форму отрицательных кристаллов или неправильную. Флюидные включения, равномерно распределенные по объему минерала-хозяина или приуроченные к зонам роста, мы относим к первичному, а группы флюидных включений, располагающиеся в трещинах, не выходящих за пределы кристаллов, к первично-вторичному генетическим типам флюидных включений. Включения в секущих трещинах, являются вторичными. Нами изучались преимущественно первичные флюидные включения.

По фазовому составу среди обнаруженных флюидных включений выделяются три их типа (рис. 5):

углекислотно-водные (1-й тип), существенно газовые (2-й тип) и двухфазовые газовой-жидкие (3-й тип). Газовые включения, как правило, захватывались синхронно с включениями 1 и 3 типов (приурочены к одним и тем же зонам или трещинам), свидетельствуя о гетерогенном состоянии рудообразующего флюида (вскипании).

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились с использованием измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы "Linkam" (Англия), микроскопа "Amplival" (Германия), снабженного набором длиннофокусных объективов, видеокамеры и управляющего компьютера. Солевой состав растворов, их концентрации и давление оценивались по известным методикам и программам [2, 14, 19–21]. Анализ химического состава флюидов включений различными методами был выполнен по методике ЦНИГРИ [13]. Термо- и криометрические исследования 219 индивидуальных флюидных включений представлены в таблице 6 и на рисунке 6.

В кварце рудных жил месторождений Тихон и Кавказ углекислотно-водные флюидные включения гомогенизируются в жидкость соответственно при температуре 329° и 269°С, содержат водный флюид с хлоридами натрия и магния ($T_{\text{звт.}} -31^\circ$, и -36°С) с концентрацией солей 3.4 и 4.2–3.7 мас. %-экв. NaCl и углекислоты около 4 моль/кг раствора. Сингенетичные им существенно газовые включения типа 2 содержат углекислоту небольшой плотности, которая гомогенизируется в газ на месторождении Тихон при температуре +17.9° С (плотность 0.17 г/см³), а ее температура плавления составляет -57.6° С, что почти не отличается от температуры плавления чистой CO₂ (-56.6° С) и свидетельствует о небольшой примеси низкокипящих газов. Сингенетичные им существенно газовые включения типа 2 на месторождении Кавказ содержат плотный метан, который гомогенизируется в жидкость при температурах от -86.3 до -81.2° С, что соответствует плотности 0.24 г/см³. Оценка давления по этим двум типам сингенетичных включений составляет для месторождения Тихон 300 бар при 329° С, с отношением $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ равным 2.7. Для месторождения Кавказ давление составляет 1040 бар при 269° С, а отношение $P_{\text{общ.}}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ равно 20.9. Более поздний кварц рудных жил месторождения Тихон содержит двухфазовые включения типа 3, которые гомогенизируются в жидкость при температурах 327–297° С и содержат растворы хлоридов натрия и магния ($T_{\text{звт.}} -30^\circ\text{С}$) с концентрацией солей 6.9 мас. %-экв. NaCl. В раннем кварце месторождения Кавказ обнаружены вторичные двухфазовые включения типа 3, которые гомо-

Таблица 6. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце золото-серебряных месторождений.

Месторождение/№ пробы	Типы включений*	n	T _{гом} , °C	T _{эвт} , °C	T _{плавления льда} , °C	T _{пл. CO₂} , °C	T _{гом CO₂} , °C	Основной компонент	C _{солей} , мас. %-экв. NaCl	C _{CO₂} , моль/кг р-ра	C _{CH₄} , моль/кг р-ра	d, г/см ³	P, бар	$\frac{P_{общее}}{P_{H_2O}}$
Тихон	1, П	3	329	-31	-2,0	-57,2	28,5 Г	-	3,4	4,0	1,0	0,82	300	2,7
Т-146	2, П	2	-	-	-	-57,6	17,9 Г	CO ₂	-	-	-	0,17	-	-
Урультун У-311	3, П	29	327-287	-30	-3,1 ÷ -1,5	-	-	-	3,1	-	-	0,68-0,96	-	-
	3, П	31	153-149	-24 ÷ -21	-0,4 ÷ -0,3	-	-	-	0,7-0,5	-	-	0,93	-	-
Кавказ	3, П	24	269	-36 ÷ -29	-2,5 ÷ -2,2	-	-	-	4,2-3,7	-	-	0,80-0,82	1040	20,9
К-137	2, П	28	-	-	-	-	-86,3 ÷ -81,2 Ж	CH ₄	-	-	-	0,24	-	-
	3, В	8	238-226	-29 ÷ -27	-3,7 ÷ -2,6	-	-	-	6,0-4,3	-	-	0,87	-	-
Дичек Д-501	2, В	13	-	-	-	-74,1	-72,9 ÷ -63,9 Ж	CO ₂	-	-	-	-	-	-
	3, П	21	312-279	-37 ÷ -32	-2,1 ÷ -0,5	-	-	-	3,6-0,8	-	-	0,70-0,75	-	-

Примечание: * - 1 - углекислотно-водные, 2 - газозовые, 3 - двухфазовые газозово-жидкие; генетический тип включений: П-В - первично-вторичные; В - вторичные; n - количество исследованных включений; Ж - гомогенизация углекислоты в жидкую фазу, Г - в газовую фазу; d - плотность.

генизируются в жидкость при температурах 238–226°С и содержат растворы хлоридов натрия и магния (T_{эвт} -29÷-27°С) с концентрацией солей 6.0–4.3 мас. %-экв. NaCl. Встречаются также вторичные существенно газозовые включения типа 2, которые содержат углекислотно-метанозовую смесь с температурой гомогенизации от -72.9 до -63.9°С в жидкость.

В кварце рудных жил месторождения Дичек имеются первичные газозово-жидкие (тип 3) флюидные включения, гомогенизирующиеся в жидкость при температурах 312–279°С, которые содержат растворы хлорида натрия (T_{эвт} -37÷-32°С) с концентрацией солей 3.6–0.8 мас. %-экв. NaCl.

Кварц рудных жил месторождения Урультун содержит первичные газозово-жидкие (тип 3) флюидные включения, гомогенизирующиеся в жидкость при наиболее низких для изученных месторождений температурах 153–149°С и содержащие растворы хлорида натрия (T_{эвт} -24÷-21°С) с самыми низкими концентрациями солей 0.7–0.5 мас. %-экв. NaCl.

В целом данные исследования флюидных включений образуют непрерывный тренд на диаграмме “температура–концентрация солей” (рис. 6) с явным уменьшением концентрации солей в растворе от температуры. Не слишком высокие температуры, давления и концентрации солей в растворе при формировании руд изученных месторождений (за исключением месторождения Кавказ, где обнаружены высокие давления метана) обнаруживают сходство с типичными эпипермальными месторождениями.

Результаты исследования химического состава флюидных включений (табл. 7) в целом подтверждают информацию криометрических исследований. Для флюидов всех месторождений установлены невысокие концентрации углекислоты и хлора. Повышенные концентрации метана обнаружены только в пробах месторождения Кавказ, что также согласуется с данными криометрии. В составе флюидной фазы заметно преобладают карбонатные формы кальция, им существенно уступают сульфатные и хлоридные формы щелочных и щелочноземельных элементов. Исключением является месторождение Урультун, флюиды которого бикарбонатно-сульфатные с высокой долей хлора. Обращает на себя внимание преобладание калия над натрием во флюидных включениях всех месторождений, высокие содержания Sb, As и практически постоянное присутствие Ag, В, Li и нередко Pb (табл. 7). В рудообразующих флюидах месторождений Урультун и Кавказ установлено Au.

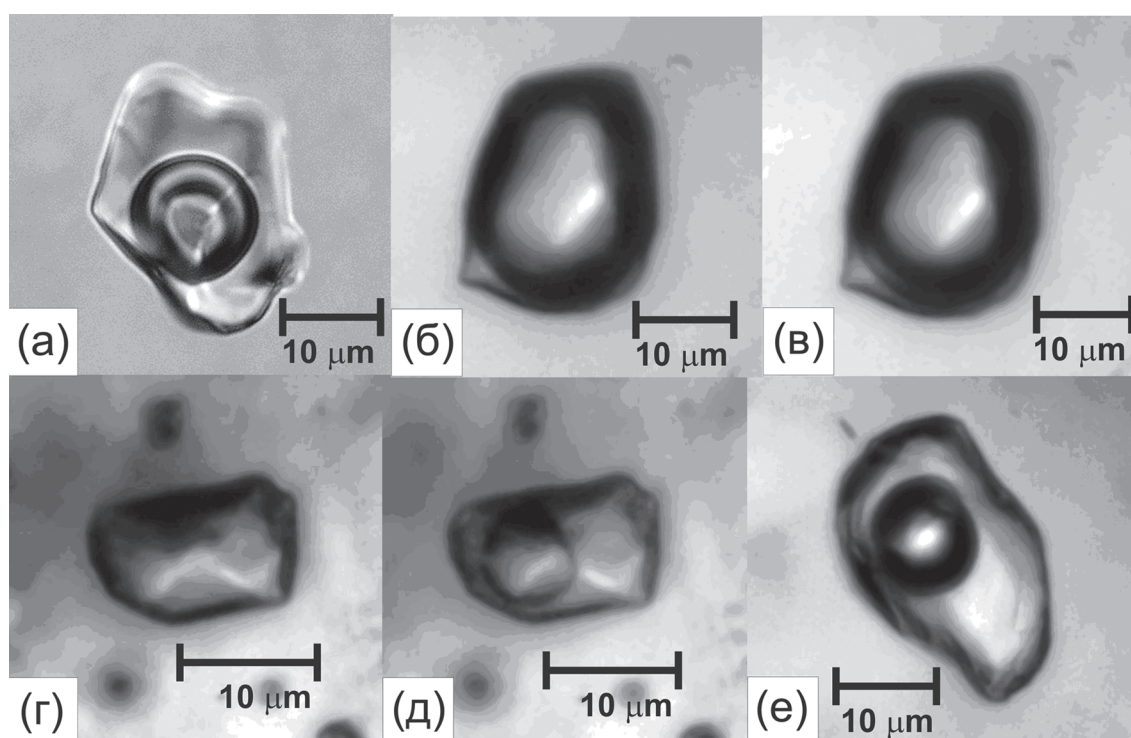


Рис. 5. Первичные включения в кварце богатых руд серебро-сурьмяных месторождений.

а – углекислотно-водное включение типа 1 (+20 °С); б, в – существенно газовое включение типа 2 с углекислотой (б – +20 °С, в – -2 °С); г, д – существенно газовое включение с метаном (г – +20 °С, д – -95 °С); е – двухфазовое газовой-жидкое включение типа 3.

Таблица 7. Состав растворов флюидных включений в кварце Ag-Sb месторождений.

Месторождение	197-7-73	326г73	307г73	131г83	138г83	386г87	498г87	382г87	123Г69
	Тихон		Урультун	Кавказ		Дичек			Аид
<i>Макрокомпоненты, г/кг воды</i>									
CO ₂	4.65	22	21	6.23	10	4.51	4.80	20	8.43
CH ₄	0.10	0.51	0.19	0.64	1.99	0.28	0.30	1.37	0.50
Cl	0.30	2.37	0.25	0.04	0.13	0.17	0.28	0.96	0.44
SO ₄ ²⁻	1.79	4.73	2.73	0.26	0.76	0.35	1.15	1.92	3.59
HCO ₃ ⁻	146	3.48	1.76	0.67	21	0.93	310	520	306
Na	0.23	0.83	0.36	0.02	0.06	0.20	0.08	0.51	0.25
K	0.80	1.13	1.22	0.08	0.22	0.55	0.61	4.50	2.32
Ca	47	2.83	0.89	0.28	6.53	0.09	100	164	100
Mg	0.74	0.20	0.02	0.01	0.04	-	1.01	3.02	0.34
<i>Микрокомпоненты, 10⁻³ г/кг воды</i>									
As	1558	-	30975	1017	1489	270	21	853	6849
Sb	125	-	13842	6816	569	491	946	3163	4303
Ag	-	50	0.45	-	2.1	1.1	-	-	-
Li	0.2	-	-	0.3	0.9	80	2.4	22	22
B	76	523	-	15	41	58	59	126	543
Pb	-	-	0.25	-	15	7.5	-	0.38	0.17
Au	-	-	0.15	-	0.30	0.44	-	-	-

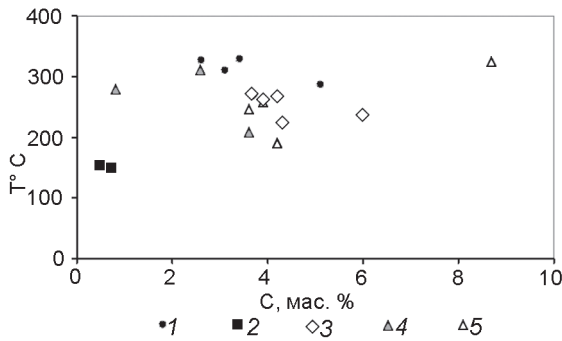


Рис. 6. Диаграмма “температура – концентрация солей” для рудообразующего флюида серебро-сурьмяных месторождений.

1 – Тихон, 2 – Урультун, 3 – Кавказ, 4 – Дичек, 5 – Дыбы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Закономерное облегчение изотопного состава серы в последовательном ряду кристаллизации минеральных ассоциаций изученных месторождений свидетельствует о генетическом единстве эволюционных рядов минеральных ассоциаций в них и формировании последних в процессе фракционирования серы в единых локальных потоках флюидов, которые отличаются, судя по данным изучения флюидных включений в кварце, низкой концентрацией солей и относительно невысокими температурами. Проведенное изучение минералогии серебро-сурьмяного оруденения показало, что среди месторождений данного типа можно выделить четыре линии эволюции минерального состава руд, отражающие разное соотношение Sb, Ag и S в рудообразующем флюиде. Прежде всего отметим изначальную обогащенность сурьмой арсенопирита – раннего минерала всех месторождений, исключая Тихонское. При этом отчетливо устанавливается неоднородное распределение этого элемента в арсенопиритах, иногда даже в пределах одного индивида. Это может быть обусловлено тем, что все они, кроме Тихонского, располагаются в структурах, сложенных терригенным комплексом пород, изначальное обогащенных Sb [1] и возможно As, а с другой стороны – малыми глубинами формирования в условиях перепада давлений, о чем свидетельствуют гетерогенность флюидов с признаками их вскипания, установленные при изучении флюидных включений. По содержаниям Sb в арсенопирите все месторождения можно выстроить в следующую последовательность: (1) Тихон (нет арсенопирита) – (2) Аид, Громада (до 3 % Sb) – (3) Морозовское, Кавказ (до 8 %) – (4) Урультун, Дичек (до 16 %). Отчасти, это ряд понижения температуры формирования продуктивных ассоциаций руд и повышения исходной концентрации Sb в рудообразующем флюиде, по-

скольку самым максимальным содержаниям Sb в арсенопирите отвечает уже появление после арсенопирита гудмундита, а затем бертьерита в рудах месторождения Дичек и Урультун. Кварц последнего также оказался и самым низкотемпературным. Дальнейшая линия кристаллизации минералов в этих месторождениях привела к максимальному разнообразию сульфантимонидов серебра от фрейбергита к пираргириту (табл. 2, 3). Однако кристаллизация в конце процесса антимонита с бертьеритом и гипогенного валентинита с самородной сурьмой на месторождении Дичек явно указывает на недостаток концентраций Ag и S и существенное повышение потенциала кислорода во флюиде к концу процесса формирования руд данного месторождения, что можно объяснить минимальной глубиной формирования руд этого типа и максимальной удаленностью области рудоотложения от источника. Этому же соответствуют и преобладание среди рудогенных компонентов во флюиде концентраций Sb над As и Ag (табл. 7), а также максимально легкие кислород и углерод в карбонатах данного месторождения.

Ряд кристаллизации минералов месторождений Кавказ и Морозовское начинает арсенопирит, который содержит менее 8 % Sb, затем продолжает кристаллизация пираргирит-фрейбергитовой ассоциации и завершает формирование антимонита. Здесь наблюдается явный недостаток количества Ag в исходных флюидах при преобладании Sb (табл. 7). Месторождение Кавказ отличается от остальных высокими концентрациями метана и высокими давлениями формирования (около 1 кб), что можно объяснить его локализацией в зоне крупного Адыча-Тарынского разлома (глубинного сдвига – [11, 18]), контролирующего мантийное сурьмяное оруденение.

Содержание Sb менее 3% в арсенопирите месторождений Аид и Громада формирует эволюционный ряд с недостатком Sb и, возможно, S, поскольку в финале кристаллизации рудных минералов мы имеем только карбонатные ассоциации без антимонита и иных рудных минералов. Такому заключению не противоречит и относительно невысокая концентрация Sb во флюидных включениях кварца Аида (табл. 7). Месторождение Аид возможно более эродировано по сравнению с месторождением Дичек, поскольку расположено в склонах глубоко врезанной долины гипсометрически ниже на 300–350 м. В его жилах, сложенных исключительно крупными сферолитами кварца (до 10–20 см в диаметре), отсутствует криптозернистый кварц.

И, наконец, кристаллизационный ряд месторождения Тихон отвечает максимальным температурам образования продуктивных ассоциаций и минималь-

ным концентрациям Sb в исходном флюиде, при исходно высоких концентрациях в нем S и Ag. Отчасти этому соответствуют и данные по изучению флюидных включений. Минимум Sb установлен в двух образцах и максимум Ag – в одном (табл. 7). Это приводит в условиях резкого снижения потенциала S к формированию поздних минеральных ассоциаций интерметаллидов и самородного серебра (табл. 2). По всей видимости, немаловажную роль в процессе формирования таких эволюционных минералообразующих рядов играет мышьяк, элемент, который охотно замещается сурьмой в составе арсенопирита [3], при ее высокой концентрации в исходных флюидах. Невысокие концентрации As в минералообразующем флюиде месторождения Тихон, имеющего и самый низкий потенциал Sb, показывают на тесную взаимосвязь этих элементов единой подгруппы металлоидов V группы Периодической таблицы Д.И. Менделеева в процессах минералообразования. Этому не противоречат остальные эволюционные ряды, поскольку в их составе ранние ассоциации начинаются пирит-арсенопиритовой парой с преобладанием арсенопирита.

Разнообразие изотопного состава серы сульфидов рассмотренных месторождений и сходство его с изотопным составом серы ранних орогенных месторождений позволяет предполагать унаследованный местный источник серы, связанный с составом подстилающих и вмещающих пород разного состава, что предполагает и заимствование Sb из обогащенных ею [1] терригенных толщ. Однако относительно невысокие (0.1–0.5 %), но постоянные содержания Sb в арсенопиритах орогенных золото-кварцевых месторождений, локализованных в этих же толщах [8], показывают, что уровни ее содержания контролируются как раз исходной обогащенностью осадков этим элементом, поскольку жильных рудных парагенезисов минералов сурьмы либо практически нет (полиметаллический подтип), либо в результате подпитки из вмещающих толщ и на фоне избытка содержания S формируется сульфидантимонитовый подтип, в котором, в случае локального избытка Sb, появляется поздний антимонит [8]. Следовательно, для серебро-сурьмяных месторождений на первый план выходят малоглубинные условия кристаллизации минеральных ассоциаций из весьма дифференцированного флюида, верхние части колонны которого обогащены сурьмой.

Таким образом, в серебро-сурьмяном типе оруденения преобладающая роль сурьмы и ее участие в рудном процессе устанавливается с самого начала, поскольку в рудах арсенопирит содержит 1–16 % этого элемента. В дальнейшем происходило нараста-

ние потенциала сурьмы с увеличением ее минералообразующей роли к концу процесса. Не исключено, что повышенная концентрация Sb в арсенопирите в начале процесса связана с обогащением ею раствора на малых глубинах, поскольку арсенопирит малоглубинных месторождений максимально обогащен сурьмой [15, 16]. Согласно с данным положением, можно предполагать, что в ранних арсенопиритах с глубиной следует ожидать понижение концентраций Sb. В тех месторождениях, где роль сурьмы изначально низка, процесс заканчивается образованием ее интерметаллидов и самородного серебра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогические данные показывают, что роль сурьмы закономерно возрастает к концу процесса минералообразования серебро-сурьмяных месторождений, однако присутствие разных парагенетических ассоциаций минералов сурьмы в месторождениях разных типов указывает также на существенную роль активности и потенциала серы во флюиде. В случае серебряных месторождений, если концентрации S не хватает, а Sb достаточно, то в конце процесса будет кристаллизоваться парагенезис самородного серебра с интерметаллидами серебра и сурьмы. Если же сурьмы при этом тоже мало, то процесс завершится образованием самородного серебра. В случае, если содержания S и Sb достаточны, то будет кристаллизоваться антимонит. Изначально высокие концентрации Sb в серебро-сурьмяных объектах, фиксируемые по постоянному нахождению в них высокосульфидного арсенопирита, связаны с первичной обогащенностью рудовмещающих толщ сурьмой и малыми глубинами их формирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-98593_восток_p и интеграционного проекта ДВО РАН 09-СУ-08-004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бергер В.И. Сурьмяные месторождения. Л.: Недра, 1978. 295 с.
2. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
3. Гамянин Г.Н., Некрасов И.Я., Лескова Н.В., Рябева Е.Г. Сурьмянистая разновидность арсенопирита – первая находка // Минерал. журн. 1981. Т. 3, № 5. С. 87–96.
4. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Близповерхностное оруденение восточной Якутии // Тихоокеан. геология. 1988. № 2. С. 82–89.
5. Гамянин Г.Н., Аникина Е.Ю., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Серебро-полиметаллическое месторождение Прогноз: минералого-геохимические особенности и генезис // Геология руд. месторождений. 1998. Т. 40, № 5. С. 440–458.
6. Гамянин Г.Н., Самусиков В.П. Изоморфные Ag-Cu ряды

- минералов в близповерхностных месторождениях серебра Восточной Якутии // Зап. ВМО. 1999. № 5. С. 87–93.
7. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Изотопно-геохимические исследования золоторудно-магматических систем // Магматизм и метаморфизм на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 136–140.
 8. Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозонд. М.: ГЕОС, 2001. 221 с.
 9. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. и др. Серебро-оловянное месторождение Купольное (Республика Саха (Якутия), Россия): пример эволюции рудно-магматической системы // Геология руд. месторождений. 2001. Т. 43, № 6. С. 495–523.
 10. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бортников Н.С., Аникина Е.Ю. Типы серебряного оруденения Верхояно-Колымских мезозонд (геология, минералогия, генезис, металлогения) // Тихоокеан. геология. 2003. № 6. С. 113–126.
 11. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Отв. ред А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572; кн. 2. С. 573–968.
 12. Горячев Н.А. Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. Магадан СВКНИИ ДВО РАН, 1992. 136 с.
 13. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Позднемезозойская металлогения золота, серебра и сурьмы Северо-Востока Азии // Тихоокеанский рудный пояс: Материалы новых исследований. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 89–105.
 14. Кряжев С.Г., Васюта Ю.В., Харрасов М.К. Методика валового анализа включений в кварце // Материалы XI Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров: ВНИИ-СИМС, 2003. С. 6–10.
 15. Некрасов И.Я., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. и др. Минералого-геохимические особенности серебряного оруденения Верхояно-Колымской складчатой области. Минеральные ассоциации руд серебро-сурьмяной и золото-серебряной формаций // Минерал. журн. 1987. № 6. С. 5–17.
 16. Некрасов И.Я., Гамянин Г.Н., Жданов Ю.Я. и др. Минералого-геохимические особенности серебряного оруденения Верхояно-Колымской складчатой области. Минеральные ассоциации олово-серебряной и серебро-свинцово-цинковой формаций // Минерал. журн. 1988. № 1. С. 3–14.
 17. Пляшкевич А.А. Олово-серебряное и серебро-полиметаллическое оруденения Северного Приохотья. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 96 с.
 18. Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: МАИК НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА, 2001. 576 с.
 19. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometrical data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications (Ed. Benedetto De Vivo & Maria Luce Frezzotti. Pontignano: Siena, 1994. P. 117–130.
 20. Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineralogist. 1989. V. 74. P. 1390–1393.
 21. Collins P.L.P. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity // Economic Geol. 1979. V. 74. P. 1435–1444.

Рекомендована к печати В.Г. Гоневчуком

*N.A. Goryachev, G.N. Gamyantin, V.Yu. Prokofyev, T.A. Velivetskaya,
A.V. Ignatyev, N.V. Leskova*

Silver-antimony mineralization of the Yana-Kolyma belt (Northeast Russia)

Mineral associations of the silver-antimony deposits of the Yana-Kolyma fold belt, Northeast Russia, have been studied. New data on the ore mineral composition, sulfur isotope composition in sulfides, oxygen and carbon isotope composition in carbonates from the ore veins are presented. Arsenopyrite from these deposits has a high concentration (1 to 16 mass. %) of antimony, which is related to the original antimony enrichment of the ore host rocks and the shallow depths of ore formation. According to the fluid inclusion study, Ag-Sb deposits were formed at T = 329–149° C and P=0.30–1.04 kbar from low-salinity chloride-sulfate-bicarbonate solutions enriched in Sb and Ag. The antimony concentration and sulfur activity in the fluid essentially affect deposition of Ag-Sb minerals.

Key words: silver-antimony mineralization, Sb-arsenopyrite, stable isotopes and fluid inclusions, Yana-Kolyma fold belt, Northeast Russia.