

УДК 553.481'43 (571.51)

В. А. КОВАЛЕНКЕР, А. Д. ГЕНКИН, Т. Л. ЕВСТИГНЕЕВА
и И. П. ЛАПУТИНА

ТЕЛАРГПАЛИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ПАЛЛАДИЯ, СЕРЕБРА И ТЕЛЛУРА ИЗ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ¹

При микроскопическом изучении борнито-миллерито-халькопиритовых прожилково-вкрапленных руд Октябрьского медно-никелевого месторождения (Норильский район) нами были встречены мелкие выделения (5—200 мкм) нескольких неизвестных минералов (Коваленкер и др., 1972).

Один из этих минералов удалось изучить более детально. Он оказался сложным многокомпонентным соединением теллура, серебра, палладия, свинца и висмута. По трем преобладающим в его составе элементам (теллуру, серебру и палладию) минерал назван теларгпалитом (telargpalite).

Борнито-миллерито-халькопиритовые руды с теларгпалитом залегают в метаморфически и метасоматически измененных породах верхнего экзоконтакта Талнахского интрузива габбро-долеритов (поле рудника «Ком-

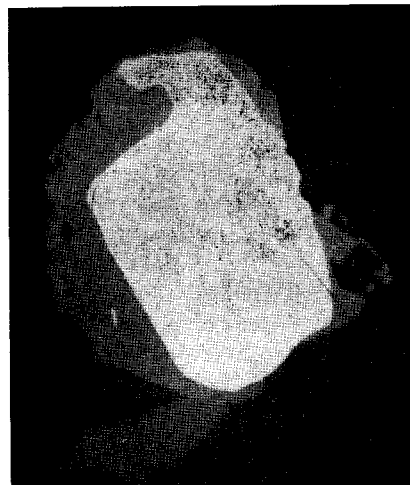


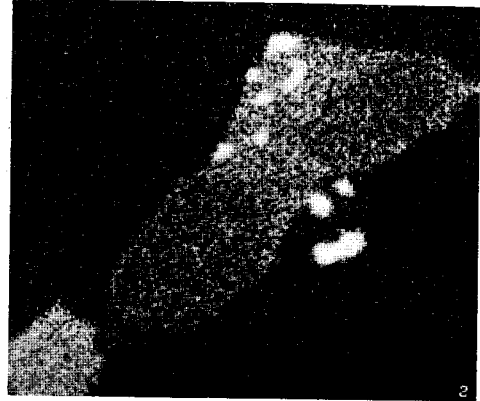
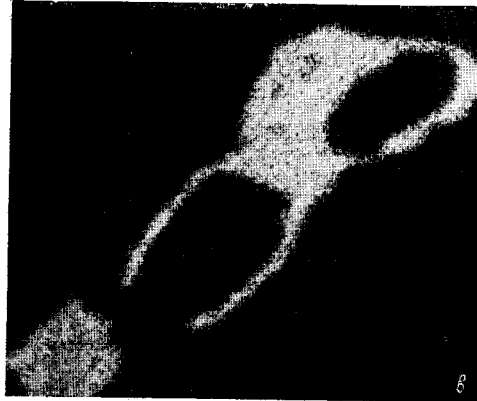
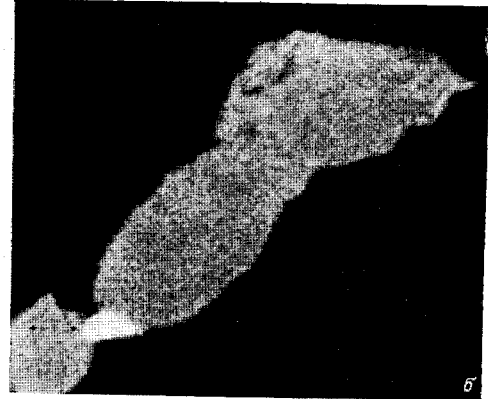
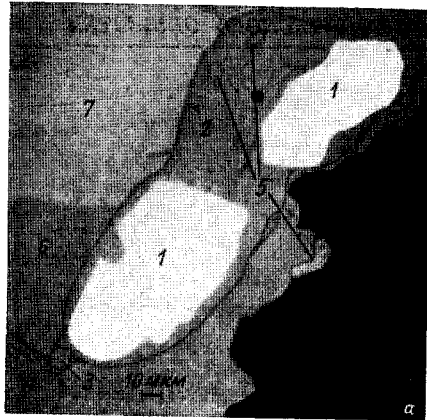
Рис. 1. Срастание теларгпалита (светло-серое) и котульскита (белое) в халькопирите (темно-серое). Черное — нерудные минералы. Борнито-миллерито-халькопиритовые экзоконтактные руды. Полир. шлиф. Масляная иммерсия. Увел. 500.

сомольский»). Теларгпалит и другие минералы платиновой группы, среди которых преобладает котульскит Pd (Te, Bi), встречаются в виде округлых, часто удлиненных зерен, нередко располагающихся в виде цепочек или полиминеральных прожилков среди халькопирита, реже — борнита и миллерита.

Наиболее часто теларгпалит образует срастания с котульскитом (рис. 1), нередко (рис. 2) — с минералами состава (Pd, Ag)₃(Ag, Bi) (Te, Se) и Pd₃(As, Te) (Коваленкер и др., 1972), а также самородным серебром, брэггитом, клаусталитом и недостаточно изученным минералом PdPb(S, Se).

Методы исследования. Поведение минерала в отраженном свете исследовалось при больших увеличениях в воздухе и масляной

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 5 сентября 1972 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 17 января 1973 г.



иммерсии под микроскопом МИН-9 и NU фирмы «Zeiss» (ГДР). Спектры отражения измерялись Л. Н. Вяльсовым на спектрофотометре «ПИОР» его конструкции. В качестве опорных эталонов использовались кремний и пирит, аттестованные в НФЛ (Англия). Твердость минерала определялась на ПМТ-3 ($H_{\text{NaCl}} = 21 \text{ кг/мм}^2$ при $P = 5 \text{ Г}$). Химический состав теларгпалита изучался на рентгеновском микроанализаторе Ms-46 фирмы «Самеса» по методике, описанной нами ранее (Коваленкер и др., 1972). Рентгеновское изучение минерала проводилось методом Дебая—Шерера (РКД-57, без фильтра, асимметричная закладка пленки). Порошок теларгпалита извлекался из полированного шлифа с помощью тонкой стальной иглы и закатывался в шарик из резинового клея диаметром 0.1—0.2 мм.

Физические свойства и химический состав. В отраженном свете в воздухе и масляной иммерсии теларгпалит светло-серого цвета, со слабо заметным сиреневатым оттенком. В скрещенных николях минерал изотропен. Внутренние рефлексy отсутствуют. Для длин волн 440, 460, 480, 500, 520, 540, 560, 580, 600, 620, 640, 660, 680, 700, 720 и 740 нм величина отражения минерала равна соответственно 44.7, 45.3, 46.6, 47.5, 49.1, 50.1, 50.9, 51.7, 52.4, 53.7, 54.7, 55.6, 56.7, 57.2, 57.4 и 58.4%.

Минерал мягкий, относительный рельеф его меньше, чем у котульскита. Твердость (в кг/мм^2) теларгпалита (8 замеров при $P = 10 \text{ г}$) варьирует от 46 до 84, средняя — 62.

Химический состав нового минерала определен в 9 разных зернах теларгпалита, находящихся преимущественно в сростаниях с котульскитом, иногда — и с другими минералами (табл. 1). Наибольшим колебаниям в минерале подвержены содержания висмута и свинца. Характерно, что значительные концентрации селена (0.5—0.6 вес.%) присутствуют только в тех зернах теларгпалита, которые тесно ассоциируют с клаусталитом (зерна №№ 3 и 9 в табл. 1).

Элементы, входящие в состав теларгпалита, распределены в нем равномерно, что хорошо видно на микрофотографиях в характеристическом рентгеновском излучении палладия, серебра, теллура, свинца, висмута, селена и мышьяка (рис. 2). Равномерность распределения минералообразующих элементов в теларгпалите проверялась также неоднократно измерением интенсивностей характеристического рентгеновского излучения во многих точках по площади зерен минерала.

Ввиду малого размера зерен теларгпалита и тонких сростаний его с котульскитом и другими минералами получить чистый материал для рентгеновских исследований оказалось весьма сложно. После неоднократных попыток была получена дебаеграмма чистого теларгпалита, содержащая 23 линии (табл. 2).

Среди синтетических и природных соединений аналогов теларгпалита пока не обнаружено. Синтез минерала до сих пор провести также не удалось. Индексирование рентгенограммы теларгпалита проводилось в связи с этим аналитическим методом. Удалось подобрать индексы для всех отражений в примитивной кубической решетке с $d_0 = 12.60 \pm 0.02 \text{ \AA}$. Сходимость $d_{\text{вычисл.}}$ и $d_{\text{измер.}}$ в пределах ошибки измерения хорошая (табл. 2).

Обсуждение результатов. Вероятно, несколько преждевременно считать полученные данные о геометрии решетки теларгпалита окончательными, поскольку не совсем ясно размещение атомов в такой

Рис. 2. Сростания котульскита (1), теларгпалита (2), $\text{Pd}_3(\text{As}, \text{Te})$ (3), $(\text{Pd}, \text{Ag})_3(\text{Ag}, \text{Pb})(\text{Te}, \text{Se})$ (4) и клаусталита (5) в халькопирите (6) и миллерите (7). а — рисунок аншлифа; б-з — то же в характеристическом рентгеновском излучении; б — $\text{Pd}_{L\alpha_1}$, в — $\text{Ag}_{L\beta_1}$, г — $\text{Pb}_{L\beta_1}$, д — $\text{Bi}_{L\alpha_1}$, е — $\text{As}_{L\beta_1}$, ж — $\text{Se}_{K\alpha_1}$, з — $\text{Te}_{L\alpha_1}$.

Таблица 1

Химический состав теларгпалита

Зерно	Содержание элементов (а, в вес. %) и их атомные количества (б)	Элементы							Формула
		Pd	Ag	Te	Se	Pb	Bi	сумма	
1	а	39.3	29.5	20.2	0.1	3.8	5.9	98.7	I — (Pd _{2.34} Ag _{1.69}) _{4.03} (Pb _{0.12} Bi _{0.18}) _{0.30} (Te, Se) _{1.00} II — (Pd _{1.81} Ag _{1.31}) _{3.12} (Pb _{0.09} Bi _{0.14} Te _{0.77}) _{1.00}
	б	0.369	0.273	0.158	0.001	0.018	0.028		
2	а	39.4	29.0	19.6	—	3.7	7.5	99.2	III — (Pd _{2.30} Ag _{1.73} Pb _{0.13} Bi _{0.17}) _{4.33} Te _{1.00} I — (Pd _{2.41} Ag _{1.74}) _{4.15} (Pb _{0.12} Bi _{0.23}) _{0.35} Te _{1.00}
	б	0.370	0.269	0.154	—	0.018	0.036		
3	а	39.0	30.8	19.8	0.6	6.7	3.7	100.6	II — (Pd _{1.78} Ag _{1.29}) _{3.07} (Pb _{0.08} Bi _{0.17} Te _{0.74}) _{1.00} III — (Pd _{2.39} Ag _{1.76} Pb _{0.13} Bi _{0.22}) _{4.52} Te _{1.00}
	б	0.366	0.285	0.155	0.008	0.032	0.018		
4	а	40.5	28.2	21.0	0.2	2.3	8.3	100.5	I — (Pd _{2.35} Ag _{1.85}) _{4.20} (Pb _{0.21} Bi _{0.11}) _{0.32} (Te, Se) _{1.00} II — (Pd _{1.79} Ag _{1.41}) _{3.2} (Pb _{0.18} Bi _{0.09} Te _{0.76}) _{1.00}
	б	0.380	0.261	0.165	0.002	0.011	0.040		
5	а	39.8	28.4	21.0	0.3	5.2	7.0	101.8	III — (Pd _{2.35} Ag _{1.85} Pb _{0.18} Bi _{0.14}) _{4.52} (Te, Se) _{1.00} I — (Pd _{2.24} Ag _{1.56}) _{3.80} (Pb _{0.07} Bi _{0.23}) _{0.30} (Te, Se) _{1.00}
	б	0.374	0.263	0.165	0.004	0.025	0.034		
6	а	40.5	28.2	21.0	0.2	4.1	6.6	100.6	II — (Pd _{1.82} Ag _{1.26}) _{3.08} (Pb _{0.05} Bi _{0.18} Te _{0.77}) _{1.00} III — (Pd _{2.25} Ag _{1.56} Pb _{0.12} Bi _{0.24}) _{4.17} (Te, Se) _{1.00}
	б	0.380	0.261	0.165	0.002	0.020	0.032		
7	а	39.6	31.2	20.2	—	7.0	3.4	101.4	I — (Pd _{2.24} Ag _{1.56}) _{3.80} (Pb _{0.16} Bi _{0.20}) _{0.35} (Te, Se) _{1.00} II — (Pd _{1.65} Ag _{1.15}) _{2.8} (Pb _{0.09} Bi _{0.14} Te _{0.77}) _{1.00}
	б	0.372	0.289	0.158	—	0.034	0.016		
8	а	38.9	30.5	20.1	—	8.5	2.1	101.1	III — (Pd _{2.24} Ag _{1.58} Pb _{0.12} Bi _{0.21}) _{4.15} (Te, Se) _{1.00} I — (Pd _{2.27} Ag _{1.58}) _{3.85} (Pb _{0.11} Bi _{0.19}) _{0.30} Te _{1.00}
	б	0.365	0.283	0.157	—	0.041	0.01		
9	а	39.4	28.6	19.6	0.5	6.7	3.7	98.5	II — (Pd _{1.77} Ag _{1.23}) _{3.00} (Pb _{0.09} Bi _{0.15} Te _{0.76}) _{1.00} III — (Pd _{2.28} Ag _{1.58} Pb _{0.12} Bi _{0.17}) _{4.15} Te _{1.00}
	б	0.370	0.264	0.154	0.006	0.032	0.018		
									I — (Pd _{2.30} Ag _{1.80}) _{4.10} (Pb _{0.20} Bi _{0.10}) _{0.30} Te _{1.00} II — (Pd _{1.79} Ag _{1.41}) _{3.20} (Pb _{0.16} Bi _{0.08} Te _{0.76}) _{1.00} III — (Pd _{2.29} Ag _{1.80} Pb _{0.23} Bi _{0.08}) _{4.40} Te _{1.00} I — (Pd _{2.30} Ag _{1.80}) _{4.10} (Pb _{0.24} Bi _{0.06}) _{0.30} Te _{1.00} II — (Pd _{1.74} Ag _{1.36}) _{3.10} (Pb _{0.19} Bi _{0.05} Te _{0.76}) _{1.00} III — (Pd _{2.29} Ag _{1.76} Pb _{0.26} Bi _{0.09}) _{4.40} Te _{1.00} I — (Pd _{2.32} Ag _{1.68}) _{4.00} (Pb _{0.20} Bi _{0.10}) _{0.30} (Te, Se) _{1.00} II — (Pd _{1.74} Ag _{1.26}) _{3.00} (Pb _{0.15} Bi _{0.05} Te _{0.76}) _{1.00} III — (Pd _{2.36} Ag _{1.68} Pb _{0.21} Bi _{0.05}) _{4.30} (Te, Se) _{1.00}

Примечание. I—III — варианты расчета формулы теларгпалита. В зернах 1, 2, 4, 6 и 7 теларгпалит находится в сростаниях с котульскитом; в зерне 3 — с котульскитом и клаусталитом; в зерне 5 — с котульскитом и PdPb(S, Se); в зерне 9 — котульскитом, (Pd, Ag)₃(Ag, Pb)(Te, Se), Pd₃(As, Te) и клаусталитом; в зерне 8 — с котульскитом и самородным серебром.

Таблица 2

Результаты расчета дебаеграммы теларгпалита

Теларгпалит					Pd,Te _{синт.} (Grönvold, Röst, 1956)			Pd ₃ Pb _{синт.} (Nowotny и др. 1946)		
I	d _{измер.}	hkl	d _{вычисл.}	a ₀	I	d _{измер.}	hkl	I	d _{измер.}	hkl
1	6.30	200	6.30	12.60				4	4.07	100
4	3.05	410	3.05	12.58				4	2.886	110
3	2.74	421	2.75β	12.56						
10	2.42	333	2.42	12.63	3	2.43	333	9	2.335	111
					3	2.27	?			
2	2.22	440	2.32β	12.56	10	2.23	440			
5	2.10	600	2.10	12.60				7	2.014	200
1	1.970	443, 261	1.970	12.63	3	1.973	443, 261			
1	1.943	451	1.943	12.59						
1	1.861	631	1.861	12.62				1	1.803	210
2	1.822	444	1.820	12.61						
1	1.728	720	1.731	12.58						
1	1.681	462	1.683	12.58						
1	1.602	732	1.602	12.61	4	1.645	731	3	1.643	211
3	1.475	661	1.475	12.60	6	1.581	800			
1	1.392	910	1.392	12.60	3	1.393	911	7	1.423	220
					3	1.375	920			
2	1.337	725	1.336	12.61	—	—	—	7	1.343	221, 300
1	1.285	448	1.285	12.59	7	1.292	448			
2	1.261	10.0.0	1.261	12.61				1	1.273	310
1	1.231	10.2.1	1.230	12.62	4	1.225	591, 773			
1	1.202	10.3.1	1.202	12.61	—	—	—	9	1.213	311
2	1.185	10.3.2	1.185	12.60	3	1.191	10.32, 944, 870			
					3	1.172	10.41, 960, 872	6	1.160	222
					3	1.149	11.10, 954, 873			
1	1.122	11.2.1	1.122	12.59	6	1.121	880			
1	1.071	11.4.1	1.071	12.58	3	1.074	11.93, 973	4	1.112	320
					6	1.0012	12.40	4	1.074	321
								6	1.004	400

Примечание. Образец теларгпалита снят в лаборатории минералогии ИГЕМА АН СССР. В рентгенограмме Pd,Te не приведено еще 18 линий, а для Pd₃Pb — 9 линий в области больших углов θ.

кубической ячейке. Весьма сложным в связи с этим оказался и расчет формулы минерала, так как современные знания по проблеме изоморфизма элементов в сложных многокомпонентных интерметаллидах палладия ограничены. Исходя из химического состава теларгпалита формулу минерала можно рассчитать по крайней мере тремя различными вариантами: I — объединяя Pd и Ag, Pd и Bi, Te и Se; II — Pd+Ag, Pd+Bi+Te+Se; III — Pd+Ag+Pb+Bi, Te+Se (табл. 1).

В варианте I расчета идеализированная формула теларгпалита выглядит как (Pd, Ag)₁₆ (Pb, Bi) (Te, Se)₄. Эта формула, с точки зрения изоморфных замещений элементов, логична. Однако в этом случае трудно объяснить, как размещаются в примитивной кубической решетке атомы элементов, входящих в состав теларгпалита.

Японский кристаллограф А. Като (личное сообщение) предположил, что теларгпалит является теллуристым аналогом звягинцевита (рентге-

нограмма в табл. 2) — $\text{Pd}_3(\text{Pb}, \text{Sn})$. Тогда формула минерала должна соответствовать варианту II расчета — $(\text{Pd}, \text{Ag})_{3+x}(\text{Te}, \text{Pb}, \text{Bi}, \text{Se})$. Если перейти от параметра элементарной ячейки, близкой звягинцевиту (4.20 \AA), к $a_0 = 12.60 \text{ \AA}$, то формула теларгпалита может быть представлена как $(\text{Pd}, \text{Ag})_{12}(\text{Te}, \text{Pb}, \text{Bi}, \text{Se})_4$. Однако дебаеграмма минерала не полностью индицируется в этом структурном типе. Значительные сложности в этом варианте формулы возникают и в связи с изоморфными замещениями элементов. Замещение свинца или висмута селеном маловероятно.

Определяющую роль в структуре теларгпалита играют преобладающие в его составе палладий, серебро и теллур, а остальные (свинец, висмут и селен) имеют подчиненное значение. При расчете варианта III формулы мы исходили также из наличия отрицательных корреляционных связей в теларгпалите между парами элементов $\text{Pd}-\text{Ag}$, $\text{Pd}-\text{Pb}$, $\text{Ag}-\text{Bi}$, $\text{Pb}-\text{Bi}$ и $\text{Te}-\text{Se}$ (Коваленкер и др., 1972), которые косвенно могут свидетельствовать об изоморфных замещениях между этими элементами. Принималось во внимание и отсутствие корреляции между содержаниями свинца и теллура, висмута и теллура. Формула теларгпалита в этом варианте расчета выглядит как $(\text{Pd}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Bi})_{4+x}(\text{Te}, \text{Se})$ или $(\text{Pd}, \text{Ag})_{4+x}\text{Te}$. Минерал может быть сопоставлен с Pd_4Te — одной из многочисленных фаз системы $\text{Pd}-\text{Te}$ (Grönvold, Röst, 1956).

Структура Pd_4Te детально не изучена. Известно, что в кубической ячейке с $a_0 = 12.67 \text{ \AA}$ пятая часть атомов палладия замещена на теллур, что приводит к сверхструктуре с $a_0 = 3.168 \text{ \AA}$. Некоторые отличия дебаеграммы Pd_4Te от рентгенограммы теларгпалита (табл. 2) могут быть объяснены значительно более сложным составом нового минерала.

Рассмотрение приведенных выше данных позволяет считать более предпочтительным вариант III формулы теларгпалита — $(\text{Pd}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Bi}, \text{Te})_{4+x}\text{Te}$. Окончательно решить вопрос о формуле можно будет лишь после получения его синтетического аналога. Даже одно определение удельного веса могло бы помочь в выборе варианта III или II формулы, так как на основании расчетных данных для $(\text{Pd}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Bi})_{4+x}\text{Te}$ он должен быть $\sim 13 \text{ г/см}^3$, а для $(\text{Pd}, \text{Ag})_{3+x}(\text{Te}, \text{Pb}, \text{Bi})$ — 10.5 г/см^3 .

Наблюдаемые в шлифах взаимоотношения теларгпалита с котульскитом однозначно свидетельствуют о том, что новый минерал развивается за счет котульскита, поскольку удается проследить все стадии замещения. К такому же выводу приводит сопоставление химического состава этих минералов (Коваленкер и др., 1972). Теларгпалит полностью заимствует из котульскита такие элементы, как палладий, теллур и висмут. Привносится в основном серебро. Селен в заметных количествах содержится в теларгпалите только в случае его срастания с клаусталитом (табл. 1), т. е. этот элемент также был привнесен растворами.

Образцы с теларгпалитом хранятся в Минералогическом музее АН СССР и в лаборатории минераграфии ИГЕМА АН СССР.

Литература

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. Изв. АН СССР, сер. геол., № 11.

Nowotny H., K. Schubert, U. Dettinger. (1946). Zur Kenntnis des Aufbaus und Kristallchemie einiger Edelsysteme (Palladium—Blei, Palladium—Zinn, Rodium—Zinn, Platin—Blei), Metallforschung, H. 4/5.

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

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

Поступила в редакцию
10 июня 1974 г.