

## О ГЕРМАНОКОЛУСИТЕ ИЗ КИПУШИ (КАТАНГА)

С.Н. Ненашева., Л.А. Паутов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, sn@mms.ru

Изучен образец борнита № 64332 из фондов Минералогического Музея им. Аю.Е.Ферсмана из месторождения Кипуши, в котором оказались мелкие овальные включения германоколусита в ассоциации с ренеरитом, тенантитом, халькопиритом, сфалеритом. В его составе немного больше Zn и V и меньше As по сравнению с германоколуситом первооткрывателя. Предложена новая структурная формула для германоколусита, учитывающая характерный для сложных сульфидов германия изоморфизм  $Zn^{2+} + Ge^{4+} \rightarrow As^{5+} + Cu^+$ . Это первая находка германоколусита на месторождении Кипуши. В статье 5 таблиц, список литературы из 7 названий.

Германоколусит утверждён как минеральный вид в 1992 г. (Спиридовон и др. 1992), но ещё раньше среди германитов выделялись «желтые германиты», в составе которых определяли значительное количество V и As и которые стали называть «ванадиевыми» или «ванадиево-мышьяковыми» германитами. Э.М.Спиридовон с соавторами (Спиридовон и др. 1992) показал, что те из «ванадиевых» или «ванадиево-мышьяковых» германитов, в формуле которых германий преобладает над мышьяком, являются германоколуситами. Авторы (Спиридовон и др. 1992) приводят 3 анализа германоколусита из месторождений Уруп (Россия), Цумёб (Намибия) и Челопеч (Болгария) (табл. 1, ан. 1 – 3). Ещё один близкий по составу к германоколуситу анализ германиевого сульфида из Урупа опубликован В.М.Качаловской с соавторами (Качаловская и др., 1975) и позднее повторен под названием «колусит-Ge» в работе Э.М.Спиридовонова с соавторами (Спиридовон и др. 1986) (табл. 1, ан. 4). Содержание германия в нём превышает содержание мышьяка. Э.М.Спиридовон с соавторами (Спиридовон и др. 1992) предложили для германоколусита структурную формулу  $Cu^{+}_{18}Cu^{2+}_4(Cu^{2+}, Fe, Zn)_4V^{3+}_2X^{4+}_6S_{32}$ , где  $X^{4+} = Ge^{4+}$ ,  $(As, Sb^{5+} + As, Sb^{3+}) : 2$ ,  $Sn^{4+}, Mo^{4+}, Te^{4+}$ .

При пересчете на эту формулу анализов германоколусита, приводимых в работе (Спиридовон и др. 1992), выяснилось, что два анализа из трёх не электронейтральны (баланс валентности 4,2 и 3,5%) (табл. 2, ан. 1 и 3). Электронейтральными считаются анализы, баланс валентности которых не превышает 3%. Если учесть характерный для сложных сульфидов германия изоморфизм  $Ge^{4+} + Zn^{2+} \rightarrow As^{5+} + Cu^+$ , то формулу первооткрывателей можно представить в виде

$Cu^{+}_{18+x}Cu^{2+}_4(Cu^{2+}, Fe, Zn)_{4-x}V^{3+}_2(Ge^{4+}_{6-x}As^{5+}_x)_6S_{32}$  или  $Cu^{+}_{18+x}Cu^{2+}_4Me^{2+}_{4-x}V^{3+}_2(Ge^{4+}_{6-x}As^{5+}_x)_6S_{32}$ , где  $0 \leq x \leq 3$ . При пересчете на эту формулу все анализы из работы (Спиридовон и др. 1992) оказываются электронейтральными (табл. 2), что свидетельствует в пользу формулы с учётом изоморфного замещения  $Ge^{4+} + Zn^{2+} \rightarrow As^{5+} + Cu^+$ .

Нами германоколусит обнаружен в образце № 64332, который записан в фонды Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана как борнит из месторождения Кипуши (Катанга). Германоколусит выделяется в виде овальных мелких зерен размером до 10 – 15 микрон, как правило в ренеरите, который в свою очередь находится в борните в ассоциации с тенантитом, сфалеритом, халькопиритом. Германоколусит в отраженном свете розовато-сиреневый изотропный. Отражение ниже, чем у халькопирита, тенантита, выше, чем у борнита, сфалерита. Выделения такие мелкие, что невозможно провести их рентгенодиагностику.

Микрорентгеноспектральный анализ выполнен на микрозонде JXA – 50A фирмы JEOL с энергодисперсионным спектрометром TRACOR – Xr, при 20 кв и токе зонда  $30-10^{-9} A$ . Расчёт концентраций проводился с использованием ZAF – коррекции. Использовались следующие эталоны (аналитические линии):  $ZnS$  ( $Zn_{K\alpha}$  и  $S_{K\alpha}$ ),  $GaAs$  ( $As_{K\alpha}$  и  $Ga_{K\alpha}$ ),  $Cu_2FeSnS_4$  ( $Cu_{K\alpha}$ ,  $Fe_{K\alpha}$ ,  $Sn_{L\alpha}$ ,  $S_{K\alpha}$ ),  $V$  и  $Ge$  – металлические ( $V_{K\alpha}$ ,  $Ge_{K\alpha}$ ,  $Ge_{K\beta}$ ). Состав германоколусита из Кипуши представлен в таблицах 3, 4. Прослеживается чёткая положительная корреляция между медью и мышьяком, а также цинком и германием и отрицательная корреляция между германием и мышьяком. Все анализы, рассчитанные на основе формулы, учитывающей изоморфное замещение  $Ge^{4+} + Zn^{2+} \rightarrow As^{5+} + Cu^+$ , электронейтральны в пределах допустимых 3%.

Таблица 1. Микрорентгеноспектральные анализы германоколусита.(мас.% – верхняя строка и формульные коэффициенты – нижняя строка). Ан. № 1–3 по (Спиридов и др., 1992), ан. № 4 – по (Качаловская и др., 1975)

№.	Содержание элементов							Σ	Me/S
	Cu	Fe	Zn	Ge	As	Sb	V		
1	49.69	0.47	0.91	8.62	5.19	0.08	3.22	32.10	101.4
	24.96	0.27	0.44	3.79	2.21	0.02	2.02	31.96	66
2	49.22	1.56	0.15	6.55	5.90	0.12	3.19	31.97	100.31
	24.91	0.90	0.07	2.90	2.53	0.03	2.01	32.06	65.99
3	48.04	1.54	1.28	9.13	3.38	0.40	3.17	31.05	100.66
	24.50	0.89	0.63	4.08	1.46	0.11	2.02	31.39	65.99
4	47.8	1.00	5.5	10.6	2.9		3.1	32.0	102.9
	23.66	0.56	2.65	4.59	1.22		1.91	31.40	65.99

**Примечание:**

В том числе в ан. № 1 Sn 0.14% (0.04 ф.к.), W 0.03 (0.01), Mo 0.67 (0.22), Ag 0.13 (0.04), Bi 0.15 (0.02); в ан. № 2 Ga 0.35 (0.16), Sn 0.06 (0.02), W 0.06 (0.01), Mo 1.18 (0.39); в ан. № 3 Ga 0.17 (0.08), Sn 0.17 (0.08), Ag 0.09 (0.03), Se 1.08 (0.44). Ан. № 1 и 4 образцов из месторождения Уруп, № 2 – Цумёб, № 3 – Челопеч.

Таблица 2. Пересчёт анализов германоколусита, приведенных в таблице 1

№	Формулы, рассчитанные на основе формулы, предложенной Э.М.Спиридовым с соавт. (Спиридов и др., 1992) $Cu^{+18}Cu^{2+4}(Cu^{2+}, Fe, Zn)_4V^{3+}X^{4+}S_{32}$	Баланс валентности	
		$\pm\Delta$	%
1	$(Cu^{+18.00}Ag^{+0.04})_{18.04}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{2.96}Fe^{2+}_{0.27}Zn^{0.44})_{3.67}(V^{3+}_{2.02}W^{4+}_{0.01}Mo^{3+}_{0.22})_{2.25}$ [Ge <sup>4+</sup> <sub>3.79</sub> Sn <sup>4+</sup> <sub>0.04</sub> (As <sup>5+</sup> <sub>2.21</sub> Sb <sup>5+</sup> <sub>0.02</sub> Bi <sup>5+</sup> <sub>0.02</sub> ) <sub>2.25</sub> ] <sub>6.08</sub> S <sub>31.96</sub>	+2.79	4.2
2	$Cu^{+18}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{2.91}Fe^{2+}_{0.90}Zn^{0.07})_{3.88}(V^{3+}_{2.01}W^{4+}_{0.01}Mo^{3+}_{0.39})_{2.41}$ [Ge <sup>4+</sup> <sub>2.90</sub> Ga <sup>3+</sup> <sub>0.16</sub> Sn <sup>4+</sup> <sub>0.02</sub> (As <sup>5+</sup> <sub>2.53</sub> Sb <sup>5+</sup> <sub>0.03</sub> ) <sub>2.56</sub> ] <sub>5.64</sub> S <sub>32.09</sub>	-1.78	2.7
3	$(Cu^{+18.00}Ag^{+0.03})_{18.3}Cu^{2+}(Cu^{2+}_{2.50}Fe^{2+}_{0.80}Zn^{0.63})_{4.02}V^{3+}_{2.02}$ [Ge <sup>4+</sup> <sub>18.08</sub> Ga <sup>3+</sup> <sub>0.16</sub> Sn <sup>4+</sup> <sub>0.02</sub> (As <sup>5+</sup> <sub>1.46</sub> Sb <sup>5+</sup> <sub>0.11</sub> ) <sub>1.57</sub> ] <sub>6.09</sub> (S <sub>31.39</sub> Se <sub>0.44</sub> ) <sub>31.83</sub>	+2.32	3.5
4	$Cu^{+18}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{1.65}Fe^{2+}_{0.56}Zn^{2.65})_{4.87}V^{3+}_{1.91}$ (Ge <sup>4+</sup> <sub>4.59</sub> As <sup>5+</sup> <sub>1.22</sub> ) <sub>5.81</sub> S <sub>31.40</sub> $Cu^{+18}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{1.65}Fe^{2+}_{0.47}Zn^{2.65})_{4.78}(V^{3+}_{1.91}Fe^{3+}_{0.09})_{4.78}$ (Ge <sup>4+</sup> <sub>4.59</sub> As <sup>5+</sup> <sub>1.22</sub> ) <sub>5.81</sub> S <sub>31.40</sub>	+3.13	4.7
№	Формулы, рассчитанные на основе формулы $Cu^{+18+x}Cu^{2+4}Me^{2+}_{4-x}V^{3+}X^{4+}S_{32}$	Баланс валентности	
1	$(Cu^{+20.25}Ag^{+0.04})_{20.29}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{0.71}Fe^{2+}_{0.27}Zn^{0.44})_{1.42}(V^{3+}_{2.02}W^{4+}_{0.01}Mo^{3+}_{0.22})_{2.25}$ [Ge <sup>4+</sup> <sub>3.79</sub> Sn <sup>4+</sup> <sub>0.04</sub> (As <sup>5+</sup> <sub>2.21</sub> Sb <sup>5+</sup> <sub>0.02</sub> Bi <sup>5+</sup> <sub>0.02</sub> ) <sub>2.25</sub> ] <sub>6.08</sub> S <sub>31.96</sub>	+0.53	0.8
2	$Cu^{+20.56}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{0.35}Fe^{2+}_{0.90}Zn^{0.07})_{1.32}(V^{3+}_{2.01}W^{4+}_{0.01}Mo^{3+}_{0.39})_{2.41}$ [Ge <sup>4+</sup> <sub>2.90</sub> Ga <sup>3+</sup> <sub>0.16</sub> Sn <sup>4+</sup> <sub>0.02</sub> (As <sup>5+</sup> <sub>2.53</sub> Sb <sup>5+</sup> <sub>0.03</sub> ) <sub>2.56</sub> ] <sub>5.64</sub> S <sub>32.09</sub>	-0.78	1.2
3	$(Cu^{+19.57}Ag^{+0.03})_{19.6}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{0.93}Fe^{2+}_{0.80}Zn^{0.63})_{2.45}V^{3+}_{2.02}$ [Ge <sup>4+</sup> <sub>19.08</sub> Ga <sup>3+</sup> <sub>0.08</sub> Sn <sup>4+</sup> <sub>0.02</sub> (As <sup>5+</sup> <sub>1.46</sub> Sb <sup>5+</sup> <sub>0.11</sub> ) <sub>1.57</sub> ] <sub>6.09</sub> (S <sub>31.39</sub> Se <sub>0.44</sub> ) <sub>31.83</sub>	+0.75	1.2
4	$Cu^{+19.22}Cu^{2+4}(Cu^{2+}_{0.44}Fe^{2+}_{0.47}Zn^{2.65})_{3.56}(V^{3+}_{1.91}Fe^{3+}_{0.09})_{2.00}$ (Ge <sup>4+</sup> <sub>4.59</sub> As <sup>5+</sup> <sub>1.22</sub> ) <sub>5.81</sub> S <sub>31.40</sub>	+2.0	3.1

Таблица 3. Микрорентгеноспектральные анализы германоколусита из месторождения Кипуши (обр. 64332) (мас.% – верхняя строка и формульные коэффициенты – нижняя строка)

№ п.п.	Содержание элементов							Σ	Me/S
	Cu	Fe	Zn	Ge	As	V	S		
1	50.14	0.30	3.75	7.98	3.89	3.53	32.17	101.76	1.047
	24.96	0.17	1.82	3.48	1.64	2.19	31.74	66	
2	49.41	0.29	4.31	8.03	4.11	3.68	32.35	102.18	1.045
	24.49	0.16	2.08	3.48	1.73	2.28	31.78	66	
3	49.37	0.50	4.69	8.75	3.57	3.19	31.74	101.81	1.099
	24.68	0.28	2.28	3.82	1.52	1.98	31.44	66	
4	48.94	0.12	4.11	8.79	3.15	3.63	32.37	101.11	1.060
	24.45	0.07	2.00	3.84	1.34	2.26	32.04	66	
5	48.21	0.39	4.24	8.68	2.79	3.43	31.43	99.17	1.076
	24.61	0.22	2.10	3.88	1.21	2.18	31.79	65.99	
6	48.11	0.35	4.91	8.68	2.84	3.58	32.47	100.95	1.062
	24.03	0.20	2.38	3.80	1.20	2.23	32.15	65.99	
7	48.10	0.56	4.84	8.93	2.96	3.65	32.38	101.42	1.065
	23.96	0.32	2.34	3.89	1.25	2.27	31.96	65.99	
8	47.76	0.53	4.89	8.63	2.86	3.44	32.36	100.47	1.050
	23.97	0.30	2.38	3.79	1.22	2.15	32.18	65.99	
9	47.75	0.54	4.87	9.11	2.70	3.47	31.89	100.33	1.072
	24.08	0.31	2.39	4.02	1.16	2.18	31.86	66	
10	47.12	0.36	5.03	9.00	2.90	3.16	31.71	99.27	1.061
	24.01	0.21	2.49	4.05	1.25	2.00	32.02	66	

Таблица 4. Пересчёты анализов германоколусита из месторождения Кипуши

№	Формулы, рассчитанные на основе формулы $\text{Cu}^{+18+x}\text{Cu}^{2+4}\text{Mg}^{2+4-x}\text{V}^{3+2}\text{Ge}^{4+6-x}\text{As}_x\text{S}_{32}$	Баланс валентности	
		$\pm\Delta$	%
1	$\text{Cu}^{+20.0}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.96}\text{Zn}_{1.82})_{2.78}(\text{V}^{3+1.83}\text{Fe}^{3+0.17})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.48}(\text{As}^{5+1.64}\text{V}^{5+0.36})_{2.00}\text{I}_{5.48}\text{S}_{31.74}$	0.0	0.0
2	$\text{Cu}^{+20.17}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.32}\text{Zn}_{2.08})_{2.40}(\text{V}^{3+1.84}\text{Fe}^{3+0.16})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.48}(\text{As}^{5+1.73}\text{V}^{5+0.44})_{2.17}\text{I}_{5.63}\text{S}_{31.78}$	+0.18	0.3
3	$\text{Cu}^{+19.78}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.90}\text{Zn}_{2.26})_{3.18}(\text{V}^{3+1.72}\text{Fe}^{3+0.28})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.82}(\text{As}^{5+1.52}\text{V}^{5+0.26})_{1.78}\text{I}_{5.60}\text{S}_{31.44}$	+1.44	2.2
4	$\text{Cu}^{+19.67}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.78}\text{Zn}_{2.00})_{2.78}(\text{V}^{3+1.93}\text{Fe}^{3+0.07})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.84}(\text{As}^{5+1.34}\text{V}^{5+0.33})_{1.67}\text{I}_{5.51}\text{S}_{32.04}$	-1.14	1.8
5	$\text{Cu}^{+19.61}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+1.00}\text{Zn}_{2.10})_{3.10}(\text{V}^{3+1.78}\text{Fe}^{3+0.22})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.88}(\text{As}^{5+1.21}\text{V}^{5+0.40})_{1.61}\text{I}_{5.49}\text{S}_{31.79}$	-0.2	0.3
6	$\text{Cu}^{+19.63}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.40}\text{Zn}_{2.38})_{2.78}(\text{V}^{3+1.80}\text{Fe}^{3+0.20})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.80}(\text{As}^{5+1.20}\text{V}^{5+0.43})_{1.63}\text{I}_{5.43}\text{S}_{32.15}$	-1.76	2.7
7	$\text{Cu}^{+19.84}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.12}\text{Zn}_{2.34})_{2.46}(\text{V}^{3+1.68}\text{Fe}^{3+0.32})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.89}(\text{As}^{5+1.23}\text{V}^{5+0.59})_{1.84}\text{I}_{5.73}\text{S}_{31.96}$	-0.4	0.6
8	$\text{Cu}^{+19.67}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.30}\text{Zn}_{2.38})_{2.68}(\text{V}^{3+1.70}\text{Fe}^{3+0.30})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+3.76}(\text{As}^{5+1.22}\text{V}^{5+0.45})_{1.67}\text{I}_{5.46}\text{S}_{32.18}$	-1.82	2.8
9	$\text{Cu}^{+19.65}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.43}\text{Zn}_{2.39})_{2.82}(\text{V}^{3+1.69}\text{Fe}^{3+0.32})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+4.02}(\text{As}^{5+1.16}\text{V}^{5+0.49})_{1.65}\text{I}_{5.67}\text{S}_{31.86}$	-0.1	0.2
10	$\text{Cu}^{+19.46}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+0.55}\text{Zn}_{2.49})_{3.04}(\text{V}^{3+1.79}\text{Fe}^{3+0.21})_{2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+4.02}(\text{As}^{5+1.23}\text{V}^{5+0.21})_{1.46}\text{I}_{5.48}\text{S}_{32.02}$	-1.12	1.7
Формулы, рассчитанные на основе формулы, предложенной Э. М. Спиридоновым с соавт. (Спиридонов и др., 1992)		Баланс валентности	
	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+4}, \text{Fe}, \text{Zn})_{4}\text{V}^{3+2}\text{X}^{4+}\text{S}_{32}$	$\pm\Delta$	%
1	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.96}\text{Fe}^{2+0.17}\text{Zn}_{1.82})_{4.95}\text{V}^{3+2.19}$ [ $\text{Ge}^{4+3.48}\text{As}^{5+1.64}\text{S}_{31.74}$	+1.11	1.7
2	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.14}\text{Fe}^{2+0.16}\text{Zn}_{2.04})_{4.34}\text{V}^{3+2.24}$ [ $\text{Ge}^{4+3.44}\text{As}^{5+1.70}\text{S}_{32.28}$	-0.9	1.4
3	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.68}\text{Fe}^{2+0.28}\text{Zn}_{2.28})_{5.24}\text{V}^{3+1.98}$ [ $\text{Ge}^{4+3.82}\text{As}^{5+1.52}\text{S}_{31.44}$	+2.42	3.7
4	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.45}\text{Fe}^{2+0.07}\text{Zn}_{2.00})_{4.52}\text{V}^{3+2.26}$ [ $\text{Ge}^{4+3.84}\text{As}^{5+1.34}\text{S}_{32.04}$	-0.2	0.3
5	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.61}\text{Fe}^{2+0.22}\text{Zn}_{2.10})_{4.93}\text{V}^{3+2.18}$ [ $\text{Ge}^{4+3.88}\text{As}^{5+1.21}\text{S}_{31.79}$	+0.39	0.6
6	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.63}\text{Fe}^{2+0.20}\text{Zn}_{2.38})_{4.61}\text{V}^{3+2.23}$ [ $\text{Ge}^{4+3.80}\text{As}^{5+1.20}\text{S}_{32.15}$	-1.19	1.8
7	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+1.96}\text{Fe}^{2+0.32}\text{Zn}_{2.34})_{4.62}\text{V}^{3+2.27}$ [ $\text{Ge}^{4+3.89}\text{As}^{5+1.25}\text{S}_{31.96}$	-0.06	0.2
8	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+1.97}\text{Fe}^{2+0.30}\text{Zn}_{2.38})_{4.65}\text{V}^{3+2.15}$ [ $\text{Ge}^{4+3.79}\text{As}^{5+1.22}\text{S}_{32.18}$	-1.35	2.0
9	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.08}\text{Fe}^{2+0.31}\text{Zn}_{2.39})_{4.78}\text{V}^{3+2.18}$ [ $\text{Ge}^{4+4.02}\text{As}^{5+1.18}\text{S}_{31.86}$	+0.98	1.5
10	$\text{Cu}^{+18}\text{Cu}^{2+4}(\text{Cu}^{2+2.01}\text{Fe}^{2+0.21}\text{Zn}_{2.49})_{4.71}\text{V}^{3+2.00}$ [ $\text{Ge}^{4+4.02}\text{As}^{5+1.25}\text{S}_{32.02}$	-0.54	1.6

Таблица 5. Колебания содержаний основных элементов в мас.% в германоколусите из месторождения Кипуши (1) и из месторождений Уруп, Цумёб и Челопеч (2)

Элемент	1	2
Cu	47.12 – 50.14	48.04 – 49.69
Fe	0.12 – 0.56	0.47 – 1.56
Zn	3.75 – 5.03	0.07 – 0.63
Ge	7.98 – 9.11	6.55 – 9.13
As	2.70 – 4.11	3.38 – 5.90
V	3.16 – 3.68	3.17 – 3.22
S	31.43 – 32.38	31.05 – 32.02

Из таблицы 5, где показаны колебания основных компонентов состава германоколусита, видно, что в анализах германоколусита из месторождения Кипуши больше цинка и меньше мышьяка, немного больше германия и меньше железа по сравнению с анализами германоколусита из месторождений Уруп, Цумёб и Челопеч. Средний из 10 анализов германоколусита из Кипуши не совсем отвечает структурной формуле, учитывающей изоморфизм  $\text{Ge}^{4+} + \text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{As}^{5+} + \text{Cu}^+$ ,  $\text{Cu}^{+} \text{Fe}^{3+} \text{V}^{3+} \text{S}_{32}$ .  $\text{Cu}^{+} \text{Fe}^{3+} \text{V}^{3+} \text{S}_{32}$ . Количество двухвалентных катионов больше, а сумма четырёхвалентных и пятивалентных меньше, чем необходимо по этой формуле, приблизительно на одну и ту же величину. Вероятно, часть двухвалентных катионов занимает позицию четырёхвалентных и пятивалентных, т.е. изоморфизм более сложный. Такое предположение основано на результатах исследования положения Fe в ренеирите методом Мессбауэровской спектроскопии. Установлено, что железо занимает три разных положения (Bernstein *et al.*, 1986). То же самое подтверждено при изучении структуры ренеирита методом Рентгельда (Bernstein *et al.*, 1989). В этом случае структурная формула германоколусита будет

$\text{Cu}^{18+x} \text{Cu}^{2+} \text{Me}^{2+} \text{Me}^{3+} \text{[Me}^{4+} \text{Me}^{5+} \text{Me}^{2+} \text{]}_6 \text{S}_{32}$   
 где  $\text{Me}^{2+} = \text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Zn}^{2+};$   
 $\text{Me}^{3+} = \text{V}^{3+}, \text{Fe}^{3+};$   
 $\text{Me}^{4+} = \text{Ge}^{4+}, \text{Sn}^{4+}, \text{Ga}^{3+};$   
 $\text{Me}^{5+} = \text{As}^{5+}, \text{V}^{5+}, \text{Sb}^{5+}, \text{Bi}^{5+};$   
 при  $0 \leq x \leq 3,0$  и  $0 \leq y \leq 0,5$ .

рите (Bernstein, 1986) в таблице указывается германит на месторождении Кипуши, однако при описании минеральной ассоциации этого месторождения из сульфидов германия отмечен только реньерит. В геологическом справочнике по сидерофильным и халькофильным редким металлам, опубликованном в 1989 году (Геологический справочник, 1989), говорится, что в Кипуши есть только реньерит. Вероятно, наша находка германоколусита является первой для месторождения Кипуши.

## Литература

## Геологический справочник по сидерофильным и халькофильным редким металлам.

Под ред. Н.П.Лавёрова. // 1989. М. Недра. Качаловская В.М., Осипов Б.С., Кукоев В.А., Козлова Е.В. Германий содержащие минералы из борнитовых руд месторождения Уруп. // ЗВМО, 1975, ч. 104, вып. 1, С. 94—97.

Спирионов Э.М., Качаловская В.М., Багалов А.С. Разновидности колусита, о ванадиевом и ванадиево-мышьяковом германите. // Вестник Московского Университета. 1986, сер. 4, геология, № 3. С. 60–68.

Спиронидов Э.М., Качаловская В.М., Ковачев В.В., Крапива Л.Я. Германоколусит  $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Ge},\text{As})_6\text{S}_{32}$  — новый минерал. // Вестник Московского Университета.

1992, сер. 4, геология, № 6, С. 50–54.  
*Bernstein L.R.* Renierite,  $\text{Cu}_{10}\text{ZnGe}_2\text{Fe}_4\text{S}_{16}$  –  
 $\text{Cu}_{11}\text{GeAsFe}_4\text{S}_{16}$  a coupled solid solution  
series. // Amer. Mineral., 1986, vol. 71,  
p. 210–221.

Bernstein L.R., Reichel D.G., Merlin S.  
Renierite crystal structure from Rietveld  
analysis of powder neutron – diffraction  
data. // Amer. Mineral., 1989, vol. 74,  
p. 1177 – 1181.

Viaene W., Moreau J. Contribution à l'étude de la germanite, de la renierite et de la briartite. // Ann. De la Société Géologique de Belgique. 1968, n. 91, p. 127 – 143.