

СУЛЬФОСОЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

В последнее время исследователи рудных месторождений все большее внимание уделяют изучению сульфосолей. С одной стороны, это связано с возможностью использования микрозонда, а с другой, учитывая обширную информацию по экспериментальным данным этого класса минералов, с использованием их в качестве физико-химических индикаторов рудного процесса. В то же время среди литературы, освещающей минералогию сульфосолей, очень мало работ, посвященных сульфосолям золоторудных месторождений. В основном изучены сульфосоли золоторудных месторождений Забайкалья [1, 2] и Средней Азии [3—6]. Сведения о распространенности сульфосолей в золоторудных месторождениях Якутии и их взаимоотношениях известны из работ Г.Н. Гамянина [7, 8], Л.Н. Индолева и др. [8].

В настоящее время накоплены новые данные по составу и генетическим особенностям сульфосолей золоторудных месторождений¹ этого региона.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ПОЛОЖЕНИЕ В РУДНЫХ ТЕЛАХ

Рассматриваются сульфосоли из месторождений малосульфидной золото-кварцевой формации, золото-сурьмяных и золото-серебро-полиметаллических полиформационных месторождений. Данные месторождения локализируются в терригенных породах верхоянского комплекса Верхоянско-Колымской складчатой системы, прорванных дайками кислого и среднего состава, штоками и интрузивными телами гранитоидов мелового возраста. Преимущественное развитие они имеют: а) в Иньяли-Дебинском мегасинклинии, примыкающем с северо-востока к поясу батолитических интрузий гранитоидов хр. Черского и сложенного верхнетриасовыми и ниже-среднеюрскими породами, смятыми в узкие линейные складки; б) в Адычанском брахиантиклинории с брахиформными коробчатыми складками триасовых пород, пересекаемых Адыча-Тарынского глубинным разломом; в) в Южно-Верхоянском мегасинклинии с моноклинальным залеганием верхнекаменноугольно-пермских пород в западной части мегасинклиния и линейными складками в его центральной части, где широко распространены также интрузии гранитоидов [10].

Рудные тела месторождений представлены двумя морфологическими типами: минерализованными зонами дробления и жилами. Первые располагаются в зонах глубинных или оперяющих их разломов, вторые — в межпластовых трещинах отслоения, в трещинах отрыва и скола осадочных и изверженных пород, образуя простые по строению жилы или системы ветвящихся линзовидных и лестничных жил.

Сульфосоли встречаются не во всех месторождениях, а, по нашим представлениям, лишь в наименее эродированных, сменяясь на глубине полиметаллической ассоциацией минералов [8]. Количественная роль их невелика и обычно не превышает нескольких десятых процента, возрастающая в полиформационных месторождениях. В табл. 1 приведена распространенность отдельных минералов относительно всей группы сульфоантимонитов. Из таблицы видно, что для месторождения Иньяли-Дебинского мегасинклиния характерно развитие более высокосурьмянистых сульфоантимонитов свинца. В месторождениях Адычанского брахиантиклинория более типоморфны сульфоантимониты железа и меди, а Южно-

¹Термин "месторождение" понимается в геологическом, а не экономическом смысле.

Т а б л и ц а 1
Распространенность сульфосолей в золоторудных месторождениях различных зон

Минерал	Иньяли-Де-бинский мегасинклиорий	Адычанский брахианти-клиорий	Южно-Верхоянский мегасинклиорий	Минерал	Иньяли-Де-бинский мегасинклиорий	Адычанский брахианти-клиорий	Южно-Верхоянский мегасинклиорий
Менегенит	+ х			Халькостибит	+ х	++ хх	+ х
Буланжерит	++ хх	+ хх	+++ х	Фаматинит	+ х	+ х	
Цинкениит	++ х	+ х		Бертьерит	+ х	+++ хх	
Джемсонит	+ х	+ х		Овихиит			+ х
Бурнонит	+ х	++ хх	++ хх	Миаргирит		+ х	
				Пираргирит			+ х

Примечание. + — редкие; ++ — заметная распространенность; +++ — преобладающая, х — в отдельных месторождениях, хх — в подавляющем большинстве месторождений.

Верхоянского мегасинклиория — свинцовистые и свинцовисто-серебряные сульфоантимониты.

Для сульфоантимонитов намечается тенденция приуроченности к скоплениям ранних сульфидов, к центральным друзовидным частям маломощных жил или фланговым частям минерализованных зон дробления. Как правило, они наблюдаются в виде мелких гнездообразных выделений игольчатых агрегатов, окружающих ранние сульфиды, или плейчатых обособлений волокнистого строения. Изредка встречаются линзовидные (до 10—15 см) мономинеральные скопления буланжерита или бертьерита.

В полиформационных золото-серебро-свинцовых месторождениях отмечались войлокоподобные или тонкоигольчатые скопления буланжерита, овихиита в друзовых пустотках прозрачного регенерированного кварца.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ С МИНЕРАЛАМИ

В ряду последовательности выделения минералов сульфосоли занимают одно из последних мест. Это определяет их отношение к более ранним минералам. Практически в каждом месторождении отмечается приуроченность сульфосолей к ранним выделениям пирита и арсенопирита. Если последние не катаклазированы, то они обычно обрастаются игольчатыми, пластинчатыми или мелкозернистыми агрегатами сульфосолей. В катаклазированных зернах пирита и арсенопирита фиксируются их прожилковидные выделения с незначительными явлениями коррозии. Отложения сульфосолей в кварце явно межзерновое, что и определяет форму их гнездовых обособлений. В участках кварцевых жил, подверженных внутрирудному дроблению, сульфосоли по отношению к кварцу играют цементующую роль. Весьма примечательно постоянное осветление молочно-белого кварца около выделений сульфосолей. В полиформационных месторождениях прозрачный регенерированный кварц в периферических частях кристаллов содержит включения сульфоантимонитов (буланжерит, овихиит). Причем иногда их иголки длинной сторбоной ориентированы по зонам роста кристаллов кварца.

Более разнообразны взаимоотношения сульфосолей с поздними сульфидами — сфалеритом, халькопиритом, галенитом. Причем из всех сульфосолей наиболее часто в ассоциации с ними встречаются тетраэдрит, бурнонит и буланжерит. Достаточно характерны для них картины последовательного отложения. Например, сфалерит обрастает халькопиритом, вместе с которым включен в тетраэдрит или бурнонит. Гнезда галенита обычно заключены в спутанно-волокнистую оболочку из буланжерита.

Более интересны сростания тетраэдрита, бурнонита и галенита. Они несколько изменчивы в зависимости от преобладания того или иного минерала. В случае если

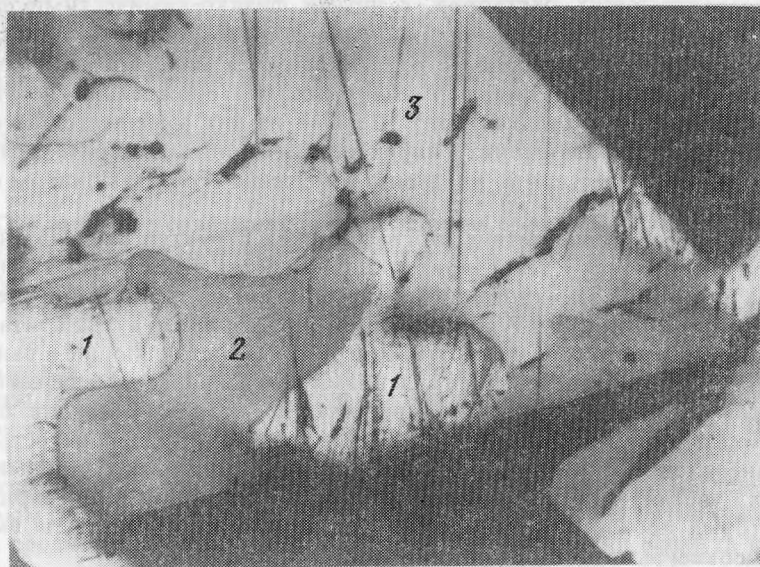


Рис. 1. Ассоциация золота (1), тетраэдрита (2), и бурнонита (3). Полир. шлиф. увел. 250

минералом-хозяином является галенит, то в нем обычно присутствуют овально-изометричные включения тетраэдрита и удлиненно-пластинчатые — бурнонита. При преобладании тетраэдрита аналогичные вростки свойственны галениту и бурнониту. В участках с равным количественным соотношением минералов выделения их характеризуются взаимопроникающими округло-плавными, заливообразными границами (рис. 1).

Такие сульфоантимониты как буланжерит, халькостибит, бертьерит по отношению к сульфидам полиметаллов, тетраэдриту и бурнониту являются более поздними, располагаются обычно по периферии их выделений, в межзерновых промежутках, а при последовательном выполнении пустот — в центральных частях последних. Лишь иногда их самые ранние выделения насыщают краевые зоны более ранних минералов. Удлиненный габитус поздних сульфоантимонитов накладывает отпечаток на характер их срastания, преимущественно в направлении вытянутости агрегатов. При этом редко встречающиеся сульфоантимониты локализуются среди доминирующего в самых различных участках, приспособляясь к структурным особенностям минерала-хозяина.

При близких оптических и физических свойствах обнаружение редких сульфоантимонитов представляет известную трудность. Наблюдения показывают, что обычно сульфоантимониты группируются по ведущему катиону, поэтому сульфоантимониты свинца, как правило, обособлены от сульфоантимонитов железа и меди, хотя последние между собой более близки. Бертьерит и халькостибит, например, нередко образуют чередующиеся пластинчатые сростки. Очень характерна ассоциация медных сульфоантимонитов-тетраэдра, халькостибита и фаматинита, отлагающихся в указанной последовательности.

Приведенные выше взаимоотношения сульфосолей обычны для моноформационных месторождений золото-кварцевой малосульфидной формации. В целом для них сохраняется описанный выше порядок кристаллизации, хотя в отдельных месторождениях или даже участках месторождения последовательность их отложения может варьировать в связи с изменчивостью активности тех или иных компонентов в процессе рудоотложения [10].

Несколько сложнее взаимоотношения сульфосолей с другими минералами в полиформационных месторождениях. Наложение на ранее отложенные ассоциации

новых минерализующих растворов, с иными физико-химическими свойствами, приводит к неустойчивости ранних минералов, в том числе и сульфосолей, их реакционным взаимоотношениям с отлагающимися минералами и регенерации. Так, в золото-сурьмяных полиформационных месторождениях неустойчивыми становятся бертьерит и халькостибит. Первый из них замещается ассоциациями антимонит + марказит, антимонит + пирит или антимонит + сидерит. За счет примеси меди, имеющейся в бертьерите, на фронте замещения его антимонитом образуется халькопирит.

Весьма интересно присутствие субграфических структур распада антимонит + халькопирит, антимонит + тетраэдрит. Общий пластинчатый облик таких структур наводит на мысль о возникновении их по халькостибиту. Присутствие сложных, иногда субграфических структур антимонита, халькопирита и сфалерита позволяет допустить возможность распада на эти минеральные составляющие и раннего цинк-тетраэдрита. Наряду с отмеченными явлениями интенсивного замещения бертьерита антимонитом, в ассоциации с ним встречается вторая генерация бертьерита. Границы между их выделениями ровные, некоррозионные, зернистость агрегатов обоих минералов равновелика. Вторая генерация бертьерита формируется во фланговых частях минерализованных зон в маломощных кварц-карбонат-антимонитовых прожилках, видимо, за счет взаимодействия железа вмещающих пород с высокосурьмянистыми растворами.

Отсутствие в существенно антимонитовых рудах полиформационных золото-сурьмяных месторождений сульфоантимонитов свинца, столь характерных для золото-кварцевых образований, связано, вероятно, с переработкой их сурьмяными растворами и рассеянием свинца в массе антимонита. В пользу этого предположения говорят данные о повышенных содержаниях свинца (2000 г/т) в локальных участках антимонита, не содержащих микроскопически минералов свинца. К тому же на флангах месторождений во вкрапленных антимонитовых рудах изредка встречаются изолированные от антимонита иголки сульфоантимонитов — буланжерита, цинкениита, джемсонита.

В полиформационных золото-серебро-полиметаллических месторождениях явления разложения и реакционные взаимоотношения менее характерны. Зато интенсивно проявлена регенерация. Она затрагивает все минералы: кварц, ранние и поздние сульфиды, сульфосоли, поэтому взаимоотношения регенерированных сульфосолей с другими минералами несколько иные, чем у ранних их генераций. Так, новообразованный фрейбергит резко корродирует ранний сфалерит и содержит иногда включения пираргирита. Иголки буланжерита насыщают переотложенные агрегаты маложелезистого сфалерита. Тот же буланжерит образует с галенитом субграфические структуры сростания или игольчато-линзовидные вроски по плоскостям спайности, нередко отмечаемые в серебро-полиметаллических месторождениях [25]. Появляющиеся необычные для золото-кварцевых месторождений овихиит и пираргирит в ряду последовательности кристаллизации переотложенных сульфосолей являются завершающими.

СОСТАВ И СВОЙСТВА

Буланжерит один из наиболее распространенных сульфоантимонитов свинца и встречается во многих золоторудных месторождениях различных регионов Советского Союза. Тем не менее данных о его составе практически нет.

В золоторудных месторождениях Якутии с развитой сульфосольной ассоциацией он также является наиболее часто встречаемым минералом. Достаточно стабильные диагностические свойства: отчетливо выраженное двуотражение от серых до зеленоватых тонов, сильная анизотропия, стабильная микротвердость в пределах 120—140 кГ/мм², с эффектами пластической деформации около пирамидок

вдавливания, стандартное отношение к диагностическому травлению, индивидуальность рентгенограммы — все это позволяет уверенно определить его при микроскопическом изучении руд. Эта стабильность свойств минерала, видимо, является отражением его относительного постоянства химического состава, что характерно и для буланжеритов из других месторождений, по данным Т.Н. Чвилевой [12].

В табл. 2 (ан. 1—9) приведены сведения о составе буланжерита из различных объектов. Отклонения в содержании составляющих его компонентов укладываются в доверительный интервал определения элементов. Данные анализа буланжерита соответствуют в целом формуле $Pb_{5,x} Sb_{4,x} S_{11}$ [13]. Характерной особенностью изученных буланжеритов является недосыщенность серой (при расчете формулы не по сере, а по количеству атомов на ячейку). Кроме того, в месторождениях, локализующихся в дайковых породах Иньяли-Дебинского мегасинклиория, буланжериты (ан. 1—6) содержат примесь висмута. Впервые висмутсодержащую разновидность буланжерита (ан. 3) описал П.И. Скорняков [14], вслед за ним Т.Н. Чвилева [15]. По данным обоих исследователей, содержание висмута в буланжерите 4,5%. Микронзондовые исследования буланжерита из объекта изученного П.И. Скорняковым показали, что содержание его в различных зернах изменчиво — от 0,7 до 2,7%, в среднем составляя 1,3%. Колебаний в содержании висмута в пределах одного зерна не выявлено.

Разброс значений по содержанию висмута в зернах одного полированного шлифа свидетельствует о возможности находок буланжерита в других участках рудных тел с большим содержанием висмута. Изучение составов буланжерита (ан. 8,9) полиформационного золото-серебро-полиметаллического месторождения показало, что регенированные буланжериты—II менее сурьмянистые, чем ранние, относящиеся к золото-кварцевой малосульфидной формации. Кроме того, вследствие тесной пространственно-временной ассоциации регенированных буланжеритов с комплексом ранних и поздних сульфидов, фрейбергитом, овихитом в них постоянно отмечается присутствие в десятых долях процента меди, железа, цинка, серебра, мышьяка. Эти элементы присутствуют и в ранних буланжеритах, но количество их по данным спектрального анализа тысячные—первые сотые доли процента. Этот круг элементов улавливается практически со 100%-ой встречаемостью в буланжеритах всех месторождений. Изредка фиксируются тысячные доли процента олова.

Цинкениит относится к редко отмечающимся сульфоантимонитам в золоторудных месторождениях. К числу известных находок принадлежит цинкениит Дарасунского месторождения [2], диагностированный по данным рентгенограмм. Он более характерен, как считает Т.Н. Чвилева [12], для сурьмяных руд. Нами цинкениит обнаружен в одном из золоторудных объектов Иньяли-Дебинского мегасинклиория ранее [8], а в настоящее время получены данные по его составу. На месторождении существуют две генерации цинкениита. Первая образует мелкие (до 1—2) мм гнезда с зернистым агрегатом в центре и веером тончайших иголочек вокруг них. Такие гнезда либо мономинеральны, располагаясь среди молочно-белого кварца, либо содержат включения более ранних минералов — пирита, сфалерита, тетраэдрита, золота. Вторая генерация встречается в антимонитовых прожилках, рассекающих ранние минеральные ассоциации. Цинкениит образует в этом случае разобщенные иголочки, рассеянные в среднезернистом антимоните. Его положение в зернистом агрегате антимонита характеризуется как более раннее.

Мелкие выделения цинкениита в кварце не позволяют макроскопически провести его диагностику. Микроскопическая диагностика более затруднительна, но данные по величинам микротвердости (160—190 $кГ/мм^2$), при значительной хрупкости позволяют увереннее отличать его от схожих с ним сульфоантимонитов. Рентгенограмма обоих генераций цинкениита близка к эталонным. В виде единичных зерен цинкениит встречается изредка в месторождениях Адычанского брахиантиклиория [8].

Таблица 2
Состав сульфоантимонитов

N пп	Минерал	Число анализов	Химический состав, вес %										
			Pb	Cu	Fe	Zn	Ag	Bi	Sb	As	S	Σ	
1	Буланжерит-Юг	2	56,6	—	—	—	—	—	0,3	24,6	—	18,2	99,7
2	Буланжерит-Шг	6	56,9	—	—	—	—	—	1,3	25,1	0,6	18,0	101,9
3	Буланжерит-Шт*	1	53,2	—	—	—	—	—	4,6	21,7	—	18,1	97,7
4	Буланжерит-Ут	17	56,9	—	—	—	—	—	0,7	23,8	—	17,9	99,3
5	Буланжерит-Тун	2	56,4	0,3	0,1	—	—	—	0,6	24,7	—	18,2	100,3
6	Буланжерит-Мит	3	56,6	0,3	0,1	—	—	0,1	0,9	24,7	0,1	18,8	100,6
7	Буланжерит-Лаз	2	55,9	—	—	—	0,2	—	—	23,6	0,8	18,7	99,2
8	Буланжерит-I-Неж	23	56,1	—	—	—	—	—	—	25,0	—	18,2	99,3
9	Буланжерит-II-Неж	14	56,9	0,1	0,1	0,4	—	0,1	—	24,2	0,1	18,5	100,4
10	Цинкениит-I-Тун	11	32,5	0,3	—	—	—	0,2	1,3	43,6	—	21,7	99,6
11	Цинкениит-II-Тун	3	33,5	0,2	—	—	—	0,3	—	43,3	—	22,5	99,8
12	Джемсонит-Ут	5	42,9	—	2,6	—	—	—	0,8	33,0	—	21,1	100,4
13	Джемсонит-Тун	2	41,8	0,3	2,4	—	—	—	0,6	33,6	—	22,2	100,9
14	Джемсонит-Мит	4	41,0	0,3	2,7	—	—	—	0,5	33,6	—	21,2	99,3
15	Джемсонит-Тоб	2	42,4	0,2	2,5	—	—	—	—	33,3	0,1	21,7	100,2
16	Джемсонит-Мал	3	40,4	—	2,6	0,5	—	—	—	34,0	0,1	21,4	99,0
17	Менегениит-Мит	2	60,0	1,1	0,1	—	—	—	0,9	17,9	—	18,2	98,2
18	Бурнонит-Сен	3	43,9	13,3	0,3	0,4	—	0,1	—	21,9	0,1	19,7	99,7
19	Бурнонит-Дж	3	44,2	13,0	0,2	—	—	—	—	22,3	—	19,4	99,1
20	Бурнонит-Неж	15	44,6	13,1	0,2	0,3	—	—	—	22,6	0,4	19,4	100,6
21	Халькостибит-Тун	4	—	25,4	—	—	—	—	2,8	46,9	—	25,2	100,3
22	Халькостибит-Сен	4	—	25,2	—	—	—	—	—	49,4	0,5	25,3	100,3
23	Халькостибит-Сар	6	—	25,6	—	—	—	—	—	48,7	0,6	25,4	100,3
24	Халькостибит-II-Мал	4	—	25,1	—	—	—	—	—	47,6	—	25,8	98,5
25	Халькостибит-Неж	2	—	25,3	—	—	—	—	—	48,9	0,2	25,1	99,5
26	Фаматинит-Тун	5	—	40,5	1,7	—	—	—	—	28,0	0,7	27,3	98,4
27	Фаматинит-Мал	2	—	40,8	—	—	—	0,2	—	26,9	1,0	27,7	96,6
28	Бертьерит-Гав	3	—	—	12,9	—	—	—	—	56,0	—	30,1	99,0
29	Бертьерит-I-Сар	6	—	—	11,3	—	—	—	—	58,3	—	29,7	99,3
30	Бертьерит-II-Сар	2	—	0,1	12,4	0,3	—	0,1	—	58,1	0,2	28,6	99,8
31	Бертьерит-I-Мал	4	—	—	11,7	—	—	—	—	58,0	—	29,6	99,3
32	Овихиит-Неж	4	46,7	0,5	—	—	0,1	—	—	27,1	2,4	18,8	100,9
33	Пираргирит-Неж	6	0,1	0,2	—	—	—	59,9	—	19,9	—	18,3	98,4
34	Миаргирит-Сен	2	—	0,5	—	—	—	33,4	—	43,9	0,5	24,0	102,3

N пп	Минерал	Число анализов	Формульные коэффициенты											
			Pb	Cu	Fe	Zn	Ag	Bi	Sb	As	S	ΣA/ΣB	ΣB/S	
1	Буланжерит-Юг	2	5,23	—	—	—	—	0,03	3,87	—	10,87	+1,35	—0,35	
2	Буланжерит-Шг	6	5,20	—	—	—	—	0,12	3,90	0,15	10,63	—1,24	+0,39	
3	Буланжерит-Шг*	1	5,03	—	—	—	—	0,43	3,49	—	11,05	+1,28	—0,35	
4	Буланжерит-Ут	17	5,32	—	—	—	—	0,07	3,79	—	10,82	+1,38	+0,37	
5	Буланжерит-Ут	2	5,17	0,08	0,03	—	—	0,06	3,86	—	10,80	+1,34	+0,36	
6	Буланжерит-Мит	3	5,02	0,09	0,04	—	—	0,02	0,07	3,79	0,02	10,95	+1,33	—0,35
7	Буланжерит-Лаз	2	5,09	—	—	0,06	—	—	—	3,64	0,21	11,00	+1,34	—0,35
8	Буланжерит-I-Неж	23	5,19	—	—	—	—	—	—	3,93	—	10,88	+1,32	+0,36
9	Буланжерит-II-Неж	14	5,17	0,03	0,03	0,12	0,02	—	3,74	0,02	10,87	+1,43	—0,35	
10	Цинкениит-I-Тун	11	0,91	0,03	—	—	—	0,01	0,04	2,08	—	3,93	—0,45	+0,54
11	Цинкениит-II-Тун	3	0,92	0,02	—	—	—	0,02	—	2,03	—	4,01	—0,47	+0,51
12	Джемсонит-Ут	5	4,36	—	0,98	—	—	—	0,08	5,76	—	13,82	+0,91	—0,42
13	Джемсонит-Тун	2	4,14	0,10	0,86	—	—	—	0,06	5,66	—	14,18	+0,89	—0,40
14	Джемсонит-Мит	4	4,16	0,11	1,00	—	—	—	0,04	5,80	—	13,89	+0,90	—0,42
15	Джемсонит-Тоб	2	4,26	0,06	0,92	—	—	—	—	5,69	0,02	14,05	+0,92	—0,41
16	Джемсонит-Мал	3	4,08	—	0,96	0,16	—	—	—	5,83	0,02	13,95	+0,89	—0,42
17	Менегениит-Мит	2	12,67	0,75	0,09	—	—	—	0,17	6,45	—	24,87	+2,04	—0,27
18	Бурнонит-Сен	3	1,02	0,99	0,02	0,03	0,01	—	0,87	0,01	2,97	+2,35	—0,29	
19	Бурнонит-Дж	3	1,05	0,99	0,01	—	—	—	0,89	—	2,94	+2,30	—0,30	
20	Бурнонит-Неж	15	1,08	1,00	0,01	0,02	—	—	0,90	0,03	2,95	+2,27	—0,31	
21	Халькостибит-Тун	4	—	1,01	—	—	—	—	0,03	0,97	—	1,99	+1,01	0,50
22	Халькостибит-Сен	4	—	1,00	—	—	—	—	—	1,01	0,02	1,97	—0,97	+0,52
23	Халькостибит-Сар	6	—	1,00	—	—	—	—	—	1,00	0,02	1,98	—0,98	+0,51
24	Халькостибит-II-Мал	4	—	0,99	—	—	—	—	—	0,98	—	2,03	+1,01	—0,48
25	Халькостибит-Неж	2	—	1,00	—	—	—	—	—	1,01	0,01	1,98	—0,98	+0,51
26	Фаматинит-Тун	5	—	2,90	0,14	—	—	—	0,1	1,05	0,04	3,86	—2,79	+0,28
27	Фаматинит-Мал	2	—	2,95	—	—	—	0,01	—	1,01	0,06	3,96	—2,74	+0,27
28	Бертьерит-Гав	3	—	—	0,99	—	—	—	—	1,98	—	4,03	0,50	—0,49
29	Бертьерит-I-Сар	6	—	—	0,90	—	—	—	—	2,07	—	4,03	—0,43	+0,51
30	Бертьерит-II-Сар	2	—	—	0,01	0,97	0,02	—	—	2,09	0,01	3,90	—0,48	+0,54
31	Бертьерит-I-Мал	4	—	—	0,91	—	—	—	—	2,07	—	4,02	—0,44	+0,51
32	Овихит-Неж	4	5,60	0,20	—	0,04	—	1,22	—	5,54	0,80	14,60	—1,11	—0,43
33	Пираргирит-Неж	6	—	0,02	—	—	—	3,01	—	0,88	—	3,09	+3,44	—0,28
34	Миаргирит-Сен	2	—	0,02	—	—	—	0,86	—	1,01	0,02	2,09	—0,85	—0,49

Примечание. 1) Анализ выполнен на приборе JXA-50A, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 60 нА. Эталоны: галенит, халькопирит, пирит, сфалерит, металлическое серебро, висмутин, антимонит, арсеницит. Аналитические линии: Pb, Bi—M_α; Cu, Fe, Zn, S — K_α; Ag, Sb, As — L_α. 2) Анализы 1—6, 10—14, 17, 21, 26 из месторождений Иньяли — Дебинского мегасинклинория; 15, 16, 18, 19, 22, 24, 27—31, 34 из Адачанского

брахиантклинория; 7—9, 20, 25, 32, 33 из Южно-Верхоянского мегасинклинория. 3) ΣA—Pb+Cu+Fe+Zn+Ag; ΣB—Bi+Sb+As. 4) В графе отношения суммы металлов к полуметаллам и полуметаллов к сере знаком "+" показаны величины отношения выше теоретических, знаком "—" ниже теоретических.

Среди анализов цинкениита, приведенных Т.Н. Чвилевой [13], нет данных по составу цинкениитов из золоторудных месторождений. Анализы цинкениита, приведенные в табл. 2 (ан. 10, 11) показывают избыток сурьмы и недостаток свинца в составе обеих генераций. В то же время цинкениит-I содержит существенную примесь висмута (максимально до 1,5%) и характеризуется дефицитом серы. Различие в сернистости генераций цинкениитов связано, видимо, с более высоким потенциалом серы в период кристаллизации антимонита, с которым ассоциирует цинкениит-II.

Из других примесей в цинкениите по данным спектрального анализа отмечается в сотых долях мышьяк и в тысячных — олово.

Джемсонит чаще, чем цинкениит, встречается в золоторудных месторождениях. Находки его известны в Забайкалье [2] и Средней Азии [5]. В описываемом районе джемсонит встречается в золото-кварцевых и золото-сурьмяных полиформационных месторождениях Инъяли-Дебинского мегасинклиория и Адычанского брахиантиклиория. Его мелкие гнездообразные выделения или отдельные иголки, рассеянные в кварце, реже в карбонате, макроскопической диагностике не поддаются. Но при микроскопическом изучении за счет постоянно встречающихся тонких полисинтетических двойников, обычно с резким гребневидным окончанием их в любой части удлинённых зерен, и по положительной (хотя и слабой) реакции с 20% КОН, он диагностируется однозначно. К этому следует также добавить его наиболее низкую микротвердость из всех сульфoантимонитов (70—140 кГ/мм²). Данные микронзондовых анализов джемсонита показывают их дефицитность в отношении железа и сурьмы и повышенную свинцовистость, по сравнению с приведенными в литературе [12]. Для джемсонитов месторождений Инъяли-Дебинского мегасинклиория весьма характерно присутствие висмута, максимальное количество которого достигает 2,1%. В джемсонитах Адычанского брахиантиклиория характерной примесью является медь (в среднем 0,2%). Кроме того, во всех джемсонитах устанавливается в сотых долях процента цинк, в тысячных — серебро. В отдельных образцах из месторождений Инъяли-Дебинского мегасинклиория фиксируется мышьяк в количестве 0,03—0,05% и олово (0,003—0,01%).

Менегенит в золоторудных месторождениях описан для месторождения Бестюбе [16]. Несмотря на утверждение Т.Н. Чвилевой [12] о его более широком распространении, новых сведений о его составе и находках нет. Нами менегенит обнаружен также только в одном месторождении, в виде мелких (0,05—0,08 мм) слабо удлинённых зерен среди агрегата джемсонита, после протравливания последнего 20% КОН. До травления он практически ничем не отличался от джемсонита. После повторной полировки выяснилось, что он обладает более высоким рельефом и нейтральными цветами анизотропии против довольно ярких синевато-розовых у джемсонита. Данные по микротвердости (120—140 кГ/мм²) из-за малых размеров выделений возможно недостоверны, но они во всяком случае свидетельствуют о его большей твердости, чем джемсонита. По составу описываемый менегенит (табл. 2, ан. 17) более всего соответствует менегениту из Забайкалья [11], характеризуясь дефицитом меди, сурьмы и избытком серы.

В менегените выше содержание висмута (0,9%), по сравнению с вмещающим его джемсонитом (0,3%).

Бурнонит широко развит практически во всех рудных месторождениях, в которых встречаются блеклые руды и сульфoантимониты свинца. Не являются исключением в этом отношении и золоторудные месторождения. Он широко развит в месторождениях золота Средней Азии [5], Забайкалья [1], Северо-Востока СССР. Взаимоотношения с минералами полиметаллической и сульфoантимонитовой ассоциации (рис. 2) свидетельствуют о его связующей, промежуточной по времени выделения роли между названными ассоциациями минералов. Несмотря на близкие значения величин отражения и цветовые оттенки бурнонита и тетраэдрита, он легко диагностируется благодаря постоянному наличию двойников и анизотропии. Однако характер анизотропии его в месторождениях может быть различен. В одних

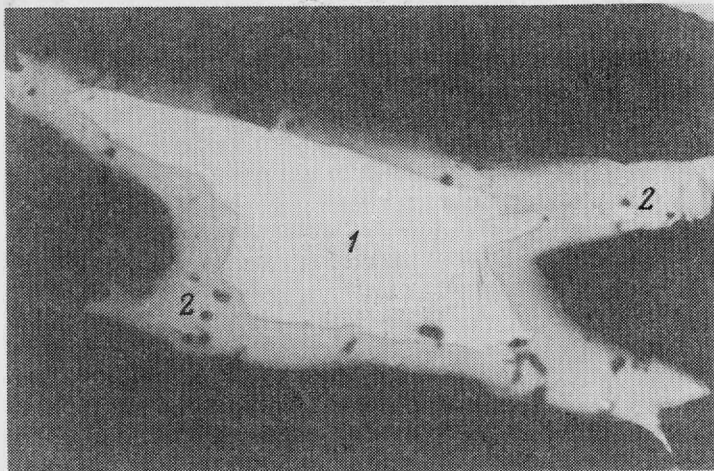


Рис. 2. Последовательное отложение бурнонита (1) и буланжерита (2) в кварцевой пустотке. Полир. шлиф, увел. 150

его анизотропия весьма отчетливая, со слабыми цветовыми оттенками, в других она едва заметна и тогда в изолированных выделениях при беглом просмотре полированных шлифов он может быть принят за тетраэдрит. В Якутии он редок лишь в месторождениях Инъяли-Дебинского мегасинклинария.

При столь широком распространении бурнонита в золоторудных месторождениях состав его изучен крайне слабо. Из данных табл. 2 (ан. 18—20) видно, что бурнонит характеризуется некоторым недостатком сурьмы и серы и избытком свинца. Во всех бурнонитах в качестве изоморфной примеси присутствуют железо и цинк, замещающие, видимо, медь, и мышьяк, изоморфный с сурьмой. Весьма тесные тонкие взаимопрорастания с тетраэдритом и галенитом не дают возможности изучить примесный состав чистого бурнонита.

Халькостибит из сульфоантимонитов меди наиболее распространенный минерал, отмечаемый в ртутно-сурьмяных [17, 18], полиметаллических [19] и золоторудных [1, 20, 21] месторождениях. В литературе приводятся сведения о его тесной ассоциации с блеклыми рудами, бурнонитом, сульфоантимонитами свинца и антимонитом. В золоторудных месторождениях Якутии халькостибит также достаточно распространен в подавляющем большинстве месторождений с ассоциацией сульфосолей. Как и сульфоантимониты свинца, он отражает эволюционную картину вертикальной зональности при смене снизу вверх отложений халькопирита халькостибитом. В рудных телах месторождений золото-кварцевой малосульфидной формации он отмечается как в виде мелких самостоятельных гнезд в кварце, так и в тесной ассоциации с тетраэдритом. С последним он образует самые различные сочетания, либо находясь в нем в виде удлиненно-линзовидных включений, либо в виде минерала-хозяина включает блоки тетраэдрита и кристаллы сфалерита.

В месторождениях с антимонитовой минерализацией в качестве "хвостов" золоторудного процесса наблюдаются ровные границы его сростаний с антимонитом, хотя халькостибит и является в этих случаях более ранним минералом. В полиформационных золото-сурьмяных месторождениях в мономинеральных антимонитовых рудах халькостибит становится неустойчивым и распадается на тетраэдрит и антимонит с образованием субграфических структур (рис. 3).

При замещении антимонитом халькостибита, ассоциирующего с бертьеритом, наряду с новообразованным мелкозернистым антимонитом появляются новообразования халькопирита и сурьмянистого пирита. В то же время в кварц-карбонатных



Рис. 3. Распад халькозибита на антимонит (1) и тетраэдрит (2) и бертьерита на антимонит (1) и сурьмянистый пирит (3). Полир. шлиф. увел. 500

прожилках фланговых частей месторождений с относительно невысоким содержанием антимонита, в последнем встречаются некорродированные, хотя и несколько более ранние, зерна халькозибита. Эти выделения, по-видимому, следует считать второй генерацией, кристаллизующейся в парагенезисе с антимонитом, как это наблюдалось для цинкениита-II.

В полированных шлифах в сростаниях с тетраэдритом он белый, по сравнению с антимонитом имеет розоватый оттенок, рельефнее (микротвердость 220—270 кГ/мм^2), с заметным двуотражением и ясной анизотропией в бледно-голубоватых—бледно-розоватых тонах. Четко диагностируется по данным рентгенограмм, имея пару интенсивных сближенных линий — 3,00—3,01 и 3,10—3,14 Å.

Состав халькозибита из различных месторождений (табл. 2, ан. 21—25) довольно стабилен и почти отвечает теоретической формуле с некоторым дефицитом серы. В то же время наблюдаются отличия по составу от высокомедистого халькозибита месторождений Дарасун [1] и высокосурьмянистого — из месторождения Кочбулак [21]. Халькозибит-II (ан. 24) характеризуется избытком серы. Из других примесей в халькозибите отмечается мышьяк (до 0,9%), а по данным спектрального анализа в сотых долях процента — свинец, железо и цинк.

Фаматинит один из редких сульфоантимонитов меди, тем не менее достаточно характерен для золоторудных месторождений Средней Азии (4,6), где он тесно ассоциирует с халькопиритом, сфалеритом, халькозибитом и тетраэдритом или приурочен к мелкозернистому бариту. В золоторудных месторождениях он отмечается в парагенетической ассоциации с антимонитом, развиваясь вместе с последним по тетраэдриту или замещая халькозибит. В одном из месторождений отмечались его своеобразные колломорфные образования около халькозибита (рис. 4). Изредка он находился непосредственно среди антимонита в виде изометричных зерен, а в одном случае — в сростании с халькозибитом-II.

Фаматинит довольно специфичен своим янорозовым оттенком, сильной анизотропией и повышенной (330—350 кГ/мм^2) микротвердостью.

Из приведенных в табл. 2 анализов фаматинита двух месторождений, видно их различие. Это связано с тем, что в одном случае (ан. 26) фаматинит развивается по железо-висмутсодержащему тетраэдриту (Bi — 0,7%, Fe — 3,1%) и потому содержит в

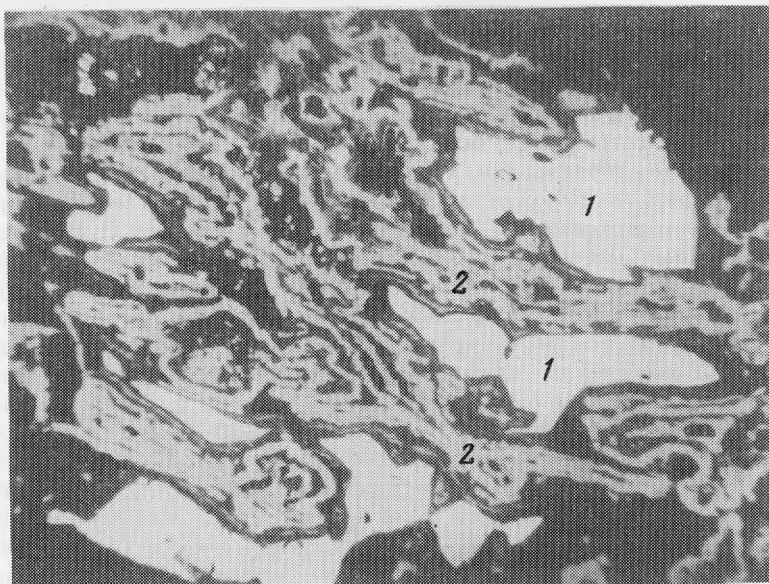


Рис. 4. Замещение халькозибита (1) зонально-колломорфным фаматинитом (2). Полир. шлиф, увел. 250

своём составе висмут (максимально 0,5%) и железо (максимально 3,1%). Причем содержание этих компонентов в нем весьма изменчиво. В другом случае фаматинит (ан. 27) развивается по халькозибиту и примесей, кроме серебра, не содержит. В то же время общим для фаматинитов обоих месторождений является присутствие мышьяка (0,5—1,1%) и дефицит в отношении серы. Резким недостатком серы данные фаматиниты отличаются от приводимых в литературе [4, 6].

Бертьерит довольно распространенный минерал сурьмяных и золото-сурьмяных месторождений мира, наблюдающийся в тесной ассоциации с антимонитом или другими сульфоантимонитами. В Якутии отмечается лишь в золоторудных месторождениях Адычанского брахиантиклинория, как в золото-кварцевых малосульфидных, так и в золото-сурьмяных полиформационных. В последних количественная роль его резко возрастает и местами он слагает мономинеральные обособления в кварц-карбонатных прожилках флангов рудных зон и внешнего ореола прожилкования. Подобно цинкениду и халькозибиту выделяются две его генерации. Первая, связанная с ранними ассоциациями сульфоантимонитов золото-кварцевого процесса, интенсивно корродируется антимонитом [8]. При замещении бертьерита антимонитом, протекающем обычно по спайности минерала, вместе с новообразованиями мелкозернистого антимонита возникает вначале мелкая сыпь пирита, укрупняющаяся с развитием процесса замещения. Новообразованный пирит содержит примесь сурьмы и никеля, варьирующую в широкие пределы (0,1—6,5% и 0,1—4,5% соответственно). Вместе с сурьмянистым пиритом иногда ассоциирует ульманнит. В такой ассоциации В.С. Груздевым и др. [22] описан стибнопирит (21,7% Sb). Вторая генерация бертьерита кристаллизуется в ассоциации с антимонитом, несколько опережая его по времени, и не испытывает с его стороны никакой коррозии.

В связи с тем, что бертьерит ассоциирует с антимонитом и сульфоантимонитами, не имеющими ясно выраженной окраски, он хорошо выделяется на их фоне своим бледно-розоватым оттенком. При длительном хранении полированных шлифов покрывается бурокоричневым, иногда иризирующим налетом. Характерно также травление КОН, но значительно более слабое, чем у антимонита, и варьирующая в разных месторождениях микротвердость, более высокая (240—290 кг/мм²), чем приводится в литературе [23].

Анализы бертьерита (табл. 2, ан. 28—31) всех месторождений характеризуются прежде всего некомпенсированностью катионной группы. Это касается и анализов, приводимых в литературе [24]. За исключением 2-й генерации бертьерита, в нем нет существенных примесей других элементов, которые устанавливаются спектральным анализом на уровне сотых—тысячных долей процента.

Овихиит является характерным минералом сереброносных полиметаллических руд и описан для ряда месторождений Забайкалья (25), Якутии (26), Приморья (27). В золоторудных месторождениях Узбекистана диагностирован Р.П. Бадаловой и др. (5). В золоторудных месторождениях восточной Якутии встречается лишь при наложении на них сереброносной полиметаллической минерализации. В этом случае в участках регенерированного прозрачного кварца в мелких друзовых пустотках в ассоциации с фрейбергитом, пираргиритом и буланжеритом наблюдаются тонкоигольчатые выделения овихиита. Изредка, вместе с буланжеритом в виде игольчатых метакристаллов он располагается в сфалерите. По своим оптическим характеристикам, микротвердости не отличаются от своих бедных серебром аналогов, известных в литературе [25, 26]. Имеющиеся анализы овихиита (табл. 2, ан. 32) по своим формульным коэффициентам значительно отличаются от известной формулы при расчете ее на 28 атомов. Если в расчете серебро принять за единицу, то полученная формула имеет несколько иной вид — $\text{AgPb}_5\text{Sb}_5\text{S}_{12}$. Учитывая новые находки еще более бедных серебром сульфоантимонитов свинца и серебра (28) — можно повидимому, выделить гомологический ряд овихиита с меняющимся соотношением компонентов.

Пираргирит и миаргирит для месторождений золото—кварцевой малосульфидной формации нехарактерны. Они встречены только в полиформационных месторождениях. Первый, уже упоминавшийся в ассоциации с комплексом регенерированных серебросодержащих минералов, проявляет наиболее тесную пространственную связь с фрейбергитом, хотя и выделяется позже него. Ассоциация минералов влияет на примесный состав пираргирита (ан. 33) в котором обнаруживается также медь (0,4%) и свинец (0,2%). Миаргирит (ан. 34) встречен в золото—сурьмяном месторождении, как продукт реакционных взаимоотношений золота средней пробыности с сурьмяноносными растворами. В результате этих взаимоотношений на золоте возникает реакционная кайма аурустибита, распадающегося в дальнейшем на высокопробное золото и антимонит, а избыток серебра связывается в миаргирит (рис. 5).

Изложенный материал свидетельствует о большом видовом разнообразии сульфоантимонитов в золоторудных месторождениях восточной Якутии. Наиболее широкий и необычный для месторождений чистой формационной линии набор минералов этого класса характеризует полиформационные месторождения. Такие сульфоантимониты являются индикаторами гетерогенного генезиса месторождений.

Распространенность сульфоантимонитов по месторождениям и рудным телам показывает, что наиболее тесны их ассоциации по ведущему катиону: сульфоантимониты свинца — буланжерит, цинкениит, джемсонит, менегенит, бурнонит; железа — бертьерит, джемсонит. Связующим звеном между выделенными ассоциациями являются сульфоантимониты меди — бурнонит, халькостибит, фаматинит. С другой стороны отмечается некоторая специфика в распространенности сульфоантимонитов месторождений различных структурно—тектонических зон. Так, для месторождений Иньяли—Дебинского мегасинклиория свойственно сочетание сульфоантимонитов свинца, меди и железа, при ведущей роли первых: для Южно—Верхоянского мегасинклиория — свинца и меди, с резко преобладающим развитием сульфоантимонитов свинца; для Адычанского брахиантклиория — основными являются сульфоантимониты железа, с угнетенным распространением сульфоантимонитов меди. Распространенность сульфоантимонитов свинца или меди может указывать на преобладание в глубоких частях месторождений в ассоциации поздних сульфидов галенита или халькопирита.

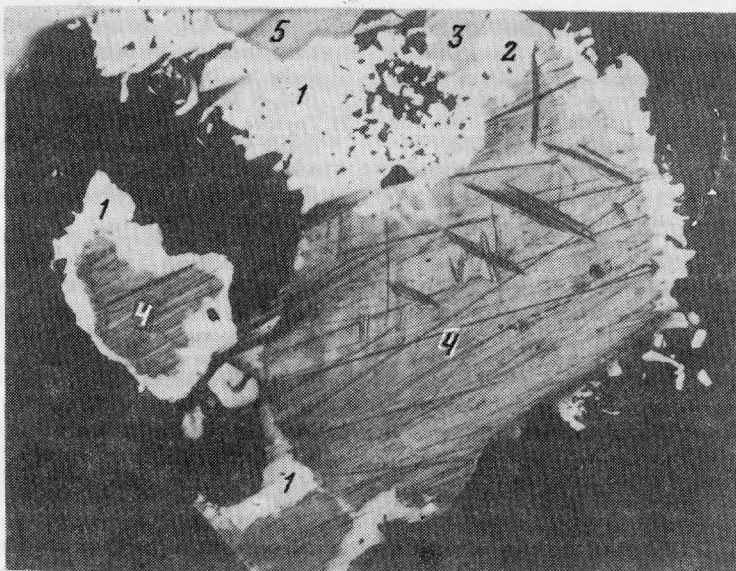


Рис. 5. Реакционная кайма аурустибита (1) с включениями халькостибита (2) и миаргирита (3) на золоте (4)

5 — антимонит, черное — кварц. Полир. шлиф. увел. 350

Состав сульфоантимонитов отражает условия их кристаллизации, которая происходит обычно в условиях недосыщенности серой, чем и объясняется дефицит ее в формулах большинства сульфоантимонитов. Для вторых генераций однотипных сульфоантимонитов, образующихся в полиформационных месторождениях и парагенных с антимонитом, характерен, напротив, избыток серы и сурьмы, при дефиците металлов катионной группы. В сульфоантимонитах месторождений Инъяли—Дебинского мегасинклиория присутствие висмута является следствием локализации в дайковых породах, комагматичных гранитоидам и характеризующимся повышенным геохимическим фоном висмута. Это является косвенным свидетельством связи золотого оруденения с гранитоидным магматизмом.

ЛИТЕРАТУРА

- Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н. О халькостибите Дарасунского золоторудного месторождения. Зап. Всес. минералог. об-ва, 1970, ч. 99, N 3.
- Филимонова А.А. Об ассоциациях сульфоантимонитов свинца в рудах Дарасунского месторождения. — Геология рудн. месторождений, 1967, т. 9; N 2.
- Андреев В.С., Бородаев Ю.С., Щибрик В.И. О геохроните из месторождений Бестюбе и Жайрем (центральный Казахстан). — Вестник МГУ. Геология, 1974, N 2.
- Успенская М.Е., Щибрик В.И. О фаматините в рудах месторождения Бестюбе (Центральный Казахстан). — Вестник МГУ. Геология, 1975, N 5.
- Бадалова Р.П., Агапова Г.Н., Юсупова Е.Н. О сульфосолях в золоторудных месторождениях Узбекистана. — Сб. науч. тр. Ташкент. ун-та 1977, N 541.
- Клемперт С.Я., Королева И.В., Рябева Е.Г., Дубакина Л.С. Фаматинит — первая находка в Узбекистане. — Докл. АН УзССР, 1980, N 3.
- Гамянин Г.Н. Минералого-геохимические особенности золотого оруденения. — В кн.: Гранитоиды Южного Верхоянья. М.: Наука, 1970.
- Гамянин Г.Н. Минеральные типы золоторудных месторождений. — В кн.: Позднемезозойский магматизм и золотое оруденение Верхне-Индигирского района. М.: Наука, 1971.
- Индолев Л.Н., Жданов Ю.Я., Суплецов В.М. Сурьмяное оруденение Верхояно-Колымской провинции. Новосибирск: Наука, 1980.
- Гусев Г.С. Складчатая структура и разломы Верхояно-Чукотской системы мезозоид. М.: Наука, 1979.
- Бородаев Ю.С. Минеральные ассоциации в системе Pb—Sb—S на месторождениях различных типов. — Геология рудн. месторождений, 1978, т. 20, N 1.
- Чвилева Т.Н. Минералогическая характеристика

- ка и диагностика сульфоантимонитов свинца. М.: Наука, 1973.
13. *Мозгова Н.Н., Бортников Н.С.* О нестехиометрии игольчатых сульфоантимонитов свинца. 26 сессия МГК, Париж, 1980. Докл. сов. геологов. Геохимия. минерал. М., 1980.
 14. *Скорняков П.И.* Висмутсодержащая разновидность буланжерита из Штурмовского месторождения. — В кн.: Материалы по геологии Северо-Востока СССР. 1949, N 5.
 15. *Чулева Т.Н., Новоросова Л.Е.* О висмутсодержащем буланжерите. — В кн.: Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М.: Наука, 1965.
 16. *Успенская М.Е., Щибрик В.И.* О находке менегенита и последовательности образования сульфоантимонитов свинца в рудах месторождений Бестюбе (Центральный Казахстан). — Вестник МГУ. Геология, 1976, N 1.
 17. *Grundmann G., Hübner G.* Chalkostibit von Abfoltersbach und Nikolsdorf (Osttirol). — Karinthin, 1973, N 68.
 18. *Новикова Т.И.* Сульфосоли меди и особенности размещения их на площади Зеравшано-Гиссарского рудно-сурьмяного пояса. — Минералогия Таджикистана. Душанбе, 1979, N 4.
 19. *Бородаев Ю.С., Мозгова Н.Н., Сендерова В.М.* О халькостибите из Терекская (Киргизская ССР). — Докл. АН СССР, 1968, т. 178, N 3.
 20. *Гамянин Г.Н.* Параганезисы рудных минералов золоторудных месторождений Верхне-Индигирского района — Геология и геофизика, 1965, N 7.
 21. *Бадалова Р.П., Рябева Е.Г., Дубакина А.С.* Халькостибит — первая находка в Узбекистане. — Зап. Узб. отд. Всес. минерал. об-ва, 1980, N 33.
 22. *Груздев В.С., Прушинская Э.Я., Спиридонов Э.М.* и др. Сурьмянистый пирит. — Докл. АН СССР, 1982, т. 264, N 2.
 23. *Диагностические свойства рудных минералов.* М.: Недра, 1975.
 24. *Костов Р.* Бертьерит из Рибиново (Юго-Западные Родопы) — новый минерал Болгарии. — Списание БЪЛГ. геол. дружество, 1979, т. 40, N 3.
 25. *Тимофеевский Д.А.* О сульфоантимонитах свинца и серебра группы овихитов месторождений Восточного Забайкалья. — Зап. Всес. минералог. об-ва, 1967, ч. 96, N 1.
 26. *Индолев Л.Н., Невойса Г.Г., Паринова З.Ф.* Новые данные о сульфоантимонитах свинца и серебра из месторождений Западного Верхоянья. — В кн.: Минералогия эндоген. месторожд. Якутии. Новосибирск: Наука, 1974.
 27. *Свешникова О.Л.* О находке овихита в рудах месторождения Южное (Приморье). — В кн.: Новые данные о минералах СССР. вып. 28. М.: Наука, 1979.
 28. *Казаченко В.Т., Чубаров Н.М., Романенко И.М.* Новый сульфоантимонит свинца и серебра одного из полиметаллических месторождений Приморья. — В кн.: Геология окраин континентов. Владивосток, 1979.

УДК 549:549.623.5:553.3.064.34:546.78/79

Т.И. ГЕТМАНСКАЯ, Н.В. ДОБРОВОЛЬСКАЯ, И.И. КУПРИЯНОВА, В.К. ПОЛИТОВ

ТИПОМОРФНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗИСТОСТИ СЛЮД ГРЕЙЗЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОЛЬФРАМА И БЕРИЛЛИЯ И МАГНЕТОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Слюды входят в качестве постоянной составной части в грейзены самых различных типов и характеризуются переменным составом, закономерно изменяющимся по мере развития постмагматического минералообразования [1]. Поэтому изучение вариаций их состава в разной обстановке может служить для распознавания генезиса грейзенов и сопутствующего им оруденения. Железистость слюд является информативным типоморфным свойством и для ее экспрессного определения разработан метод, основанный на измерении магнитной восприимчивости минералов.

МАГНЕТОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ $\Sigma(\text{Fe} + \text{Mn})$ В СЛЮДАХ

Обычное для слюд содержание железа и марганца определяет их принадлежность к парамагнитным веществам. Лишь единичные разности с минимальным содержанием железа проявляют диамагнитные свойства. Литературные данные о магнитных свойствах слюд немногочисленные и проведены на небольшом количестве образцов. На примере 5 образцов [2] рассмотрена зависимость