

Д. члены Е. Н. ЗАВЬЯЛОВ, В. Д. БЕГИЗОВ

**СУЛЬФОЦУМОИТ  $\text{Bi}_3\text{Te}_2\text{S}$  —  
НОВЫЙ ВИСМУТОВЫЙ МИНЕРАЛ <sup>1</sup>**

При исследовании образцов из месторождения Эргелях (Якутская АССР) установлен сульфотеллурид висмута, химический состав которого не похож ни на один из известных ранее и соответствует химической формуле, близкой к стехиометричной  $\text{Bi}_3\text{Te}_2\text{S}$  (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Химический состав исследованных минералов

Минерал	Номер образца	Содержание (мас. %)						Химическая формула
		Bi	Pb	Te	S	Se	сумма	
Сульфоцумоит	76б	70.1		27.0	3.2	0.5	100.8	$\text{Bi}_{3.08}\text{Te}_{1.94}(\text{S}_{0.92}\text{Se}_{0.06})_{0.98}$
	88	67.7		28.6	3.4		99.7	$\text{Bi}_{2.97}\text{Te}_{2.06}\text{S}_{0.97}$
Жозеит-В	76б	75.1		22.0	2.6	0.5	100.2	$\text{Bi}_{4.06}\text{Te}_{1.95}(\text{S}_{0.92}\text{Se}_{0.07})_{0.99}$
	88	72.8	1.1	23.1	2.8		99.8	$(\text{Bi}_{3.92}\text{Pb}_{0.06})_{3.98}\text{Te}_{2.04}\text{S}_{0.98}$
	48	74.9		21.8	3.1		99.8	$\text{Bi}_{4.01}\text{Te}_{1.91}\text{S}_{1.08}$
Цумоит	76а	62.7		36.5			99.2	$\text{Bi}_{2.05}\text{Te}_{1.95}$

Примечание. Условия анализа: рентгеновский микроанализатор MAP-2, эталоны — химически чистый висмут, галенит, синтетические  $\text{PbTe}$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Количественные анализы проводились при ускоряющем напряжении 35 кВ по линиям  $L_{\alpha_1}$  (Bi и Te) и  $K_{\alpha_1}$  (S и Se). При пересчете относительных интенсивностей на концентрации вводились поправки на поглощение и атомный номер (Springer, 1967).

Данные порошковых рентгенограмм нового минерала, сходные в общих чертах с рентгенограммами известных теллуридов и сульфотеллуридов висмута, позволили выявить его структурные особенности, в частности, определить, что минерал имеет двенадцатислойную структуру, т. е. изотипную со структурой теллурида висмута цумоита (Shimazaki, Ozawa, 1978). Изотипия их структур отражена в названии нового минерала — сульфоцумоит (sulphotsumoite). При рентгеновском изучении сульфоцумоита учитывалось, что дифракционные картины дебаграмм слоистых халькогенидов висмута, структурно гомотипных (Strunz, 1963; Стасова, Карпинский, 1967), имеют общие черты, выражающиеся присутствием линий подструктуры (трехслойная упаковка) и сверхструктуры (распределение атомов по слоям и группировка слоев). Относительное расположение на дебаграммах двух наиболее интенсивных линий подструктуры с индексами  $(01\bar{1}l_0)$  и  $(01\bar{1}2l_0)$  и характеристической линии сверхструктуры  $(000l_s)$  использовано нами для определения характера индифференцирования данных дебаграмм соединений этой группы (Завьялов и др., 1976). По сильным линиям дебаграмма сульфоцумоита наиболее близка к дебаграмме жозеита-В, но отличается от нее смещением и исчезновением ряда средних и слабых линий, а также появлением новых слабых линий (табл. 2). Кроме того, рассчитанные индексы линий подструктуры у нового минерала кратны четырем, а параметр гексагональной решетки  $c_0$  отвечает 12-слойной структуре, так же как у цумоита (табл. 2 и 3). У жозеита-В кратность индексов подструктуры равна семи,

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 29 октября 1979 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 24 января 1981 г.

Т а б л и ц а 2

## Результаты расчета дебаграмм исследованных минералов

Сульфоцумонт					Жозент-В			Цумонт		
обр. 76б		обр. 88		hkil	обр. 48			обр. 76а		
I	d/n	I	d/n		I	d/n	hkil	I	d/n	hkil
3	4.68	3	4.67	0005				1	4.82	0005
<1	3.68	2	3.69	1010	3	4.54	0009			
<1	3.37	1	3.37	1013	1	3.71	1012			
					1	3.41	1015, 000.12			
10	3.16	10	3.16	1014	10	3.17	1017	10	3.23	1014
2	2.70	2	2.70	1016	2	2.65	101.11			
<1	2.49			1017						
1	2.35			000.10	1	2.42	101.13	7	2.37	1018
8	2.31	6	2.32	1018	7	2.31	101.14			
					2	2.27	000.18			
1	2.16	5	2.16	1120	3	2.17	1120	3	2.21	1120
2	2.14	1	2.15	1019	3	2.12	101.16			
					1	2.03	101.17	4	2.00	000.12
1	1.987	1	1.989	101.10						
3	1.954	3	1.960	000.12	3	1.955	000.21			
2	1.854	2	1.855	101.11	1	1.862	2023			
					1	1.828	2025	2	1.827	2024
2	1.781	4	1.779	2024	3	1.792	2027			
1	1.681	1	1.685	2026	1	1.679	202.11			
								1	1.666	101.13
2	1.628	1	1.627	101.13	2	1.613	202.13, 101.23	3	1.615	2028
					3	1.580	202.14			
2	1.587	1	1.588	112.10	3	1.571	000.26, 112.18			
2	1.574	3	1.577	2028	2	1.519	000.27, 202.16			
					2	1.504	101.25			
2	1.530	1	1.533	101.14				5	1.486	112.12
<1	1.521	1	1.518	112.11	2	1.451	112.21	2	1.408	1234
3	1.448	3	1.449	112.12				2	1.398	101.16
<1	1.405	1	1.407	202.11	3	1.380	1237			
					1	1.366	000.30, 101.28	1	1.357	112.14
2	1.370	4	1.367	1234	1	1.344	112.24			
					1	1.329	123.11	1	1.330	202.13
1	1.324	1	1.323	112.14	1	1.294	202.22	2	1.304	112.15
1	1.299	1	1.295	202.13	2	1.278	213.14	1	1.276	3030
3	1.268	3	1.268	112.15				1	1.263	101.18
1	1.245	2	1.240	3032, 1239	4	1.244	000.33, 112.27			
					1	1.213	101.32			
1	1.231	1	1.231	101.18				1	1.190	112.17
								1	1.182	202.16
2	1.174	2	1.172	101.19, 3037	1	1.168	213.20			
<1	1.162	1	1.162	112.17	1	1.156	112.30, 202.28			
					3	1.148	123.21	1	1.147	101.20
								1	1.139	202.17
<1	1.111	1	1.111	202.17	1	1.117	101.35			
					1	1.110	213.23			
<1	1.099	1	1.098	303.10	1	1.096	303.18	1	1.104	303.11
					1	1.084	2240	1	1.096	2243
2	1.078	2	1.077	303.11, 2242	2	1.074	123.25	2	1.077	2245
2	1.069	1	1.069	101.21	1	1.059	202.32			

Продолжение

Сульфоцумоит					Жозеит-В			Цумоит		
обр. 76б		обр. 88		hkl	обр. 48			обр. 76а		
I	d/n	I	d/n		I	d/n	hkl	I	d/n	hkl
2	1.049	2	1.048	12 $\bar{3}$ .15	1	1.054	30 $\bar{3}$ .21	2	1.043	12 $\bar{3}$ .16
2	1.030	1	1.030	11 $\bar{2}$ .20	2	1.025	31 $\bar{4}$ 7			
2	1.018	2	1.018	000.23, 12 $\bar{3}$ .16	2	1.016	13 $\bar{4}$ 9, 20 $\bar{2}$ .34	1	1.017	20 $\bar{2}$ .20
					1	1.004	13 $\bar{4}$ .11	2	1.001	13 $\bar{4}$ 8
1	0.999	1	0.999	20 $\bar{2}$ .20						
1	0.984			10 $\bar{1}$ .23	1	0.982	13 $\bar{4}$ .14			

Примечание. Условия съемки:  $FeK_{\alpha}$  — излучение, камера РКД $\tau$  = 57.3, диаметр (мм) пре-  
паратов, изготовленных по методу С. Химстры (Hiemstra, 1956): 0.5 (обр. 76а, 76б и 48) и 0.3 (обр.  
88). При расчете дебаграмм вводились поправки, полученные по эталонным веществам (NaCl,  
PbS, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>).

а параметр  $c_0$  соответственно показывает 21-слойную структуру (табл. 2 и 3), так же как у жозеита-А (Reasock, 1941), верлита (Завьялов и др., 1978), раклиджита (Завьялов, Бегизов, 1977), лайтакарита (Vogta, 1959, 1960) и икунолита (Kato, 1959). Параметры решетки изученных образцов уточнены по всем линиям дебаграмм с помощью ЭВМ при допустимом расхождении измеренных и вычисленных значений межплоскостных расстояний не более 0.1%.

В изученных образцах сульфоцумоит входит в состав мелкозернистых листоватых агрегатов.

Таблица 3

Структурные параметры исследованных минералов

Параметр	Сульфоцумоит	Цумоит	Жозеит-В
$a$ (Å)	4.316	4.427	4.338
$c$ (Å)	23.43	24.06	41.06
$V$ (Å <sup>3</sup> )	377.97	408.35	669.14
$Z$	2	3	3
$\rho_{\text{ввч}}$ (г/см <sup>3</sup> )	8.13	8.26	8.31
Пространственная группа	$P\bar{3}m1?$	$P\bar{3}m1$	$R\bar{3}m?$

Примечание. Около половины линий дебаграммы сульфоцумоита имеют индексы, не отвечающие условию ромбоэдричности ( $h - k + l = 3n$ ), у жозеита-В — три линии.

Таблица 4

Дисперсия отражения исследованных минералов

Минерал	$R_D'$ и $R_P'$ (%) при различных $\lambda$ (нм)														
	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
Сульфоцумоит (обр. 76б)	53.8	54.1	54.7	55.3	56.0	56.7	57.3	57.8	58.0	58.0	58.0	57.9	57.9	57.8	
	51.8	51.8	52.0	52.3	52.7	53.2	53.6	53.8	53.9	53.8	53.7	53.6	53.6	53.6	
Жозеит-В (обр. 48)	59.0	59.1	59.3	59.6	60.0	60.6	61.2	61.7	62.1	62.3	62.3	62.2	62.1	62.0	62.0
	54.8	54.6	54.4	54.3	54.2	54.1	54.2	54.3	54.3	54.2	54.0	53.8	53.7	53.6	53.5
Цумоит (обр. 76а)	61.9	62.1	62.3	62.6	63.0	63.6	64.1	64.4	64.7	65.0	65.2	65.6	65.9	66.2	66.5
	59.5	59.4	59.3	59.3	59.5	59.5	59.6	59.8	60.0	60.1	60.4	60.8	61.1	61.5	61.7

Примечание. Исследовано с помощью Т. Н. Чвилевой (ИМГРЭ). Измерено на двухлучевом микроспектрорефлектометре «Блеск». Объектив 20 $\times$  с  $A = 0.65$ . Эталон — кремний.

Обр. 76 — «Тетрадимит» (минералогический музей ЛГИ, № 31/7, фрагмент образца получен нами от В. И. Степанова, ИМГРЭ), Магаданская обл. Мелкозернистая кайма (около 1 мм толщиной) вокруг широких (до 40×25 мм) пластинок цумоита (табл. 1—5).

Обр. 88 — «Теллурид висмута» (коллекция кабинета минераграфии ИМГРЭ, нами получен от М. С. Безсмертной, ИМГРЭ), Эргелях, Якутская АССР. Агрегат сульфотеллуридов (до 6×3 мм) в интерстиции между зернами кварца.

Макроскопически новый минерал ничем не отличается от других сульфотеллуридов висмута, которые вообще весьма похожи и имеют близкие физические и оптические свойства. Сульфоцумоит имеет серебристо-белый цвет, металлический блеск, весьма совершенную спайность в одном направлении, по плоскостям спайности легко расщепляется на гибкие, но неупругие листочки, немагнитный, очень мягкий и хрупкий, плохо полируется. По твердости микровдавливанию сульфоцумоит на некоторых сечениях не отличается от жозеита-В, по сравнению с цумоитом он значительно мягче (табл. 5). В полированных шлифах под микроскопом видно, что изученные агрегаты состоят из оптически неотличимых зерен сульфотеллуридов, на фоне которых несколько большим отражением выделяются включения цумоита (обр. 76). Сульфотеллуриды по сравнению с цумоитом бледно-серые (табл. 4, рис. 1), при скрещенных николях хорошо видно блочное строение агрегатов (рис. 2), у всех зерен сульфотеллуридов одинаковые четкие цветные эффекты анизотропии от красновато-коричневого до голубовато-се-

рого.

В образце из месторождения Эргелях (табл. 1 и 2) в сульфоцумоите установлены включения (около 0.2 мм) жозеита-В.

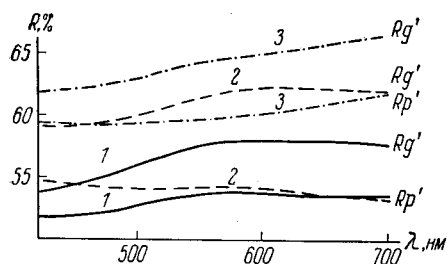


Рис. 1. Спектры отражения сульфоцумоита (1), жозеита-В (2) и цумоита (3).

Для сравнения с сульфоцумоитом нами исследован эталонный жозеит-В.

Обр. 48 — жозеит-В (минералогический музей ИМГРЭ, поступило от Р. М. Томпсона, Ванкуверский университет, через Н. Д. Синдеву, ИМГРЭ, нами получен от В. И. Степанова), Хедли, Британская Колумбия, Канада. Листоватые агрегаты (до 5×1.5 мм), сложенные жозеитом-В и его сростаниями с самородным висмутом в интерстициях среднезернистого кварца.

В изученных образцах впервые получены химические составы, отвечающие теоретической формуле жозеита-В  $Bi_4Te_2S$  (табл. 1).

Таким образом, установлено, что в обр. 76 крупная пластинка цумоита окаймлена мелкозернистым полиминеральным агрегатом, состоящим из двух сульфотеллуридов висмута, один из которых жозеит-В, второй структурно изотипен с цумоитом, но ввиду их совместного существования, а также индивидуальности химического состава является самостоятельным минералом. Аналогичная изотипия структур наблюдается и у дру-

Таблица 5  
Твердость по микровдавливанию  
исследованных минералов

Название минерала	Кгс/мм <sup>2</sup>	
	$H_{ср}$	$3\sigma_H$
Сульфоцумоит	63.9	18.3
	66.2	8.1
Жозеит-В	49.0	3.9
	66.5	6.6
Цумоит	85.3	9.0

Примечание. Условия измерения: ПМТ-3 с приспособлением для автоматического нагружения (тарирован по NaCl при  $P = 5$  г,  $H_{NaCl} = 21$  кгс/мм<sup>2</sup>), нагрузка 5 г, исследовались неориентированные сечения в обр. 766.

гих теллуридов и соответствующих им сульфотеллуридов висмута (теллуровисмутит  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ —тетрадимит  $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ; верлит  $\text{Bi}_4\text{Te}_3$ —жозеит-А  $\text{Bi}_4\text{TeS}_2$  и жозеит-В  $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$ ).



Рис. 2. Срастание сульфоцумоита (1), жозеита-В (2) и цумоита (3) в мелкозернистом агрегате обр. 76. Увел. 63. Ник. скрещ.

В заключение авторам приятно выразить благодарность М. С. Безсмертной и В. И. Степанову за предоставленные образцы и внимание к работе.

#### Литература

- Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д., Нечелюстов Г. Н. (1976). Новые данные о хедлите. ДАН СССР, т. 230, № 6.
- Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д. (1977). Раклиджит  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  — новый минерал из золоторудных месторождений Зод и Кочкарь. ЗВМО, вып. 1.
- Завьялов Е. Н., Бегизов В. Д., Степанов В. И. (1978). Перепределение верлита, первая находка цумоита в СССР. ЗВМО, вып. 5.
- Стасова М. М., Карпинский О. Г. (1967). О слоистости в структурах селенидов и теллуридов висмута и теллуридов сурьмы. ЖСХ, т. 8, № 1.
- Niemastra S. A. (1956). An easy method to obtain X-ray diffraction patterns of small amounts of material. *Maer. Miner.*, v. 41, N 5—6.
- Kato A. (1959). Ikunolite, a new mineral from the Ikuno mine, Japan. *Miner. J.*, v. 2, N 6.
- Peacock M. A. (1941). On joseite, grünlingite, orueteite. *Univ. Toronto Stud., Geol. ser.*, v. 46.
- Shimazaki H., Ozawa T. (1978). Tsumoite,  $\text{BiTe}$ , a new mineral from the Tsumo mine, Japan. *Amer. Miner.*, v. 63, N 11—12.
- Springer G. (1967). Die Berechnung von Korrekturen für die quantitative Elektronenstrahl. *Mikroanalyse. Fortsch.*, v. 45, N 1.
- Strunz H. (1963). Homöotypic  $\text{Bi}_2\text{Se}_2$ — $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ — $\text{Bi}_3\text{Se}_4$ — $\text{Bi}_4$ — $\text{Se}_5$  u. s. w. Platynit, Ikunolit, Laitakariit. *Ns. Jb. Miner. Monatshefte*, N 7.
- Vorma A. (1959). Laitakarite, a new Bi—Se mineral in Orijarvi. *Geologi*, v. 11, N 2. Abstract in *Amer. Miner.*, v. 44, N 7—8.
- Vorma A. (1960). Laitakarite, a new Bi—Se mineral. *Bull. Comm. geol. Finlande*, N 188.

Московский геологоразведочный институт.