

**ТИПЫ СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКИХ МЕЗОЗОИД
(геология, минералогия, генезис, металлогения)**

Г.Н. Гамянин, Н.А. Горячев¹, Н.С. Бортников², Е.Ю. Аникина²

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г.Якутск;

¹*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г.Магадан;*

²*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г.Москва*

Территория Верхояно-Колымских мезозоид является крупной сереброносной провинцией, в пределах которой развиты разнообразные типы оруденения: эпitherмальное серебро-сурьмяное, вулканогенное сереброносное колчеданно-барит-полиметаллическое, серебро-полисульфидно-оловянное, серебро-редкометалльное и серебро-свинцово-цинковое. В истории геологического развития региона установлена определенная последовательность формирования различных типов серебряного оруденения. Наиболее ранним является сереброносное барит-колчеданно-полиметаллическое оруденение, связанное с вулканическими дугами. Оно представлено динамометаморфизованными месторождениями типа Куроко и имеет позднеюрский (около 150 млн лет) возраст. Серебро-полисульфидно-оловянное оруденение образовано в период аккреции и связано с функционированием гранитоидных оловоносных систем (146–120 млн лет). Серебро-редкометалльное и серебро-свинцово-цинковое оруденение, которому предшествовало внедрение кислых субвулканических даек с возрастом 80–90 млн лет, является постааккреционным. Эпitherмальное серебро-сурьмяное оруденение, также сформированное в постааккреционный период, связано с тектономагматической активизацией глубинных разломов мезозоид и имеет возраст менее 80 млн лет. В размещении типов оруденения важную роль играют такие геологические факторы, как региональные складчатые структуры, крупные глубинные разломы и вулканогенные пояса. Выделяется Уяндино-Ясачненская сереброносная металлогеническая зона с сереброносным барит-колчеданно-полиметаллическим и эпitherмальным серебро-сурьмяным оруденением, Адыча-Тарынская с серебряным оруденением гранитоидной линии и эпitherмальным серебро-сурьмяным оруденением, Западно- и Южно-Верхоянские зоны с серебряным оруденением гранитоидной линии. Все они формировались в условиях малых глубин и относятся к низкотемпературным (280–120°C) с относительно невысокими концентрациями солей (9,2–3,3 % экв. NaCl) в серебро-полисульфидно-оловянных месторождениях, возрастающими в серебро-свинцово-цинковых до 29 % экв. NaCl. Наиболее крупными и промышленно важными являются серебро-свинцово-цинковые месторождения. В составе газовой составляющей руд месторождений гранитоидной линии преобладает CO₂ (45,3–94,2 отн. %), а в серебро-сурьмяных существенна доля азота (до 67,1 отн. %). По данным изучения стабильных и радиогенных изотопов устанавливается близость многих изотопных параметров серебряного оруденения гранитоидных систем и существенное их отличие от серебряного оруденения вулканогенного ряда.

Ключевые слова: серебряное оруденение, минералогия, флюидные включения, изотопия серы, углерода, кислорода; генезис, геодинамика, металлогения, мезозоиды, Якутия.

ВВЕДЕНИЕ

О находках серебра в северо-восточной Якутии достоверно известно с конца XVIII века. Первые предварительные исследования серебряных руд в тридцатые годы нынешнего столетия выполнены С.С. Смирновым, давшим высокую прогнозную

оценку этого региона. Первые детальные исследования серебро-свинцово-цинкового оруденения Якутии проведены Л.Н. Индолевым и Г.Г. Невойсой [16]. В последние десятилетия геолого-поисковыми работами значительно увеличен промышленный потенциал серебра за счет открытия целого ряда рудопрояв-

ний и месторождений в различной геологической обстановке. Детальные минералого-геохимические исследования серебряного оруденения свидетельствуют о многообразии его геолого-генетических типов, различных геодинамических обстановках их формирования, связях между собой и с магматическими образованиями. Имеющийся в нашем распоряжении материал позволяет сделать некоторые обобщения по металлогении и условиям образования серебряного оруденения этого региона.

КРАТКИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

За основу тектонических построений взята аккреционная модель Л.М. Парфенова [19], дополненная результатами исследований Л.М. Натапова, В.И. Шпикермана и авторов. В строении мезозойд Северо-Востока Азии выделяются [10]: Верхоянский миогеоцинальный пояс, маркирующий пассивную окраину Сибирского континента и включающий Куларо-Нерский сланцевый пояс (возможный глубоководный трог); Индигиро-Омолонский супертеррейн (по В.И. Шпикерману), сложный тектонический блок, в общих границах близкий Колымо-Омолонскому супертеррейну (по Л.М. Парфенову); Вилигинский и Чукотский шельфовые террейны; Охотский кратонный террейн; Алазейский, Кони-Мургальский и Святоносско-Аньюйский островодужные террейны. Эти структуры сформировались в три главных периода: доаккреционный (допозднемезозойский), аккреционный (позднеюрско-раннемеловой) и постааккреционный (позднемеловой-кайнозойский). Доаккреционную историю мезозойд можно представить как однонаправленную последовательность рифто-раздвиговых циклов разной длительности, формирующих пассивную окраину Сибирского континента в фанерозое: этапы рифтогенеза сменялись периодами длительного относительно спокойного раздвига, во время которого накапливались мощные карбонатные и терригенные толщи в режиме пассивной континентальной окраины. В позднем мезозое ситуация кардинально изменилась в связи с увеличением скорости движения плиты Кула, раскрытием Канадской котловины в Арктике и изменением характера движения Северо-Американской плиты. Это привело к формированию серии островных дуг (Уяндино-Ясачненской, Святоносско-Олойской, Кони-Мургальской и т.д.) и образованию крупного Индигиро-Омолонского (Колымо-Омолонского [19]) супертеррейна, в поздней юре-раннем мелу столкнувшегося с пассивной континентальной окраиной. В результате произошли мощные коллизионные события, приведшие к полной структурной перестройке региона, ликвидации океанических и субокеанических бассейнов, дефор-

мированию пассивной окраины континента, возникновению складчатости и серии многочисленных крупных и мелких интрузивов гранитоидов с сопутствующим разнообразным оруденением при ведущем золотом профиле [10]. Сближение Северо-Американского континента с Сибирским привело к закрытию Южно-Аньюйского океанического бассейна и к коллизии между формирующимся краем Сибирского континента, Святоносско-Аньюйской дугой и Чукотским террейном – фрагментом пассивной окраины Северо-Американского континента. Это событие началось в неокоме, а завершилось в конце раннего мела и сформировало Северный батолитовый пояс (130–100 млн лет), а также продольные и поперечные ряды позднеколлизионных интрузивов в пределах Главного Колымского батолитового пояса. Одновременно вдоль окраины Пацифики действовал Удско-Мургальский вулканический пояс. В дальнейшем спрединг в Канадской котловине прекратился [15] при продолжающемся движении плиты Кула. Вдоль новой окраины континента возник Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП), в тылу которого существовали перпендикулярные к его простиранию зоны континентального рифтогенеза, сопровождавшегося формированием цепочек изолированных вулканических и субвулканических полей и впадин типа Джахтардах-Олойской, Халыинской и других с комплексами сопутствующих постааккреционных гранитоидных плутонов (90–70 млн лет) [10]. С активным действием субдукционных зон окраинно-континентальных поясов и островных дуг связано образование в их тылу обстановок внутриконтинентальных зон сдвига и растяжения, с которыми сопряжено основное серебряное оруденение региона.

ТИПЫ СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В пределах описываемого региона выделяется несколько геолого-генетических типов серебряного оруденения: эпитермальный серебро-сурьмяный, сереброносный барит-колчеданно-полиметаллический, серебро-полисульфидно-оловянный, серебро-редкометалльный и серебро-свинцово-цинковый. Каждый из выделенных типов имеет свои особенности геологического положения и минерального состава (табл. 1).

Эпитермальный серебро-сурьмяный тип. Месторождения этого типа тяготеют к постааккреционным вулканогенным поясам, в которых они сопряжены с молодыми (менее 80 млн лет) мелкими (штоки и дайки) субвулканическими интрузивами. Нередко они локализуются в песчано-сланцевой толще верхоянского комплекса и среди роговиков, окружающих позднемеловые гранитоидные плутоны (Кысылга). Морфология сереброносных рудных тел разнообраз-

Таблица 1. Характеристика типов серебряного оруденения Верхояно-Колымских мезозоид.

Тип	Вмещающие породы	Магматизм	Морфология рудных тел	Текстуры	Околорудные изменения	Минеральные ассоциации руд
Сереброносный барит-колчеданно-полиметаллический	Вулканогенно-осадочные толщи	Поля кислых вулканитов	Минерализованные зоны	Полосчатые, динамометаморфизованные плоччатые	Кварц-пирит-барит-серицитовые метасоматиты	Кварц-сфалерит-баритовая, тетраэдрит-халькопирит-борнит-галенитовая, кальцит-пиритовая
Серебро-сурьмяный	Вулканогенные и песчано-сланцевые толщи верхоянского комплекса, роговики	Субвулканические образования	Линзовидные жилы, жильно-штокверковые зоны, минерализованные зоны	Зонально-ритмичные, криптозернистые, колломорфные	Аргиллизация, кварц-серицитовые метасоматиты	Арсенопирит-марказит-кварцевая, пираргирит-фрейбергитовая, антимонит-бертьерит-кальцитовая, кварц-диккит-ярозитовая
Серебро-редкометалльный	Песчано-сланцевые толщи	Гранит-порфиры, кварцевые сиенит-порфиры	Жилы, минерализованные зоны	Брекчиевые, друзовидные, крустификационные полосчатые	Турмалинизация, хлоритизация	Турмалин-хлорит-кварц-сульфо-арсенидная, полисульфидно-кварцевая, серебро-висмут-сульфосольная, кварц-кальцитовая
Серебро-полисульфидно-оловянный	Гранитоиды, роговики	Гранитные массивы	Системы линзующихся жил, штокверковые, жильные системы, минерализованные зоны	Массивные, гнездово-вкрапленные, брекчиевые,	Грейзенизация, турмалинизация, хлоритизация, березитизация	Касситерит-кварцевая, сидерит-полисульфидная, галенит-олово-серебро-сульфосольно-кварцевая
Серебро-свинцово-цинковый	Субвулканические тела, терригенные толщи верхоянского комплекса	Субвулканические дайки гранодиорит-и гранит-порфиров	Минерализованные зоны, вкрапленные руды	Брекчиевые, ритмично-зональные, фестончатые	Березитизация	Ритмичная сидерит-полиметаллическая, кварц-сульфидно-сульфосольная, анкерит-доломитовая, кварц-кальцитовая

на. Подавляющее число их (около 70 %) представлено простыми линзовидными жилами небольшой мощности (до 0,5 м) и протяженности (до 80 м), приуроченными к сколовым и отрывным трещинам (Дичек, Аид). Реже отмечаются жильно-штокверковые зоны (Тихон, Кавказ, Громада) и минерализованные зоны дробления (Тихон, Урультун, Громада). Рудные тела сопровождаются аргиллизацией вмещающих пород с маломощной внутренней кварц-серицитовой зоной, прилегающей к рудным телам. В редких случаях проявлена адуляризация. Характерно многообразие текстурно-структурного рисунка руд сложного сочетания и резких текстурных переходов. Весьма типично присутствие халцедоновидного и криптозернистого кварца, чередующегося с микрозернистым, гребенчатым и сферолитово-друзовидным.

Аргиллитовые изменения вмещающих пород представлены кварц-гидрослюдисто-диккитовой ассоциацией, развивающейся не только по вулканитам,

но и по вулканогенно-осадочным породам и роговикам. На контактах с рудными телами существенна роль метакварца, а по мере усиления степени преобразования пород возрастает роль диккита. Из минеральных ассоциаций рудных тел основное значение имеет арсенопирит-марказит-кварцевая ассоциация, на которую приходится 99 % объема. В кварце отмечаются включения арсенопирита и марказита. Высокосурьмянистый арсенопирит (до 16 % Sb) в виде расплывчатых полос или пятен локализуется в призальбандовых участках жил, сложенных гребенчатым или шестоватодрузовидным кварцем. Пластинчатый марказит приурочен к криптозернистому кварцу верхних уровней оруденения. Сереброносность руд определяет галенит-пираргирит-фрейбергитовая ассоциация, выполняющая пустотки или микротрещины в минералах предыдущей ассоциации. Фрейбергит, ведущий минерал ассоциации, имеет широкие вариации содержания серебра от 15 до 50 %. В

тесных сростаниях с фрейбергитом находятся многочисленные минералы серебра – пираргирит, миаргирит, стефанит, акантит, дискразит. Характерно также присутствие в рудах гипогенного самородного серебра. Антимонит-бертьерит-валентинит-кальцитовая ассоциация встречается спорадически, но является индикаторной для данного типа оруденения. Она локализуется исключительно в пустотках в кварце. В этой ассоциации постоянно присутствует также самородная сурьма. Отмечаются иногда тесные сростания антимонита с миаргиритом. Кальцит, наиболее распространенный и поздний минерал ассоциации, часто наблюдается вне связи с остальными составляющими ассоциации. Кварц-диккит-ярозитовая ассоциация встречается не на всех месторождениях. Она локализуется либо в пустотках, либо образует самостоятельные прожилки, зальбандовые части которых сложены диккитом, а центральные – ярозитом.

Основными носителями серебра в рудах являются фрейбергит, пираргирит, миаргирит, стефанит и целая группа более редких сульфоселей и интерметаллидов серебра, описанная нами ранее [5, 17]. Распределение серебра в рудах крайне неравномерное: кустовое, бонанцевое, достигающее иногда 10 кг/т и более. В рудах ряда проявлений встречается низкопробное золото, имеющее промышленную ценность (Альфа, Атунджа, Громада), а иногда и олово (Громада).

Сереброносный барит-колчеданно-полиметаллический тип. Оруденение данного типа локализуется среди эффузивно-осадочных толщ позднеюрского возраста Уяндино-Ясачненского вулканогенного пояса. В разрезах этих толщ чередуются прослойки глинистых сланцев, алевролитов и песчаников с пропилитизированными в кварц-альбит-хлоритовой и карбонат-хлоритовой фации базальтами, андезитами, риолитами и их туфами [12]. Типичным представителем оруденения данного типа является месторождение Хотойдох [14].

Месторождение расположено на северных склонах хр. Черского на правом берегу истоков р. Умба, в 50 км от р. Идигирки к северо-западу вдоль границы сочленения хребта с Момо-Зырянской впадиной. Оно приурочено к мощному тектоническому нарушению, которое прослеживается по простиранию на 3–4 км и далее трассируется морфологически по понижениям в рельефе и ржаво-бурой окраске, за счет окисления пирита, насыщающего зону разлома. Общая мощность тектонического нарушения около 400 м, а наиболее интенсивно перемятой части – 70–80 м. К последней приурочено линзовидное рудное тело, протяженностью до 400 м, имеющее на контактах с вмещающими породами, особенно в лежащем боку, глинку трения мощностью до 10 см. В наиболее широкой части лин-

зы наблюдается три выхода кварц-барит-колчеданных руд, мощностью от 1 до 6 м, разделенные кварц-серицит-пиритовыми метасоматитами. Метасоматиты оконтуривают рудное тело на всем его протяжении [4] и характеризуются контрастными геохимическими аномалиями цинка, свинца и серебра, что позволяет использовать их в качестве критерия поисков «слепых» тел. Главными минералами руд (>10 %) являются пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, барит и кварц. Типоморфной ассоциацией метасоматически преобразованных пород здесь является кварц-серицит-барит-пиритовая, в которой по мере приближения к рудному телу возрастает роль кварца и пирита. Особенностью данной ассоциации является присутствие барита (до 10 %) и высокое содержание пирита (не менее 15 %). Нередко в данной ассоциации присутствует сфалерит (до 2 %). Крупные метакристаллы (до 5 мм) пирита в метасоматитах окружены струйчато-волокнистыми, нередко прихотливо изогнутыми агрегатами кварц-серицитового состава с примесью барита. В пирите присутствует примесь Ag (50 г/т) и Au (2–5 г/т). Серицит представлен гидросерицитом (K_2O – 5,7 %, H_2O – 4,8 %) с повышенным содержанием Na_2O (1,6 %) и TiO_2 (1,2 %). Из жильных ассоциаций наиболее ранней является кварц-сфалерит-баритовая с преобладающей ролью сфалерита и барита. В участках руд, не подверженных динамометаморфизму, она представлена крупными призматическими зернами барита, между которыми располагаются кристаллы сфалерита и разномерный агрегат кварца. Тетраэдрит-халькопирит-борнит-галенитовая ассоциация наиболее продуктивна на серебро. Носителем серебра в рудах являются сереброносная (до 20 % Ag) блеклая руда тетраэдрит-теннантитового (до 18 % As) ряда [6] и галенит (до 3500 г/т). Из других редких сереброносных минералов присутствуют самородное серебро, золото (482–780 ‰, в среднем 640 ‰), матильдит и андорит [21]. Содержание серебра колеблется в пределах 200–500 г/т, золота – 1–3 г/т, иногда до 12 г/т. Самым поздним минералом ассоциации является галенит, нередко содержащий включения кристаллов халькопирита и тетраэдрита. Заключительная кальцит-пиритовая ассоциация представлена преобладающим пиритом, метасоматически развивающимся по всем предшествующим ассоциациям, образуя иногда мономинеральные полосы. Кальцит выполняет интерстиции между ранними минералами. Первичные соотношения минералов осложнены динамометаморфизмом руд. В результате последнего крупнозернистые руды панидоморфнозернистой структуры превращаются в полосчатые (от тонко- до грубополосчатых), струйчатые со спиралевидными и линзовидно-концентрическими структурами, а барит и кварц становятся

ядрами жесткости и «обтекаются» сульфидным материалом.

Серебро-полисульфидно-оловянный тип соответствует касситерит-силикатно-сульфидной формации [24], в которой на заключительных стадиях процесса минералобразования выделяются поздние сереброносные сульфоантимонитовые ассоциации. Пространственно и генетически он связан с гранитоидным магматизмом. Рудные месторождения этого типа входят в состав вертикального ряда месторождений, связанных с гранитами: грейзенизированные граниты – грейзены с касситерит-силикатно-кварцевым оруденением – жилы и зоны с касситерит-силикатно-сульфидным с серебром оруденением и олово-сульфидно-серебряные жилы. В связи с проявлением минералогической зональности серебро-полисульфидно-оловянные рудоносные тела обычно располагаются на удалении (до 4 км и более) от выходов гранитоидов или же ассоциируют с кислыми субвулканическими телами типа гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров. Рудные тела представлены чаще всего системами линзующихся жил небольшой мощности (до 1 м) и протяженности (до 150 м). Реже отмечаются штокверкоподобные жильные системы (Кутинское) или крупные минерализованные зоны (Высокогорное, Курдатское) нередко в сочетании с линзовидными жилами (Купольное). Все морфологические типы рудных тел приурочены к системам нарушений и трещиноватости, секущих складчатые структуры. Типичным примером месторождений с серебро-полисульфидно-оловянным оруденением являются месторождения Лазовского рудного узла с касситерит-силикатно-сульфидными рудами, содержащими высокие концентрации Ag: III Пятилетки – в среднем 309 г/т, Чапаева – 275 г/т, Лазо – 84 г/т.

В месторождениях этого типа установлено до 40–70 минералов в каждом с преобладанием силикатных, сульфидных и карбонатных форм. Характерно наличие двух минеральных форм олова – оксидной и сульфидной, а также существование комплекса серебряных минералов: фрейбергита, пираргирита, диафорита, овихиита [1, 20, 24]. На всех месторождениях отчетливо выражены околожильные изменения, представленные зонами турмалинизации и хлоритизации мощностью до 10 м. По восстанию рудных тел отмечается смена турмалиновых метасоматитов хлоритовыми, а последних – зонами карбонатизации с сульфидами. Нередко рудные тела локализируются среди метасоматитов березитового типа, которые сложены одной из наиболее ранних минеральных ассоциаций – кварц-серицит-сидерит-сульфидной. Соотношение минералов в данной ассоциации меняется в зависимости от положения по отношению

к рудному телу. Пирит и арсенопирит могут отсутствовать, а иногда насыщать метакварц до 30–40 %.

Сидерит-полисульфидная жильная ассоциация является одной из наиболее распространенных. В отдельных участках рудных тел ею с преобладающей ролью сидерита сложено до 60–80 % их объема. Сидерит весьма крупнозернистый, крупноблочный. Существенной примесью в нем является марганец, содержания которого варьируют в пределах 5–15 % не только в пределах месторождения, но и в зависимости от приуроченности к различным металлогенетическим зонам. Наиболее богаты марганцем сидериты Южно-Верхоянской металлогенетической зоны, где в рудах появляется олигонит. Сульфиды представлены пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, марказитом, находящимися в различных количественных соотношениях между собой. Характерной особенностью сфалерита является его марказитовый (>12 % Fe) состав и соотношение с марказитом, ленточные агрегаты которого как бы погружены в обособления сфалерита. Касситерит-сфалерит-галенит-кварцевая ассоциация нередко имеет ритмично-полосчатое строение. Первые ритмы ее представлены полосами тесного срастания касситерита со сфалеритом и арсенопиритом в кварце. Во втором ритме заметно понижается роль арсенопирита и возрастает – сфалерита. Затем следует только сфалерит-касситеритовая полоса, сменяющаяся сфалерит-станниновой с небольшой примесью халькопирита и галенита. Последующая полоса сульфидного ритма представлена сфалеритом и галенитом в сопоставимых количествах. Следующая ассоциация минералов многокомпонентная и продуктивная – галенит-олово-серебро-сульфосольно-анкеритовая. Основу ее составляет галенит, в парагенезисе с которым встречаются фрейбергит (до 40 % Ag), миаргирит и пираргирит, франкеит и окартит. Последние обычно являются реакционными и развиваются по касситериту в галените, хотя местами отмечаются панидиоморфнозернистые структуры срастания галенита и окартита. Тесное срастание галенита с фрейбергитом, пираргиритом и миаргиритом выражается нередко в образовании ими субграфических структур. Наиболее поздним минералом в ассоциации является анкерит (Mn до 5 %), образующий в пустотах щетки кристаллов.

Сложность минерального состава отражается в геохимическом спектре руд этих месторождений. Для них характерны локальные повышенные концентрации свинца (до 40 %), цинка (до 10 %), меди (до 2 %), кобальта (до 1 %), сурьмы (до 0,5 %), при невысоких в целом их средних содержаниях. Особенностью геохимии руд этого типа являются широкие вариации содержаний Ag от 100–200 г/т до 10 кг/т.

Серебро-свинцово-цинковое оруденение располагается либо в терригенных толщах Верхоянской пассивной континентальной окраины с весьма слабым проявлением магматизма (Западное и Южное Верхоянье) в виде редких даек гранодиоритов и гранит-порфиоров, либо в зонах экзо- и эндоконтакта массивов гранитоидного состава (Адыча-Тарынская, Улахан-Сисская зоны). По отношению к магматическим образованиям серебряное оруденение явно более молодое [16]. Месторождениям этого типа свойственны как субсогласные (Мангазейское), так и секущие (Прогноз) рудоносные зоны, имеющие значительные параметры – протяженность до 3–5 км при средней мощности 3–4 м (в раздувах 10–20 м). Характер оруденения довольно устойчив и по простиранию, и на глубину. Типичным примером месторождений этого типа является месторождение Прогноз, геолого-структурные особенности которого в достаточной мере освещены в печати [7]. Комплекс основных серебро-содержащих минералов в месторождениях представлен фрейбергитом, пираргиритом, миаргиритом, овихитом, а более редких – диафоритом, андоритом, стефанитом, матильдитом, густавитом, полибазитом. Метасоматические преобразования в этом типе оруденения связаны с интенсивной карбонатизацией вмещающих пород, нередко сопровождаемой развитием метасоматического сфалерита. Наиболее ранней и типоморфной ассоциацией руд является ритмично-зональная сидерит-сфалерит-галенитовая ассоциация. Количество ритмов в ней обычно три. Соотношение минералов в ассоциации направленно изменчиво, при преобладающей роли сидерита. В каждом последующем ритме отмечается увеличение роли галенита и серебро-содержащих сульфосолей. Кварц-полисульфидно-сульфосольная ассоциация представлена наибольшим числом и сложным характером взаимоотношений минералов. Обычно она слагает центральные части сидерит-сульфидных жил и является продуктом эволюционного развития минералообразующей системы, хотя локально отмечаются пересечения и даже цементация ею предыдущей ассоциации, как результат проявления внутрирудной тектоники. Соотношение кварцевой, полисульфидной и сульфосольной составляющих ассоциаций в рудах весьма непостоянно. Встречаются участки существенно кварцевые лишь с незначительной (до 1 %) вкрапленностью рудных минералов, с их существенной примесью (до 20–30 %), только с присутствием сульфоантимонитов или с полным комплексом рудных минералов ассоциации. Непосредственно в кварце или в пустотках в нем отлагается один из преобладающих минералов, выступающий в роли минерала-хозяина, а остальные образуют в нем различного рода включения. В халькопирите отмечается сфале-

рит, фрейбергит (до 50 % Ag) и комплекс висмутовых минералов; во фрейбергите – мелкие включения практически всех остальных минералов. Сульфосольный комплекс минералов занимает исключительно вкрапленное или межзерновое положение, локализуясь в пустотках и в многочисленных микротрещинах. Он представляет собой тесно сросшийся агрегат с изменчивыми соотношениями бурнонита, блеклой руды и сульфоантимонитов серебра – овихита, андорита, рамдорита и диафорита, резко нестехиометричного состава, пираргирита и миаргирита, образующих местами своеобразные, типа субграфических, вроски в галените или фрейбергите. Самые поздние минералы ассоциации представлены сульфоантимонитами свинца, меди и железа. Пирит-сфалерит-анкерит-доломитовая ассоциация в основном сложена полосами веерообразного или весьма мелкозернистого (<0,1 мм) карбоната анкерит-доломитового состава с вкрапленностью мелкого розового сфалерита (ед. зерна – 2 %). Очень редко в нем присутствуют галенит, фрейбергит и разнообразные сульфоантимониты. В местах распространения данной ассоциации по сидериту, сфалериту, блеклой руде, а иногда и галениту развиваются октаэдрические метакристаллы пирита. Кварц-кальцитовая ассоциация завершает гипогенный процесс минералообразования. Определяющая роль в ней принадлежит кальциту. Кварц встречается редко в виде мелких кристаллов, нарастающих на веерообразные агрегаты анкерита-доломита. Кальцит обычно выполняет друзовые пустотки, образованные кварцем или сидеритом.

Устойчивость содержания металла и значительные параметры рудных тел свидетельствуют о высоком промышленном потенциале серебро-свинцово-цинковых месторождений.

Серебро-редкометалльный тип. Данный тип оруденения выделен нами на основании его минералого-геохимического своеобразия. Это комплексные месторождения олова, кобальта, висмута, серебра, селена и теллура, которые широко распространены в Сеймчанском районе, на площади около 400 км² в бассейне среднего и нижнего течения р. Веринкой (месторождения Верхне-Сеймчанское, Ветвистое, Волочек и Ветровое). Изучению этих объектов большое внимание уделялось в 40–50-ые годы [11, 22, 23]. Оруденение представлено серией субмеридиональных крутопадающих жил и зон кварц-хлоритового и кварц-турмалинового состава с арсенидами и сульфоарсенидами кобальта и никеля. Они тесно ассоциируют с веринским комплексом даек и малых интрузий, образующих свиту субмеридионального простирания в восточном экзоконтакте Каньонского гранитного массива и прорывающих его [23]. Ag-Ag

возраст гранитов Каньонского массива составляет 146 млн лет [18]. Рудные тела рассеяны дайками и небольшими штоками гранит-порфиров и кварцевых сиенит-порфиров веринского комплекса, которые являются самыми молодыми магматическими образованиями района. Вещающими породами служат песчано-сланцевые отложения позднего триаса, ранней и средней юры. Месторождения характеризуются большим количеством субмеридиональных крутопадающих рудных тел (Верхне-Сеймчанское – 17; Волочек – около 40), протяженность которых варьирует от 100 до 1500 м, мощность – от сантиметров до 9 м, при средней 0,7 м, и прослеженных по вертикали на 450 м. Для них характерны брекчиевые, друзовидные, крустификационные, полосчатые текстуры и тонкозернистые структуры рудных агрегатов. В отдельных случаях известны находки колломорфных агрегатов хлорита и кварца. Все это свидетельствует не только о малой глубине формирования руд [23], но и о сложной тектонической истории рудообразования и резких перепадах давления и вскипания в рудообразующем флюиде.

Особенностью вещественного состава руд является широкий спектр минералов, из которых только эндогенных более 50 [22, 23]. Преобладают кварц, турмалин и хлорит, встречаются в заметных количествах кобальтин, шмальтин, арсенопирит, пирит, пирротин, глаукоцит, скуттерудит, мусковит, кальцит, аксинит, адуляр. Менее распространены такие минералы, как хлоантит, герсдорфит, раммельсбергит, висмутин, гуанохаузит, сфалерит, галенит, халькопирит, гессит, тетраэдрит, висмут самородный, флюорит, сидерит, эпидот, циркон, ксенотим, апатит. Очень редко встречаются золото, креннерит, миллерит, станнин, канфильдит, аргиродит, тетрадимит, тиманнит, брейтгауптит, беегерит, никелин, прустит, пираргирит. Минералы отлагались в течение четырех стадий минерализации [11], нередко образуя несколько генераций. Ранняя метасоматическая кварц-хлорит-турмалиновая стадия сопровождается второй жильную турмалин-хлорит-кварц-сульфоарсенидную стадию – главную олово-промышленную. Третья полисульфидно-кварцевая с флюоритом и минералами серебра, селена и висмута – серебряноносная. С этой стадией связана околожильная серицитизация, карбонатизация и сульфидизация. Четвертая, кварц-кальцитовая стадия с флюоритом является пострудной.

На отдельных месторождениях отмечается вертикальная зональность в размещении минерализации: на верхних горизонтах преобладают хлорит-кварцевые рудные жилы, а на нижних – кварц-турмалиновые. Сложный минеральный состав обусловил и комплексную геохимию оруденения. По нашим дан-

ными, среднее содержание серебра в рудах составляет около 200 г/т (в отдельных случаях достигая 500 г/т), в рудах также содержится много As (до 15 %), Co (до 3 %), Ni (до 0,5 %), Zn (до 2,25 %), Pb (до 0,27 %), Bi (до 1,5 %) и, что необычно, Zr (до 0,16 %). В рудном концентрате отмечается до 145 г/т Au [22]. Данный тип оруденения может быть полигенным.

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В МИНЕРАЛАХ

Флюидные включения были изучены в серебряных месторождениях гранитоидной линии и в серебро-сурьмяном типе месторождений. Общий интервал температур гомогенизации флюидных включений в кварце и карбонате изученных типов оруденения составляет 340–120 °С (табл. 2). Гомогенизация включений в кварце серебро-полисульфидно-оловянных месторождений достигается при 210–125 °С, в кварце серебро-свинцово-цинковых – 215–120 °С, а серебро-сурьмяных – 340–135 °С. Характерно, что в серебро-сурьмяных месторождениях высокие температуры гомогенизации обнаруживаются только в очень крупных (>5 см) кристаллах дымчатого кварца в виде роевидных скоплений первичных двухфазных включений, трассирующих зоны роста. Максимальные температуры гомогенизации флюидных включений в карбонатах заметно ниже, чем в кварце: в сидерите серебро-полисульфидно-оловянных месторождений – 155–145 °С, сидерите серебро-свинцово-цинковых – 185–180 °С, в кальците всех типов месторождений – 120–100 °С.

Для кварца месторождения Прогноз устанавливается закономерное повышение температур гомогенизации с глубиной от 184–145 °С на поверхности до 225–200 °С на глубине 478 м. Низкие температуры (<225 °С) гомогенизации включений и низкие давления (<150–200 атм) свидетельствуют о том, что температурные поправки на давление были невелики (ниже 5–10 %). Поэтому температуры гомогенизации включений можно считать близкими к температурам образования минералов.

Концентрация солей во флюидных включениях всех типов месторождений лежит в интервале 29,0–0,7 % экв. NaCl. При этом наиболее концентрированные растворы свойственны серебро-свинцово-цинковым месторождениям (9,0–29,0 % экв. NaCl), в которых концентрация возрастает с глубиной, а наименее – серебро-сурьмяным (0,7–11,7 % экв. NaCl). Для последних отмечается существенная изменчивость солевой концентрации флюида даже в сближенных участках рудных тел.

Газовая фаза рудообразующих растворов, по данным хроматографического анализа, в месторож-

Таблица 2. Состав флюидных включений и систематика стабильных изотопов в минералах из серебряных месторождений.

Вид анализа	Тип оруденения			
	Серебро-сурьмяный	Барит-колчеданно-полиметаллический	Серебро-полисульфидно-оловянный	Серебро-свинцово-цинковый
$T_{\text{гом}}$ кварца, °C	340–135		280 – 125	215 – 120
$T_{\text{гом}}$ сидерита, °C			155 – 145	185 – 180
Конц., % экв. NaCl	11,7–0,7		9,2 – 3,3	29,0 – 9,0
Состав газовой фазы, отн.%	CO ₂	25,9–40,4	45,3 – 71,5	65,4 – 94,2
	N ₂	56,3–67,1	18,6 – 34,7	5,0 – 29,5
	CH ₄	1,0–5,6	6,2 – 21,3	0,8 – 5,1
$\delta^{18}\text{O}_{\text{сид}}$, ‰ SMOW			+21,4 – +23,5	+22,0 – +27,1
$\delta^{13}\text{C}_{\text{сид}}$, ‰ PDB			-12,2 – -13,1	-4,5 – -10,6
$\delta^{18}\text{O}_{\text{анк}}$, ‰ SMOW	+3,8– +5,9		+3,7 – +29,2	+9,1 – +29,8
$\delta^{13}\text{C}_{\text{анк}}$, ‰ PDB	-6,0– -6,1		-7,0 – -9,3	-3,2 – -10,5
$\delta^{18}\text{O}_{\text{кал}}$, ‰ SMOW	+1,5 – +11,4	+12,3 – +13,1	-3,1 – +26,4	+9,6 – +27,0
$\delta^{13}\text{C}_{\text{кал}}$, ‰ PDB	-11,1 – -13,4	-1,0 – -2,6	-5,3 – -13,4	-8,0 – -9,9
$\delta^{18}\text{O}_{\text{квар}}$, ‰ SMOW	+5,4 – +11,0	+13,3 – +14,6	+2,3 – +5,5	+9,3 – +14,7
$\delta^{34}\text{S}_{\text{арс}}$, ‰ CDT	-10,3 – -1,9	+0,5	-3,8 – +3,5	-5,6 – +12,5
$\delta^{34}\text{S}_{\text{пир}}$, ‰ CDT	-11,7 – +4,1	+7,0 – +7,2	-2,6 – +3,5	-8,7 – +12,4
$\delta^{34}\text{S}_{\text{сфал}}$, ‰ CDT		+7,5	-2,2 – +4,1	-3,0 – +5,8
$\delta^{34}\text{S}_{\text{гал}}$, ‰ CDT		+4,1	-3,8 – +1,2	-1,7 – +2,8
^{206/204} Pb	18,424	18,838	18,138–18,498	18,101–18,592
^{207/204} Pb	25,557	15,598	15,506–15,593	25,554–15,560
^{208/204} Pb	38,438	38,655	37,960–38,792	38,643–38,702

дениях серебро-полисульфидно-оловянного типа представлена (табл. 2) CO₂ (45,3–71,5 %), CH₄ (6,2–21,1 %) и N₂ (18,6–34,7 %); в месторождениях серебро-свинцово-цинкового – CO₂ (65,4–94,2 %), N₂ (5,0–29,5 %) и CH₄ (0,8–5,1 %); в месторождениях серебро-сурьмяного типа – CO₂ (25,9–40,4 %), CH₄ (1,0–5,6 %) и N₂ (56,3–67,1 %). Для всех типов исследованных месторождений отчетливо проявляется тенденция возрастания восстановленности газов с глубиной.

Исследование флюидных включений свидетельствует о формировании серебряных месторождений всех типов в низкотемпературных условиях, что свойственно и для серебро-свинцово-цинковых и серебро-сурьмяных месторождений других регионов [3]. Следует подчеркнуть, что состав и физико-химические параметры флюида, из которого отлагались минералы разных типов месторождений, существенно не различаются.

СИСТЕМАТИКА СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ СЕРЫ, УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА

Было изучено соотношение стабильных изотопов серы (лаборатория ИГЕМ РАН), углерода и кислорода (лаборатории ИГЕМ РАН и ДВГИ ДВО РАН), соответственно, в сульфиде и сульфосолях, карбонатах и кварце ряда месторождений (табл. 2).

Вариации значений $\delta^{34}\text{S}$ для сульфидов в изученных месторождениях достаточно велики. Так, диагенетический пирит из вмещающих пород обладает относительно высокими положительными значениями $\delta^{34}\text{S}$ от +9,7 до +33,4 ‰. Наиболее широкие вариации изотопного состава серы сульфидов наблюдаются в серебро-сурьмяных (от -11,7 до +4,1 ‰) и серебро-свинцово-цинковых (от -8,7 до +12,4 ‰) месторождениях с преобладанием утяжеленной серы в последних. Широкие вариации значений $\delta^{34}\text{S}$ в этих типах месторождений обусловлены нестабильными условиями рудоотложения, связанными с малой глубиной их формирования и многократным вскипанием флюида. Сульфиды барит-колчеданно-полиметаллических сереброносных месторождений характеризуются положительными значениями и узким интервалом колебаний величин $\delta^{34}\text{S}$. В серебро-полисульфидно-оловянных месторождениях изотопный состав серы сульфидов имеет тенденцию направленной эволюции от ранних сульфидов к поздним. Вариации состава серы сульфидов охватывают интервал от -3,8 до +4,1 ‰, максимум значений приходится на узкую область -1 – +1 ‰. Эти значения скорее указывают на магматический источник серы флюида.

Для месторождений всех типов были выполнены анализы стабильных изотопов углерода и кисло-

рода в карбонатах и кварце (табл. 2). Следует подчеркнуть незначительные вариации значений $\delta^{13}\text{C}$ в карбонате и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонате и кварце барит-колчеданно-полиметаллических серебряносных месторождений. Причем численные значения $\delta^{18}\text{O}$ в карбонате и кварце очень близки. Для серебро-сурьмяных месторождений также отмечается близость изотопного состава кислорода кальцита и кварца, но при их широких вариациях, тогда как значения $\delta^{13}\text{C}$ кальцита достаточно устойчивы. Для месторождений серебро-полисульфидно-оловянного и серебро-свинцово-цинкового типов аналогичные определения сделаны для кварца и карбонатов трех генераций: 1 – разномасштабного ритмично-зонального сидерита с крустификационной текстурой; 2 – мелкозернистого анкерита; 3 – крупнозернистого кальцита. Следует отметить незначительные изменения величины $\delta^{13}\text{C}$ сидерита и анкерита серебро-полисульфидно-оловянных месторождений, при широкой вариации этих значений в кальците, в то время как в серебро-свинцово-цинковых месторождениях сидерит и анкерит имеют значительный интервал изменчивости $\delta^{13}\text{C}$, а для кальцита он не велик. Если сопоставить вариации значений $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатах с вариациями значений в них $\delta^{18}\text{O}$, то можно наблюдать абсолютно противоположную картину. В сидерите изотопный состав кислорода мало меняется, а в анкерите и кальците вариации значений $\delta^{18}\text{O}$ лежат в диапазоне $-3,4 - +29,8$ ‰. Это может свидетельствовать о вовлечении в минералообразующую систему H_2O из двух источников. Из одного поступала изотопно-легкая вода метеорного происхождения ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ от -4 до -1 ‰), а из другого – обогащенная тяжелым изотопом ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \sim +7$ до $+16$ ‰) – магматического. Вариации изотопного состава кислорода объясняются смешением этих флюидов в разных пропорциях. Это подтверждается и изотопным составом кислорода кварца. В серебро-полисульфидно-оловянных месторождениях кварц, близкий по времени образования к сидериту, характеризуется стабильным составом $\delta^{18}\text{O}$, а в кварце серебро-свинцово-цинковых малоуглубленных месторождений, нередко сокристаллизующем с анкеритом, вариации изотопного состава кислорода охватывают интервал $5-6$ ‰.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЕБРА

Величины значений стабильных изотопов в минералах и широкое развитие крупнозернистых идиоморфных структур минеральных агрегатов жил серебро-полисульфидно-оловянных месторождений позволяют говорить о кристаллизации минералов в термоградиентных условиях из относительно слабо

пересыщенного минералообразующего раствора [25]. Отсутствие следов вскипания или фазовой сепарации флюида указывает на то, что процесс протекал при давлении выше гидростатического давления. Его значения оценены по зависимости кривой вскипания гидротермального флюида от давления, температуры и состава в системе $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{NaCl}$ [26]. По расчетным данным, оно могло быть не менее чем $80-90$ бар. Поскольку вскипания флюида не происходило, то общее давление было выше флюидного. Если отложение руд происходило в условиях гидростатической нагрузки, то они отлагались глубже 1 км ниже уровня грунтовых вод.

В иной обстановке формировались руды месторождений серебро-свинцово-цинкового и серебро-сурьмяного типов. Широкое развитие фестончатых, кокардовых и крустификационных текстур указывает на кристаллизацию этих минералов в открытых полостях. Ритмично-полосчатое строение обусловлено резкими изменениями условий образования минералов и химического состава флюидов. Брекчиевые текстуры указывают на неоднократное открытие трещин. Эти особенности минеральных агрегатов служат показателем того, что их образование происходило в результате вскипания или фазовой сепарации флюида. Очевидно, что этот процесс протекал ступенчато. По-видимому, в результате отложения минералов открытые полости закупоривались. Новые порции флюида, поступающие из глубинных частей рудообразующей системы в близповерхностную обстановку, вскипали вследствие того, что давление флюида превышало гидростатическую нагрузку. Это приводило к образованию трещин гидроразрыва и дроблению ранее отложившихся минералов [7]. Раскрытие трещин вызывало отложение минеральных агрегатов, образующих следующий ритм, или цементацию раздробленных агрегатов. Отделение летучих при вскипании изменяет химический состав флюида и приводит к изменению минерального состава каждого последующего ритма. Эти явления рассматриваются как внутрискладовые. Уровень образования месторождений данного типа менее глубинный, чем предыдущего, о чем свидетельствуют типоморфные признаки ряда минералов: присутствие Sb в арсенипирите (до 3 ‰), повышенное содержание Li_2O в кварце, присутствие гипогенного диккита и т. д. Месторождения серебро-сурьмяного типа, имеющие самый молодой возраст (<80 млн лет), связаны с постколлизивной активизацией крупных глубинных разломов. Эти разломы контролируют размещение кислых субвулканических тел и серебро-сурьмяное оруденение. Частое отсутствие четких генетических связей субвулканических образований с серебряным

оруденением свидетельствует о телетермальном характере рудообразующих растворов. Наличие в рудах месторождений гипогенного ярозита указывает на малоглубинные (от 300 м и ниже) условия рудоотложения. На это указывают также ритмично-коллоидные структуры, высокие (>200 г/т) содержания Li_2O в кварце и высокая сурьмянистость (до 16 %) арсенопирита. Многочисленные сферолитовые текстуры отражают кристаллизацию минералов в условиях резкого пересыщения растворов. Характерные явления чередования коллоидных и криптозернистых структур кварца с шестовато-гребенчатыми связаны, вероятно, с процессами взаимодействия флюидов с метеорными водами.

ЭПОХИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Устанавливается определенная последовательность формирования различных типов серебряного оруденения в истории геологического развития региона. Наиболее ранними являются сереброносные барит-колчеданно-полиметаллические месторождения, связанные с раннеколлизийными вулканогенными поясами типа вулканических дуг. К таким структурам относится Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс. Возраст контрастного вулканизма здесь охватывает промежуток 136–156 млн лет по К-Аг датировкам, а материал вулканитов присутствует в отложениях келловейского, оксфордского, киммериджского и волжского ярусов верхней юры. По своим геологическим и минералого-геохимическим особенностям этот тип оруденения относится к осадочно-вулканогенным и сопоставим с аналогичными месторождениями Рудного Алтая, Казахстана, Закарпатья, Австралии (Брокен-Хилл) и Японии (Кууроко). Руды существенно преобразованы в процессе динамометаморфизма, обусловленного геодинамическими условиями развития пояса.

Серебро-полисульфидно-оловяные и серебро-свинцово-цинковые месторождения связаны с функционированием гранитоидных оловоносных рудно-магматических систем, которые формируются на заключительных стадиях позднеколлизийных процессов. На первом этапе их развития продуцируется серебро-полисульфидно-оловянное оруденение с поздними продуктивными минеральными ассоциациями. Возраст оруденения этого типа – 120–110 млн лет, согласно Аг-Аг и Rb-Sr данным [2]. Второй продуктивный сереброносный этап оруденения обусловлен, вероятно, функционированием более глубинных уровней оловоносных РМС тыловых частей окраинно-континентальных магматических дуг. Флюидопотоки, отделяющиеся из рудоносных магматических

очагов, формируют серебро-свинцово-цинковое оруденение малых глубин. Образованию этого типа оруденения нередко предшествует внедрение кислых субвулканических даек с возрастом 80–90 млн лет по Rb-Sr определениям. В пользу тесных генетических связей серебро-полисульфидно-оловянного и серебро-свинцово-цинкового оруденения свидетельствует близость изотопно-геохимических характеристик рудоносного флюида [7, 8].

Эпитермальное серебро-сурьмяное оруденение пространственно и генетически связано с мелкими субвулканическими телами кислого состава, контролируемые Дарпирским, Адыча-Тарынским и Улахан-Тасским крупными региональными разломами. Возраст субвулканических тел по многочисленным К-Аг, Rb-Sr и Аг-Аг датировкам составляет 90–70 млн лет. Формирование серебро-сурьмяного оруденения связано с постагрегационным периодом существования мезозой. Возраст оруденения, по К-Аг определениям возраста метасоматитов кварц-серпичитового и адулярового состава, менее 80 млн лет.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ

Подобно месторождениям других металлов размещение рудопроявлений и месторождений серебра различных типов контролируется рядом геологических факторов, к числу которых относятся геодинамические обстановки: вулканические пояса, региональные складчатые структуры, протяженные региональные разломы, что предопределяет распределение серебряного оруденения в виде линейных зон. К числу наиболее протяженных сереброносных зон относятся Верхоянская, Верхне-Юдомская, Верхне-Колымская, Адыча-Тарынская, Уяндино-Ясачненская (или Догдо-Эрикитская), Чокурдахская, Улахан-Тасская (рис.).

Уяндино-Ясачненская (Догдо-Эрикитская) металлогеническая зона приурочена к одноименному вулканогенно-осадочному поясу, сформированному в агрегационный этап и подновленному в постагрегационный. Она протягивается с юго-востока на северо-запад на расстояние до 1000 км при ширине пояса 20–40 км. В процессе осадочно-вулканогенного цикла развития пояса происходит накопление рудогенных компонентов и образование ранних сереброносных колчеданно-барит-полиметаллических месторождений. Типичным представителем оруденения данного типа является месторождение Хотойдох. Помимо рудоносных осадочно-вулканогенных толщ, контроль оруденения осуществляется субогласными разрывными нарушениями. Локализация вдоль таких нарушений интенсивно сульфидизированных метасоматитов, имеющих при поверхностном окислении

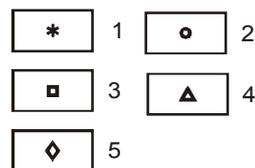
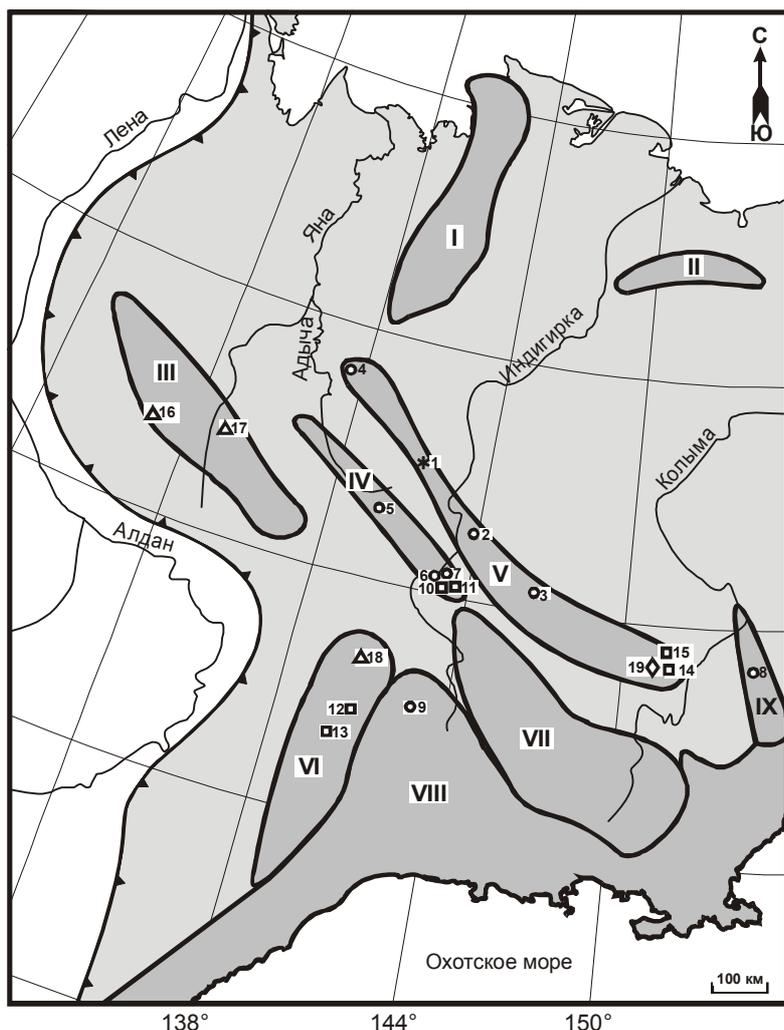


Рис. Металлогенические серебряносные зоны мезозоид Северо-Востока России.

I–IX: I – Селленях-Чокурдахская, II – Улахан-Тасская, III – Верхоянская, IV – Адыча-Тарынская, V – Уяндино-Ясачненская, VI – Верхне-Юдомская, VII – Верхне-Колымская, VIII – Омсукчанская, IX – Охотско-Чукотская.

1–5 месторождения: 1 – барит-колчеданно-полиметаллического типа: 1 – Хотойдох; 2 – серебро-сурьмяного типа: 2 – Тихон, 3 – Урультан, 4 – Кысылга, 5 – Кавказ, 6 – Аид, 7 – Дичек, 8 – Громада, 9 – Атунджа; 3 – серебро-сульфидно-оловянного типа: 10 – Курдатское, 11 – Купольное, 12 – Высокогорное, 13 – Кутинское, 14 – Лазо, 15 – Ударник; 4 – серебро-свинцового типа: 16 – Мангазейское, 17 – Прогноз, 18 – Менкече; 5 – серебро-редкометалльного типа: 19 – Волчек.

красно-бурый цвет, является хорошим индикаторным признаком оруденения. Широкое развитие таких сульфидизированных зон в пределах пояса свидетельствует о высоком потенциале барит-колчеданно-полиметаллического оруденения. По данным Е.Ф. Дылевского [13], контрастная базальт-андезит-риолитовая вулканическая формация по своим особенностям сопоставима с аналогичными формациями энсиалической Японской островной дуги и вторичной эвгеосинклинали Рудного Алтая. В этой же металлогенической зоне в позднемеловое время в связи с проявлением постагрегационного кислого субвулканического магматизма формируется эпитермальное серебро-сурьмяное, реже золото-серебряное оруденение. Типичными представителями этого типа оруденения являются месторождения Кысылга, Тихонское, Урультун. И субвулканические образования, и непосредственно оруденение в пределах пояса контролируются крупными глубинными разломами типа Дарпирского. На южном фланге зоны в пределах Верхне-Сеймчанского района широко проявлено се-

ребро-редкометалльное оруденение предположительно раннемелового возраста. Оно ассоциирует с субщелочным дайковым комплексом пестрого состава. Таким образом, Уяндино-Ясачненская серебряносная зона контролирует размещение разновозрастного оруденения вулканогенного класса.

Верхоянская металлогеническая зона локализуется в миогеоклинальных отложениях Верхоянской пассивной континентальной окраины. Месторождения серебра представлены серебро-полисульфидно-оловянным и серебро-свинцово-цинковым типами, производными эволюционирующих олово-серебряносных рудно-магматических систем. В зависимости от условия развития серебряносно-оловянных РМС могут формироваться либо один из типов оруденения, либо оба, располагаясь в пределах рудных узлов зонально или совмещаясь в единой рудолокализирующей структуре. Зона охватывает серию фронтальных надвигов в пограничной с Сибирской платформой области и юго-западную часть поперечных рядов гранитоидов, в которой магматические образования

практически не вскрыты эрозией и их присутствие обнаруживается по наличию дайковых тел и полей контактовых роговиков. Отчетливо проявлен структурный и литологический контроль оруденения. Месторождения тяготеют к надвиговым структурам (Мангазейский рудный узел) или участкам пересечения разломов разной природы, ориентировки и глубинности (Прогноз). Наиболее благоприятными для локализации оруденения являются толщи песчаников.

Верхне-Юдомская зона протягивается узкой полосой на границе Южно-Верхоянского синклиория и Охотского кратонного террейна. В этой зоне отчетливо проявлена приуроченность месторождений серебра к кислым магматическим породам, представленным субвулканическими штоками и дайками. В пределах рудных полей здесь широко развиты лампрофиры и дайки гранит-порфиры, часть из которых являются внутрирудными (Менкеченский рудный узел, Алтайское месторождение). Оруденение, как и магматизм, контролируется разномасштабными и разноориентированными системами разрывных нарушений (Кутинское, Высокогорное). Зона специализирована на серебро-полисульфидно-оловянные и серебро-свинец-цинковые месторождения.

Серебро-полисульфидно-оловянные и серебро-свинец-цинковые месторождения известны и в других металлогенических зонах: Адыча-Тарынской (Купольное, Курдатское), Верхне-Колымской (Кандычан, Скарновое) и Уяндино-Ясачненской (Хатыское), где широко проявлены и эпitherмальные серебро-сурьмяные месторождения. Оруденения подобного типа обычно пространственно и генетически связаны с протяженными вулканическими поясами, однако для рассматриваемой области такие связи не являются основополагающими. Серебро-сурьмяное оруденение здесь пространственно и генетически ассоциирует с аккреционными и постаккреционными «островными» вулканическими образованиями, представленными субвулканическими телами среднего и кислого состава, изредка сопровождающимися риолитами, дацитами и их туфами. Интенсивность вулканизма и мощность вулканогенных толщ внутриконтинентальных областей мезозойского периода значительно меньше по сравнению с таковыми для Охотско-Чукотского окраинно-континентального вулканического пояса. Этим обстоятельством объясняется своеобразие геологического положения данного типа оруденения. В Адыча-Тарынской зоне, в частности, месторождения данного типа локализуются не только среди вулканитов (Дичек), но и в песчано-сланцевой толще верхоянского комплекса (Кавказ), в роговиках (Кысылга) и в поздне меловых гранитоидных массивах (Купольное). В то же время, независимо от лока-

лизации, оруденение отчетливо контролируется долгоживущими, многократно активизированными глубинными разломами (Дарпирский, Улахан-Сисский, Эльгинский и др.). Из перечисленных выше металлогенических зон с серебро-сурьмяным типом оруденения наибольшая концентрация рудопроявлений свойственна Адыча-Тарынской и Уяндино-Ясачненской. В пределах этих зон происходит наложение данного типа оруденения на более ранние барит-колчеданно-полиметаллическое, золотое, серебро-редкометаллическое и серебро-полисульфидно-оловянное.

Для Чокурдахской и Улахан-Тасской металлогенических зон свойственна олово-серебро-сульфидная специализация вулканогенного и плутоногенного профиля раннемелового возраста.

К МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Начало мезозойской металлогенической истории серебра связано с субдукционными обстановками формирования Уяндино-Ясачненской островной дуги. В этот период образовалось барит-колчеданно-полиметаллическое сереброносное оруденение типа Куроко.

Исходя из литературных данных [11, 14, 16, 20, 21, 23, 24] и собственных наблюдений о тесной пространственной и временной связи серебро-полисульфидно-оловянного оруденения с гранитами (147–151, 122–105 млн лет), о существовании вертикального ряда смены минеральных типов оруденения, локализации оруденения в пределах мезозойских осадочных комплексов, преимущественно борном профиле жильной минерализации – мы предполагаем, что оруденение данного типа возникло в аккреционный период. Имеющиеся в нашем распоряжении немногочисленные данные по изотопам свинца галенитов и арсенипиритов (табл. 2, лаборатории ИГАБМ СО РАН и Геологической службы США) свидетельствуют о нижнекоревом источнике свинца в рудах. В краевых зонах мезозойского периода, под влиянием палеозойского, а может быть и более древнего основания, обогащенного бором, наличие которого подтверждается существованием протяженного бороносного пояса, совпадающего со структурами Момского составного террейна (месторождения Чокурдахского, Догдо-Эрикитского, Яно-Полоусненского поясов), формировались крупные интрузии гранитоидов, обогащенные бором. С этими интрузиями, размещение которых контролируется преимущественно поперечными к складчатым структурам разрывными нарушениями, связано серебро-полисульфидно-оловянное оруденение с отчетливо зональным расположением минеральных типов относительно материнских гранитов. Обогащенные бором

флюиды отделялись при кристаллизации гранитов и формировали вертикальный ряд месторождений от силикатно-сульфидных с грейзенами до сульфидно-карбонатных с силикатной составляющей. Конечным продуктом функционирования таких олово-серебряносных РМС может быть серебро-свинцово-цинковое оруденение при условии активизации глубоких уровней этих систем. Такая активизация вызывается воздействием молодой охотской субдукции на ранние продольные надвиговые системы, которые активизируются в качестве крупных сдвиговых, проникающих на глубокие коровые уровни.

Локальность распространения серебро-редкометалльного оруденения в регионе и тесная его связь с дайками, секущими граниты Каньонского массива, специфичность состава руд и многостадийность процесса их формирования позволяют предполагать, что на фоне кристаллизации раннемеловых интрузий гранодиорит-гранитной ассоциации (Каньонский, Громадненский и Дерясь-Юрегинский массивы) создались условия, способствующие образованию остаточного магматического расплава в придонных частях интрузивной камеры. В нем происходило накопление обогащенного бором и комплексом тяжелых металлов флюида, равновесного с остаточным кислым расплавом. Тектонические подвижки, связанные с процессами тыловодужного рифтогенеза, отвечающие начальной стадии образования Охотско-Чукотского вулкано-генного пояса, привели к вскрытию придонных частей интрузивной камеры. В результате сформировались дайки интенсивно автотерматически измененных гранит-порфиров с ореолами турмалиновых роговиков вокруг них и с практически синхронным им редкометалльным оруденением.

Серебро-сурьмяный тип оруденения с золотом и оловом связывается нами с формированием вулкано-генных гидротермальных систем, генерация которых также связывается с охотской субдукцией. Модели такого рода достаточно широко известны и разработаны на примере месторождений окраинно-континентальных и островных магматических дуг, а для Северо-Востока России они подробно разобраны В.И. Гончаровым [9]. Предпосылками для принятия именно такой модели служат малоглубинный, вплоть до эпитептермального, облик минерализации, тесная связь с субвулканическими порфировыми интрузиями, характерный геохимический спектр оруденения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ имеющегося материала позволяет сделать вывод о формировании серебряного оруденения на протяжении позднемезозойских аккреционного и постааккреционного этапов истории геологического

развития региона. Четко прослеживается связь образования различных типов серебряного оруденения с определенным геодинамическим режимом. Серебряные месторождения всех типов оруденения характеризуются малоглубинными условиями образования. Процесс рудоотложения имеет сходный режим эволюции магматогенных флюидов, взаимодействующих с метеорными водами.

Статья подготовлена в рамках работ по грантам РФФИ 03-05-64980, 03-05-96010 и интеграционных проектов ДВО-СО РАН № 69, 71.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Половинкин В.Л. Магматические и рудные формации хребта Улахан-Тас (Северо-Восточная Якутия). Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. 199 с.
2. Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Зайцев А.И. Новые данные по магматизму и металлогении серебра Верхне-Индибирской кольцевой структуры // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: Тез. докл. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 54–57.
3. Борисенко А.С., Боровиков А.А., Павлова Г.Г., Морцев Н.К. Физико-химические условия формирования серебро-сурьмяного оруденения Базардаринского рудного узла // Гранитоидный магматизм и оруденение Базардаринского горнорудного района (Южный Памир). Новосибирск: Изд-во ИГиГ, 1990. С. 160–180.
4. Гамянин Г.Н. Барит-полиметаллическая формация Колымского срединного массива // Новые данные по геологии рудных месторождений Восточной Якутии: Сб. науч. тр. Якутск: Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1978. С. 56–71.
5. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Близповерхностное оруденение восточной Якутии // Тихоокеан. геология. 1988. № 2. С. 82–89.
6. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С. Особенности химического состава блеклых руд из месторождений золота различных рудных формаций Восточной Якутии // Геология руд. месторождений. 1989. № 2. С. 50–62.
7. Гамянин Г.Н., Аникина Е.Ю., Бортников Н.С., Алпатов В.В., Борисенко А.С., Носик Л.П. Серебро-полиметаллическое месторождение Прогноз, Якутия: минералого-геохимические особенности и генезис // Геология руд. месторождений. 1998. № 5. С. 440–458.
8. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В., Аникина Е.Ю., Борисенко А.С., Боровиков А.А., Бахарев А.Г., Жданов Ю.Я., Носик Л.П. Серебро-оловянное месторождение Купольное (Республика Саха, Россия): пример эволюции рудно-магматической системы // Геология руд. месторождений. 2001. № 6. С. 495–523.
9. Гончаров В.И. Гидротермальное рудообразование в краевых вулкано-генных поясах. М.: Наука, 1983. 215 с.
10. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.
11. Грачева О.С., Крылова Л.И. Структура и минералогические особенности Верхне-Сеймчанского редкометалльного месторождения // Инф. сб. ВСЕГЕИ. № 9. Л.: ВСЕГЕИ, 1959. С. 13–24.

12. Гринберг Г.А., Бахарев А.Г., Недосекин Ю.Д., Сурнин А.А. Вулканические комплексы центральной части Уяндино-Ясачненского пояса // Новые данные о магматизме Якутской АССР. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1974. С. 50–107
13. Дылевский Е.Ф. Колчеданность вулканических ассоциаций (на примере вулканических комплексов центральных районов Северо-Востока России) // Стратиформное оруденение осадочных и осадочно-вулканогенных формаций Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 61–81.
14. Дылевский Е.Ф., Зуев С.А., Шпикерман В.И. Колчеданно-полиметаллическое месторождение Хотойдох в верхнеюрских осадочно-вулканогенных отложениях центральной части хр. Черского // Стратиформное оруденение осадочных и осадочно-вулканогенных формаций Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 81–97.
15. Зоненшайн Л.П., Натапов Л.М. Тектоническая история Арктики // Актуальные проблемы тектоники океанов и континентов. М.: Наука, 1987. С. 31–57.
16. Индолев Л.Н., Невойса Г.Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. Новосибирск: Наука, 1974. 250 с.
17. Некрасов И.Я., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Жданов Ю.Я., Горячева Е.М., Лескова Н.В. Минералого-геохимические особенности серебряного оруденения Верхояно-Колымской складчатой области. Минеральные ассоциации руд серебросурьмяной и золотосеребряной формаций // Минерал. журн. 1987. № 6. С. 5–18.
18. Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганз П.Б., Гончаров В.И., Горячев Н.А., Ворошин С.В. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной пачифики. Т.1. Геология, геохронология и геохимия. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 181–206.
19. Парфенов Л.М. Террейны и история формирования мезозойских орогенных поясов Восточной Якутии // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 6. С. 32–43.
20. Пляшкевич А.А. Минералогия и геохимия олово-серебро-полиметаллических месторождений Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 72 с.
21. Савва Н.Е. Минеральный состав и особенности перераспределения вещества руд колчеданно-полиметаллического месторождения Хотойдох // Стратиформное оруденение осадочных и осадочно-вулканогенных формаций Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 97–116.
22. Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 257 с.
23. Соколова Е.А. Комплекс малых интрузивов Верхне-Сеймчанского района и связанная с ним рудоносность // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан: Кн. изд-во, 1956. Вып. 10. С. 69–93.
24. Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. Новосибирск: Наука, 1976. 281 с.
25. Barton P.B.Jr., Bethke P.M., Toulmin P. Equilibrium in ore deposits // Miner. Soc. Amer. Spec. Paper. 1963. N 1. P. 171–185.
26. Henley R.W. Gaseous components in geothermal processes // Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. E 1 Pasco: Econ.Geol. Publ. Co. 1984. P. 45–56.

G.N. Gamyandin, N.A. Goryachev, N.S. Bortnikov, E.Yu. Anikina

Types of silver mineralization in Verkhoyansk-Kolyma mesozoides (geology, mineralogy, genesis, and metallogeny)

The area of the Verkhoyansk-Kolyma mesozoides is a large silver-bearing province. Various types of mineralization are developed there including epithermal silver-antimony, volcanogenic argentiferous pyrite-barite-polymetallic, silver-polysulphide-tin, silver-rare metal, and silver-lead-zinc mineralization. The geological history of the region involves the following stages in the formation of various types of silver mineralization. The earliest is argentiferous barite-pyrite-polymetallic mineralization related to volcanic arcs. It is represented by Kuroko-type dynamometamorphosed deposits of Late Jurassic (about 150 Ma) age. Silver-polysulphide-tin mineralization formed in the period of accretion and was related to granitoid tinny systems (146-120 Ma). Silver-rare metal and silver-lead-zinc mineralizations, which were preceded by the emplacement of acid subvolcanic dikes aged at 80-90 Ma, are post-accretionary. Epithermal silver-antimony mineralization also formed in the post-accretionary period and was related to tectonomagmatic activation of deep-seated faults of mesozoides. It has an age of less than 80 Ma. The distribution of various types of mineralization is mainly controlled by such geological features as regional fold structures, large deep-seated faults and volcanogenic belts. The Uyandina-Yasachnensk silver-bearing metallogenic zone with argentiferous barite-pyrite-polymetallic and epithermal silver-antimony mineralization, the Adycha-Taryn zone with silver mineralization of granitoid trend and epithermal silver-antimony mineralization, and the West Verkhoyansk and South Verkhoyansk zones with silver mineralization of granitoid trend have been established. All the deposits described above are assigned to a low-temperature (280-120°C) type, with relatively low salt concentrations (9.2-3.3 % NaCl eq.) at silver-polysulphide-tin deposits increasing up to 29 % NaCl eq. at silver-lead-zinc deposits. The largest and economically most important are silver-lead-zinc deposits, formed at shallow depths. Gases at the deposits of granitoid trend are dominated by CO₂ (45.3-94.2 rel. %), while at silver-antimony deposits nitrogen is important (up to 67.1 rel.%). Studies of stable and radiogenic isotopes revealed similarity of many isotope parameters of silver mineralization of granitoid systems and their significant difference from silver mineralization of the volcanic series.