

Ю. С. БОРОДАЕВ, О. Л. СВЕШНИКОВА, Н. Н. МОЗГОВА

О НЕОДНОРОДНОСТИ РАМДОРИТА

(Представлено академиком В. И. Смирновым 18 VI 1970)

Рамдорит — сульфoантимонид серебра и свинца — открыт Ф. Альфельдом (1) в 1930 г. на месторождении Чокайя (департамент Потоси, Боливия). Обоснованием для его выделения в качестве самостоятельного минерального вида послужили два химических анализа (табл. 1), на основании пересчета которых Альфельд предложил формулу $Ag_2Pb_3Sb_6S_{13}$.

Таблица 1

Химический состав рамдорита

	Светлая фаза			Темная фаза			Рамдорит по (1)		
	вес. %	ат. колич.	ат. соотн.	вес. %	ат. колич.	ат. соотн.	вес. %	ат. колич.	ат. соотн.
Ag	9,6	890	0,9	11,2	1038	0,9	10,7	992	2
Pb	35,7	1723	1,8	27,3	1381	1,2	32,1	1549	3,1
Sb	36,1	2965	3	41,9	3441	3	35,9	2948	5,9
S	19,6	6050	6,1	19,5	6081	5,3	21,3	6642	13,4
Сумма	100,8			99,9			100,0*		
Формула	AgPb ₃ Sb ₆ S ₇ или AgSbS ₂ ·Sb ₂ S ₃ ·2PbS			AgPbSb ₃ S ₆ или AgSbS ₂ ·Sb ₂ S ₃ ·PbS			Ag ₂ Pb ₃ Sb ₆ S ₁₃ или AgSbS ₂ ·Sb ₂ S ₃ ·4,5PbS		

* После исключения SiO₂ (5,5%), Cu (0,3%) и объединения Bi (2,5%) и Fe (0,3%) с Sb. Второй анализ, приведенный в (1), близок к данному, но Bi и Fe не определялись.

Однако Нафилд (2) с учетом рентгеновских данных, интерпретируя те же анализы, вывел формулу $Ag_4Pb_6Sb_{10}S_{25}$. Физические свойства и дебаеграмма рамдорита очень близки к аналогичным показателям порошкограмм другого сульфoантимонида свинца и серебра — андорита (2-5). Оба минерала в тесных параллельных прорастаниях были обнаружены при кристаллографическом изучении образцов из второго боливийского месторождения, Оруро (3). Рентгеновское исследование показало, что элементарные ячейки обоих минералов различаются лишь параметром *c*, тогда как *a* и *b*, равные соответственно 13,03 и 19,15 Å, у них одинаковы. Параметр *c* андорита и рамдорита при этом кратен одной и той же величине ($c' = 4,29$ Å) и равен $c_{анд} = 4c'$, $c_{рамд} = 6c'$, в связи с чем предлагалось обозначать андорит как андорит IV, а рамдорит как андорит VI. В Потоси подобных сростаний обнаружено не было, и следовательно, рамдорит в этом месторождении считался однородным.

Нами было предпринято изучение образца боливийского рамдорита из Потоси из материалов Минералогического музея АН СССР (№ 47578). Рамдорит в образце представлен удлиненно-призматическими и ланцетовидными зернами размером до 1 см, заключенными в плотную темно-серую кварц-овихинтовую массу. В ней наблюдаются также включения пирита и сфалерита. Под микроскопом видно, что рамдорит тесно ассоцииру-

ет с мелкими выделениями пираргирита, физелинта, плагионита и семсейита. При травлении КОН и в скрещенных николях выявляется весьма тонкопластинчатое строение рамдорита, напоминающее по форме структуру полисинтетического двойникования. Именно так эта структура интерпретируется П. Рамдором (³, ⁷). Наблюдение в проходящем ближнем и.-к. свете (λ 1,2 м μ) в прозрачно-полированных шлифах на и.-к. микроскопе МИК-4 показало, что в отличие от всех других сульфoантимонидов Рb и Ag, хорошо прозрачных в данной области спектра, рамдорит почти непрозрачен и оптически неоднороден: наряду с совершенно темными участками в нем наблюдаются слабо просвечивающие пятна. При усилении света в последних намечается тонкодисперсное строение.



Рис. 1. Тонкопластинчатая структура сростаний свинцовой (светло-серое) и сурьмянистой (черное) фаз в образце рамдорита. В центре шлифа б — кристалл ромбического сечения — плагионит. Снято в обратно-рассеянных электронах, 960 \times

Однозначное толкование тонкопластинчатых структур и оптической неоднородности удалось получить при помощи микронзонда. Это исследование выполнено в лаборатории рудной микроскопии кафедры полезных ископаемых Геологического факультета Московского университета на рентгено-спектральном микроанализаторе JXA-5 японской фирмы JEOL.

Наблюдение изображения поверхности полированных шлифов рамдорита в обратно-рассеянных электронах на экране сканирующего устройства прибора показало двухфазное тонкополосчатое строение образца (рис. 1). Структура этих сростаний полностью совпадает со структурами, наблюдаемыми в оптическом микроскопе при скрещенных николях. Наличие двух фаз, разных по химическому составу, определено доказывається разницей в яркости пластинчатых индивидуумов. Известно, что чем выше средний атомный вес химического соединения, тем больше оно отражает электронов и тем более светлым получается его изображение на экране прибора. Количественные соотношения светлых и темных фаз от участка к участку меняются: преобладает то одна, то другая фаза, местами же они находятся в равных соотношениях. Были обнаружены небольшие участки, где полосы темной фазы отсутствовали, а всю площадь занимала светлая фаза. Ширина отдельных пластинчатых выделений того и другого состава колеблется от 0,01 до 0,001 мм.

Обе фазы были химически проанализированы на том же приборе JXA-5. Условия эксперимента: ускоряющее напряжение для всех компо-

нентов 25 кв, диаметр зонда около 1 м. Анализ Ag и Sb велся по L_{α} -серии, Pb по M_{α} - и S по K_{α} -серии. В качестве эталонов использовались металлические серебро и сурьма и химически проанализированные галенит (для Pb) и пирит (для S). Измерения проводились как по точкам, так и путем линейного сканирования с записью на регистрирующем потенциометре. Выполнено по 10 анализов каждой фазы. Средние значения приведены в табл. 1.

Результаты анализов свидетельствуют о том, что обе фазы, постоянно находящиеся в тесном сростании, характеризуются одним и тем же качественным набором элементов и различаются только их количествами.

Таблица 2

Межплоскостные расстояния рамдорита и андорита (Å)

Андорит (*)		Рамдорит (*)		Двухфазовая смесь *		Светлая фаза *	
I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n
0,5	3,82	2	3,82	4	3,81	2	3,82
3	3,73						
4	3,44	4	3,45	7	3,48	3	3,48
10	3,29	10	3,33	10	3,32	10	3,32
		4	3,22	2	3,24		
2	3,00	2	3,02	3	3,03	3	3,04
8	2,89	6	2,91	9	2,94	6	2,94
4	2,76	4	2,78	6	2,77	5	2,78
0,5	2,37	0,5	2,40	1	2,42		
2	2,26	2	2,27	2	2,30		2,30
0,5	2,21	1	2,16	4	2,18	5	2,21
2	2,14	1	2,14				
2	2,09		2,09 2,06		2,11 2,08	2	2,09
3	2,05	3					
1	2,02	1	2,02	2	2,02		
1	1,971	1	1,975	3	1,988		
1	1,909	1	1,916				
3	1,883	3	1,890	4	1,899	1	1,904
0,5	1,816	2	1,819	4	1,827	1	1,815
3	1,779	2	1,786				
		0,5	1,726				
0,5	1,679	0,5	0,696	0,5	1,694		

* Cu-антикатод, 40 кв, 4,5 ма.

При расчете данных анализов выявляется, что соотношение атомных количеств серебра и сурьмы в фазах сохраняется почти одинаковым ($Ag:Sb = 1:3$), тогда как атомное количество свинца при переходе от более светлой фазы к темной уменьшается в два раза. Анализ темной фазы удовлетворительно пересчитывается на формулу андорита ($AgPbSb_3S_6$), а состав светлой фазы дает новую, неизвестную ранее формулу ($AgPb_2Sb_3S_7$). Интересно, что формула, предложенная для рамдорита Альфельдом (см. табл. 1), занимает по количеству Pb как раз промежуточное положение.

Две дебааграммы, снятые методом Химстре, светлой фазы и совокупной пробы обеих фаз (табл. 2) близки между собой и дебааграммам, приводимым для рамдорита и андорита (2). Микротвердость, которую удалось измерить лишь для светлой свинцовой фазы, 206 кг/мм^2 (среднее из 4 определений) *.

Таким образом, исследование образца рамдорита из Потоси на электронном микронзонде показало неоднородность этого материала, представ-

* Измерения проводились на приборе ПМТ-3 при постоянной нагрузке 20 г. Время действия нагрузки 10 сек.

ляющего собой тесные закономерные сростания андорита и более свинцовистой фазы. Поскольку при описаниях рамдорита (⁵, ⁷) для него указывалось тонкопластинчатое строение, можно полагать, что изученные ранее образцы из Потоси были также представлены аналогичными сростаниями. Это предположение подтверждается тем, что состав рамдорита, полученный Альфельдом (⁴), занимает промежуточное положение между составами обнаруженных фаз. В таком случае название «рамдорит», видимо, следует оставить за свинцовистой фазой с формулой $AgPb_2Sb_3S_7$.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
28 V 1970

Минералогический музей Академии наук СССР
им. А. Е. Ферсмана

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Академии наук СССР
Москва

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ F. Ahlfeld, Zbl. Mineral., A, 365 (1930). ² E. W. Nuffield, Trans. Roy. Soc. Canada, Ser. 3, Sect. 4, 39, 41 (1945). ³ J. D. Donnay, G. Donnay, Am. Mineral., 39, № 3—4, 161 (1954). ⁴ L. G. Berry, R. M. Tompson, X-ray Powder Data for Ore Minerals: the Peacock Atlas, N. Y., 1962. ⁵ П. Рамдор, Рудные минералы и их сростания, ИЛ, 1962. ⁶ W. Uytendogaardt, Table for Microscopic Identification of Ore Minerals, Princeton, New Jersey, 1951. ⁷ P. Ramdorff, Zbl. Mineral., A, 293 (1937).