

матрице, распределены тонкие пластинки минерала с содержанием серебра 7,23%, свинца 31,34% (ан. 6) и более крупные пластины минерала с содержанием серебра 4,66%, свинца 41,95% (ан. 8). Первый минерал по соотношению основных компонентов близок физелииту, исследованному Moëlo Y. (ан. 7). Он рассчитывается на формулу, отличающуюся от эмпирической формулы, полученной Moëlo Y. [4], меньшим содержанием свинца и избытком сурьмы в два атома. Второй минерал соответствует "минералу МК" по Moëlo Y. (ан. 9), для которого Moëlo Y. предложена идеализированная формула  $CuAg_3Pb_{13}Sb_{17}S_{40}$  [3]. Кроме рассмотренных фаз в другом участке образца установлен андорит с повышенным (2,41%) содержанием меди, изоморфно замещающей серебро (ан. 2).

В рудопроявлении 2 установлен андорит, встречающийся в ассоциации с пираргиритом, миаргиритом, джемсонитом и галенитом. С джемсонитом андорит образует тесные сростания, развивающиеся по галениту (рис. 2). По химическому составу (ан. 3 и 4) андорит из рудопроявления 2 аналогичен андориту из Боливии [1].

В рудопроявлении 3, характеризующемся меньшим эрозионным срезом по сравнению с рудопроявлениями 1 и 2, в ассоциации с фрейбергитом и пираргиритом встречен диафорит (ан. 10 и 11), довольно близкий по составу теоретическому диафориту  $Ag_3Pb_2Sb_3S_8$  [2]. В качестве незначительной примеси в минерале присутствуют медь (0,09–0,12%) и железо (0,02–0,30%).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Мозгова Н.Н., Бортников Н.С., Органова Н.И.* и др. Новые данные о гомологической серии андорита. — Минерал. журн., 1983, т. 5, № 1, с. 17–33.
2. *Свешникова О.Л.* Химический состав и классификация сульфоантимонитов свинца и серебра. — Новые данные о минералах СССР, 1975, вып. 24, с. 107–119.
3. *Moëlo Y.* Contribution a l'étude des conditions naturelles de formation des sulfures complexes d'antimoine et plomb (sulfosels de Pb/Sb): Signification metallogénique. 1983. 624 p. (Doc. BPGM; N 55).
4. *Moëlo Y., Makovicky E., Karup-Møller S.* New data on the minerals of andorite series. — Neues Jb. Miner. Manatsch., 1984, H. 4, S. 175–182.

УДК 549.732

Н.Н. ПЕРЦЕВ, В.А. БОРОНИХИН

### СИНГАЛИТ, ТУРМАЛИН, СЕРЕНДИБИТ И ЛЮДВИГИТ В МАГНЕТИТОВОЙ РУДЕ ТАЕЖНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Центральный Алдан)

Таежное железорудное месторождение в Южной Якутии относится к уникальным объектам, особенно в отношении разнообразия минералов и минеральных ассоциаций. Этот сложный объект вызывает оживленные споры в генезисе и структуре в течение вот уже трех десятилетий. Наиболее существенные различия во взглядах представлены осадочно-метаморфической [5] и контактово-метасоматической [6] гипотезами происхождения железных руд и борной минерализации. В последние годы появились новые петрологические и структурные данные о полиметаморфизме в породах и рудах Таежного месторождения, о регенерационной апосерпентинитовой природе оливиновых и клиногумитовых пород, несущих богатые магнетитовые руды [1].

Особенности строения месторождения сводятся к следующему. Породы и руды образуют сигмоидную складку с крутопадающими в северном направлении крыльями и крутопадающим под углом  $70^\circ$  шарниром. Богатые железные руды слагают внешнюю часть складки. Характерно чешуеобразное, аллохтонное залегание всех пород внутри складки, в том числе и карбонатных (доломитовых) пород, линзообразные тела которых концентрируются в призматочной части. Турмалиновая минерализация приурочена к телам существенно кварцевых пород с кордиеритом и силлиманитом, развитых по биотитовым гнейсам в замке складки. Наиболее обычными формами

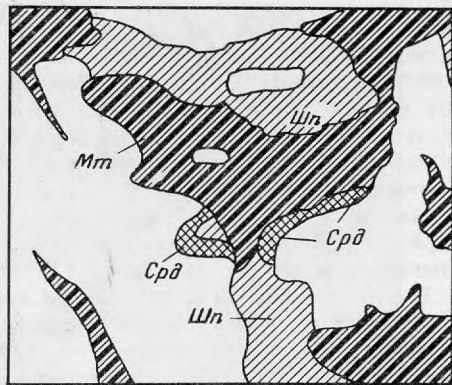
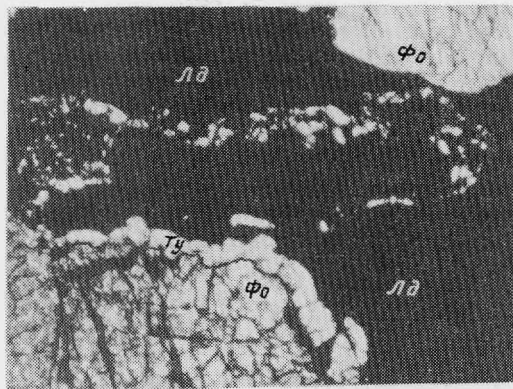


Рис. 1. Симплектитовые выделения сингалита по контуру выделения магнетита (Мт) ранней генерации в людвигите (Лд). Крупное зерно форстерита (Фо) в нижнем левом углу окружено каймой турмалина (Ту). Обр. 485/865, без анализатора, увел. 40

Рис. 2. Выделения серендибита (Срд) на окончании зерен шпинели (Шпн) соприкасаются с магнетитом (Мт) и клиногумитом (белое). Зарисовка по микрофото. Обр. 485/858,6, увел. 60

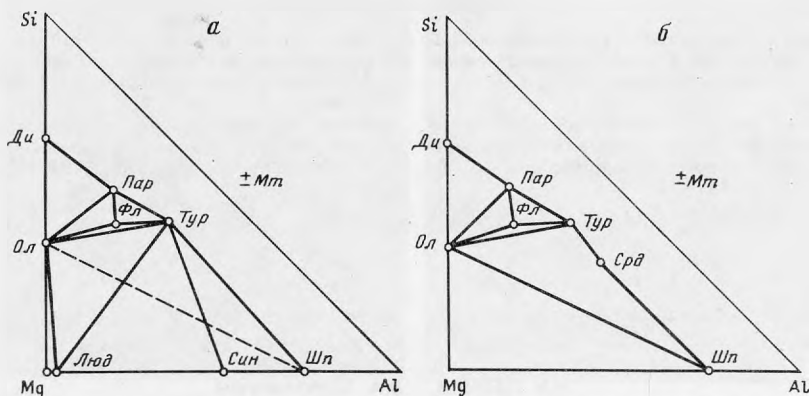


Рис. 3. Диаграммы состав—парагенезис

а — сингалит-турмалиновая фация, пунктиром показаны нестабильные парагенезисы; б — серендибит-оливиновая фация. Ди — диопсид; Пар — паргасит; Фл — флогопит; Тур — турмалин; Ол — оливин; Люд — людвигит; Син — сингалит; Шпн — шпинель; Мт — магнетит. Составы минералов написаны по данным табл. 1 и 2

проявления турмалина являются штокверковидные секущие и согласные со сланцеватостью сети прожилков в гнейсах и кварцевых породах. Турмалин встречается также в виде кварц-турмалиновых симплектитов в пегматитах в форме небольших линз и гнезд в околоскарновых породах и эндоскарнах. Наиболее поздний турмалин развит по серендибиту [4]. Серендибит наблюдается в зонах шпинель-пироксеновых скарнов и пироксен-плаггиоклазовых околоскарновых пород в некоторых карбонатно-силикатных контактах. В кальцифирах локально проявлена боратная минерализация, представленная людвигитом, к которому изредка присоединяются варвикит, сингалит, суанит [2, 4]. В богатых магнетитовых рудах с ортосиликатами магния — оливином или минералами гумитовой группы из борных минералов отмечается лишь людвигит и изредка в виде незначительной примеси варвикит  $(Mg, Fe)_3TiB_2O_8$ . Такая руда имеет грубую линзовидно-полосчатую текстуру с линзовидными, реже гнездовидными или прожилковыми выделениями рудных минералов (магнетита, людвигита и сульфидов железа). Характерна цементационная или интерстиционная текстура, и руды на первый взгляд кажутся весьма однородными по составу: рудные минералы + клиногумит либо рудные минералы + оливин. Однако более деталь-

Таблица 1

Микрозондовые анализы борных минералов (в мас.%)

Компоненты	Турмалин	Людвибит 1	Людвибит 2	Ашарит	Сигналит	Серендибит
SiO <sub>2</sub>	38,16			0,26		23,96
TiO <sub>2</sub>		0,23	0,18	0,65		0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,12	1,30	1,85	0,93	42,35	28,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,42	35,56	34,45			6,02
FeO		28,35	29,77	3,56	3,66	3,85
MnO		0,27	0,27	0,89		
MgO	13,36	21,77	20,77	43,17	31,02	14,84
CaO	4,46					15,38
Na <sub>2</sub> O	0,67					
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,01	16,38	16,30	40,52	28,74	7,26
H <sub>2</sub> O	3,08			10,48		
<b>Сумма</b>	<b>90,19</b>	<b>87,48</b>	<b>87,29</b>	<b>49,46</b>	<b>77,03</b>	<b>93,12</b>
Si	6,021			0,004		5,735
Ti		0,006	0,005	0,007		0,014
Al <sup>IV</sup>						0,250
Al <sup>VI</sup>	5,227	0,054	0,077	0,016	1,006	7,926
Fe <sup>3+</sup>	0,644	0,946	0,923			1,074
Fe <sup>2+</sup>		0,838	0,886	0,043	0,062	0,762
Mn		0,008	0,008	0,011		
Mg	3,143	1,148	1,101	0,920	0,932	5,295
Ca	0,755					3,943
Na	0,206					
B	2,671	0,764	0,780	1,000	0,800	3,000
ОН				1,000		

Примечание. Микрозонд MS-46 "Самса". B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>O взяты по расчету. Их количества в суммах не учтены. Серендибит — обр. 485/858,6, остальные — обр. 485/865. K<sub>2</sub>O и K не обнаружены.

ное изучение показывает композиционную неоднородность. Спорадически в составе богатых руд появляются участки, содержащие пластинки флогопита, и (или) диопсида, паргасита. Людвибит на таких участках исчезает либо "бронирован" ортосиликатами магния.

Изредка появляются участки, резко обогащенные шпинелью, обычно отсутствующей в рудах. Локальная неоднородность в рудах, по-видимому, объясняется неоднородностью субстрата, испытавшего замещение ортосиликатами и оруденением. Таким субстратом, скорее всего, были протрузивные тела серпентинитов, несущие будинированные и десилицированные в процессе термального метаморфизма серпентинита обломки вмещающих алюмосиликатных пород [1].

К подобным участкам в керне одной из разведочных скважин относится интервал около 0,5 м, обогащенный глиноземом и несущий необычную борную минерализацию.

В рудной массе, сложенной преимущественно линзовидно-прожилковыми выделениями магнетита, в меньшей степени людвигита и пирротина, имеются пойкилитовые включения оливина. В оливине встречаются одиночные включения — узники диопсида. Кроме того, в руде наблюдаются редкие зерна флогопита и паргасита, не соприкасающиеся, однако, с людвигом. Силикатные пойкилитовые включения (кроме будинированного форстеритом диопсида) частично или полностью окаймляются оторочками турмалина (рис. 1), совершенно нехарактерного для ортосиликатных руд на месторождении. Турмалин соприкасается с людвигом без образования каких-либо промежуточных реакционных фаз. Это также весьма необычный парагенезис [4], особенно если учесть сравнительно небольшую железистость людвигита. Не менее удивительным оказалось присутствие здесь сигнала (MgAlBO<sub>4</sub>). Этот редкий алюмоборат магния ранее не отмечался в руде. Он образует симплектитовые прорастания с магнетитом в контакте с людвигом (см. рис. 1). Магнетит в симплектиках оказался более титанистым, чем в остальной рудной массе (см. табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Микрозондовые анализы минералов руд (в мас.%)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO <sub>2</sub>	37,84	39,04	39,10	36,73	37,77	52,65	53,29	41,77	44,73	0,13	0,21	0,46		0,29	
TiO <sub>2</sub>										0,02	0,11	0,12		0,02	0,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						1,59	1,63	16,89	13,17	65,96	1,12	0,46	0,13	0,24	0,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											68,53	68,93	70,85	70,82	69,14
FeO	13,41	13,11	12,66	12,89	12,43	4,45	4,29	4,28	7,12	13,94	28,79	27,25	29,29	30,04	28,82
MnO	0,22	0,31	0,30	0,24	0,26	0,10	0,09		0,05	0,12	0,24	0,26	0,26	0,25	0,35
MgO	46,61	47,47	48,08	49,02	47,99	17,50	17,14	25,73	17,65	19,00	1,22	1,79	1,37	0,79	1,20
CaO						24,19	23,95		12,33						
Na <sub>2</sub> O						0,13	0,12	0,33	2,16						
K <sub>2</sub> O							9,79	1,22							
С у м м а	98,18	99,93	100,14	98,88	98,45	100,61	100,51	98,82	98,43	99,17	100,22	99,27	101,90	102,45	100,73
Si	0,956	0,968	0,965	0,912	0,945	1,905	1,932	2,822	6,283	0,003	0,008	0,017		0,011	
Ti											0,003	0,003		0,001	0,019
Al <sup>IV</sup>						0,068	0,068	1,178	1,717	1,978			0,006	0,011	0,026
Al <sup>VI</sup>							0,002	0,167	0,463		0,050	0,021			
Fe <sup>3+</sup>										0,019	1,952	1,979	1,994	1,989	1,974
Fe <sup>2+</sup>	0,283	0,272	0,261	0,268	0,260	0,135	0,130	0,242	0,836	0,278	0,911	0,869	0,915	0,937	0,903
Mn	0,007	0,007	0,006	0,005	0,006	0,003	0,003		0,006	0,003		0,009	0,008	0,008	0,011
Mg	1,755	1,754	1,768	1,815	1,790	0,944	0,927	2,591	3,698	0,721		0,102	0,076	0,044	0,068
Ca						0,937	0,930		1,855						
Na						0,009	0,008	0,043	0,588						
K								0,844	0,219						

П р и м е ч а н и е. Микрозонд MS-46 "Самеса". 1-5 — оливин: 1-3 — обр. 485/865, 4, 5 — обр. 485/858,6; 6, 7 — диопсид, обр. 485/865; 8 — флогопит, обр. 485/865; 9 — паргасит, обр. 485/865; 10 — шпинель, обр. 485/858,6; 11-15 — магнетит, обр. 485/865: 11, 12 — магнетит послелюдвигитовой генерации, 13, 14 — людвигит гистерогенный с ашаритом (по людвигиту), 15 — магнетит ранний, долюдвигитовый.

Вероятно, симплектиты образовались по глиноземистому магнезиальному и титанистому магнетиту, типичному по составу для ранней генерации этого минерала. При борном метасоматозе (отложении в руде людвигита) выделявшаяся из магнетита шпинель замещалась сингалитом, а ильменит — варвикитом. Людвигит цементируется магнетитом более поздним, главной рудной стадии. В нескольких метрах выше скважина пересекла другой интервал (~0,5 м) с обильной шпинелью (~10%), формирующей сростания с магнетитом и цементирующейся магнетитом. Людвигит в этом интервале, как и турмалин, почти отсутствует, но в очень небольшом количестве встречается другой боросиликат — серендибит, образующий редкие мелкие ограничения выделений шпинели на контакте с оливином и клиногумитом (рис. 2).

Минералы, слагающие эти интервалы, в том числе и слабо проявленные гистерогенные продукты изменения людвигита, проанализированы электронным микросондом (табл. 1 и 2). Полученные результаты требуют некоторых комментариев.

Оливин имеет железистость ~14%, что характерно для богатых руд месторождения. Диопсид, паргасит и флогопит также достаточно обычного состава. Турмалин характеризуется повышенным содержанием кальция (увит), что также типично для его скарновых ассоциаций на месторождении.

Несмотря на ассоциацию с турмалином, людвигит по железистости заметно не отличается [3] от обычных составов в рудах. Магнетит главной стадии оруденения сходен по составу с более поздним низкотемпературным магнетитом из ашарит-магнетитовых агрегатов по людвигиту. У наиболее раннего магнетита из симплектитов с сингалитом иной состав. Гистерогенный ашарит (ссайбелиит) в прожилках и агрегатах с магнетитом проявил повышенную железистость.

Парагенетический анализ этого интервала руд показал, что вместо обычных скарновых парагенезисов форстерита со шпинелью и флогопита со шпинелью, в рассмотренном случае становящихся нестабильными, устойчивы парагенезисы людвигита и оливина с турмалином и турмалина с сингалитом. Более обычный парагенезис в рудах людвигита со шпинелью также становится неустойчивым, прерывается сингалитом (рис. 3, а). Эти необычные парагенезисы возможны только при повышенной химической активности  $V_2O_3$ .

В образцах из интервала руд с серендибитом парагенетическая картина иная (рис. 3, б). Здесь вместо турмалин-шпинелевого парагенезиса появляется серендибит, требующий для своего образования повышенной активности СаО и, вероятно, пониженной температуры, поскольку в скарнах Таежного месторождения обычно наблюдается [4] гистерогенное развитие турмалин-шпинелевой ассоциации по серендибиту. На это равновесие также может влиять химическая активность  $Na_2O$ , при повышении которой стабилизируется турмалин.

Рассмотренный здесь случай интервала с появлением необычной бороалюмосиликатной минерализации среди моноксонных руд с ортосиликатами магния свидетельствует о предшествующем загрязнении среды, подвергнутой замещению ортосиликатами и рудами, алюмосиликатным материалом. Такой средой, скорее всего, могли быть протрузивные серпентиниты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаковский А.Л., Перцев Н.Н. Регенерация ортосиликатов магния и некоторые аспекты генезиса богатых железных руд Таежного месторождения (Центральный Алдан). — Геология руд. месторождений, 1985, № 5/6, с. 84—99.
2. Лисицин А.Е., Руднев В.В. Новые данные о суаните, варвиките и сингалите Таежного скарно-магнетитового месторождения (Южная Якутия). — Минерал. журн., 1985, № 6, с. 62—72.
3. Лисицин А.Е., Руднев В.В., Гафт А.Л. и др. Новые данные о людвигите и ашарите Таежного скарно-магнетитового месторождения (Южная Якутия). — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1985, вып. 1, с. 62—72.
4. Перцев Н.Н. Парагенезисы борных минералов в магнезиальных скарнах. М.: Наука, 1971. 192 с.
5. Сердюченко Д.П., Глебов А.В., Каденская М.А. и др. Железные руды Южной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 519 с.
6. Шабьинин Л.И. Магнезиально-скарновые железорудные месторождения. М.: Недра, 1978. 232 с.