

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ И ПЕРВЫЕ НАХОДКИ В СССР

УДК 553.41 : 549.334

Э. М. СПИРИДОНОВ, М. С. БЕЗСМЕРТНАЯ, Т. Н. ЧВИЛЁВА,
В. В. БЕЗСМЕРТНЫЙБИЛИБИНСКИТ $Au_3Cu_2PbTe_2$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹
ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В зоне окисления ряда месторождений, содержащих теллуриды золота, описаны риккардит и вейссит в виде обособленных выделений, прожилков в теллуридах или псевдоморфоз по ним: Калгурли, Австралия (Stillwell, 1953; Markham, 1960), и в ряде месторождений СССР: в Сибири (Синдеева, 1959), Казахстане (Боришанская, 1946) и в других районах. Риккардит в значительных количествах был отмечен в обнажениях руд одного из месторождений Дальнего Востока (Андрусенко, Щепотьев, 1974). В большинстве описанных находок определение риккардита основывалось на качественной оценке оптических свойств минерала в отраженном свете. Однако проведенные авторами детальные исследования образцов из месторождений Дальнего Востока и Казахстана показали, что минералы в этих рудах, похожие в шлифах на риккардит, представляют интерметаллические соединения золота, меди, свинца, серебра, железа (с преобладанием золота); их следует рассматривать как теллуриды, крайне богатые золотом и другими металлами.

Наиболее распространен среди них минерал $Au_3Cu_2PbTe_2$. Он широко развит в окисленных рудах месторождения Дальнего Востока, довольно часто встречается в месторождениях Казахстана. Минерал назван нами билибинскимитом (bilibinskite) в память о выдающемся советском геологе, исследователе геологии золота, Юрии Александровиче Билибине (1901—1952).

Билибинскит развит только в зоне выветривания рудных тел. В окисленных рудах месторождения Дальнего Востока является распространенным минералом. Он наблюдался в гипергенных образованиях различного минерального состава: в ассоциации с теллуридами меди и свинца, меди, железа и свинца (рис. 1); с минералом Au_7Cu_2PbTe , другими интерметаллидами золота, меди, свинца и железа, с теллуридами меди и свинца; с гипергенным медистым золотом; с медистым золотом, теллуридами и минералом Au_7Cu_2PbTe (рис. 2). Билибинскит нередко образует каемки на гипогенном самородном золоте, а также встречается в виде обособленных выделений в кварце, которые, возможно, представляют псевдоморфозы по гипогенным теллуридам. Размер сростков зерен минерала не превышает 0.5 мм. Наблюдалось замещение билибинскита агрегатами пылевидного или тонкопластинчатого золота в сростании с теллуридом меди и свинца $CuPb(TeO_3)O$.

В окисленных рудах месторождений Казахстана билибинскит замещает сивланит и креннерит, образует в них прожилки, вместе с теллуридами слагает псевдоморфозы по гипогенным теллуридам.

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМ) Всесоюзного минералогического общества 16 апреля 1977 г. Утверждено КНМ Международной минералогической ассоциации 19 июля 1977 гг.

Нередко выделения билибинскита представляют срастания различно ориентированных индивидов, иногда образующих радиальнолучистые агрегаты. Размер индивидов минерала не превышает 15 мкм.

Макроскопически билибинскит — минерал светло-коричневого или розово-коричневого цвета с бронзовым отливом, с полуметаллическим блеском, цвет черты золотисто-коричневый до бурого. Спайность отсутствует. Полируется весьма хорошо и легко.

В отраженном свете билибинскит исключительно своеобразен и очень похож на риккардит (Безмертная, Чвилёва, 1976). Как и у риккардита, обращает на себя внимание пурпурный цвет минерала, создающий яр-

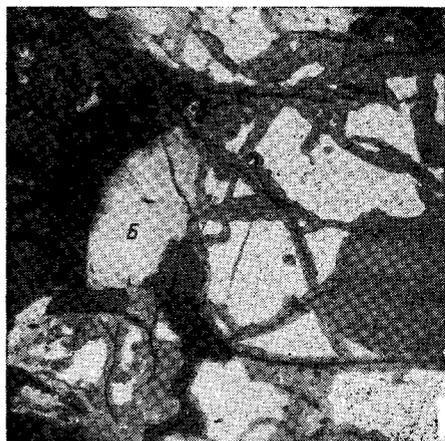


Рис. 1. Билибинскит (B) в срастании с теллуридами меди, железа и свинца (серое), замещающими халькопирит (белое), кварц (темное). Полир. шлиф, увел. 300, обр. К-1.

Очертания зерна билибинскита на контакте с теллуридами свидетельствуют о том, что эта граница совместного роста того и другого минерала.



Рис. 2. Срастания гипергенных минералов: билибинскита (1), медистого золота (2), Au, Cu, Pb, Te (3) и теллуридов меди, железа и свинца (серое), замещающих халькопирит (белое), кварц (темное). Полир. шлиф, увел. 300, обр. К-1.

кую, пятнистую картину в шлифе; в разных сечениях цвет меняется от сине-фиолетового или красно-фиолетового до бежево-кремового, благодаря чему создается исключительно сильный цветной эффект двуотражения. Отражение минерала умеренное, в зависимости от сечения изменяется от слабого до среднего и сильно меняется с длиной волны. Эффекты анизотропии при скрещенных николях, так же как и эффекты двуотражения, исключительно сильные, яркие цветные в канареечно-желтых, огненно-красных тонах.

Спектры отражения билибинскита приведены на рис. 3 и в табл. 1. Кривые дисперсии R индивидуальны, имеют сложные профили (с минимумами и максимумами), характеризующие яркое «оптическое лицо» билибинскита. Кривая R_g отвечает самым светлым положениям билибинскита с кремово-бежевым цветом; кривая R_r соответствует сечениям минерала с наиболее яркими пурпурными цветами; спектр R_m занимает промежуточное положение, имеет аномальный тип дисперсии и по характеру профиля близок к R_g . Для билибинскита характерно изменение оптического знака отражения: в главном малиново-бежевом сечении кривые дисперсии R пересекаются при $\lambda=620$ нм. Промежуточное между R_g и R_r положение кругового сечения определяет билибинскит как минерал оптически двуосный, т. е. как минерал низкой сингонии.

Твердость билибинскита (среднее по шести измерениям) 381 кгс/мм², разброс значений H находится в пределах 329—419 кгс/мм², $P=20$ гс (ПМТ-3, тарирован по NaCl, $H_{\text{NaCl}}=21$ кгс/мм², $P=5$ гс). Относительный рельеф билибинскита заметно выше, чем у золота.

Химический состав билибинскита определен с помощью рентгеноспектрального микроанализатора JXA-5 при ускоряющем напряжении 25 кВ. Билибинскит устойчив под электронным пучком. Эталоны — чистые элементы Au, Ag, Cu, Fe, Te, Se, а также химически анализированные алтаит PbTe, клаусталит PbSe и халькопирит. Аналитические линии $\text{Au}_{L\alpha}$, $\text{Ag}_{L\alpha}$, $\text{Cu}_{K\alpha}$, $\text{Fe}_{K\alpha}$, $\text{Pb}_{L\alpha}$, $\text{Te}_{L\alpha}$ и $\text{Se}_{K\alpha}$. Пересчет относительных интенсивностей на концентрации осуществлен с использованием массовых коэффициентов поглоще-

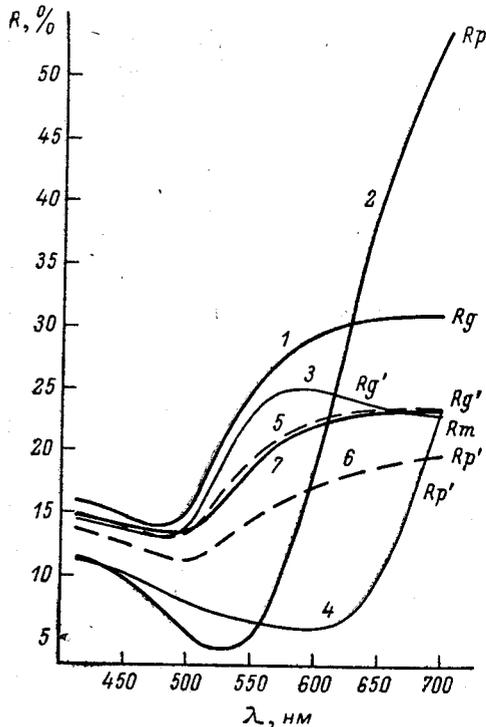


Рис. 3. Спектры отражения билибинскита в интервале видимой области.

Кривые 1 и 2 (обр. 22, К-1) показывают изменение отражения в главном сечении, $Rg-Rp$; 3 и 4 (обр. 14, К-1) и 5, 6 (обр. 19, К-1) характеризуют промежуточные сечения, $Rg'-Rp'$; 7 (обр. 14, К-1) — круговое сечение, Rm .

ния К. Ф. Хейнриха (Heinrich, 1966) с введением поправок на поглощение (Duncumb, Shields, 1966), на атомный номер (Данкамб, Рид, 1973) и на флуоресценцию (Reed, 1965); расчет проведен методом после-

Таблица 1

Коэффициенты отражения билибинскита в интервале спектра $\lambda=420-700$ нм

Спектр	Сечение	420	440	460	480	500	520	540
1	Rg бежевое	15.8	15.2	14.5	14.0	15.4	19.8	23.2
2	Rp малиновое	11.1	10.2	9.1	7.3	5.5	4.4	4.5
3	Rg бежевое	14.3	13.8	13.4	13.0	14.1	17.4	21.5
4	Rp синее	11.1	10.7	9.8	8.9	7.9	7.2	6.8
5	Rm бежевое	14.8	14.4	13.9	13.6	13.7	15.2	17.5

Таблица 1 (продолжение)

Спектр	Сечение	560	580	600	620	640	660	680	700
1	Rg бежевое	26.0	28.1	29.1	29.9	30.7	31.0	31.0	31.0
2	Rp малиновое	7.0	12.0	19.0	27.2	36.5	42.8	48.6	53.2
3	Rg бежевое	24.0	25.0	25.0	24.6	23.9	23.5	23.3	23.1
4	Rp синее	6.5	6.1	6.1	6.5	8.5	12.0	17.1	23.6
5	Rm бежевое	19.7	21.3	22.3	23.0	23.4	23.6	23.6	23.4

Примечание. Спектры 1 и 2 — обр. 22, спектры 3—5 — обр. 14, К-1. Измерения выполнены Т. Н. Чвилёвой на приборе «Блеск», объектив 21X с апертурой 0.40, эталон — кремний.

довательных приближений, 3—5 итераций, по программе «Карат» ВЦ СО АН СССР. Изучение на микрозонде показало, что различные выделения билибинскита однородны по химическому составу и состав минерала относительно устойчив (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав, вес.%, билибинскита Дальнего Востока

Компоненты	Образцы								Средний состав
	К-1					К-4			
	2	5	14а	19	22	2а6	3б	3в	
Au	49.2	50.5	50.4	48.0	40.7	49.8	50.5	48.3	48.4
Ag	3.05	2.80	0.63	0.74	1.96	1.06	0.93	1.16	1.54
Cu	7.46	8.31	9.33	11.8	11.5	10.9	8.07	7.43	9.35
Fe	0.17	0.19	0.13	0.14	0.24	0.13	0.36	0.17	0.19
Pb	19.0	16.7	19.2	20.3	22.5	16.7	18.8	20.4	19.2
Te	21.5	22.6	21.6	18.5	22.6	21.0	22.9	22.0	21.6
Se	—	—	0.00	1.35	0.00	—	0.00	—	0.34
Сумма	100.4	101.0	101.3	100.8	99.4	99.6	101.7	99.5	100.6

Количество атомов в расчете на 2 (Te+Se)

Au	2.96	2.90	3.02	3.00	2.33	3.07	2.85	2.84	2.83
Ag	0.34	0.29	0.07	0.08	0.21	0.12	0.10	0.13	0.16
Cu	1.39	1.48	1.73	2.29	2.04	2.08	1.41	1.35	1.70
Fe	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03	0.07	0.04	0.04
Pb	1.09	0.91	1.09	1.21	1.23	0.98	1.01	1.14	1.07
Te	2.00	2.00	2.00	1.79	2.00	2.00	2.00	2.00	1.95
Se	—	—	—	0.21	—	—	—	—	—
Σ Me	5.82	5.62	5.94	6.61	5.85	6.28	5.44	5.50	5.80

Примечание. Анализы выполнены с помощью электронного микроанализатора JXA-5 Э. М. Спиридоновым.

Из-за чрезвычайно малого размера индивидуальных зерен провести рентгеноструктурный анализ нового минерала не удалось, рентгенограммы порошка минерала (табл. 3) получены из микропроб по методу Химстрэ (Himstra, 1956). Сильнейшие отражения билибинскита: 3.06 Å(4), 2.37 (10), 2.05 (8), 1.448 (6) и 1.232 (8). По величинам межплоскостных расстояний и соотношению интенсивностей наиболее сильных отражений ($I=6-10$) билибинскит близок к золоту (Berry, Thompson, 1962), сильнейшие отражения которого 2.36 (10), 2.04 (7), 1.443 (6), 1.229 Å (8). Рентгенограмма билибинскита содержит дополнительные по сравнению с золотом отражения средней и малой интенсивности — 3.06 (4), 3.00 (1), 3.19 Å (0.5—1) и др., что позволяет предположить наличие сверхструктуры, производной от структуры золота. Параметр примитивной псевдокубической субъединицы билибинскита в этом случае $a_0=4.10$ Å.

Структура минерала неизвестна, по этой причине были выполнены различные варианты пересчета химических анализов. Кратные, рациональные коэффициенты получились при двух вариантах: на два атома теллура и селена или на два атома теллура, селена и свинца (как известно, в интерметаллических соединениях довольно часто имеет место изоморфизм теллура и свинца). Более предпочтительным представляется первый вариант. Результаты пересчета по этому варианту приведены в табл. 2. Пересчет на два атома Te+Se среднего состава минерала привел к формуле



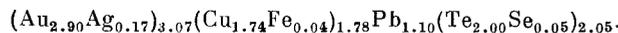
Т а б л и ц а 3

Рентгенограммы билибинскита (К-1)

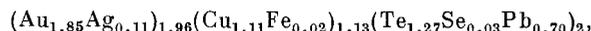
Обр. 22		Обр. 14		hkl	d _{расч.}
I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$		
0.5	4.20	1	4.21	100	4.10
0.5	3.47				
0.5—1	3.29				
0.5—1	3.19	1	3.18 *		
4	3.06	4	3.07 *		
1	3.00				
0.5	2.73				
10	2.37	10	2.37 *	111	2.364
7	2.05	8	2.05 *	200	2.047
6	1.448	6	1.448 *	220	1.448
8	1.232	8	1.232 *	311	1.235
2	1.184	2	1.183 *	222	1.182

Примечание. Условия съемки: РКД = 57.3 мм, Fe излучение, 35 кВ, 18 мА, $d = 0.2$ мм. Рентгенограмма обр. 22 исправлена по особому снимку с NaCl. hkl приведены для примитивной псевдокубической субъячейки с $a_0 = 4.095$ Å. Звездочкой отмечены сверхструктурные отражения.

или примерно $Au_3Cu_2PbTe_2$. Расчет на основе общего числа атомов, равного 8, приводит к формуле



Пересчет на два атома Te+Se+Pb приводит к формуле



или примерно $Au_2Cu(Te, Pb)_2$.

Общий вид формулы билибинскита может быть представлен как Me_3Te , или $Me_3(Te, Pb)_2$.

Таким образом, изученный минерал билибинскит представляет собой новое интерметаллическое соединение золота, меди, свинца и теллура (теллурид золота, меди и свинца) состава $Au_3Cu_2PbTe_2$; характеризуется сверхструктурой, производной от структуры золота² (минерал анизотропный, оптически двуосный); является типоморфным минералом зоны окисления месторождений, первичные руды которых содержат значительные количества теллуридов золота.

Полированные шлифы с билибинскитом хранятся в Минералогическом музее АН СССР и кабинете минераграфии ИМГРЭ.

Литература

Андрусенко Н. И., Щепотьев Ю. М. (1974). Температурный режим формирования и стадийность субвулканических золото-серебряных месторождений Центральной Камчатки. Геохимия, № 2.

Безсмертная М. С., Чвилёва Т. Н. (1976). Определитель рудных минералов в отраженном свете. «Недра».

Боришанская С. С. (1946). Теллуриды в золоторудных месторождениях СССР и их диагностика. Канд. дис.

Данкамб П., Рид С. (1973). Прогресс в вычислении тормозной способности и фактора обратного рассеяния. В кн.: Физические основы рентгеноспектрального локального анализа. «Наука».

² Авторами статьи по рекомендации А. Като рассмотрен также другой вариант структуры, возможной для билибинскита, — структура мошельландбергита Ag_5Hg_3 (или Ag_2Hg_3), кубический, $I\bar{m}3\bar{m}$, $a_0 = 10.04$ Å. Такая интерпретация структуры билибинскита лучше согласуется с химическим составом минерала. Рассмотрение этого варианта авторы не смогли дать в публикуемой статье. Эти материалы будут напечатаны в вып. 4 ЗВМО 1978 г.

- Синдеева Н. Д. (1959). Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. АН СССР.
- Berry L. G., Thompson R. M. (1962). X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas. Geol. Soc. Amer., v. 85.
- Duncumb P., Shields P. K. (1966). Effect of critical excitation potential on the absorption correction. Electron Microprobe. N. Y.
- Heinrich K. F. I. (1966). X-ray absorption uncertainty. Electron Microprobe. N. Y.
- Himstra S. A. (1956). An easy method to obtain X-ray diffraction patterns of small amounts of material. Amer. Miner., v. 41, N 5—6.
- Markham N. L. (1960). Synthetic and natural phases in the system Au—Ag—Te. Econ. Geol., v. 55, N 6—7.
- Reed S. I. B. (1965). Characteristic fluorescence corrections in electron microanalysis. Brit. J. Appl. Phys., v. 16.
- Stillwell F. L. (1953). Tellurides in Western Australia. In: Publications of the 5th Empire mining and metallurgical congress of Australia and New Zealand. V. 1. Melbourne.

УДК 549.31/32

А. Г. ЛИПОВЕЦКИЙ, Ю. С. БОРОДАЕВ, Е. Н. ЗАВЬЯЛОВ

АЛЕКСИТ $PbBi_2Te_2S_2$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹

Алексит (aleksite) — минерал назван по месту находки — обнаружен в рудах Алексеевского рудопроявления (Сутамский р-н, Становой хребет). Относится к группе свинцово-висмутовых сульфотеллуридов. Первоначально описан под условным названием «минерал D» (Липовецкий и др., 1976).

В сульфидно-кварцевых жилах рудопроявления алексит встречается вместе с минералами золото-теллуридной ассоциации поздней рудной стадии: галенитом, золотом (рис. 1), алтаитом, тетрадимитом, тсумаитом (рис. 2), раклиджитом и другими теллуридами. Зерна имеют пластинчатую форму и размер до 1 мм. В отраженном свете алексит светло-серый, несколько темнее тетрадимита. Имеет слабый зеленоватый оттенок, хорошо заметный в сростании с тсумаитом, у которого слабый кремовый оттенок. При скрещенных николях слабо анизотропен, в иммерсии наблюдаются блеклые цветные эффекты анизотропии в коричнево-красных тонах. Алексит имеет следующие значения коэффициента отражения (R_g , %) для различных длин волн,² нм: 460 — 51.4, 480 — 51.8, 500 — 52.7, 520 — 52.8, 540 — 53.2, 560 — 53.1, 580 — 53.4, 600 — 53.9, 620 — 53.9, 640 — 54.2, 660 — 54.5, 680 — 54.4, 700 — 54.9, 720 — 55.1, 740 — 55.6. Сопоставление кривых дисперсии отражения алексита и некоторых сульфотеллуридов висмута (рис. 3) показывает, что кривая алексита располагается ниже, чем кривые тетрадимита и жозеита А, и отличается от них по форме. Кривая дисперсии отражения алексита возрастает во всем измеренном интервале длин волн, но имеет менее крутой наклон, чем кривая жозеита А, и в отличие от кривой тетрадимита она не имеет пологого максимума в желтой области спектра.

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМ) Всесоюзного минералогического общества 6 июля 1977 г. Утверждено КНМ Международной минералогической ассоциации 19 октября 1977 г.

² Спектр отражения алексита измерен Л. Н. Вяльсовым на приборе «ПИОР». Условия измерения: объектив 3в фирмы Лейтц с эффективной апертурой 0.1, направление колебаний поляризатора перпендикулярно плоскости падения, диаметр фотометрируемого участка 10 мкм, опорный эталон — пирит, аттестованный в НФЛ (Англия). Относительная погрешность измерения ± 2 отн.%. Отражение алексита измерено на неориентированном сечении (обр. 111).