

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы.
Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2011. №4. С. 38–41

УДК 546.73'74:553.43+553.481(574.3)

З.Н. ПАВЛОВА¹, А.Е. ОМАРБЕКОВА², В.Л. ЛЕВИН³

МИНЕРАЛЫ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА В РУДАХ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМКОР

Никельдің басты минералы пентландит болып табылады, пентландит пирротинге сәйкес келеді және онда қатты ерітіндінің линза тәріздес пен өрт тәріздес құрылым бұзылуын тудырады. Одан басқа да никель сульфидтері – мильтерит, виоларит, темір, виоларит те кездеседі. Кобальт-никельді минералдар мен кобальттің ерекші бір минералы – кобальтин сфалериттің қатты ерітіндісі бұзылуының жүлдіз тәрізді құрылымы кездесетін халькопиритке едәуір түрде тартылады. Халькопирит шеттерінде қорғасын селенидтері мен никель, күміс, висмут теллуриттерінің ультрамикроскопиялық косылымдары да кездеседі.

Основным минералом никеля является пентландит, который тесно ассоциирует с пирротином, образуя в нем пламевидные и линзовидные структуры распада твердого раствора. Встречаются и другие сульфиды никеля – мильтерит, виоларит, железистый виоларит. Кобальт-никелевые минералы и самостоятельный минерал кобальта кобальтин пространственно более тяготеют к халькопириту, в котором локально фиксируются звездчатые структуры распада твердого раствора сфалерита. В краях халькопирита нередко фиксируются ультрамикроскопические включения теллуритов никеля, серебра, висмута, а также селенидов свинца.

The basic mineral of nickel is pentlandite which it is close association with pyrrhotite, forming in it flame and lenticular structures of disintegration of a firm solution. There are also other sulphides of nickel-millerite, violarite, ferruginous violarite. Cobalt-nickel minerals and an independent mineral of cobalt cobaltite spatially more gravitate to chalcopyrite in which are locally fixed stellate structures of disintegration of a firm solution sphalerite. In edges chalcopyrite ultramicroscopic inclusions of tellurites of nickel, silver, bismuth, and also selenide lead are quite often fixed.

Камкор является типичным представителем сульфидных медно-никелевых руд, генетически связанных с породами основного и ультраосновного состава и формирующихся в процессе глубинной ликвации сульфидно-силикатных расплавов с последующей длительной эволюцией обособляющихся сульфидных расплавов. То-есть процесс рудообразования захватывает как собственно магматический этап кристаллизации, так и широко развитые последующие процессы гидротермального минералообразования [1, 2].

Месторождение приурочено к дифференцированной интрузии основного состава среди эфузивно-осадочной толщи турне-визе в Центральном Казахстане. Интрузия имеет сложное строение и представлена перидотитами, норитами, габбро-норитами, кварцевыми диоритами. Переходы между разновидностями пород постепенные.

В перидотитах, норитах и габбро-норитах широко проявлены серпентинизация, оталькование, актинолитизация, хлоритизация и карбонатизация. Для габбро и кварцевых диоритов харак-

терны пренитизация, хлоритизация, калишпатизация, эпидотизация и карбонатизация (Л.Е. Филимонова, 1966).

Основные рудные элементы – медь и никель. По их соотношению (Cu от 0,2 до 1,7%, Ni до 0,2–0,3%) Камкор сравним с месторождениями Норильска, где медь преобладает над никелем.

В другом типе известных медно-никелевых месторождений никель преобладает над медью. К ним относятся месторождения архейского и протерозойского возраста, приуроченные к интрузиям ультраосновного состава – Камболда в Западной Австралии; месторождения никелевого пояса Томпсон в Канаде; Монча, Аллареченское и Печенга на Кольском полуострове; месторождения Воронежского кристаллического массива и Северного Прибайкалья [2].

Основными рудными минералами месторождения Камкор являются пирротин, халькопирит, пирит. Они образуют вкрапленность и небольшие гнезда (до 1–1,5 см²).

Различаются две генерации халькопирита. Халькопирит-1 (магматический) всегда тесно

^{1–3} Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра 69 а, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева.

ассоциирует с пирротином. Отлагается он одновременно с пирротином, образуя зернистые сростки с ним, и вслед за пирротином в виде каемок на его поверхности или по границам зерен. Халькопирит-2 (гидротермальный) представлен самостоятельными гнездами и вкрапленностью в тех же породах. В нем фиксируются звездочки сфалерита (как продукт распада твердого раствора), единичные зерна кобальтовых минералов и ультрамикроскопические включения селенидов свинца и теллуридов никеля, серебра и висмута [4].

Состав минералов никеля и кобальта определен В.Л. Левиным и П.Е. Котельниковым на микрозонде JCXA-733 (таблица 1).

Из минералов никеля наиболее распространен пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$. Имеются также его разновидности – кобальтистый пентландит, аргентопентландит и медистый пентландит (или неназванный-1 $CuFeNi_4S_6$).

Кроме того, встречаются миллерит NiS , виоларит Ni_2FeS_4 , железистый виоларит или неназванный-2 $(Fe,Ni)_3S_4$ и мелонит $NiTe_2$. Ранее Л.Е. Филимоновой были описаны вазэсит NiS_2 и макинавит $(Fe,Ni,Co)_{1+x}S$ [3].

Пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$ пространственно тесно связан с пирротином. Он образует пламевидные и линзовидные формы размером не более 0,1-0,2мм в краях пирротина, по границам его зерен и вдоль трещин в нем. Подобные взаимоотношения в литературе трактуются как структуры распада твердого раствора. Основаны они не только на морфологических признаках, но и на данных микрозондовых анализов, показавших постоянное наличие изоморфной примеси никеля в основной массе пирротина Ховуаксинского месторождения (1,5-1,7%) и минимальные его содержания (0,39-0,54%) в непосредственной близости от новообразований пентландита [5].

Цвет пентландита в отраженном свете светло-желтый, отражение выше, чем у пирротина, изотропен.

Пентландит с повышенной примесью кобальта (до 3,69-5,44%) зафиксирован в виде каемок на пирротине, а также среди халькопирита.

Медистый пентландит (или неназванный-1 $CuFeNi_4S_6$) обнаружен в халькопирите вблизи включенного в нем кристаллика миллерита.

Аргентопентландит встречен в виде мельчайших точек (до 0,001мм) в краях халькопирита и во вмещающей породе вблизи него. По

цвету в отраженном свете он воспринимается как борнитоподобный минерал.

Миллерит NiS представлен одиночными удлиненными кристалликами в краях халькопирита, от которого отличается более высокими отражением и рельефом и сильной анизотропией.

Виоларит Ni_2FeS_4 установлен в пустотках пирита и по границам его зерен. Размеры выделений не превышают 0,1мм. Цвет в отраженном свете кремовоато-серый. Изотропен. Иногда в нем намечается зональность.

Железистый виоларит или неназванный-2 $(Fe,Ni)_3S_4$ – это сульфид никеля и железа, количественные соотношения которых примерно равны, тогда как в обычном виоларите никеля в два раза больше, чем железа. Встречается он в виде мелкозернистых жилок (мощность около 0,05мм) в пирротине, иногда развивается по границе пирротина с халькопиритом.

По цвету минерал близок пирротину, но имеет чуть розоватый оттенок. Рельеф несколько выше, чем у пирротина. Изотропен.

Мелонит $NiTe_2$ наряду с другими теллуридами установлен в виде единичных микронных включений в краях халькопирита.

В минералах никеля, как и в основных рудных минералах, довольно часто присутствует изоморфная примесь кобальта (до 5%).

Минеральные формы кобальта присутствуют значительно реже. Среди них известны совместные кобальт-никелевые сульфиды, такие как зигенит $(Co,Ni)_3S_4$ и железистый зигенит $(Co,Ni,Fe)_3S_4$, в которых количество кобальта приближается к количеству никеля и достигает 20-24%. Встречаются эти минералы в виде мелких одиночных зерен и кристалликов в краях халькопирита. Здесь же имеются единичные находки сульфоарсенида кобальта (кобальтин $CoAsS$) размером в сотые доли мм и сульфотеллурида никеля и кобальта $(Ni,Co)_2(S,Te)_3$.

Полученные данные сводятся к следующему:

1. Никель на месторождении присутствует как в виде собственных минералов, так и в качестве почти постоянной изоморфной примеси в основных сульфидах, особенно в пирротине.

2. Минералы никеля представлены преимущественно сульфидами, среди которых наиболее распространен пентландит.

3. Пространственно сульфиды никеля связаны большей частью с пирротином и образуются одновременно с ним и вслед за ним.

Таблица 1. Состав минералов никеля и кобальта по данным микрозондовых анализов (вес. %)

№ п/п	Обр.	Минерал	S	Fe	Ni	Co	Cu	As	Ag	Te	Сумма
1	1550	Миллерит NiS	36,61	2,60	62,72	-	-	-	-	-	101,93
2	1398/54	- « -	35,30	2,88	59,09	1,43	-	-	-	-	98,71
3	1397/54	Пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9 \text{S}_8$	33,27	27,34	34,69	3,69	-	-	-	-	98,99
4	43/122,3	- « -	33,34	27,06	33,62	5,44	-	-	-	-	99,46
5	- « -	- « -	33,43	28,55	35,47	1,99	-	-	-	-	99,44
6	16	- « -	33,85	30,17	35,04	-	-	-	-	-	99,06
7	43/120,9	- « -	33,94	27,81	33,66	1,32	-	-	-	-	99,73
8	15-1	- « -	33,90	29,33	37,03	-	-	-	-	-	100,32
9	32/213,9	- « -	33,73	30,57	35,40	-	-	-	-	-	99,70
10	21	Аргентопентландит	32,79	33,22	22,31	-	-	-	13,28	-	101,59
11	32/245,5	- « -	32,78	33,21	22,30	-	0,36	-	14,18	-	102,71
12	- « -	- « -	32,44	33,01	22,18	-	0,24	-	14,10	-	101,98
13	1550	Неназванный-1 $\text{CuFeNi}_4 \text{S}_6$	36,61	10,88	42,00	-	12,02	-	-	-	101,52
14	1549(1)	Биоларит $\text{Ni}_2 \text{FeS}_4$	42,08	17,53	39,35	0,64	0,40	-	-	-	100,00
15	1549(2)	- « -	42,20	19,23	39,11	0,46	-	-	-	-	101,00
16	1397/54(1)	Неназванный-2 $(\text{Fe}, \text{Ni})_3 \text{S}_4$	41,68	27,08	29,07	1,76	-	-	-	-	99,59
17	- « -	- « -	41,32	26,80	29,62	1,60	-	-	-	-	99,34
18	1397/54(3)	- « -	42,55	24,20	29,70	3,01	-	-	-	-	99,46
19	- « -	- « -	42,81	27,55	29,11	0,32	-	-	-	-	99,78
20	- « -	- « -	42,96	26,80	29,52	-	-	-	-	-	99,29
21	- « -	- « -	42,38	22,26	29,86	4,27	-	-	-	-	98,77
22	1397/54(1')	- « -	41,13	26,84	27,65	3,13	-	-	-	-	98,74
23	1478	- « -	42,23	27,52	28,79	-	-	-	-	-	98,55
24	43/178,5	Зигенит $(\text{Co}, \text{Ni})_3 \text{S}_4$	41,40	2,35	29,72	24,45	-	-	-	-	97,92
25	43/61	Железистый зигенит $(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Fe})_3 \text{S}_4$	42,59	10,68	26,31	21,32	-	-	-	-	100,90
26	32/245,5	- « -	43,83	13,80	25,39	20,10	-	-	-	-	103,12
27	1411/50(2)	- « -	42,06	12,87	26,60	17,38	-	-	-	-	98,90
28	1397/54(2)	- « -	41,98	10,24	23,71	21,55	-	-	-	-	97,48
29	1406/52	Кобальтин CoAsS	20,05	7,89	3,77	26,11	-	43,39	-	-	101,22
30	43/178,5	Неназванный-3 $(\text{Ni}, \text{Co})_2 (\text{S}, \text{Te})_3$	29,44	-	26,73	17,75	-	-	-	26,00	99,92
31	15-1	Мелонит NiTe_2	-	-	17,74	-	-	-	-	82,26	100,00

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Ан.1- $(\text{Ni}_{0,95} \text{Fe}_{0,04})_{0,99} \text{S}_{1,01}$; Ан.2- $(\text{Ni}_{0,92} \text{Fe}_{0,05} \text{Co}_{0,02})_{0,99} \text{S}_{1,01}$; Ан.4- $(\text{Fe}_{3,90} \text{Ni}_{4,40} \text{Co}_{0,70})_{9,00} \text{S}_{8,00}$ - Ан.9- $(\text{Fe}_{4,25} \text{Ni}_{4,64})_{8,89} \text{S}_{8,10}$; Ан.10- $(\text{Fe}_{4,81} \text{Ni}_{3,05} \text{Ag}_{0,96})_{8,82} \text{S}_{8,18}$;
 Ан.13- $\text{Cu}_{1,01} \text{Fe}_{1,01} \text{Ni}_{3,86} \text{S}_{6,11}$; Ан.14- $\text{Ni}_{2,04} (\text{Fe}_{0,94} \text{Co}_{0,03})_{0,97} \text{S}_{3,99}$; Ан.15- $\text{Ni}_{2,00} (\text{Fe}_{1,02} \text{Co}_{0,03})_{1,05} \text{S}_{3,97}$; Ан.16- $(\text{Fe}_{1,45} \text{Co}_{0,09} \text{Ni}_{1,51})_{3,05} \text{S}_{4,00}$ - Ан.22- $(\text{Fe}_{1,47} \text{Ni}_{1,44} \text{Co}_{0,15})_{3,06} \text{S}_{4,00}$;
 Ан.24- $(\text{Co}_{1,30} \text{Ni}_{1,58} \text{Fe}_{0,12})_{3,00} \text{S}_{4,03}$; Ан.25- $(\text{Co}_{1,08} \text{Ni}_{1,35} \text{Fe}_{0,57})_{3,00} \text{S}_{4,00}$; Ан.29- $(\text{Co}_{0,70} \text{Fe}_{0,23} \text{Ni}_{0,10})_{1,03} \text{As}_{0,95} \text{S}_{1,00}$; Ан.30- $(\text{Ni}_{1,20} \text{Co}_{0,78})_{1,98} (\text{S}_{2,56} \text{Te}_{0,46})_{3,02}$; Ан.31- $\text{Ni}_{0,96} \text{Te}_{2,04}$

4. Для минералов никеля характерна почти постоянная изоморфная примесь кобальта. Максимальные содержания кобальта отмечаются в пентландите (до 5,44%) и в железистом виоларите (до 4%). Присутствуют и совместные кобальт-никелевые сульфиды – зигенит $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$ и железистый зигенит $(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Fe})_3\text{S}_4$.

Из самостоятельных минералов кобальта установлен только кобальтин, да и то в единичных случаях. Минералы с кобальтом располагаются обычно среди халькопирита, чаще в краях его. Здесь же установлены сульфотеллурид никеля и кобальта $(\text{Ni}, \text{Co})_2(\text{S}, \text{Te})_3$ и теллурвид никеля – мелонит NiTe_2 .

5. Приуроченность сульфидов никеля к пирротину, а минералов кобальта и теллурристых соединений кобальта и никеля к халькопириту отражает определенную направленность длительно эволюционировавшего рудного процесса, что характерно для месторождений подобного типа. В течение магматического этапа отлагались в основном минералы железа и никеля (пирротин, пентландит), их твердые растворы и отчасти халькопирит. С последующим гидротермальным этапом связано отложение большей части халь-

копирита и сопутствующих ему минералов. Причем первоначально процесс происходил при высоких температурах, о чем свидетельствует наличие звездчатых структур распада твердого раствора сфалерита в халькопирите. На завершающем этапе температура понижалась, о чем можно судить по приуроченности микроминеральных включений теллуртидов никеля, серебра, висмута и селенидов свинца исключительно к краевым частям халькопирита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин А.Г., Вольфсон Ф.И., Заварицкий А.Н., Коржинский Д.С., Левицкий О.Д., Николаев В.А. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». – М.: Изд-во АН СССР, 1953, 465 стр.
2. Борицанская С.С., Виноградова Р.А., Крутов Г.А. «Минералы никеля и кобальта». – М.: МГУ, 1981, 224с.
3. Справочник «Минералы Казахстана». Алма-Ата: Наука, 1989, 199с.
4. Антоненко А.А., Герцен Л.Е., Левин В.И., Омарбекова А.Е., Павлова З.Н. «Формы нахождения элементов-примесей в рудах медно-никелевого месторождения Камкор // Изв. НАН РК. Сер.Геологич. 2009. №4. С. 28–35.
5. Сидоров А.Ф., Рудашевский Н.С. Диагностика структур распада твердых растворов минералов с помощью микрорезонда. ЗВМО, 1979. Вып.5. Л.: Наука.