

БИЛИБИНСКИТ $(\text{Au}_{5-6}\text{Cu}_{3-2})_8(\text{Te,Pb,Sb})_5$ ЗОНЫ ЦЕМЕНТАЦИИ ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АГИНСКОЕ (КАМЧАТКА) И ПИОНЕРСКОЕ (САЯНЫ)

Э.М. Спиридонов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, mineral@geol.msu.ru

В статье описаны минеральные ассоциации и условия образования билибинскита. Впервые приведены его цветные фотографии, без которых трудно диагностировать этот своеобразный гипергенный минерал, богатый золотом. Фотографии дают представление о чрезвычайно интенсивных эффектах двуотражения и анизотропии билибинскита. Приведены уточнённые данные о химическом составе билибинскита из зоны цементации золото-теллуридных месторождений Агинское и Озерновское (Камчатка), Пионерское (Саяны). Состав билибинскита Агинского и Озерновского месторождений близок к $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te,Pb})_5$; Пионерского к $\text{Au}_6\text{Cu}_2(\text{Te,Pb,Sb})_5$; общая формула $(\text{Au}_{5-6}\text{Cu}_{3-2})_8(\text{Te,Pb,Sb})_5$. Находки билибинскита в зонах выветривания являются прямым поисковым признаком концентрированного эндогенного золото-теллуридного оруденения.

В статье 4 рисунка, список литературы из 16 названий.

Ключевые слова: билибинскит, золото-теллуридное оруденение, Агинское месторождение, Озерновское месторождение, Пионерское месторождение.

В зоне окисления гидротермальных месторождений описаны риккардит Cu_2Te_5 и вейсцит Cu_2Te в виде псевдоморфоз по теллуридам золота. Это месторождения Калгурли, Австралия (Stillwell, 1931; Markham, 1960); Первомайское, Северный Казахстан (Борисанская, 1946); Пионерское, Саяны (Громова, 1959; Синдеева, 1959); Агинское, Камчатка (Андрусенко, Щепотьев, 1974). Риккардит и вейсцит в отражённом свете характеризуются исключительно яркой цветовой гаммой, сильными эффектами двуотражения и анизотропии. Поэтому считалось, что для их диагностики достаточно качественной оценки оптических свойств. Казалось мало вероятным, что повсеместно гипогенные теллуриды золота замещаются гипергенным теллуридами меди. Изучение образцов золотых руд кор выветривания — зоны цементации месторождений Агинское, Первомайское и Пионерское — не подтвердило наличие теллуридов меди. Было установлено, что это интерметаллические соединения с преобладанием золота (Спиридонов и др., 1978; Спиридонов, Чвилёва, 1979, 1982; Чвилёва и др., 1988; Спиридонов, 1991, 2010). Наиболее распространённый среди них минерал получил название билибинскит в память о выдающемся исследователе геологии золота Юрии Александровиче Билибине (1901 — 1952).

Помимо указанных месторождений билибинскит и близкие минералы установлены в месторождениях Озерновском (Камчатка), Зод (Армения), Кочбулак и Кайрагач (Узбекистан), Жана-Тюбе, Джеламбет, Солнышко и Алмалы (Казахстан), Манка (Алтай). Особо

характерны эти минералы для кор выветривания вулканогенных золото-теллуридных месторождений. В отдельных участках зон цементации месторождений Агинское и Зод в билибинските и сходных минералах заключено до 10 % золота в рудах. Билибинскит слагает частичные и полные псевдоморфозы по креннериту $\text{Au}_3(\text{Ag,Au})\text{Te}_8$, сильваниту $\text{Au}(\text{Ag,Au})\text{Te}_4$, костовиту $\text{Au}(\text{Cu,Ag,Au})\text{Te}_4$, калавериту AuTe_2 , алтаиту PbTe , нагиагиту $\text{AuPb}_5(\text{Te,Sb,Bi})_4\text{S}_6$, каймы на гипогенном золоте. Ассоциирует с теллуритами меди-свинца, железа-меди-свинца (рис. 2). Размер гнёзд билибинскита до нескольких миллиметров, не редки его радиально-лучистые агрегаты. Макроскопически билибинскит тёмно-коричневый и коричневый, борнитоподобный. Полируется хорошо. Спайность отсутствует. Тип проводимости металлический. Относительный рельеф выше золота. $\text{VHN}_{20} = 380$ (330 — 420) кг/мм² ($n = 6$). В отражённом свете в одних сечениях напоминает борнит, в других — своеобразен с изменением цвета от серо-фиолетового до бежево-кремового и ало-красного, благодаря чему создаётся сильный цветной эффект двуотражения (рис. 1). Эффекты анизотропии очень сильные, цветные, от серого и серо-сизого до канареечно-жёлтого и огненно-красного (рис. 2). Спектры отражения индивидуальные, сложные, пересекающиеся (рис. 3). Судя по оптическим свойствам, билибинскит — минерал низкой сингонии, не выше ромбической.

Состав билибинскита Агинского, Озерновского и Пионерского месторождений соответственно (мас. %): Au 49.6, 50.8, 58.1; Ag

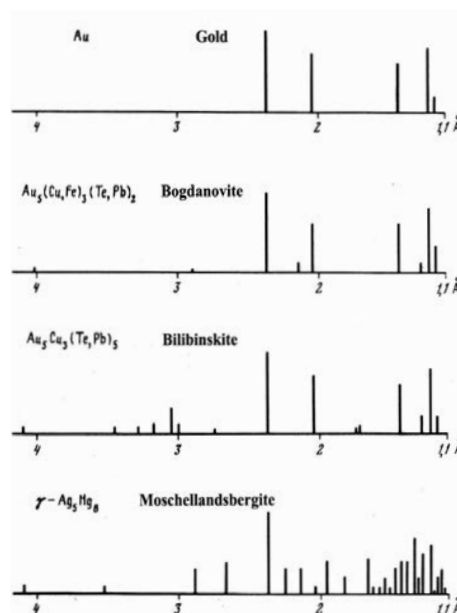
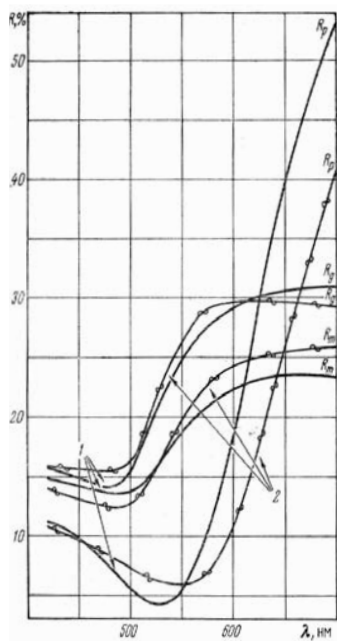
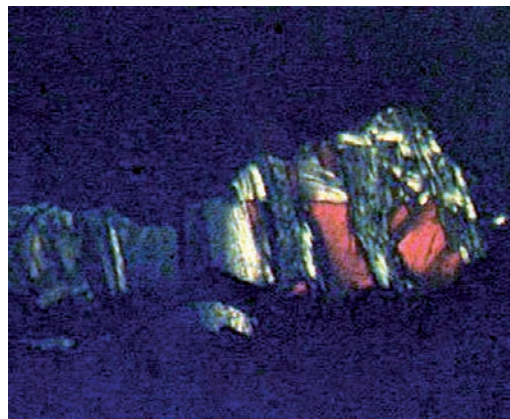
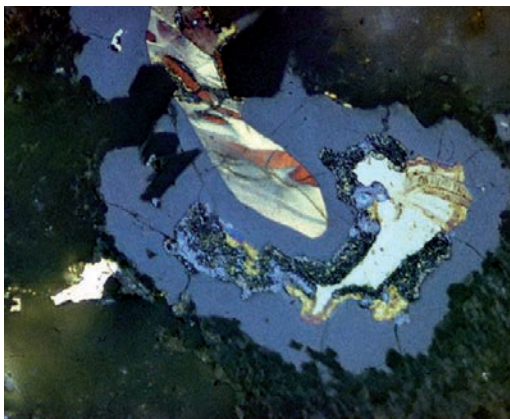


Рис. 1. Билибинскит с яркими цветными эффектами двуотражения в срастании с теллуридом Fe-Cu-Pb. Зона цементации Агинского месторождения, Камчатка. Фотография в отражённом свете при 1 никеле. Ширина поля зрения 120 мкм.

Рис. 2. Билибинскит с яркими цветными эффектами анизотропии. Зона цементации Агинского месторождения, Камчатка. Фотография в отражённом свете, николи х. Ширина поля зрения 80 мкм.

Рис. 3. Спектры отражения билибинскита Агинского месторождения (Камчатка) (1) и сурьмянистого билибинскита Пионерского месторождения (Саяны) (2) в интервале 400–700 нм.

Рис. 4. Рентгенограммы золота, богдановита, билибинскита и мошельландсбергита.

1.57, 0.99, 2.81; Cu 9.35; 9.29, 4.53; Fe 0.21, 0.02, 0.17; Te 24.6, 24.0, 23.6; Pb 12.8, 13.9, 6.35; Bi 0.18, 0, 1.53; Sb 0.23, 0, 3.53; Se 0.34, 0, 0.13; сумма 98.88, 99.00, 98.75 (n = 13, 5, 6) (анализы выполнены с помощью электронного микрозонда Camebax). Предположению о наличии в составе билибинскита заметных (значительных) количеств кислорода противоречат данные микрозондовых анализов, высокая насыщенность («чистота») цвета (близкая к золоту самородному и втрое более высокая, чем у риккардита), металлический тип проводимости.

Из-за малого размера монокристаллов (менее 10–15 мкм) выполнить монокристалльную съёмку и расшифровать структуру минерала не удалось. Рентгенограммы билибинскита и

близкого к нему богдановита (рис. 4) близки к рентгенограмме золота (Веггу, Thompson, 1962), отличаясь наличием дополнительных отражений. На этом основании полагаем, что эти минералы обладают сверхструктурами, производными от ГЦК структуры золота. Параметр примитивной псевдокубической субъединицы билибинскита $a_0 = 4.10 \text{ \AA}$. Рентгенограмма порошка билибинскита содержит много дополнительных по сравнению с рентгенограммой золота отражений средней и малой интенсивности, что допускает аналогию с мошельландсбергитом Hg_8Ag_5 , у которого такое же соотношение атомов разного сорта. Структура мошельландсбергита аналогична разупорядоченной дефектной ОЦК

сверхструктуре γ -латуни Zn_8Cu_5 (Пирсон, 1977). Предположению о слоистой структуре билибинскита противоречат рентгеновские характеристики, повышенная твёрдость и незначительная анизотропия твёрдости.

Из рентгеновских характеристик богдановита следует объединение Au, Cu, Fe, Ag в одной структурной позиции Me (остов ГЦК решётки), Te, Pb, Sb, Bi — в другой позиции X (атомы внедрения) (Спиридонов, 1991). Состав богдановита отвечает $Au_5(Cu,Fe)_3(Te,Pb)_2$, иначе Me_4X . На этом основании и билибинскит можно рассматривать как плюмботеллурид — стибииплюмботеллурид золота и меди с составом Me_8X_5 .

Формулы билибинскита Агинского, Озерновского и Пионерского месторождений в расчёте на 13 атомов соответственно: $(Au_{4,82}Cu_{2,82}Ag_{0,23}Fe_{0,07})_{7,99}(Te_{3,66}Pb_{1,16}Se_{0,06}Sb_{0,04}Bi_{0,02})_{5,01}$; $(Au_{5,01}Cu_{2,84}Ag_{0,18}Fe_{0,01})_{8,04}(Te_{3,66}Pb_{1,30})_{4,96}$; $(Au_{5,91}Cu_{1,43}Ag_{0,52}Fe_{0,06})_{7,92}(Te_{3,71}Pb_{0,61}Sb_{0,58}Bi_{0,15}Se_{0,03})_{5,08}$. Состав билибинскита месторождений Агинского и Озерновского близок к $Au_5Cu_3(Te,Pb)_5$; Пионерского — $Au_6Cu_2(Te,Pb,Sb)_5$; общая формула минерала $(Au_{5-6}Cu_{3-2})_8(Te,Pb,Sb)_5$.

В зоне цементации Агинского и Озерновского месторождений Камчатки развит минерал состава $AuTeO_3$, оптически сходный с билибинскитом. В месторождении Эшли в Канаде развиты сходные с билибинскитом минералы, иного состава и с иной рентгенограммой (Harris *et al.*, 1983).

В зоне окисления билибинскит (плюмботеллурид и стибииплюмботеллурид Au-Cu) не устойчив. Его замещают агрегаты тонко пластинчатого и губчатого золота, балякинита $CuTeO_3$, плюмботеллурита $PbTeO_3$, оксителлуридов Cu-Pb, минералы группы медистого золота, гидроксиды Fe.

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

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 10-05-0674).

Литература

- Андрусенко Н.И., Щепотьев Ю.М. Температурный режим формирования и стабильность субвулканических Au-Ag месторождений Центральной Камчатки // Геохимия. **1974**. № 2. С. 179 — 186.
- Боршанская С.С. Теллуриды в золоторудных месторождениях СССР и их диагностика. Дисс. на сомск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук. М.: ЦНИГРИ, **1946**. 225 с.
- Громова Е.И. Вещественный состав руд одного золоторудного месторождения // Тр. Восточно-Сибирск. геол. инст. Иркутск, **1959**. Вып. 1. С. 1 — 112.
- Пирсон У.Б. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. М.: Мир. **1977**. Ч. 1. 419 с.
- Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений, основные черты геохимии селена и теллура. М.: АН СССР. **1959**. 257 с.
- Спиридонов Э.М. О составе и структуре минералов группы билибинскита — богдановита // Новые данные о минералах. **1991**. Вып 37. С. 138 — 145.
- Спиридонов Э.М. Железистый богдановит $Au_5CuFe_2(Te,Pb)_2$ из зоны цементации Агинского золото-теллуридного месторождения на Камчатке // Новые данные о минералах. **2008**. Вып. 43. С. 143 — 145.
- Спиридонов Э.М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов. Апатиты: Кол.ф. РАН. **2010**. С. 143 — 171.
- Спиридонов Э.М., Безсмертная М.С., Чвилёва Т.Н. Билибинскит — новый минерал золото — теллуридных месторождений // Зап. ВМО. **1978**. Ч. 107. Вып. 3. С. 310 — 315.
- Спиридонов Э.М., Чвилёва Т.Н. Безсмертно-вит $Au_4Cu(Te,Pb)$ — новый минерал из зоны окисления месторождения Дальнего Востока // Докл. АН СССР. **1979**. Т. 249. № 1. С. 185 — 189.
- Спиридонов Э.М., Чвилёва Т.Н. Сурьмянистый билибинскит (вторая находка билибинскита) // Докл. АН СССР. **1982**. Т. 265. № 6. С. 1243 — 1247.
- Чвилёва Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отражённом свете. М.: Недра. **1988**. 504 с.
- Berry L.G., Thompson R.M. X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas. Geol. Soc. Amer. New York. **1962**. Mem. 85. 281 p.
- Harris D.C., Sinclair W.D., Thorpe R.J. Telluride minerals from the Ashley deposit, Bannockburn township, Ontario // Canad. Mineral. **1983**. Vol. 21. P. 137 — 143.
- Markham N.L. Synthetic and natural phases in the system Au-Ag-Te // Econ. Geol. **1960**. Vol. 55. P. 1148 — 1178, 1460 — 1477.
- Stillwell F.L. The occurrence of telluride minerals at Kalgoorlie // Proc. Austral. Inst. Mining and Metall. **1931**. № 84. P. 115 — 190.