

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ЗОЛОТА – ПЛЮМБОТЕЛЛУРИДЫ ЗОЛОТА, МЕДИ, ЖЕЛЕЗА, СЕРЕБРА (группа билибинскита)

Новые минералы золота, которые являются предметом обсуждения в статье, обнаружены авторами в рудах зоны выветривания вулканогенных и плутогенных месторождений убого-умеренно-сульфидной золото кварцевой формации.

В настоящее время интенсивно развиваются исследования по минералогии самородного золота [1, 2] и соединений золота. Установлен практически непрерывный ряд составов минералов в системе Au–Ag; обнаружены новые разновидности самородного золота – ртутистое (природная α -амальгама золота) [3] и сурьмянистое [4], а также новые природные фазы в системе Au–Cu [5, 6]; открыт сульфид золота и серебра – айтенбогардит AuAg_3S_2 [7], принадлежащий ряду минералов фишессерит (AuAg_3Se_2) – петцит (AuAg_3Te_2) с гранатоподобной структурой [8], допускающей весьма широкие вариации составов и в "анионной" и в "катионной" частях; найдены богатые золотом разновидности пирита [9], арсенопирита, блеклых руд. Исследованиями охвачены практически все типы эндогенных и россыпные месторождения. Причем в эндогенных месторождениях главным предметом исследования являются первичные руды, а минералогия золота в зоне выветривания остается крайне мало изученной. В золотых рудах из зоны выветривания описаны каймы высокопробного золота (вторичного) на гипогенном самородном золоте, псевдоморфозы золота по гипогенным теллуридам, а также упоминаются экзотические гипергенные теллуриды меди – риккардит и вейссит, слагающие псевдоморфозы по теллуридам золота (калавериту, креннериту и др.).

В месторождениях Северного Казахстана гипергенные теллуриды меди отмечены в начале 30-х гг. С.С. Боришанской [10], в месторождениях Восточной Сибири Е.И. Громовой [11] и Н.Д. Синдеевой [12], в неогеновом месторождении Дальнего Востока Ю.М. Щепотьевым [13] и Л.И. Бочек, в месторождении Калгурли (Австралия) Ф.Л. Стиллуэллом [14] и Н.Л. Маркгамом [15]. Нужно отметить, что риккардит и другие теллуриды меди в отраженном свете характеризуются исключительно яркой цветовой гаммой, сильными эффектами двуотражения и анизотропии, поэтому считалось, что для их диагностики достаточно качественной оценки оптических свойств.

В первичных рудах некоторых из месторождений, перечисленных выше, очень мало минералов меди. Поэтому нам показалось маловероятным, что повсеместно гипогенные теллуриды золота замещаются гипергенными теллуридами меди; вкралось сомнение в правильности диагностики риккардита и вейссита в рудах этих месторождений.

Первым объектом наших исследований были образцы руд из зоны выветривания неогенового золото-теллуридного месторождения Дальнего Востока, в котором был описан риккардит. Детальное изучение, проведенное по инициативе и при участии М.С. Без-

Т а б л и ц а 1

Средние химические составы минералов группы билибинскита, вес. %

Минералы	Число анализов	Тип соединения	Au	Ag	Cu	Fe	Te	Se	Pb	Сумма
Билибинскит	8	Me_8X_5	48,4	1,54	9,35	0,19	21,60	0,34	19,20	100,6
Богдановит	4	Me_4X	60,5	1,88	9,62	5,18	9,94	0,00	12,50	99,6
Си-богдановит	3		60,5	2,79	13,17	0,85	9,92	0,09	12,13	99,5
Fe-богдановит	4		60,35	2,19	4,63	9,33	9,99	0,07	12,83	99,4
Безсмертновит	7	Me_5X	72,3	3,77	6,27	0,72	7,16	–	8,95	99,2
Минерал 1	2	Me_3X_4	15,17	5,52	2,68	10,79	48,2	–	16,42	98,8
Минерал 12	4	Me_2X	50,1	2,00	6,46	7,47	21,29	0,12	13,47	100,9
Минерал 2	6	Me_2X	59,8	2,64	2,83	3,78	20,28	–	10,88	100,2
Минерал 5	3	Me_3X	67,8	1,54	5,24	0,18	10,86	0,00	13,60	99,3
Минерал 8	10	Me_8X	70,3	2,76	13,33	0,25	4,59	0,00	7,55	98,8

Анализы выполнены с помощью электронного микроанализатора JXA-5, аналитик Э.М. Спиридонов.

Таблица 2

Рентгенограммы минералов группы билибинскита месторождения Дальнего Востока

№ пп	Билибинскит			Богдановит			Безсмертновит		
	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
1	1,5	5,01	200	0,5	4,06	100	7	3,30	312, 411
2	0,5	4,16	211	0,5	2,90	110	1	3,03	800
3	0,5	3,47	220	10	2,36	111	8	2,61	710
4	0,5	3,29	300, 221	1	2,15	+	10	2,335	614, 215
5	1	3,19	310	6	2,045	200	1	2,02	12.0.0, 806
6	3	3,06	+	6	1,447	220	9	1,744	11.1.4, 720
7	1	3,00	311	1	1,293	310	1	1,658	11.1.5, 13.1.2, 723
8	0,5	2,73	320	8	1,230	311	1	1,572	625, 11.1.6
9	10	2,37	411, 330	3	1,180	222	1	1,480	14.1.4, 11.2.1, 6.1.10
10	7	2,05	422	3	1,092	321	3	1,427	14.1.5, 17.0.0, 128, 12.2.0 ...
11	0,5	1,752	522	2	0,992	322, 410	4	1,405	628, 15.1.4, 12.2.2, 17.0.2, 919
12	1	1,724	530				2	1,307	14.2.1, 18.0.3, 11.0.10, 332 ...
13	6	1,448	444				1	1,286	10.2.7, 333, 7.1.11
14	2	1,301	731, 553				2	1,220	6.1.12, 13.2.6, 733, 18.1.4
15	8	1,232	811, 741, 554				3	1,203	15.0.9, 15.2.4, 17.1.6, 036 ...
16	2	1,184	822, 660				4	1,144	15.0.10, 9.2.10, 6.1.13...
17							3	1,085	11.0.13, 4.1.14
18							4	1,073	6.1.14, 16.2.7, 639, 17.0.10
19							2	1,055	4.0.15, 23.0.0

Примечание. + — сверхструктурные отражения. Условия съемки: Fe-антикатод, Mn-фильтр, $D = 57,3$ мм.

смертной и В.В. Безсмертного, не подтвердило наличие риккардита. В изученном затем аналогичном материале из месторождений Казахстана и Восточной Сибири риккардит также не был обнаружен среди продуктов гипергенного замещения калаверита, креннерита и силванита. Нами было установлено широкое распространение в зоне цементации и плутоногенных и вулканогенных золото-теллуридных месторождений новой группы интерметаллических соединений с заметным содержанием или с преобладанием золота [16]—[19] (табл. 1), большая часть этих минералов по качественному оптическому впечатлению сходна с риккардитом.

Наиболее распространены гипергенные интерметаллические соединения золота с медью, железом, серебром, свинцом, теллуром. Известно, что для минералов-интерметаллидов характерен изоморфизм Te-Pb ; для богдановита [17] мы показали, что объединение теллура и свинца в одной структурной позиции вытекает из рентгенометрических характеристик этого минерала; следовательно, новые интерметаллические соединения можно рассматривать как плюмботеллуриды золота, меди, железа, серебра. Это билибинскит $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te, Pb})_5$, богдановит $\text{Au}_5(\text{Cu, Fe})_3(\text{Te, Pb})_2$, безсмертновит $\text{Au}_4\text{Cu}(\text{Te, Pb})$, минерал 1¹ — $(\text{Au, Ag})\text{Fe}_2(\text{Te, Pb})_4$, минерал 12 — $\text{Au}(\text{Fe, Cu})(\text{Te, Pb})$, минерал 2 — $\text{Au}_3(\text{Fe, Cu})(\text{Te, Pb})_2$, минерал 5 — $\text{Au}_5\text{Cu}(\text{Te, Pb})_2$, минерал 8 — $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te, Pb})$ [19] (табл. 1). Реже отмечаются гипергенные стибноплюмботеллуриды и стибитотеллуриды Au-Cu-Fe-Ag , а также гипергенные теллуриды Au-Ag , теллуриды и сульфотеллуриды Ag-Fe-Cu [19].

Перечисленные минералы во всех месторождениях наблюдаются в тесной ассоциации с теллуридами $\text{Fe, Fe-Cu, Pb-Fe, Cu-Pb-Fe, Cu, Cu-Pb}$, с теллуридом TeO_2 , с гипергенными медистым золотом (состава $\text{AuCu, Au}_3\text{Cu}_2, \text{Au}_3\text{Cu}$) и свинцовисто-медистым золотом ($\text{Au } 85,7, \text{Ag } 2,1, \text{Cu } 5,3, \text{Fe } 0,2, \text{Pb } 4,9\%$ вес.). Билибинскит, богдановит и другие плюмботеллуриды замещают калаверит и креннерит, находящиеся в ассоциации с алтаитом PbTe , образуют в них прожилки, наблюдаются в виде каемок на гипогенном самородном золоте. Размеры сростков этих минералов не превышают нескольких миллиметров.

В соответствии с принципами классификации И. Костова [20] плюмботеллуриды Au-Cu-Fe-Ag следует рассматривать как особую группу минералов, которую мы

¹ Здесь и далее употребляется нумерация минералов, предложенная в работе [19].

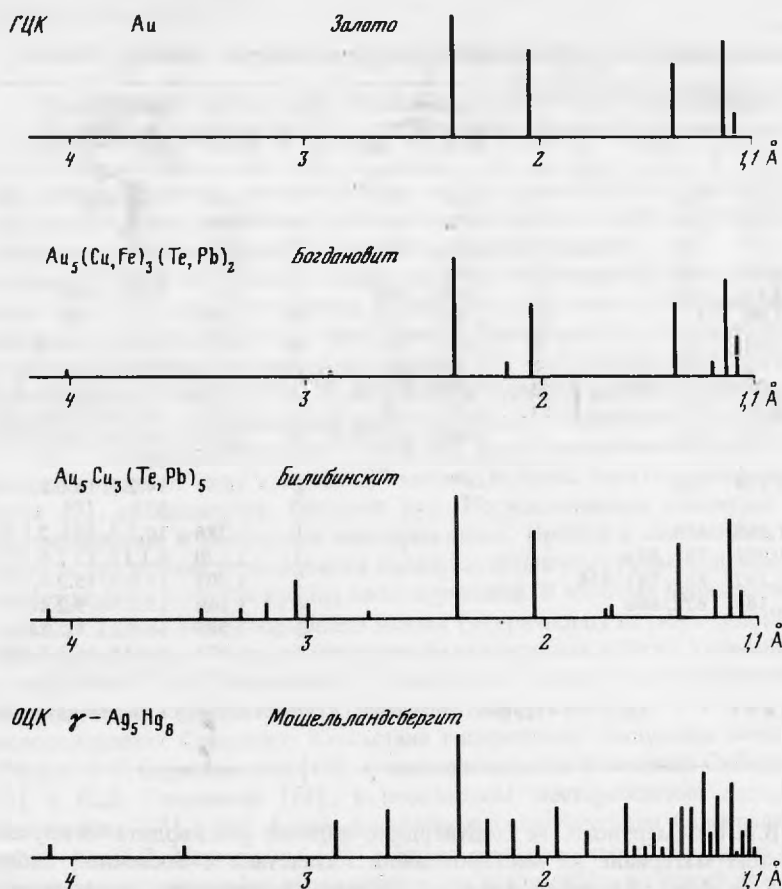


Рис. 1. Рентгенограммы билибинскита, богдановита, золота, мошельландсбергита

предлагаем именовать группой билибинскита по наиболее распространенному минералу. Минералы группы билибинскита отличаются от всех известных минералов химическим составом, по сочетанию золота и железа в составе минералов, имеют индивидуальные рентгенограммы и оптические характеристики. По химическому составу — это плюмботеллуриды, богатые металлами; они частично восполняют промежуток составов между теллуридами (костовит AuCuTe_4 , сильванит AuAgTe_4 , фробергит FeTe_2 , риккардит Cu_5Te_3 , алтаит PbTe) и минералами системы Au—Cu. Рентгенограммы минералов группы билибинскита имеют сходство с рентгенограммой золота и отличаются для каждого минерала наличием своих сверхструктурных линий слабой и средней интенсивности (табл. 2, рис. 1). По мере увеличения содержания золота и уменьшения содержания теллура и увеличения отношения $\text{Au} : (\text{Cu} + \text{Fe})$ в целом для минералов группы билибинскита возрастает отражение (табл. 3, рис. 2), а профили кривых отражения становятся все более похожими на кривую отражения золота.

Из приведенных в табл. 1 девяти минералов наиболее детально изучены билибинскит, богдановит и безсмертновит [16, 17, 18].

Билибинскит $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te, Pb})_5$ [или $\text{Au}_3\text{Cu}_2\text{PbTe}_2$] [16], Me_8X_5 . Макроскопически билибинскит — минерал розово-коричневого цвета с бронзовым отливом. В отраженном свете цвет минерала пурпурный и борнитоподобный, в разных сечениях меняется от серо-синего или красно-фиолетового до бежево-кремового, благодаря чему создается очень сильный цветной эффект двуотражения. Эффекты анизотропии при скрещенных николях исключительно яркие в канаречно-желтых или огненно-красных тонах. Билибинскит оптически двуосный. Характерно изменение оптического знака отражения: в главном сечении кривые дисперсии R_g и R_p пересекаются при $\lambda = 620 \text{ nm}$ (рис. 2).

Микротвердость минерала 329–419, в среднем 381 кгс/мм^2 ($P = 20 \text{ гс}$).

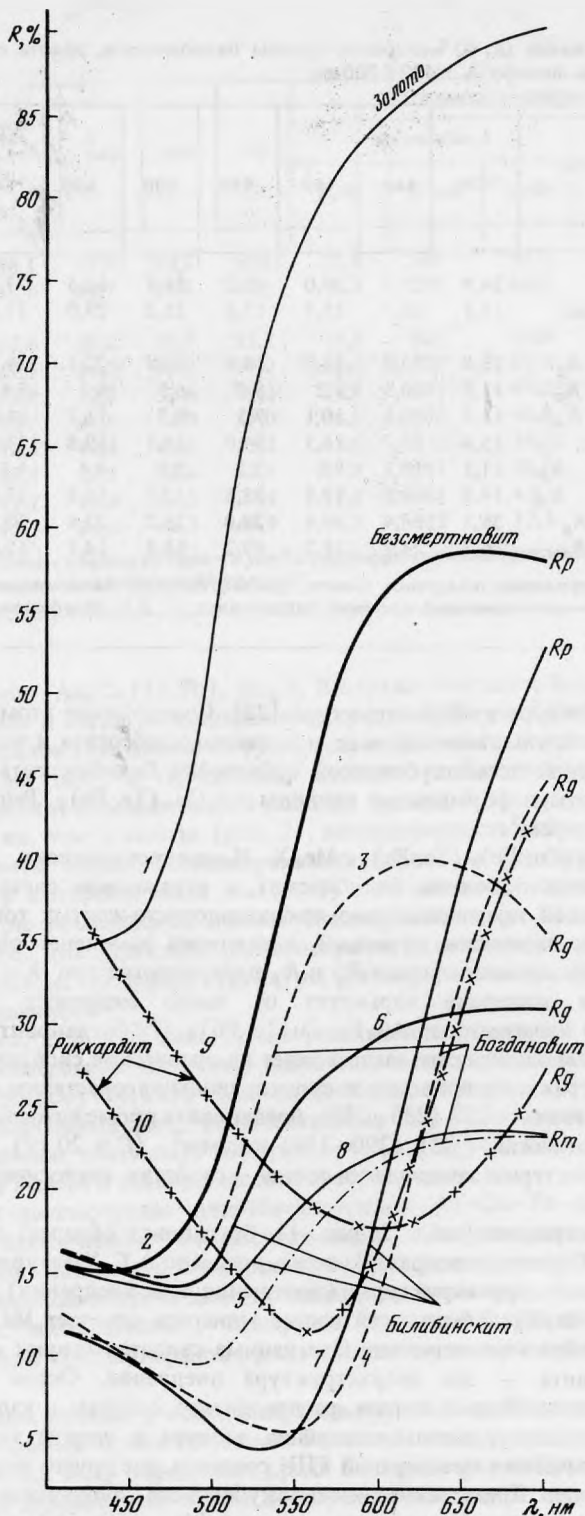


Рис. 2. Спектры отражения золота (1), безсмертновита (2), богдановита (3 - R_g , 4 - R_p , 5 - R_m), билибинскита (6 - R_g , 7 - R_g , 8 - R_g), риккардита (9 - R_g , 10 - R_p)

Рентгенограмма порошка билибинскита содержит много дополнительных по сравнению с золотом (ГЦК решетка) отражений средней и небольшой интенсивности (рис. 1), что допускает аналогию с ОЦК решеткой мошельландсбергита Ag_5Hg_8 , $I m\bar{3}m$, $a_0 = 10,04 \text{ \AA}$ [21]. Кристаллическая структура мошельландсбергита аналогична структуре γ -лагуни Cu_5Zn_8 , которая обычно рассматривается как разупорядоченная

Таблица 3

Коэффициенты отражения (R , %) минералов группы билибинскита, золота самородного и риккардита в интервале спектра $\lambda = 420 \div 700$ нм

Спектр	Минерал, сечение	420	440	460	480	500	520	540	560	580
1	Золото, R	34,4	35,2	37,0	42,2	53,9	66,5	73,7	79,1	82,6
2	Безсмертновит, R_g	15,1	15,1	15,7	17,5	21,2	29,0	37,5	45,6	52,4
3	Богдановит, R_g	15,8	15,2	14,8	14,8	16,9	22,5	29,5	34,5	37,6
4	" R_p	11,8	10,5	9,2	8,0	6,9	6,2	5,6	6,1	8,4
5	" R_m	11,2	10,6	10,1	9,5	9,7	11,7	14,6	17,5	19,8
6	Билибинскит, R_g	15,8	15,2	14,5	14,0	15,4	19,8	23,2	26,0	28,1
7	" R_p	11,1	10,2	9,1	7,3	5,5	4,4	4,5	7,0	12,0
8	" R_m	14,8	14,4	13,9	13,6	13,7	15,2	17,5	19,7	21,3
9	Риккардит, R_g	36,5	33,4	30,4	28,0	26,2	22,4	20,3	19,0	18,2
10	" R_p	26,7	24,2	21,7	19,2	16,8	14,1	12,0	11,3	12,8

Примечание. Отражение измерено: золота, безсмертновита, билибинскита — Т.Н. Чвилевой, прибор "Блеск", эталон—металлический кремний; богдановита — Д.К. Шербачевым, прибор "MPV-2"

дефектная сверхструктура к ОЦК структуре [22]. Соотношение атомов разного сорта у билибинскита 5 : 8, т.е. такое же, как у мошельландсбергита и γ -лагуни. Параметр объемноцентрированной псевдокубической субъячейки билибинскита $a'_0 = 10,03$ Å, в ней содержится четыре формульные единицы $Au_5Cu_3(Te, Pb)_5$. Рентгеновская плотность минерала $12,7$ гс/см³.

Богдановит $Au_5(Cu, Fe)_2(Te, Pb)_3, Me_4X$. И макроскопически, и в отраженном свете богдановит очень похож на билибинскит, в отраженном свете отличается преобладанием в цветовой гамме довольно ярких золотисто-желтых тонов. Богдановит, как и билибинскит, оптически двуосный, характерно изменение оптического знака отражения: в главном сечении кривые R_g и R_p пересекаются при $\lambda = 670$ нм (рис. 2). Химический состав минерала варьирует от чисто медистого (Cu-богдановит) $Au_5Cu_3(Te, Pb)_2$ до железистого $Au_5Fe_2Cu(Te, Pb)_2$ (Fe-богдановит) (табл. 1). Изоморфное замещение меди железом мало влияет на оптические свойства и рентгенометрические характеристики, но приводит к существенному возрастанию микротвердости: твердость Cu-богдановита — 257 (235–270), богдановита промежуточного состава — 310 (277–338), Fe-богдановита — 321 (290–354) кгс/мм² ($P = 20$ гс). Таким образом, для богдановита характерны зависимости состав — свойства, аналогичные зависимостям у блеклых руд [23].

Судя по рентгенограмме (табл. 2, рис. 1), богдановит обладает сверхструктурой, производной от ГЦК решетки золота. Из этого, согласно А.Г. Хачатуряну [24], следует, что состав устойчивой сверхструктуры (замещения или внедрения) должен отвечать составу Me_4X или Me_4X_3 . Химический состав минерала отвечает Me_4X . Изоморфизм Au—Te и Au—Pb крайне маловероятен. Эти данные свидетельствуют о том, что сверхструктура богдановита — это сверхструктура внедрения. Остов сверхструктуры образуют атомы золота, меди и железа, распределение которых в узлах ГЦК решетки близко к статистическому; атомы внедрения теллура и свинца заполняют первую подрешетку октаэдрических междоузлий ГЦК решетки, две другие подрешетки междоузлий не заполнены. Примитивная псевдокубическая субъячейка богдановита с $a'_0 = 4,087$ Å содержит одну формульную единицу $[Au_{5/8}(Cu, Fe)_{3/8}]_4(Te, Pb)$. Рентгеновская плотность Fe-богдановита $14,1$ гс/см³. Наблюдаемая рентгеновская картина богдановита соответствует псевдокубической субъячейке, тогда как по оптическим данным симметрия богдановита значительно ниже — минерал оптически двуосный. Это, видимо, связано с дополнительным упорядочением атомов металлов или (и) атомов внедрения; для атомов внедрения Te и Pb возможность упорядочения обусловлена наличием двух незаполненных подрешеток междоузлий; на наших рентгенограммах это упорядочение не проявлено.

600	620	640	660	680	700	Параметры цвета относительно					
						источника А			источника С		
						В, %	λ , нм	ρ , %	В, %	λ , нм	ρ , %
84,8	86,5	88,1	89,4	90,1	90,6	78,3	585	50,0	74,6	577	48,0
55,7	57,4	58,3	58,7	58,6	58,2	46,3	588	64,0	42,2	582	62,0
39,2	40,0	39,8	39,0	37,7	35,7	33,8	587	55,0	31,4	582	51,0
13,4	21,0	29,5	36,2	41,2	44,9	11,2	505'	30,0	9,3	497'	24,0
21,5	22,4	23,0	23,3	23,4	23,2	18,0	592	45,0	16,6	588	37,0
29,1	29,9	30,7	31,0	31,0	31,0	26,0	588	44,0	24,4	582	39,0
19,0	27,2	36,5	42,8	48,6	53,2	13,6	~600	34,0	10,8	496'	23,0
22,3	23,0	23,4	23,6	23,6	23,4	19,9	591	30,0	18,9	587	25,0
17,8	18,1	19,1	21,8	24,3	27,4	19,6	481	4,0	20,4	468	4,5
15,9	21,9	27,3	34,4	40,3	44,9	15,5	552'	12,3	14,8	552'	7,5

фирмы Leitz, эталоны — карбид кремния и карбид вольфрама-титана; риккардита — Л.Н. Вьяльсовым. прибор ПИОР, эталон — металлический кремний.

Безсмертновит $Au_4Cu(Te, Pb)$, Me_5X . В отраженном свете безсмертновит несколько похож на золото и легко обнаруживается среди агрегатов билибинскита, богдановита и других минералов описываемой группы: он самый светлый из них, имеет насыщенный оранжево-желтый цвет, в скрещенных николях слабо анизотропен в серых тонах. Кривая дисперсии R безсмертновита подобна кривой R золота, абсолютные значения R на 20–40% ниже, чем у золота (рис. 2). Микротвердость минерала 353–360 кгс/мм².

Рентгенограмма порошка безсмертновита сходна с рентгенограммой соединения Au_4Zn [25], у которого такое же (4 : 1) соотношение атомов металлов разного типа. Параметры ромбической ячейки безсмертновита (в Å): $a_0 = 24,21$, $b_0 = 4,025$, $c_0 = 16,42$, $Z = 16$. По характеру рентгенограмм и величинам соотношений $a_0 \approx 6b_0$ и $c_0 \approx 4b_0$, полагаем, что основу структуры безсмертновита представляет разупорядоченная ГЦК псевдоячейка.

Минералы 12, 2, 5 (см. табл. 1) микроскопически близки к билибинскиту и богдановиту, рентгенограммы их имеют значительное сходство с рентгенограммой золота. *Минерал 8* — $Au_5Cu_3(Te, Pb)$, чрезвычайно богатый золотом и медью, имеет насыщенный желтовато-розовый цвет, рентгенограмма его не отличается от рентгенограммы золота. Исключение составляет *минерал 1* — $(Au, Ag)(Fe, Cu)_2(Te, Pb)_4$ с преобладанием в составе железа и теллура, он светло-серого цвета.

Заканчивая рассмотрение плимботеллуридов $Au-Cu-Fe-Ag$, еще раз обращаем внимание на необычность "оптического лица" этих минералов в отраженном свете. Количественные данные по спектральному распределению интенсивности отражения в пределах видимой области дают возможность более строго проанализировать цветовые эффекты, наблюдаемые у минералов группы билибинскита под микроскопом, а также сходство этих минералов с риккардитом и отличительные особенности (табл. 3, рис. 2).

Спектральные кривые у всех минералов группы билибинскита имеют сложные профили с минимумами и максимумами. Резкоаномальный профиль дисперсии у кривых R_m и подобие R_m и R_g определяют среди большого разнообразия спектров преобладание кривых с аномальным типом дисперсии; поэтому в пестрой и яркой цветовой гамме (от красно-фиолетовых, грязно-лиловых до кремново-желтых, золотистых) преобладают сечения с цветами кремново-желтой тональности разных оттенков и интенсивности, которые всегда присутствуют в одном из положений любого сечения билибинскитоподобных минералов. Форма спектральных кривых $R_m-R'_g$ с прогибом в зеленом участке спектра и с подъемом к синему краю определяет присутствие во всех кремновых и желтых тонах минералов той или иной доли синей пурпурной составляющей.

Спектры отражения риккардита существенно отличаются по форме от спектра новых

минералов (рис. 2). Кривые R_g и R_p риккардита подобны между собой; обе кривые имеют глубокий прогиб в среднем желтом участке спектра, наиболее чувствительном для зрительного восприятия, и симметрично поднимаются к коротковолновому и длинноволновому участкам спектра. Эта особенность профиля кривых R_g и R_p риккардита определяет чисто пурпурный характер цвета, складывающийся из различных пропорций красного и синего, и полное отсутствие в цветовой гамме риккардита цветов желтой тональности. Приведенный анализ показывает, что оптическое сходство минералов группы билибинскита и риккардита чисто внешнее — те и другие характеризуются чрезвычайной яркостью и пестротой цвета, усиливающихся вследствие того, что и те и другие минералы обычно слагают тонкозернистые агрегаты; тональность же цветов у минералов группы билибинскита и у риккардита резко различная (табл. 3).

Второй отличительной оптической особенностью новых минералов является чрезвычайно высокая насыщенность (чистота — p) цвета. Самыми высокими значениями до сих пор характеризовалось золото — $p = 48\%$, относительно источника белого света C [26]. У безсмертовита $p = 62\%$ (!), у других минералов группы билибинскита $p = 30-50\%$ (табл. 3). Насыщенность цвета риккардита, в сравнении с p у новых минералов, относительно низкая (4–12%).

* * *

Минералы группы билибинскита представляют типоморфные образования окисленных золото-теллуридных руд.

Изученные новые минеральные формы золота дают дополнительный материал для понимания геохимии золота и процессов минерало-геохимических преобразований, протекающих в зоне выветривания (зоне цементации).

Выше зоны цементации — в зоне окисления минералы группы билибинскита неустойчивы и замещаются агрегатами тонкопластинчатого и губчатого золота в ассоциации с теллуридами и оксителлуридами меди и свинца, теллуридом TeO_2 , гидроокислами железа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973.
2. Николаева Л.А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. М.: Недра, 1978.
3. Kazachenko V.T., Chubarov V.M., Romanenko I.M. et al. Ore minerals in a polymetallic deposit of Primorye, USSR. — Amer. Miner., 1979, vol. 64, N 3/4.
4. Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М. Ртутистое золото. — Докл. АН СССР, 1979, т. 246, № 3.
5. Новгородова М.И., Цепин А.И., Горшков А.И. и др. Новые данные по кристаллохимии и свойствам природных интерметаллических соединений системы Cu—Au. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва., 1977, ч. 106, вып. 5.
6. Покровский П.В., Мурзин В.В., Берзон Р.О., Юшков Б.А. К минералогии самородного золота месторождения Золотая Гора. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1979, ч. 108, вып. 3.
7. Barton M.D., Kieft C., Burke E.A.J., Oen J.S. Uytendogaardite, a new silver-gold sulfide. — Canad. Miner., 1978, vol. 16, N 4.
8. Шанур Хамид, Победимская Е.А., Спиридонов Э.М., Белов Н.В. Уточненная структура петцита $AuAg_3Te_2$. — Кристаллография, 1978, № 3.
9. Wells J.D., Millens T.J. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analyses. Cortes and Carlin gold mines. — Econ. Geol., 1973, vol. 68, N 2.
10. Боришанская С.С. Теллуриды в золоторудных месторождениях СССР и их диагностика. Канд. дисс., М.: 1946.
11. Громова Е.И. Вещественный состав руд одного золоторудного месторождения. — Тр. Вост.-Сиб. геол. ин-та. 1959, Иркутск. вып. 1.
12. Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
13. Андрусенко Н.И., Шепотьев Ю.М. Температурный режим формирования и стадийность субвулканических золото-серебряных месторождений. — Геохимия, 1974, № 2.
14. Stillwell F.L. Tellurides in Western Australia. — In: Publ. of the 5th Empire mining and metallurg. congr. Australia and New Zealand. Melbourne, 1953, vol. 1.
15. Markham N.L. Synthetic and natural phases in the system Au—Ag—Te. — Econ. Geol., 1960, vol. 55, N 6/7.
16. Спиридонов Э.М., Безсмертная М.С., Чвилева Т.Н., Безсмертный В.В. Билибинскит — новый минерал золото-теллуридных месторождений. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1978, ч. 107, вып. 3–4.
17. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Богдановит $Au_5(Cu, Fe)_3(Te, Pb)_2$ — новый минерал из группы интерметаллических соединений золота. — Вестник МГУ. Сер. геол., 1979, № 1.
18. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Безсмертовит $Au_4Cu(Te, Pb)$ — новый минерал из зоны окисления месторождений Дальнего Востока. — Докл. АН СССР, 1979, т. 249, № 6.
19. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Билибинскит и другие новые интерметаллические соединения золота, меди, железа, серебра, свинца, теллура — типоморфные минералы золото-теллуридных месторождений Сибири, Дальнего Востока и Казахстана. — В кн.: Рудные формации и месторождения Сибири. Изд-во Томского ун-та, 1979.

20. *Костов И.* Геохимический принцип в классификации минералов. — В кн.: Проблемы геохимии. М.: Изд-во АН СССР, 1965.
21. *Stenbeck St.* Röntgenanalyse der Legierungen von Quecksilber mit Silber, Gold und Zinn. — Ztschr. anorg. Chem., 1933, Bd. 214, N 1.
22. *Pearson W.B.* The crystal chemistry and physics of metals and alloys. N.Y.; L., 1972.
23. *Чушлева Т.Н.* Влияние примесей на оптические и некоторые другие свойства блеклых руд. — В кн.: Исследования в области рудной минералогии. М.: Наука, 1973.
24. *Хачатурян А.Г.* Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974.
25. *Iwasaki H.* The crystal structure of Au_4Zn . — J. Phys. Soc. Jap., 1962, vol. 17.
26. *Чушлева Т.Н., Клейнбок В.Е., Безмертная М.С.* Цвет рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1977.

УДК 549.744.12 (574)

В.И. СТЕПАНОВ, Г.Г. ШУЛЬГА, А.В. БЫКОВА,
Э.М. СПИРИДОНОВ, Б.Ф. ХРОМЫХ

АКЦЕССОРНЫЙ СИНХИЗИТ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОВ ШАНШАЛЬСКОГО ИНТРУЗИВА (Центральный Казахстан)

Синхизит первоначально установлен Г. Флинком в пустотах щелочных пегматитов в Нарсарсуке в Южной Гренландии [1]. Позднее в аналогичных условиях он часто наблюдался в Сент Илере (Канада) [2]. Характерна ассоциация синхизита с торитом в Паудерхорн (Колорадо, США) [2] и с паризитом в измененных трахитах у Пиритес в графстве Равалли, Монтана и в пегматитах щелочных гранитов у Баллоу, Куинси, Массачузетс, США [3]. Известны находки синхизита в оловянных рудах Заайплаатс в Трансваале [4]. Он также найден в анкеритовых карбонатитах Африки [5]–[7]. Наиболее часто синхизит в виде одиночных мелких кристаллов указывался среди минералов открытых трещин в метаморфических породах Альп [8]–[12]. Во всех случаях он обнаруживался в виде одиночных, очень мелких кристаллов, обычно совместно с кальцитом, доломитом, сидеритом или баритом как самый поздний гидротермальный минерал в ассоциации с разнообразными более ранними минералами. Описывались синтаксические сростки синхизита с паризитом, рентгенитом и бастнезитом [13, 9]. Известна необычная находка синхизита в гаверсовых каналах ископаемых ребер динозавров из Монголии [14].

В отличие от зарубежных находок на территории СССР гораздо чаще обнаруживался доверит — иттриевый аналог синхизита [15]–[18]. Доверит почти всегда является вторичным минералом, заместившим иттрофлюорит или гагаринит, и местами наблюдается в значительном количестве. Синхизит в СССР впервые обнаружен А.П. Хомяковым в железорудном месторождении Карасуг (Тува) [19]. Позднее О.Б. Дудкин и И.Ю. Меньшиков описали синхизит из карбонатных и кальцит-биотитовых жилков

Т а б л и ц а 1

Оптические свойства синхизита и доверита

Месторождение, автор	Осность	Оптический знак	n_e	n_o	Минерал
Нарсарсук, Гренландия, [3]	Одноосный	+	1,770	1,674	Синхизит (?)
Трансвааль, [4]	То же	+	1,744	1,644	Синхизит
Валь Налпс, Швейцария, [8]	"	+	1,74	1,649	"
4 месторождения по [13]	"	+	1,740– 1,745	1,641– 1,650	"
Друкшах, Швейцария, [9]	"	+	1,750	1,649	"
Хибины, А.П. Хомяков, 1979 г. (новые данные)	"	+	1,75	1,650	"
В.И. Степанов, 1979 г., Северный Казахстан (новые данные)	"	+	1,747	1,645	"
Северная Киргизия, [15]	"	+	1,72	1,63	Доверит
Котопакси, США, [26]	"	+	1,730	1,643	"
Украина, [16]	"	+	1,748	1,650	Синхизит (?)
Мюзо, Колумбия, [22]	"	+	1,771	1,672	Паризит