

НОВЫЙ ТИП СЕРЕБРЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПРИМОРЬЕ

В металлогенической специализации Приморья первостепенная роль принадлежит оловорудным, золоторудным и полиметаллическим месторождениям. Некоторые из этих месторождений существенно обогащены серебром. Собственно серебряных месторождений на территории Приморья пока не обнаружено. Однако в последние годы приморскими геологами выявлен ряд рудопроявлений, не имеющих промышленного значения, но характеризующихся очень интересной серебряной минерализацией.

Одно из таких рудопроявлений обнаружено в пределах рудного поля скарново-полиметаллических месторождений Приморья. Здесь в гранитах и габбро-диоритах, расположенных среди измененных эффузивов верхнего мела, прослеживается зона дробления северо-восточного простирания. Внутри зоны обособляется кварц-сульфидная жила, получившая название Серебряной. Падение жилы крутое — 80—90° на северо-запад. Породы на контакте с зоной дробления сильно изменены, окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы.

Жила преимущественно сложена кварцем различной степени зернистости от тонко- до среднезернистого, местами переходящего в рисовидный. Рудные минералы образуют в кварце мелкую, неравномерно рассеянную вкрапленность, в отдельных участках довольно густую, вследствие чего кварц приобретает серую и темносерую окраску. Иногда среди такого кварца наблюдаются гнезда, прожилки и полосы сплошных сульфидов, мощность которых редко превышает 5—6 мм. По минеральному составу в жиле выделяются и пространственно обособляются 2 типа руд: полиметаллический и сульфоантимонитовый. Главными рудными минералами полиметаллических руд являются арсенопирит, сфалерит, галенит, в значительно меньшей степени пираргирит. Сульфиды составляют около 50—60% от общей массы жилы. Среди жильных минералов наряду с кварцем заметную роль играют карбонаты, из которых количественно преобладает родохрозит.

Доля рудных минералов в сульфоантимонитовых рудах значительно меньше, чем в полиметаллических и, как правило, не превышает 30%. Характер распределения весьма неравномерный. Главными рудными минералами сульфоантимонитовых руд являются андорит, джемсонит и пираргирит. Значительно уменьшается роль сфалерита и арсенопирита, полностью исчезает галенит, но при этом появляется антимонит.

Выделенные типы руд различаются и в текстурном отношении. Для сульфоантимонитовых руд характерны исключительно вкрапленные текстуры, среди полиметаллических наряду с вкрапленными часто наблюдаются полосчатые текстуры. Асимметрично-полосчатое строение жилы обусловлено наложением последующих стадий минерализации на первую вследствие повторного приоткрывания одной и той же трещины. Количество и состав полос в различных участках жилы различны. Так, в одних случаях вдоль одного из зальбандов жилы тянется полоса буланжерит-галенитового состава, в то время, как остальная часть жилы, отделенная от галенитовой полосы глиной притирания, сложена кварцем с гнездами арсенопирита и вкрапленностью пирита.

В других участках жилы обособлены три полосы различного состава: кварц-арсенопиритовая, родохрозитовая (с вкрапленностью сфалерита) и пираргирит-джемсонитовая. Пираргирит-джемсонитовая полоса обычно наблюдается в центре жилы. Контакт ее с кварц-арсенопиритовой полосой всегда резкий, с родохрозитовой — порой нечеткий, с явными признаками замещения родохрозита минералами пираргирит-джемсонитовой стадии. При этом в сторону родохрозита отходят

Т а б л и ц а 1
Минеральный состав различных типов руд

Руды	Полиметаллические руды	Сульфоантимонитовые руды
Преобладающие (более 40%)	Кварц	Кварц
Главные (более 10%)	Родохрозит, арсенопирит, сфалерит	
Второстепенные (от 1 до 10%)	Галенит, пираргирит*, жемсонит*, буланжерит, кальцит	Андорит, жемсонит, пираргирит, миаргирит, арсенопирит кальцит
Редкие (менее 1%)	Фрейбергит, халькопирит, диафорит, овихит, миаргирит*	Пирит, фрейбергит марказит, антимонит

*Минералы наложенной сульфоантимонитовой стадии.

довольно многочисленные волосовидные прожилки жемсонитового и пиритового (пирит II) состава.

Отмеченное выше обособление в пространстве руд различного состава, по-видимому, можно рассматривать как проявление горизонтальной зональности месторождения. Детальное изучение состава руд показало, что наложение последующих стадий минерализации порой затушевывает картину зональности, но тем не менее основные черты её проявлены четко и свидетельствуют об определенной последовательности развития процессов минералообразования.

Общий список минералов жилы Серебряной приведен в табл. 1. Ниже дается описание лишь некоторых из них, в основном различных сульфосолей, представляющих наибольший минералогический интерес. Широкое развитие сульфосолей является одной из особенностей минерального состава жилы Серебряной. Наиболее высок их удельный вес в сульфоантимонитовых рудах. Все сульфосоли на месторождении представлены исключительно сурьмяными разновидностями. Среди них различаются сульфосоли меди: тетраэдрит, свинцовые сульфосоли: буланжерит и жемсонит; серебро-свинцовые: диафорит, овихит, андорит и серебряные сульфосоли: миаргирит и пираргирит.

Основная масса сульфосолей рассеяна в кварце в виде мельчайшей (доли миллиметра) вкрапленности. Для андорита, а нередко и для пираргирита характерны более крупные вкрапленные зерна. Буланжерит вместе с галенитом образует в призальбандовой части жилы полосу массивного сложения. В многочисленных мелких полостях, наблюдающихся между кристаллами рисовидного кварца, а также в более крупных друзовых пустотках часты одиночные кристаллики сульфосолей: андорита, овихита, пираргирита и жемсонита. Последний нередко образует в этих пустотах своеобразные войлокоподобные скопления. Размеры кристаллов сульфосолей невелики, в основном 1—3 мм в длину.

В ряду последовательности выделения минералов сульфосоли следуют за простыми сульфидами: пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, что и определяет их взаимоотношения с этими минералами. В то время как названные сульфиды

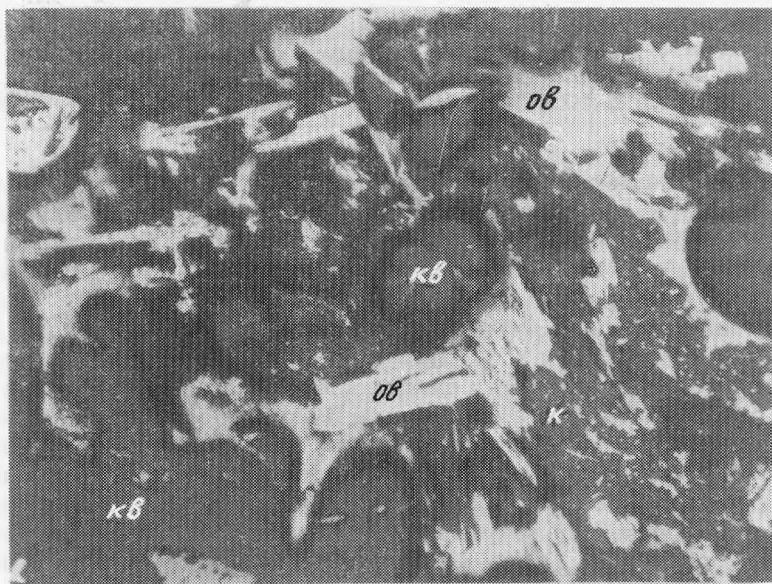


Рис. 1. Приуроченность выделений овихита (ов) и кальцита (к) к интерстициям между кристаллами кварца (кв). Аншлиф, увел. 300

приурочены к раннему кварцу, по отношению к которому в той или иной степени идиоморфны, сульфосоли всегда выполняют пространство между зернами этого кварца, что и определяет форму их гнездовых обособлений (рис. 1). В отличие от ранних сульфидов, связанных с кварцем, отложение большинства сульфосолей, за исключением андорита, сопровождалось карбонатами.

Блеклая руда встречается в рудах сравнительно редко, причем в сульфоантимонитовых рудах заметно реже, чем в полиметаллических. Она наблюдается как в виде самостоятельных зерен, так и в виде мелких включений в сфалерите и галените.

С образованием блеклой руды связано начало выделения сульфосолей на месторождении. Кристаллизуясь непосредственно после галенита, с которым она иногда образует мирмекитовые сростания, блеклая руда замещается большинством известных в жиле сульфосолей: буланжеритом, диафоритом, пирагиритом и джемсонитом. Согласно данным рентгено-спектрального анализа блеклая руда жилы Серебряной представлена серебросодержащим тетраэдритом или фрейбергитом¹ (табл. 2). Содержание серебра во фрейбергитах из различных ассоциаций, а также в разных зернах минерала из одной и той же ассоциации неодинаково и колеблется в интервале от 25,23 до 39,04% (табл. 2). Наименьшее количество серебра установлено во фрейбергитах, ассоциирующих с галенитом и буланжеритом (обр. 502). Более богаты серебром фрейбергиты из ассоциации с диафоритом, овихитом и пирагиритом) (обр. 501, 509, 805). Фрейбергиты, как правило, однородны. Лишь в одном из образцов при исследовании поверхности в поглощенных электронах в виде мелких выделений наблюдалась вторая фаза фрейбергита, состав которой определить не удалось.

Все проанализированные фрейбергиты происходят из полиметаллического типа руд. Но в то время, как ассоциация: фрейбергит — галенит — буланжерит характерна

¹ В вопросе о номенклатуре блеклых руд до сих пор много спорного. Рили [1] предлагает относить к фрейбергитам тетраэдрит с содержанием серебра более 20%. Э.М. Спиридонов, руководствуясь рекомендациями Международной минералогической ассоциации, считает, что количество серебра во фрейбергитах должно составлять не менее 5 формульных единиц, т.е. 28,5% [2].

Т а б л и ц а 2

Химический состав сульфосолей свинца, меди и серебра (в вес. %)

Элемент	Джемсонит	Фрейбергиты			
		обр. 502	обр. 509	обр. 805	обр. 501
Pb	40,27				
Fe	2,63	4,70	4,40	4,77	Не опр.
Cu	—	21,96	13,95	14,25	15,36
Ag	—	25,23	31,42	33,54	39,04
Zn	—	0,95	1,88	—	Не опр.
Sb	35,07	26,39	25,52	25,16	24,56
S	21,46	22,56	21,33	21,85	20,84
Сумма	99,43	101,79	98,50	99,57	99,80

Формулы минералов:

джемсонит — $Pb_{4,05}Fe_{0,98}Sb_{6,01}S_{13,97}$

фрейбергиты:

обр. 502 — $(Cu_{6,27}Ag_{4,25}Fe_{1,53}Zn_{0,95})_{12,31}Sb_{3,93}S_{12,77}$ обр. 509 — $(Cu_{4,26}Ag_{5,66}Fe_{1,53}Zn_{0,56})_{12,01}Sb_{4,07}S_{12,92}$ обр. 805 — $(Cu_{4,31}Ag_{5,98}Fe_{1,64})_{11,93}Sb_{3,97}S_{13,10}$ обр. 501 — $(Cu_{4,81}Ag_{7,21})_{12,02}Sb_{4,01}S_{12,94}$

П р и м е ч а н и е. Условия съемки на микроанализаторе (здесь и табл. 4): ускоряющее напряжение — 30 кВ, сила тока — 50 нА.

Аналитические линии: — AgL_{α_1} ; PbL_{α_1} ; SbL_{α_1} ; SK_{α} ; FeK_{α_1} ; ZnK_{α} ; CuK_{α} . Эталоны: для Ag, Cu, Zn, Fe и Sb — чистые металлы, для Pb и S — PbS (синтетический).

для чисто полиметаллических руд, ассоциация: фрейбергит — диафорит — пираргирит появляется в полиметаллических рудах лишь при наложении на них более поздних растворов. С воздействием этих растворов на ранний фрейбергит и связано, по-видимому, возникновение высокосеребристых разностей блеклых руд.

Сульфосоли свинца

В ряду последовательности выделения минералов представители этой группы сульфосолей: *буланжерит* и *джемсонит* — разорваны во времени и как следствие этого, в значительной степени разобщены в пространстве. Если кристаллизация буланжерита, происходившая вслед за тетраэдритом, по существу открывает процесс отложения сульфосолей на месторождении, то джемсонит — завершает его. В то время как буланжерит встречается исключительно в полиметаллических рудах, джемсонит характерен для сульфоантимонитовых руд, в которых является ведущим рудным минералом. Встречается он в подчиненном количестве и в полиметаллических рудах, но лишь при наложении на ранние минеральные комплексы более поздней серебро-сульфоантимонитовой минерализации. В своих выделениях буланжерит тяготеет к галениту, вместе с которым слагает призматическую полосу шириной в 5—6 мм в полосчатой жиле. Для джемсонита характерна приуроченность к интерстициям в кварце, а также скопления волосовидных кристаллов в друзовых пустотах и мелких полостях между кристаллами рисовидного кварца. Наиболее крупные кристаллы джемсонита достигают 1 см в длину.

Как известно, сульфоантимониты свинца обладают чрезвычайно близкими физическими свойствами, делающими порой невозможным выделение среди них отдельных минеральных видов. Однако некоторые различия все-таки можно уловить. Так, джемсонит и буланжерит в жиле Серебряной отличаются друг от друга



Рис. 2. Замещение диафорита (дф) (сдвойникован) тонконгольчатый агрегатом джемсонита (дж). Аншлиф, с анализатором, увел. 200

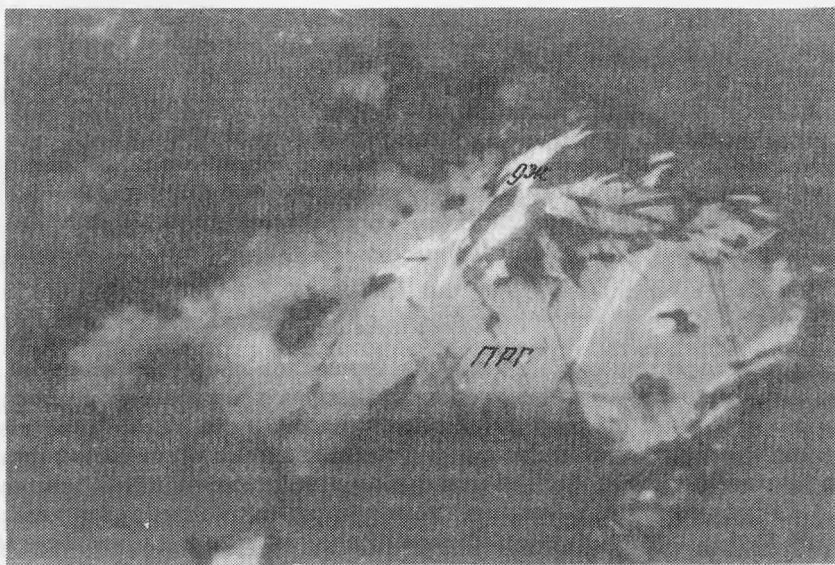


Рис. 3. Замещение пираргирита (прг) игольчатым джемсонитом (дж). Аншлиф, увел. 125

прежде всего формой выделения. Плотные массы буланжерита обнаруживают под микроскопом тонковолокнистое строение, причем волокна буланжерита значительно мельче и короче, чем у джемсонита. Игольчатые кристаллы джемсонита обычно сильно вытянуты и дают в продольных и поперечных сечениях форму ромба и различного рода прямоугольников.

Цвет кристаллов джемсонита железо-черный с синеватой побежалостью и сильным металлическим блеском. Буланжерит свинцово-серый и по сравнению с галенитом, с которым находится в сростании, более светлый и тусклый.

В полированных шлифах в отраженном свете оба минерала — белые, но у

буланжерита ярче выражен зеленоватый по сравнению с галенитом оттенок. Двуетражение у обеих сульфосолей слабое, анизотропия отчетливая, у джемсонита — более сильная.

Минералы уверенно диагностируются на основе данных порошкограмм. При диагностике джемсонита из микровключений в других минералах пришлось прибегать к определению состава минерала с помощью микрозонда. Результаты определения состава джемсонита приведены в табл. 2.

Как уже отмечалось, кристаллизация буланжерита связана с ранними стадиями минерализации и следовала за галенитом и тетраэдритом. Зерна этих минералов интенсивно, нередко почти нацело, замещаются волокнистым агрегатом буланжерита. Из более ранних минералов буланжеритом замещается также сфалерит.

Джемсонит по существу завершает процесс рудообразования на месторождении. Лишь небольшое количество антимонита, по-видимому, выделилось уже после джемсонита. Джемсонит замещает практически все более ранние минералы: арсенопирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, диафорит, марказит, андорит, миаргирит и пираргирит. В зернах этих минералов часты идиоморфные включения джемсонита в виде ромбов и прямоугольников, являющиеся результатом прорастания этих минералов игольчатыми кристаллами джемсонита. Столь позднее выделение джемсонита нетипично для серебро-полиметаллических месторождений. В этих месторождениях кристаллизация свинцовых сульфосолей обычно предшествует отложению свинцово-серебряных сульфосолей, завершают же процесс минералообразования, как правило, сульфосоли серебра. Иной порядок кристаллизации сульфосолей в жиле Серебряной хотя и необычен, но не вызывает сомнений. О более позднем выделении джемсонита по отношению к свинцово-серебряной сульфосоли диафориту свидетельствует факт пересечения полисинтетических двойников диафорита иглами джемсонита (рис. 2). Замещение сульфосолей серебра (миаргирита и пираргирита) игольчатым агрегатом джемсонита также выражено отчетливо и обычно происходит с краев зерен к центру (рис. 3).

СУЛЬФОСОЛИ СВИНЦА И СЕРЕБРА

Андорит характерен только для сульфоантимонитовых руд, в которых является главным рудным минералом. Он представлен преимущественно удлиненно призматическими, реже линзовидными или неправильными зернами, размер которых значительно превышает размер выделений остальных сульфидов. Обычно размер зерен андорита составляет 6—8 мм в длину. Распределение в жиле неравномерное. Основная масса андоритовых зерен сосредоточена в приальбандовых частях жил, где концентрация их весьма высока. В центральной части жилы, где сосредоточена основная масса сульфосолей, количество вкрапленных зерен андорита невелико. Наблюдается определенная приуроченность выделений андорита к участкам развития белого кварца в теле жилы. В сером кварце, к которому приурочены джемсонит и пираргирит, андорит встречается редко.

Андорит характеризуется стально-серым цветом и сильным металлическим блеском. В зоне окисления поверхность многих зерен андорита тускнеет и становится свинцово-серой.

В полированных шлифах в отраженном свете андорит — белый, сходен с галенитом, но отличается от него слабой анизотропией. Значения отражательной способности андорита, измеренные для всей видимой длины волны, даны в табл. 3.

Андорит жилы Серебряной в отличие от андорита ряда других месторождений (Оуро в Боливии; Бая Сприя в СРР) характеризуется однородностью состава. Как показали наши более ранние исследования, природные андориты часто неоднородны и представляют собой сростания двух различных, но близких по составу фаз [1].

Результаты микрозондового анализа андорита из жилы Серебряной приведены в табл. 4. Пересчет данных анализа приводит к формуле $Ag_{1,06}Pb_{0,97}Sb_{2,93}S_{6,03}$, что

Т а б л и ц а 3

Дисперсия отражательной способности свинцово-серебряных сульфосолей

λ , нм	Диафорит		Овихиит		Андорит	
	R_g'	R_p'	R_g'	R_p'	R_g'	R_p'
420	39,8	37,0	43,0	39,4	40,4	35,5
440	39,8	37,0	43,1	39,4	40,7	35,7
460	39,8	37,0	43,1	39,3	40,8	35,9
480	39,7	36,9	43,0	39,0	40,8	35,9
500	39,5	36,5	42,6	38,6	40,7	35,6
520	39,2	36,2	42,4	38,3	40,6	35,5
540	39,0	36,0	42,1	38,0	40,3	35,1
560	38,8	35,6	42,0	37,8	40,0	35,0
580	38,6	35,3	41,8	37,5	39,8	34,8
600	38,3	35,0	41,4	37,3	39,3	34,5
620	38,0	34,7	40,7	37,0	39,0	34,2
640	37,7	34,3	40,2	36,5	38,4	33,8
660	37,3	33,9	39,6	36,1	37,8	33,4
680	37,0	33,6	38,8	35,6	37,0	32,9
700	36,7	33,2	38,1	35,2	36,7	32,6

П р и м е ч а н и е. Отражательная способность свинцово-серебряных сульфосолей измерялась Л.И. Бочек (ЦНИГРИ) на микроспектрофотометре МРМ 01 фирмы Ортоп. Объектив 40× 0,85, зонд 6 мкм.

Т а б л и ц а 4

Химический состав сульфосолей серебра (в вес. %)

Элементы	Овихиит	Диафорит	Андорит	Миаргирит	Пираргирит
Ag	6,55	23,16	13,04	36,24	59,25
Pb	44,37	31,62	22,87	—	—
Sb	29,92	26,75	40,72	41,68	21,76
S	19,75	18,81	22,05	21,87	17,44
Сумма	100,59	100,34	98,68	99,79	98,45

отвечает крайнему члену гомологической серии андорита. Недавними исследованиями Н.Н. Мозговой было показано, что андорит вместе с андоритоподобными минералами, к которым относятся физелиит, рамдорит, сундити наказеит, образует единую гомологическую серию, члены которой представляют собой сверхструктуры, различающиеся величиной параметра $c:2c'$; $6c'$; $24c'$, где $c' = 0,429$ нм [2]. Согласно нашим определениям, выполненным на основе монокристалльной съемки, параметр c_0 элементарной ячейки андорита из жилы Серебряной равен $25,11 \text{ \AA}$, что составляет $6c'$. Дебаеграмма андорита приведена в табл. 5.

Андорит, по-видимому, единственный из сульфосолей минерал, кристаллизация которого сопровождалась кварцем. Его выделения всегда приурочены только к кварцу, преимущественно к белому. Основная масса зерен андорита идиоморфна по отношению к кварцу. Однако некоторые, обычно более мелкие, зерна андорита наблюдаются и в интерстициях между его кристаллами. Возможно, они представляют собой более поздние выделения андорита.

Будучи, по-видимому, оторванным по времени кристаллизации от остальных сульфосолей, андорит несколько обособлен от них в жиле и пространственно. Он практически не дает сростаний с другими минералами. Случаи замещения его более поздними минералами достаточно редки. Среди них нужно отметить замещение

Таблица 5

Межплоскостные расстояния сульфоантимонитов свинца и серебра

Андорит		Диафорит		Овихит	
<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
0,5	3,87			1	3,90
		8	3,29		
2	3,73	3	2,95	2	3,68
		2	2,88	5	3,59
5	3,42	10	2,81	8	3,47
		0,5	2,24	6	3,36
6	3,30	1	2,08	10	3,24
0,5	3,25	5	2,03	4	3,12
1	3,20	2	1,994	2	3,02
2	3,00			6	2,94
10	2,89	0,5	1,839	6	2,84
6	2,75	0,5	1,791	1	2,76
1	2,27	2	1,759	2	2,63
1	2,13	2	1,706	2	2,40
1	2,09	2	1,698	3	2,23
3	2,07	1	1,655	8	2,23
3	2,01	1	1,462	6	2,12
2	1,973	2	1,403	8	2,05
2	1,923			3	2,01
1	1,895			1	1,950
1	1,824			1	1,917
1	1,791			4	1,868
1	1,723			1	1,817
2	1,692			3	1,780
1	1,654				

Условия съемки: λ — Си; 35 кВ, 12мА; камера РКД-57,3 мм; образец $d = 0,3$ мм.

пираргиритом, и, кроме того, включения джемсонита и антимонита, являющиеся результатом "прорастания" зерен андорита игольчатыми кристаллами этих минералов. В зоне окисления андорит весьма неустойчив, замещается акантитом, различными охрами и гидрогетитом.

Диафорит — редкий минерал как в полиметаллических, так и в сульфоантимонитовых рудах. Зерна его неправильной формы, размером в доли миллиметра, приурочены к интерстициям в кварце. Иногда это мономинеральные зерна, но значительно чаще сростания с другими минералами. В полиметаллических рудах диафорит обычно развивается по тетраэдриту и галениту. В последнем случае при этом возникают своеобразные миремкитоподобные структуры. Нередко зерна диафорита замещены пираргиритом и джемсонитом (рис. 2).

Диагностика диафорита достаточно сложна. В полированных шлифах в отраженном свете диафорит белый со слабым зеленоватым оттенком, который улавливается лишь в непосредственном контакте с галенитом. Результаты измерения отражательной способности диафорита даны в табл. 3. Диафорит слабо анизотропен, может быть даже принят за изотропный. Выявлению анизотропии помогают полисинтетические двойники, нередко наблюдающиеся в зернах диафорита.

Микрозондовый анализ диафорита (табл. 4) отвечает формуле $Ag_{2,93}Pb_{2,08}Sb_{3,0}S_{8,0}$. Однако, как известно, химический состав диафорита очень близок составу

фрейслебенита, за диморфную разность которого долгие годы принимали диафорит. Поэтому для уверенной диагностики диафорита необходимы данные его порошкограммы (табл. 5).

Овихиит установлен лишь в нескольких аншлифах полиметаллических руд, где его тонкоигольчатые выделения размером в доли мм приурочены к карбонату, выполняющему интерстиции в кварце (рис. 2). Кроме того, в друзовых пустотках среди кварца иногда встречаются скопления волосовидных кристалликов овихиита черного (за счет побежалости) цвета.

Под микроскопом в отраженном свете овихиит серовато-белый с отчетливым двуотражением и сильной анизотропией. Величины отражательной способности R овихиита, измеренной для всей видимой области спектра, приведены в табл. 3.

По данным рентгено-спектрального анализа (табл. 4) овихиит в жиле Серебряной представлен близкой по составу к теремковиту разновидностью. Пересчет анализа приводит к формуле $Ag_{1.98}Pb_{6.97}Sb_{8.00}S_{20.00}$. Овихиит с подобным соотношением Ag и Pb ранее был установлен нами в месторождении Южное [4], кроме того, находки его известны в ряде месторождений Восточного Забайкалья и Якутии [5, 6], а также за рубежом [9]. Дебаграмма этого малосеребристого овихиита близка эталонной, полученной для овихиита состава $Ag_2Pb_5Sb_6S_{15}$ (табл. 5) (10).

СУЛЬФОСОЛИ СЕРЕБРА

Эта группа сульфосолей представлена двумя минералами: *миаргиритом* и *пираргиритом*. Оба минерала широко и, по-видимому, в равной степени распространены в рудах месторождения.

Минералы обладают близкими физическими свойствами и в мелких выделениях на глаз практически не различимы. Пираргирит связан с заключительной стадией минералообразования на месторождении. В сульфоантимонитовых рудах вкрапленность пираргирита всегда приурочена к интерстициям между кристаллами кварца, где тесно ассоциирует с наиболее поздними минералами — миаргиритом, джемсонитом и антимонитом. В полиметаллических рудах пираргирит вместе с арсенопиритом II, джемсонитом и поздним кварцем нередко обособляется в виде самостоятельных полос или прожилков, секущих более ранние минеральные комплексы.

Размер вкрапленных зерен пираргирита варьирует в широких пределах от долей до 6—7 мм. Зерна размером в 1—2 мм достаточно часты. Обладая свинцово-серым цветом, пираргирит отчетливо выделяется на общем сером фоне кварц-сульфидной массы благодаря сильному алмазному блеску зерен. Кристаллы пираргирита из друзовых пустот обычно обладают железо-черным цветом и пурпурно-красной чертой.

В отраженном свете в полированных шлифах пираргирит — белый с синевато-серым оттенком, отчетливым двуотражением, сильной анизотропией и кармино-красными внутренними рефлексами. Миаргирит по своим оптическим свойствам близок к пираргириту, отличаясь от него более высокой отражательной способностью, очень слабым голубоватым (а не синеватым) оттенком и отсутствием внутренних рефлексов (они наблюдаются у миаргирита лишь в иммерсии).

Порошкограммы пираргирита и миаргирита в достаточной степени индивидуализированы и легко позволяют провести различие между этими минералами. Составы пираргирита и миаргирита согласно данным рентгено-спектрального анализа (табл. 4), близки к теоретическим.

Миаргирит и пираргирит часто образуют сростания друг с другом. Границы сростаний довольно ровные и вопрос о возрастных взаимоотношениях этих минералов решается в достаточной степени условно. Скорее всего, что миаргирит, выделения которого иногда полностью заключены в пираргирите, кристаллизовался раньше. Взаимоотношения пираргирита с остальными минералами жилы достаточ-

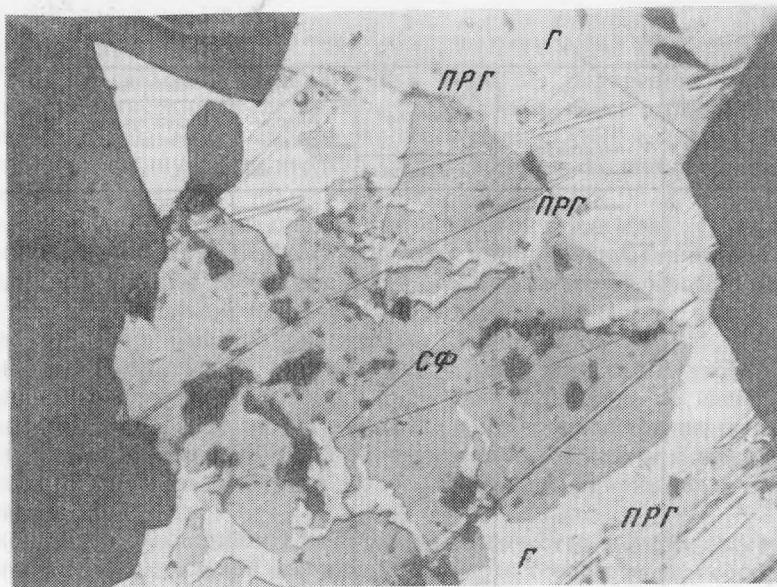


Рис. 4. Замещение галенита (г) и сфалерита (сф) пираргиритом (прг). Аншлиф, увел. 250

но определены и свидетельствуют о его позднем выделении. Прожилки пираргирита наблюдаются в раннем арсенипирите, сфалерите, фрейбергите. Он замещает такие минералы, как галенит (рис. 4), диафорит, андорит, марказит. При замещении им галенита иногда возникают мирмекитовые структуры. Будучи связан с заключительной стадией минералообразования, пираргирит тем не менее не завершает ее, как это часто наблюдается в подобных месторождениях. Кристаллизация его сменяется выделением джемсонита, за которым следует антимонит. Хотя характер развития джемсонита по пираргириту, как уже говорилось, свидетельствует о более позднем выделении джемсонита, наблюдающаяся иногда коррозия его кристаллов может служить указанием на существование некоторого периода совместной кристаллизации пираргирита и джемсонита.

Все описанные выше сульфосоли серебра являются носителями серебра в рудах. Из них ведущая роль принадлежит андориту и пираргириту. Вклад галенита в сереброносность руд невелик. Хотя содержания серебра в галените достаточно высоки (0,6—0,8%), распространенность его в рудах весьма ограничена. В окисленных рудах в качестве носителя серебра выступает также акантит, развивающийся по андориту.

СТАДИИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ

Изучение текстурно-структурных особенностей и минерального состава руд позволило выделить на месторождении четыре минеральные ассоциации и соответствующие им стадии минерализации: кварц-арсенипиритовую, карбонат-галенитовую, сульфoантимонитовую и антимонитовую. Названные минеральные ассоциации в одних случаях пространственно обособлены, в других, напротив, совмещены, образуя сложные по составу руды.

Описанная выше горизонтальная зональность в пространственном размещении руд различного типа является по своему характеру стадийной зональностью и выражается в пространственном размежевании минеральных ассоциаций. Заметим, что стадийная зональность, на наш взгляд, не связана с импульсной подачей изначально новых растворов из магматического источника, а является проявлением

Таблица 6

Стадии минерализации и последовательность выделения гипогенных минералов в жиле Серебряной

Стадия минерализации Минералы	Кварц-арсенопиритовая	Карбонат галенитовая		Сульфоантимонитовая		Антимонитовая
		2 подстадии	Андоритовая	подстадии		
				Пираргирит-жемсонитовая		
Кварц	—		—	—		
Пирит	—		—			
Арсенопирит	—		—			
Сфалерит	—		—			
Галенит		—				
Родохрозит		—				
Кальцит		—				—
Фрейбергит		—				
Халькопирит		—				
Буланжерит		—				
Овихиит		—				
Диафорит		—				
Андорит			—			
Марказит				?		
Миаргирит					—	
Пираргирит					—	
Жемсонит					—	
Антимонит						—

закономерно развивающихся тектонических рудовмещающих структур на фоне эволюции единого раствора по пути его движения к месту разгрузки.

Самой ранней минеральной ассоциацией на месторождении является кварц-арсенопиритовая. К ней также относятся пирит и сфалерит, количественно уступающие арсенопириту. Этот ранний минеральный комплекс широко развит в полиметаллических рудах, где порой слагает большую часть жилы.

В полосчатых участках жилы минералы этой стадии оказываются обособленными от более поздних минеральных комплексов.

Многочисленные прожилки, наблюдавшиеся в пределах рудной зоны в удалении от жилы Серебряной, сложены минералами ранней минеральной ассоциации (табл. 6).

Следующая по времени выделения карбонат-галенитовая ассоциация уступает по распространенности кварц-арсенопиритовой и сульфоантимонитовой минеральным ассоциациям. Главные минералы этой ассоциации представлены галенитом, буланжеритом и фрейбергитом. Резко подчиненную роль играют сфалерит и свинцово-серебряные сульфосоли: овихиит и диафорит, тесно ассоциирующие с галенитом. Очень широко развиты карбонаты родохрозит и кальцит.

Внутри этой стадии можно выделить две подстадии. С первой, более ранней, связано образование сфалерита и родохрозита, со второй — кальцита, галенита и более поздних сульфосолей. Благодаря внутрирудным подвижкам минералы этих подстадий иногда оказываются пространственно обособленными — в виде самостоятельных прожилков или полос в сложной полосчатой жиле.

Значительной интенсивностью проявления в жиле пользуется сульфоантимонитовая минеральная ассоциация. С ней связано образование наиболее распространенных в жиле сульфосолей, таких как андорит, пираргирит и джемсонит. Второстепенные минералы представлены миаргиритом, пиритом II, арсенопиритом I и марказитом. Среди жильных минералов ассоциации количественно преобладает кварц; резко подчиненную роль играет кальцит, всегда выполняющий пространство между зернами кварца.

Среди минералов, образовавшихся в течение этой стадии, можно выделить два минеральных комплекса. К первому относятся андорит, кристаллизация которого сопровождалась кварцем. Ко второму — все остальные сульфосоли, выделение которых связано с кальцитом, вместе с которым они всегда используются для отложения интерстиции между кристаллами кварца.

В сульфоантимонитовых рудах развиты все минералы этой стадии. В полиметаллических рудах встречаются лишь минералы более позднего минерального комплекса, которые в виде самостоятельных прожилков пересекают более ранние минеральные ассоциации или образуют полосу в центре жилы в результате приоткрывания ее вдоль контакта полос кварц-арсенопиритового и сфалерит-родохрозитового состава.

Антимонит, встречающийся в небольшом количестве в жиле, отнесен нами к самостоятельной минеральной ассоциации по чисто теоретическим соображениям. Парагенезис антимонита с сульфоантимонитами невозможен, поскольку в силу амфотерности сурьмы она при pH ниже 8 фигурирует как катион, выделяясь в антимоните, а при pH выше 8 образует комплексные анионы с серой, давая начало сульфоантимонитам. Антимонит пространственно не обособлен от более ранних минералов сульфоантимонитовой стадии и использует так же, как они, для своего отложения интерстиции между кристаллами кварца.

Сопоставление минеральных ассоциаций позволяет наметить ход процесса рудообразования на месторождении. Он характеризуется последовательной сменой во времени сульфидов железа сульфидами цинка, а затем свинца, которые в свою очередь сменяются сульфосолями, представленными исключительно сурьмяными разновидностями. Завершается процесс кристаллизацией антимонита. В отложении сульфосолей также прослеживается определенная последовательность. Первыми выделяются сульфосоли меди, далее следуют свинцовые, затем серебряно-свинцовые сульфосоли и, наконец, сульфосоли серебра.

Подобная последовательность в отложении сульфосолей весьма характерна для серебряно-свинцовых месторождений и установлена в ряде как зарубежных, так и отечественных месторождений подобного типа. Однако между жилой Серебряной и этими месторождениями, и, в частности, серебряно-свинцовыми месторождениями Якутии [6] и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса [7], существуют принципиальные различия. На смену сульфосолям серебра в этих месторождениях, как правило, приходят сульфид серебра (акантит) и самородное серебро, которые завершают процесс рудоотложения. В жиле Серебряной за кристаллизацией сульфосолей серебра вновь следует отложение свинцовых сульфосолей, а завершается процесс образованием сульфида сурьмы (антимонита). При общем сходстве минерального состава месторождений в развитии тех или иных сульфосолей наблюдаются характерные особенности. Так, в месторождениях Якутии и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса развиты исключительно малосурьмянистые сульфосоли, где отношение металлов к сурьме ($RS:Sb_2S_3$) обычно превышает 2. Серебряно-свинцовые сульфосоли в этих месторождениях представлены диафоритом и овихитом, а из свинцовых сульфосолей широко развит буланжерит.

Подобный парагенезис сульфосолей наблюдается и в жиле Серебряной. Образование его связано с карбонат-галенитовой стадией минерализации. На этой стадии по существу и заканчивается сходство минерального состава жилы Серебряной с рассматриваемыми серебряно-свинцовыми месторождениями. В

дальнейшем эволюция растворов, формировавших жилу Серебряную, проходила в направлении увеличения содержания сурьмы, роста концентрации или активности сурьмяных комплексов-ионов и уменьшения рН среды, что привело к образованию высокосурьмянистых сульфосолей — андорита и джемсонита ($RS:Sb_2S_3 < 2$) и в конечном итоге к кристаллизации антимонита. Образование последнего указывает на снижение рН растворов ниже 8 и возрастание парциального давления кислого рода (8).

Таким образом, щелочной характер растворов к концу процесса минералообразования сменился на кислый.

Следует отметить, что установленный для жилы Серебряной характер эволюции растворов наблюдается обычно при формировании золоторудных и золото-сурьмяных месторождений, что и определяет сходный с жилой Серебряной порядок кристаллизации сульфосолей, а также их состав. В этих месторождениях минералы представлены более сурьмянистыми соединениями типа андорита и миарггита в ассоциации с джемсонитом и цинкенимом. На конечных этапах в таких месторождениях появляется также антимонит.

Из всего сказанного выше ясно следует, что комплекс минералов, слагающих руды жилы Серебряной, весьма специфичен и не находит аналогов в других рудных провинциях СССР, да и за рубежом родственные им месторождения весьма редки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ryley J.F. The tetrahedrite-freibergite series with Reference to the Mount Isa Pb-Zn-Ag Orebody. — *Miner. Depos.*, 1974, vol. 9, N 2.
2. Спиридонов Э.М. О разновидностях блеклых руд и рациональном их наименовании и условиях их образования. — В кн.: Новые данные о минералах, вып. 32. М.: Наука, 1985.
3. Мозгова Н.Н., Бортников Н.С., Органова Н.И. и др. Новые данные о гомологической серии андорита. — *Минерал. журн.*, 1983, т. 5, N 1.
4. Свешникова О.Л. О находке свихита в рудах месторождения Южное (Приморье). — В кн.: Новые данные о минералах, вып. 28. М.: Наука, 1979.
5. Свешникова О.Л. Овихит из Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье). — *Докл. АН СССР*, 1965, N 5.
6. Индолев Л.Н., Невойса Г.Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. Новосибирск: Наука, 1974.
7. Сахарова М.С., Брызгалов И.А. Минералогия серебра галенит-сфалеритовых жил Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. — В кн.: Новые данные о минералах, вып. 32. М.: Наука, 1985.
8. Григорян Г.О. О некоторых закономерностях и условиях образования свинцово-сурьмяных руд. — *Геохимия*, 1960, N 1.
9. Moelo Y. Contribution a l'etude des conditions naturelles de formation des sulfures complexes d'antimoine et plomb (sulfosels de Pb/Sb). Signification metallogenique. — *Serie Documents du BRGM*, 1983, N 55. Orleans Cedex.
10. Berry L.G., Thomson R.M. X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas. Mem. 85. — *Geol. Soc. of America*, New-York, 1962.