



УДК 549.282 (571.65)

СЕРЕБРЯНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ХОРОГОЧИНСКОГО КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА (СТАНОВАЯ ГРАНИТ-ЗЕЛЕНОКАМЕННАЯ ОБЛАСТЬ, ВЕРХНЕЕ ПРИАМУРЬЕ)

П. П. Сафронов¹, Н. В. Моисеенко²¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия; ²Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

Методом аналитической растровой электронной микроскопии изучены морфология и химический состав минералов Хорогочинского серебряного рудопроявления (Верхнее Приамурье). Минеральная ассоциация представлена самородным серебром высокой пробы, собственно серебряными минералами (сульфидом серебра, сульфоантимонитами и сульфоарсенидами серебра), Ag-содержащими (блеклой рудой и галенитом), а также рядом сопутствующих минералов (пирит, халькопирит, сфалерит, леллингит, анкерит, гидрослюда-сметит и др.). На основании выявленного химического состава минералов серебра и сопутствующих минералов, особенностей их пространственного взаимоотношения, а также известных из литературы экспериментальных данных об устойчивости серебряносодержащих систем были оценены температуры формирования серебряной минерализации, укладываемые в диапазон 300–100 °С, и последовательность кристаллизации составляющих ее минералов – от многокомпонентных составов с низким содержанием серебра (Ag-теннантит-тетраэдрит, прустит) до составов с высокой его концентрацией (стефанит, полибазит, пирсеит, акантит, самородное серебро). Коренной источник серебряной минерализации в рудно-россыпном узле Хорогочи-2 пространственно разобщен с рудными источниками золото-серебряной минерализации.

Ключевые слова: самородное серебро, сульфид серебра, сульфосоли серебра, блеклая руда.

SILVER MINERALIZATION OF THE KHOROGOCHI MOTHER LODE (STANOVAYA GRANITE-GREENSTONE AREA, UPPER AMUR REGION)

P. P. Safronov¹, N. V. Moiseenko²¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia; ²Institute of Geology and Natural Management FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia.

The morphology and chemical composition of minerals of the Khorogochi silver ore occurrence (Upper Amur region) were studied by the analytical scanning electron microscopy. The mineral association is represented by high-grade native silver, basically silver minerals (silver sulphide, sulphoantimonites and silver sulfoarsenides), Ag-containing (fahl ore and galenite), as well as a number of associated minerals (pyrite, chalcopryrite, sphalerite, loellingite, ankerite, hydromica-smectite, etc.). Based on the revealed chemical composition of silver minerals and associated minerals, the features of their spatial relationship, as well as experimental data known from the literature on the resistance of silver-containing systems, the formation temperatures of silver mineralization, which fit into the range of 300–100 °C, and the order of crystallization of its constituent minerals were estimated – from multicomponent compositions with a low silver content (Ag-tennantite-tetrahedrite, proustite) to compositions with a high content of noble metal (stephanite, polybasite, pearceite, acanthite, native silver). The ore body of silver mineralization in the ore-placer cluster Khorogochi-2 is spatially dissociated from the ore sources of gold-silver mineralization.

Keywords: native silver, silver sulphide, silver sulphosalts, fahl ore.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-1-80-91

В Становой гранит-зеленокаменной области имеется Моготинское серебро-полиметаллическое месторождение [1] и небольшие рудопроявления серебра (Горациевское, Хакули, Солнечное и др.). Изредка мелкие самородки серебра встречаются вместе с золотом в россыпях, обрабатываемых старательскими артелями. В россыпи р. Хорогочи-2 (левый приток р. Верхняя Ларба) и ее правого притока руч. Зброшенный (рис. 1) обнаружены крупные серебряные самородки. Старателями здесь добыто более 11 кг серебра, вес наиболее крупных самородков до 1 кг [13].

Штуфным и шлиховым опробованием этого участка силами геолого-съёмочной партии, проводившей групповую геологическую съёмку м-ба 1:50 000 и геологическое доизучение Мультмугин-

ского-81 участка (В. Н. Петрук и др., 1987), не удалось выявить россыпеобразующих коренных источников серебра. Однако при исследовании данного района сотрудниками АмурКНИИ установлены проявления серебра в низкотемпературных диафоритах березит-лиственитового (серицит-кварцевого, серицит-карбонат-кварцевого, серицит-хлорит-карбонат-кварцевого) состава, развитых по архейским кристаллическим сланцам [7]. Серебряная минерализация приурочена к кварц-карбонатным и карбонатным прожилкам и гнездам сульфидных минералов (галенита, сфалерита, пирита, халькопирита).

Предварительные результаты изучения самородного серебра Хорогочинского рудопроявления кратко изложены авторами [15–17]. В настоящей статье приведены оригинальные данные по составу

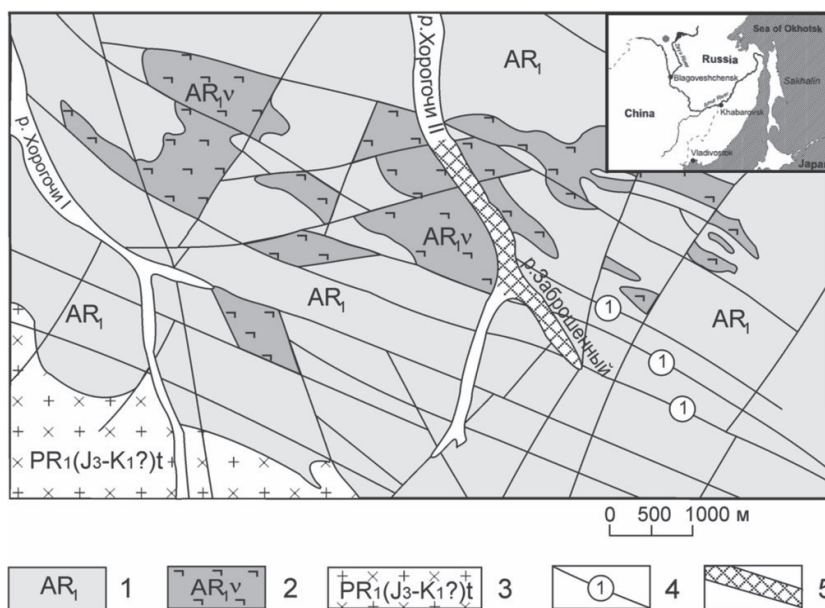


Рис. 1. Геологическая схема района проявления серебряной минерализации (по В. Н. Петруку (1987), с дополнениями и изменениями авторов)

1 – ларбинская серия нерасчлененная: кристаллические сланцы, гнейсы гранатовые, пласты железистых кварцитов; 2 – раннеархейские пироксенит-габбро-анортозиты Хоргоочинского массива; 3 – гранодиориты и граниты раннепротерозойского (позднеюрского – раннемелового?) возраста тукурингрского комплекса; 4 – разломы (1 – кулисы Кутыканского разлома); 5 – участок золотоносной россыпи с самородками серебра; на врезке: ● – географическое местоположение серебряного рудопроявления

собственно серебряной минерализации предполагаемого коренного источника и последовательности отложения рудных минералов в нем.

Краткая геологическая характеристика района

Район развития серебряной минерализации приурочен к Ларбинскому блоку нижнеархейского кристаллического фундамента; с юга и запада выступ окружен верхнеархейскими толщами, выполняющими Желтулакский прогиб. Древнейшие образования выделяются в ларбинскую серию, которая подразделяется на уркиминскую, пуриканскую, хоргоочинскую и кутыканскую свиты [2, 12].

Уркиминская и пуриканская свиты (общей мощностью 7500 м) сложены переслаивающимися основными и ультраосновными кристаллическими сланцами с пластами магнетитовых кварцитов. Хоргоочинская и кутыканская свиты (4200 м) представлены гранатовыми, гранат-гиперстеновыми, биотитовыми гнейсами и плагиогнейсами с линзами основных и ультраосновных кристаллосланцев.

Нижнеархейские образования прорываются Хоргоочинским расслоенным массивом (площадь около 20 км²) пироксенит-габбронорит-анортозитового состава раннеархейского возраста. Он вытянут вдоль контакта хоргоочинской и пуриканской свит. Вмещающие породы иногда секутся апофизами массива, что доказывает его интрузивную природу.

В южной части Ларбинского блока широко развиты гранитоиды тукурингрского комплекса (биотит-роговообманковые гранодиориты и биотитовые граниты), считавшиеся ранее раннепротерозойскими. По данным более поздних работ [3], они позднеюрские – раннемеловые.

В районе широко развиты тектонические нарушения северо-западного (Хоргоочинский глубинный разлом) и субширотного простирания (Урюмо-Инарогдинский глубинный разлом) [12]. Слабее проявлены северо-восточные разломы, контролируемые мезозойскими дайками. Южнее Хоргоочинского

разлома фиксируется система субпараллельно ветвящихся дизъюнктивов, которые прослеживаются за пределы района к северо-западу и юго-востоку на сотни километров. Это составная часть Желтулакского глубинного разлома (сдвигового характера), трассирующегося зонами метасоматитов, в частности диафоритов. С этим разломом связано и внедрение гранитоидов тукурингрского комплекса. Важной северо-западной рудоконтролирующей структурой является Кутыканский разлом – крутопадающая структура глубокого заложения и длительного развития, маркируемая кулисообразными разрывными нарушениями и широкими зонами расланцевания. Разлом активно развивался в протерозое и мезозое, к нему приурочены выходы меловых даек, зоны окварцевания, пиритизации и оруденения.

Коренное проявление серебра тяготеет к Хоргоочинскому базитовому массиву и кристаллосланцам пуриканской свиты.

Серебряная минерализация приурочена к кварцевым, кварц-карбонатным, сульфидно-кварц-карбонатным прожилкам, развитым по породам в зонах дробления и метасоматоза.

В результате проведенных исследований установлены как собственно серебряные, так и серебряносодержащие минералы. Изучение вариаций их составов и пространственных взаимоотношений с некоторыми сульфидами и жильными минералами позволили в общих чертах описать генезис предполагаемого коренного источника серебра.

Методы исследования

Исследованиям подлежало жильное самородное серебро из тяжелых шлихов, взятых в бортах р. Хоргоочи-2 вблизи устья руч. Зброшенный, а также серебро, включая отдельные самородки, извлеченное из россыпи гидравлическим способом попутно с золотом. Самые крупные зерна распиливались пополам, чтобы надежно извлекать инфор-



мацию из внутренних частей. Все образцы закреплялись при помощи эпоксидной смолы в обоймы, из которых приготавливались полированные аншлифы. К каждому образцу в готовых аншлифах подводились токопроводящие дорожки из серебряного клея.

Часть образцов анализировалась на аналитическом растровом электронном микроскопе JSM-35C, оснащенный рентгеновским волновым спектрометром SDS («Jeol», Япония) в АмурКНИИ ДВО РАН. Другая часть изучалась на микрозонде JXA-5A в ДВГИ. Некоторые составы впоследствии доуточнялись на растровом электронном микроскопе EVO 50XVP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного рентгеновского анализа INCA Energy (Oxford instruments, Великобритания) и на микроанализаторе JSM-8100 (Jeol, Япония) также в ДВГИ ДВО РАН. Всего проанализировано несколько десятков образцов. Следует отметить, что изучались только те минералы, которые были обнаружены либо в виде включений в самородном серебре, либо в сростках с ним.

Результаты исследований и их обсуждение

В сростках с самородным серебром и закапсулированных в нем включений установлены рудные минералы, относящиеся к сульфидам, сульфосолям (сульфоарсенидам, сульфоантимонитам) и блеклой руде. Из собственно серебряных минералов выявлены акантит, полибазит, стефанит, пирсеит и прустит; из серебряносодержащих – теннантит-тетраэдрит и галенит. Кроме этого, обнаружены сопутствующие минералы – леллингит, пирит, халькопирит, сфалерит, а также кварц, анкерит, гидрослюда-сметтит и др. Ниже дается краткое описание установленных минералов и приводятся их составы.

Самородное серебро жильное и россыпное

Жильное серебро представлено в основном ксеноморфными зернами размером от 0,5 до 3,5 мм, однородными по составу с долей серебра 97,0–99,5 мас. %, хотя среди них преобладают зерна с содержанием Ag около 99 %. В некоторых образцах зарегистрированы примеси Sb и Hg (первые десятые доли процента). Других элементов, включая Au, в пределах чувствительности микроанализатора не зафиксировано. В ассоциации с жильным серебром наиболее часто встречаются полибазит и Ag-содержащий галенит.

Серебро из россыпи имеет комковидную форму. Размеры его выделений, как правило, составляют несколько мм, некоторых зерен (самородков) – до 10–15 мм, самое крупное зерно около 2 см. В россыпном серебре массовая доля серебра составляет 96,7–99,6 %. Примеси других элементов в пределах чувствительности прибора не обнаружены. В ассоциации с этим серебром как в виде включений, так и в сростках с ним встречаются акантит, пирсеит, прустит, полибазит, стефанит, бле-

кляя руда Ag-теннантит-тетраэдритового ряда, Ag-содержащий галенит, а также минералы – леллингит, анкерит, пирит, гидрослюда-сметтит.

Сульфиды

Акантит Ag_2S . Самое крупное выделение акантита (~200–350 мкм²) зафиксировано в сростке с полибазитом. Этот сросток окружен самородным серебром (рис. 2, а). Кроме того, акантит отмечен в виде оторочки толщиной около 10 мкм вокруг частицы галенита, заключенной в зерне серебра (см. рис. 2, б). Все это указывает, что данный сульфид серебра, скорее всего, отлагался до кристаллизации главного рудоносного минерала – самородного серебра. Состав акантита (табл. 1, ан. № 1) близок к стехиометрическому.

Ag-содержащий галенит. В самородном серебре и на его границах с серебряносодержащими минералами часто встречается галенит различных размеров и морфологии (см. рис. 2, б, г, д; рис. 3, а, в–е). Самые мелкие зерна (<10 мкм) имеют изометрическую или близкую к ней форму; остальные – от неправильных, вытянутых, несимметричных шестигранных форм до прямоугольных образований. В сростках с серебром или в его интерстициях обнаружены крупные выделения галенита размером от 200 до 500 мкм² (см. рис. 3, г). Иногда галенит присутствует как включение внутри других минералов, которые в свою очередь сами находятся в серебре. По-видимому, галенит, наряду с некоторыми другими ранее закристиллизовавшимися серебряными минералами, мог служить хорошей затравкой (осадителем) при осаждении серебра из гидротермального раствора. Экспериментальное подтверждение этого процесса было приведено в работах некоторых исследователей [21]. Опытным путем доказано осаждение серебра из приготовленных растворов на природный галенит.

В данной минеральной ассоциации галенит распространен широко и, вероятно, отлагался на различных стадиях рудообразования, в том числе во время кристаллизации самого серебра. Отсюда можно сделать вывод о том, что галенит – сквозной минерал при формировании данной серебряной минерализации и его выделения по отношению к серебру могут быть протогенетическими, сингенетическими и эпигенетическими.

Наличие примеси серебра (0,14–0,16 мас. %) в галенитах данной серебряной минерализации является характерной особенностью и может иметь индикаторное значение, т. е. указывать на существование коренного источника самородного серебра.

Сульфоантимониты

Полибазит $(Ag,Cu)_{16}Sb_2S_{11}$ – наиболее распространенный в данной ассоциации минерал серебра. Помимо сростаний с акантитом и самородным серебром (см. рис. 2, а, б, г), он образует внутри зерен последнего выделения различных форм

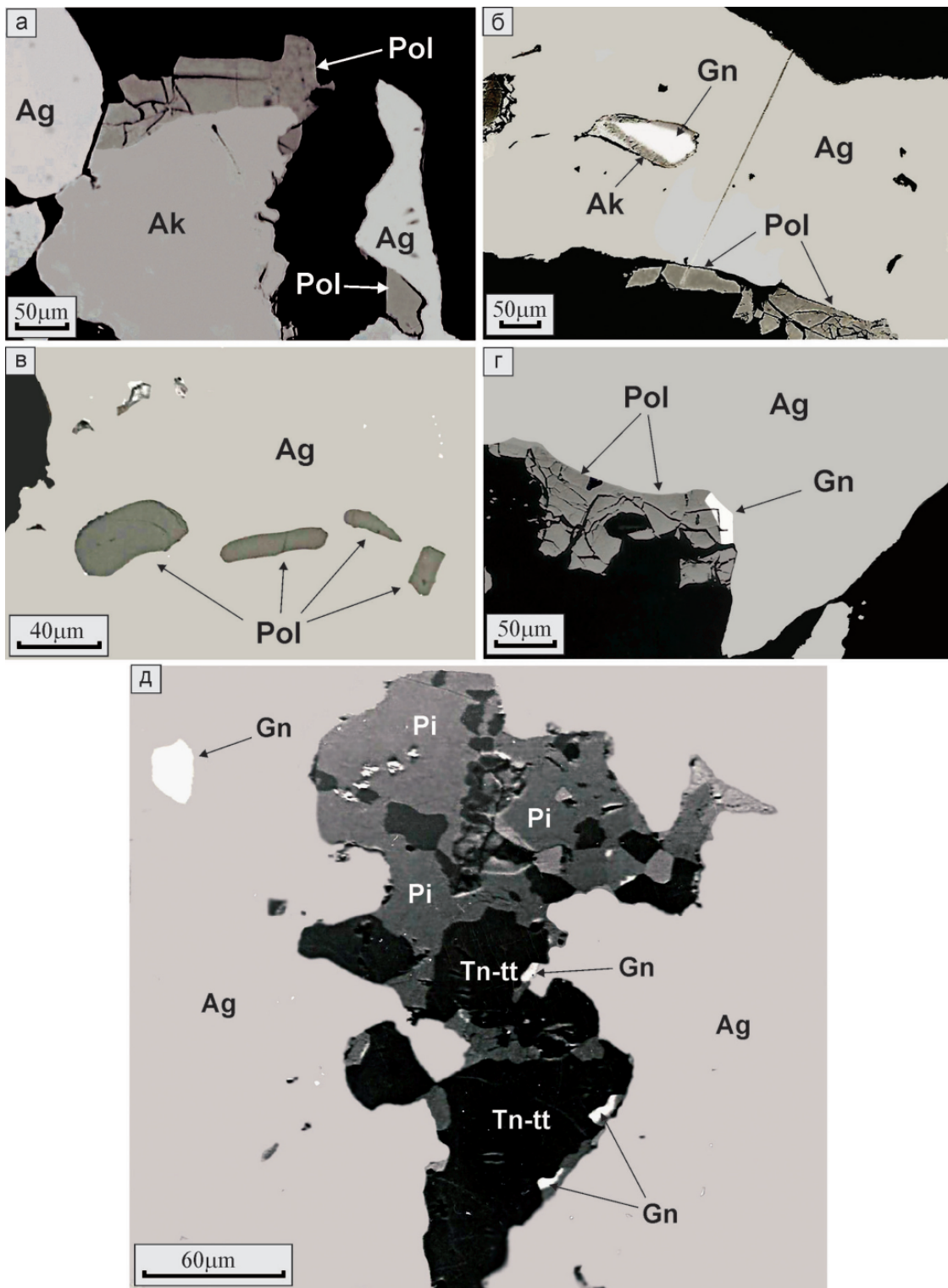


Рис. 2. Минералы-включения в самородном серебре (Ag) и минералы-сростки с ним: а – сростки акантита (Ak) и полибазита (Pol) с серебром; б – включение галенита (Gn) с оторочкой акантита (Ak) в серебре; полибазит (Pol) в сростке с зерном серебра; в – включения полибазита (Pol) в серебре; г – полибазит (Pol) в сростке с серебром и галенитом (Gn); д – сросток пирсита (Pi) с теннантит-тетраэдритом (Tn-tt) в серебре; мелкие включения галенита (Gn) в этом сростке; отдельное более крупное включение галенита (Gn) в серебре. Снимки в упруго-рассеянных электронах

(см. рис. 2, в): изометрические или близкие к ним; почти прямоугольные с острыми, а также закругленными вершинами; удлинённые и одновременно изогнутые и другие формы. Размеры включений полибазита колеблются от нескольких мкм в самых мелких зернах серебра до 200–250 мкм в наиболее

крупных. Характерно, что крупные обособления полибазита (более 80–100 мкм) в сростании с зёрнами серебра, как правило, трещиноваты. Это указывает, что они могут быть более ранними (протогенетическими) по отношению к серебру. Мелкие включения, главным образом эмульсионного типа, кристал-



Таблица 1

Химический состав серебряных и серебросодержащих минералов рудопоявления Хорогочи-2, мас. %

| Номер анализа | Минерал | Ag | Fe | Cu | Zn | As | Sb | S | Сумма |
|---------------|------------------------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | Акантит | 86,72 | – | – | – | – | 0,04 | 12,73 | 99,49 |
| 2 | Пирсеит | 80,94 | – | 3,10 | 0,09 | 5,07 | 0,66 | 11,97 | 101,85 |
| 3 | Полибазит | 73,97 | – | 0,31 | – | – | 11,61 | 14,89 | 100,78 |
| 4 | « | 73,85 | – | 5,03 | – | 2,78 | 6,53 | 13,35 | 101,54 |
| 5 | « | 73,02 | – | 6,41 | – | 2,99 | 5,83 | 12,73 | 100,98 |
| 6 | « | 72,95 | 0,03 | 5,05 | – | 2,61 | 5,55 | 15,05 | 101,24 |
| 7 | « | 71,12 | 0,05 | 7,00 | – | 2,58 | 5,68 | 14,54 | 100,97 |
| 8 | « | 70,58 | 0,02 | 6,24 | – | 3,58 | 4,44 | 15,71 | 100,57 |
| 9 | « | 68,07 | 0,03 | 6,51 | – | 1,13 | 9,27 | 13,55 | 98,56 |
| 10 | Стефанит | 65,70 | 0,06 | 0,43 | – | 0,80 | 18,95 | 15,03 | 100,97 |
| 11 | « | 65,24 | 0,05 | 0,46 | – | 0,94 | 18,89 | 14,91 | 100,49 |
| 12 | Сурьмянистый прустит | 56,88 | 0,72 | – | 3,78 | 8,77 | 7,97 | 18,96 | 97,08 |
| 13 | « | 55,80 | 0,67 | – | 4,38 | 8,76 | 8,45 | 20,63 | 98,69 |
| 14 | « | 55,73 | 0,75 | – | 4,57 | 8,58 | 7,89 | 20,71 | 98,23 |
| 15 | Ag-содержащий теннантит-тетраэдрит | 18,72 | 0,92 | 28,98 | 5,93 | 11,18 | 11,31 | 22,83 | 99,81 |
| 16 | « | 18,45 | 0,92 | 28,76 | 5,91 | 11,13 | 11,19 | 22,44 | 98,82 |

Примечание. Приведены наиболее показательные составы. Рентгеновский микроанализ проводился по аналитическим линиям $AgL_{\alpha 1}$, CuK_{α} , ZnK_{α} , FeK_{α} , $SbL_{\alpha 1}$, AsK_{α} , SK_{α} . В качестве стандартов использовались для определения Ag, Cu и Fe химически чистые металлы, для Zn – синтетический ZnSe, для определения Sb и S в сульфосолях и блеклой руде – соединение Sb_2S_3 , для As – синтетический GaAs. Режим анализа: ускоряющее напряжение 25 кВ, ток зонда 5 нА. Прочерки означают, что данный элемент в указанных минералах не обнаружен.

лизовались, вероятно, одновременно с отложением серебра. В ряде случаев полибазит наблюдается в виде тонких прослоев среди зерен серебра, что также свидетельствует об их сингенетическом происхождении.

Нередко полибазит образует протяженные (до 300–500 мкм) скопления кристаллов на границах с серебром (см. рис. 2, б, г). Отмечаются и более тонкие (не более 10 мкм) прерывистые выделения полибазита. Кроме того, наблюдаются срастания полибазита с анкеритом.

Состав полибазита заметно варьирует по главным компонентам: Ag 68,07–73,97 мас. %, S 12,73–15,71 %, Sb 4,44–11,61 % (см. табл. 1, ан. 3–9). Это связано, по-видимому, с изменяющимся характером физико-химических параметров минералообразующей среды и, прежде всего, состава растворов в период кристаллизации полибазита. Примечательно, что в него в большинстве случаев входит существенное количество меди (до 7 %) и несколько меньшее – мышьяка (до 3,58 %). Однако есть выделения полибазита, в которых мышьяк вообще отсутствует, а меди намного меньше, чем в предыдущем случае (в табл. 1 приведен наиболее характерный состав такого полибазита – ан. № 3). По существу, мы имеем дело с двумя разновидностями данного минерала: первый (преобладает в данной минерализации) – мышьяковисто-медистый полибазит (As 1,13–3,58 %, Cu 5,03–7,00 %), второй – безмышьяковисто-маломедистый (Cu не более 0,31 %). Усредненная кристаллохимическая формула наиболее

распространенного полибазита, т. е. 1-го типа, – $(Ag_{15.15}Cu_{1.81}Fe_{0.01})_{16.97}(Sb_{1.27}As_{0.68})_{1.95}S_{10.09}$.

Полибазит несет ценную информацию непосредственно о температуре образования серебряного парагенезиса. Известны экспериментальные данные по устойчивости (кристаллизации) этого минерала в системе Au-Ag-Sb-S в зависимости от температуры и фугитивности серы [8, 9]. Согласно фазовой диаграмме T, K – fs_2 полибазит кристаллизуется в интервале температур 150–100 °С и в данной минеральной ассоциации относится к низкотемпературным минералам, таким как акантит, некоторые Ag-содержащие галениты и самородное серебро.

Стефанит Ag_5SbS – редкий минерал из собственно серебряных в данной минерализации. Он найден только в одном образце серебра в виде нескольких небольших, слегка удлинённых с закругленными вершинами кристалликов размером 40–80 мкм. Характерно, что в нем наблюдается пониженное содержание Cu 0,43–0,46 % и As 0,80–0,94 % (см. табл. 1, ан. № 10, 11), т. е. он малопримесный серебряный минерал. Его кристаллохимическая формула – $(Ag_{4.85}Cu_{0.05}Fe_{0.01})_{4.91}(Sb_{1.24}As_{0.10})_{1.34}S_{3.72}$.

Согласно экспериментальным данным [9], температурное поле устойчивости стефанита простирается от 197 до 128 °С. Но, учитывая малопримесность состава этого минерала, можно полагать, что данный маломедисто-маломышьяковистый стефанит отлагался, скорее всего, при температурах примерно 160–130 °С, когда произошло существен-

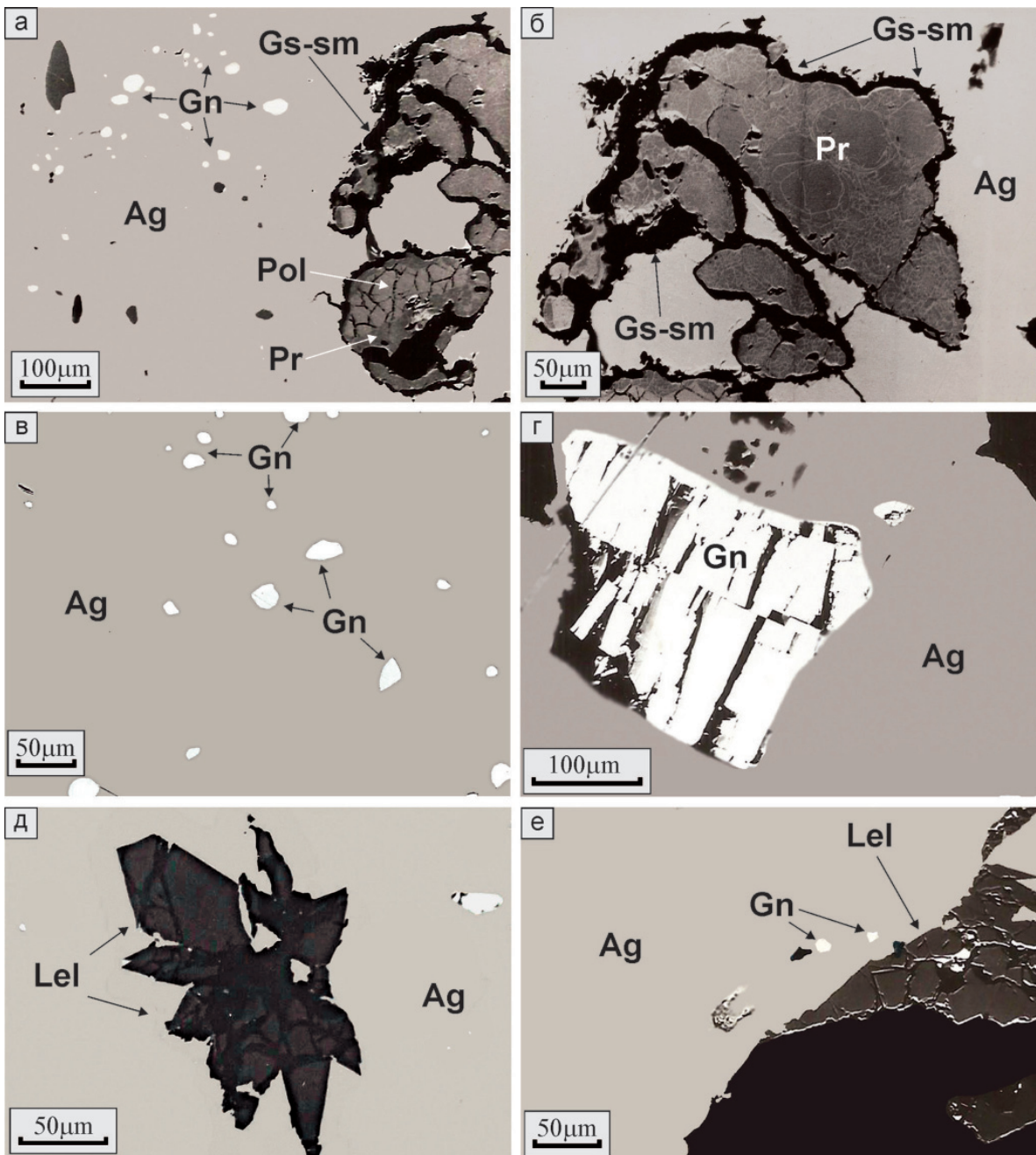


Рис. 3. Минералы, ассоциирующие с самородным серебром (Ag): а – выделения полибазита (Pol) в прустите (Pr), сросток обрамлен оторочкой из гидрослюдь-сметкита (Gs-sm); здесь же в серебре – многочисленные включения галенита (Gn); б – включение прустита (Pr) в серебре; в – серебро с включениями галенита (Gn); г – большой кристалл галенита (Gn) в интерстиции серебряного зерна; д – включение леллингита (Lel) в самородном серебре; е – леллингит (Lel) в сростке с серебром. Снимки в упруго-рассеянных электронах

ное обеднение раствора химическими элементами Fe, Cu, Zn и As.

Сульфоарсениды

Пирсеит $(Ag,Cu)_{16}As_2S_{11}$ установлен в тесном сростании с Ag-содержащим теннантит-тетраэдри-том внутри одного из самых крупных зерен серебра (см. рис. 2, д). Этот сросток имеет ксеноморфную вытянутую форму со значением удлинения около 270 мкм. В нем наблюдаются небольшие выделения галенита, приуроченные к границе этих двух минералов.

Состав пирсеита (см. табл. 1, ан. № 2) характеризуется повышенным содержанием серебра (80,94 мас. %), значительного количества примеси меди (3,1 %) и небольшого сурьмы (0,66 %) и цинка (0,09 %). В рассчитанной кристаллохимической формуле $(Ag_{17.45}Cu_{1.14}Zn_{0.02})_{18.61}(As_{1.58}Sb_{0.12})_{1.70}S_{8.68}$ наблюдается превышение серебра и недостаток серы по отношению к стехиометрическому составу данного минерала. Это может быть связано с тем, что пирсеит, скорее всего, отложился в последнюю очередь, когда флюид был существенно обеднен серой. Однако пирсеит, по-видимому, вообще отличает



непостоянство состава, что отмечено в работах некоторых исследователей [20].

Прустит Ag_3AsS_3 образует в отдельных участках крупных зерен серебра скопления ксеноморфных форм размером от 50 до 600 мкм в поперечнике (см. рис. 3, б). Данная сульфосоли серебра содержит, кроме As (8,58–8,77 %), примесь Sb (7,89–8,45 %) (см. табл. 1, ан. 12–14). Хотя, как отмечается в работе [11], для прустита обычно нехарактерно высокое содержание сурьмы. Согласно рассчитанной кристаллохимической формуле $(\text{Ag}_{2.62}\text{Zn}_{0.33}\text{Fe}_{0.06})_{3.01}(\text{As}_{0.59}\text{Sb}_{0.34})_{0.93}\text{S}_{3.06}$ эта сульфосоли отнесена к сурьмянистому пруститу.

По экспериментальным данным в соответствии с диаграммой T, K–fs₂ прустит мог кристаллизоваться при температурах 210–175 °C, т. е. существенно раньше отложения главного рудного минерала – самородного серебра.

Блеклая руда

Аг-теннантит-тетраэдрит $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ - $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ относится к блеклой руде, установлен только в самом крупном обособлении серебра (самородке), который был частично изучен нами ранее [17]. Аг-теннантит-тетраэдрит образует ксеноморфный сросток с пирсеитом (см. рис. 2, д). Блеклая руда содержит примерно до 18,7 мас. % Ag, почти до 29 % Cu и почти равные количества (прилизительно по 11 %) мышьяка и сурьмы (см. табл. 1, ан. № 15, 16). Данный минерал, согласно номенклатуре блеклых руд [6, 19], по существу является промежуточным серебросодержащим твердым раствором теннантит-тетраэдритового ряда. Примечательно, что в него входит Zn существенно больше, чем Fe (5,9 против 0,9 %).

Его кристаллохимическая формула рассчитана из усредненного состава – $(\text{Cu}_{7.63}\text{Ag}_{3.00})_{10.63}(\text{Zn}_{1.58}\text{Fe}_{0.28})_{1.86}(\text{As}_{2.59}\text{Sb}_{1.61})_{4.20}\text{S}_{12.31}$.

Сопутствующие рудные и породообразующие минералы

Пирит FeS_2 иногда отмечается в сростках с серебром.

Сфалерит ZnS и *халькопирит* CuFeS_2 присутствуют в рудных ассоциациях, однако в сростках с серебром нами не установлены.

Леллингит FeAs_2 встречается в виде полигональных кристаллов, образующих скопления на поверхности серебра (см. рис. 3, е). Этот минерал также отмечен в виде звездчатого включения в серебре (см. рис. 3, д). В леллингит входит 26,40 мас. % Fe и 70,56 % As, а также небольшие количества серы (1,33 %) и меди (0,33 %), что в целом отвечает кристаллохимической формуле $(\text{Fe}_{0.97}\text{Cu}_{0.01})_{0.98}(\text{As}_{1.94}\text{S}_{0.08})_{2.02}$.

Анкерит $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})[\text{CO}_3]_2$ наряду с кварцем является основным жильным минералом. Он часто образует сростания с серебром, полибазитом, галенитом и акантитом. Химический состав анкерита приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав анкерита и тоннокристаллической минеральной смеси гидрослюда-сметит, %

| Окислы | Анкерит | Гидрослюда-сметит |
|--------------------------------|---------|-------------------|
| SiO_2 | – | 44,26 |
| TiO_2 | – | 0,46 |
| Al_2O_3 | – | 27,75 |
| FeO | 7,19 | 17,27 |
| MnO | – | 0,09 |
| MgO | 16,75 | 2,74 |
| CaO | 30,90 | 0,28 |
| Na_2O | – | 0,19 |
| K_2O | – | 1,23 |
| Cr_2O_3 | – | 0,20 |
| CO_2 | 45,91 | – |
| Сумма | 100,75 | 94,47 |
| Остаток – H_2O | – | 5,53 |

Примечание: Прочерк – компоненты в пределах чувствительности прибора не обнаружены.

Гидрослюдой-сметитом не только обрамлены все выделения прустита в серебряном самородке, но и заполнены все трещины и трещинки, имеющиеся в этих выделениях (см. рис. 3, а, б). Химический состав ее своеобразный (см. табл. 2). Помимо кремнезема и глинозема имеется повышенное содержание FeO (~17 мас. %), присутствуют MgO (2,77 %), Cr_2O_3 (0,20 %) и вода (5,5 %), а среди щелочных элементов K значительно больше, чем Na и Ca. В связи с этим можно считать, что оторочка является смесью тонко проросших друг в друге нескольких минералов из группы гидрослюда-сметит. Такими минералами могут быть гидромусковит (гидросерицит), гидробиотит, каолинит. Все это свидетельствует о том, что минеральная фаза закристаллизовалась в завершающий период пострудного процесса при ослабленной активности растворов и пониженной температуре, когда уже прошли низкотемпературные метасоматические преобразования в рудной системе. Подобные минералы из серии серицитов были установлены непосредственно в самих сереброносных жилах ряда эпитермальных месторождений серебра [24]. Рассчитанная кристаллохимическая формула гидрослюда-сметита $(\text{K}_{0.11}\text{Na}_{0.02}\text{Ca}_{0.02})_{0.15}(\text{Fe}_{1.00}\text{Mg}_{0.29}\text{Al}_{1.34}\text{Ti}_{0.02}\text{Cr}_{0.01})_{2.66}[\text{Si}_{3.07}\text{Al}_{0.93}\text{O}_{10.0}][\text{OH},\text{F}]_{2.0}$.

Поверхность зерен серебра при изучении под электронным микроскопом часто имеет шагреновый характер, обусловленный химическим травлением. Поступление новых порций гидротермальных растворов могло приводить к растворению ранее образованных минералов и метасоматическому замещению некоторых из них. Кроме этого, не исключен и кратковременный высокотемпературный (или среднетемпературный) метаморфизм, проявления которого отмечены в некоторых сереброносных месторождениях [22]. В нашем случае признаки тако-

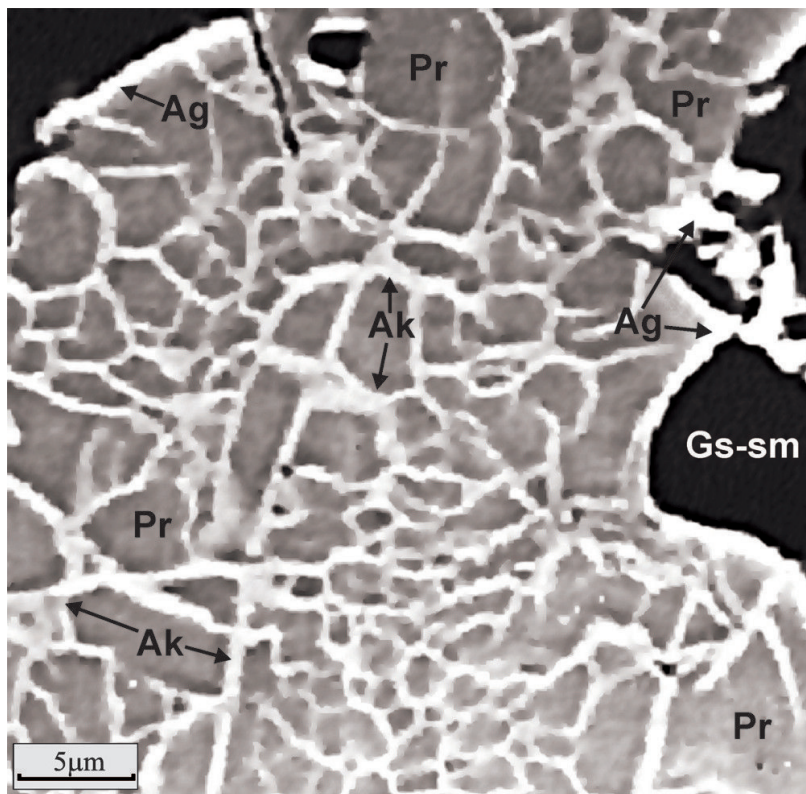


Рис. 4. Участок с пруститом (Pr), претерпевшим метаморфизм: по границам кристаллитов и блоков мозаики видны прожилковые петельчатые выделения акантита (Ak) мощностью 1–2 мкм, создающие паутинообразный рисунок; в отдельных местах на периферии кристалла прустита возникли микронные каймы серебра (Ag); прустит окружен оторочкой гидрослюда-сметита (Gs-sm). Снимок в упруго-рассеянных электронах

го метаморфизма также наблюдаются. Например, в прустите (рис. 4) под действием температуры наиболее летучие As, Sb и частично S диффундировали по границам кристаллитов и блоков мозаики, из которых он состоит, и прустит в этих зонах преобразовался в акантит. А на некоторых небольших участках на периферии кристалла прустита перечисленные элементы и вовсе покинули данную серебряную сульфосоль, что привело к образованию микронных выделений самородного серебра.

В результате проведенных исследований установлен состав минералов серебряного рудопроявления. Основной рудный минерал – самородное серебро высокой пробы; остальные минералы – почти беспримесный акантит; довольно распространенный полибазит с варьирующим составом и часто содержащий изоморфную примесь меди и мышьяка; малопримесные пирсеит и стефанит; сурьмянистый прустит, в котором часть мышьяка замещена сурьмой, а примесь Zn существенно превалирует над Fe; серебросодержащий теннантит-тетраэдрит с содержанием Ag до 18,72 % и примерно с тем же отношением Zn/Fe, что и в сурьмянистом прустите; галенит, содержащий примесь серебра и поэтому имеющий индикаторное значение; пирит; леллингит с примесями Cu и S; минералы группы гидрослюда-сметит; кроме того, главные породообразующие минералы рудоносной жилы – кварц и железомagneиный карбонат кальция – анкерит.

Подводя итоги по изучению самородного серебра, необходимо отметить следующее: среди выявленных минералов серебряной минерализации Хоргочинского коренного источника, несмотря на то что последний приурочен к золотоносной россыпи,

не были встречены минералы золота. Более того, ни в одном собственно серебряном и серебросодержащем минерале, включая и самородное серебро, не были обнаружены примеси золота. Все это может указывать на то, что коренные источники серебряной и золото-серебряной минерализаций пространственно разобщены.

Гидротермальные условия образования минералов серебра рудопроявления Хоргочи-2 можно отнести к малоглубинным и низкотемпературным. На это указывают диафоризация вмещающих рудные тела пород и появление в них ряда низкотемпературных минералов, таких как мусковит (серицит), хлорит, эпидот, марказит и др.

В целом, процесс минералообразования развивался в умеренно восстановительных условиях, что способствовало сохранению в гидротермальном растворе определенных количеств меди, цинка, железа и свинца. Эволюция раствора была направлена от более высоких температур (около 330–230 °С), когда происходило осаждение халькопирита, пирита, сфалерита и части галенита, к более низким (230–100 °С), когда образовались основные минералы серебра.

Отложение минералов продуктивной ассоциации происходило по следующей схеме. В начале процесса, в интервале температур 300–180 °С, когда сереброносный флюид еще был насыщен Cu, Zn, Fe и Pb, а также As и Sb, при относительно высокой фугитивности серы откладывались серебросодержащие теннантит-тетраэдрит и галенит, сурьмянистый прустит и леллингит. Потом, после снижения температуры раствора до 180–140 °С, кристаллизовались стефанит, частично галенит и начали осаж-



Таблица 3

Интервалы температур минералообразования в Хорогочинском коренном источнике серебра (Верхнее Приамурье)

| Минерал | Интервал температур минералообразования, °С | | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------|---------|---------|--------|
| | 330–230 | 230–175 | 180–140 | 150–100 | 120–100 | 110–90 |
| Кварц | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Пирит | ■ | | | | | |
| Халькопирит | ■ | | | | | |
| Сфалерит | ■ | | | | | |
| Анкерит | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Сидерит | ■ | | | | | |
| Леллингит | ■ | ■ | | | | |
| Ag-содержащий галенит | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Ag-теннантит-тетраэдрит | | ■ | | | | |
| Сурьмянистый прустит | | ■ | | | | |
| Стефанит | | | ■ | | | |
| Пирсеит | | | ■ | ■ | | |
| Полибазит | | | ■ | ■ | ■ | |
| Акантит | | | | ■ | | |
| Самородное серебро | | | | | ■ | |
| Гидрослюда-сметтит | | | | | | ■ |

Примечание: ■ – минерал кристаллизовался в соответствующем диапазоне температур.

даться полибазит и пирсеит. В дальнейшем, в интервале температур 140–100 °С, продолжили осаждаться полибазит и пирсеит, а когда раствор был обеднен Cu, As, Zn, Fe, при общем понижении в нем активности серы стал кристаллизоваться акантит, и последним отложилось самородное серебро. В нижнем интервале температур также отлагался полибазит, причем основная его масса осаждалась до кристаллизации серебра, остальная – одновременно с серебром.

Последовательность образования минералов по температурным стадиям отображена в табл. 3.

В целом прослеживается тенденция отложения сереброносных минералов, как отмечается в [18], в направлении от минералов с низким содержанием серебра (теннантит-тетраэдрит, прустит) к высокосодержащим (стефанит, полибазит, пирсеит, акантит), заканчивая самородным серебром.

Кроме понижения температуры и изменения физико-химических параметров раствора, к факторам осаждения можно отнести наличие ранних сульфидов, в особенности галенита, а также смешение поздних гидротермальных растворов с метеорными водами, что приводило к образованию прожилков железомagneзиальных карбонатов – сидерита и анкерита.

На каких-то этапах минералообразования, когда уже отложилось серебро, при поступлении новых порций растворов начали развиваться метасоматические процессы. Растворы проникали по сохранившимся в зернах серебра каналам к включениям, воздействуя на последние, и в результате некоторые минералы претерпели преобразования, например, прустит частично перешел в полибазит (см. рис. 3, а).

Первоисточником флюидов, из которых в конечном итоге сформировалась серебряная минерализация предполагаемого рудопроявления и других, пока не обнаруженных, в том числе золотоносных, вероятнее всего, был один из ближайших мезозойских плутонов, который относится к гранитоидам тукурингского комплекса [10]. Хорогочинское оруденение может быть связано с глубинными флюидами, отщепленными от этого плутона. При проработке толщи пород пуриканской свиты, сложенной главным образом основными и ультраосновными кристаллосланцами, могли быть мобилизованы металлы, включая серебро, которые впоследствии участвовали в формировании коренного источника серебряной минерализации.

В результате последующей тектонической активности в районе верховий р. Хорогочи-2 и ее притока руч. Заброшенный по зонам разломов субширотного простирания произошло внедрение многочисленных даек гранит-порфиров, риолитов, гранодиорит-порфиров, диорит-порфиритов и андезитов раннемелового возраста. Наложенные гидротермальные процессы могли привести к переотложению серебряных парагенезисов с образованием более крупных и очищенных (рафинированных) выделений серебра. Такие процессы, ведущие к образованию регенерированного серебра, отмечены на месторождениях Северо-Восточного региона страны [14].

Некоторые исследователи, изучавшие геологическую обстановку района, пришли к такому заключению: поскольку гидротермалиты (кварцевые, кварц-карбонатные, сульфидно-кварц-карбонатные), в которых установлено самородное серебро, приурочены к низкотемпературным диа-



фторитам березитового и лиственитового составов, то Хорогочинское проявление серебра можно отнести к диафторитовой сереброрудной формации [4, 7].

Небольшой спектр минеральных парагенезисов и минералов серебра может свидетельствовать о том, что в районе рудного поля водостоком реки вскрыты (эродированы) только близповерхностные уровни рудных тел.

Появление Хорогочинского серебряного оруденения могло быть связано с этапом мезозойской тектономагматической активизации, обусловленной коллизионным взаимодействием Сибирского палеоконтинента и Амурского (Буреинского) массива, приведшим к оживлению процессов магматизма и рудообразования в пределах данной территории.

Хорогочинское рудопоявление находится в зоне пересечения серии долгоживущих глубинных разломов (Хорогочинский, Кутыканский и т. д.), которые могут служить фактором контроля мантийных месторождений; поэтому нельзя исключить влияние мантийных источников на формирование серебряной минерализации данного рудопоявления. Некоторые авторы [3] отмечают на востоке Азии характерную для мезозойского времени относительную синхронность главных тектонических и магматических процессов, что приводит к мысли, что эти процессы вызваны общими глубинными явлениями, взаимодействием литосферы и астеносферы и функционированием глубинных источников энергии, вероятно, находящихся в верхней мантии [23].

Таким образом, совокупное изучение выделений серебра из россыпи и из коренных проявлений позволяет, хоть и не в полной мере, реконструировать процесс образования самородного серебра и его сульфидных и сульфоантимонит-арсенидных разновидностей в гидротермальной системе.

Выводы

1. Установлен состав серебряной минерализации Хорогочинского коренного источника (Становая гранит-зеленокаменная область, Верхнее Приамурье). Из серебряных и серебросодержащих минералов в нее входят самородное серебро высокой пробы, акантит, пирсеит, полибазит, стефанит, прустит, Ag-теннантит-тетраэдрит и Ag-содержащий галенит.

2. Оценены температура формирования серебряной минерализации (300–100 °С) и последовательность кристаллизации составляющих ее минералов от многокомпонентных составов с низким содержанием серебра (блеклая руда, прустит) до составов с его высокой концентрацией (стефанит, полибазит, пирсеит, акантит, самородное серебро).

3. Процесс формирования серебряной минерализации в коренном источнике носил многоэтапный характер с меняющимся температурным режимом гидротерм, что могло быть связано с ме-

зозойской тектономагматической активизацией данной территории. Этим же обусловлены процессы регенерации, которым подверглись некоторые серебряные парагенезисы с последующим отложением более крупных образований рафинированного серебра.

4. Ag-содержащий галенит, согласно его пространственным взаимоотношениям с минералами серебра, кристаллизовался во всем температурном интервале. Это сквозной минерал, и он может служить индикатором на сереброносность рудных тел.

5. Коренные источники серебряной и золото-серебряной минерализаций в рудно-россыпном узле Хорогочи-2 пространственно разобщены.

Авторы благодарны акад. В. Г. Моисеенко за несколько предоставленных для изучения образцов, а также признательны к. г.-м. н. Г. В. Ботрякову за полезные замечания по геологической характеристике района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Закономерности** локализации оруденения, возраст и связь с магматизмом серебро-полиметаллического месторождения Моготинское (Северо-Становая металлогеническая зона, юго-восточное обрамление Северо-Азиатского кратона) / И. В. Бучко, Ир. В. Бучко, А. А. Сорокин и др. // Геология рудных месторождений. – 2014. – Т. 56, № 2. – С. 118–130.

2. **Кастрыкина В. М.** Стратиграфия нижнеархейских образований Ларбинского блока Становой складчатой области // Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – 152 с.

3. **Корреляция** мезозойских тектонических движений и магматизма в Восточной Азии / Н. С. Нагибина, В. С. Антипин, Ю. Г. Гатинский и др. // Геотектоника. – 1981. – № 6. – С. 77–91.

4. **Мельников В. Д.** Аномалии золотоносности Верхнего Приамурья: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Владивосток : ДВГИ, 1995. – 58 с.

5. **Минералогия** и генетические особенности золото-серебряного оруденения северо-западной части Тихоокеанского обрамления / Н. А. Шило, М. С. Сахарова, Н. Н. Кривицкая и др. – М.: Наука, 1992. – 256 с.

6. **Мозгова Н. Н., Цепин А. И.** Блеклые руды. – М.: Наука, 1983. – 280 с.

7. **Моисеенко В. Г., Мельников В. Д., Мельникова О. И.** Сереброрудные формации Становой плутоно-метаморфической области // Метаморфогенное рудообразование. Ч. 1. – Киев: ИГФМ АН УССР, 1990. – С. 168–169.

8. **Некрасов И. Я.** Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. – М.: Наука, 1991. – 302 с.

9. **Некрасов И. Я., Конюшок А. А.** Фазовые соотношения в системе Au-Ag-Sb-S // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 285, № 2. – С. 442–446.



10. **Новые** данные о возрасте гранитов кодарского и токурингского комплексов. Восточная Сибирь. Геодинамические следствия / А. М. Ларин, А. Б. Котов, Е. Б. Сальникова и др. // Петрология. – 2000. – Т. 8, № 3. – С. 267–279.

11. **Особенности** состава сульфосолей серебра из близповерхностных месторождений / А. Н. Некрасова, Ю. С. Берман, В. В. Крылова, С. М. Сандомирская // Тр. ЦНИГРИ. – 1979. – Вып. 149. – С. 10–17.

12. **Петрук Н. Н., Козлов С. А.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Масштаб 1:1 000 000. Лист N-51. Сквордино / под ред. А. С. Вольского. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009.

13. **Прогнозные** ресурсы коренной золотоносности Становой плутоно-метаморфической области / О. И. Мельникова, В. Д. Мельников, Г. П. Ковтонок и др. – Благовещенск: АмурКНИИ ДВО АН СССР, АОКИ ДВИМС, 1989. – 153 с.

14. **Савва Н. Е.** Принципы эволюционной систематики минералов серебра. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1995. – 49 с.

15. **Сафронов П. П.** Опыт применения методов сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового и рентгеноструктурного анализов для изучения минералов благородных металлов // Матер. науч. конф. «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд». – Иркутск, 2005. – С. 244–246.

16. **Сафронов П. П.** Состав самородного серебра из россыпи Верхнего Приамурья // Магматизм, флюиды и орудинение. Тез. докл. школы-семинара Амурского отделения ВМО АН СССР. – Благовещенск, 1987. – С. 86–87.

17. **Сафронов П. П., Ботряков Г. В.** Серебряный самородок из золотоносной россыпи как носитель информации о коренном источнике // Вестн. ДВО РАН. – 2004. – № 5. – С. 87–93.

18. **Серебро** (геохимия, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений) / А. А. Сидоров, М. М. Константинов, Р. А. Еремин и др. – М.: Наука, 1989. – 240 с.

19. **Спиридонов Э. М.** О видах и разновидностях блеклых руд и рациональной номенклатуре минералов группы. Некоторые замечания об условиях образования блеклых руд // Новые данные о минералах. – 1985. – Вып. 32. – С. 128–146.

20. **Чувикина Н. Г., Бочек Л. И.** Методика исследования минералов группы полибазит-пирсеит / Тр. ЦНИГРИ. – 1979. – Вып. 149. – С. 72–77.

22. **Шнейдерхен Г.** Рудные месторождения. – М.: ИЛ, 1958. – 501 с.

23. **Щеглов А. Д., Говоров И. Н.** Нелинейная металлогения и глубины Земли. – М.: Наука, 1985. – 324 с.

24. **Sugaki A., Kim O. J., Kim W. J.** Gold and silver ores from the Geumwang mine in south Korea

and their mineralization // Mining geology. – 1986. – Vol. 36. – P. 555–572.

REFERENCES

1. Buchko I.V., Sorokin A.A., Ponomarchuk V.A., Travin A.V. [Localization of mineralization, its age, and relationship to magmatism at the Mogot silver-base-metal deposit, North Stanovoy metallogenic zone in the southeastern framework of the North Asian Craton]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of Ore deposits*, 2014, vol. 56, no. 2, pp. 118–130. (In Russ.).

2. Kastyrykina V.M. [Stratigraphy of the Lower Archean formations of the Larbinsky Block of the Stanovoy folded region]. *Stratigrafiya nizhnego dokembriya Dalnego Vostoka* [Stratigraphy of the Lower Precambrian of the Far East]. Vladivostok, FEB AS USSR Publ., 1990. 152 p. (In Russ.).

3. Nagibina N.S., Antipin V.S., Gatinsky Yu.G., et al. [Correlation of Mesozoic tectonic movements and magmatism in Central Asia]. *Geotektonika – Geotectonics*, 1981, no. 6, pp. 77–91. (In Russ.).

4. Melnikov V.D. *Anomalii zolotonosnosti Verkhnego Priamurya: avtoref. dokt. dis.* [Anomalies of gold mineralization of the Upper Amur Region: Author's abstract of Dsc thesis]. Blagoveshchensk, 1995. 58 p. (In Russ.).

5. Shilo N.A., Sakharova M.S., Krivitskaya N.N., et al. *Mineralogiya i geneticheskiye osobennosti zoloto-serebryanogo orudneniya severo-zapadnoy chasti Tikhookeanskogo obramleniya* [Mineralogy and Genetic Features of Gold-Silver Mineralization in the Northeastern Pacific Rim]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 256 p. (In Russ.).

6. Mozgova N.N., Tsepin A.I. *Blekllye rudy (osobennosti khimicheskogo sostava i svoystv mineralov)* [Fahl ores (features of the chemical composition and properties of minerals)]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 280 p. (In Russ.).

7. Moiseenko V.G., Melnikov V.D., Melnikova O.I. [Silver ore formations of the Stanovoy plutonic-metamorphic region]. *Metamorfogennoye rudoobrazovaniye. Chast 1* [Metamorphic ore formation. Part 1]. Kiev, IGPM AS USSR Publ., 1990, pp. 168–169. (In Russ.).

8. Nekrasov I.Ya. *Geokhimiya, mineralogiya i genезis zolotorudnykh mestorozhdeniy* [Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 302 p. (In Russ.).

9. Nekrasov I.Ya., Konyushok A.A. [Phase relations in the Au-Ag-Sb-S system]. *Doklady AN SSSR – Doklady AS USSR*, 1985, vol. 2, pp. 442–446. (In Russ.).

10. Larin A.M., Kотов A.B., Sальникова E.B., et al. [New data on the age of granites of the Kodar and Tokuringra complexes. Eastern Siberia. Geodynamic constraints]. *Petrologiya – Petrology*, 2000, vol. 8, no. 3, pp. 267–279. (In Russ.).

11. Nekrasova A.N., Berман Yu.S., Krylova V.V., Sandomirskaya S.M. [Features of the silver sulphosalts composition from near-surface deposits]. *Trudy TsNIGRI*, 1979, vol. 149, pp. 10–17. (In Russ.).



12. Petruk N.N., Kozlov S.A. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Tret'ye pokoleniye. Masshtab 1:1 000 000. List N-51. Skovorodino* [State geological map of the Russian Federation. 3rd generation. Scale 1: 1, 000, 000. Sheet N-51. Skovorodino]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2009. (In Russ.).
13. Melnikova O.I., Melnikov V.D., Kovtonyuk G.P., et al. *Prognoznnyye resursy korennoy zolotonosnosti Stanovoy plutono-metamorficheskoy oblasti* [Inferred resources of the bedrock gold content of the Stanovoy plutonic-metamorphic region]. Blagoveshchensk, 1989. 153 p. (In Russ.).
14. Savva N.E. *Printsipy evolyutsionnoy sistematiki mineralov serebra* [Principles of evolutionary systematics of silver minerals]. Magadan, NESCFEB RAS Publ., 1995. 49 p. (In Russ.).
15. Safronov P.P. [Experience in the use of scanning electron microscopy, electron probe and X-ray diffraction analysis methods for the study of precious metal minerals]. *Materialy nauchnoy konferentsii "Blagorodnyye i redkiye metally Sibiri i Dalnego Vostoka: rudoobrazuyushchiye sistemy mestorozhdeniy kompleksnykh i netraditsionnykh tipov rud"* [Materials of Scientific Conference "Noble and rare metals of Siberia and the Far East: the governing system of complex fields and unconventional ore types"]. Irkutsk, 2005, pp. 244–246.
16. Safronov P.P. [Composition of native silver from the Upper Amur Region]. *Magmatizm, flyuidy i orudneniye. Tezisy dokladov shkoly-seminara Amurskogo otdeleniya VMO AN SSSR* [Magmatism, fluids and mineralization. Theses of school-seminar of Amur Branch of All-Union Mineralogical Society]. Blagoveshchensk, AS USSR Publ., 1987, pp. 86–87. (In Russ.).
17. Safronov P.P., Botryakov G.V. [A silver nugget from gold-bearing placer as a lode information source]. *Vestnik DVO RAN – Vestnik of the Far East of the RAS*, 2004, no. 5, pp. 87–93. (In Russ.).
18. Sidorov A.A., Konstantinov M.M., Eremin R.A., et al. *Serebro (geokhimiya, mineralogiya, genezis, zakonomernosti razmeshcheniya mestorozhdeniy)* [Silver: Geology, Mineralogy, Genesis, and Distribution of Deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 240 p. (In Russ.).
19. Spiridonov E.M. [On species and varieties of fahlores and rational nomenclature of group minerals. Some comments on the conditions of tahlore formations]. *Novyye dannyye o mineralakh – New data on Minerals*. Moscow, Nauka Publ., 1985, issue 32, pp. 128–146. (In Russ.).
20. Chuvikina N.G., Bochek L.I. [Investigation methods of the polybasite-pyrseite minerals group]. *Trudy TsNIGRI*, 1979, issue 149, pp. 72–77. (In Russ.).
22. Shneyderkhen G. *Rudnyye mestorozhdeniya* [Ore deposits]. Moscow, Izdatelstvo Inostrannoy Literatury Publ., 1958. 501 p. (In Russ.).
23. Shcheglov A.D., Govorov I.N. *Nelineynaya metallogeniya i glubiny Zemli* [Non-linear metallogeny and the Earth's subsurface]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 325 p. (In Russ.).
24. Sugaki A., Kim O.J., Kim W.J. Gold and silver ores from the Geumwang mine in south Korea and their mineralization. *Mining geology*, 1986, vol. 36, pp. 555–572.

© П. П. Сафронов, Н. В. Моисеенко, 2022