

**МИКРОФАЦИИ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
РУД МАЙМИНОВСКОГО ЖИЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СИХОТЭ-АЛИНЬ,
ДАЛЬНЕГОРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)**

В.В. Раткин, Л.Ф. Симаненко, О.А. Елисеева

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

Поступила в редакцию 18 января 2016 г.

Изучена минералогия руд из зон протяженных стволовых жильных тел и локальных зон прожилково-вкрапленных руд Майминовского месторождения. Сопоставление проведено на уровне минеральных микрофаций: гидротермального выполнения полостей жил и прожилков и гидротермально-метасоматических руд в измененных песчаниках в зальбандах жил и прожилков. Показана идентичность минеральных ассоциаций и состава минералов микрофаций изученных зон. Исключение составляет присутствующий только в рудах стволовых жил аномально сереброносный халькопирит. Выявлена общая для изученных зон специфика микрофации гидротермально-метасоматических руд, выраженная в обогащенности минералов, формирующихся в процессе замещения песчаников, примесями Co и Ni и в присутствии самостоятельных минералов Co, Ni и Ti (кобальтина, ульманита и рутила). Показано, что в минералого-геохимическом отношении жильные руды Майминовского месторождения аналогичны рудам головных (приповерхностных) частей рудных тел Ag-Pb-Zn скарновых месторождений Дальнегорского района.

Ключевые слова: месторождение, серебро-полиметаллическое, галенит, сфалерит, сульфосоли серебра, электрум, жила, Дальнегорский район, Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Дальнегорский рудный район располагается в припономорской части южного Сихотэ-Алиня. Он объединяет все промышленно значимые свинцово-цинковые месторождения Приморского края [6]. В юго-западной части района уже более 100 лет отрабатываются скарновые месторождения. На северо-востоке района присутствуют только месторождения жильных свинцово-цинковых руд (рис. 1). Эта часть района была выделена Е.А. Радкевич [14] как обособленный Черемшанский рудный узел.

В последние десятилетия жильные месторождения этого рудного узла стали действующим резервом минерально-сырьевой базы свинца и цинка Дальнегорского района [10]. В числе наиболее интересных для отработки оказалось Майминовское жильное месторождение. В 90-х годах оно было изучено с поверхности канавами, а на глубину – скважинами. В начале 2000-х годов началась отработка руд на штольневых горизонтах. Некоторые вопросы минералого-геохимических особенностей руд и условий

формирования месторождения были рассмотрены в публикациях [3, 4]. Позже руды были охарактеризованы с позиции их благороднометалльной специализации [11]. Повышенная сереброносность руд и наличие золота в жильных минеральных агрегатах выступили аргументом отнесения Майминовского месторождения к группе золото-серебряных вулканогенных объектов эоценового возраста. Эта позиция определенно была поддержана обнаружением обособленных от стволовых жил зон метасоматоза песчаников с аномально сереброносными прожилково-вкрапленными рудами [12].

Авторами в ходе полевых и лабораторных исследований уточнялись геологические условия формирования руд стволовых жильных зон и локальных зон прожилково-вкрапленных руд. Были сопоставлены минералого-геохимические особенности руд на уровне минеральных микрофаций. Выполнено сравнение минерального состава руд Майминовского месторождения и скарново-полиметаллических руд Партизанского месторождения.

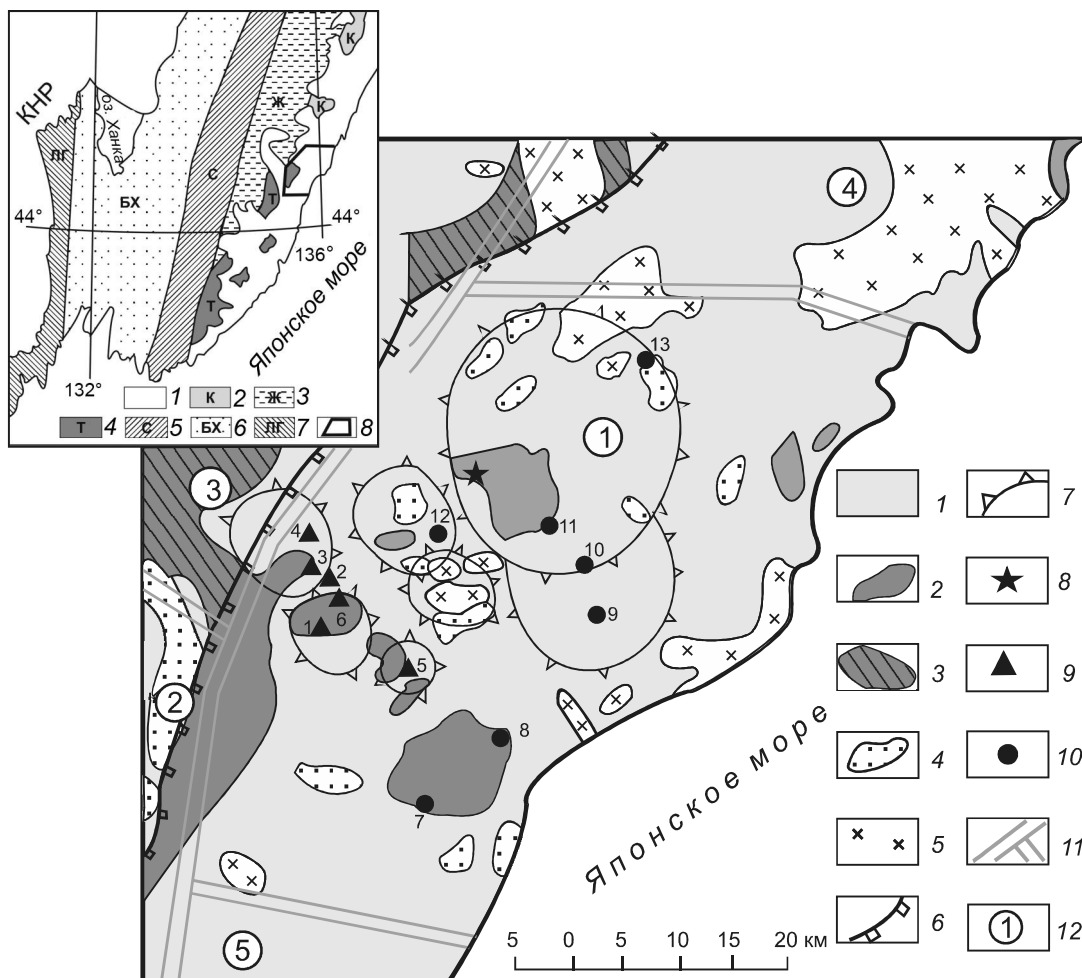


Рис. 1. Схема размещения серебро-свинцово-цинковых месторождений Дальнего района, по данным ГМК «Дальполимметалл», с изменениями.

1 – вулканогенные отложения поздний мел–палеоценового Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса; 2 – складчатые осадочные комплексы Таухинского террейна; 3 – складчатые флишвидные комплексы Журавлевского террейна; 4 – экструзивные тела кислого и среднего составов; 5 – интрузии кислого и среднего составов; 6 – граница Таухинского и Журавлевского террейнов; 7 – интрузивно-купольные структуры; 8 – Майминово-ское жильное месторождение; 9 – скарновые месторождения: 1–5 – серебро-свинцово-цинковые (1 – Партизанское, 2 – Первое Советское, 3 – Верхнее, 4 – Николаевское, 5 – Садовое), 6 – боросиликатное (Дальнегорское); 10 – жильные месторождения и рудопоявления (7 – Ново-Монастырское, 8 – Лидовское, 9 – Красногорское, 10 – Трехреченское, 11 – Арцеское, 12 – Заявочное, 13 – Сарафанное); 11 – границы рудных районов; 12 – рудные районы: 1 – Дальнегорский, 2 – Кавалеровский, 3 – Верхне-Уссурский, 4 – Тернейский, 5 – Ольгинский.

На врезке – положение Дальнегорского рудного района на схеме террейнов южной части Дальнего Востока РФ, по [5], с изменениями; 1 – постаккреционный Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоплутонический пояс; 2–5 – террейны раннемелового Сихотэ-Алинского орогенного пояса: 2 – Кемский террейн раннемеловой островной дуги, 3 – Журавлевский террейн раннемелового турбидитового бассейна, 4 – Таухинский террейн раннемеловой аккреционной призмы, 5 – Самаркинский террейн юрской аккреционной призмы; 6 – Бурея-Ханкайский супертеррейн раннепалеозойского орогенного пояса; 7 – Лаоелин-Гродековский террейн позднепалеозойской островной дуги в структуре позднепалеозойского Солонкерского орогенного пояса; 8 – Дальнегорский рудный район.

В основу современной интерпретации геологической ситуации в районе месторождения положены материалы поисково-оценочных работ ГМК «Дальполимметалл» на площади Черемшанского рудного узла в 2007–2010 гг. В обобщениях использованы авторские материалы ранее опубликованных и неопубликованных работ.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД МАЙМИНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Майминово-ское месторождение находится в Таухинской металлогенической зоне южного Сихотэ-Алия [6], на северо-востоке Дальнегорского рудного района (рис. 1).

Территория рудного района имеет этажное строение. Нижний структурный этаж сложен складчатыми комплексами осадочных пород раннемеловой Таухинской аккреционной призмы Сихотэ-Алинского орогенного пояса [5, 7]. В юго-западной части района в составе складчатых комплексов аккреционной призмы присутствуют раннемеловые олистостромовые толщи с пластинами и глыбами триасовых известняков. С этими известняками там пространственно сопряжены скарновые месторождения. На северо-востоке района, где локализовано жильное Майминовское месторождение, Таухинская аккреционная призма представлена исключительно толщами песчаников и алевролитов берриас-валанжинского возраста.

Верхний структурный этаж – чехол вулканических пород поздний мел–палеоценового окраинно-континентального надсубдукционного Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (ВСАВП). В основании вулканического разреза картируется толща осадочных пород, эффузивов кислого состава и андезибазальтов сеноман-туронского возраста. Выше находится турон-кампанская приморская серия – толща игнимбритов и туфов риолитов, перекрытая риолитами, риодацитами и андезитами маастрихт-палеоценовой дальнегорской (сияновской) свиты.

Вулканиты чехла выполняют вулкано-тектонические депрессии, обрамляющие выступы (горсты) нижнемелового складчатого фундамента. С такими горстами пространственно сопряжено абсолютное большинство серебро-свинцово-цинковых месторождений Дальнегорского района.

Майминовское месторождение приурочено к Кирилловскому выступу раннемелового фундамента. В северо-западной части горста, непосредственно в границах Майминовского рудного поля, по данным ГМК «Дальполиметалл», находится локальный вулканический центр в виде кальдеры (рис. 2). Ее выполняют эффузивы и туфы риодацитов, перекрытые толщей андезитов и их туфов. Вулканиты, по данным «Дальполиметалл», относятся к маастрихт-палеоценовой дальнегорской (сияновской) свите. Жерловина вулкана выражена на современном эрозионном срезе как тело гранит-порфиров, состав которых близок по составу гранитоидам рудоносного дальнегорского интрузивного комплекса палеоценового возраста [1, 2].

Рудовмещающими являются берриас-валанжинские породы складчатого основания вулканической постройки. Слоистые породы формируют антиклинальную складку северо-восточного простирания с углами падения от 75 до 85°. Разрез на 80 % сложен трещиноватыми мелкозернистыми аркозовыми песчаниками. Пласты песчаников мощностью до 100 м

разделены горизонтами переслаивания песчаников и алевролитов, с доминированием алевролитов, мощностью от 1–2 до 50 м. Алевролиты интенсивно рассланцованы, контакты с пластами песчаников выглядят как зеркала скольжения с характерными следами смещений по типу левого сдвига.

Жильные рудные тела месторождения сопряжены с системой эшелонированных субвертикальных северо-западных (Аз. пр. 300°) правых сбросо-сдвигов, рассекающих вкрест простирания толщу осадочных пород. Локализируются жилы исключительно в пластах песчаников в виде отрезков, которые утыкаются в горизонты рассланцованных алевролитов (рис. 2). В рудных зонах чередуются участки стволовых жил мощностью до 0.3 м и локальные раздувы – рудные столбы. Последние проявлены как трубообразные зоны брекчирования песчаников. В плане столбы ориентированы в более северных румбах, чем собственно жилы, отклоняясь, по данным Ю.П. Юшманова, в виде уступов к северу от основного СЗ сместителя на 20–30°. Доминирующими минералами гидротермального «цемента» брекчий являются фестоночатый кварц и кальцит. В объемной оценке соотношение материала гидротермального «цемента» брекчий и обломков песчаников близко к 1:2.

Песчаники в зальбандах стволовых жил и в брекчиях рудных столбов гидротермально переработаны. В составе метасоматической ассоциации доминируют кварц, серицит и ортоклаз, присутствует Fe-Mg хлорит. Измененные песчаники содержат вкрапленность и гнезда сульфидов с преобладанием пирита и арсенипирита.

На северо-западном фланге месторождения присутствуют локальные зоны, расположенные обособленно от протяженных жил. Одна из таких зон, рудное тело «Загадка», вскрыта севернее жилы № 11а кварцшлагом на штольневом горизонте +560 м. Ромбовидное в горизонтальном сечении тело конформно зоне трещиноватости в объеме пласта песчаников относительно небольшой мощности (около 20 м) и склоняется на северо-восток под углом около 70°. С юго-востока и северо-запада тело ограничено контактами пласта песчаников (рассланцованными алевролитами). Рудные агрегаты формируют, кроме обильной гнездовой вкрапленности в гидротермально переработанных песчаниках, извилистые ветвящиеся прожилки. По нашим наблюдениям, прожилки, выполняющие трещины отрыва, падают, согласуясь со склонением рудного тела, на северо-восток (азимут падения 40–60°) под углом 60–70°. В объемном выражении прожилки составляют до 20 % рудного тела. По характеру гидротермальной переработки песчаники в зоне трещиноватости однотипны измененным

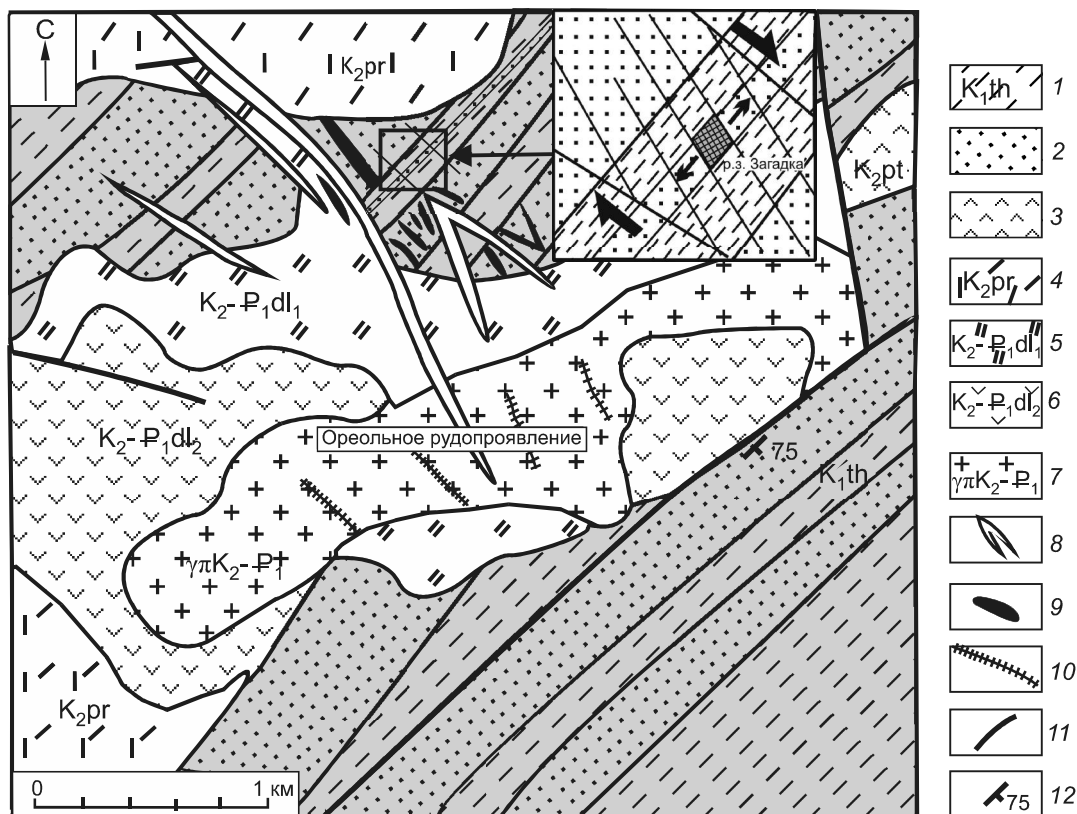


Рис. 2. Геологическая схема района Майминоовского месторождения серебро-свинцово-цинковых руд, по данным ГМК «Дальполиметалл», с изменениями.

1, 2 – осадочные раннемеловые толщи Таухинского террейна: 1 – пачки переслаивания песчаников и алевролитов, 2 – пачки песчаников; 3–7 – вулканические толщи и интрузии поздний мел-палеоценового Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса: 3 – петрозувская свита – туффиты, туфы среднего и кислого состава (сеноман-турон), 4 – приморская свита (серия) – риолиты и их туфы (турон-кампан), 5 – нижняя толща дальнегорской (сияновской) свиты (маастрихт-палеоцен) – дациты, риодациты и их туфы, 6 – верхняя толща дальнегорской (сияновской) свиты (маастрихт-палеоцен) – андезиты и их туфы, 7 – гранит-порфиры жерловой фации (маастрихт-палеоцен); 8 – дайки андезибазальтов (эоцен); 9 – жильные рудные тела; 10 – зоны охристых изменений; 11 – разломы; 12 – элементы залегания слоистых толщ.

На врезке: схема структурной приуроченности зоны прожилково-вкрапленных руд «Загадка» (заштриховано).

песчаникам околожильного окружения стволых жил, отличаясь только большей интенсивностью серицитизации и калишпатизации.

Структурно зона прожилково-вкрапленных руд идентична «уступам», которые контролируют размещение рудных столбов в зонах стволых жил. В трещинной иерархии месторождения они аналогичным образом выражены как элемент системы дуплексных структур (Аз. пр. 330°), оперяющих северо-западные (Аз. пр. 300°) правые сбросо-сдвиги (рис. 2, вставка).

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СЕРЕБРОНОСНЫХ ЖИЛЬНЫХ И ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННЫХ РУД МАЙМИНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изучен минеральный состав прожилково-вкрапленных руд в гидротермально переработанных песчаниках в сечении рудного тела (р.т.) «Загадка» на

горизонте +560 м (штольня № 2, квершлаг № 4), с одной стороны, и стволых жильных рудных зон № 1, вскрытой подземными горными выработками на горизонтах +560 м (штольня № 2) и +500 м (штольня № 3), с другой стороны.

Исследования руд проведено на уровне формирующих их микрофаций. Под рудной микрофацией понимаются пространственно совмещенные, одновременно сформированные в локальном объеме рудного тела, но различные по характеру образования минеральные агрегаты. В изученных зонах различаются микрофация собственно жил и прожилков, сформированная в результате гидротермального выполнения трещинных полостей, и гидротермально-метасоматическая микрофация песчаников.

А. Зона прожилково-вкрапленных руд (рудное тело «Загадка») сложена на 80 % оруденелыми ги-

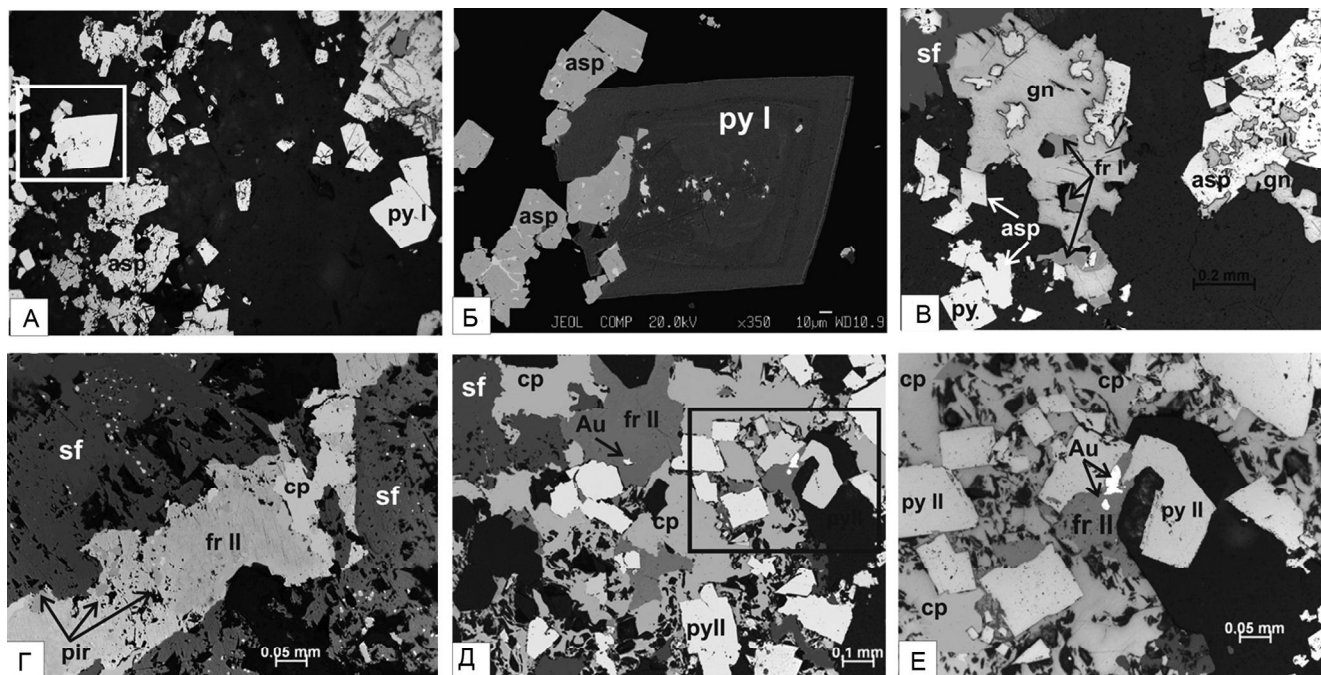


Рис. 3. Текстурно-структурные особенности и характер сростания рудных минералов в рудах р.т. «Загадка». Микрофазия гидротермального выполнения полостей (прожилков).

А, Б – допродуктивная кварц-арсенопирит-пиритовая ассоциация: А – арсенопирит и пирит-I в кварцевом матриксе, Б – деталь фото (коррозионные соотношения арсенопирита с пиритом-I). В – замещение допродуктивного арсенопирита и пирита-I минералами ранней продуктивной кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации. Галенит продуктивной ассоциации с мелкими выделениями фрейбергита-I. Г – пересечение сфалеритового агрегата ранней продуктивной кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации халькопирит-фрейбергит-II – пираргиритовым «прожилком» поздней продуктивной ассоциации. Д, Е – поздняя продуктивная кварц-кальцит-электрум-Ag-сульфосолюно-пирит-халькопиритовая ассоциация: Д – минеральный агрегат ассоциации, Е – деталь фото (выделения электрума в матриксе фрейбергита-II).

Здесь и далее: asp – арсенопирит; py – пирит; gn – галенит; sf – сфалерит; cp – халькопирит; kb – кобальтин; ulm – ульманит; fr – фрейбергит; stf – стезфанит; pir – пираргирит; pol – полибазит; ak – акантит, ko – ковеллин, Q – кварц, kal – кальцит.

дротермально переработанными песчаниками с гнездово-вкрапленной минерализацией (гидротермально-метасоматическая микрофазия) и на 20 % кварцево-рудными прожилками (микрофазия гидротермального выполнения полостей).

Микрофазия гидротермального выполнения полостей проявлена в виде кварц-сульфидных прожилков мощностью до 5 см с четкими контактами.

В объеме рудного минерального комплекса прожилков выделено четыре последовательных минеральных ассоциации: допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая (1), ранняя продуктивная кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидная (2), поздняя продуктивная кварц-кальцит-электрум-Ag-сульфосолюно-пирит-халькопиритовая (3) и гипергенная борнит-дигенитовая (4). Все минеральные ассоциации пространственно совмещены.

(1) Допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация представлена в прожилках повсеместно. Пирит-I и арсенопирит образуют густую вкра-

пленность, гнездовидные и полосовидные скопления в массе гидротермального кварца-I (рис. 3 А). На участках наложения более поздних ассоциаций они присутствуют в виде корродированных агрегатов зерен и отдельных кристаллов (рис. 3 Б, В). В составе пирита-I фиксируется постоянная примесь мышьяка (0.62–1.18 мас. %). В то же время арсенопирит в краевых частях кристаллов обогащен сурьмой (от 0.42 до 1.41 мас. %), (табл. 1, ан. 6–11).

(2) Ранняя продуктивная кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидная ассоциация присутствует в межзерновых пространствах гидротермального кристаллического кварца-II преимущественно в виде агрегата галенита и сфалерита, часто в сростании с железистым хлоритом. Сфалерит и галенит активно корродируют минералы допродуктивной ассоциации. При микроскопическом изучении галенита изоморфных примесей в нем не обнаружено при обилии мелких включений фрейбергита-I (рис. 3 В; табл. 2, ан. 1–3). Для фрейбергита-I характерны высокие содержания

Таблица 1. Состав сульфидов, сульфоарсенидов и сульфоантимонидов из руд Майминовского месторождения по данным электронно-зондового анализа (мас. %).

№ п/п	Ассоциация	№ обр.	Минерал	Ag	Cu	Fe	Zn	Pb	Mn	Cd	Co	Ni	Sb	As	S	Сумма
МИКРОФАЦИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЖИЛ И ПРОЖИЛКОВ																
<i>ПРОЖИЛКИ В ЛОКАЛЬНЫХ ЗОНАХ (РУДНОЕ ТЕЛО ЗАГАДКА, ГОР. 560 М)</i>																
1				-	-	35.57	-	-	-	-	-	-	-	42.69	21.72	99.98
2		317/8	Арсенопирит	-	-	34.97	-	-	-	-	-	-	-	44.01	20.25	99.23
3			центр зерна	-	-	34.82	-	-	-	-	-	-	-	44.30	20.71	99.83
4				-	-	35.07	-	-	-	-	-	-	-	43.72	21.84	100.63
5		317/5		-	-	35.11	-	-	-	-	-	-	-	44.61	20.94	100.66
6				-	-	34.86	-	-	-	-	-	-	1.21	43.26	20.77	100.10
7	Кварц-пирит-	317/8		-	-	35.14	-	-	-	-	-	-	0.42	44.97	20.16	100.69
8	арсенопиритовая		Арсенопирит	-	-	34.70	-	-	-	-	-	-	0.43	44.27	20.12	99.52
9			край зерна	-	-	34.86	-	-	-	-	-	-	0.74	43.15	21.31	100.06
10				-	-	35.50	-	-	-	-	-	-	1.41	41.62	21.81	100.34
11		317/5		-	-	35.93	-	-	-	-	-	-	0.89	40.51	22.79	100.12
12				-	-	46.53	-	-	-	-	-	-	-	1.08	52.20	99.81
13		317/8	Пирит I	-	-	46.71	-	-	-	-	-	-	-	0.62	52.78	100.11
14				-	-	46.76	-	-	-	-	-	-	-	1.18	52.08	100.02
15	Кварц-кальцит- электрум- Ag- сульфосолюно- пирит- халькопиритовая	317/5	Пирит II	-	-	46.28	-	-	-	-	-	-	-	1.08	52.91	100.27
16		317/4		-	-	4.74	59.63	-	-	0.55	-	-	-	-	32.89	97.81
17	Кварц- Ag-	317/8	Сфалерит	0.51	-	6.74	57.11	-	1.02	0.10	-	-	-	1.85	33.06	100.39
18	сульфосолюно- полисульфидная			-	-	3.32	62.78	-	0.31	0.10	-	-	-	-	32.53	99.40
19				0.82	-	7.33	58.06	-	0.35	0.48	-	-	-	-	33.32	100.36
20		317/5		-	-	6.65	60.55	-	0.31	0.11	-	-	-	-	33.22	100.84

Таблица 2. Состав минералов серебра из руд Майминовского месторождения по данным электронно-зондового анализа (мас. %).

№ п/п	Ассоциация	№ обр.	Минерал	Ag	Au	Cu	Fe	Zn	Ni	Sb	As	S	Te	Сумма	
МИКРОФАЦИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЖИЛ И ПРОЖИЛКОВ															
<i>ПРОЖИЛКИ В ЛОКАЛЬНЫХ ЗОНАХ (РУДНОЕ ТЕЛО ЗАГАДКА, ГОР. 560 м)</i>															
1	Кварц-	317/8	Фрейбергит I	31.13	-	14.64	6.55	1.28	-	24.86	-	21.06	-	99.52	
2	Ag-сульфосольно-			33.89	-	13.83	5.09	1.30	-	-	25.21	-	20.32	-	99.64
3	полисульфидная			34.31	-	13.39	4.83	1.27	-	-	25.23	-	20.12	-	99.15
4		317/4	Фрейбергит II	33.39	-	14.22	5.13	0.99	-	24.89	-	20.68	-	99.29	
5				35.08	-	14.76	5.01	0.77	-	-	23.38	-	20.55	-	99.54
6				31.39	-	15.67	5.15	0.84	-	-	25.58	-	20.85	-	99.48
7				34.46	-	14.02	4.97	1.24	-	-	25.52	-	20.39	-	100.61
8				28.74	-	17.49	5.27	0.81	-	-	25.78	-	21.56	-	99.65
9	Кварц-кальцит-			33.03	-	14.44	5.19	1.07	-	-	25.07	-	20.43	-	99.23
10	электрум-			31.21	-	16.49	5.13	0.37	-	-	25.39	-	20.98	-	100.17
11	Ag-сульфосольно-		29.14	-	17.25	4.85	1.34	-	-	25.66	-	21.63	-	99.87	
12	пирит-	317-5-1	33.70	-	14.55	5.09	1.02	-	-	25.45	-	20.53	-	100.34	
13	халькопиритовая		60.74	-	-	1.47	-	-	-	20.28	-	17.86	-	100.35	
14			56.77	42.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.46	
15			57.50	42.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.94	
16			57.49	42.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60	100.39	
17			50.36	49.21	-	-	-	-	-	-	-	-	0.73	100.30	
18			55.50	43.93	-	-	0.55	-	-	-	-	-	-	99.98	
СТВОЛОВЫЕ ЖИЛЫ (ЖИЛА № 1)															
19	Кварц-		Фрейбергит I	35.39	-	13.27	4.97	0.92	-	25.07	-	20.94	-	100.57	
20	Ag-сульфосольно-		Пираргирит	62.93	-	-	-	-	-	20.38	-	17.43	-	100.74	
21	полисульфидная	322/1	Фрейбергит II	34.89	-	13.56	4.94	1.17	-	25.10	-	20.79	-	100.45	
22	Кварц-кальцит-	гор.560 м	Электрум	64.22	34.08	-	-	0.24	-	-	-	-	-	98.54	
23	электрум-Ag-		Фрейбергит II	34.31	-	13.86	6.00	1.25	-	24.96	-	20.95	-	101.33	
24	сульфосольно-			34.29	-	13.89	5.38	1.11	-	24.89	-	20.90	-	100.45	
25	халькопиритовая			33.91	-	13.73	5.81	0.86	-	24.37	-	21.58	-	100.26	
26		322/2	Фрейбергит II	33.54	-	13.90	5.28	0.71	-	25.64	-	21.15	-	110.21	
27	Кварц-кальцит-			33.51	-	13.13	5.89	1.66	-	24.50	-	21.34	-	100.02	
28	электрум-Ag-	гор.560 м		70.16	-	-	-	-	-	14.52	-	16.42	-	101.10	
29	сульфосольно-		67.87	-	-	-	-	-	15.16	-	16.71	-	99.74		
30	халькопиритовая		67.80	-	0.59	-	-	-	14.98	-	16.14	-	99.52		
31			Акантит	77.82	-	3.39	0.36	-	-	7.30	-	12.03	-	100.90	
32	Кварц-		Фрейбергит I	37.80	-	12.10	4.15	-	-	23.70	-	21.30	-	99.05	
33	Ag-сульфосольно-	324/2	Стефанит I	72.45	-	-	-	-	-	12.42	-	15.25	-	100.12	
34	полисульфидная	гор.500 м		70.81	-	-	-	-	-	14.53	-	15.91	-	101.25	

Таблица 2. (Окончание).

ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ МИКРОФАЦИЯ РУД ЛОКАЛЬНЫЕ ЗОНЫ (РУДНОЕ ТЕЛО ЗАГАДКА, ГОР. 560 М)												
35				35.24	13.14	5.23	1.5	—	25.58	20.64	—	101.33
36				34.36	13.27	5.04	1.17	—	25.54	20.30	—	99.68
37				35.28	13.01	5.32	1.09	—	25.32	20.39	—	100.41
38		317/6-3		35.32	12.96	5.36	1.53	—	25.31	20.50	—	100.98
39				35.19	12.53	4.97	2.09	—	25.38	20.37	—	100.54
40				35.56	13.28	5.12	1.18	—	25.67	20.11	—	100.92
41				34.15	13.36	5.02	1.04	—	25.45	20.34	—	99.36
42				33.85	13.53	6.00	1.18	—	24.15	20.60	—	99.31
43				30.27	16.52	5.02	—	1.28	25.42	20.99	—	99.50
44				33.90	14.73	5.14	1.01	0.39	23.98	20.45	—	99.60
45		317/4-2	Фрейбергит	32.30	13.40	5.09	1.25	2.01	25.70	20.36	—	100.11
46				32.00	16.92	5.14	1.11	—	23.80	21.06	—	100.03
47				34.48	13.83	5.43	0.74	—	25.16	20.56	—	100.20
48				35.46	12.89	5.23	0.85	—	25.33	19.74	—	99.50
49				35.01	12.76	5.48	0.66	—	25.10	20.18	—	99.19
50		317-6-2		34.28	13.49	5.29	0.96	—	25.35	20.49	—	99.86
51				34.24	12.76	5.58	3.46	—	24.44	20.01	—	100.49
52				35.61	12.31	5.02	2.07	—	25.32	20.36	—	100.69
53				35.47	13.06	5.01	1.13	—	25.62	20.45	—	100.74
54		317/6-3		60.99	0.90	—	—	—	21.24	17.07	—	100.20
55			Пираргирит	61.24	—	—	—	—	21.20	16.99	—	99.43
56		317/6-2		61.28	—	—	—	—	21.47	17.80	—	100.55
57		317/6-2	Стефанит	69.19	—	—	—	—	16.49	15.02	—	100.70
58				69.07	—	—	—	—	15.49	15.27	—	99.83
59		317/6-3	Полибазит	75.10	—	—	—	—	9.88	13.97	—	98.95
ЗОНЫ СТВЕРЖЕЛЫХ ЖИЛ (ЖИЛА № 1, ГОР. 500 М)												
60		324/1-1	Стефанит	69.16	—	0.33	—	—	14.54	15.59	—	99.62
61				70.18	—	0.47	—	—	13.40	15.69	—	99.74
62				70.89	0.60	—	—	—	13.40	15.35	—	100.24
63		324/1-2	Акантит	87.45	—	—	—	—	—	12.58	—	100.03
64				87.52	—	—	—	—	—	11.12	—	98.64

Примечание. Анализы выполнены на микроанализаторе JXA-8100 (ДВГИ, аналитик Г.Б. Молчанова). Прочерк — не обнаружено.

Таблица 3. Состав вторичных минералов – концентраторов Ag из рудного тела Загадка по данным электронно-зондового анализа (мас. %).

№ п/п	Ассоциация	№ обр.	Минерал	Ag	Cu	Fe	Zn	Pb	Cd	Sb	As	S	Сумма	
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ МИКРОФАЦИЯ РУД														
1	Гринокит-ковеллиновая	317/4-2	Ковеллин (Cu,Ag) ₂ S ₂	13.92	54.19	2.00	–	–	–	–	–	27.84	97.95	
2				18.26	51.17	1.89	–	1.01	–	–	–	–	26.63	98.96
3				17.20	53.27	0.57	–	0.40	–	–	–	–	27.75	99.19
4		317/6-3	Гринокит CdS	21.03	47.34	0.50	–	0.40	–	0.94	–	–	28.91	98.72
5				9.65	–	–	0.83	–	65.45	2.7	–	–	20.91	99.54
6				4.33	–	0.48	1.72	1.61	69.57	–	–	–	20.94	98.65
7				4.20	2.14	0.47	1.13	–	69.66	–	–	–	22.41	100.01
МИКРОФАЦИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЖИЛ И ПРОЖИЛКОВ														
8	Борнит(?) дигенитовая	317/4-2	Борнит (?) (Cu,Ag) ₅ FeS ₄	12.88	39.98	12.41	–	4.30	–	–	–	27.78	97.35	
9		317-5-1	Дигенит (Cu,Ag) ₉ S ₅	1.63	70.97	2.98	–	2.35	–	–	–	20.97	98.90	
10				11.00	66.50	–	–	–	–	–	–	21.39	98.89	
11				3.46	74.04	–	–	–	–	–	–	21.51	99.01	

Примечание. Анализы выполнены на микроанализаторе JXA-8100 (ДВГИ, аналитик Г.Б. Молчанова). Прочерк – не обнаружено.

отмечены мелкие пятнистые выделения борнита. И для дигенита, и для борнита характерны аномально высокие содержания серебра (табл. 3).

К гидротермально-метасоматической микрофации руд отнесена сульфидная составляющая метасоматически преобразованных песчаников. Минерализованный, как бы «пропитанный» по всему объему рудным веществом, песчаник сохраняет первичную зернистую структуру и по составу представляет собой кварц-серицитовую метасоматическую породу с ортоклазом. В составе микрофации различаются три последовательно сменяющие друг друга во времени минеральные ассоциации: допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая (1), ранняя продуктивная кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидная (2) и гипергенная гринокит-ковеллиновая (3).

(1) Допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация проявлена как вкрапленность пирита и арсенопирита в преобразованном песчанике. Размер кристаллических агрегатов пирита и арсенопирита колеблется от первых сотых долей мм до 2–4 мм. Все выделения пирита и арсенопирита активно замещаются сульфидами более поздней ассоциации – сфалеритом и галенитом.

В центральной части кристаллов арсенопирита регулярно отмечаются Co (1.99–3.37 мас. %) и Ni (0.90–1.16 мас. %). В краевой части зерен их нет, но присутствует примесь сурьмы (0.50–1.07 мас. %) (табл. 1, ан. 36–41).

Пирит допродуктивной минеральной ассоциации отвечает стехиометрическому составу, примесей в пределах чувствительности зонда не установлено.

(2) Ранняя продуктивная кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидная ассоциация сложена в основном галенитом, сфалеритом и халькопиритом. К второстепенным минералам относятся фрейбергит, пираргирит, стефанит, полибазит. В числе редких присутствуют ульманит, кобальтин и рутил. Среди серебросодержащих минералов доминирует фрейбергит. Минералы тесно ассоциированы с метасоматическим кварцем, серицитом и ортоклазом.

Большая часть рудных агрегатов продуктивной ассоциации сложена мелкими (до первых мм) ксеноморфными минеральными выделениями. Встречаются сульфидные агрегаты с четко выраженным концентрически-зональным строением (рис. 4 А). Их формирование, вероятно, связано с последовательным (от краев к центру) отложением сульфидов в порах измененного песчаника. При этом заполнение пустот происходило в единой последовательности (сфалерит → халькопирит → галенит ± сульфосоли Ag) при широких количественных вариациях минеральных фаз.

Сфалерит с эмульсионной вкрапленностью халькопирита высоко железистый (5.04–11.14 мас. % Fe). В его составе постоянно присутствует также марганец (0.45–1.42 мас. %) и спорадически – кадмий (от 0.0 до 0.58 мас. %).

Фрейбергит – основной минерал-концентратор серебра. Он присутствует большей частью в виде зерен в галените, вблизи контакта со сфалеритом или халькопиритом (рис. 4 А). Реже – в сфалерите и халькопирите. Местами фрейбергит активно замещает галенит вплоть до образования соразмерных с ним индивидов (рис. 4 Б). Фрейбергиты характеризуются

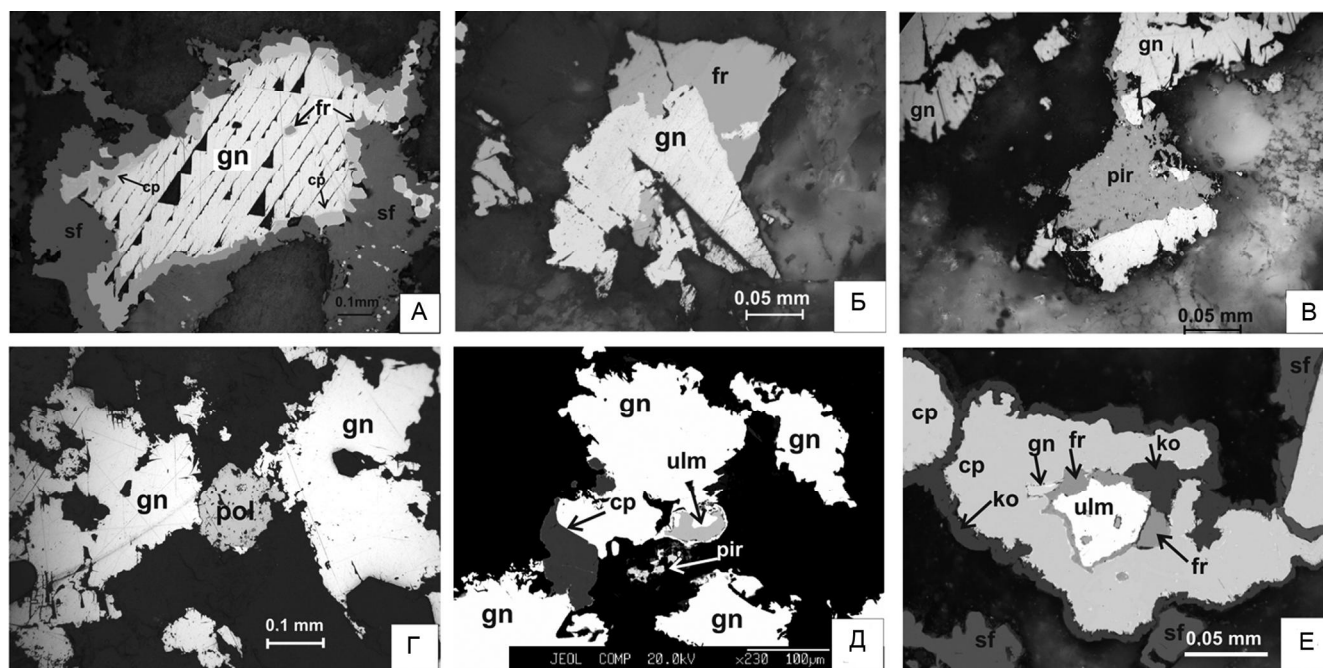


Рис. 4. Текстурно-структурные особенности и характер сростания рудных минералов в рудах р.т. «Загадка». Гидротермально-метасоматическая микрофашии руд.

А – концентрически-зональные сфалерит-халькопирит-галенитовые агрегаты минералов ранней продуктивной кварц-Аг-сульфосолюно-полисульфидная ассоциации – результат последовательного отложения сульфидов в порах измененного песчаника. В галените присутствует вкрапленность мелких зерен фрейбергита. Б, В, Г – сростания фрейбергита, пираргирита, полибазита с галенитом кварц-Аг-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации. Д–Е – ульманит в составе агрегатов кварц-Аг-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации: Д – ульманит в виде включений в галените, Е – ульманит окружен каймой замещающего его Ni-содержащего фрейбергита и далее – сульфидами кварц-Аг-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации.

ся высокими содержаниями серебра – от 30.27 до 35.61 мас. % и практически однородным распределением его по площади зерен (табл. 2). Вариации содержания серебра обычно не превышают 1.00 мас. %. Колебания других минералообразующих элементов составляют: для Fe – 4.97–6.00 мас. %, для Zn – 0.00–3.46 мас. %. Отношение Fe/Fe+Zn колеблется от 0.65 до 1.0 (среднее – 0.83 из 19 анализов). Отношение Ag/Ag+Cu – от 0.52 до 0.62 (среднее 0.60 из 19 анализов). Кроме того, фрейбергит, образующий каймы вокруг зерен ульманита (рис. 4 Е), содержит в своем составе никель от 0.39 до 2.01 мас. %. As в пределах чувствительности микрозонда во фрейбергите не установлен.

Пираргирит, полибазит, стефанит количественно уступают фрейбергиту по распространенности. Основные формы проявления пираргирита – мономинеральные выделения в сростании с галенитом (рис. 4 В), двухфазные (с фрейбергитом) сростки в галените, мелкая вкрапленность зерен в силикатном матрице измененного песчаника (рис. 4 Д). Стефанит наблюдается в виде субмикроскопических зерен в галените. Полибазит встречен в единичном случае в виде округлого зерна (0.1 мм в поперечни-

ке) в силикатном агрегате между зернами галенита (рис. 4 Г).

Ульманит является типоморфным ранним минералом гидротермально-метасоматической микрофашии руд (рис. 4 Д). Можно наблюдать, как (рис. 4 Е) ранний ульманит окружается каймой замещающего его Ni-содержащего фрейбергита и далее – сульфидами Ag-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации.

В составе микрофашии обнаружены также кобальтин, присутствующий в виде изометричных зерен в матрице сфалерита, и рутил – идиоморфные зерна в кварц-серицитовом матрице измененных песчаников.

(3) Гипергенная гринокит-ковеллиновая ассоциация проявлена в форме ковеллина и гринокита (CdS). Ковеллин, замещающий халькопирит, образует краевые каемки и пятнистые скопления (рис. 4 Е). Гринокит представляет собой продукт разложения кадмиеносного сфалерита. Рентгено-спектральным анализом и в ковеллине, и в гриноките установлены высокие содержания серебра (табл. 3).

Б. Зона стволовой жильной зоны № 1 в изученных сечениях на гор. +500 м (штольня 3, штрек 1) и +560 м (штольня 2, камера 3) сложена на 80 % соб-

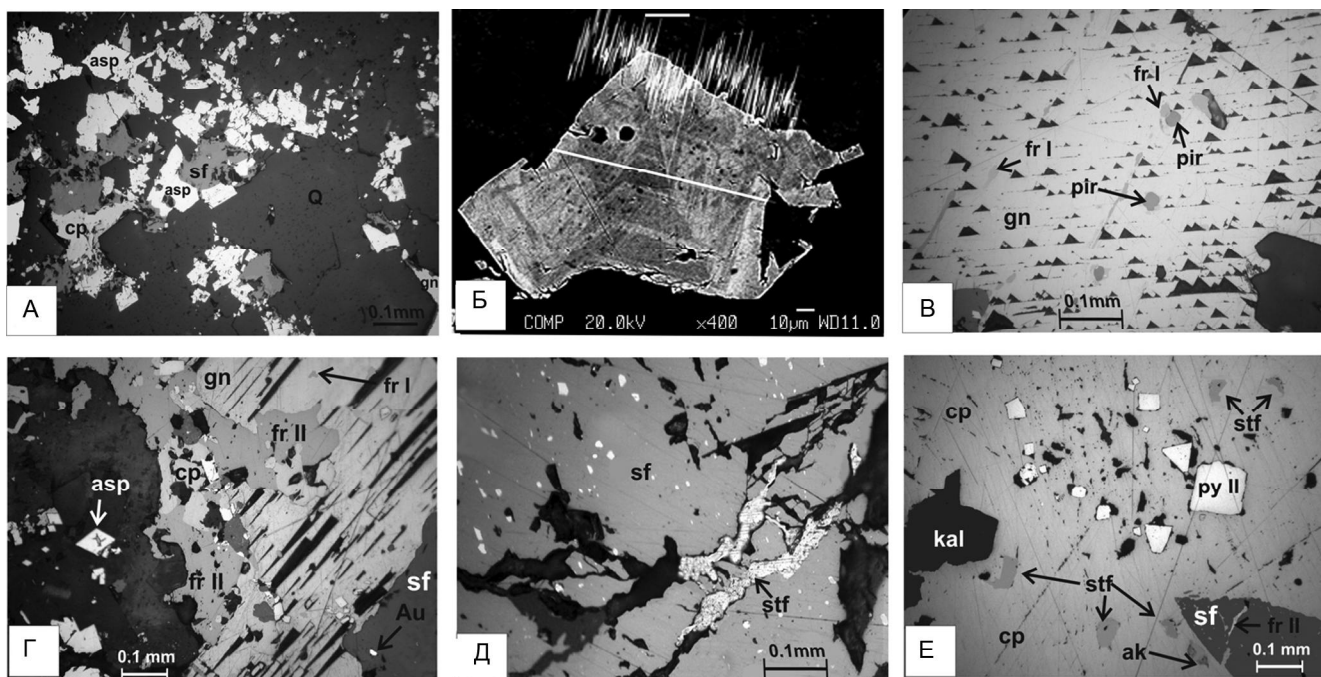


Рис. 5. Текстурно-структурные особенности и характер сростания рудных минералов в рудах стволовой жилы № 1. Микрофация гидротермального выполнения полостей (жил).

А – корродирование арсенопирита минералами ранней продуктивной кварц-Аg-сульфосолюно-полисульфидной ассоциации. Б – зонально-пятнистое распределение Sb в кристалле арсенопирита, фиксированное в режиме съемки компо, и профиль изменения концентраций Sb. В – ранняя продуктивная кварц-Аg-сульфосолюно-полисульфидная ассоциация. Галенит с обильной субмикроскопической вкрапленностью зерен фрейбергита-I и пираргирита. Г, Д, Е – поздняя продуктивная кварц-кальцит-электрум-Аg-сульфосолюно-пирит-халькопиритовая ассоциация: Г – минеральный агрегат с крупными выделениями фрейбергита-II, справа (в нижнем углу) – субмикроскопическое зерно электрума, Д – кварц-кальцит-стефанитовый прожилок в сфалеритовом агрегате ранней продуктивной ассоциации, Е – характерные формы выделения пирита-II и минералов серебра (стефанит, акантит) в матрице халькопирита.

ственно кварц-сульфидной жилой (микрофация гидротермального выполнения полостей) и на 20 % оруденелыми гидротермально переработанными песчаниками с гнездами и вкрапленностью сульфидов в зальбандах жилы (гидротермально-метасоматическая микрофация). Руды обеих микрофаций из стволовой жильной зоны № 1 идентичны выше охарактеризованным микрофациям руд в р.т. «Загадка». Различия сводятся лишь к деталям, которые рассматриваются ниже при характеристике конкретных ассоциаций.

Микрофация гидротермального выполнения полостей представлена кварц-сульфидными жилами с гнездовыми выделениями рудных минералов с варьирующим соотношением в них главных сульфидов (сфалерита, галенита, халькопирита). Как и в рудах микрофации гидротермального выполнения р.т. Загадка, здесь различаются три последовательные эндогенные минеральные ассоциации: допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая (1), ранняя продуктивная кварц-Аg-сульфосолюно-галенит-сфалеритовая

(2) и поздняя продуктивная кварц-кальцит-электрум-серебросульфосолюно-пирит-халькопиритовая (3).

(1) Допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация представлена густой вкрапленностью кристаллов арсенопирита и пирита-I, их гнездовидных скоплений в матрице гидротермального кварца-I. На участках наложения более поздних минеральных ассоциаций арсенопирит и пирит-I наблюдаются в виде корродированных агрегатов зерен (рис. 5 А). В некоторых зернах арсенопирита присутствует примесь сурьмы (табл. 1, ан. 22, 24), определенно обогащающая при общем пятнистом распределении периферию кристаллов (рис. 5 Б). Состав пирита-I отвечает стехиометрическому, примеси As не обнаружено.

(2) Ранняя продуктивная кварц-Аg-сульфосолюно-полисульфидная ассоциация. Главные рудные минералы ассоциации – сфалерит и галенит, образуют средне- крупнозернистый агрегат массивной текстуры. Ассоциация проявлена в виде прожилков преимущественно сфалеритового или галенитового состава. Из жильных минералов в тесной ассоциации с сульфид-

дами находятся гидротермальный кристаллический кварц-II, серицит, хлорит и Mn-содержащий кальцит.

Галенит, по данным микрозондового анализа, лишен элементов-примесей, но содержит при этом обильные включения Ag-сульфосолей.

Сфалерит характеризуется узким диапазоном железистости (7.09–8.5 мас. % Fe). В виде эмульсионной вкрапленности в сфалерите, кроме халькопирита, отмечен пирротин. Постоянно присутствует примесь марганца 0.52–0.90 мас. %. Изоморфная примесь кадмия (0.48–0.65 мас. %) фиксируется лишь в отдельных зернах сфалерита.

Минералы серебра ранней продуктивной ассоциации представлены преобладающим фрейбергитом-I, стефанитом-I и пираргиритом. Как правило, фрейбергит-I и пираргирит наблюдаются в виде мелкой вкрапленности (тысячные доли мм) в галенитовом матриксе, иногда образуют совместные двухфазные сростания (рис. 5 В). Фрейбергит-I характеризуется высокими содержаниями серебра (Ag/Ag+Cu варьирует от 0.61 до 0.65), преобладанием железа над цинком (Fe/Fe+Zn – от 0.86 до 1.00), полным отсутствием теннантитовой компоненты.

Стефанит-I отмечен в виде тонких ветвящихся выделений в сфалеритовом матриксе. В составе стефанита-I и пираргирита примесей не установлено.

(3) Поздняя продуктивная кварц-кальцит-электрум-Ag-сульфосолюно-пирит-халькопиритовая ассоциация. Эта ассоциация проявлена в виде наложенных кварц-карбонатных прожилков с халькопиритом, которые рассекают брекчированный агрегат ранних кварцевых сульфидных жил. Главными сульфидами ассоциации являются халькопирит и тесно сопряженный с ним пирит-II в виде идиоморфных кристаллов (рис. 5 Е), обогащенных мышьяком.

Доминирующие минералы серебра – фрейбергит-II и стефанит-II. Стефанит-II представлен вкрапленностью мелких зерен (тысячные-сотые доли мм) в матриксе халькопирита и локально отмечается в составе двухфазных сростаний с акантитом (рис. 5 Е), а также образует тонкие прожилки в раннем сфалерите (рис. 5 Д). Фрейбергит-II нередко выполняет многочисленные тонкие трещинки, секущие сфалерит-галенитовый агрегат ранней продуктивной ассоциации (рис. 5 Г). По составу фрейбергит-II аналогичен фрейбергиту-I. Отношение Ag/Ag+Cu практически не изменяется – 0.59–0.60, отношение Fe/Fe+Zn колеблется от 0.78 до 0.90 (среднее – 0.85 из 5 анализов).

В жильном матриксе присутствуют также выполняющие интерстиции между кристаллами кварца-III мелкие выделения халькопирита, аномально обо-

гащенного серебром – от 2.48 до 4.51 мас. % (табл. 1, anal. 33–35).

Обнаруженный в составе ассоциации электрум образует субмикроскопические включения в раннем сфалерите (рис. 5 Г). При содержаниях серебра 64.22 мас. % пробность электрума составляет 346. Примеси Те не обнаружено.

Гидротермально-метасоматическая микрофация – гидротермально переработанный минерализованный песчаник в околожильном пространстве рудной зоны № 1. Микрофация изучена на горизонте +500 м (камера 3). Песчаники здесь менее интенсивно переработаны по сравнению с выше описанной зоной прожилково-вкрапленных руд. В них кроме кварца, ортоклаза и серицита, присутствует марганцовистый железо-магнезиальный хлорит. В составе микрофации отчетливо различимы две минеральные ассоциации: допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая (1) и ранняя продуктивная Ag-сульфосолюно-полисульфидная (2).

(1) Допродуктивная кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация проявлена в виде рассеянной вкрапленности пирита и арсенопирита в преобразованном песчанике. Арсенопирит преобладает. Проведенное микрозондовое исследование показало наличие в центральной части кристаллов арсенопирита примесей Co (4.65 мас. %) и Ni (2.16 мас. %). В краевой части кристаллов Co и Ni не фиксируются, но установлена примесь Sb (до 0.80 мас. %) (рис. 6 А, Б; табл. 1, ан. 62–64). В пирите элементы-примеси не обнаружены.

(2) Ранняя продуктивная кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидная ассоциация. Главными минералами ассоциации являются галенит, сфалерит, халькопирит. Для сфалерита характерна высокая железистость (6.57–6.75 мас. % Fe), повышенные концентрации примесей меди (0.45–1.49 мас. %) и марганца (0.74–1.02 мас. %).

Халькопирит в тесных сростаниях с галенитом и сфалеритом не содержит в основном своем объеме элементы-примеси. Но здесь же присутствуют обособленные гнезда халькопирита предположительно более поздней генерации с аномально высокими содержаниями серебра – 5.13–6.18 мас. % Ag (табл. 1, anal. 68, 69).

Среди минералов серебра установлены лишь акантит и стефанит, образующие редкие включения в галените (рис. 6 В, Г).

Характерная особенность микрофации – присутствие в сульфидном матриксе мелких зерен ульманита (рис. 6 Г).

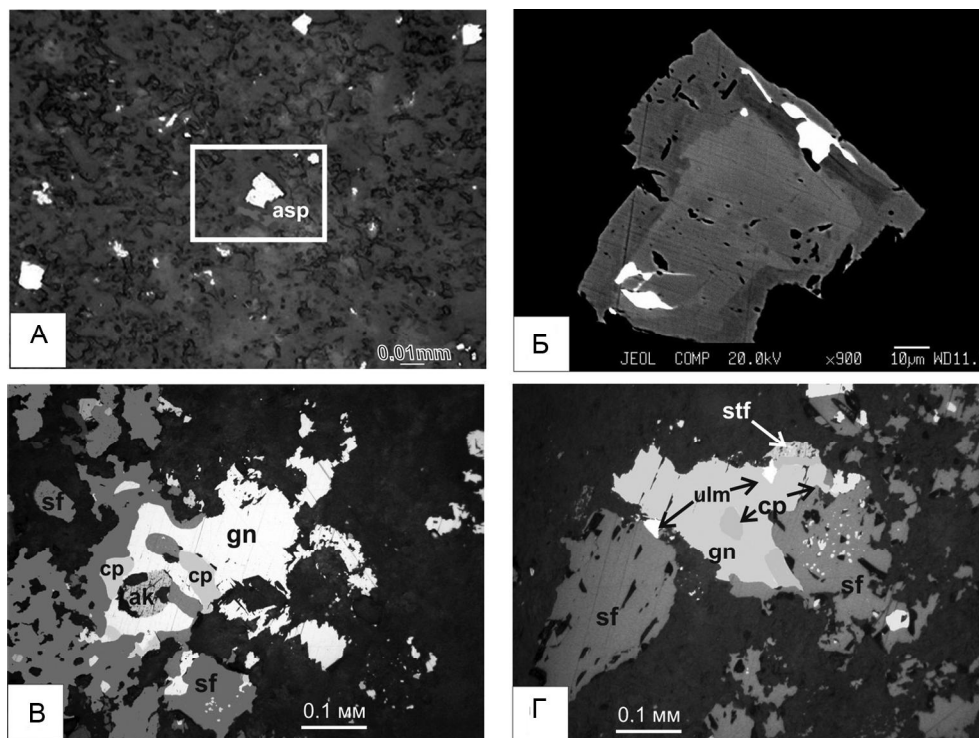


Рис. 6. Текстурно-структурные особенности и характер срастания рудных минералов в рудах стволовой жилы № 1. Гидротермально-метасоматическая микрофация руд.

А, Б – допродуктивная кварц-арсенопирит-пиритовая ассоциация: А – рассеянная вкрапленность гипидиоморфных кристаллов пирита и арсенопирита в матрице минерализованного песчаника, Б – деталь фото, съемка в режиме компо, зональный кристалл арсенопирита с ядром, обогащенным Co и Ni, и периферией с примесью Sb. Белые области – микровключения галенита.

В, Г – ранняя продуктивная кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидная ассоциация: В – акантит в мелких полисульфидных агрегатах, образующих густую вкрапленность в измененном песчанике, Г – формы выделения ульманита и стезфанита.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Наши наблюдения, вкпе с данными геолого-эксплуатационных работ, показывают, что зоны прожилково-вкрапленных руд, так называемые штокверки [10], и зоны стволовых жил на Майминовском месторождении в структурном плане идентичны. Все рудные тела на месторождении, без исключения, контролируются или непосредственно правыми сбросо-сдвигами северо-западной ориентировки, или дуплексными трещинными структурами их оперения. Повсеместно, в том числе и в зонах прожилково-вкрапленных руд, проявлен отчетливый литологический контроль – исключительная приуроченность рудных тел к пластам и горизонтам песчаников. Идентичен и характер гидротермальной переработки песчаников. На изученном гипсометрическом уровне как в зонах стволовых жил, так и в зоне прожилково-вкрапленных руд в составе новообразованных минералов метасоматически измененных песчаников доминируют кварц, серицит и ортоклаз, присутствует Fe-Mg хлорит.

Аналогичны также минеральный состав, типоморфные особенности минералов и стадийность формирования рудных агрегатов стволовых жил и зон прожилково-вкрапленных руд.

Как кварцево-рудные стволовые жилы, так и прожилки зон прожилково-вкрапленных руд (микрофация гидротермального выполнения полостей) были образованы в три стадии.

На *допродуктивной стадии* трещинные полости выполнялись кристаллическим кварцем с вкрапленностью пирита и арсенопирита, обогащенного сурьмой по периферии кристаллов. Арсенопирит кристаллизовался, по данным пирит-арсенопиритового геотермометра Д.С. Скотта (при измеренных средних содержаниях мышьяка – 30–31 атом. %), при температуре около 400 °С.

В ходе следующей *ранней продуктивной стадии* в жильных полостях формировался минеральный агрегат кварц-Ag-сульфосолюно-полисульфидной минеральной ассоциации. По данным сфалерит-галенитового сероизотопного геотермометра, в нашей работе было показано [3], что доминирующие в составе ас-

социации галенит и сфалерит кристаллизовались на изученных горизонтах +500 ÷ +560 м при температуре около 300 °С. При этом присутствие в составе ассоциации стефанита указывает, при учете экспериментальных данных [15], что гидротермальное рудообразование завершалось на ранней продуктивной стадии при температуре не выше 175 °С.

Поздняя продуктивная стадия связана с импульсом внутрирудного трещинообразования и брекчирования ранее образованных кварцевых жил и прожилков. Новообразованные трещинные полости выполнялись кварц-кальцит-халькопирит-пиритовым агрегатом с обильными сульфосолями серебра и редкой вкрапленностью электрума. Ориентируясь на идентичность набора Ag-сульфосолей и отсутствие значимых различий в составе фрейбергита – тонкого индикатора физико-химических условий минералообразования, можно предполагать, что условия формирования поздней и ранней продуктивных ассоциаций весьма близки. При этом следует подчеркнуть, что высокая сереброносность минерального агрегата поздней продуктивной стадии в стволочных жилах обусловлена не только обилием низкотемпературных Ag-сульфосолей, но также присутствием поздней низкотемпературной (?) генерации халькопирита, аномально обогащенной серебром (2.48–4.51 мас. % Ag).

Стадийный процесс формирования жил и прожилков находит соответствующее, но в то же время и специфическое, выражение в гидротермальной переработке вмещающих песчаников и формировании гнездовой вкрапленности рудных минералов в измененных породах (гидротермально-метасоматическая микрофация руд). Продуктами *допродуктивной стадии* в составе микрофации являются кварц-серицит-ортоклазовые метасоматиты с вкрапленностью пирита и арсенопирита, нередко обогащенного в ядрах кристаллов кобальтом и никелем. Эта обогащенность связывается с участием в минералообразовании металлов, которые высвобождаются при замещении песчаникового матрикса кварц-серицит-ортоклазовым агрегатом. Этот вывод вполне согласуется с последующим минералообразованием – формированием кобальтина [(Co,Ni)AsS], ульманита [NiSbS] и рутила [TiO₂] вслед за кристаллизацией Ni- и Co-содержащего арсенопирита. Происходит это непосредственно перед образованием гнездово-вкрапленных выделений галенита, сфалерита и фрейбергита следующей *ранней продуктивной стадии*. По составу рудные минералы, формирующиеся в зальбандах жил в процессе фильтрации растворов и выполнения порового пространства в измененных песчаниках, аналогичны минералам жил и прожилков. Галенит лишен элементов примесей (на уровне чувствительности микрзон-

да), но несет обильные включения сульфосолей серебра. Для сфалерита характерны высокие содержания изоморфного железа, отчетливо выраженная марганцовистость и спорадическая обогащенность кадмием. Еще более зримо сходство главного сереброносного минерала изученных микрофаций – фрейбергита. Оно проявлено как в его высокой сереброносности, так и в содержаниях железа, меди и цинка: при средних значениях отношениях Fe/Fe+Zn – 0.84 и 0.82 и Ag/Ag+Cu – 0.58 и 0.57, соответственно для микрофации гидротермального выполнения жил и прожилков и гидротермально-метасоматической микрофации руд.

Не вызывает сомнения, что микрофации руд формировались при участии единого гидротермального потока. Однако продукты *поздней продуктивной стадии* в околожилльном пространстве, в составе гидротермально-метасоматической микрофации руд, в отличие от собственно жил и прожилков, практически не проявлены. Это обусловлено, как нам представляется, тем, что позднее трещинообразование происходило без изменения структурного плана деформаций и унаследованно проявилось только как брекчирование ранее сформированных жил и прожилков. Тем не менее, можно предполагать, что в результате фильтрации растворов на поздней продуктивной стадии минеральные агрегаты в измененных песчаниках в околожилльном пространстве были дополнительно обогащены рудными компонентами. С этими процессами, вероятно, связано образование гнезд халькопирита, аномально обогащенного серебром, и присутствие вкрапленности электрума в сфалеритовом матриксе гнездово-вкрапленных руд.

Количественные оценки показывают, что сереброносность микрофаций руд определяется обилием в рудах главного минерала концентратора серебра – фрейбергита. При этом сереброносность микрофации гидротермального выполнения полостей определяется интенсивностью проявления рудообразования на поздней продуктивной стадии, когда формируется кварц-кальцит-электрум-Ag-сульфосольно-пирит-халькопиритовая ассоциация. В гидротермально-метасоматической микрофации сереброносность руд пропорциональна эффективной пористости пород как функции интенсивности гидротермальной переработки вмещающих песчаников. В силу этого аномально высокая сереброносность проявлена в зонах прожилково-вкрапленных руд, где эти факторы совмещены.

Специфика рудных минеральных микрофаций проявляется также в процессах их гипергенных преобразований. В особой мере это относится к сереброносным вторичным минералам. В рудах гидротермально-метасоматической природы развиты

Таблица 4. Сопоставление стадийности и особенностей состава минералов руд жильного Майминовского и скарнового Партизанского месторождений, по данным [13].

Стадии	Минеральные ассоциации и типоморфизм минералов	
	Партизанское скарновое месторождение. Группа Приконтактовых рудных тел. Верхняя часть. Горизонты: +215 ÷ +285 м	Майминовское жильное месторождение. Зона стволовой жильной зоны № 1 Горизонты: +500 ÷ +560 м
Допродуктивная	<u>Кварц + Арсенопирит</u> <i>Арсенопирит: Sb – до 0.24 мас. %</i>	<u>Кварц + Пирит + Арсенопирит</u> <i>Арсенопирит: Sb – до 1.55 мас. %</i>
Ранняя продуктивная	<u>Галенит + Сфалерит ± Халькопирит ± Фрейбергит</u> <i>Сфалерит: Fe – 4.80–8.50 мас. %; Cd – 0.3–0.6 мас. %; Mn – 0.2–0.5 мас. %</i>	<u>Галенит + Сфалерит + Халькопирит + Фрейбергит</u> <i>Сфалерит: Fe – 5.04–10.41 мас. %; Cd – 0.0–0.65 мас. %; Mn – 0.52–1.42 мас. %</i>
Поздняя продуктивная	<u>Галенит + Халькопирит + Фрейбергит + Стефанит + Пирит + Акантит + Самородное серебро*</u> <i>Халькопирит: до 0.2 мас. % Ag</i> <i>Фрейбергит: $Ag/(Ag + Cu) = 0.51–0.59$; $Fe/(Fe + Zn) = 0.86–0.97$</i> <i>Акантит: Cu – до 2.45 мас. %</i>	<u>Халькопирит + Пирит + Галенит + Фрейбергит + Стефанит + Пирит + Акантит + Электрум</u> <i>Халькопирит: до 2.48–4.51 мас. % Ag</i> <i>Фрейбергит: $Ag/(Ag+Cu) = 0.49–0.60$; $Fe/(Fe+Zn) = 0.81–0.94$</i> <i>Акантит: Cu – до 3.39 мас. %</i>

* – В корневых частях скарново-полиметаллических рудных тел Партизанского месторождения присутствует электрум.

гипергенные сереброносный ковеллин и гринокит, а в жильных рудах установлены необычно богатые серебром дигенит и борнит.

Следует иметь в виду, что указанные гипергенные минералы, обогащенные серебром, в традиционных схемах обогащения серебро-полиметаллических руд не улавливаются и уходят в хвосты.

Принципиально важным представляется сопоставление Майминовского месторождения и месторождений скарновых руд юго-западной части Дальнегорского района. В свете ранее опубликованных данных [3, 4, 9, 13] и результатов текущих исследований, можно утверждать, что Майминовское месторождение родственно скарновым месторождениям в отношении главных факторов геолого-структурного и магматического контроля оруденения. Это отчетливо проявлено в однотипной ассоциированности месторождений с вулканическими центрами палеоценового возраста и интрузиями гранитоидов дальнегорского рудоносного комплекса. И там и здесь размещение рудных тел контролируется разломами северо-западной ориентировки в сочетании со сдвигами северо-восточного простирания. Аналогия выражена также в минералогии и геохимии сульфидных руд. На Майминовском месторождении в ходе геолого-разведочных работ была зафиксирована такая же, как на скарновых,

вертикальная минералого-геохимическая зональность рудных тел [4]: в головной приповерхностной части руд проявлена их серебро-сурьмяная специализация, а на глубине, в корневой зоне рудных тел, доминируют существенно цинковые руды с висмут-серебряной геохимической специализацией.

По характеру описанной стадийности и минеральному составу сульфидно-сульфосольных ассоциаций руды штольневых горизонтов (отметки +500 и +560 м) Майминовского месторождения отвечают, по нашим данным [9, 13], рудам верхних горизонтов скарново-полиметаллических тел юго-западной части Дальнегорского района (табл. 4). Основным минералом концентратом серебра выступает фрейбергит. На диаграмме, характеризующей составы фрейбергита (рис. 7), видно, что блеклые руды Майминовского месторождения аналогичны по составу фрейбергита блеклым рудам верхних горизонтов Партизанского скарново-полиметаллического месторождения.

Проявляя отчетливо выраженное сходство со скарновыми маастрихт-палеоценовыми месторождениями, изученные руды Майминовского месторождения контрастно отличаются от кайнозойских серебряных жильных месторождений Сихотэ-Алиня. Типовым примером таких месторождений с рудами Ag-сульфосольного типа является расположенное

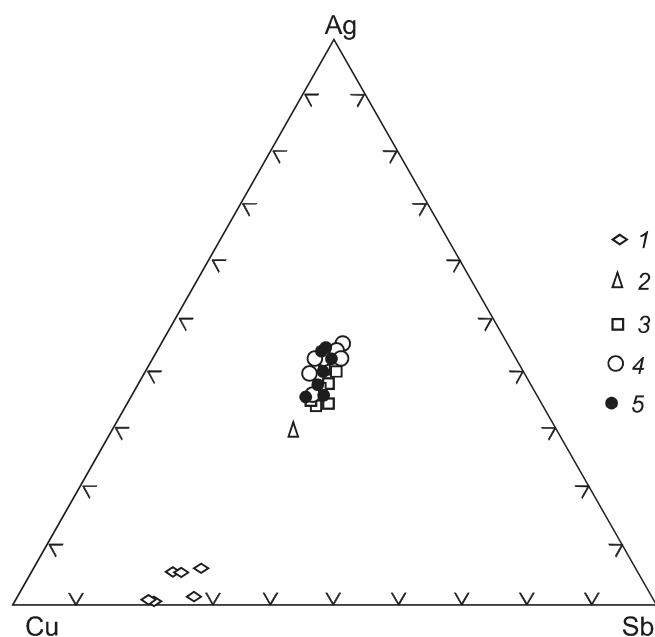


Рис. 7. Состав фрейбергита изученных минеральных ассоциаций Майминоовского жильного месторождения и блеклых руд Партизанского скарново-полиметаллического месторождения, по данным [13], в координатах Cu–Ag–Sb, ат. %.

1, 2, 3 – Партизанское месторождения (группа Приконтактных тел): 1 – нижняя часть рудных тел (гор. - 135 м), 2 – средняя часть (гор. +5 м), 3 – верхняя часть (гор. +285 м); 4, 5 – Майминоовское месторождение: 4 – гидротермально-метасоматическая микрофация руд, 5 – микрофация гидротермального выполнения жил и прожилков.

в 100 км севернее Майминоовского Таежное месторождение серебряных руд, ассоциированное с вулканическим центром эоценового возраста. Главной минералого-геохимической особенностью малосульфидных руд этого месторождения является, по нашим данным, их повышенная селеноносность. В галените, полибазите, стефаните, пираргирите и акантите Таежного месторождения селен изоморфно замещает серу в количестве до 5,98 мас. %. Фрейбергит относительно мало распространен и не содержит селена. Однако в рудах присутствует собственный минерал селена – агвиларит, образующий вросстки непосредственно во фрейбергите. Принципиально отлична и вертикальная зональность рудных тел. По нашим данным, на Таежном месторождении зональность проявлена по существу лишь в смене приповерхностных Ag-сульфосольных руд убогой минерализацией с доминирующим акантитом на глубине.

Все указанное, в рамках сравнения месторождений, является основанием утверждать, что Майминоовское месторождение неродственно серебряным месторождениям севера Сихотэ-Алиня, а может рас-

считываться как представитель единого маастрихт-палеоценового морфогенетического ряда (семейства) жильных и скарновых серебро-свинцово-цинковых месторождений Дальнегорского рудного района [8].

ВЫВОДЫ

Серебро-полиметаллические руды Майминоовского месторождения в жильных зонах СЗ разломов и аномально сереброносные зоны прожилково-вкрапленных руд в гидротермально переработанных песчаниках в оперяющих СЗ разломы трещинных дуплексных структурах не различаются на уровне микрофаций по характеру стадийности гидротермального процесса и минеральному составу руд.

Майминоовское месторождение ассоциировано с вулканической кальдерой маастрихт-палеоценового возраста и является по характеру стадийности рудообразования, минеральному составу руд и особенностям химического состава сульфидных минералов и сульфосолей серебра аналогом руд верхних горизонтов маастрихт-палеоценовых скарновых месторождений юго-западной части Дальнегорского района.

Основным минералом-концентратом серебра в рудах высоких штольневых горизонтов Майминоовского месторождения является сереброносный фрейбергит, но значительная часть серебра в рудах связана с вторичными гипергенными минералами и сереброносным халькопиритом. Это необходимо учитывать как негативный фактор, снижающий уровень извлечения серебра из руд в процессе их обогащения и последующей традиционной переработки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00106.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленичева А.А., Сахно В.Г. U-Pb датирование экструзивно-интрузивных комплексов рудных районов южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (Россия) // Докл. АН. 2008. Т. 419, № 1. С. 81–85.
2. Валуи Г.А. Петрология гранитоидов и дифференциация расплавов в малоглубинных условиях (Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс). Владивосток: Дальнаука, 2014. 231 с.
3. Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В., Раткин В.В., Логвенцев П.И. Изотопный состав серы сульфидов и кислорода кварца Майминоовского свинцово-цинкового месторождения // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 5. С. 37–46.
4. Веливецкая Т.А. Изотопно-геохимические закономерности формирования Майминоовского серебро-полиметаллического месторождения: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток: Дальнаука, 1996. 21 с.
5. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2-х кн. / Ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.

6. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.
7. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
8. 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. 35, № 6. С. 493–519.
9. Раткин В.В. Металлогения свинца и цинка Тихоокеанской окраины Азии: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М., 1995. 364 с.
10. Раткин В.В., Симаненко Л.Ф., Елисеева О.А. Типизация месторождений и ресурсный потенциал свинцово-цинковых и боросиликатных руд Дальнегорского рудного района (Сихотэ-Алинь) // Отеч. геология. 2016. № 4. С. 1–13.
11. Рогулина Л.И., Свешникова О.Л., Воропаева Е.И. Благороднометаллическая минерализация полиметаллических руд Майминового месторождения (Приморье) // Зап. РМО. 2009. № 5. С. 29–40.
12. Рогулина Л.И., Теребило В.И., Невструев В.Г., Воропаева Е.Н. Особенности штокверковой рудной минерализации Майминового месторождения (Приморье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., 31 марта–2 апреля 2015 г. / Отв. ред. А.Я. Биллер. Якутск: Изд. дом СВФУ, 2015. 561 с.
13. Симаненко Л.Ф., Раткин В.В. Партизанское скарново-полиметаллическое месторождение. М.: Наука, 2008. 158 с.
14. Тихоокеанская окраина Азии: Металлогения / Отв. ред. Е.А. Радкевич. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 204 с.
15. Чевычелов В. Ю. Экспериментальное исследование системы Sb-Ag-S при 100–400°C в гидротермальных условиях: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1981. 20 с.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

V.V. Ratkin, L.F. Simanenko, O.A. Eliseeva

Microfacies and mineral assemblages of silver-base-metal ores of the Maiminovskiy vein deposit (Sikhote-Alin, Dal'negorsk ore district)

Mineralogy of ores from the extended pipe-like vein bodies and local zones of veinlet-disseminated ores of the Maiminovskiy deposit has been studied. A comparison is made of the hydrothermal vein and veinlet filling with the hydrothermal-metasomatic ores from altered sandstones located close to the vein selvages. An identity of mineral assemblages and chemical composition of minerals of the studied microfacies is shown. The sole exception is the chalcopyrite characterized by anomalously elevated Ag value and found only in the hydrothermal pipe-like veins. All studied zones of the hydrothermal-metasomatic ores have common mineralogical and geochemical peculiarities. The specific features of its type, the ore of are expressed in the presence of Co and Ni admixtures in the minerals formed during metasomatic alteration of sandstone as well as in the occurrence of separate mineral phases of Co, Ni, and Ti (cobaltite, ulmanite and rutile). It is shown that in respect to mineralogy and geochemistry, the vein ores of the Maiminovskiy deposit are similar to the Ag-Pb-Zn ores occurred in the upper (near-surface) parts of ore bodies of the Dal'negorsk region skarn deposits.

Key words: mineral deposit, vein, silver-base-metal, galena, sphalerite, Ag-sulphosalts, electrum, Sikhote-Alin, Dal'negorsk ore district.