

В. А. КОВАЛЕНКЕР, Т. Л. ЕВСТИГНЕЕВА, В. Д. БЕГИЗОВ,
Л. Н. ВЯЛЬСОВ, А. В. СМИРНОВ, Ю. К. КРАКОВЕЦКИЙ, В. С. БАЛБИН

ГАУХЕКОРНИТ ИЗ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(Первая находка в СССР)

Гаухекорнит $Ni_3(Bi, Sb)_2S_8$, открытый Р. Шайбе (Минералы, 1970) в рудах месторождения Фридрих в Вестфалии, не был известен в других месторождениях до 1972 г., когда его описали Р. Гэйт и Д. Харрис (Gait, Harris, 1972) в медно-никелевых месторождениях Вермильон и Страткона (Садбери, Канада). В 1975 г., появилось сообщение о находке минерала в урановом месторождении Циммер Лэйк (С. Саскачеван, Канада) (Watkinson, 1975), а также месторождениях Тсумо и Михара (префектура Окаяма, Япония) (Soeda, Higowatari, 1975). В месторождениях СССР гаухекорнит до настоящего времени не встречался.

Нами гаухекорнит найден в своеобразных прожилково-вкрапленных рудах Октябрьского медно-никелевого месторождения (Норильский район), которые залегают в экзоконтактах залежей сплошных пентландит-кубанит-халькопиритовых руд.

Минерал встречается в виде удлиненных, нередко таблитчатых, прямоугольных кристаллов (рис. 1), размерами от 10×30 до 200×700 мкм². Помимо халькозина и галенита, находящихся в сростаниях с гаухекорнитом, в руде присутствуют борнит, пентландит, хизлевудит, паркерит, электрум, алтаит, мончеит, гессит, теллуристый соболевскит, а также валлерит.

В отраженном свете цвет гаухекорнита — кремово-розовый. При скрещенных николях минерал умеренно анизотропен. Спектр отражения минерала¹ приведен на рис. 2. Там же для сравнения показаны спектры отражения сурьмянистого, мышьяковистого и теллуристого гаухекорнитов (Gait, Harris, 1972). По типу спектра отражения гаухекорнит характеризуется аномальной дисперсией. Кривизна спектра (параметр $F = R_{480} - R_{680}$) достигает 8,5 абс. %. Двуотражение минерала весьма слабое. По данным Р. Гэйта и Д. Харриса можно видеть, что разброс значений $R_{max} R_{min}$ превышает величину R в 2—3 раза.

Наиболее высокими значениями обладает теллуристый гаухекорнит, минимальными — сурьмянистый (рис. 2). Измерение R гаухекорнита в иммерсии позволило расчетным путем (Вяльсов, 1975) впервые получить значения показателей преломления (n) и поглощения (K) этого минерала. Спектры, характеризующие n и K гаухекорнита показаны на рис. 3.

Микротвердость гаухекорнита из Октябрьского месторождения (ПМТ-3, $H_{NaCl} = 21$ кгс/мм² при $P = 5$ Г) варьирует от 360 до 392, средняя — 375 кгс/мм² (шесть замеров, $P = 10$ Г).

Химический состав гаухекорнита определялся на рентгеновском микроанализаторе MAP-2 при ускоряющем напряжении 35 квт. В качестве эталонов использовались химически чистые металлические никель, кобальт, железо, висмут, синтетический NiAs, пирит стехиометрического состава, а также образец гаухекорнита из Вестфалии (эталонная коллекция лаборатории минераграфии ИГЕМ АН СССР, № Э-346). При расчете концентраций вводились поправки на атомный номер и поглощение по методике Г. Шпрингера (Springer, 1967).

Весьма интересен тот факт, что в составе гаухекорнита из Октябрьского месторождения (табл. 1) практически отсутствуют примеси таких элементов, как сурьма, теллур и мышьяк, характерные для гаухекорнита из

¹ Оптические свойства гаухекорнита из Октябрьского месторождения исследовались на спектрофотометре ПИОР. Описание установки и условия измерений приведены в работе Л. Н. Вяльсова (Вяльсов, 1973).

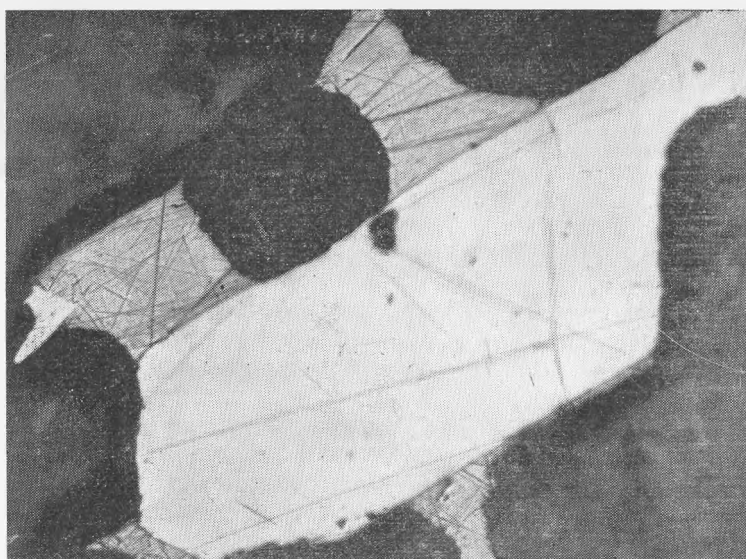


Рис. 1. Гаухекорнит (светло-серое), находящийся в сростаниях с галенитом (серое), среди нерудных минералов (темно-серое). Полированный шлиф, увел. 320

других месторождений. Так, составу гаухекорнита из Вестфалии отвечает формула $(Ni_{9,1}Co_{0,1})_{9,2}(Bi_{1,2}Sb_{0,7})_{1,9}S_8$ (сурьмянистый гаухекорнит), мышьяковистому гаухекорниту из Вермильона — $(Ni_{8,9}Fe_{0,3}Ca_{0,1})_{9,2}(Bi_{1,5}As_{0,7})_{2,2}S_8$ и теллуристому из Страткона — $(Ni_{8,8}Fe_{0,2}Co_{0,2})_{9,2}(Bi_{1,2}Te_{0,8})_{2,0}S_8$ (Gait, Haggis, 1972).

Наиболее близок состав изученного нами минерала гаухекорнита из месторождения Циммер Лэйк (Watkinson et al., 1975).

Таблица 1
Химический состав гаухекорнита из Октябрьского месторождения

Образец	Элемент	Содержание вес. %	Атомное кол-во	Атомные соотношения (при S=8)
1	Ni	43,8	0,746 04	8,90
	Co	0,7	0,011 88	0,14
	Fe	0,2	0,003 58	0,04
	Bi	33,6	0,160 78	1,92
	As	0,6	0,008 01	0,09
	S	21,5	0,670 53	8,00
	Сумма	100,4	$(Ni_{8,9}Co_{0,14}Fe_{0,04})_{9,08}Bi^{VI}(Bi_{0,92}As_{0,09})^{VIII}_{1,01}S_8$	9,08
2	Ni	43,6	0,742 63	8,90
	Co	0,8	0,013 58	0,16
	Fe	0,2	0,003 58	0,04
	Bi	33,9	0,162 22	1,94
	As	0,5	0,006 67	0,08
	S	21,4	0,667 42	8,00
	Сумма	100,4	$(Ni_{8,9}Co_{0,16}Fe_{0,04})_{9,1}Bi^{VI}(Bi_{0,94}As_{0,08})^{VIII}_{1,02}S_8$	9,10

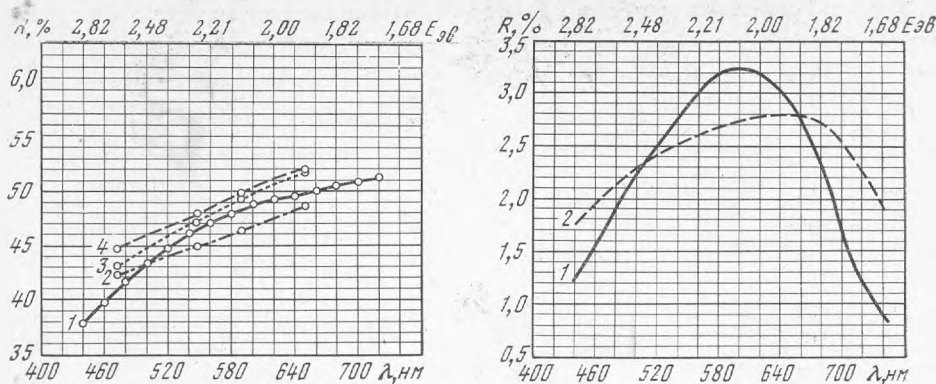


Рис. 2. Спектры отражения

1 — гаухекорнит из месторождения Октябрьское; 2 — сурьмянистый гаухекорнит из Вестфалии; 3 — мышьяковистый гаухекорнит из Вермильон; 4 — теллуристый гаухекорнит из Стратконы

Рис. 3. Спектры, характеризующие дисперсию оптических констант

1 — показателя преломления (n); 2 — показателя поглощения (K)

Рентгенограмма гаухекорнита (табл. 2) получена в камере РКД-57,3 на железном излучении (образец — шарик из резинового клея с порошком минерала, извлеченным из полированного шлифа, $d \approx 0,2$ мм). Она практически идентична дебаграммам сурьмянистого гаухекорнита из Вестфалии (Berry, Thompson, 1962) и теллуристого гаухекорнита из Стратконы (Gait, Harris, 1972). Отсутствие в составе изученного минерала сурьмы, теллура и мышьяка приводит к тому, что шести- и восьми-координационные позиции в кристаллохимической структуре гаухекорнита (Kosman, Nuffield, 1974) оказываются занятыми только атомами висмута.

Это свидетельствует о более сильном металлическом характере связи в минерале из Октябрьского месторождения. Наиболее вероятной у исследуемого гаухекорнита была бы тетрагональная элементарная ячейка с $a = 7,37$ и $c = 5,88$ Å, так как сверхструктура, приводящая к удвоению обоих параметров, свойственна гаухекорнитам со значительными содержаниями или теллура, или сурьмы, или мышьяка, т. е. элементов с более металлоидными свойствами, однако, несмотря на такой состав гаухекорнита из Октябрьского месторождения, его рентгенограмма может быть проиндексирована только в «большой» ячейке с $a = 14,65 \pm 0,01$ и $c = 10,76 \pm 0,01$ Å.

Таким образом, исследованный нами минерал является чисто висмутовой разновидностью гаухекорнита. Отсутствие в нем существенных примесей сурьмы и мышьяка, очевидно, связано с особенностями состава минералообразующих растворов, поскольку в ассоциации с ним не встречаются ни минералы сурьмы, ни минералы мышьяка. В то же время, с гаухекорнитом ассоциирует целый ряд теллуридов (алтаит, гессит, мончеит, теллуристый соболевскит), что должно было бы привести и к входяждению теллура в структуру гаухекорнита. Однако структурные взаимоотношения минералов в полированных шлифах указывают на более позднее по сравнению с гаухекорнитом, образование теллуридов, что может свидетельствовать о значительном повышении активности теллура в растворах только после образования гаухекорнита.

В настоящее время в природных условиях встречены различные по составу разновидности гаухекорнита: висмутовая — $Ni_3Bi^{VI}Bi^{VIII}S_8$ (месторождения Октябрьское, Циммер Лэйк), сурьмянистая — $Ni_3Bi^{VI}Sb^{VIII}S_8$ (Вестфалия), мышьяковистая — $Ni_3Bi^{VI}As^{VIII}S_8$ (Вермильон), теллуристая — $Ni_3Bi^{VI}Te^{VIII}S_8$ (Страткона). По-видимому, вероятны находки и

Таблица 2
 Результаты рентгенографического изучения гаухекорнита *

1		2			3		
<i>I</i>	<i>dα</i>	<i>I</i>	<i>dα</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>dα</i>	<i>hkl</i>
1	6,16	3	5,20	111	1	—	
3	5,66		—	002		—	
2	5,19	3	5,20	220	1	5,22	110
	—	1	4,80	112		—	
6	4,34	4	4,35	022	5	4,35	011
5	3,67	4	3,66	040	4	3,65	020
	—	4	3,23	240	4	3,25	120
3	3,03	3	3,04	042	1	3,03	021
10	2,80	10	2,80	242	10	2,80	121
	—	0,5	2,71	004		—	
1	2,56	2	2,53	0,24	1	2,55	012
6	2,40	5	2,405	224	6	2,40	112
6	2,32	6	2,314	260	6	2,32	221
2	2,22	2	2,228	062			130
2	2,17	1	2,171	044	0,5	2,21	031
2	2,08	2	2,083	244	0,5	2,17	022
3	1,897	1	1,890	462	1	2,08	122
8	1,867	4	1,868	444		—	
3	1,836	1	1,833	080	5	1,866	222
					3	1,824	040
4	1,808	3	1,811	064	1	1,804	082
	—			006			
		0,5	1,766	280		—	
2	1,757	2	1,758	264			132
				026	1	1,759	013
4	1,730	3	1,725	660	2	1,722	330
2	1,687	2	1,686	282	1	1,684	141
	—	0,5	1,611	046	0,5	1,616	232
3	1,572	3	1,577	246			023
1	1,515	2	1,515	084	2	1,578	123
					1	1,510	042
	—	0,5	1,448	664	0,5	1,455	332
				066			
2	1,415	2	1,412	682	0,5	1,412	051
							341
2	1,399	2	1,401	484	1	1,397	242
2	1,351	1	1,359		2	1,354	004
2	1,323	2	1,320		2	1,318	251
	—	1	1,292				052
					1	1,284	342
							043
3	1,271	3	1,269		3	1,266	024
	—	1	1,254				152
					0,5	1,252	350
3	1,224	1	1,220				124
	—				1	1,217	061
		0,5	1,205			—	351

* Гаухекорнит из месторождения Октябрьское (1), теллуристый (2) (Gait, Harris, 1972), сурьмянистый (3) (Berry, Thompson, 1962).

Таблица 2 (окончание)

1		2			3		
I	dα	I	dα	hkl	I	dα	hkl
2	1,166	2	1,167		2	1,168	161 442
	—	1	1,156		0,5	1,157	
1	1,140	1	1,136		1	1,137	
		0,5	1,109				
3	1,087 _{III}	2	1,086		2	1,085	
2	1,064	2	1,064		2	1,064	
1	1,035		—		1	1,034	
2	1,028	1	1,026				
3	1,016	2	1,013		1	1,011	
a ₀ =14,65±0,01 Å c ₀ =10,76±0,01 Å		еще 5 линий до dα=0,8593 a ₀ =14,64 Å c ₀ =10,87 Å			еще 10 линий до dα=0,783 a ₀ =7,29 Å c ₀ =5,40 Å		

других членов этой группы минералов: чисто теллуровой разновидности — Ni₉Te^{VI}Te^{VIII}S₈, сурьмяной — Ni₉Sb^{VI}Sb^{VIII}S₈, мышьяковой — Ni₉As^{VI}As^{VIII}S₈, которые заслуживают собственных названий. Поэтому название гаухекорнит целесообразно сохранить за чисто висмутовой разновидностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Вяльсов Л. Н. Спектры отражения рудных минералов.— Труды ИГЕМ АН СССР. М., 1973.
- Вяльсов Л. Н. Исследование оптических свойств анизотропных минералов в отраженном свете.— Геол. рудн. месторожд., 1975, № 1.
- Минералы, т. I. «Наука», 1960.
- Berry L. G., Thompson R. M. X-ray powder data for ore minerals. New—York, 1962.
- Gait R. J., Harris D. C. Hauchecornite-antimonian, arsenian and tellurian varieties.— Canad. Mineral., 1972, 11, p. 4.
- Kosman V., Nuffield E. W. The crystal structure of antimonian hauchecornite from Westphalia.— Canad. Mineral., 1974, 12, p. 4.
- Soeda A., Hirowatari F. Ann. Meeting Abstr., June, 10—12, 1975.
- Springer G. Die Berechnung von Korrekturen für die quantitative Elektronenstrahl-Mikroanalyse.— Fortschr. Miner., 1967, 45, N 1.
- Watkinson D. M., Heslop J. E., Ewert W. D. Canad. Mineral., 1975, 13.

Н. Н. ПЕРЦЕВ

АФВИЛЛИТ В КАРБОНАТНЫХ РОГОВИКАХ СИБИРИ

Редкий силикат афвиллит (Ca₃[SiO₃OH]₂ · 2H₂O) ранее достоверно не описывавшийся в СССР, обнаружен в карбонатных роговиках, возникших в контакте с долеритами на месте мергелистых пород кочумдекской свиты (S₁), в обнажении близ дер. Кузьмовка (р. Подкаменная Тунгуска, правый берег, 200 км от устья) и в обнажении Анактского купола (р. Нижняя Тунгуска, правый берег, 10 км ниже пос. Ногинский). Кон-