

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ И ПЕРВЫЕ НАХОДКИ В СССР

УДК 553.491

Г. Л. ЕВСТИГНЕЕВА, д. члены А. Д. ГЕНКИН
и В. А. КОВАЛЕНКЕР

НОВЫЙ ВИСМУТИД ПАЛЛАДИЯ — СОБОЛЕВСКИТ — И НОМЕНКЛАТУРА МИНЕРАЛОВ СИСТЕМЫ PdBi— PdTe—PdSb

При исследовании медно-никелевых сульфидных руд Октябрьского месторождения был обнаружен минерал, первоначально принятый нами за висмутотеллурид палладия, котульскит Pd (Te, Bi) (Генкин и др., 1963; Kingston, 1966). Определение состава минерала выявило, что он отвечает формуле PdBi, а теллура не содержит. По физическим свойствам (отражение и твердость) этот минерал сходен с котульскитом. Рентгенограмма минерала также может быть отнесена к структурному типу NiAs с параметрами гексагональной элементарной ячейки $a=4.23$ и $c=5.69$ Å ($c/a=1.347$). Новый минерал в честь русского ученого П. Г. Соболевского (1781—1841 гг.), одного из первых исследователей уральских месторождений платины, назван соболевскитом (sobolevskite).¹

СОБОЛЕВСКИТ

Н а х о ж д е н и е. Соболевскит встречен в моихукитовых, халькопиритовых и троилито-пирротино-халькопирито-кубанитовых сплошных и вкрапленных рудах Октябрьского месторождения. Минерал наблюдается чаще всего в виде прожилковидных сростаний с паоловитом Pd₂Sn (Генкин и др., 1974) и сперрилитом (рис. 1). Реже соболевскит находится в ассоциации с самородным серебром, поляритом и некоторыми другими минералами платиновой группы (рис. 2). Размер зерен соболевскита обычно не превышает 0.1 мм.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. В отраженном свете соболевскит серовато-белый с кремовым оттенком, очень похож на котульскит. При удаленном синем фильтре кажется розовато-желтоватым. Двуотражение в воздухе отчетливое. Плеохроизм двуотражения не заметен. При скрещенных николях соболевскит сильно анизотропен с яркими цветными эффектами в красновато-сиреневых и светло-кремовых тонах. Значения коэффициентов отражения² соболевскита, котульскитов, седбериита и синтетического Pd (Bi, Te) приведены в табл. 1 и на рис. 3. Характер дисперсии R у PdBi такой же, как у котульскита и синтетического Pd (Bi, Te). Измерения R для различных сечений зерен PdBi позволили устано-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 19 июня 1973 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 24 сентября 1973 г.

² Спектры отражения измерены Л. Н. Вяльсовым на установке ПИОР (объектив 3 в фирмы Лейтц с эффективной апертурой 0.1, направление колебаний поляризатора перпендикулярно плоскости падения). Эталоны — кремний и пирит, аттестованные в НФЛ (Англия). Относительная погрешность измерений $\pm 1\%$.

вить, что соболевскит оптически слабодвуосный, отрицательный (Вяльсов, 1969).



Рис. 1. Минерал PdBi (1) и находящиеся с ним в сростании сперрилит (2) и паоловит (3) нарастают на магнетит (черное и темно-серое). Основная серая масса — талнахит. Полир. шлиф. Увел. 90. Октябрьское месторождение, скв. КЗ-583.

Твердость соболевскита по десяти замерам при нагрузке 50 Г равна 236 ± 28 кг/мм².

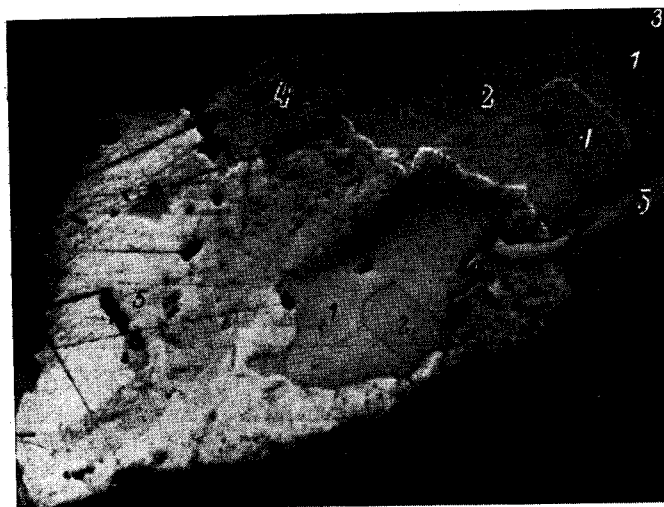


Рис. 2. Сложное сростание платиновых минералов PdBi (1), Pd(Pb, Bi) (2), минерала Pd, Sn и Sb (3) с включениями серебра и золота, паоловита (4), сперрилита (5) и самородного серебра (6). Темно-серое — талнахит, черное — нерудные минералы. Полир. шлиф. Увел. 150. Октябрьское месторождение, скв. КЗ-806.

Химический состав соболевскита определялся на электронных микроанализаторах MAP 1 и MS-46 фирмы «Камека» Н. В. Тронева и И. Д. Марчуковой соответственно. Качественный анализ показал при-

сутствие в минерале в основном палладия и висмута, иногда очень небольших количеств платины, свинца, сурьмы и теллура. Для количественного анализа в качестве эталонов были использованы чистые элементы Pd, Bi, Pt, Sb и Pb, а также соединения PdBi и Pd (Te, Bi). Измерения интенсивности проводились не менее чем в 10 точках каждого зерна минерала. Вариации значений интенсивности не превышали 2%. В расчетах использовалось среднее из этих значений. Относительные интенсивности пересчитывались в весовые концентрации по формулам Д. Филлибера и Р. Кастена. Значения эмпирических коэффициентов взяты из работы Г. Шпрингера (Springer, 1967), коэффициенты поглощения даны по К. Хейнриху (Heinrich, 1966), поправка на атомный номер вводилась по П. Данкамбу и С. Риду (Duncumb, Reed, 1968).

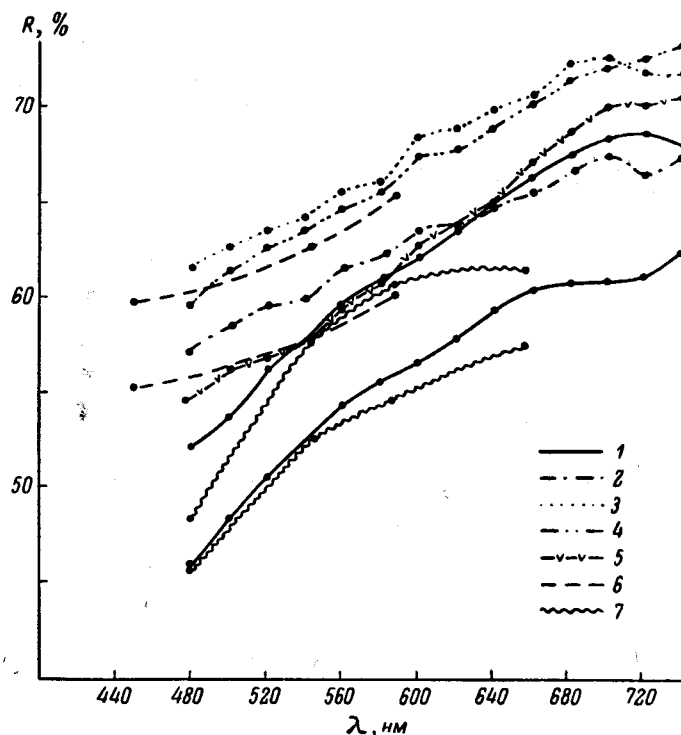


Рис. 3. Кривые отражения минералов ряда соболевскит—котульскит и седберит.

1 — соболевскит. ан. 3 в табл. 2; 2—4 и 7 — минералы ряда PbBi—PdTe: 2 — ан. 9, 3 — ан. 10, 4 — ан. 13, 7 — ан. 17^а; 5 — синтетический Pd (Bi_{0.8}Te_{0.2}); 6 — седберит.

Результаты количественного анализа соболевскита приведены в табл. 2 (ан. 1—3). Состав его может быть выражен формулой PdBi.

Рентгенометрическое изучение соболевскита проводилось методом порошка. Порошок минерала извлекался из зерен с поверхности полированного шлифа с помощью тонкой стальной иглы и закатывался в шарик ($d=0.2$ мм) из резинового клея. Съемка рентгенограмм производилась в РКД-57.3 асимметричным способом на железном излучении без фильтра (β -линии выделялись расчетным путем).

Как известно (Burr, Reasock, 1942; Журавлев, 1957), в системе Pd—Bi существует фаза PdBi. По данным различных исследователей (Хейкер и др., 1953; Жданов, 1954; Журавлев, 1957), она имеет ромбическую структуру оригинального типа с параметрами базоцентрированной ячейки $a=7.203$, $b=8.707$ и $c=10.662$ Å. Ранее нами (Генкин и др., 1969) был изучен минерал полярит Pd (Pb, Bi), в состав которого входят Pd, Pb

Таблица 2

Химический состав соболевскита и минералов ряда PdBi—PdTe

Анализ	Pd	Pt	Bi	Te	Pb	Cu	Sb	Сумма	Формула	Аналитик или источник
Соболевскит										
1	35.5	—	64.0	—	—	—	—	99.5	Pd _{1.05} Bi	И. Д. Марчукова
2	36.0	—	64.0	—	—	—	—	100.0	Pd _{1.10} Bi	»
3	34.4	—	66.2	—	—	—	—	100.6	Pd _{1.01} Bi	И. В. Тронева
Минералы ряда PdBi—PdTe										
4	32.8	—	64.2	1.8	—	—	—	93.8	Pd _{0.95} (Bi _{0.95} Te _{0.05})	Юшко-Захарова и др., 1972
5	35.8	—	49.0	5.8	5.8	0.2	—	96.6	Pd _{1.09} (Bi _{0.75} Te _{0.14} Pb _{0.09} Cu _{0.01})	Тот же
5 ^a	33.7	1.3	54.4	2.7	0.27	—	7.9	100.4	(Pd _{0.92} Pt _{0.02}) _{0.94} (Bi _{0.75} Sb _{0.19} Te _{0.06})	Г. Н. Муравицкая
6	35.8	—	54.8	10.8	—	—	—	101.4	Pd _{0.97} (Bi _{0.76} Te _{0.24})	И. П. Лапутина
7	35.1	—	52.7	12.8	—	—	—	100.6	Pd _{0.94} (Bi _{0.71} Te _{0.29})	»
8	40.0	1.3	30.6	23.3	—	—	—	95.2	(Pd _{1.14} Pt _{0.02}) _{1.16} (Te _{0.56} Bi _{0.44})	Kingston, 1966
9	36.5	0.45	35.5	27.2	—	—	0.07	99.5	(Pd _{0.90} Pt _{0.01}) _{0.91} (Te _{0.56} Bi _{0.44})	И. П. Лапутина
10	39.0	—	30.9	26.1	2.8	—	—	98.8	Pd _{1.00} (Te _{0.56} Bi _{0.40} Pb _{0.01})	Коваленкер и др., 1972
11	39.6	—	27.8	29.2	2.3	—	—	98.9	Pd _{1.00} (Te _{0.61} Bi _{0.36} Pb _{0.03})	Тот же
12	41.4	—	22.2	33.6	3.0	—	—	100.2	Pd _{1.01} (Te _{0.69} Bi _{0.28} Pb _{0.03})	»
13	39.5	—	21.3	36.1	3.1	—	—	100.0	Pd _{0.92} (Te _{0.71} Bi _{0.25} Pb _{0.04})	»
14	38.8	1.1	20.1	36.1	—	—	—	96.1	(Pd _{0.97} Pt _{0.02}) _{0.99} (Te _{0.74} Bi _{0.26})	Kingston, 1966
15	45.9	—	17.2	38.0	—	—	—	101.1	Pd _{1.16} (Te _{0.78} Bi _{0.22})	Тот же
16	41.0	0.4	14.0	42.9	0.7	—	0.2	99.2	(Pd _{0.95} Pt _{0.01}) _{0.96} (Te _{0.82} Bi _{0.16} Pb _{0.01} Sb _{<0.01})	И. П. Лапутина
17	43.5	0.2	4.8	52.6	1.5	—	0.3	102.9	(Pd _{0.92} Pt _{0.01}) _{0.93} (Te _{0.93} Bi _{0.05} Pb _{0.02} Sb _{<0.01})	»
17 ^a	43.5	—	3.6	54.2	—	—	—	101.3	Pd _{0.93} (Te _{0.96} Bi _{0.04})	Mihalik и др., 1974

Примечание. Ан. 9^a — мончегорский котульскит, проанализированный на микрозонде (материал тот же, что и в работе А. Д. Генкина и др., 1963).

и Bi (Pb и Bi взаимно замещают друг друга в широких пределах). Этот минерал имеет рентгенограмму того же типа, что и синтетический PdBi (табл. 3). По свойствам полярит сильно отличается от соболевокита, поэтому сопоставление их рентгенограмм представляет значительный интерес. Соболевскит имеет более простую по сравнению с поляритом рентгенограмму, практически полностью совпадающую с рентгенограммами котульскита и синтетического соединения PdTe (табл. 3). Присутствует только несколько слабых линий, не индицирующихся в ячейке типа NiAs, отмечающихся и на рентгенограмме котульскита (Генкин и др., 1963).

Таблица 3

Результаты расчета рентгенограмм соболевокита, котульскита, седберинта и синтетических PdTe и PdBi

Соболевскит PdBi		Котульскит — Мончегорское месторождение (Генкин и др., 1963)		Котульскит — Рустенбург (Kingston, 1966)		Синтетический PdTe		Седберинт PdSb (Cabri, Laflamme, 1974)		hkl	Синтетический PdBi (Генкин и др., 1969)	
I	d_{α} (в Å)	I	d_{α} (в Å)	I	d_{α} (в Å)	I	d_{α} (в Å)	I	d_{α} (в Å)		I	d_{α} (в Å)
		3	3.65	—	—	1	3.58	—	—	10 $\bar{1}$ 0	2	3.35
10	3.07	10	3.05	10	3.03	4	3.03	5	3.21	10 $\bar{1}$ 1		
		1	2.85	—	—	—	—	3	2.96	0002		
2	2.68	1	2.65	—	—	—	—	—	—	—	9	2.67
											1	2.51
10	2.26	9	2.24	9	2.22	8	2.22	5	2.16	10 $\bar{1}$ 2	1	2.39
1	2.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	2.27
9	2.11	9	2.09	7	2.08	6	2.07	7	2.03	11 $\bar{2}$ 0	10	2.18
								4	1.75	2020		
4	1.74	6	1.73	2	1.72	4	1.71	1	1.67	20 $\bar{2}$ 1		
5	1.690	6	1.68	2	1.67	5	1.67	0.5	1.65	10 $\bar{1}$ 3, 11 $\bar{2}$ 2	4	1.646
1	1.642											
1	1.575											
3	1.541	7	1.53	3	1.52	8	1.51	0.5	1.491	20 $\bar{2}$ 2		
1	1.450	1	1.44									
2	1.426	2	1.42	0.5	1.41	3	1.42	0.5	1.381	0004	3	1.400
4	1.342	7	1.33	1	1.32	5	1.32	—	—	10 $\bar{1}$ 4	2	1.334
2	1.321	3	1.31	—	—	3	1.30	—	—	20 $\bar{2}$ 3		
											1	1.264
4	1.244	8	1.24	1	1.23	10	1.22	1	1.206	21 $\bar{3}$ 2	2	1.228
2	1.218	7	1.21	—	—	5	1.21	1	1.180	30 $\bar{3}$ 0	1	1.213
5	1.182	8	1.17	1	1.17	10	1.17	—	—	11 $\bar{2}$ 4	4	1.180
4	1.117	6	1.11	—	—	—	—	2	1.081	12 $\bar{3}$ 3, 30 $\bar{3}$ 2		
2	1.090	—	—	—	—	—	—	1	1.066	10 $\bar{1}$ 5	1	1.086
2	1.065	—	—	—	—	—	—	—	—	22 $\bar{4}$ 0		
											1	1.006
1	0.998	—	—	—	—	—	—	—	—	13 $\bar{4}$ 1		

Удовлетворительного объяснения появления этих линий на дебаграммах пока не найдено. Возможно, они связаны с некоторым искажением никель-арсенидной структуры (и снижением симметрии). С другой стороны, это могут быть и линии, сверхструктурные к ячейке типа B8. В пользу первого предположения говорят и оптические свойства, однако окончательный вывод сделать трудно.

Почти вся дебаграмма соболевокита (табл. 3) проиндицирована в гексагональной ячейке типа NiAs (пространственная группа $P6_3/mmc$, $Z=2$) с параметрами $a=4.23$ и $c=5.69$ Å ($c/a=1.347$).

Интересно, что некоторые межплоскостные расстояния соболевокита совпадают с d_{α} синтетического PdBi ромбической сингонии. Это может

быть связано с близостью некоторых межатомных расстояний или со сходством сравниваемых фаз.³

НОМЕНКЛАТУРА ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМЫ PdBi—PdTe—PdSb

При систематическом изучении медно-никелевых сульфидных руд наряду с соболевскитом нами был обнаружен целый ряд минералов (рис. 4), по физическим свойствам и рентгенограмме весьма сходных с соболевскитом и котульскитом. Исследование состава этих фаз на электронном микронзонде MS-46, проведенное И. П. Лапутиной (Коваленкер и др., 1972), показало, что все они характеризуются постоянным отношением $Pd : (Te + Bi) = 1 : 1$ и меняющимся отношением $Te : Bi$ (практически от PdTe до PdBi) — табл. 2. На треугольной диаграмме Pd—Te—Bi

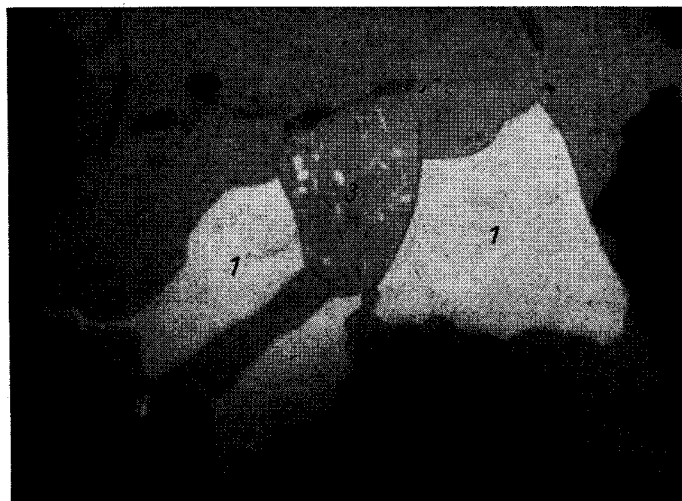


Рис. 4. Срастание котульскита (1), теларгпалита (2) и минерала $Pd_3(As, Te)$ (3). В $Pd_3(As, Te)$ светлые точки — реликты замещенного котульскита. Борнито-миллерито-халькопиритовые экзоконтактовые руды. Поле рудника Комсомольский. Полир. шлиф. Увел. 490. Масляная иммерсия.

(рис. 5) точками показаны все составы, полученные авторами и приведенные в литературе для фаз такого типа (небольшие количества сурьмы и свинца при расчете объединены с висмутом, а платины и серебра — с палладием). Как видим, эти составы занимают на диаграмме практически все поле от PdTe до PdBi.⁴

Существование ряда PdTe—PdBi подтверждается и закономерным изменением физических свойств отдельных его членов. В табл. 1 и 4 и на рис. 3 приведены данные по отражению и твердости некоторых фаз промежуточного химического состава. Можно отметить некоторое повышение значений R с увеличением содержания Te, за исключением почти чистого PdTe (табл. 2, ан. 17^a). Твердость всех рассмотренных фаз практически одинакова: 230—250 кг/мм.² Исключение составляют синтетический $Pd(Bi_{0,8}Te_{0,2})$ и минерал, содержащий около 3 вес. % Pb (табл. 2, ан. 10),

³ Полного сравнения структур типа NiAs и ромбического PdBi сейчас не удастся провести, ввиду того что данные по структуре последнего соединения (Хейкер и др., 1953) вызывают большие сомнения.

⁴ Некоторые отклонения от стехиометрии приводят к расширению этого поля в направлении, перпендикулярном линии составов PdTe—PdBi.

Таблица 4

Твердость соболевакита и минералов ряда PdBi—PdTe

Минерал	Анализ в табл. 2	$H_{ср}$ (в кг/мм ²)	$H_{min}—H_{max}$ (в кг/мм ²)	n	P (в Г)
Соболевскит PdBi	3	236	208—268	10	50
Pd(Bi _{0.95} Te _{0.05})	4	257	—	?	15
Синтетический Pd(Bi _{0.8} Te _{0.2})	—	355	342—372	3	50
Pd _{1.09} (Bi _{0.75} Te _{0.14} Pb _{0.09})	5	194	—	?	10
Pd(Te _{0.56} Bi _{0.4} Pb _{0.04})	10	362	338—405	6	20
Pd(Te _{0.61} Bi _{0.36} Pb _{0.03})	11	249	224—286	5	20
Pd(Te _{0.69} Bi _{0.28} Pb _{0.03})	12	242	214—270	2	20
Pd(Te _{0.74} Bi _{0.26})	14, 15	236	—	2	15

Примечание. ПМТ-3, тарирован по NaCl ($H_{NaCl} = 21$ кг/мм² при $P = 5$ Г).

что может быть связано с малым размером выделений минерала или с неоднородностью фазы. На рентгенограммах минералов (табл. 3) наблюдается закономерное увеличение межплоскостных расстояний с ростом содержания висмута, что отражается и на некотором увеличении параметров элементарной ячейки (табл. 5).

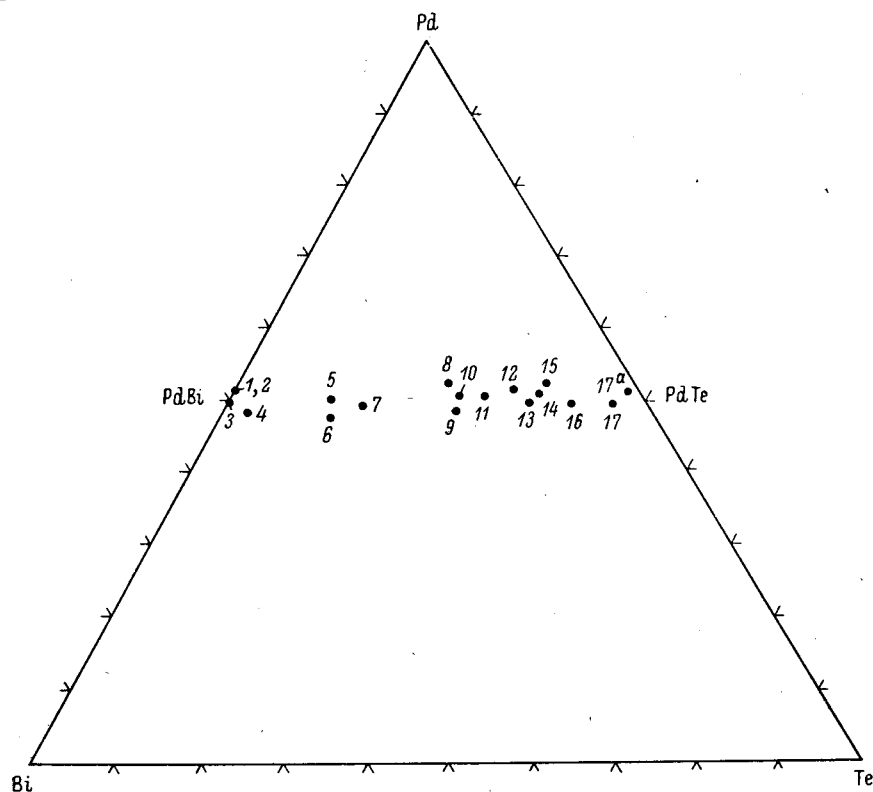


Рис. 5. Диаграмма составов минералов ряда соболевакит PdBi—котульскит PdTe.

1—17 и 17^a здесь и на рис. 6 — анализы в табл. 2.

Приведенные данные достаточно убедительно свидетельствуют об изоморфизме Bi и Te в соединениях ряда PdBi—PdTe в широких пределах. Замещение висмута теллуром (и наоборот) проявляется и в других природных соединениях платиновых металлов. Например, известны мончеиты — Pt (Te, Bi)₂ — со значительными колебаниями состава в отно-

Таблица 5

Размеры элементарных ячеек соединений ряда PdBi—PdTe

Минерал, соединение	Анализ в табл. 2	a (в Å)	c (в Å)	c/a
Соболевскит PdBi	3	4.23	5.69	1.345
Синтетический Pd(Bi _{0.8} Te _{0.2})	—	4.22	5.68	1.347
(Pd, Pt) _{0.9} (Te _{0.56} Bi _{0.44})	9	4.19	5.67	1.354
Pd(Te _{0.61} Bi _{0.36} Pb _{0.03})	11	4.188	5.67	1.355
Pd(Te _{0.74} Bi _{0.26})	14—15	4.145	5.67	1.369
Синтетический PdTe (Grönvold, Röst, 1956)	—	4.127	5.663	1.373

нении Te и Bi: от Pt (Te_{1.96}Bi_{0.04})₂ до Pt (Bi_{1.91}Te_{0.09})₂ (Генкин и др., 1963, 1972; Коваленкер и др., 1972).

Интересно также сопоставить минералы ряда PdBi—PdTe с седберитом — палладиево-сурьмяным минералом, недавно описанным Л. Кабри и Д. Лафламмом (Cabri, Laflamme, 1974). Идеальный состав седберита PdSb, однако во всех десяти приведенных микронзондовых анализах (табл. 6) отмечается присутствие висмута (до 5.4 вес. % — ан. 27), мышьяка (до 2.04% — ан. 18), теллура (до 3.9% — ан. 25) и никеля (до 10.3% в одном случае — ан. 20).

Таблица 6

Химический состав седберита (Cabri, Laflamme, 1974)

Анализ	Pd	Ni	Te	Bi	Sb	As	Сумма	Формула
18	45.2	1.06	0.07	0.53	52.8	2.04	101.70	(Pd _{0.96} Ni _{0.04}) ₁ (Sb _{0.98} As _{0.06} Bi _{0.01} Te _{0.002}) _{1.052}
19	36.1	8.0	0.82	0.60	55.2	1.06	101.78	(Pd _{0.71} Ni _{0.29}) ₁ (Sb _{0.95} As _{0.04} Bi _{0.01} Te _{0.01}) _{1.00}
20	31.1	10.3	1.13	0.75	57.7	0.62	101.60	(Pd _{0.63} Ni _{0.37}) ₁ (Sb _{1.01} Te _{0.02} As _{0.02} Bi _{0.01}) _{1.06}
21	35.5	7.8	0.84	0.76	55.5	0.80	101.20	(Pb _{0.72} Ni _{0.28}) ₁ (Sb _{0.98} As _{0.02} Bi _{0.01} Te _{0.01}) _{1.02}
22	36.1	7.6	0.79	0.77	55.5	0.71	101.47	(Pd _{0.72} Ni _{0.28}) ₁ (Sb _{0.97} As _{0.02} Bi _{0.01} Te _{0.01}) _{1.01}
23	34.8	8.7	0.68	0.84	56.2	0.96	102.18	(Pd _{0.69} Ni _{0.31}) ₁ (Sb _{0.97} As _{0.03} Bi _{0.01} Te _{0.01}) _{1.02}
24	44.4	0.48	0.17	3.2	49.6	0.88	98.73	(Pd _{0.98} Ni _{0.02}) ₁ (Sb _{0.96} Bi _{0.03} As _{0.03} Te _{0.002}) _{1.023}
25	44.4	0.53	3.9	3.3	45.3	1.88	99.31	(Pd _{0.98} Ni _{0.02}) ₁ (Sb _{0.87} Te _{0.07} As _{0.06} Bi _{0.04}) _{1.04}
26	40.8	3.2	0.12	4.5	51.3	0.52	100.44	(Pd _{0.88} Ni _{0.12}) ₁ (Sb _{0.96} Bi _{0.05} As _{0.02} Te _{0.002}) _{1.032}
27	41.9	2.18	0.14	5.4	49.6	0.03	99.25	(Pd _{0.91} Ni _{0.09}) ₁ (Sb _{0.95} Bi _{0.06} Te _{0.002}) _{1.012}

Установлено, что седберит, как и его синтетический аналог PdSb, характеризуется структурой типа NiAs с параметрами элементарной ячейки $a=4.06 \pm 0.02$ и $c=5.29 \pm 0.02$ Å (Cabri, Laflamme, 1974). Твердость PdSb при нагрузке 25 Г равна 281—311 кг/мм². Сходство структур (тип B8), близость размеров элементарных ячеек (табл. 5), а также присутствие в составе седберита висмута и теллура (табл. 6), а в котульските — сурьмы (табл. 2) позволяют сделать предположение о существовании фаз промежуточного состава между седберитом, соболевскитом и котульскитом. На рис. 6 точками показаны все установленные нами и имеющиеся в литературе составы природных фаз в системе PdBi—PdTe—PdSb. О вероятности такого предположения может свидетельствовать обнаруженная нами минеральная фаза,⁵ показанная на диаграмме PdBi—PdTe—PdSb (рис. 6, 28). Ее химический состав (в вес. %) — Pd 43.6, Bi 32.2 и Sb 25.2, сумма 101.0 (аналитик И. П. Лапутина) — соответствует формуле Pd_{1.13}(Sb_{0.57}Bi_{0.43}).

⁵ Троилито-пирротино-кубанитовые сплошные руды, поле рудника Таймырский, Октябрьское месторождение.

Существование рядов PdBi—PdTe, PdBi—PdSb и PdTe—PdSb с замещениями Bi—Te, Bi—Sb и Te—Sb в различных пределах можно объяснить, если рассматривать PdBi, PdTe и PdSb как интерметаллические соединения, в которых возможность изоморфных замещений лимитируется в основном размерами атомов и особенностями структур.

На основании приведенных данных может быть предложена следующая номенклатура природных соединений ряда PdBi—PdTe. Названия

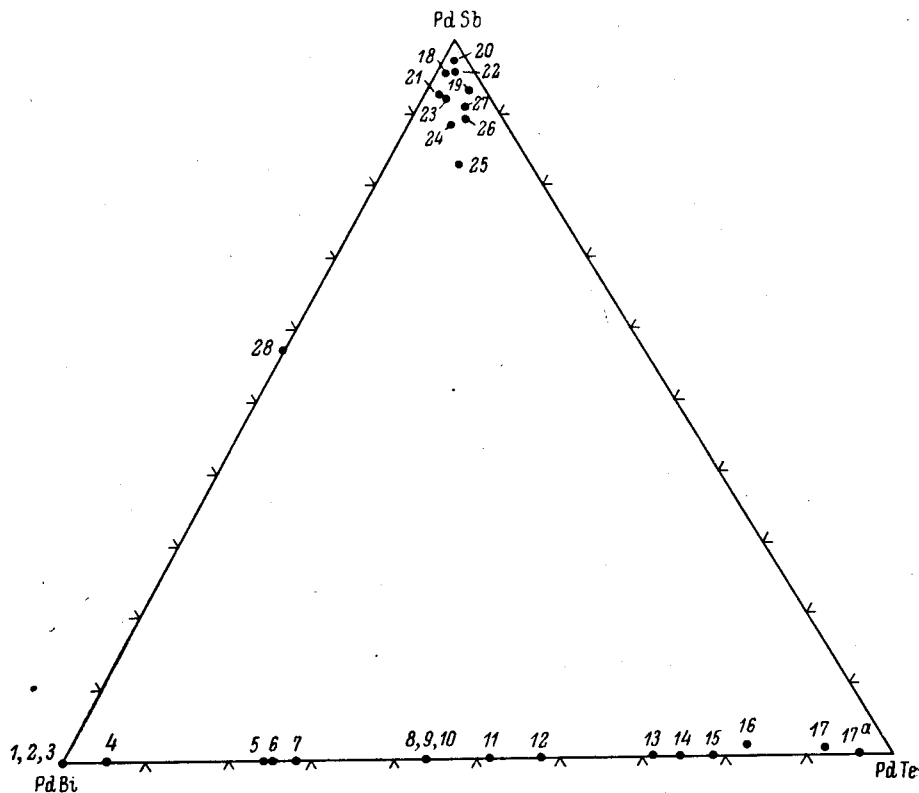


Рис. 6. Диаграмма состава минералов в системе PdBi—PdTe—PdSb.

18—27 — анализы в табл. 6.

минеральных видов следует присвоить конечным членам ряда: соболевскит PdBi и котульскит PdTe.⁶ Промежуточные члены ряда называть с добавлением определения: теллуристые соболевскиты (при содержании Bi > Te) и висмутистые котульскиты (Te > Bi) — к ним относятся все описанные ранее котульскиты (Генкин и др., 1963; Kingston, 1966; Коваленкер и др., 1972).

Могут быть предложены названия и для двух других возможных рядов: PdBi—PdSb и PdTe—PdSb. Аналогично вышеизложенному в ряду соболевскит—седберит могут быть выделены висмутистые седбериты и сурьмянистые соболевскиты, а в ряду котульскит—седберит — теллуристые седбериты и сурьмянистые котульскиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время установлена довольно широкая распространенность соболевскита и минералов ряда PdBi—PdTe в медно-никелевых рудах.

⁶ В природе не обнаружен пока чистый PdTe, есть только фаза с содержанием Bi около 3.6 вес.% (табл. 2, ан. 17^a).

норильских месторождений. Отмечается приуроченность различных по составу минералов этого ряда к определенным типам руд.

Соболевскит пользуется преимущественным развитием в сплошных рудах. В существенно пирротиновых разновидностях руд, в которых соболевскит ассоциирует с алтаитом, самородным серебром, паоловитом, $(Pt, Pd)(Bi, Sb, Te)_2$, в составе минерала присутствуют до 3% теллура и 8% сурьмы (табл. 2, ан. 5^a). В сплошных рудах халькопиритового состава встречается теллуристый соболевскит (до 10.8% Te), находящийся в парагенезисе с паоловитом, а в рудах с преобладающими талнахитом и моихукитом в ассоциации с паоловитом, поляритом и сперрилитом развит соболевскит, в составе которого примесь теллура и сурьмы отсутствует.

Проведенные наблюдения показывают, что для сплошных руд характерны висмутовые члены ряда $PdBi-PdTe$. В этих рудах и другие висмутотеллуриды (мончеит) обладают составами, в которых висмут значительно преобладает над теллуrom (Коваленкер и др., 1972).

Напротив, котульскиты ($PdTe$ и минералы, в которых $Te > Bi$) развиты в экзоконтактных прожилково-вкрапленных и брекчиевидных рудах, где они ассоциируют с большим числом минералов теллура, клаустилитом и самородным серебром (Коваленкер и др., 1972).

Таким образом, для минералов ряда $PdBi-PdTe$ выявляется, с одной стороны, соответствие их состава с составами ассоциирующих с ними минералов, с другой — различное соотношение висмута и теллура в зависимости от типа руды, что отражает различия в соотношениях активностей этих элементов при образовании рассматриваемых минералов в различных физико-химических условиях. В более поздних прожилково-вкрапленных экзоконтактных рудах минералы платиновой группы формировались при относительно более низких температурах из остаточных растворов с повышенными концентрациями теллура, селена и серы.

Авторы выражают благодарность Л. Н. Вяльсову за измерение спектров отражения, а также И. Д. Марчуковой, Н. В. Тронева, И. П. Лапутиной и Г. Н. Муравицкой за определение состава минералов на электронных микроанализаторах.

Полированные шлифы с соболевскитом и висмутистым котульскитом хранятся в Минералогическом музее АН СССР и в лаборатории минералогии ИГЕМА АН СССР.

Литература

- Вяльсов Л. Н. (1969). Определение осности и оптического знака рудных минералов из измерений отражательной способности. Геол. рудн. месторожд. т. 11, № 1.
- Генкин А. Д., Л. Н. Вяльсов, Т. Л. Евстигнеева, И. Д. Марчукова. (1972). О мончеите и майчнерите из медно-никелевых руд Октябрьского месторождения. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 101, вып. 1.
- Генкин А. Д., Т. Л. Евстигнеева, Л. Н. Вяльсов, И. П. Лапутина, Н. В. Тронева. (1974). Паоловит — Pd_2Sn — новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд. Геол. рудн. месторожд., т. 14, № 1.
- Генкин А. Д., Т. Л. Евстигнеева, Н. В. Тронева, Л. Н. Вяльсов. (1969). Полярит — $Pd(Pb, Bi)$ — новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 98, вып. 6.
- Генкин А. Д., Н. Н. Журавлев, Е. М. Смирнова. (1963). Мончеит и котульскит — новые минералы и состав майчнерита. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 92, вып. 1.
- Жданов Г. С. (1954). Атомное строение металлических соединений висмута. Тр. Инст. кристаллогр., вып. 10.
- Журавлев Н. Н. (1957). Структура сверхпроводников. X. Термическое, микроскопическое и рентгенографическое исследование системы $Bi-Pd$. ЖЭТФ, т. 32, № 6.
- Коваленкер В. А., И. П. Лапутина, Л. Н. Вяльсов, А. Д. Генкин, Т. Л. Евстигнеева. (1972). Минералы теллура в сульфидных медно-никелевых рудах Талнахского и Октябрьского месторождений (Норильский район). Изв. АН СССР, сер. геол., № 11.
- Хейкер Д. М., Г. С. Жданов, Н. Н. Журавлев. (1953). Структура сверхпроводников. Рентгенографическое исследование $BiPd$. ЖЭТФ, т. 25, № 5.

Юшко-Захарова О. Е., А. С. Авдониц, В. П. Быков, Э. А. Кулагов, С. И. Лебедева, Л. А. Черняев, К. В. Юркина. (1972). О составе платиновых минералов в медно-никелевых рудах Талнахского и Норильского месторождений. В сб.: Минералогические исследования, вып. 2. ИМГРЭ. М.

Burr S. V., M. A. Peacock. (1942). A preliminary study of the alloys of palladium and bismuth. Toronto Univ. Stud. v. 47.

Cabri L. J., J. H. G. Laflamme. (1974). Sudburyite, a new palladium-antimony mineral from Sudbury, Ontario, Canada. Miner., v. 12, № 4.

Duncumb P., S. J. B. Reed. (1968). The calculation of stopping power and backscatter effects in electron microanalysis. Quant. electron probe microanalysis. NBS, spec. publ. 298, v. 198.

Grönvold F., E. Röst. (1956). On the sulfides, selenides and tellurides of palladium. Acta Chem. Scand., v. 10, № 10.

Heinrich K. F. J. (1966). X-ray absorption uncertainty. Electron Microprobe. N. Y.

Kingston G. A. (1966). The occurrence of plationoid bismuthotellurides in the Merensky Reef at Rustenburg platinum mine in the Western Bushveld. Miner. Mag., v. 35, № 247.

Mihalik P., J. B. E. Jacobson, S. A. Hiemstra. (1974). Platinum-group minerals from a hydrothermal environment Econ. Geol., v. 69, № 2.

Springer G. (1967). Die Berechnung von Korrekturen für die quantitative Elektronenstrahl-Mikroanalyse. Fortschr. Miner., Bd. 45, № 1.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии
и геохимии (ИГЕМ) АН СССР,
Москва.

Поступила в редакцию
17 марта 1975 г.