

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ОЛОВО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРФИРОВЫХ
РУД ПАЛЕОВУЛКАНА Г. КРАСНОЙ (КРАСНОГОРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ,
ДАЛЬНЕГОРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Л.Ф. Симаненко, В.В. Раткин, В.А. Турчин

*ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100-лет Владивостоку 159,
г. Владивосток, 690022; e-mail: lsimanenko@fegi.ru*

Поступила в редакцию 11 сентября 2014 г.

Представлены результаты детального минералогического исследования олово-цинковых (касситерит-сульфидных) гнездово-вкрапленных и олово-серебро-полиметаллических жильно-метасоматических руд, локализованных в жерловине палеовулкана г. Красной (Красногорское месторождение). Минеральный комплекс олово-цинковых руд раннего позднемаастрихтского этапа рудообразования связан с телами взрывных брекчий, формировался при температуре около 300°C и включает три минеральные ассоциации: (1) пиритовую, (2) продуктивную кварц-касситерит-сфалеритовую и (3) позднюю сульфосольно-галенит-халькопиритовую. Олово-серебро-полиметаллические жильно-метасоматические руды позднего палеоценового этапа ассоциированы с телами риолитовых порфиров, контролируются разломами северо-западной ориентировки и секут оруденелые брекчии. Руды сформированы в полном гидротермальном цикле в интервале температур от 500 до 100°C в две стадии, включающие пять последовательных рудных минеральных ассоциаций: (1) вольфрамит-арсенопиритовую, (2) касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовую, (3) станнин-серебросульфосольную, (4) фрейбергит-галенитовую и (5) серебро-стефанит-акантитовую. Предполагается, что олово-серебро-полиметаллические руды формировались синхронно протяженным сереброносным галенит-сфалеритовым жильным телам, пересекающим толщу вулканитов приморской серии в обрамлении палеовулкана. В вертикальной зональности протяженных жильных зон олово-серебро-полиметаллические руды отвечают их верхней, наиболее продвинутой к палеоповерхности части.

Ключевые слова: порфировые месторождения, олово-полиметаллические руды, стадийность, сфалерит, станнин, касситерит, минералы серебра, взрывные брекчии, Дальнегорский рудный район, Сихотэ-Алинь, Дальний Восток, Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

Красногорское месторождение, открытое в 80-х годах прошлого века, принадлежит к группе жильных серебро-полиметаллических месторождений Дальнегорского рудного района (Приморье). Месторождение тесно связано с вулканитами постаккреционного Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВП) и расположено в его восточной части в 10 км от побережья Японского моря в районе с. Каменка (рис. 1).

Кроме протяженных крутопадающих жильных тел, пересекающих платоигнимбриты и туфы приморской серии кампанского возраста, на месторождении известны гнездово-вкрапленные олово-цинковые и

жильно-метасоматические олово-серебро-полиметаллические руды, локализованные в жерловине вулкана маастрихт-палеоценового возраста (дальнегорский вулканоплутонический комплекс). Характеристика руд, локализованных в жерловине, впервые была дана авторами без детализации их минерального состава [7]. Минеральные парагенезисы сереброносных галенит-сфалеритовых руд жильных зон Широкая, Полярная, Смысловская были описаны в статье М.Г. Добровольской и др. [3]. В последующие годы изучение руд, ассоциированных с жерловыми фациями палеовулкана г. Красной, было продолжено. Настоящая статья представляет результаты авторского детального исследования минеральных парагенезисов этих руд. В свете новых данных охарактеризована

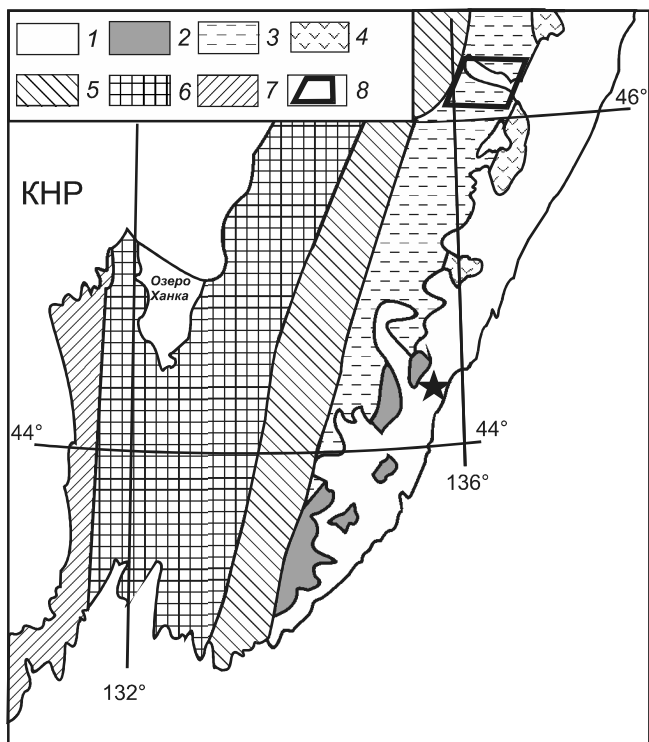


Рис. 1. Положение Красногорского месторождения (показано звездой) на схеме террейнов южной части Дальнего Востока РФ, по [2] с изменениями.

1 – постааккреционный Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоплутонический пояс (ВСАВП); 2–5 – террейны раннемелового Сихотэ-Алинского орогенного пояса: 2 – Таухинский террейн раннемеловой аккреционной призмы; 3 – Журавлевский террейн раннемелового турбидитового бассейна; 4 – Кемский террейн раннемеловой островной дуги; 5 – Самаркинский террейн юрской аккреционной призмы; 6 – террейны раннепалеозойского Бурей-Ханкайского орогенного пояса; 7 – Лаоелин-Гродековский террейн позднепалеозойской островной дуги в структуре позднепалеозойского Солонкерского орогенного пояса; 8 – зона олово-полиметаллических порфировых месторождений Дальне-Валинкуйской вулканотектонической системы ВСАВП.

этапность и стадийность формирования оруденения, которое в принятой классификации отнесено вслед за [9] к порфировому типу.

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРАСНОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Красногорское месторождение расположено в центральной части Арцевской вулканотектонической депрессии ВСАВП, выполненной мощной субгоризонтально залегающей толщей поздний мел–палеоценовых вулканических пород кислого состава.

Фундамент депрессии сложен складчатым комплексом песчаников и алевролитов Таухинского террейна раннемелового Сихотэ-Алинского орогенного пояса (рис. 1). В основании слабодислоцированной

толщи постааккреционных вулканитов залегают игнибриты риолитов и спекшиеся туфы кислого состава приморской серии. Формирование игнибритов риолитов происходило в азральной обстановке в ходе катастрофических извержений трещинного типа. Мощность толщи вулканитов приморской серии превышает 800 м, возраст отвечает интервалу 82–68 млн лет [7].

Выше приморских вулканитов залегают сложно построенная маастрихт-палеоценовая толща сортированных туфов, туффитов, лав и лавовых брекчий кислого состава. Толща эродирована и сохранилась локально в виде фаций кратерных озер. Жерловые аппараты маастрихт-палеоценовых вулканов выражены как прорывающие приморские игнибриты трубообразные тела, сложенные лавами и вулканическими брекчиями.

Среди разломов, определяющих строение месторождения и размещение рудных тел, преобладают локальные нарушения широтного и северо-западного простирания. Указанные разломы сопряжены с крупными протяженными северо-восточными сдвиговыми зонами, которые контролируют размещение вулканотектонической депрессии.

Центральным структурным элементом месторождения является жерловый аппарат палеовулкана г. Красной (рис. 2), сформированный в три фазы. Наиболее ранние образования жерлового аппарата (ранняя фаза) – это однородные базокварцевые риолиты, слагающие главный шток. В западной части жерловины главный шток прорван эруптивными и эксплозивными брекчиями второй фазы внедрения. Эруптивные брекчии формируют периферию ветвящегося трубообразного тела и имеют облик лавовых брекчий с обломками однородных базокварцевых риолитов, которые облекаются флюидалными риолитами. По направлению к центру тела брекчии насыщаются глыбами и обломками риолитов с обильными сферолоидами размером до 1.5 см. Внутри сферолоиды полые, но чаще выполнены мелкими шестоватыми кристаллами кварца, флюоритом, кальцитом, крупночешуйчатым серицитом, хлоритом и сульфидным агрегатом. Собственно в центре трубообразного тела лавовый цемент брекчий сменяется тонкоперетертой обломочной массой с обильными гнездами и прожилками сульфидов. Здесь в составе глыб присутствуют гигантосферолоидные разновидности, где порода сложена только на 20–30 % лавами, остальное – полосовидные скопления сферических радиально-лучистых обособлений размером 3–4 см с кварц-хлоритовым выполнением.

Установлено, что формирование брекчий второй фазы выполнения жерлового аппарата произошло, судя

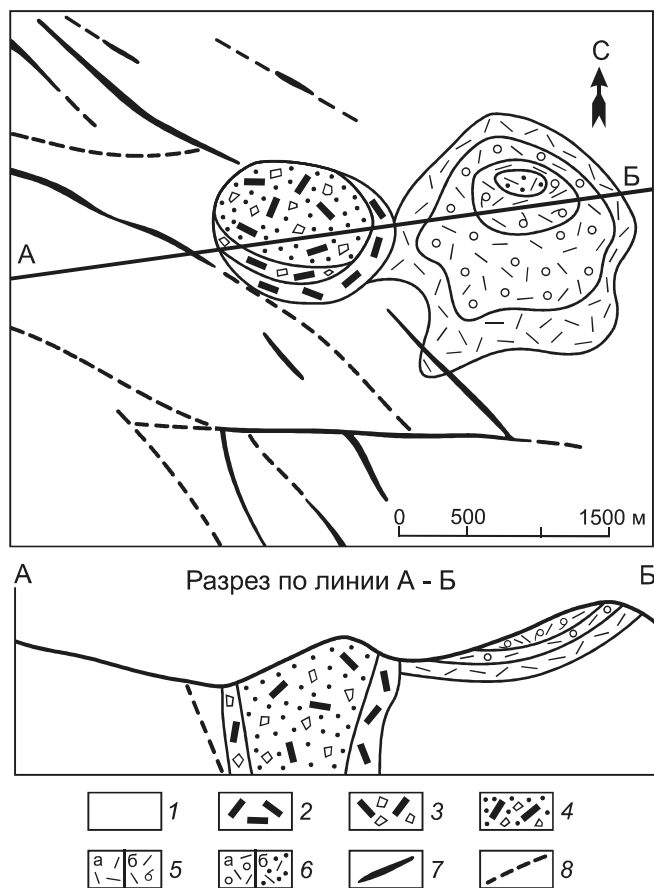


Рис. 2. Схема геологического строения Красногорского месторождения.

1 – спекшиеся туфы и игнимбриды приморской серии; 2 – риолиты ранней фазы формирования жерлового аппарата; 3 – эруптивные брекчии; 4 – взрывные брекчии; 5 – эффузивы кислого состава (а – лавы, б – лавовые брекчии); 6 – туфы кислого состава (а – крупнообломочные, б – мелкообломочные); 7 – жильные тела полиметаллических руд; 8 – разломы.

по К-Аг-датировкам риолитов, в период 66 ± 5 млн лет назад [7]. Представляется, что эта фаза связана с инжекцией в жерловину ликвидированной флюидно-магматической массы. Положение сферолоидных разновидностей в зональном теле брекчии отвечает критической границе флюидонасыщенности магмы, выше которой внедрение происходило взрывным путем.

В ходе третьей, завершающей фазы вулканического цикла, сформировавшего жерловый аппарат г. Красной, имело место внедрение вдоль трещин северо-западного простирания мелких дайкообразных тел позднепалеоценовых (55 ± 5 млн лет) базокварцевых риолитов, которые рассекают вулканические брекчии. Доминируют однородные риолиты, но близ контакта тел отчетливо проявлена флюидалность и миндалекаменная текстура. Вытянутые вдоль флюи-

дальности овалы миндалины выполнены сульфидами. Кроме вулканических пород кислого состава в жерловине присутствуют дайки диабазов, которые пересекают тела брекчии.

Непосредственно к востоку от жерловины закартирована комагматичная жерловым образованиям толща эффузивно-пирокластических пород кислого состава. В составе толщи сортированных туфов фиксируются рудокласты – обломки риолитов с обильными сферолоидами, полости которых выполнены сульфидами при доминировании пирита и сфалерита.

Интрузивные образования на площади месторождения развиты ограниченно. Только в обрамлении вулканотектонической депрессии присутствуют интрузии гранитов и гранодиоритов.

На Красногорском месторождении совмещены сереброносные галенит-сфалеритовые руды, проявленные как протяженные жильные тела в игнимбридах, и крупнообъемная зона прожилково-вкрапленных руд в жерловине, включающая олово-цинковые руды гнездово-вкрапленного типа и мелкие жильно-метасоматические зоны олово-серебро-полиметаллических руд.

Протяженные жильные тела сереброносных галенит-сфалеритовых руд, залегающие в игнимбридах риолитов и туфах нижней вулканической толщи (приморская серия), вскрыты горными выработками в обрамлении вулкана, гипсометрически ниже жерловой зоны на 200–250 м. Жилы локализованы в сдвигах северо-западного и субширотного простираний. Часть жильных зон непосредственно «утыкается» в жерловину, но трассируется в ее пределах в виде зон трещиноватости северо-западного простирания.

В жерловине отчетливо проявлено оруденение двух типов. Олово-цинковые гнездово-вкрапленные руды раннего этапа тесно ассоциированы с телами эруптивно-взрывных брекчии второй фазы формирования жерловины. Руды имеют весьма выдержанный характер, не проявляют изменчивости ни в горизонтальном сечении зон, ни в скважинах до глубины 300 м. Руды позднего этапа проявлены как мелкие жилородные зоны интенсивного метасоматоза, которые отчетливо тяготеют к контактам тел риолитов третьей фазы формирования жерловины. При этом риолиты несут рудную нагрузку в виде сульфидного выполнения миндалины в зальбандах тел. Метасоматиты, в составе которых доминирует серицит, но присутствуют также ортоклаз, кварц, хлорит, флюорит и кальцит, развиваются наиболее интенсивно по взрывным брекчиям. По данным Г.А. Осиповой [6], жильно-метасоматическое оруденение позднего этапа наложено на дайки диабазов, которые секут зоны ранних гнездово-вкрапленных руд.

**МИНЕРАЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ
ОЛОВО-ЦИНКОВЫХ РУД ГНЕЗДОВО-
ВКРАПЛЕННОГО ТИПА (РАННИЙ ЭТАП)**

Гнездово-вкрапленное олово-цинковое оруденение тесно ассоциировано с телами жерловых вулканических брекчий риолитового состава. Сульфиды (сфалерит, галенит, пирит и др.) формируют обильные гнездовидные скопления в цементе explosивных брекчий (рис. 3). Размер сульфидных обособле-

ний в брекчиях варьирует от долей мм до 1.5–2 см. Кроме цемента брекчий сульфидные гнезда размером до 1.0–1.5 см проявлены как выполнение полостей в сферолоидах (рис. 4) в глыбах сферолоидных риолитов, в обилии представленных в explosивных брекчиях. Центральная часть сферолоидов выполнена, как правило, кварцем, флюоритом, хлоритом и рудными минералами (доминирующим сфалеритом с мелкими включениями касситерита, реже присутствуют гале-

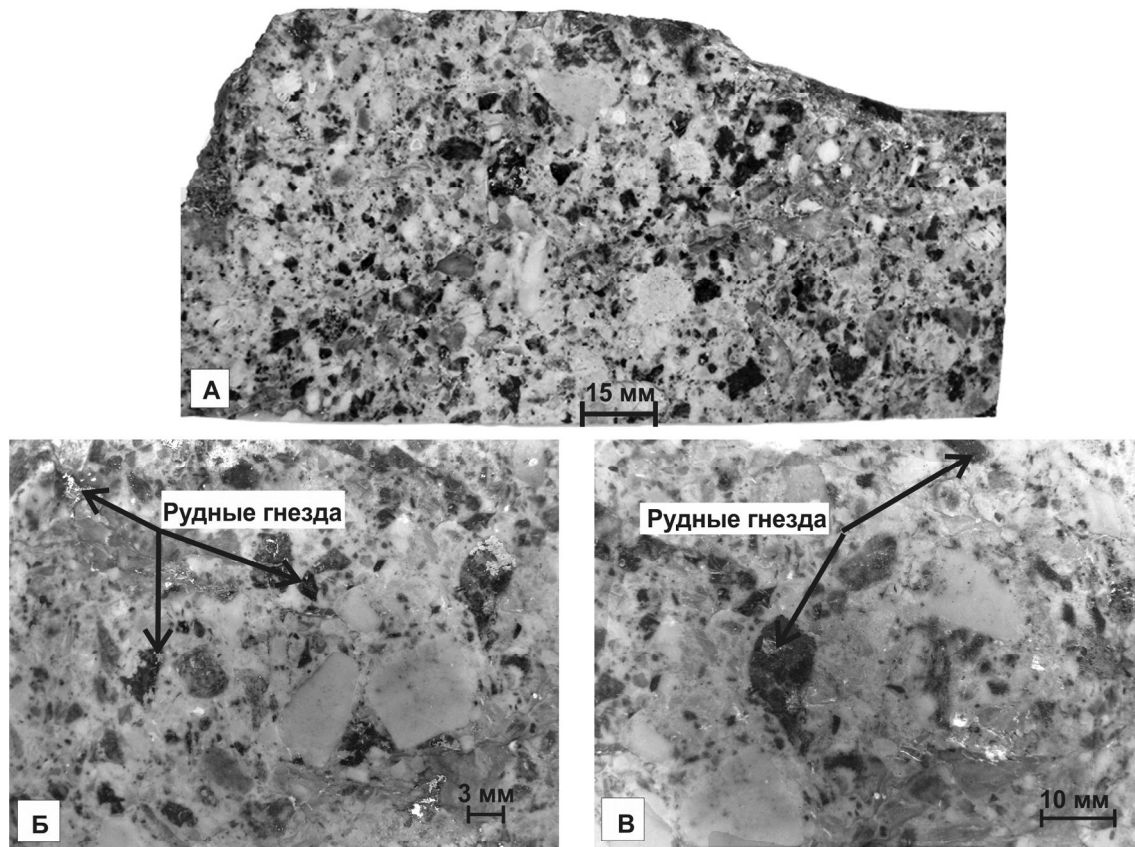


Рис. 3. Гнездово-вкрапленное распределение рудных агрегатов в мелкообломочной explosивной брекчии. А – общий вид брекчии; Б, В – стрелками показаны гнездовидные скопления рудных минералов.

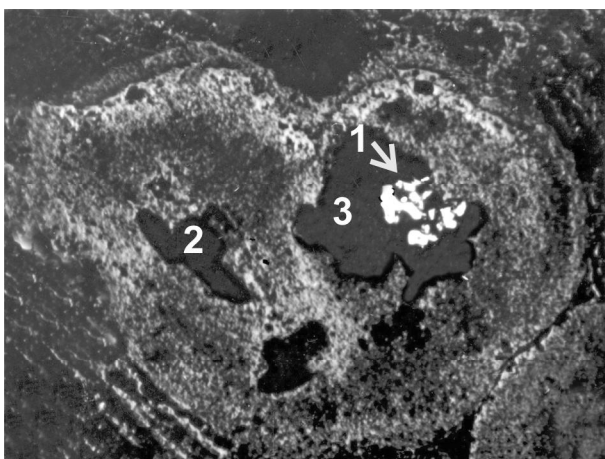


Рис. 4. Внутреннее строение сферолоида из обломка риолита в вулканической брекчии.

(1) – сфалерит с микровключениями касситерита выполняет в ассоциации с кварцем (2) и флюоритом (3) полости в сферолоидах. (Поле зрения – 4 мм).

нит и пирротин). То есть, по составу внутренняя часть сферолоидов аналогична сульфидным гнездам в цементе вулканических брекчий.

В зависимости от преобладающего минерала рудные гнездовидные скопления, как в цементе explosивных брекчий, так и в сферолоидах, подразделяются на существенно пиритовые, сфалеритовые, галенитовые и полиминеральные (рис. 5). В количественном отношении преобладают рудные гнезда существенно сфалеритового состава. В качестве второстепенных минералов отмечаются халькопирит, арсенопирит, касситерит, пирротин, станнин, рутил. Из жильных минералов в выполнении сферолоидов наиболее часто отмечаются шестоватые идиоморфные кристаллы кварца (рис. 5 Б). Существенно меньшую роль, по сравнению с кварцем, играют серицит, хлорит, флюорит и кальцит. Качественные и количественные соотношения совместно присутствующих в рудных гнездах минералов позволили выделить в олово-цинковых рудах три минеральные ассоциации.

Пиритовая (I) и кварц-касситерит-сфалеритовая (II) ассоциации непосредственно связаны с импульсной разгрузкой флюидно-магматической массы, сформировавшей explosивные и эруптивные брекчий, а сульфосольно-галенит-халькопиритовая (III) – более поздняя.

Ниже приведена характеристика перечисленных ассоциаций и особенностей химизма слагающих их минералов. Состав минералов определялся на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 (ДВГИ, аналитик Г.Б. Молчанова). Результаты анализов минералов представлены в таблице 1. Для удобства номера анализов в таблице и номера точек на рисунках совпадают. Анализы минералов, не содержащих химические примеси в пределах чувствительности метода, в таблицу не включены.

Пиритовая ассоциация (I). Главным рудным минералом ассоциации является пирит первой генерации. Пирит-I образует агрегатные скопления кристаллов и зерен субкубического габитуса. Размер поликристаллических агрегатов пирита колеблется от

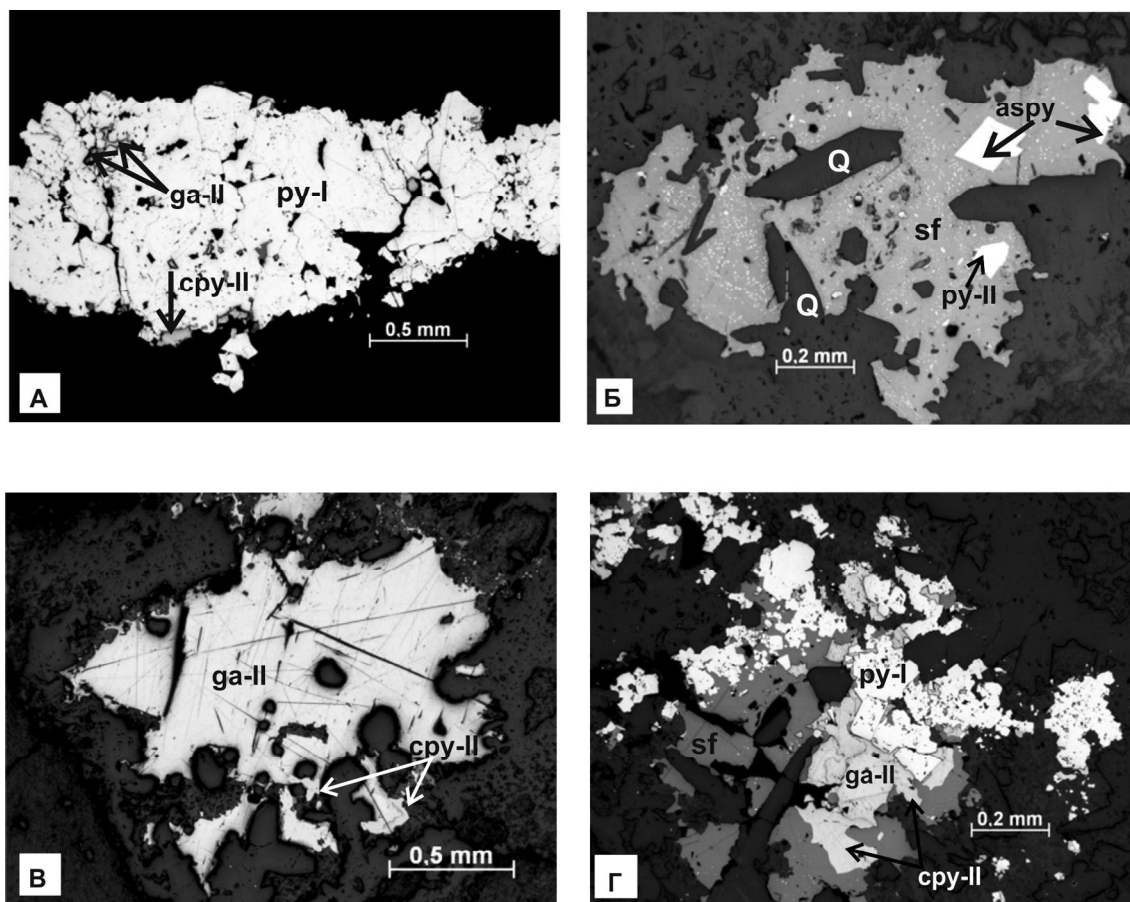


Рис. 5. Основные типы рудных гнезд в explosивных брекчий (по минеральному составу):

(А) – существенно пиритовые; (Б) – существенно сфалеритовые; (В) – существенно галенитовые; (Г) – полиминеральные. Py – пирит, cpy – халькопирит, ga – галенит, aspy – арсенопирит, sf – сфалерит, Q – кварц.

Таблица 1. Состав минералов гнездово-вкрапленных олово-цинковых руд Красногорского месторождения (по данным электронно-зондового анализа, мас. %).

№ п/п	№№ анализа	Минерал	Zn	Cu	Fe	Cd	Ag	Sn	As	Sb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	1		59.10	—	7.31	—	—	—	—	—	33.33	99.74	(Zn _{0.87} Fe _{0.13}) _{1.00} S _{1.00}
2	2		55.94	—	9.85	—	—	—	—	—	33.30	99.09	(Zn _{0.83} Fe _{0.17}) _{1.00} S _{1.00}
3	3	Сфалерит	56.63	—	9.26	—	—	—	—	—	33.34	99.23	(Zn _{0.85} Fe _{0.16}) _{1.00} S _{0.99}
4	4		57.00	—	9.89	0.45	—	—	—	—	33.35	100.69	(Zn _{0.83} Fe _{0.17}) _{1.00} S _{1.00}
5	5		57.96	0.49	7.17	0.50	—	—	—	—	33.33	99.45	(Zn _{0.86} Fe _{0.12} Cu _{0.01}) _{0.99} S _{1.00}
6	6		55.40	—	10.56	0.20	—	—	—	—	33.40	99.56	(Zn _{0.85} Fe _{0.17}) _{1.02} S _{0.99}
7	7	Арсенопирит	0.20	—	33.81	—	—	—	46.76	—	19.24	100.01	Fe _{0.99} As _{1.02} S _{0.98}
8	8		0.68	—	33.58	—	—	—	46.73	—	18.72	99.71	(Fe _{0.99} Zn _{0.02}) _{1.01} As _{1.03} S _{0.96}
9	9	Станнин I	2.73	27.93	12.27	—	—	27.48	—	—	29.44	99.85	Cu _{1.90} (Fe _{0.95} Zn _{0.18}) _{1.13} Sn _{1.00} S _{3.97}
10	10		3.45	27.57	12.65	—	—	27.60	—	—	29.12	100.39	Cu _{1.93} (Fe _{0.95} Zn _{0.11}) _{1.06} Sn _{1.02} S _{3.92}
11	11	Станнин II	1.59	27.26	11.82	—	—	28.2	—	—	29.32	98.19	Cu _{1.87} (Fe _{0.98} Zn _{0.23}) _{1.21} Sn _{1.00} S _{3.99}
12	12		1.65	28.11	12.11	—	—	27.71	—	—	29.23	98.81	Cu _{1.89} (Fe _{0.93} Zn _{0.11}) _{1.04} Sn _{1.05} S _{4.03}
13	13		1.03	15.01	5.49	—	31.24	—	—	25.61	20.49	98.87	(Ag _{5.53} Cu _{4.60}) _{10.23} (Fe _{1.91} Zn _{0.31}) _{2.22} Sb _{4.09} S _{12.40}
14	14	Фрейберит	1.15	13.67	5.3	—	32.33	—	—	25.18	20.09	97.72	(Ag _{5.95} Cu _{4.27}) _{10.22} (Fe _{1.88} Zn _{0.35}) _{2.23} Sb _{4.10} S _{12.43}

Примечание. Анализы выполнены на микроанализаторе "УХА-8100" (ДВГИ, аналитик Г.Б. Молчанова). Прочерк – не обнаружено. Номера анализов соответствуют номерам точек на рисунках.

первых мм до первых см. Нередко агрегаты пирита-I обрастаются минералами, принадлежащими более поздним ассоциациям. Эти же минералы встречаются в виде микровключений в пирите-I (рис. 6 А, Б, В). В составе пирита-I примесей в пределах чувствительности электронного зонда не обнаружено.

Кварц-касситерит-сфалеритовая (продуктивная) ассоциация (II). Количественно преобладающим минералом данной ассоциации является сфалерит. В подчиненном количестве в сфалерите постоянно присутствуют эмульсиевидные выделения халькопирита-I и станнина-I, вкрапления зерен касситерита, пирита-II, арсенопирита, пирротина, галенита-I, рутила (рис. 6 Г, Д). Минералы, слагающие кварц-касситерит-сфалеритовую ассоциацию, нередко корродируют агрегаты пирита-I (рис. 6 А).

Именно в данной ассоциации сосредоточено основное количество касситерита, который образует цепочковидные скопления, маркирующие границы между отдельными зернами сфалерита (рис. 7 А, Б), а также рассеянную и кучную вкрапленность в матрице сфалерита, (рис. 7 В, Г). Морфологию и размер зерен касситерита иллюстрируют фотографии, снятые на микронзонде в режиме СОМРО (рис. 7 Б, Г).

По данным количественного микроспектрального анализа [6], касситериты продуктивной ассоциации олово-цинковых руд характеризуются следующим спектром микроэлементов (средние данные по 9 пробам, в %): In – 0.0056–0.026; Sc – 0.0051–0.018; W – 0.150–0.3; Nb – 0.005–0.082; V – 0.0005–0.0049; Be – 0.00002–0.0002; Zr – 0.0014–0.021; Mn – 0.003–0.028; Ti – 0.28–0.53; Fe – 1.24–2.87; Zn – 0.0007–0.0085; Pb – 0.0017–0.0069.

Сфалерит характеризуется значительной изменчивой железистостью (7.17–10.56 мас.% Fe) (табл. 1, ан. 1–6). При этом отмечено, что наиболее железистый сфалерит характерен для центра рудных сфалеритовых гнезд, сформированных метасоматическим путем в цементе брекчий, а в гнездах, сформированных при выполнении полостей в сферолоидах, как и следует ожидать [8], более железистый сфалерит слагает периферию зерен. В отдельных зернах сфалерита обнаружена изоморфная примесь Cd (0.2–0.5 мас.%). В станнине-I установлены повышенные количества примеси Zn (до 3.45 мас.%, табл. 1, ан. 10).

Поздняя сульфосолюно-галенит-халькопиритовая ассоциация (III). В характеризуемых рудах эта ассоциация имеет ограниченное распространение. Минералы ассоциации образуют в эксплозивной брекчии мелкие (до первых мм) обособления прожилковой или ксеноморфной формы с колеблющимся количественным соотношением слагающих ассоциацию минералов – галенита-II, халькопирита-II, станина-II,

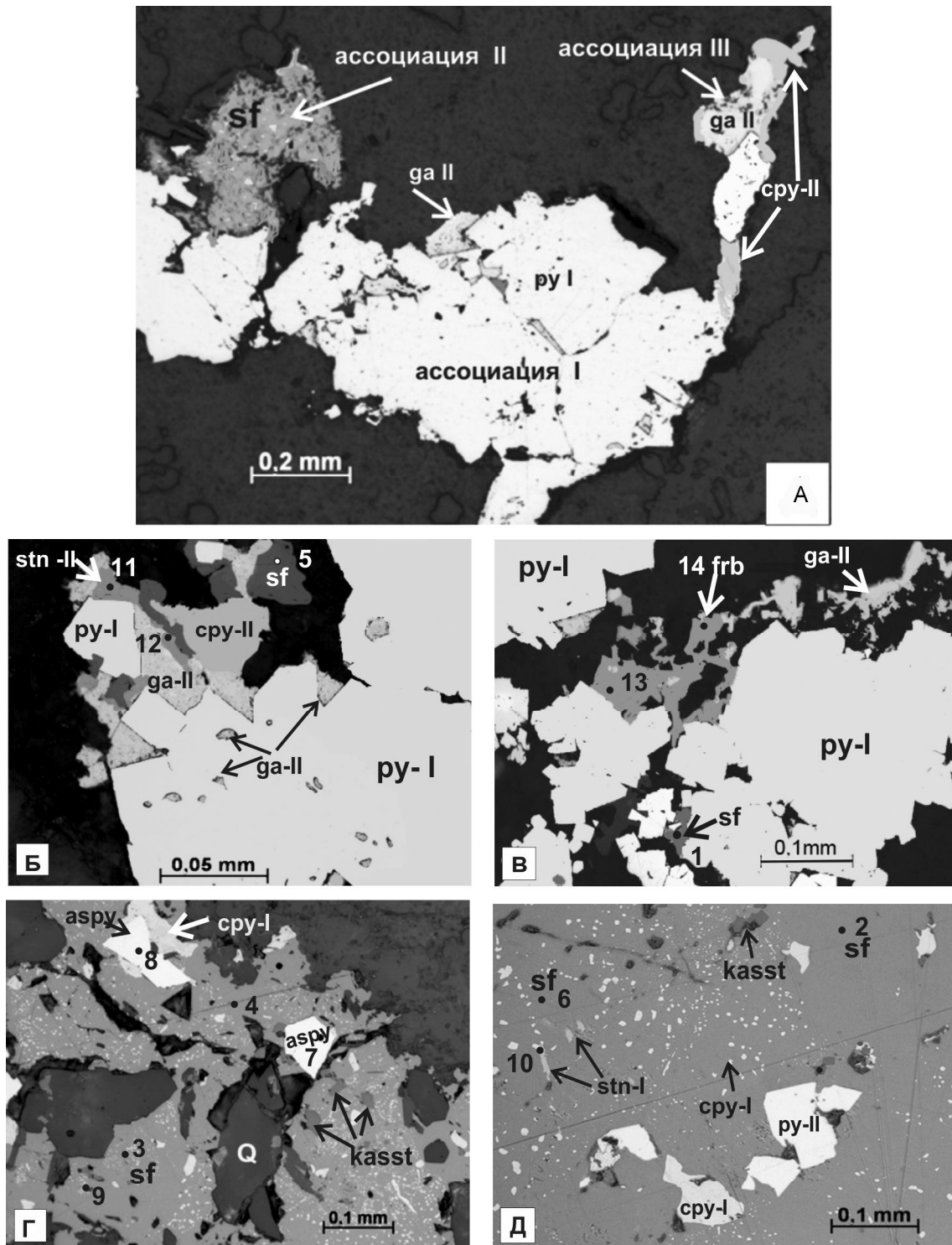


Рис 6. Соотношение минеральных ассоциаций и слагающих их минералов в олово-цинковых рудах.

А – пространственное совмещение пиритовой (I), кварц-касситерит-сфалеритовой (II) и сульфосолюно-галенит-халькопиритовой (III) ассоциаций. Б, В – обрастание и замещение пирита-I минералами сульфосолюно-галенит-халькопиритовой ассоциации. Г, Д – характер выделения второстепенных минералов в сфалеритовом агрегате (продуктивная кварц-касситерит-сфалеритовая ассоциация). Kasst – касситерит, frb – фрейбергит, stn – станнин. Остальные обозначения минералов см. рис. 5.

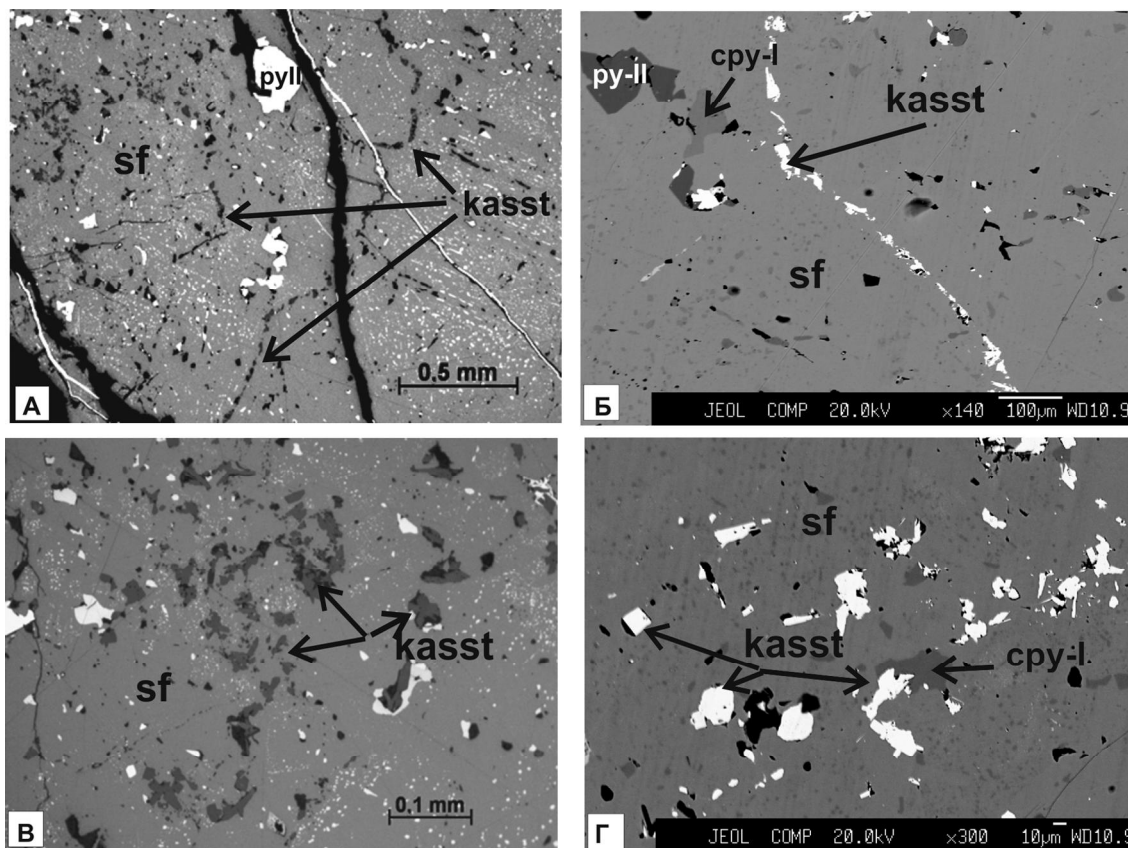


Рис. 7. Характер выделения касситерита в сфалерите.

А, Б – цепочечный характер выделений касситерита; В, Г – кучные скопления зерен касситерита; На фото Б и Г (режим СОМРО) касситерит в виде ярких белых зерен.

фрейбергита. Нередко минералы сульфосолюно-галенит-халькопиритовой ассоциации обрастают и корродируют сфалеритовые и пиритовые агрегаты (рис. 6 А, Б, В). В таблице 1 представлены данные химического состава двух минералов данной ассоциации – станнина-II и фрейбергита.

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ОЛОВО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ЖИЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ТИПА (ПОЗДНИЙ ЭТАП)

Олово-серебро-полиметаллические руды залегают в виде мелких жильно-метасоматических и прожилковых зон в экзоконтах линзовидных тел риолитов поздней фазы формирования жерлового аппарата. Наиболее детально указанные рудные зоны изучены в штольне 4 в интервале 226.0–226.5 м основного штрека, в рассечках 8 и 5 этого же штрека, а также в интервале 9.5–9.8 м штрека № 3.

Минеральный состав олово-серебро-полиметаллических руд характеризуется большим разнообразием. Главными рудными минералами являются сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит, пирит,

касситерит, станнин, фрейбергит. К второстепенным минералам относятся пирротин, акантит, стефанит, самородное серебро, вольфрамит, пираргирит, полибазит, канфильдит. Из жильных минералов преобладают кварц и серицит. В подчиненном количестве присутствуют флюорит, сидерит, хлорит, ортоклаз.

При микроскопическом изучении текстурно-структурных особенностей и состава олово-серебро-полиметаллических руд установлено, что оруденение было сформировано в две стадии, включающие пять последовательных рудных минеральных ассоциаций. В I стадию образовались три ассоциации: (1) вольфрамит-арсенопиритовая, (2) касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовая, (3) станнин-серебросульфосолюная. II стадия включает две ассоциации: (4) фрейбергит-галенитовую и (5) серебро-стефанит-акантитовую.

Вольфрамит-арсенопиритовая, касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовая и станнин-серебросульфосолюная ассоциации, образованные в раннюю стадию формирования олово-серебро-полиметаллических рудных тел, связаны как последовательные, простран-

ственно совмещены и формируют жилообразные тела. При этом они участвуют в выполнении миндалин в зальбандах тел риолитов поздней фазы формирования жерлового аппарата, с которыми собственно и ассоциированы жильно-метасоматические зоны.

Фрейбергит-галенитовая и серебро-стефанит-акантитовая минеральные ассоциации отвечают образованиям поздней стадии, накладываются на брекчированный агрегат ранних минеральных ассоциаций, а также формируют самостоятельные прожилковые зоны в эксплозивных брекчиях (шт. 4, основной штрек, рас. 5).

Ниже приведена характеристика стадийных минеральных ассоциаций.

Вольфрамит-арсенопиритовая ассоциация (1). Отложение арсенопирита и количественно подчиненного вольфрамита происходило, главным образом, путем выполнения трещинных полостей в кварц-серцитовой породе. Главный минерал ассоциации арсенопирит слагает гнездообразные и полосовидные скопления в краевых частях жил, наблюдается в виде реликтовых агрегатов в поле развития более поздних минеральных ассоциаций. Представлен вкрапленностью идиоморфных кристаллов, агрегатами гипидиоморфных зерен размером от сотых долей мм до

первых мм (рис. 8 А, Б). Участками кристаллы арсенопирита интенсивно катаклазированы (рис. 8 В). Весьма характерно замещение кристаллов арсенопирита халькопиритом-II по зонам роста. Другими гипогенными заместителями арсенопирита являются сфалерит, галенит-II, станнин-II. Вольфрамит распространен локально, образуя вкрапленность тонкопризматических кристаллов в арсенопирите (рис. 8 А).

Касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовая ассоциация (2). Главными рудными минералами ассоциации являются халькопирит-II, сфалерит, пирит-I. Сфалерит почти всегда содержит мелкие эмульсионные включения халькопирита-I и станнина-I. Касситерит-I наблюдается как в сфалеритовом, так и в халькопиритовом матриксах в виде вкрапленности и сложных сростков гипидиоморфных кристаллов. Пирротин и галенит-I образуют редкие мелкие скопления в халькопирите-II (рис. 9 Г). Из жильных минералов постоянно встречаются кварц и сидерит.

Текстурной особенностью ассоциации является широкое развитие метакристаллов пирита-I в сфалерит-халькопиритовом матриксе. Изредка метакристаллы пирита-I имеют практически свежий облик, будучи весьма слабо затронутыми процессом замещения (рис. 9 А, Б). Но чаще всего пирит-I окружен

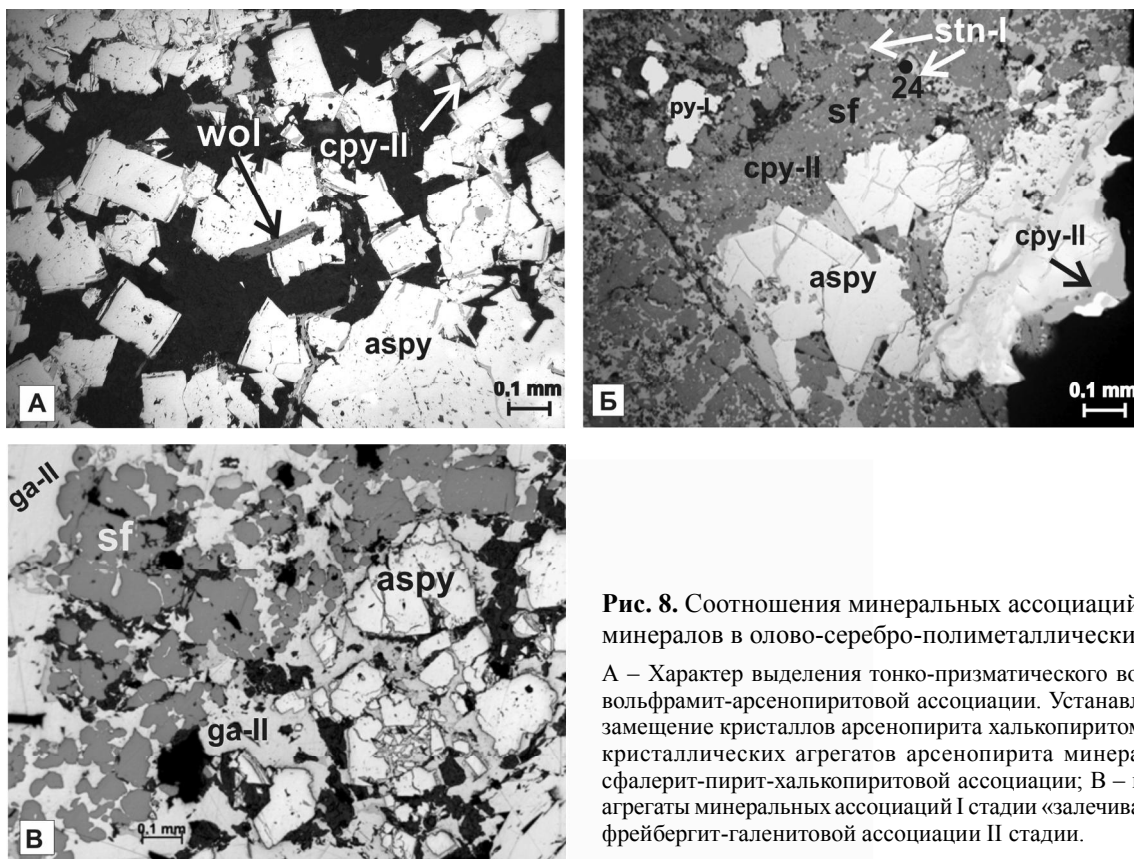


Рис. 8. Соотношения минеральных ассоциаций и слагающих их минералов в олово-серебро-полиметаллических рудах.

А – Характер выделения тонко-призматического вольфрамита (wol) в вольфрамит-арсенопиритовой ассоциации. Устанавливается зональное замещение кристаллов арсенопирита халькопиритом-II; Б – замещение кристаллических агрегатов арсенопирита минералами касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовой ассоциации; В – катаклазированные агрегаты минеральных ассоциаций I стадии «залечиваются» минералами фрейбергит-галенитовой ассоциации II стадии.

полиминеральными коррозионными каймами, мощность которых отчетливо коррелирует с интенсивностью наложения на характеризуемую ассоциацию более поздней станий-серебросульфосольной ассоциации (рис. 9 В, Г). При большой степени «разъедания» кристаллы пирита-I приобретают своеобразный «ячеистый» облик, представляя собой тонкие «субграфические» прорастания пиритовых реликтов с замещающими его станнином-II, стефанитом-I, акантитом-I.

Рис. 10 иллюстрирует общий вид сростка кристаллов пирита-I и детали, отражающие характер его замещения Ag- и Sn-содержащими минералами в отраженных электронах (Б) и характеристическом рентгеновском излучении K_{α} : серебра (В), олова (Г) и железа (Д).

Сфалерит характеризуемой ассоциации отличается высокой железистостью (7.87–9.60 мас.% Fe) и низкими концентрациями кадмия (0.11–0.53 мас. %). В целом состав сфалерита сходен с составом сфалерита гнездово-вкрапленных руд.

По данным количественного микроспектрального анализа [6], касситериты из жильной зоны расщелки 8 характеризуются следующими содержаниями микроэлементов (данные по 8 пробам, в %): In – 0.0023–0.0093; Sc – 0.0030–0.0073; W – 0.186–0.360; Nb – 0.0022–0.0895; V – 0.0002–0.0019; Be – 0.00006–0.0041; Zr – 0.0142–0.0869 Mn – 0.009–0.038; Ti – 0.186–0.826; Fe – 1.40–2.20; Zn – 0.0003–0.0082; Pb – 0.0017–0.0069.

Станий-серебросульфосольная ассоциация (3). Главными рудными минералами станий-серебросульфосольной ассоциации являются станий-II и тесно ассоциированные с ним сульфосоли серебра – стефанит-I, акантит-I и полибазит. Характер выделения стания-II и комплекса серебряных минералов определенно свидетельствует об их более позднем отложении относительно касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовой ассоциации.

Минералы характеризуемой ассоциации наблюдаются в виде наложенных на сфалерит-халькопи-

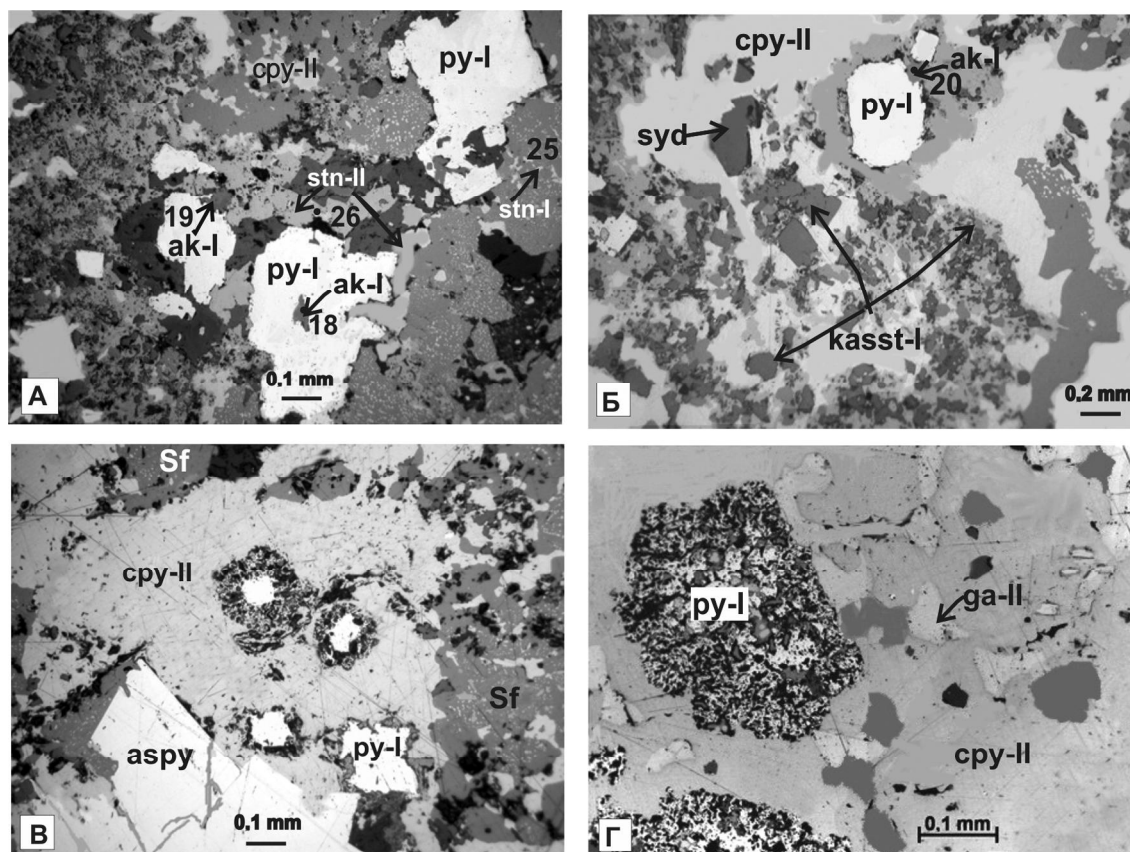


Рис. 9. Замещение кристаллов пирита-I касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовой ассоциации минералами станий-серебросульфосольной ассоциации. На рисунке представлены разные стадии развития полиминеральных коррозионных кайм вокруг кристаллов пирита вплоть до практически полного их замещения по всему объему. Ак – акантит, остальные обозначения минералов см. рис. 5, 6.

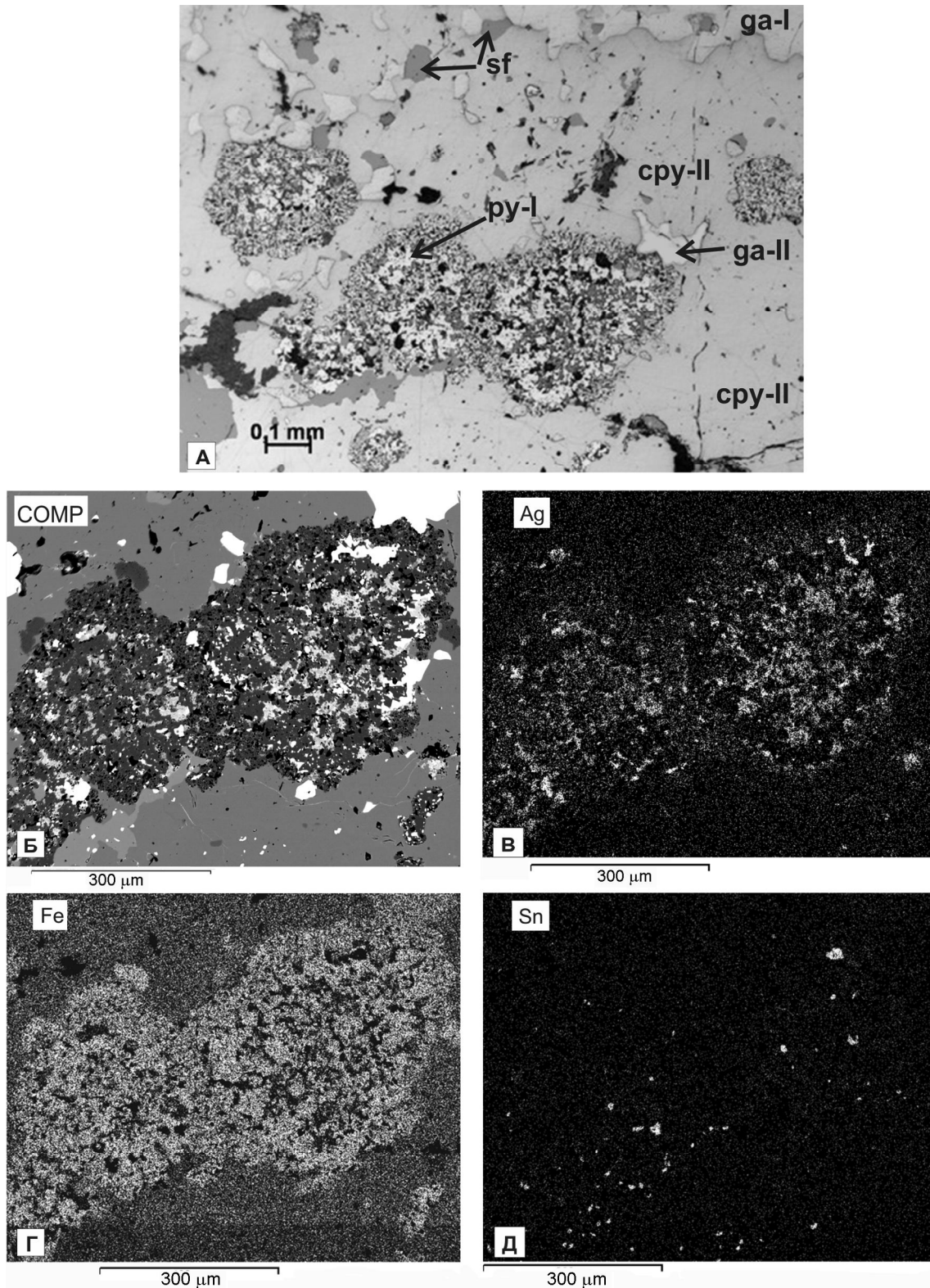


Рис. 10. Замещение пирита минералами серебра и олова.

А – «глазковая» микротекстура руды (вкрапленность пирита-I «ячеистого» облика в халькопирите); Б–Д– фрагмент фото 9 А – сросток кристаллов пирита, снятый в отраженных электронах (Б) и характеристических рентгеновских излучениях $K\alpha$: серебра (В), олова (Г) и железа (Д).

ритовый агрегат секущих прожилков или пятнистых скоплений с тонким хаотичным прорастанием минеральных фаз (рис. 11), а также в составе коррозионных кайм вокруг пирита-I. Очень часто в участках развития станнин-сребросульфосольной ассоциации в матриксе станнина-II наблюдается вкрапленность касситерита-I, принадлежащего предшествующей ассоциации и сохранившегося благодаря своей устойчивости в отличие от сульфидов.

Химические составы станнина-II и ассоциированных с ним минералов серебра представлены в таблице 2. В сопоставлении со станнином-I, в составе станнина-II установлены более высокие концентрации Sn, Fe, Cu и, соответственно, более низкие – Zn. К примесным элементам стефанита-I относится медь (0.52 мас.%). В составе акантита-I установлены примеси Fe (0.39–1.04 мас.%), Cu (0.48–0.78 мас.%), Zn (1.06–1.09 мас.%).

Фрейбергит-галенитовая ассоциация (4).

Главным рудным минералом ассоциации является галенит-II, существенно мономинеральные скопления которого местами достигают нескольких см в поперечнике. Минеральные агрегаты фрейбергит-галенитовой ассоциации, как правило, слагают центральную часть маломощных рудных жил и прожилков (основной штрек штольни 4, интервал 226.0–227.0 м) или образуют самостоятельные прожилковые зоны (штольня 4, рассечка 5).

Остальные минералы, входящие в ассоциацию (фрейбергит, пираргирит, канфилдит, самородное серебро-I, касситерит-II), образуют вкрапленность неправильной формы в галенитовом матриксе. Из жильных минералов наиболее распространен крупночешуйчатый серицит. Его развитие в данной ассоциации отличается наибольшей интенсивностью. Об относительно более позднем отложении характеризуемой ассоциации свидетельствуют не только факт ее развития преимущественно в центральной части жил, но и глубокие заливообразные ответвления галенита, заходящие в пределы смежных минеральных ассоциаций. Кроме того, в участках наложения фрейбергит-галенитовой ассоциации на продукты более ранних ассоциаций в галените-II постоянно отмечаются реликтовые агрегаты арсенипирита, сфалерита, халькопирита-II, пирита-I (рис. 8 В, 12 А).

Фрейбергит. Особенностью характеризуемой ассоциации является повсеместное присутствие в галените фрейбергита – чаще всего он образует рассеянную или густую вкрапленность ксеноморфных зерен размером десятые-тысячные доли мм. Однако встречены участки, где фрейбергит образует агрегатные скопления мелких зерен, достигающие в попе-

речнике нескольких мм. Как правило, последние характерны для участков, где фрейбергит ассоциирован с халькопиритом-II и сфалеритом, сохранившимися в виде «остаточных островков» в матриксе галенита-II. (рис. 12 А, Г)

Все исследованные фрейбергиты характеризуются высокими содержаниями серебра (Ag – 30.97–33.64 мас.%), что представляет большой интерес с точки зрения сереброносности руд (табл. 2). Характерной чертой химизма высокосеребристых блеклых руд является полное отсутствие в них теннантитовой составляющей и преобладание железа над цинком (Fe – 5.15–5.34 мас.%, Zn – 0.77–1.19 мас.%).

Канфилдит и пираргирит образуют ксеноморфные включения в галените (сотые доли мм в поперечнике), иногда в сростании с фрейбергитом (рис. 12 Б, В). Кроме главных элементов (Ag, Sn, S) в канфилдите присутствует примесь Cu (0.43 мас.%). Пираргирит представлен чисто сурьмяным членом изоморфного ряда красных серебряных руд. В одном из зерен пираргирита кроме основных компонентов присутствует незначительная примесь Fe (0.1 мас.%) и Cu (0.8 мас.%) (табл. 2).

Для *самородного серебра-I* характерны мелкие (тысячные–сотые доли мм) выделения с четкими контурами (рисунок 12 Б). Очевидно, оно, как и другие минералы серебра данной ассоциации (фрейбергит, канфилдит, пираргирит), выполняет интерстиции между зернами галенита. Типоморфной примесью серебра-I является Sb (табл. 2).

Касситерит-II в количественном отношении резко уступает касситериту-I из касситерит-сфалерит-

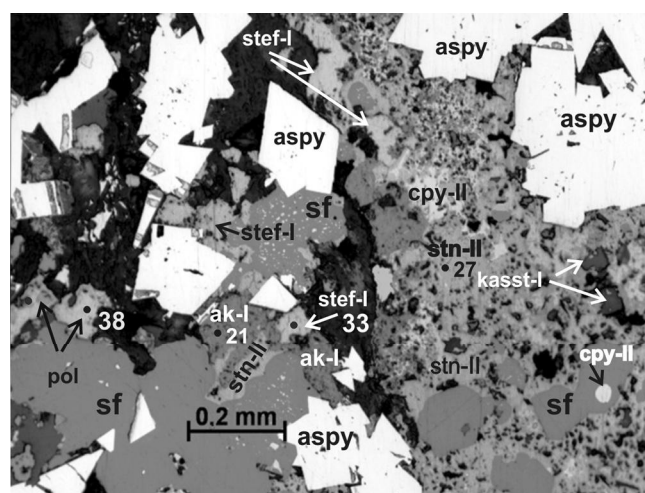


Рис. 11. Характер соотношения станнин-сребросульфосольной ассоциации с более ранними вольфрамит-арсенипиритовой и касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовой ассоциациями.

Таблица 2. Состав олово- и серебросодержащих минералов из жильно-метасоматических олово-серебро-полиметаллических руд Красногорского месторождения (по данным электронно-зондового анализа, мас. %).

№ п/п	№№ анализа	Минерал	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sn	Sb	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	15	Сам. серебро-I	-	-	-	-	-	96.61	-	-	2.19	98.80	$Ag_{0.98}Sb_{0.02}$
2	16		-	-	-	-	-	99.70	-	-	0.60	100.30	$Ag_{0.99}Sb_{0.01}$
3	17	Сам. серебро-II	-	-	-	-	-	99.58	-	-	-	99.58	$Ag_{1.00}$
4	18		12.23	0.39	0.64	1.06	-	84.97	-	-	-	99.29	$(Ag_{1.96}Zn_{0.04}Fe_{0.02}Cu_{0.02})_{2.04}S_{0.95}$
5	19		13.33	-	0.78	1.09	-	84.82	-	-	-	100.02	$(Ag_{1.92}Cu_{0.03}Zn_{0.04})_{1.99}S_{1.01}$
6	20	Акантит-I	10.06	1.04	-	-	-	88.99	-	-	-	100.09	$(Ag_{2.14}Fe_{0.05})_{2.19}S_{0.81}$
7	21		13.09	0.66	0.48	-	-	85.56	-	-	-	99.79	$(Ag_{1.95}Fe_{0.03}Cu_{0.02})_{2.00}S_{1.00}$
8	22		13.00	-	0.10	0.3	-	80.10	-	-	0.80	94.30	$(Ag_{1.92}Zn_{0.01})_{1.93}(S_{1.05}Sb_{0.02})_{1.07}$
9	23	Акантит-II	13.30	0.40	0.30	0.4	-	81.00	-	-	0.80	96.20	$(Ag_{1.94}Fe_{0.02}Zn_{0.02}Cu_{0.01})_{1.99}(S_{1.00}Sb_{0.02})_{1.02}$
10	24		28.42	12.34	26.21	3.24	-	3.83	-	26.11	-	100.15	$(Cu_{1.81}Ag_{0.16})_{1.97}(Fe_{0.97}Zn_{0.22})_{1.19}Sn_{0.96}S_{3.89}$
11	25	Станнин-I	28.89	12.11	26.30	4.55	-	1.47	-	26.46	-	99.78	$(Cu_{1.80}Ag_{0.06})_{1.86}(Fe_{0.94}Zn_{0.30})_{1.24}Sn_{0.97}S_{3.92}$
12	26		29.45	12.73	28.82	0.91	-	-	-	28.29	-	100.20	$Cu_{1.96}(Fe_{0.98}Zn_{0.06})_{1.04}Sn_{1.03}S_{3.97}$
13	27	Станнин-II	29.89	12.96	29.07	1.04	-	-	-	27.89	-	100.85	$Cu_{1.95}(Fe_{0.99}Zn_{0.07})_{1.06}Sn_{1.00}S_{3.98}$
14	28		21.07	5.16	14.80	0.92	-	32.83	-	-	25.54	100.32	$(Ag_{5.84}Cu_{4.16})_{10.00}(Fe_{1.77}Cu_{0.31}Zn_{0.27})_{2.35}Sb_{4.03}S_{12.62}$
15	29		21.35	5.34	15.37	1.19	-	31.71	-	-	25.55	100.51	$(Ag_{5.59}Cu_{4.41})_{10.00}(Fe_{1.82}Zn_{0.35}Cu_{0.19})_{2.36}Sb_{3.99}S_{12.66}$
16	30	Фрейбергит	20.70	5.15	14.06	0.77	-	33.64	-	-	26.04	100.36	$(Ag_{6.05}Cu_{3.96})_{10.00}(Fe_{1.79}Cu_{0.33}Zn_{0.23})_{2.35}Sb_{4.14}S_{12.51}$
17	31		21.42	5.18	15.86	0.85	-	30.97	-	-	26.01	100.29	$(Ag_{5.46}Cu_{4.54})_{10.00}(Fe_{1.76}Zn_{0.25}Cu_{0.21})_{2.22}Sb_{4.06}S_{12.71}$
18	32	Канфилдит	16.31	-	0.43	-	-	70.45	-	13.31	-	100.50	$(Ag_{7.65}Cu_{0.08})_{7.73}Sn_{1.31}S_{5.96}$
19	33	Стефанит-I	16.72	-	0.52	-	-	67.33	-	-	15.17	99.74	$(Ag_{4.88}Cu_{0.06})_{4.94}Sb_{0.97}S_{4.08}$
20	34		16.50	-	0.54	-	-	67.39	-	-	15.68	100.11	$(Ag_{4.89}Cu_{0.07})_{4.96}Sb_{1.01}S_{4.03}$
21	35	Стефанит-II	16.76	-	-	-	-	67.98	-	-	15.54	100.28	$Ag_{4.92}Sb_{1.00}S_{4.08}$
22	36		17.70	-	-	-	-	61.69	-	-	20.77	100.16	$Ag_{5.09}Sb_{0.92}S_{2.99}$
23	37	Пираргирит	17.20	0.10	0.80	-	-	60.20	-	-	21.20	97.60	$(Ag_{3.04}Cu_{0.07})_{3.11}Sb_{0.95}S_{2.93}$
24	38	Полибазит	17.04	-	1.11	-	1.01	71.93	-	-	8.62	99.71	$(Ag_{14.87}Cu_{0.39})_{15.26}(Sb_{1.58}As_{0.30})_{1.88}S_{11.86}$

Примечание. Анализы выполнены на микроанализаторе "УХА-8100" (ДВГИ, аналитик Г.Б. Молчанова). Прочерк — не обнаружено. Номера анализов соответствуют номерам точек на рисунках.

пирит-халькопиритовой ассоциации. Формирует в галените-II спорадическую вкрапленность идиоморфных и гипидиоморфных зерен размером в тысячные доли мм (Рис. 12 Е).

Серебро-стефанит-акантитовая ассоциация (5). В отдельных участках развития фрейбергит-га-

ленитовой ассоциации галенит-II несет следы хрупкой деформации, проявленные в виде микрополостей выкрашивания и трещин по его спайности. Во всех случаях все трещины и полости залечены стефанитом-II и акантитом-II (табл. 2). Иногда в акантите-II отмечаются обособления химически чистого

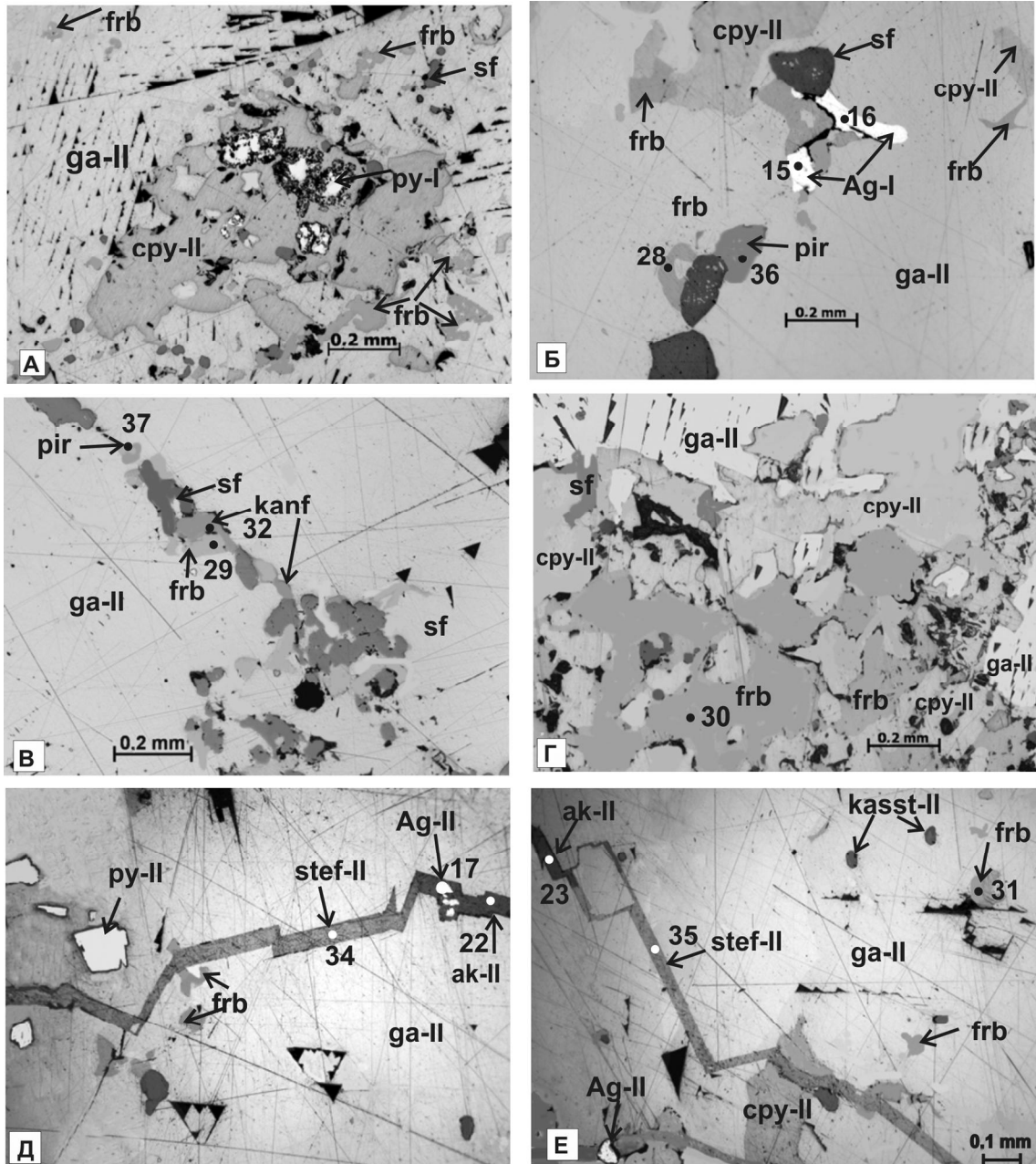


Рис. 12. Характер выделения минералов во фрейбергит-галенитовой и серебро-стефанит-акантитовой ассоциациях (II стадия минералообразования олово-серебро-полиметаллических руд).

А – реликтовые агрегаты минералов I стадии минералообразования (сфалерит, халькопирит-II, пирит-I) во фрейбергит-галенитовой ассоциации. Б, В – вкрапления фрейбергита, пираргирита (pir), самородного серебра-I, канфильдита (kanf) в галените-II. В поле зрения присутствуют реликтовые выделения сульфидов (сфалерита и халькопирита) касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовой ассоциации. Г – крупные выделения фрейбергита на участке наложения фрейбергит-галенитовой ассоциации на касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовую. Д, Е – пересечение минерального агрегата фрейбергит-галенитовой ассоциации минералами серебро-стефанит-акантитовой ассоциации. Остальные обозначения минералов см. рис. 5, 6.

самородного серебра-II. Поскольку перечисленные минералы отчетливо секут галенит-II и все присутствующие в его матриксе минеральные фазы (рис. 12 Д, Е), они выделены в отдельную ассоциацию. Вероятнее всего, эти серебряные минералы образовались за счет мобилизации и переотложения рудных компонентов из предшествующей сереброносной ассоциации.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РУДООБРАЗОВАНИЯ И ИСТОЧНИКИ РУДООБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ

Температурный режим формирования *вкрапленных олово-цинковых руд* раннего этапа оценивался по данным изучения газовой-жидких включений в кварце и данным минеральных геотермометров.

Термометрические исследования флюидных включений проводились в кварце полиминерально-сульфидного выполнения сферолоидов в глыбах сферолоидных риолитов из эксплозивных брекчий с использованием поляризационного микроскопа NIKON-E-600 POL в комплекте с термостолком THMS-600 (-190 ÷ +600 °C) в режиме реального времени (аналитик Карась О.А.).

В изученных кристаллах кварца были установлены как первичные, так и вторичные флюидные включения, при количественном преобладании первых над вторыми. Первичные включения – двухфазовые, с содержанием газа до 40–45 % от объема вакуоли. Температура полной гомогенизации первичных двухфазных включений составляет 250–327°C. Учитывая близкповерхностный уровень минералообразования в жерловой зоне вулкана, где давление не превышало 100–105 Па, полученные данные приняты как температура минералообразования.

Температура формирования продуктивной рудной ассоциации определена по расчетам с использованием геотермометра сфалерит-станниновой пары в следующем формульном выражении: $T^{\circ}\text{C} = 1274 / (1.174 - \lg K_D) - 273$ [4] и $T^{\circ}\text{C} = 2800 / (3.5 - \lg K_D) - 273$ [12]

(табл. 3, расчет 1 и 2, соответственно). Температурный интервал устанавливается в границах 245–312°C. Полученные данные соответствуют температурам образования сфалерит-станниновой пары типовых оловорудных месторождений [1]. Температуры формирования продуктивной кварц-касситерит-сфалеритовой ассоциации около 300°C были также определены ранее на основе использования данных по распределению кобальта в сосуществующей минеральной паре пирит-II – пирротин [7].

По данным изучения сфалерита из гнезд в сферолоидных риолитах, полученным в ДВГИ ДВО РАН на масс-спектрометре МИ-1201, состав серы рудообразующих растворов близок метеоритному стандарту ($\delta^{34}\text{S} = +3.96 \text{ ‰}$). Углерод кальцита из тех же гнезд имеет следующий изотопный состав: $\delta^{13}\text{C} = -5.4 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O} = +6.4 \text{ ‰}$. Эти значения определенно указывают на разбавленность вулканогенных рудоносных гидротерм водой метеорного происхождения ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -2.5 \text{ ‰}$) в силу близкповерхностных условий рудообразования.

Формирование *олово-серебро-полиметаллических руд* позднего этапа определяется для первой стадии как полный гидротермальный цикл рудоотложения, ориентировочно охватывающий интервал температур 500–100°C. Верхняя температурная граница была оценена ранее с использованием арсенопиритового геотермометра – 490 °C [7]. Нижняя – определяется по присутствию стефанита в рудах, температурная граница устойчивости которого, по данным [11], не превышает 150±10°C. Продуктивная ассоциация, по данным сфалерит-станнинового геотермометра (табл. 3), формировалась в интервале 230–303°C.

Определение изотопного состава серы арсенопирита ранней минеральной ассоциации олово-серебро-полиметаллических руд ($\delta^{34}\text{S} = +1.26 \text{ ‰}$) указывает [7], что сера в рудоносных растворах была близка по составу метеоритному стандарту. При этом, ориентируясь на изотопные исследования кальцита,

Таблица 3. Содержания железа и цинка в сосуществующих сфалерите и станнине и расчетные температуры минералообразования.

Тип руды	Минерал	Fe	Zn	Fe/Zn	K_D	T°C(1)	T°C(2)
Гнездово-вкрапленные олово-сульфидные руды (кварц-касситерит-сфалеритовая ассоциация)	Станнин-I	12.65	3.45	3.67	0.05	245	312
	Сфалерит	10.56	55.40	0.19			
Жильно-метасоматические олово-серебро-полиметаллические руды (касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовая ассоциация)	Станнин-I	12.34	3.24	3.81	0.04	230	303
	Сфалерит	9.38	56.56	0.17			

Примечание. Анализы выполнены на микроанализаторе “JXA-8100” (ДВГИ, аналитик Г.Б. Молчанова).

кристаллизация которого завершает первую стадию рудообразования ($\delta^{13}\text{C} = -5.8 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.3 \text{ ‰}$), можно утверждать, что значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ рудоносных растворов позднего этапа были близки -11.3 ‰ .

Вторая стадия формирования олово-серебро-полиметаллических руд, продуктом которой являются минеральные ассоциации, где, кроме стафанита, присутствуют также более высокотемпературные минералы серебра – фрейбергит, пираргирит, канфильдит, отражает при сохраняющейся специфике сереброносных растворов незначительное характерное для стадийных процессов формирования серебро-цинковых руд [10] локальное повышение температуры гидротерм относительно завершения первой стадии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальное изучение олово-цинковых гнездово-вкрапленных и олово-серебро-полиметаллических жильно-метасоматических руд, локализованных среди жерловых вулканических образований г. Красной, показало, что по особенностям строения и специфике минерального состава рудная зона проявлена как олово-полиметаллическое месторождение порфиривого типа. Однотипные месторождения, ассоциированные с позднепалеоценовыми вулканическими аппаратами, были изучены С.М. Родионовым [9]. Однако площади их распространения ограничивались Дальне-Валинкойской вулcano-тектонической системой ВСАВП на севере Арминского рудного района (рис. 1).

В объеме рудной зоны отчетливо проявлены два обособленных этапа вулканогенного гидротермального процесса. По данным Г.А. Осиповой [6], этапы разделены внедрением даек диабазов.

Гнездово-вкрапленные олово-цинковые руды раннего этапа, тесно ассоциированные с вулканическими брекчиями и сформированные как результат импульсной разгрузки рудоносной флюидно-магматической массы в жерловом аппарате позднемаастрихтского возраста, весьма однородны и не проявляют признаков стадийности. Формирование пиритовой и кварц-касситерит-сфалеритовой ассоциаций происходило при температуре около 300°C . Присутствующие в составе ранних руд прожилки сульфосольно-галенит-халькопиритовой ассоциации, судя по особенностям химического состава минералов, связаны с наложенными гидротермальными процессами позднего этапа.

С поздним палеоценовым этапом развития вулканического аппарата связано олово-серебро-полиметаллическое оруденение жильно-метасоматического типа. Формирование руд отвечает полному гидротермальному циклу, реализованному в интервале температур от 500 до 100°C . Отчетливо проявлены две

стадии рудообразования. В течение I стадии последовательно кристаллизовались три минеральные ассоциации: (1) вольфрамит-арсенопиритовая, (2) касситерит-сфалерит-пирит-халькопиритовая, (3) станнин-серебросульфосольная. Ко II стадии относятся (4) фрейбергит-галенитовая и (5) серебро-акантит-стефанитовая ассоциации.

Поздние жильно-метасоматические зоны, несмотря на их отчетливую связь с вулканическими структурами (телами риолитов третьей фазы формирования вулканического аппарата), контролируются в основном мелкими разрывными структурами северо-западной ориентировки. Для гидротермального процесса характерны эпизоды внутрирудного дробления.

Ориентируясь на однотипный структурный контроль и сходство минерального состава руд, можно предполагать, что жильно-метасоматические зоны в жерловом аппарате являются аналогом протяженных рудных жил обрамления вулкана. Представляется, что изученные жильно-метасоматические зоны соответствуют верхней, максимально близко продвинутой к палеоповерхности части этих сереброносных галенит-сфалеритовых жильных тел.

Расположенное в 10 км от берега Японского моря, в районе с развитой инженерной и дорожной инфраструктурой, Красногорское месторождение имеет реальные перспективы промышленного освоения не только компактных жильных тел с высокими содержаниями свинца и цинка, но и зоны изученных порфириновых руд, которые при должной оценке могут представить интерес для отработки открытым способом как самостоятельный крупнообъемный объект. Несмотря на относительно низкие, по данным геолого-разведочных работ, содержания свинца и цинка, в интервалах $0.12\text{--}0.14$ и $0.3\text{--}0.33 \text{ ‰}$, соответственно, фиксируемая минералогическими методами высокая олово- и сереброносность оруденения и его выдержанность в объеме крупных, протяженных на глубину, отчетливо картируемых геологических тел вулканических брекчий, вполне определенно указывают на экономическую целесообразность организации опытных работ в части реализации на базе Красногорского месторождения разработанных в ДВИМСе комбинированных обогатительно-металлургических схем [5]. Перспектива внедрения на юге Дальнего Востока РФ новых прогрессивных схем обогащения и переработки комплексного сырья очевидна, так как обеспечивает вовлечение в производство не только новых порфириновых типов месторождений, на которых акцентировано внимание, но реально на десятки процентов снижает потери металлов в хвостах действующего обогатительного производства, а также выступает основной для организации переработки сформированных

за полувековую историю горной отрасли крупнейших хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов в Кавалеровском и Дальнегорском районах Приморского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников Н.С., Заозерина О.Н., Генкин А.Д., Муравицкая Г.Н. Станнин-сфалеритовые сростания – возможные показатели условия рудообразования // Геология руд. месторождений. 1990. № 5. С. 32–44.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2-х кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
3. Добровольская М.Г., Балашова С.П., Заозерина О.Н., Голованова Т.И. Минеральные парагенезисы и стадии рудообразования в свинцово-цинковых месторождениях Дальнегорского рудного района (Южное Приморье) // Геология руд. месторождений. 1993. Т. 32, № 5. С. 493–519.
4. Некрасов И.Я., Сорокин В.И., Осадчий Е.Г. Распределение железа и цинка между сфалеритом и станнином при $T = 300\text{--}500^\circ\text{C}$ и $P = 1$ кбар // Докл. АН СССР. 1976. Т. 226, № 5. С. 116–1168.
5. Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района. // Минерально-сырьевой комплекс ДВЭР на рубеже веков. Хабаровск: ДВИМС, 1999. 214 с.
6. Осипова Г.А. Элементы-примеси и минеральные микро- включения в касситеритах и сульфидах олово-полиметаллических месторождений. Владивосток: Дальнаука, 1993. 213 с.
7. Раткин В.В., Симаненко Л.Ф., Кузнецов Д.Н., Король Р.В. Олово-цинковое оруденение Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Геология руд. месторождений. 1990. Т. 32, № 2. С. 68–77.
8. Раткин В.В., Хетчиков Л.Н., Пахомова В.А., Симаненко Л.Ф. Состав и физико-химические условия кристаллизации сфалерита как отражение зональности Партизанского скарново-полиметаллического месторождения // Тихоокеан. геология. 1994. № 3. С. 72–82.
9. Родионов С.М. Металлогения олова Востока России. М.: Наука, 2005. 328 с.
10. Симаненко Л.Ф. О формах нахождения примесей в галените Партизанского скарново-полиметаллического месторождения // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 2. С. 45–55.
11. Чевычелов В.Ю. Экспериментальные исследования системы Sb-Ag-S при $100\text{--}400^\circ\text{C}$ в гидротермальных условиях: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 1981. 20 с.
12. Shimizu M., Shikazono N. Iron and zink partitioning between coexisting stannite and sphalerite: a possible indicator of temperature and sulfur fugacity // Mineral. Deposita. 1985. V. 20, N 4. P. 314–320.

Рекомендована к печати В.Г. Гоневчуком

L.F. Simanenko, V.V. Ratkin, V.A. Turchin

Mineral assemblages of porphyry tin-polymetallic ores of the Krasny Mountain paleovolcano (Krasnogorsky polymetallic deposit, Dal'negorsk ore district)

The paper presents the results of detailed mineralogical studies of the pocket-disseminated tin-zinc (cassiterite-sulphide) as well as metasomatic veins and veinlets of tin-silver-polymetallic ores localized in the Krasny Mountain paleovolcano vent (Krasnogorsky polymetallic deposit). The tin-zinc ores of the early Late Maastrichtian stage of ore formation are associated with the pipelike bodies of explosive breccia. Three mineral assemblages are distinguished in the tin-zinc ores: pyrite (1), productive quartz-cassiterite-sphalerite (2), and late sulfosalt-galena-chalcopyrite (3). The formation of productive quartz cassiterite-sphalerite assemblage took place at approximately 300° . The hydrothermal-metasomatic vein type tin-silver-polymetallic ores of the Late Paleocene stage of ore formation are associated with the rhyolite bodies and are governed by the northwest-oriented faults and cut the mineralized breccia. These ores were formed during the two-stage hydrothermal process at the temperature interval from 500 to 100°C , including 5 consecutive ore mineral assemblages: wolframite-arsenopyrite (1), cassiterite-sphalerite-pyrite-chalcopyrite (2), stannine-Ag-bearing sulfosalt (3), freiberghite-galena (4) and native silver-stephanite-acanthite (5). The tin-silver-polymetallic ores are assumed to occur synchronously with the formation of the large-scale Ag-bearing galena-sphalerite veins cutting the Primorsky Group volcanic rocks spread around the Krasny Mountain. From the vertical zonation of the vein-type Ag-bearing galena-sphalerite ores, the studied tin-silver-polymetallic ores correspond to the upper (closest to the paleosurface) part of the large vein zoning.

Key words: porphyry deposits, tin-polymetallic ore, mineralization stages, sphalerite, stannine, cassiterite, silver minerals, explosive breccia, the Dal'negorsk ore district, Sikote-Alin, Primorye.