

Н. Н. ШИШКИН, А. М. КАРПЕНКОВ, Э. А. КУЛАГОВ, Г. А. МИТЕНКОВ  
О КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ПЕНТЛАНДИТА

(Представлено академиком В. И. Смирновым 10 VIII 1973)

Пентландит, являющийся наиболее важным в экономическом отношении сульфидом никеля, встречается в рудах, как правило, в виде тонких сростаний с пирротинном, халькопиритом и другими сульфидами, что затрудняет выяснение его состава классическими методами химии. Поэтому вполне понятен возросший интерес к изучению химического состава данного минерала в связи с внедрением в практику минералогических исследований электронного микросонда. Появились многочисленные работы, как отечественные (<sup>1-7</sup>), так и зарубежные (<sup>8-10</sup>), где с той или иной сте-

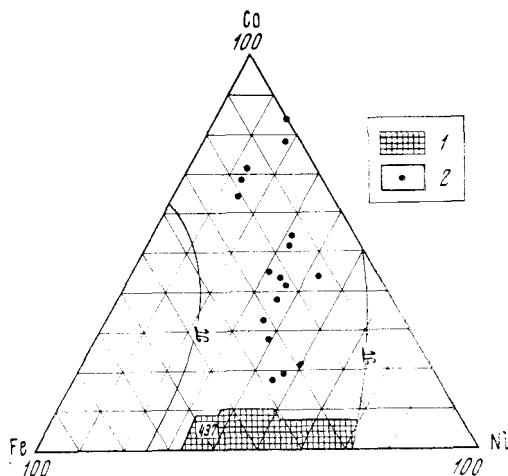


Рис. 1. Химический состав минералов группы пентландита (ат. %). Границы л-фазы — по (<sup>18</sup>). 1 — область составов низкокобальтовых пентландитов (451 анализ); 2 — составы высококобальтовых пентландитов

пенью детальности рассматривается химизм пентландита. В настоящей статье мы попытались представить классификацию минералов группы пентландита, используя для этой цели опубликованные (120) и оригинальные (334) химические анализы пентландита, выполненные при помощи микросонда.

Систематизация имевшихся в нашем распоряжении химических анализов пентландита (табл. 1, рис. 1 и 2) показывает, что среднее отношение металлов к сере очень близко к теоретическому значению, установленному (<sup>14</sup>), и может быть принято равным 9 : 8. Постоянные отклонения от стехиометрии в сторону небольшого увеличения отношения металлов к сере (табл. 1), хотя и обоснованы теоретически (<sup>15, 16</sup>), не могут в настоящее время быть признаны реальными из-за недостаточной точности определения серы при помощи микрорентгеноспектрального метода и замет-

ных вариаций данного отношения, отмечаемых во всех опубликованных работах.

В литературе для обозначения пентландитов с различающимися содержаниями кобальта применяются специальные (но не однозначные) названия, но классификация пентландитов по количеству в них кобальта отсутствует. Н. Н. Шишкин <sup>(17)</sup> различает собственно пентландит  $(\text{Fe, Ni})_9\text{S}_8$ , где  $\text{Co} < 3$  вес. %, кобальтистый пентландит  $(\text{Fe, Ni, Co})_9\text{S}_8$ , кобальтпентландит  $(\text{Co, Fe, Ni})_9\text{S}_8$  и кобальтовый пентландит  $\text{Co}_9\text{S}_8$ , однако граница между кобальтистым пентландитом и кобальтпентландитом не указана. Д. Харрис и Е. Никель <sup>(13)</sup> выделяют пентландит ( $\text{Co} < 10$  вес. %), кобальтсодержащий пентландит ( $\text{Co}$  от 10 до 20 вес. %), кобальтовый пентландит ( $\text{Co} > 20$  вес. %).

Как следует из рис. 1, пентландиты по содержанию кобальта отчетливо разделяются лишь на два типа: низкокобальтовые пентландиты (количество  $\text{Co}$  от суммы металлов  $< 10$  ат. %), куда попадает основная масса проанализированных пентландитов (437 анализов) и высококобальтовые пентландиты (количество кобальта от суммы металлов  $> 10$  ат. %), охарактеризованные только 17 анализами. В связи с этим представляется, что рассматриваемые выше схемы деления высоко-

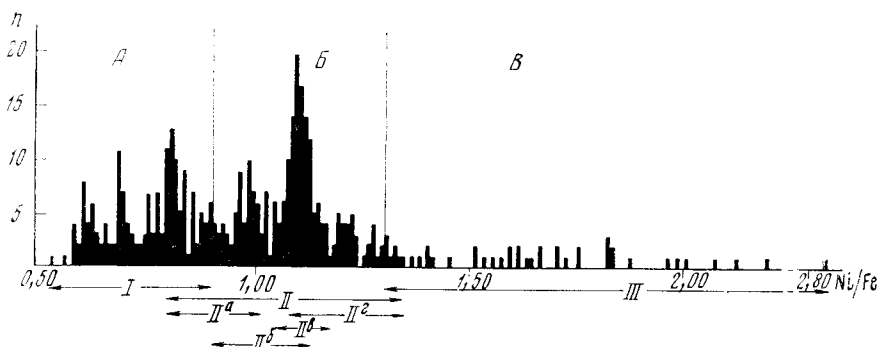


Рис. 2. Частота встречаемости низкокобальтовых пентландитов различного состава в ассоциации: с талнахитом, моихукитом, троилитом и аваруитом (I), пирротинном (II) ( $\text{II}^a$  – смеси троилита и гексагонального пирротина,  $\text{II}^b$  – гексагональный пирротин,  $\text{II}^c$  – смеси гексагонального и моноклинного пирротиннов,  $\text{II}^d$  – моноклинный пирротин, иногда с пиритом или смайтитом) или борнитом, халькозином, миллеритом, годлевскитом, хизлевудитом (III). А – железистый пентландит, Б – пентландит, В – никелистый пентландит

кобальтовых пентландитов не обеспечиваются достаточным числом анализов, и классификация пентландитов по содержанию кобальта следует ограничить в настоящее время двумя природными типами. К низкокобальтовым пентландитам нами отнесены также пентландиты, где кобальт по данным электронного микрозондирования отсутствует, но отсутствие его не доказано более чувствительными методами.

Высококобальтовые пентландиты характеризуются весьма широкими вариациями количества никеля и железа, причем все анализы попадают в поле синтетической  $\pi$ -фазы, границы которой определены <sup>(18)</sup>. Какой-либо зависимости состава высококобальтовых пентландитов от парагенезиса не обнаруживается.

Соотношение никеля и железа в низкокобальтовых пентландитах также изменяется в широких пределах, причем со стороны, обогащенной никелем, границы пентландита и искусственной  $\pi$ -фазы совпадают (рис. 1). Для низкокобальтовых пентландитов, в отличие от высококобальтовых, во всех использованных работах <sup>(1-13)</sup> подчеркивается наличие закономерной связи между отношением никеля к железу в их составе и парагенезисом, что отчетливо видно на рис. 2. Такая закономерная

зависимость состава и парагенезиса позволяет разделить низкокобальтовые пентландиты на три разновидности: железистую (обогащенную железом,  $Ni : Fe < 0,90$ ), никелистую (обогащенную никелем,  $Ni : Fe > 1,30$ ) и разновидность, характеризующуюся приблизительно одинаковым соотношением никеля и железа ( $0,90 < Ni : Fe < 1,30$ ), для которой рекомендуется оставить название «пентландит». Несомненно, что количественные значения отношений никеля к железу, принятые нами в качестве граничных (0,90 и 1,30), будут по мере поступления новых анализов пентландита уточняться.

Как следует из рис. 2, железистые пентландиты встречаются главным образом в парагенезисах с троилитом, талнахитом, моихукитом и аваруитом, никелистые пентландиты — в парагенезисах с борнитом, халькозитом, миллеритом, годлевскитом и хизлеводитом. Собственно пентландиты характерны для типичных пирротиновых руд, причем если пирротин представлен смесью гексагонального пирротина и троилита или одним гексагональным пирротином, то сосуществующий с ними пентландит более обогащен железом. Если же пирротин представлен сростаниями гексагонального и моноклинного пирротинов или моноклинным пирротином, одним или в ассоциации с пиритом и смайтитом, то сосуществующий

Таблица 1

Классификация минералов группы пентландита по химическому составу

Минерал	Разновидность	Число анализов	$\Sigma Me$ S	Пределы соотношений, металлов, ат. %			Ni : Fe	
				Fe	Ni	Co	min	max
Низкокобальтовый пентландит	Никелистый пентландит Пентландит Железистый пентландит	49	$1,137 \pm 0,098$	24,6—44,4	54,6—68,5	0,0—6,9	> 1,30	
		227	$1,175 \pm 0,003$	42,4—52,6	46,5—55,7	0,0—9,5	0,90   1,30	
		161	$1,143 \pm 0,054$	51,2—64,6	33,7—46,7	0,0—9,3	< 0,90	
Высококобальтовый пентландит	$\Sigma$	437	1,138	24,6—64,6	33,7—68,5	0,0—9,5	0,54   2,83	
		17	$1,137 \pm 0,021$	0,0—37,3	13,2—49,4	17,4—79,0	—	
		$\Sigma$	454	1,138	0,0—64,6	13,2—68,5	0,0—79,0	—

с ними пентландит более обогащен никелем. Некоторые минералы, такие как кубанит и халькопирит, могут ассоциировать с пентландитом любого состава.

Замечательная зависимость состава низкокобальтовых пентландитов от их парагенезиса имеет большое значение для выяснения условий формирования сульфидных медно-никелевых руд, и исследования, посвященные выяснению этой зависимости, являются в настоящее время первоочередными при изучении пентландита.

Приносим благодарность А. Ф. Сидорову и Н. С. Рудашевскому за проведение анализов пентландита на электронном микронзонде типа MS-46 «Камера».

Проектный и научно-исследовательский институт «Гипроникель»  
Ленинград

Поступило  
6 VIII 1973

Норильский горно-металлургический комбинат

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. Н. Шишкин, Г. А. Митенков и др., ДАН, т. 197, № 2 (1971). <sup>2</sup> А. Д. Генкин, Г. Д. Гладышев и др., В сборн. Автореф. работ сотрудников Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим. за 1970 г., 1971. <sup>3</sup> Д. А. Додин, В. А. Шапков и др., В сборн. Геология и полезн. ископ. Норильского района, 1971. <sup>4</sup> Э. А. Кулагов, А. Ф. Сидоров, В сборн. Матер. II Норильской геол. конфер., 1971. <sup>5</sup> А. Д. Генкин, А. А. Филимонова и др., В сборн. Автореф. работ сотрудников Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим. за 1971 г., 1972. <sup>6</sup> Д. А. Додин, В. А. Шапков и др., В сборн. Медно-никелевые руды Талнахск. рудн. узла, Л., 1972. <sup>7</sup> Г. А. Митенков, Н. Н. Шишкин и др., В сборн. Минералы и парагенезисы минералов рудных месторождений, «Наука», 1973. <sup>8</sup> M. Graterol, A. J. Naldrett, Econ. Geol., v. 67, № 6 (1971). <sup>9</sup> N. J. Page, Econ. Geol., v. 67, № 6 (1972). <sup>10</sup> D. C. Harris, E. H. Nickel, Canad. Mineral., v. 11, 4 (1972). <sup>11</sup> A. J. Naldrett, E. Gasparrini et al., Canad. Mineral., v. 11, 4 (1972). <sup>12</sup> D. J. Vaughan, E. J. Schwarz, D. R. Owens, Econ. Geol., v. 66, № 8 (1971). <sup>13</sup> H. Papunen, Ann. Sci. Acad. Finland, AIII, 109 (1970). <sup>14</sup> M. Lindqvist, D. Lindqvist, A. Westgren, Svensk. Kem. Tidskr., v. 48, № 7 (1936). <sup>15</sup> O. Knop, M. Ibrahim, Sutarno, Canad. Mineral., v. 8, 3 (1965). <sup>16</sup> J. R. Craig, Carnegie Inst. Wash., Yeak Book 64 (1965). <sup>17</sup> Н. Н. Шишкин, Кобальт в рудах месторождений СССР, М., 1973. <sup>18</sup> O. Knop, M. Ibrahim, Canad. J. Chem., v. 39, № 2 (1961).