

15. С п и р и д о н о в Э.М., Ч в и л е в а Т.Н. Богдановит  $Au_2(Cu,Fe)_3(Te,Pb)_2$  - новый минерал из группы интерметаллических соединений золота // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1979. № 1. С. 44-52.
16. B e r r y L.G. Nagyagite // Univ. Toronto Stud. Ser. Geol. 1946. N 50. P. 35-48.
17. B o l d i r e w A.K. Die chemische Formeln des Nagyagite // Neues Jb. Miner., Geol. und Paläontol. 1924. N 7. S. 193-201.
18. C a h e n E., W o o t t o n W.O. The mineralogy of rare metals. L., 1920. 254 p.
19. G i u s ç a D. Le chimisme de la nagyagite // Bull. Soc. Rom. Geol. 1937. N 3. P. 118-121.
20. G o s n e r B. Über Kristallform und molekulare Einheit von Nagyagit // Neues Jb. Miner., Geol. und Paläontol. A. 1935. N 11. S. 321-327.
21. M a r k h a m N.L. Synthetic and natural phases in the system Au-Ag-Te // Econ. Geol. 1960. Vol. 55. P. 1148-1178, 1460-1477.
22. M o s e s A.J., P a r s o n s C.L. Elements of mineralogy, crystallography, and blowpipe analysis. N.Y., 1916.
23. M u t h m a n n W., S c h r ö d e r E. Über die Zusammensetzung einiger Tellurminerale // Ztschr. Kristallogr. 1897. Bd. 29, H. 1/2. S. 140-145.
24. Nagyagite  $Au(Pb,Sb,Fe)_8(Te,S)_{11}$  // Lapis. 1984. Vol. 9, N 9. P. 8-11.
25. P a l a c h e C., B e r m a n H., F r o n d e l C. The system of mineralogy of J.D. Dana and E.S. Dana. N.Y.; L., 1944. Vol. 1. 834 p.
26. S c h n e i d e r h ö h n H. Erzlayerstätten kurzvorlesungen zur Einführung und Wiederholung. Jena, 1955. 495 S.
27. S c h n e i d e r h ö h n H., R a m d o r P. Lehrbuch der Erzmikroskopie. B., 1931. Bd. 2. 714 S.
28. S i m p s o n E.S. Detailed mineralogy of Kalgoorlie and Boulder with special reference to the ore deposits // Bull. Geol. Surv. W. Austral. 1912. N 42. P. 97.
29. S i p ö c z L. Über die chemische Zusammensetzung einiger seltenen Minerale aus Ungarn // Ztschr. Kristallogr. 1885. Bd. 11, H. 3. S. 209-219.
30. S l a v i k F. Nagyagit // Handbuch der Mineralchemie / Hrsg. C. Doelter, H. Leitmeier. Dresden; L., 1926. Bd. 4, H. 1. S. 882-884.
31. S t i l l w e l l F.L. The occurrence of telluride minerals at Kalgoorlie // Proc. Austral. Inst. Miner. Met. 1931. Vol. 84. P. 115-119.
32. S t r ü b e l G., Z i m m e r S.H. Lexicon der Mineralogie. Stuttgart, 1982. 494 S.
33. S t r u n z H. Mineralogische Tabellen. L., 1957. 524 S.
34. S t u m p f l E.F. New electron probe and optical data on gold tellurides // Amer. Miner. 1970. Vol. 55, N 5/6. P. 808-814.
35. T h o m p s o n R.M. The tellurides and their occurrence of Canada // Ibid. 1949. Vol 34, N 5/6. P. 342-382.
36. T o k o d y L. Proustit und xanthokonit von Nagyag // Neues. Jb. Miner., Geol. und Paläontol. A. 1930. N 3. S. 117-123.

УДК 549.334+553.252.2 (553.068.42)

Э.М. Спиридонов

#### О СОСТАВЕ И СТРУКТУРЕ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ БИЛИБИНСКИТА-БОГДАНОВИТА

В настоящее время интенсивно разрабатывается минералогия золота. Число минеральных видов золота достигло 28. В вулканогенных и телетермальных месторождениях золота недавно выявлены фишессерит, айтенбогардит, люджинойнит, пенжинит, кридлеит, минерал  $AuBi_5S_4$ . Наибольшее количество новых минеральных фаз золота выявлено в зоне цементации золото-теллуридных и золото-колчеданных месторождений: билибинскит, богдановит, безсмертновит, серия близких к ним по составу минера-

лов; мутманнит, петровскиаит; ряд неназванных теллуридов и сульфотеллуридов Au, Au-Ag, Au-Ag-Cu-Fe.

Минералы группы билибинскита - богдановита [ 7-10, 14 ] - гипергенные плумботеллуриды и стибноплюмботеллуриды с заметным содержанием или с преобладанием золота макроскопически и микроскопически чаще розовато-коричневые с бронзовым отливом, борнитоподобные, реже валлериитоподобные минералы, часть их похожа на медистое золото. Большая их часть по качественному оптическому впечатлению сходна с риккардитом и вейсситом, для них характерны пурпурные окраски, интенсивные цветовые эффекты двуотражения и анизотропии. Во многих золото-теллуридных месторождениях минералы группы билибинскита ранее были описаны как гипергенные риккардит и вейссит: Первомайское (Степнякское рудное поле Северного Казахстана) [ 1 ], Пионерское (Саяны) [ 6 ], Калгурли (Австралия) (Stillwell, 1953 г.; Markham, 1960 г.), Глава (Швеция) (Scherbina, 1941 г.). К настоящему времени минералы группы билибинскита установлены, кроме указанных, в следующих месторождениях: Агинское и Озерновское (Камчатка), Зод (Армения), Жана-Тюбе и Джеламбет (Северный Казахстан), Солнышко (Центральный Казахстан), Алмалы (Южный Казахстан), Кайрагач и Кочбулак (Узбекистан), Манка (Алтай) (данные автора), Эшли (Канада) [ 15 ]. Особо характерны данные минералы для зоны выветривания вулканогенных золото-теллуридных месторождений. В зоне цементации месторождений Агинское и Зод в отдельных участках в минералах группы билибинскита заключено до 10% массы золота руд.

Непосредственные наблюдения показали, что минералы группы билибинскита заместили креннерит, сильванит, калаверит, костовит, нагиагит; вероятно, в их образовании могло участвовать вещество и других разложенных теллуридов (алтаит, петцит, теллуриды и селенотеллуриды висмута) и сульфидов (халькопирит, голдфилдит и др.). Минералы группы билибинскита тесно ассоциируют с гипергенными акантитом, мутманнитом, гесситом, сульфотеллуридом Ag-Fe-Cu, теллуритами Cu-Pb, Cu-Fe, Cu-Fe-Pb, минералами группы медистого золота (кубическими AuCu, AuCu<sub>3</sub>, Au<sub>3</sub>Cu и их упорядоченными модификациями).

Минералы группы билибинскита-богдановита обычно слагают мелкие выделения или мелкозернистые срастания, нередко радиально-лучистые ("колломорфные") агрегаты. Размер моноблоков редко превышает 20 мкм. Это минералы эфемерные, поскольку в зоне окисления они весьма неустойчивы и легко замещаются агрегатами самородного золота, теллурита, хлораргирита, балякинита, раджита, чолоалита, тейнеита, грэмита, кхинита, плумботеллурита, маккейита, родалкиларита и других теллуритов, оксителлуритов, теллуратов Cu, Fe, Pb. Замещение обычно начинается вдоль сети микротрещин, что фиксируется развитием "строчек" и "полосок" мельчайших выделений гипергенного золота (в ассоциации с TeO<sub>2</sub> и соединениями Te-O-Cu, Fe, Pb).

Считается, что данные о составе и структуре минералов группы билибинскита-богдановита противоречивы [ 4 ]. Рассмотрим данные, опубликованные и полученные за последнее время.

#### Богдановит

Данные о химическом составе минерала приведены в таблице. Опубликованные ранее данные отвечают Cu-богдановиту (обр. 6), Fe-богдановиту (обр. 8) и Fe-Cu-богдановиту (обр. 7) [ 8 ]: обобщенный состав отвечает формуле Au<sub>4,4</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>2,05</sub>Fe<sub>1,29</sub>Te<sub>1,11</sub>Se<sub>0,01</sub>Pb<sub>0,86</sub>. Анализы новой серии, выполненные по другим образцам Агинского месторождения, отвечают Cu-богдановиту с более высокими содержаниями Te и несколько пониженными - Pb (обр. 9), состав его Au<sub>4,58</sub>Ag<sub>0,30</sub>Cu<sub>3,21</sub>Fe<sub>0,07</sub>

Химический состав (в мас.%) минералов группы билибинскита-богдановита из различных месторождений

Компo- нент	Агинское				Озер- новское	Пионерское	Агинское			
	билибинскит				n=3(5) [ 10 ]	Sb-билибин- скит	богдановит различного состава [ 8 ]			
	n=8(1) [ 7 ]	n=4*(2)	n=3*(3)	n=8*(4)			n=3(6)	n=4(7)	n=4(8)	n=6*(9)
Au	48,4	48,1	53,1	50,8	58,1	60,5	60,5	60,3	62,8	
Ag	1,54	1,48	2,68	0,99	2,81	2,79	1,88	2,19	2,26	
Cu	9,35	10,02	6,57	9,29	4,53	13,17	9,62	4,63	14,18	
Fe	0,19	0,22	0,24	0,02	0,17	0,85	5,18	9,33	0,26	
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Te	19,20	21,17	22,67	22,53	22,27	9,92	9,94	9,99	12,07	
Pb	21,59	15,66	12,33	13,88	6,35	12,13	12,50	12,83	6,96	
Bi	Сл.	0,21	0,33	-	1,53	-	-	-	-	
Sb	"	0,38	0,46	-	3,53	-	-	-	-	
Se	0,34	0,68	0,74	Сл.	0,13	0,09	-	0,07	Сл.	
S	Сл.	-	-	-	0,14	Сл.	-	-	-	
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Сумма	100,6	97,9	99,1	97,5	99,6	99,4	99,6	99,3	98,5	

\* Анализы новой серии, выполненные по иным образцам, чем в опубликованных ранее работах [ 7-10 ] (микросонд "Самебах", 25 кВ, 15 нА, анал. Э.М.Спиридонов).

2x Содержание кислорода, рассчитанное исходя из модели, что весь теллур связан в  $TeO_2$ .

Примечание. n - число анализов; в скобках - номер образца.

$Te_{1,36}Pb_{0,48}$ . Атомное отношение  $(Au+Ag+Cu+Fe+Pb):Te$  обычно близко к 8; атомное отношение  $(Au+Ag+Cu+Fe):(Te+Pb)$  весьма близко к 4.

Близость всех интенсивных отражений богдановита и золота (рис. 1) дает основание предполагать, что структура богдановита близка к ГЦК решетке золота. По сравнению с золотом рентгенограмма богдановита содержит дополнительные отражения, которые как и сильнейшие отражения индицируются исходя из примитивной псевдокубической субъячейки с  $a_0 = 4,087$  А. Наличие дополнительных отражений свидетельствует о том, что богдановит обладает сверхструктурой, производной от ГЦК решетки золота. Из этих данных, согласно [ 13 ] следует, что состав устойчивой сверхструктуры замещения или внедрения должен отвечать  $Me_4X$  или  $Me_4X_3$ .

Химический состав минерала отвечает  $Me_4X$ , где  $X = Te+Pb$ ,  $Me = Au+Ag+Cu+Fe$ . Так как изоморфные замещения  $Au-Te$  и  $Au-Pb$  невероятны, сверхструктура богдановита должна быть структурой внедрения. Вероятно, остов сверхструктуры богдановита образуют атомы  $Au$ ,  $Cu$  и  $Fe$ , распределение которых в узлах ГЦК решетки может быть близким к статистическому  $[Au_{5/8}(Cu,Fe)_{3/8}]$ . Атомы внедрения  $Te$  и  $Pb$  заполняют одну из трех подрешеток октаэдрических междоузлий ГЦК решетки. Предполагаемая субъячейка содержит 1 формульную единицу  $[Au_{5/8}(Cu,Fe)_{3/8}]_4(Te,Pb)$ . Соот-

Агинское		Жана-Тюбе		Агинское			
безсмертновит		минерал № 13	минерал № 15	"билибинскит"		"безсмертновит"	
n =7 (10) [ 8 ]	n=3 <sup>x</sup> [ II ]	n=3 <sup>x</sup> [ 12 ]	n=4 <sup>x</sup> [ 13 ]	n=10 (14) [ 2 ]	n=6 (15) [ 3 ]	n=2 (16) [ 2 ]	n=2 (17) [ 3 ]
72,3	73,6	49,7	53,3	63,2	61,5	87,3	86,2
3,77	2,72	10,48	2,03	2,36	3,48	0,60	3,9
6,27	8,65	0,06	16,26	8,20	6,97	5,15	1,3
0,72	0,32	11,88	0,54	-	0,08	-	0,5
-	-	-	-	-	0,28	-	-
7,16	9,85	13,64	9,48	18,06	17,57	4,80	4,5
8,95	3,99	12,87	17,61	1,88	4,43	0,0	0,6
-	-	-	-	-	0,28	-	-
-	-	1,98	-	-	0,03	-	0,1
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0,60	-	-	-
-	-	-	-	5,23	4,40 <sup>2x</sup>	2,25	1,1 <sup>2x</sup>
99,2	99,1	100,6	101,6	99,5	99,0	100,1	98,2

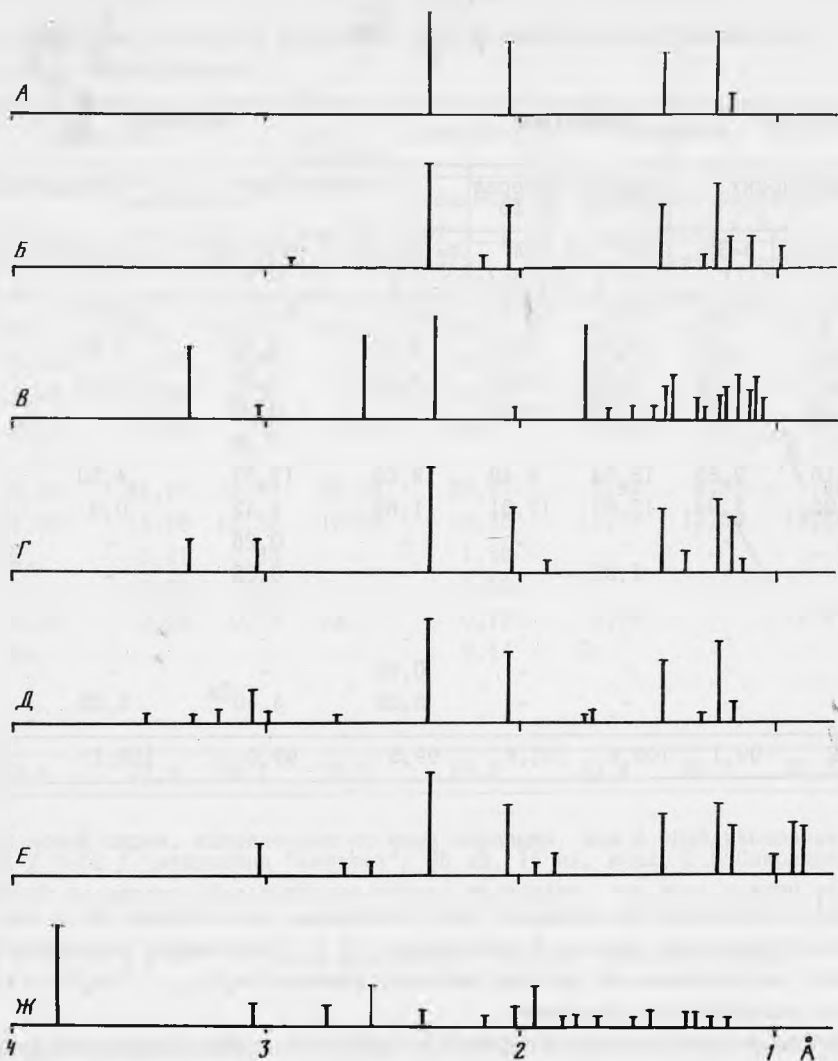
ношения интенсивностей отражений рентгенограммы, рассчитанные по этому варианту формулы богдановита, близки к измеренным [ 8 ]. Соотношения интенсивностей отражений, рассчитанные по другому варианту формулы  $Me_4X_{0,5} = [Au_4(Cu,Fe)_3Pb]Te$ , сильно отличаются от измеренных.

Наблюдаемая рентгеновская картина богдановита соответствует псевдокубической субъячейке; но поскольку минерал оптически двуосный, симметрия богдановита не выше ромбической, что, видимо, обусловлено частичным упорядочением атомов металлов.

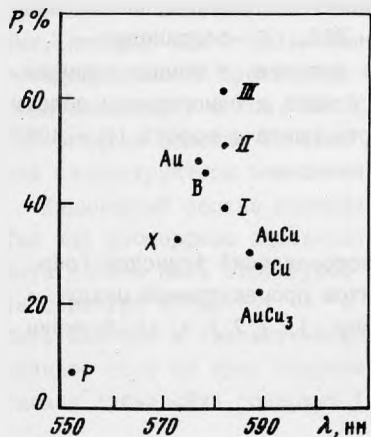
Богдановит обладает металлическим типом проводимости и относительно высокой твердостью: Fe-богдановит - 320, Cu-Fe-богдановит - 310, Cu-богдановит - 255 кг/мм<sup>2</sup>. По важнейшим цветовым характеристикам - чистоте, а точнее насыщенности, цвета (p) и цветовому тону (λ) - богдановит близок к самородному золоту и вулканиту CuTe (рис. 2). Отметим, что насыщенность цвета у золота (p = 48%) самая высокая из известных рудных минералов [ 4 ].

#### Билибинскит и сходные минералы

Химический состав билибинскита новых образцов месторождений Агинское (обр. 2,3) и Озерновское (обр. 4) по большинству компонентов промежуточный между опубликованными составами агинского билибинскита (обр. I) [ 7 ] и сь-билибинскита месторождения Пионерское (обр. 5) [ II ].



Р и с. 1. Штрихдиаграммы самородного золота (А), богдановита (Б) [ 8 ], безсмертновита (В) [ 9 ], минерала, оптически сходного с безсмертновитом (Г) [ 2 ], билибинскита (Д) [ 7 ], минералов, оптически сходных с билибинскитом, (Е) [ 2 ] и (Ж) [ 3 ]



Р и с. 2. Цветовые характеристики (относительно источника света С) в координатах Р (чистота, насыщенность цвета) -  $\lambda$  (цветовой тон) золота (Au), меди (Cu), купроаурита (AuCu), аурикуприта (AuCu<sub>2</sub>), халькопирита (X), вулканита (В), риккардита (Р), билибинскита (I), богдановита (II), безсмертновита (III)

Рентгенограмма порошка билибинскита близка к золоту (ГЦК решетка), но содержит много дополнительных отражений средней и небольшой интенсивности (см. рис. I, Д), что допускает аналогию с ОЦК решеткой мошелландсбергита  $\text{Ag}_5\text{Hg}_8$ . Кристаллическая решетка мошелландсбергита аналогична структуре  $\chi$ -латуни  $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ , которая обычно рассматривается как разупорядоченная дефектная сверхструктура к ОЦК структуре [ 5 ].

Соотношения атомов разного сорта у билибинскита такое же (5 : 8), как у мошелландсбергита и  $\chi$ -латуни. Состав билибинскита варьирует обычно от  $(\text{Au}_5\text{Cu}_3)\Sigma_8$   $(\text{Te}_{3,2}\text{Pb}_{1,8})\Sigma_5$  до  $(\text{Au}_6\text{Cu}_2)\Sigma_8$   $(\text{Te}_{3,2}\text{Pb}_{0,6}\text{Sb}_{0,6}\text{Bi}_{0,2})\Sigma_5$ .

В работе [ 10 ] даны составы минералов группы билибинскита-богдановита № 2, 5, 12, которые оптически близки к билибинскиту, но заметно отличаются от него по химическому составу. В таблице приведены составы минерала № 13 из месторождения Жана-Тюбе (обр. 12) и агинского минерала № 15 (обр. 13), которые по составу резко отличны от билибинскита, но оптически близки к последнему.

Микротвердость билибинскита 329-414, сурьмянистой разновидности - 243-345  $\text{кг/мм}^2$ . Твердость билибинскита и богдановита значительно выше, чем теллуридов меди: риккардит - 60-85, вейссит - 75-105  $\text{кг/мм}^2$ .

Минералы, названные в работе [ 2 ] билибинскитом, не соответствуют типичному билибинскиту по химическому составу (см. таблицу, обр. 14) и по рентгенограмме (см. рис. I, Е), а также по величине отражения [ 14 ]. В билибинските соотношение атомов разного сорта  $\text{Me} : \text{X} = 8 : 5$ , т.е. менее 2, в сравниваемом минерале  $\text{Me} : \text{X} = 10 : 3$ , т.е. более 3; кроме того, в билибинските не обнаружены Са и О. По данным в работе [ 2 ], билибинскит содержит до 6 мас. % кислорода. Кислород на микросонде в билибинските определять трудно, поскольку его аналитические линии близки к линиям золота и свинца. Трудности усугубляются тем, что билибинскитоподобные минералы легко окисляются, превращаются в тонкозернистые агрегаты  $\text{Au}$ ,  $\text{TeO}_2$ ,  $\text{CuTeO}_3$  и других теллуридов. Предположим, что оценка содержания кислорода в билибинските у Л.И.Бочек [ 2 ] верна, в этом случае кислород будет занимать около половины объема структуры минерала. Как это согласовать с тем, что насыщенность цвета у билибинскита близка к золоту и значительно выше, чем у медистого золота (см. рис. 2), и с тем, что у него проводимость металлического типа?

Минерал, названный Н.В.Лебедевой [ 3 ] билибинскитом, по составу (обр. 15, см. таблицу) близок к "билибинскиту" Л.И.Бочек (обр. 14); рентгенограмма его (см. рис. I, Ж) не имеет ничего общего с рентгенограммами "билибинскита" Л.И.Бочек и топотипа билибинскита. Следовательно, называть изученные Л.И.Бочек и Н.В.Лебедевой фазы билибинскитом некорректно.

По данным [ 2 ], билибинскитоподобные минералы - это минералы-сэндвичи, из чередующихся слоев медистого золота и теллурида  $\text{TeO}_2$ ; эта модель привлекается для объяснения необычных оптических свойств данных минералов. Модель слоистой структуры полностью противоречит наблюдаемым рентгеновским данным, ей не соответствуют высокая твердость билибинскита и богдановита и малая анизотропия их твердости. По оптическим свойствам билибинскит и особенно богдановит близки к вулканиту [ 14 ]. Структура вулканита - производная от структуры флюорита [ 5 ]. Особенности оптических свойств теллуридов меди - вулканита и риккардита - обусловлены не слоистой структурой, а взаимодействием меди и теллура в кристаллическом поле этих минералов. Можно полагать, что необычные оптические свойства пльмботеллуридов золота - меди типа билибинскита и богдановита обусловлены той же причиной.

## Безсмертновит и сходные минералы

Микроскопически безсмертновит заметно отличается от других минералов группы билибинскита. Насыщенный оранжевый цвет безсмертновита напоминает цвет спелых апельсинов (апельсины из Марокко).

Химический состав агинского безсмертновита новых образцов (обр. II, см. таблицу) близок к опубликованному [ 8 ], отличаясь несколько повышенными содержаниями Те и Сu и пониженными - Рb. Микротвердость безсмертновита 353-360 кг/мм<sup>2</sup>.

Рентгенограмма минерала отличается от рентгенограммы золота наличием массы отражений средней и малой интенсивности ( см. рис. I, B). Рентгенограмма безсмертновита подобна рентгенограмме соединения Au<sub>4</sub>Zn, у которого такое же соотношение (4 : 1) атомов разного сорта. По характеру рентгенограмм и величинам соотношений  $a_0 \approx 6b_0$  и  $c_0 \approx 4b_0$  можно полагать, что основу структуры безсмертновита составляет разупорядоченная ГЦК псевдоячейка.

Минерал, названный в работах [ 2,3 ] безсмертновитом (см. таблицу, обр. Iб, I7), не соответствует типичному безсмертновиту по химическому составу. В рентгенограмме сравниваемого минерала (см. рис. I, Г) отсутствуют два сильнейших отражения безсмертновита 2,61 Å (I = 8) и 1,744 Å (8-9), отражения средней интенсивности 1,427 (3), 1,405 (4) и ряд других, но присутствует сильное отражение 1,445 Å (I = 6), которого нет в рентгенограмме топотипа безсмертновита. Следовательно, название "безсмертновит" использовано для сходной с ним по оптическим свойствам фазы некорректно.

Если предположить, что оценка содержаний кислорода в безсмертновите у Л.И.Бочек [ 2 ] верна, тогда кислород будет занимать около трети объема структуры минерала. Как это согласовать с тем, что насыщенность цвета у безсмертновита чрезвычайно высока (p = 62% !); максимальна из всех известных рудных минералов - в 1,5 раза выше золота (!), и с тем, что у безсмертновита проводимость металлического типа?

### Заключение

Из-за чрезвычайно малого размера индивидуальных зерен минералов группы билибинскита-богдановита выполнить монокристалльную съемку и достоверно решить структуры этих минералов (и уточнить их состав таким путем) не удалось. Для подобного материала возможно лишь предположительное решение по аналогии с известными структурами. Данные минералы обладают сверхструктурами, производными от ГЦК решетки золота. Из рентгеновских характеристик богдановита следует объединение Au, Cu, Fe, Ag в одной структурной позиции Me (остов ГЦК решетки) и объединение Te, Pb, Sb, Bi в другой позиции X (атомы внедрения). Предположению о значительных содержаниях кислорода в минералах группы билибинскита-богдановита [ 2 ] противоречат чрезвычайно высокая насыщенность цвета у этих минералов (самая высокая из всех известных рудных минералов) и высокие величины отражения. Таким образом, данные минералы можно рассматривать как плюмботеллуриды и стибиплюмботеллуриды.

Предположению о слоистой структуре минералов группы билибинскита-богдановита [ 2 ] противоречат их рентгеновские характеристики, высокая твердость и незначительная анизотропия твердости.

Желательно дальнейшее изучение минералов группы с помощью различных методов электронной микроскопии и Оже-спектроскопии.

Находки гипергенных минералов группы билибинскита-богдановита в зонах выветривания являются прямым поисковым признаком концентрированного эндогенного золото-теллуридного оруденения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Б о р и ш а н с к а я С.С. Теллуриды в золоторудных месторождениях СССР и их диагностика: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1946. 225 с.
2. Б о ч е к Л.И., М а л и н о в с к а я Ю.А., С а н д о м и р с к а я С.М. Билибинскит и безсмертновит - не интерметаллиды золота, а новые гибридные минералы типа интерметаллид-оксид // Докл. АН СССР, 1982. Т. 266, № 5. С. 1255-1259.
3. Л е б е д е в а Н.В. Минералогия теллуридов золота и серебра: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1987. 17 с.
4. Н е к р а с о в И.Я. Новое в минералогии благородных и редких металлов // Минерал. журн. 1988. № 3. С. 12-20.
5. П и р с о н У.В. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. М.: Мир, 1977. Ч. I. 419 с.
6. С и н д е е в а Н.Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Наука, 1959. 257 с.
7. С п и р и д о н о в Э.М., Б е з с м е р т н а я М.С., Ч в и л е в а Т.Н. Билибинскит - новый минерал золото-теллуридных месторождений // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1978. Ч. 107, вып. 3. С. 310-315; Вып. 4. С. 501.
8. С п и р и д о н о в Э.М., Ч в и л е в а Т.Н. Богдановит  $Au_2(Cu,Fe)_2(Te,Pb)_2$  - новый минерал из группы интерметаллических соединений золота // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1979. № 1. С. 44-52.
9. С п и р и д о н о в Э.М., Ч в и л е в а Т.Н. Безсмертновит  $Au_2Cu(Te,Pb)$  - новый минерал из зоны окисления месторождений Дальнего Востока // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249, № 1. С. 185-189.
10. С п и р и д о н о в Э.М., Ч в и л е в а Т.Н. Новые минералы золота - плюмботеллуриды золота, меди, железа, серебра (группа билибинскита) // Новые данные о минералах. 1982. Вып. 30. С. 140-147.
11. С п и р и д о н о в Э.М., Ч в и л е в а Т.Н. Сурьмянистый билибинскит (вторая находка билибинскита) // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 5. С. 1243-1247.
12. Т и м о ф е е в с к и й Д.А. Находка в СССР гипогенных теллуридов меди // Там же. 1969. Т. 184, № 2. С. 425-428.
13. Х а ч а т у р я н А.Г. Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974. 238 с.
14. Ч в и л е в а Т.Н., Б е з с м е р т н а я М.С., С п и р и д о н о в Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 505 с.
15. H a g g i s D.C., S i n c l a r W.D., T h o r p e R.J. Telluride minerals from the Ashley deposit, Bannockburn Township, Ontario // Canad. Miner. 1983. Vol. 21. P. 137-143.