

Р. А. АМОСОВ, Н. Г. ЧУВИКИНА, Л. И. БОЧЕК, И. Н. ЭПОВ

### ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СМАЙТИТ ИЗ ДАРАСУНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 26 II 1970)

Смайтит — ромбоэдрический  $Fe_3S_4$  — редкий минерал, найденный до сих пор лишь дважды: в кристаллах кальцита среди известняков в Блумингтоне (Индиана, США) (1, 2) и в керченских железорудных отложениях (3). Смайтит является диагенетическим образованием и ассоциирует с тригональными карбонатами и пирротинном. Малые размеры выделений минерала в упомянутых находках не позволили провести полное изучение его физических свойств и непосредственно определить химический состав. Химическая формула установлена по данным рентгеноструктурного анализа (2).

В Дарасунском месторождении (4, 5) смайтит и грейгит\* обнаружены в кальцитовых прожилках, выполняющих зону меридионального тектонического нарушения, на глубине 300 м. Сопровождающий сульфиды железа кальцит представлен двумя генерациями: кальцит I — зернистые прожилки и друзы кристаллов, образованных гранями {2131}, {0221}, {1010}, {4041}; кристаллы кальцита II представлены комбинацией {1010} и {0112} с различным относительным развитием граней призмы и ромбоэдра.

Кубооктаэдрические кристаллы парагенетичного со смайтитом грейгита в сростании с реальгаром располагаются по зонам роста и поверхностям соприкосновения кристаллов кальцита I. Смайтит образует в кристаллах

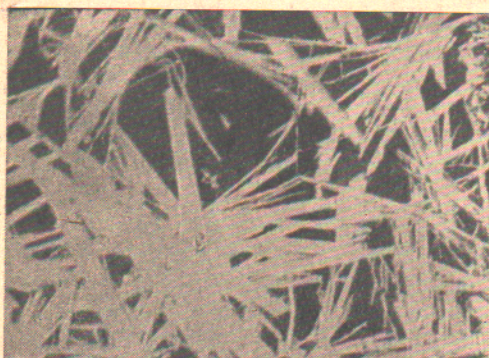


Рис. 1. Агрегат расщепленных пластинчатых кристаллов смайтита. 360X

кальцита II включения в виде серии зон по {0112}, а также друзы и скопления пластинчатых кристаллов, нарастающие на кальцит II (рис. 1). Таким образом, кристаллизация смайтита была прерывистой и перекрывалась во времени с отложением кальцита. Смайтит присутствует еще в виде сферолитовых агрегатов, обнаруживающих признаки одновременного совместного роста (индукционные поверхности соприкосновения) с кальцитом I. Эти агрегаты насыщены включениями пирита и закономерными включениями марказита, обладая ха-

рактерной структурой распада твердого раствора (рис. 2) (состав исходной фазы не установлен). Кристаллы смайтита имеют вид гексагональных пластинок толщиной до 40 м при наибольшем измерении 1 мм. Обычно пластинки расщеплены с образованием розетковидных и сферических агрегатов. На гранях {0001}

\* Впервые на Дарасунском месторождении грейгит, в то время неизвестный минеральный вид, описан без точной диагностики В. А. Мокиевским и Ян Фэн-цзюнь в 1961 г. (6).

видна скульптура, указывающая на двойникование по  $\{0001\}$ , и двойники по ромбоэдру в трех ориентациях (через  $120^\circ$ ); часто пластинки гофрированы вдоль  $[10\bar{1}0]$ . Одиночные пластинки гибки. Цвет минерала бронзовый, иногда с синей побежалостью, в свежем изломе серебристо-розовый; блеск металлический. Сильно магнитен.

В аншлифах смайтит по цвету и отражательной способности трудно отличим от пирротина и грейгита. Цвет светло-желтый с розовым оттенком, двуотражение заметно в воздухе, сильно анизотропен с цветовым эффектом от светло-коричневого до серого. Выполненные в одинаковых условиях определения отражательной способности дарасунского и керченского смайтитов показали почти полную их идентичность и близость характера дисперсии отражательной способности смайтита и гексагонального пирротина (табл. 1). Эти результаты отличаются от приведенных ранее для керченского смайтита (2).

Твердость смайтита, измеренная микрометодом в поперечных сечениях пластинчатых кристаллов, колеблется в пределах  $450-550 \text{ кг/мм}^2$  (прибор ПМТ-3, нагрузка 20 г, твердость галита, принятого за эталон;  $20,6 \text{ кг/мм}^2$ ). Стандартными реактивами смайтит не травится. При электролитическом травлении смайтита с включениями пирита и марказита в  $\text{HNO}_3$  1 : 1 в течение 25—30 сек. травятся включения, в то время как смайтитовая матрица лишь покрывается тонким коричневым налетом. При светотравлении смайтит постепенно тускнеет и покрывается бурой пленкой (рис. 2) — эффект зависит от ориентировки сечения.

Для химического анализа были отобраны из друзовых пустот пластинчатые кристаллы смайтита. Проба очищалась от примесей магнитной сепарацией в спирте, чистота материала проверялась рентгенометрически (табл. 2). При анализе (аналитик И. Ф. Сгадова) обнаружены: Fe 55,30%, S 39,50%, н.о. 2,2%. Отношение Fe/S—3,21/4.

В трех других анализах, относящихся к разновидностям смайтита (см. ниже), получены также завышенные против теоретического отношения Fe/S (от 3,12/4 до 3,42/4). Спектральным анализом в смайтите установлены Cu 0,07%, Ni 0,007%, Pb 0,003%, As 0,3% (аналитик Т. Н. Сабуровская). Железо в смайтите определялось также на микроанализаторе ЛМА-1 (аналитик Н. Г. Кореннова); по 4 образцам среднее содержание 54,3% (эталон — пирит, относительная ошибка измерения 2,4%). Примесь мышьяка на ЛМА-1 не обнаружена.

Рентгенограмма дарасунского смайтита несколько отличается от таковых блумингтонского и керченского смайтитов (линии №№ 20 и 50 в табл. 2). Рефлекс  $1,917 \text{ \AA}$ , по-видимому, нельзя интерпретировать только как (III)  $\beta$ , а скорее как наложение  $\beta$ -линии на отражение от 00.18, рассчитанное для идеальной структуры смайтита (2). Это подтверждается разложением дублета  $1,919$  и  $1,911 \text{ \AA}$  на рентгенограммах, снятых в камерах большого диаметра ( $114,6 \text{ мм}$ ), а также отсутствием этого отражения на рентгенограмме керченского смайтита. Параметры элементарной ячейки смайтита, рассчитанные для 10 образцов:  $a = 3,47 \pm 0,01$ ,  $c = 34,4 \pm 0,2 \text{ \AA}$ .



Рис. 2. Закономерные включения марказита (светлый пластинчатый) и включения пирита (светлый изометричный) в смайтите (темно-серый). Аншлиф после светотравления,  $1400\times$

Таблица 1

№№ п. п.	λ, мμ	Смайт из Дарасуна, обр. № 51			Гексагональ-ный пирротин R <sub>p</sub> , %	№№ п. п.	λ, мμ	Смайт из Дарасуна, обр. № 51		
		R <sub>max</sub> , %	Керченский смайт R <sub>max</sub> , %	R <sub>p</sub> , %				R <sub>max</sub> , %	Керченский смайт R <sub>max</sub> , %	R <sub>p</sub> , %
1	460	31,8	31,6	30,8	9	750	41,6	42,2	44,0	
2	480	32,0	32,5	32,0	10	800	43,0	44,0	45,5	
3	500	32,8	33,5	33,0	11	850	44,0	45,0	46,8	
4	540	34,7	35,3	35,0	12	900	44,2	45,8	47,4	
5	580	36,2	36,8	36,7	13	950	45,0	46,1	48,3	
6	620	37,1	37,8	38,8	14	1000	46,2	47,8	48,8	
7	660	38,6	38,8	40,3	15	1050	47,6	48,0	50,0	
8	700	39,8	40,3	42,0	16	1100	49,8	51,0	52,8	

Примечание. Снято на усовершенствованной в институте установке с монохроматором ЗМР-3 и фотоумножителем ФЭУ-28; эталон — пирит, объектив 21X0,40, относительная ошибка измерения ± 1%.

Таблица 2

№№ п. п.	Смайт из Дарасуна, обр. № 51		Смайт из Блумингтона (2)		Смайт керченский (2)		Грейгит из Дарасуна, обр. № 6		Грейгит из Сан-Бернардино (7)			
	I	d, Å	hkl	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	hkl	I	d, Å
1	1	10,3	00,3	6	11,5	5	11,44	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	1	6,33	—	—	—
3	3	5,69	00,6	0,5	5,75	—	—	—	—	111	8,0	5,720*
4	2	3,72	00,9	2	3,82	3	3,77	3	3,49	—	—	—
5	2	3,49	—	—	—	1	3,43	3	3,49	220	31,5	3,498
6	2	(3,33)	—	—	—	3	(3,27)	3	(3,34)	—	—	—
7	1	3,15	—	—	—	2	3,15	—	—	—	—	—
8	1	3,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	9	2,99	10,1	6	3,00	10	2,99	10	2,99	311	100,0	2,980*
10	2	(2,83)	10,4	2	2,83	4	2,83	—	—	222	3,9	2,855*
11	5	2,76	01,5	4	2,75	5	2,74	4	2,72	—	—	—
12	8	2,55	10,7	6	2,56	8	2,55	—	—	—	—	—
13	5	2,47	01,8	2	2,45	4	2,45	9	2,48	400	54,8	2,470*
14	—	—	00,15	0,5	2,29	1	2,35	2	2,29	—	—	—
15	5	2,27	10,10	6	2,26	7	2,26	1	2,21	331	1,2	2,260*
16	5	2,17	01,11	4	2,16	5	2,16	—	—	—	—	—
17	2	(2,10)	—	—	—	1	(2,09)	1	(2,10)	—	—	—
18	1	2,02	—	—	—	—	—	3	2,00	422	9,2	2,017*
19	6	1,979	10,13	7	1,070	7	1,076	—	—	—	—	—
20	6	(1,917)	00,18	—	1,917*	—	—	8ш	1,914	—	—	—
21	6	1,900	01,14	8	1,897	8	1,894	—	—	333; 511	28,6	1,901*
22	2	1,849	—	—	—	1	(1,832)	—	—	—	—	—
23	10	1,737	11,0	10	1,732	10	1,736	10	1,750	440	76,8	1,746*
24	1	1,706	11,3	0,5	1,715	—	—	2	1,702	—	—	—
25	4	1,676	11,6	4	1,672	5	1,673	2	1,680	531	0,9	1,671*
26	—	—	—	—	—	—	—	2	1,606	—	—	—
27	—	—	—	0,5	1,577	1	1,574	1	1,566	620	4,2	1,5625*
28	1	1,542	10,19	0,5	1,546	2	1,547	—	—	—	—	—
29	2	1,504	20,2	0,5	1,496	1	1,509	4	1,510	533	9,8	1,5058*
30	1	1,462	20,5	0,5	1,465	1	1,461	—	—	722	1,5	1,4883*
31	5	1,428	20,8	6	1,427	4	1,425	5	1,428	444	8,6	1,4253*
32	2	1,382	02,10	0,5	1,375	3	1,376	2	1,375	711; 551	0,7	1,3826*
33	—	—	01,23	0,5	1,332	1	1,336	—	—	642	3,6	1,3204*
34	2	1,305	02,13	2	1,305	2	1,304	—	—	—	—	—
35	2ш	1,285	20,14	2	1,280*	3	1,279	4	1,287	731; 553	12,8	1,2859*
36	—	—	10,25	0,5	1,254	—	—	3	1,236	800	9,2	1,2349*
37	—	(1,219)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	2ш	1,206	20,17	2	1,204	1	1,205	1	1,187	733	0,3	1,2097*
39	1	1,158	02,19	0,5	1,154	—	—	—	—	—	—	—
40	1	1,141	00,30	—	1,150*	—	—	3	1,140	751; 555	1,8	1,1401*
41	1	1,123	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	9ш	1,105	01,29	4	1,102	9	1,101	7	1,106	840	16,4	1,1051*
43	2	1,081	02,22	0,5	1,078	1	1,080	—	—	753; 911	0,6	1,0844*
44	1	1,069	20,25	0,5	1,065	—	—	—	—	—	—	—
45	1	(1,056)	—	—	—	—	—	—	—	664	2,1	1,0544*
46	—	1,047	00,33	—	1,045*	1	1,043	2	1,044	—	—	—
47	3ш	1,035	10,31	2	1,037	—	—	2	1,035	931	7,1	1,035*
48	—	1,023	11,27	0,5	1,029	1	1,024	—	—	—	—	—
49	4	1,011	—	—	—	—	—	8ш	1,007	844	30,9	1,0080*
50	7ш	1,003	30,0	2	1,001	—	—	—	—	—	—	—
51	—	0,994	30,3	2	0,998	4	0,998	—	—	—	—	—
52	3ш	0,990	30,6	0,5	0,988	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Fe-излучение, без фильтра, D = 57,3 мм. Звездочкой отмечены расчеты для идеальной структуры (2).

Кроме смайтита и грейгита, в исследованных образцах\* обнаружено еще несколько структурных модификаций минералов этой группы, отличающихся друг от друга по рентгеновским данным, а также особенностям морфологии и некоторым свойствам (микротвердости, отражательной способности, величине двуотражения и анизотропии, поведении при травлении). Их дебаеграммы по межплоскостным расстояниям близки к таковым или смайтита, или грейгита, но отличаются от них интенсивностью ряда линий (№№ 1; 4; 11—13; 16; 19—21; 35; 40; 50 в табл. 2). Многократные попытки отбора образцов, пригодных для изучения монокристалльными методами, оказались неудачными, поэтому пока нельзя решить, являются ли эти переходы результатом изменения характера упорядочения атомов железа или обусловлены различным соотношением кубического и гексагонального законов упаковки в анионном каркасе (3).

В месторождении во время завершившейся процесс минерализации карбонатной стадии, среди образований которой встречены смайтит и грейгит, кристаллизовались также доломит, кальцит, пирит, марказит, хлорит, монтмориллонит, каолинит, гетит, самородный мышьяк, реальгар, аурипигмент. В жилах обнаружено до 0,86% органического углерода эндогенного происхождения (9). Согласно результатам выполненных Ю. В. Ялаховым термометрических исследований, гомогенизация первичных газово-жидких включений в кальците происходит в диапазоне температур 98—55°. Совокупность этих данных и близкие к равновесным соотношения смайтита с кальцитом позволяют считать, что смайтит на Дарасуне возник из низкотемпературных щелочных растворов в условиях высокого окислительно-восстановительного потенциала и низкой активности серы. Судя по тому, что в других участках месторождения в качестве сингенетических включений в кальците установлены пирит, марказит, гетит, появление смайтита связано с фациальной изменчивостью условий минералообразования. Постоянно сопровождающие смайтит тригональные карбонаты, по-видимому, играют роль буфера, стабилизирующего pH среды. В экспериментах по синтезу смайтита также установлена возможность образования последнего в присутствии сидерита в качестве избыточной фазы (10).

Авторы искренне признательны А. Д. Генкину за консультации и предоставление возможности ознакомиться с оригиналом исследования керченского смайтита и проф. Д. П. Григорьеву за полезные замечания, сделанные при чтении рукописи статьи. Авторы благодарят А. П. Суханова за помощь в сборе каменного материала.

Центральный научно-исследовательский  
горноразведочный институт цветных,  
редких и благородных металлов  
Москва

Поступило  
22 II 1970

Трест «Забайкалцветметразведка»  
Чита

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 R. C. Erd, H. T. Evans, J. Am. Chem. Soc., 78, 2017 (1956). 2 R. C. Erd, H. T. Evans, D. T. Richter, Am. Mineral., 42, № 5—6, 309 (1957). 3 Ф. В. Чухров, А. Д. Генкин и др., Литол. и полезн. ископ. № 2, 60 (1965). 4 Д. А. Зенков, В кн. Рудничная геология, 1946. 5 Д. А. Тимофеевский, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим., в 83, 445 (1963). 6 В. А. Мокневский, Ян Фэн-цзюнь, Зап. Всесоюзн. мин. общ., 90, № 5, 510 (1964). 7 В. J. Skinner, R. C. Erd, F. L. Grimaldi, Am. Mineral., 42, № 5—6, 543 (1964). 8 S. A. Niemstra, Am. Mineral., 41, № 5—6, 519 (1959). 9 В. Н. Флоровская, Р. Б. Зезин и др., Диагностика органических веществ в горных породах и минералах магматического и гидротермального происхождения, «Наука», 1968. 10 D. T. Rickard, Nature, 218, № 5139 (1968).

\* Препараты для съемки рентгенограмм готовились из материала, отобранного из шлифов под микроскопом по рецептуре (8). Всего снято 50 образцов, из которых 10 дали рентгенограмму собственно смайтита и 5 — грейгита.