

УДК 549.322.1

МИНЕРАЛОГИЯ

Н. Н. ШИШКИН, Г. А. МИТЕНКОВ, В. А. МИХАЙЛОВА, А. М. КАРПЕНКОВ

**О ПЕНТЛАНДИТЕ ИЗ СПЛОШНЫХ РУД ТАЛНАХСКОГО
И ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(ТАЛНАХСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ)**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 13 III 1970)

Основная масса никеля в сульфидных медно-никелевых месторождениях сосредоточена в сульфиде железа и никеля — пентландите. При сравнении с искусственным соединением Co_9S_8 М. Линдквист и др. (1) пришли к выводу, что пентландит имеет сходное отношение металлов к сере, что он является кубическим и его формула соответствует $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$. По данным Д. Линдквиста (2), в синтетическом пентландите атомное отношение никеля к железу варьирует от 0,72 до 1,38. Позднее О. Ноп и М. А. Ибрагим (3, 4) обнаружили, что отношение никеля и железа в синтетическом пентландите может изменяться в еще более широких пределах — от 0,34 до 2,46. Природный пентландит из различных сульфидных медно-никелевых месторождений мира в отличие от синтетического обладает относительно постоянным химическим составом. На месторождениях Кольского полуострова (5, 6), по данным 19 химических анализов (Мончегорское, Печенгские, вес. %), он представлен: Fe 29,74—33,28; Ni 30,90—35,83; Co 0,10—2,92; S 31,89—34,08; отношение никеля к железу 0,91—1,13, отношение металлов к сере 1,06—1,19. На месторождении Седбери (7), по данным 13 химических анализов, содержания элементов изменяются в следующих пределах (вес. %): Fe 29,80—33,10; Ni 33,70—35,75; Co 0,78—1,28; S 32,74—35,43; отношение никеля к железу 0,98—1,14; отношение металлов к сере 0,91—1,19.

Все опубликованные химические анализы характеризуют пентландиты одного типа руд — пирротинового, при этом исследовался пентландит только из крупных выделений.

В настоящей работе приводятся результаты сравнительного изучения различных морфологических разновидностей пентландита из сплошных пирротинowych и халькопиритовых руд Талнахского и Октябрьского сульфидных медно-никелевых месторождений.

В сплошных пирротинowych рудах пентландит наблюдается в виде округлых или угловатых зерен размером от 1,5—2 до 6—8 мм или кайм шириной до 0,2—0,3 мм, располагающихся на границе пирротина и халькопирита. В пирротине в направлении базальной отдельности (0001) постоянно отмечаются линзовидные, пластинчатые или пламенеvidные вроски пентландита размером от тысячных до десятых долей миллиметра. По мнению большинства исследователей, крупные выделения пентландита образуются в результате перитектической реакции между кристаллами раннего пирротина с никелем в твердом растворе и остаточным расплавом, обогащенным никелем (8—10), а ориентированные мелкие вроски пентландита в пирротине являются продуктом распада никельсодержащего пирротинового твердого раствора (7—10).

В сплошных халькопиритовых рудах пентландит встречается в виде крупных (до 40—50 мм) округлых или угловатых выделений, а также в виде линзовидных пластинок размером от $0,01 \times 0,05$ до $0,5 \times 20$ мм, закономерно ориентированных по направлениям спайности халькопирита. На-

Таблица 4
Химический состав и параметр элементарной ячейки пентландита из сплошных пирротиновых и халькопиритовых руд
Талнахского и Октябрьского месторождений¹

№ образца	Морфология зерен пентландита	Содержание, вес. %							Ni/Fe	Ni + Co + Cu + Fe / S	σ, Å
		Fe	Ni	Co	Cu	S	сумма				
Пирротиновый тип руды											
860	Кайма на границе пирротина и халькопирита	34,3 ± 1,1	31,0 ± 1,1	1,4 ± 0,1	0,086	37,5 ± 1,8	101,3	0,94	0,96	10,094 ± 0,014	
	Линзовидная пластинка в пирротине	31,1 ± 1,1	31,3 ± 1,1	1,9 ± 0,1	Нет	37,1 ± 1,8	101,4	0,96	0,97	—	
588	Крупное зерно на границе пирротина и халькопирита	29,8 ± 1,5	34,2 ± 1,7	1,4 ± 0,1	0,29 ± 0,06	32,0 ± 1,6	97,7	1,09	1,15	10,050 ± 0,014	
	Линзовидная пластинка в пирротине	35,8 ± 1,8	32,4 ± 1,7 ²	1,3 ± 0,1	Нет	33,4 ± 1,6	102,9	0,86	1,17	—	
Халькопиритовый тип руды											
258	Крупное зерно среди талнахита (кубического халькопирита)	40,4 ± 2,0	26,1 ± 1,6	0,28 ± 0,03	0,61 ± 0,06	34,0 ± 1,4	101,4	0,61	1,11	10,162 ± 0,002	
	Линзовидная пластинка в талнахите	38,2 ± 1,8	26,9 ± 1,7	0,22 ± 0,02	0,58 ± 0,06	33,4 ± 1,3	99,3	0,67	1,11	—	
120	Крупное зерно среди халькопирита и кубанита	41,3 ± 2,1	23,5 ± 1,4	0,52 ± 0,05	0,54 ± 0,05	35,8 ± 1,6	101,6	0,51	1,02	—	
806	Крупные зерна среди талнахита и кубанита	36,41	29,33	0,80	0,49	32,95	99,98	0,77	1,14	10,0853 ± 0,004	
817	То же	39,88	24,73	0,71	0,49	33,15	99,96	0,61	1,14	10,1825 ± 0,009	
(11)	»	37,3 ± 0,5	27,8 ± 1,0	0,7 ± 0,1	0,2 ± 0,1 ³	33,2 ± 0,5	99,2	0,71	1,11	—	

¹ Анализ обр. №№ 800, 518, 258 и 120 выполнены на рентгеновском микроанализаторе «Сатесса». В качестве эталонов на железо, никель и медь использовались чистые металлы, на кадмат — юбальтит, на серу — халькопирит. Анализ обр. №№ 806 и 817 выполнены в химической лаборатории, аналитик П. М. Михайлов.

Таблица 2

Изменение параметра элементарной ячейки пентландита различных медно-никелевых месторождений

Месторождение	Тип руды	Число определ.	a, А
Талнахское, Октябрьское	Пирротиновый	7	10,056—10,086
	Халькопиритовый	12	10,012—10,182
Мончегорское Каула (Печенга) Седбери	Пирротиновый	3	10,023—10,048
	»	1	10,027
	»	2	10,025—10,032

Примечание. Определения выполнены на дифрактометре ДРОН-1. Условия съемки: Си-излучение, $V = 35$ кв, $I = 20$ ма, в интервале углов $2\theta = 50-52^\circ$ при скорости счетчика 1 град/мин; диапазон счета 500 имп/сек, постоянная времени интегрирующего устройства 40 сек. В качестве внешнего эталона использовался кварц. Относительная ошибка определения $\pm 0,002$ А.

Таблица 3

Отражение и микротвердость пентландита из сплошных пирротиновых и халькопиритовых руд Талнахского и Октябрьского месторождений

№ обр.	Морфология зерен пентландита	Отражение для различных длин волн (м μ), %						Микротвердость, кг/мм ²	
		440	480	520	560	600	540		670
Пирротиновый тип руды									
860	Кайма на границе пирротина и халькопирита	41,4	44,7	47,5	50,2	52,4	53,4	54,6	$\frac{195-253}{227}$
588	Крупное зерно на границе пирротина и халькопирита	40,8	44,7	48,1	50,3	52,4	53,3	53,5	$\frac{244-281}{266}$
Халькопиритовый тип руды									
258	Крупное зерно среди талнахита (кубического халькопирита)	33,5	37,9	41,4	44,2	46,5	47,8	48,5	$\frac{182-229}{202}$
258	Линзовидная пластинка в талнахите	31,4	36,4	41,4	44,9	47,3	48,7	50,5	—
120	Крупное зерно среди талнахита и кубанита	32,3	38,2	42,3	45,7	47,9	50,2	49,7	$\frac{200-261}{226}$
806	То же	37,9	41,4	44,7	45,6	47,9	47,9	—	$\frac{201-263}{236}$
817	» »	37,4	40,4	43,5	45,3	47,9	48,0	—	$\frac{195-239}{249}$

Примечание. Определение отражения проводилось на приборе ПООС-1. В качестве эталона использован металлический кремний. Определение микротвердости проводилось на приборе ПМТ-3, Р-50. Над чертой — крайние значения, под чертой — средние.

блюдения над взаимоотношениями минералов приводят к выводу, что пентландит кристаллизуется несколько ранее халькопирита.

Химический состав и физические свойства пентландита изучались химическим, рентгеноспектральным и рентгенометрическими методами, сопровождавшимися определениями отражения и микротвердости.

Результаты проведенных исследований (табл. 1—3) показали наличие существенных различий в содержаниях никеля, железа, кобальта и меди в пентландите из сплошных пирротиновых и халькопиритовых руд, что приводит к изменению физических свойств пентландита. В то же время различные морфологические разновидности пентландита в одноименных типах руд на локальных участках мало отличаются друг от друга (табл. 1, обр. №№ 860; 588; 258).

Пентландит из сплошных пирротиновых руд изучаемых месторождений по химическому составу аналогичен пентландиту других медно-никелевых месторождений (см. табл. 1). В отличие от него пентландит халькопиритовых руд характеризуется пониженными содержаниями никеля и кобальта и повышенными железа и меди, атомное отношение никеля к железу изменяется от 0,51 до 0,77. Определение химического состава при помощи рентгеновского микроанализатора «Самеса» производилось на участках, свободных от каких-либо включений, и поэтому появление меди в количестве до 0,61% в пентландите из халькопиритовых руд, по-видимому, обусловлено вхождением ее в решетку минерала. Исследованиями Д. Лундквиста (2), О. Нопа и М. А. Ибрагима (3, 4) установлено, что в ряду синтетического пентландита размер элементарной ячейки возрастает с увеличением содержания железа. В природном пентландите, где кроме никеля и железа в заметных количествах присутствуют также медь и кобальт, такая строгая закономерность нарушается, хотя наиболее высокие значения параметра элементарной ячейки принадлежат железистому пентландиту из халькопиритовых руд (см. табл. 2). Увеличение содержания железа в пентландите приводит к уменьшению отражения и к относительному уменьшению микротвердости (см. табл. 3).

Обращает на себя внимание то, что пентландит из халькопиритовых руд, менее железистых, чем руды пирротиновые, характеризуется более высоким содержанием железа. Это противоречие, возможно, является следствием различных условий кристаллизации пентландита в пирротиновых и халькопиритовых рудах. В пирротиновых рудах первыми появляются кристаллы никельсодержащего пирротинового твердого раствора, поэтому кристаллизация пентландита перитектическим путем или непосредственно из сульфидного расплава осуществляется, видимо, при достижении некоторых оптимальных условий (снижение до определенного уровня концентрации железа, увеличение концентрации никеля, повышение температуры и т. д.). В халькопиритовых рудах пентландит кристаллизуется первым, и его железистость, вероятно, отражает содержание железа в данном микрообъеме расплава в момент кристаллизации.

Таким образом, изучение пентландита из сплошных руд Талнахского и Октябрьского месторождений показывает, что представление о постоянстве химического состава природного пентландита должно быть пересмотрено. Химический состав и физические свойства природного пентландита, так же как и синтетического, изменяются в широких пределах.

Проектный и научно-исследовательский
институт «Гипроникель»
Ленинград

Поступило
7 III 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. Lindqvist, D. Lindqvist, A. Westgren, *Svenske Kemisk. Tidskrift*, Arg. 48, № 1—12 (1936). ² D. Lindqvist, *Arkiv Kemi., Mineral. Geol., A*, 24, № 22 (1947). ³ О. Кноп, М. А. Ибрагим, *Canad. J. Chem.*, 39 (1961). ⁴ О. Кноп, М. А. Ибрагим, *Canad. Mineral.*, 8, 3 (1965). ⁵ И. Н. Чирков, *ДАН*, 29, № 8—9 (1940). ⁶ Н. А. Елисеев, Г. И. Горбунов и др., *Ультраосновные и основные интрузии Печенги*, М., 1961. ⁷ J. E. Hawley, *Canad. Mineral.*, 7, 1 (1962). ⁸ М. Н. Годлевский, *Траппы и рудоносные интрузии Норильского района*, М., 1959. ⁹ Г. Г. Уразов, Н. А. Филин, *Металлургия*, № 2 (1938). ¹⁰ Г. Б. Попова, В. В. Ершов, *Геол. рудных месторождений*, № 1 (1966). ¹¹ L. G. Cabri, *Econ. Geol.*, 62, № 7 (1967).