

.. * . . ** . . * . . ***

*
620151, . , ., 7
E-mail: moloshag@igg.uran.ru, gulyaeva@igg.uran.ru

**
109017, . , ' , , 3
E-mail: viken@igem.ru

456300 . . .
1 2004 .

III , -
-
270-360° 10⁻⁸-10⁻¹³ -
Cu₂S, -
Cu_{1,8}S Cu_{1,75}S , , ,
Cu_{1,4}S, Cu_{1,12}S CuS, -
Cu₆Fe₂SnS₈, Cu₂₆(Ge,V,As)₄Fe₄S₃₂ Cu₈Fe³⁺₂(Fe²⁺,Zn²⁺)Sn⁴⁺₂S₁₂, -
Cu₂₀(Zn_{2-X},Cu_X)(Ge_{4-X},As_X)Fe₈S₃₂.

BORNITE ORES OF THE MASSIVE SULFIDE DEPOSITS OF THE URALS

V.P. Moloshag*, I.V. Vikentiev, T.Ya. Gulyaeva*, S.G. Tesalina*****

**Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS*

***Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS*

****Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS*

The mineralogy and geochemistry of bornite ore of the Gayskoye, Molodezhnoye, Aleksandrinskoye, Karabashskoye and III International deposits enriched by gold, silver, germanium, gallium and tin were investigated with determination of physical-chemical conditions of the bornite ore formation. The values of temperature and sulfur fugacity were obtained with help of electrom-sphalerite geothermometer. Bornite mineralization took place at the temperature of 270-360° and sulfur fugacity 10⁻⁸-10⁻³ atmospheres during gray copper ore subfacies of metamorphism high-copper sulfides: chalcocite Cu₂S, digenite Cu_{1,8}S, anilite Cu_{1,75}S and low-copper sulfides: spioncopite Cu_{1,4}S, yarrowite Cu_{1,12}S and covellite CuS were found. Chalcocite, digenite and possible anilite probably have the hypogene genesis. Low-copper sulfide – spioncopite, yarrowite, and covellite – have been generated in oxidation conditions. The compositions of native gold, bornite, gray copper ore, copper sulfides, silver sulfides: stromeyerite, jalpaite and mackinstryte and germanium and tin sulfides: stannoidite Cu₈Fe³⁺₂(Fe²⁺,Zn²⁺)Sn⁴⁺₂S₁₂, mawsonite Cu₆Fe₂SnS₈, germanite Cu₂₆(Ge,V,As)₄Fe₄S₃₂ and renierite Cu₂₀(Zn_{2-X},Cu_X)(Ge_{4-X},As_X)Fe₈S₃₂ are characterized.

Key words: *bornite ore, precious metals, temperature and sulfur fugacity, sulfides copper, silver, germanium and tin sulfides.*

... , ... , ... , ...

-

-

,

-

.

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

1.

,

, a

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

(. 2).

405

[, 1978].

501/74 502/74,
245 ; 536/78 507/77, 160
057 059

(. 1).

[..., 1992].

(,).

1

(. %)

		III	XIX									50		
-	<5			<5	<5									
	10	20	20	10	10	10	10	5						
								10						
	85	70	75	50	70	90	90	85	80	5	60			
	<5	10		30	20			<5	<5	70	10	20	20	10
								<5	<5	20	30	80	80	70
														20

; - ; - ; - ; - ; III - . III ; XIX - . XIX - ; - ; - ; - ; 50 - . 50- ; - ; - [, 2003].

				T, °	-logfS ₂
	-	py, sp, dg, ba	bt, str, jal, mc, (Au,Ag)	150-230	9-12
		py, bn, sp, flz, ba	mw, col, ger, st, (Au,Ag)	150-300	8-13
		py, cp, en	(Au, Ag), alt	180-300	10-12
		py, cp, sp, flz, ±hm	, , , alt, Te, (Au,Ag)	180-370	7-13
		py, cp, sp, asp, ±mt	, , (Au,Ag)	250-500	8-14
		py, po, cp, sp, mt, asp	cb, pn, , mo, bs, Bi, (Au,Ag), val,	250-560	3,1-13
		py, po, cp, sp, asp, l, mt, ±cr	cub, pn, viol, car, (Au,Ag), nik	480-660	1,8-5,1

; dg - ; mt - ; hem - ; lo - ; mo - ; pn - ;
 cb - ; en - ; flz - ; ba - ; bt - ; gn - ; (Au,Ag) -
 ; Te - ; Bi - ; bs - ; pbs - ;
 gfd - ; str - ; mc - ; jal - ; mw - ; st - ;
 col - ; ger - ; val - ; car - ; viol - ; cr - ;
 nik - .

-
 -
 , 20 ,
 20 .
 , , , , , 10 , , ,
 , 3. - 50-100 .
 -
 -
 0,01 . %.
 ()
) 0,005 . %.
 : JXA-5 -
 ; Camebax microbeam - [, 2002].
 ; Camebax SX-50 -
 (BRGM), , .
 (. .)
 Camebax microbeam () .
 -
 , - ,

	502/74	501/74	536/78	507/77	14/82	057	059	15/82	16/82	1/30	1/34	2/7		
	, %													
Cu	26,24	25,84	33,24	16,38	-	9,96	9,43	-	-	0,58	1,03	2,30	1,55	0,89
Zn	0,43	19,06	4,25	1,08	-	4,41	10,67	-	-	0,09	0,17	0,10	0,34	3,07
Pb	0,64	0,12	0,35	0,25	-	0,04	0,42	-	-	0,02	0,01	0,03	0,14	0,09
S	32,17	33,00	24,83	27,28	-	41,08	37,73	-	-	27,94	21,64	34,45	43,00	40,00
As	0,118	0,106	0,26	1,56	-	0,068	0,19	-	-		0,035	-	0,26	0,25
Ba	1,24	..	6,22	2,89	-	..	..	-	-	..	..	..	0,073	0,905
	, /													
Sb	..	900	450	210	-		200	-	-	..	..	..	240	210
Ge	16,0	63,6	6,8	81,0	-	4,3	7,9	-	-	..	..	..	1,34	1,73
Hg	12	148	58	64	-	34	78	-	-	3	4	6	12	40
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	21
Se	13,0	..	6,0	14,0	-	25,0	43,0	-	-	83,0	60,0	24,0	90,9	37,5
Te	93,0	21,0	120,0	210,0	-	56,0	110,0	-	-	22,0	8,0	20,0	24,6	17,0
Ga	12,3	178,0	26,6	14,3	-	12,3	41,6	-	-	..	3,0	2,4	5,1	8,4
In	30,3	76,5	43,6	36,8	-	11,5	11,5	-	-	..	..	..	3,2	1,7
Mo	140	30	40	120	-	60	120	-	-	..	..	..	32	30
Au	21,20	2,50	7,90	2,16	1,36	2,54	8,36	3,4	4,4	0,20	0,31	0,29	1,01	1,52
Ag	356,1	694,0	447,4	191,5	940	36,2	97,3	52,5	66,0	8,8	7,7	12,1	40,98	70,10
Ag/ Au	16,8	277,6	56,6	88,7	691	14,3	11,6	15,3	15,0	44	24,8	41,7	40,6	46,1

« », .. ;
 « ». : - ; - -
 : Cu, Zn, Pb - 0,005, 0,005,
 0,02 . %; As - 0,005 . %; S, Ba - ,
 0,1 . %; Ge, Ga, In - 2 / ; Sb, Se, Te - -
 , 50, 5,0 1,0 / ; Au, Ag - 0,1 / ; Mo - -
 - , 30 / ; Cd, Hg - , 2,0 0,3 / .
 - ; .. -

[Snikazono, 1985]. - (pH) - (logf₂),

$$X_{FeS} = \frac{FeS}{FeS + (Zn,Fe)S}$$

$$N_{Ag} = \frac{Ag}{Au + Ag}$$

250°C,

$\Sigma S = 0,1$; $\Sigma Ba^{2+} = 10^{-3}$; $\Sigma C = 0,1$; $K^+ = 0,5$;
 $Ca^{2+} = 0,1$. %.

57 691 (. 3),

[Crerar, Barnes, 1976].

$\log f_{O_2} - pH$

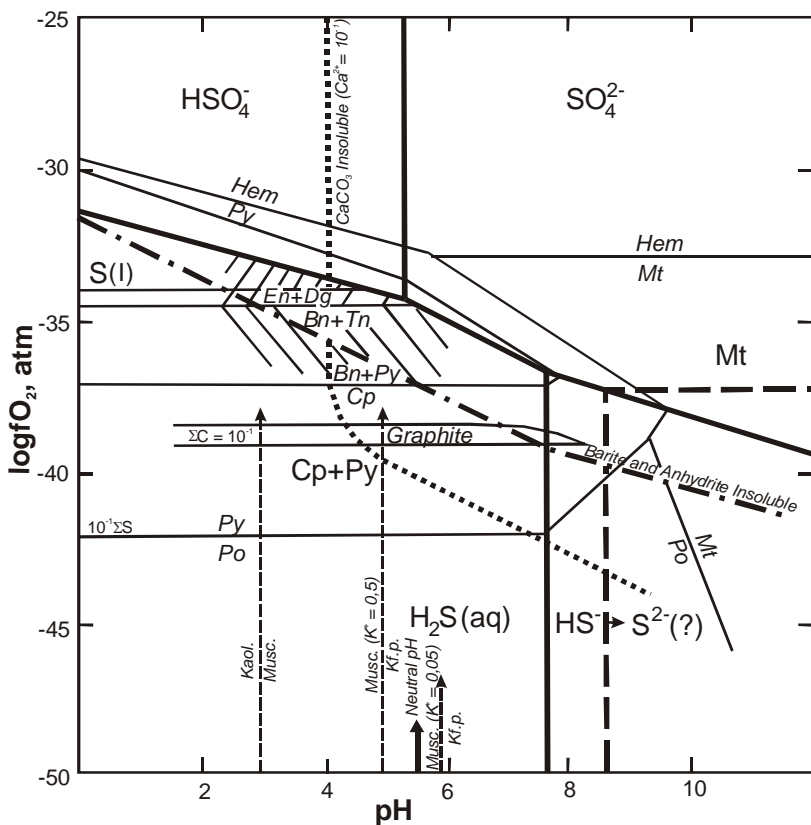
(14/82).

$S_{2(g)} + 2H_2O = 2H_2S_{(aq)} + O_{2(g)}$
 [, , 1981].

(3,0 . %).

(. 4).

).



. 1.

$\log f_{O_2} - pH$
 250°C ([Crerar, Barnes, 1976]

: Hem -

; Py - ; Po -

; Mt - ; Bn -

; Cp - ; Dg -

; En - ; Tn -

$\Sigma S = 0,1$; $\Sigma Ba^{2+} = 10^{-3}$; $\Sigma C = 0,1$; $K^+ = 0,5$; $Ca^{2+} = 0,1$. %, Σ -

10^n

		Au	Ag	Cu	Bi	Hg	Sb		N _{Ag}
	501/74	85,84	15,25	0,21	–	–	–	101,27	0,2450
	502/76	88,93	9,44	0,25	–	–	–	98,62	0,1624
	502/76	87,91	12,48	0,25	–	–	–	100,64	0,2059
	502/76	86,61	14,05	0,25	–	–	–	100,91	0,2285
	536/78	83,96	14,85	0,25	–	–	–	99,06	0,2442
	536/78	83,00	15,00	0,10	–	–	–	98,10	0,2439
	536/78	86,90	11,79	0,04	–	–	–	98,73	0,1986
	507/77	84,20	17,10	0,10	–	–	–	101,40	0,2139
	M-193	90,26	10,42	0,27	0,00	0,00	–	100,94	0,1741
	-13	69,22	30,81	1,44	0,02	–	–	101,49	0,4484
	181	90,43	9,40	0,17	–	–	–	100,00	0,1916
	M-193	88,84	10,90	0,26	–	–	–	100,00	0,1817
	K13/82	87,30	11,23	0,78	0,76	1,89	–	102,15	0,1902
. XIX	335	73,54	25,30	1,16	–	–	–	100,00	0,3746
. III	1184-	84,08	15,56	0,13	0,30	–	0,12	100,19	0,2526
	1184-	79,76	18,79	0,22	0,28	–	0,12	99,17	0,3008
	1184-	79,96	21,09	0,09	0,12	–	0,12	101,38	0,3336
	1184-	80,74	16,88	0,18	0,01	–	0,01	97,82	0,2763
	1184-	77,78	21,37	0,41	0,29	–	0,12	100,07	0,3338
	M175/89	83,06	16,25	0,95	–	0,00	–	100,26	0,2632
	M175/89	83,05	14,75	0,99	–	0,00	–	98,79	0,2449
	M100/89	77,40	20,65	1,24	–	0,00	–	99,29	0,3276
	M102/89	81,47	15,48	1,75	–	0,00	–	98,70	0,2576
	M102/89	82,84	15,48	1,75	–	0,00	–	100,07	0,2544

 X_{FeS}
 $N_{\text{Ag}} X_{\text{FeS}}$

$$T = \{28765 + 22600 (1 - N_{\text{Ag}})^2 - 6400 (1 - N_{\text{Ag}})^3\} / \{49,008 - 9,152 \log X_{\text{FeS}} + 18,2961 \log N_{\text{Ag}} + 5,5 (1 - N_{\text{Ag}})^2\},$$

$$\log fS_2 = 14,32 - 15,460 / T - 2 \log X_{\text{FeS}}$$

[Shikazono, 1985].

3

[, 1983].

[, , 1981].

5.

6.

(. %)

		S	Fe	Zn	Cu	Cd		X _{FeS}
	501/74	–	0,06	–	–	–	–	0,001051
	502/76	32,86	0,12	67,09	–	–	98,37	0,002090
	536/78	32,07	0,07	66,78	–	–	99,45	0,001226
	536/76	30,37	0,055	66,48	–	–	97,28	0,000968
	507/77	–	0,07	–	–	–	–	0,001226
	71	–	0,10	–	–	–	–	0,001751
	1184	33,19	0,23	67,09	0,00	0,26	100,87	0,003988
	181	–	–	–	–	–	–	0,000694
	193	–	–	–	–	–	–	0,000867
	100/89	33,01	0,05	67,54	0,30	0,00	100,60	0,000866

270-360°C,
10⁻⁸-10⁻¹³

(. 7).

0754,

(30-40 %)

536/78,
507/77 502/74,

(. 3).

		N _{Ag}	X _{FeS}	T, °C	logfS ₂
	–				
	501/74	0,2449	0,0010	280	-7,2
	502/76-1	0,1624	0,0020	364	-4,3
	502/76-2	0,2059	0,0020	330	-5,6
	502/76-3	0,2285	0,0020	316	-6,2
	536/78-1	0,2441	0,0009	278	-7,2
	536/78-2	0,2481	0,0009	276	-7,4
	536/78-3	0,1986	0,0009	306	-6,0
	507/77	0,2705	0,0012	272	-7,8
. III	1184	0,3338	0,0038	280	-8,4
	1184/	0,2526	0,0038	326	-6,4
	1184/	0,3008	0,0038	298	-7,6
	1184/	0,3251	0,0038	285	-8,2
	1184/	0,2763	0,0038	312	-7,0
	-193	0,1741	0,0010	340	-3,0
	100/89	0,3276	0,000866	251	-8,0

	I-754-3			754/3			754/1				I-754-3	
Cu	62,12	62,68	62,58	61,33	61,95	62,24	61,27	60,20	60,97	60,70	42,39	42,38
Ag	0,55	0,48	0,41	0,26	0,35	0,16	0,41	0,33	0,54	0,45	0,10	0,00
Fe	10,87	10,50	10,45	11,16	11,25	11,08	11,83	12,39	11,33	11,74	0,16	0,21
S	26,14	26,19	25,96	26,66	26,20	25,99	26,01	25,93	26,30	26,40	27,94	27,88
As	0,03	0,00	0,06	0,11	0,07	0,09	0,00	0,04	0,00	0,00	20,62	20,38
Sb	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,70	0,47
Te	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,12
Zn	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,14	0,14	0,02	0,10	0,14	7,74	7,70
Se	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,11	0,00	0,00	0,05	0,16
Hg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
Pd	0,00	0,00	0,07	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Pt	0,00	0,16	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,17	0,54	0,06	0,47	0,00	0,00
Sn	-	-	-	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04	0,04	0,00	-	-
Au	0,14	0,11	0,10	0,10	0,07	0,06	0,00	0,17	0,07	0,00	0,00	0,00
Bi	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00
	99,90	100,26	99,65	99,76	100,00	99,88	99,94	99,79	99,55	100,12	100,03	99,37

Camebax microbeam.

8.

8

	Au	Ag	Cu	Hg	Pt	Pd	As	Se	Te	
I-754-3	79,66	18,93	0,41	0,19	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	99,21
	78,77	21,01	0,44	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06	100,21
	87,43	12,06	0,49	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,15	100,22
	84,41	14,04	1,15	0,09	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	100,03
	83,05	15,36	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	100,45
I-0754/1	82,14	16,96	0,08	0,02	0,00	0,03	0,04	0,00	0,06	99,33
	82,24	17,45	0,24	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,98
	83,57	15,94	0,18	0,13	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	100,02
	82,40	17,45	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	100,20
	82,32	17,09	0,17	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	99,62
	81,81	17,64	0,15	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	99,70
	81,60	16,56	0,74	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	98,98
83,74	16,32	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	100,19	

Camebax microbeam.

-	.	, . %									
		Cu	Ag	Pb	S	C	Cu	Ag	Pb	S	C
	14/82	27,57	56,96	-	13,35	97,88	0,940	1,144	-	0,916	3,000
	222/88	32,14	54,83	-	15,16	102,13	1,020	1,026	-	0,954	3,000
		32,16	54,27	-	14,24	100,67	1,045	1,039	-	0,917	3,001
		30,94	55,19	-	13,82	99,85	1,022	1,074	-	0,905	3,001
		32,62	54,90	-	13,51	101,02	1,067	1,058	-	0,876	3,001
	1	29,94	53,02	-	15,67	98,87	0,974	1,016	-	1,010	3,000
	2	35,88	50,68	-	15,91	102,69	1,107	0,921	-	0,973	3,001
	3	30,47	51,75	-	15,78	98,06	0,995	0,984	-	1,021	3,000
	4	28,27	53,91	-	14,78	97,04	0,949	1,067	-	0,984	3,000
	5	33,05	52,65	-	15,76	101,75	1,040	0,976	-	0,983	2,999
	6	31,18	51,66	-	15,57	99,30	1,012	0,987	-	1,001	3,000
	7	33,85	51,46	-	15,62	101,16	1,068	0,956	-	0,976	3,000
	222/88	22,47	60,90	-	15,63	99,01	0,755	1,205	-	1,040	3,000
		22,68	62,54	-	16,59	101,81	0,736	1,197	-	1,068	3,001
		25,81	60,42	-	14,76	100,98	0,854	1,178	-	0,968	3,000
		24,98	64,39		11,24	100,61	0,880	1,336	-	0,785	3,001
	222/88	15,29	74,30	-	13,30	102,89	1,074	3,074	-	1,852	6,000
		16,23	72,19	-	14,41	102,82	1,115	2,922	-	1,963	6,000
		15,73	74,21	-	12,20	102,14	1,129	3,137	-	1,735	6,001
	501/74	57,40	0,95	16,38	20,54	97,71	20,535	0,110	1,797	14,565	38,000

- 2,44 . % 0,993 . .

-
 -
 -
 -
 - (. 10-13),
 - 2,22 %.
 [., 1997].
 : , (. 7).
 ,
 ,
 , . .
 - [., 1975].
 9.
 - [, , 1981].
 -
 - Cu_2S $\text{Cu}_9\text{S}_5(\text{Cu}_{1,8}\text{S})$
 Cu_7S_4 $\text{Cu}_{1,75}\text{S}$ (. 12).
 -

	Cu	Ag	Fe	S		Cu	Ag	Fe	S		
						. III					
501/74	63,90	0,59	10,40	25,11	100,11	1306	66,60	0,40	11,47	25,01	100,18
502/74	66,60	–	8,98	22,59	98,23	1182	62,52	0,59	12,72	26,46	102,30
502/74	61,52	1,06	12,54	26,99	102,11	1038	62,12	1,02	10,69	26,35	100,19
-75	62,16	–	13,56	26,87	101,59						
502/76	61,35	0,21	11,46	27,12	100,16	13-1	62,97	0,78	11,11	26,44	101,30
517/76	62,54	0,25	11,27	26,44	100,50	13-8	62,71	1,15	11,22	26,00	101,16
518/76	62,44	0,32	11,18	26,26	100,16	13	62,47	1,33	11,09	26,68	101,57
536/76	61,40	0,71	13,06	26,82	101,99	14	62,15	0,33	12,29	26,14	100,95
505/77	61,16	–	13,56	26,87	101,59						
						. XIX					
506/77	59,84	0,17	13,04	26,74	99,90	–	63,53	0,26	12,64	26,53	102,99
507/77	61,43	0,37	12,91	26,98	100,05						
						1	63,74	–	11,22	25,08	101,19
222/88	63,16	0,13	11,83	26,24	101,37	2	64,58	0,05	11,25	24,83	100,84
223/88	59,29	0,11	13,06	26,83	99,29	3	61,88	0,25	10,82	25,90	99,13
217/88	60,12	0,09	12,04	26,72	98,99	4	63,82	–	11,78	24,95	100,68
230/88	61,39	0,13	12,20	26,45	100,17						

Te (0,07); 2 – Se (0,15), Te (0,14); 3 – Se Te ; 4 – Se Se Te. 1 – Se (0,21), Te (0,13 . %).

11

-	JXA-5									
	501/74	502/76	514/76	515/76	516/76	517/76	518/76	505/77	506/77	507/77
As	13,08	19,73	10,26	11,38	17,45	20,79	20,00	20,16	20,43	21,07
S	24,78	28,91	26,85	26,88	26,44	29,34	29,22	28,35	28,52	28,56
Cu	45,48	43,20	40,82	40,91	41,90	43,32	43,01	43,26	42,81	43,22
Sb	9,03,	1,42	15,21	13,81	4,65	0,13	1,48	0,85	0,46	0,17
Fe	0,08	0,20	1,03	0,11	0,75	0,23	0,22	0,47	0,26	0,00
Ag	0,11	0,00	0,27	0,10	0,10	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00
Zn	8,05	8,47	7,42	8,37	8,42	8,50	8,53	8,44	8,72	8,59
Te	0,00	0,18	0,08	0,08	0,11	0,08	0,07	–	–	–
	100,61	102,11	101,94	101,60	101,78	102,36	102,65	101,53	101,20	101,74

11

-	Camebax SX-50 [., 1998]					Camebax microbeam [., 2000]				
						6025/179.5		6025/186.5		
As	15,45	18,25	18,28	17,19	17,56	18,66	18,73	18,89	15,28	17,05
S	26,72	27,50	27,10	27,51	28,79	27,48	27,91	27,45	26,70	27,27
Cu	44,10	44,12	43,65	43,95	43,64	43,07	43,23	43,43	41,55	42,07
Sb	5,08	2,00	1,91	3,12	2,65	2,26	2,06	1,85	1,11	0,65
Fe	0,11	0,61	0,57	0,07	0,03	0,27	0,21	0,12	0,20	1,19
Ag	0,00	0,00	0,00	–	–	0,07	. .	. .	0,04	0,04
Zn	7,52	7,77	8,31	7,80	8,23	7,74	7,78	7,70	7,08	7,01
Se	–	–	–	–	–	. .	. .	. .	. .	0,11
Te	1,31	0,29	0,18	0,40	0,34	, ,	0,05	, ,	4,27	2,48
Bi	–	–	–	–	–	0,11	0,43	0,09	3,23	1,36
Hg	–	–	–	–	–	0,08	. .	. .	0,09	. .
	100,29	100,54	100,00	100,00	101,24	99,74	100,43	99,53	100,38	99,17

		, %									Me/S	
		Cu	Ag	Fe	S		Cu	Ag	Fe	S		
, Cu ₉ S ₅												
	501/74	78,01	0,46	0,06	22,23	100,76	8,922	0,031	0,008	5,039	1,778	14,000
	222/88	79,70	0,64	0,19	21,40	101,84	9,093	0,043	0,025	4,839	1,893	14,000
III	1306	76,66	0,42	0,78	20,05	97,92	9,131	0,029	0,106	4,734	1,959	14,000
	1038	77,84	0,64	0,22	21,54	100,24	8,996	0,044	0,026	4,934	1,837	14,000
	696	79,31	0,83	0,38	20,77	100,46	9,146	0,056	0,050	4,748	1,949	14,000
	280	78,81	0,70	0,17	20,78	100,46	9,148	0,050	0,022	4,781	1,928	14,000
		13-1	78,76	0,65	0,31	21,65	101,37	9,008	0,044	0,040	4,908	1,852	14,000
	13	79,76	0,58	0,19	21,51	102,04	9,082	0,039	0,025	4,855	1,884	14,001
	13-8	76,84	0,67	0,20	22,19	99,90	8,878	0,014	0,026	5,082	1,755	14,000
		77,05	0,84	1,84	21,18	100,91	8,869	0,057	0,241	4,833	1,897	14,000
		78,75	0,65	0,77	20,74	100,90	9,103	0,044	0,101	4,752	1,946	14,000
		78,99	0,57	0,22	20,60	100,38	9,183	0,044	0,026	4,748	1,949	14,001
, Cu ₂ S												
		80,79	0,00	0,08	20,72	101,59	1,987		0,002	1,010	1,969	2,999
		79,70		0,00	21,57	101,27	1,953			1,047	1,865	3,000
Cu ₉ S ₅ ,												
	8	74,59	1,23		22,33	98,15	8,733	0,085		5,182	1,702	14,000
	9	75,21	0,98		22,61	98,80	8,731	0,067		5,202	1,691	14,000
	10	75,28	0,00		22,22	98,28	8,866			5,134	1,727	14,000
	11	76,06	0,06		21,75	97,09	8,899	0,004		5,096	1,747	13,999
	12	75,84	0,17		21,79	97,80	8,913	0,012		5,076	1,758	14,001
	13	74,52	0,03		23,36	97,91	8,634	0,002		5,364	1,610	14,000
	15	75,82	0,42		22,76	99,00	8,760	0,029		5,212	1,686	14,001
	16	75,37	1,44		22,22	99,03	8,774	0,099		5,127	1,731	14,000
	17	73,22	3,07		21,81	98,10	8,668	0,214		5,118	1,735	14,000
	18	73,05	3,25		21,55	97,85	8,691	0,228		5,082	1,755	14,001
Cu ₇ S ₄ ,												
	8	74,59	1,23		22,33	98,15	6,862	0,067		4,071	1,702	11,000
	9	75,21	0,98		22,61	98,80	6,860	0,053		4,087	1,691	11,000
	10	75,28	0,00		22,22	98,28	6,966			4,034	1,727	11,000
	11	76,06	0,06		21,75	97,09	6,992	0,003		4,004	1,747	10,999
	12	75,84	0,17		21,79	97,80	7,003	0,009		3,988	1,758	11,000
	13	74,52	0,03		23,36	97,91	6,784	0,002		4,215	1,610	11,001
	15	75,82	0,42		22,76	99,00	6,882	0,022		4,095	1,686	10,999
	16	75,37	1,44		22,22	99,03	6,894	0,079		4,028	1,731	11,001
	17	73,22	3,07		21,81	98,10	6,811	0,168		4,021	1,736	11,000
	18	73,05	3,25		21,55	97,85	6,828	0,179		3,993	1,755	11,000

Cu_{1,8}S.

Cu_{1,75}S (. 12).

Cu – S (250°C)

75°C [Potter, 1977].

[, , 1981].

				CuS						-
-										
	. 2074 . 95,8	. 2074 . 105,8	. 2074 . 32,4	21	22	23		19	20	
	Camebax SX-50		JXA-5		Camebax SX-50					
	, .%									
Cu	74,37	72,80	72,17	65,96	65,52	65,63	65,10	67,22	70,63	
Ag	0,10	0,00	-	-	2,22	1,71	1,64	1,38	0,91	
Fe	0,57	0,63	0,20	0,80	-	-	-	-	-	
S	25,29	26,91	26,82	34,55	31,47	31,24	31,76	28,89	26,27	
	-	-	99,19	101,31	99,23	98,58	98,50	97,49	97,71	
Cu	1,483	1,365	1,358	0,963	1,050	1,060	1,034	1,174	1,356	
Ag	0,001	-	-	-	0,021	0,016	0,015	0,014	0,010	
Fe	0,013	0,013	0,000	0,013	-	-	-	-	-	
S	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	

. JXA-5 – ; Camebax SX-50 –

(BRGM),

[, 1998].

, - , - , - [, 1997]. - , - , - CuS, Cu_{1,12}S, - , - , - [, 1997; 2000]. Cu_{1,4}S, - , - [, 2002].

13. - [Whitside, Goble, 1985]. - , - , - , - , -

, 2003].
 [, 1990; .., 1998].
 [, 1997].
 [.., 1972].
 . III 66
 [, 1994].
 [.., 1986; ,

		. III										
		501/74	502/74	*	1306	1036	1	2	3	4	5	
. %												
Cu	50,71	50,90	50,14	49,50	50,41	49,30	50,72	41,33	41,09	42,18	41,32	41,04
Fe	0,80	0,00	0,86	1,34	0,58	0,13	0,27	13,36	12,91	13,23	13,54	13,60
Ge	4,23	3,36	3,95	2,71	2,85	3,39	4,65	5,81	5,75	5,49	5,16	5,91
V	3,58	3,23	3,34	3,22	3,52	3,26	0,83	-	-	-	-	-
Sn	0,51	3,67	0,50	3,31	3,17	0,25	0,20	-	-	-	-	-
Zn	0,20	0,47	0,17	0,55	0,35	3,56	3,62	1,45	1,27	0,89	1,13	1,48
Sb	0,07	-	0,07	-	-	0,32	1,23	-	-	-	-	-
Ag	0,17	-	0,16	-	-	0,24	0,10	-	-	-	-	-
As	9,54	6,12	8,92	6,78	8,42	10,36	0,24	3,08	3,04	3,23	3,42	2,74
S	30,38	32,03	28,79	28,92	29,69	30,19	31,71	32,53	32,54	31,17	32,44	32,54
	100,19	101,44	96,91	99,33	98,69	101,01	101,57	97,56	96,60	96,19	97,03	97,31
Cu	26,005	26,048	26,701	26,606	26,409	25,221	27,102	20,964	21,003	21,847	21,052	20,844
Fe	0,467	-	0,521	0,820	0,346	0,076	0,164	7,711	7,508	7,796	7,849	7,860
Ge	1,899	1,505	1,841	1,275	1,307	1,518	2,175	2,580	2,573	2,489	2,301	2,628
V	2,290	2,062	2,219	2,159	2,300	2,080	0,553	-	-	-	-	-
Sn	0,140	1,006	0,143	0,953	0,889	0,068	0,057	-	-	-	-	-
Zn	0,100	0,234	0,088	0,287	0,178	1,770	1,880	0,715	0,631	0,448	0,560	0,731
Sb	0,019	-	0,019	-	-	0,085	0,343	-	-	-	-	-
Ag	0,051	-	0,050	-	-	0,072	0,031	-	-	-	-	-
As	4,149	2,656	4,029	3,091	3,741	4,495	0,109	1,325	1,318	1,419	1,478	1,180
S	30,880	32,489	30,389	30,810	30,829	30,613	33,585	32,705	32,967	32,000	32,760	32,758
	66,000	66,000	66,000	66,001	65,999	65,998	65,999	66,000	66,000	65,999	66,000	66,001
Me/S	1,137	1,031	1,172	1,142	1,141	1,156	0,965	1,018	1,002	1,031	1,015	1,015

-												
								-	-			-
	501/74	*	*	501/74	*	14/82	*	**		*	**	**
	. %											
Cu	44,79	43,68	44,81	39,70	39,90	44,92	45,40	48,35	50,07	39,90	40,39	45,09
Fe	12,54	12,67	12,73	8,94	9,10	13,08	13,30	2,36	0,64	9,10	9,11	13,09
Ge	2,38	0,43	0,07	0,43	-	0,21	-	0,57	0,16	0,02	0,37	0,24
V	-	-	-	-	-	0,08	-	2,62	0,10	-	0,13	0,16
Sn	11,16	14,44	13,86	18,91	16,10	13,96	12,20	4,99	0,30	16,10	17,41	13,97
Zn	-	0,33	0,47	4,78	5,00	0,13	-	0,22	0,16	5,00	5,09	0,11
Sb	-	-	-	-	-	0,10	-	0,17	0,18	-	0,13	0,08
Ag	-	-	-	-	-	0,27	-	0,21	0,06	-	0,13	0,08
As	-	-	-	-	-	0,04	-	8,80	18,17	-	0,41	0,21
S	29,67	28,44	30,07	29,79	29,70	29,63	26,80	29,53	32,09	29,70	29,22	28,97
	100,54	100,00	102,00	102,54	99,82	102,42	97,70	97,82	101,37	99,82	102,40	102,01
Cu	6,047	6,042	6,006	8,000	8,136	6,029	6,186	25,756	24,551	8,135	8,149	6,100
Fe	1,926	1,994	1,941	2,050	2,111	1,998	2,062	1,431	0,357	2,111	2,091	2,015
Ge	0,281	0,052	0,008	0,076	-	0,025	-	0,267	0,069	0,004	0,066	0,028
V	-	-	-	-	-	0,014	-	1,741	0,061	-	0,023	0,027
Sn	0,807	1,069	0,995	2,040	1,758	1,003	1,515	1,423	0,079	1,757	1,880	1,012
Zn	-	0,044	0,061	0,936	0,991	0,017	-	0,114	0,076	0,991	1,007	0,014
Sb	-	-	-	-	-	0,007	-	0,047	0,046	-	0,014	0,006
Ag	-	-	-	-	-	0,021	-	0,066	0,017	-	0,015	0,006
As	-	-	-	-	-	0,005	-	3,976	7,557	-	0,070	0,024
S	7,939	7,798	7,989	11,898	12,004	7,882	7,238	31,180	31,187	12,002	11,685	7,768
	17,000	16,999	17,000	25,000	25,000	17,001	17,001	66,001	64,000	25,000	25,000	17,000
Me/S	-	-	-	-	-	-	-	1,117	1,052	-	-	-

$Cu_{26}V_2As_4Sn_2S_{32}$ - [Bernstein et al., 1989].
 $Cu_{26}V_2As_4Sn_2S_{32}$ - [Ymanaka, Kato, 1976].
 $Cu_{26}V_2As_4Sn_2S_{32}$ - [Orlandi et al., 1981].
 $Cu_{26}V_2As_4Sn_2S_{32}$ - [Tettenhorst, Corbato, 1984].
 $Cu_{20}(Zn_{2-x}Cu_x)(Ge_{4-x}As_x)Fe_8S_{32}$ - [Szymański, 1976].
 $Cu_8^+Fe^{3+}_2(Fe^{2+},Zn^{2+})Sn^{4+}_2S_{12-25}$ - [1990].
 $Cu_6Fe_2SnS_8 - 17$ - [1975], ** - [1998].

M/S: 1,0625 [, 2003].
 M/S: 1,125, . . . 36/32 M/S, 1,0625, . . . 34/32 17/16 [- 18/16. , 2003; , 1994].
 . III -
 (1036) -
 (501/74). -

18/16, M/S $Cu_9Fe_9S_{16}$, [Wood et al., 1992].

25 [Wood et al., 1981].

logfO₂ – pH

250°C

[Fouquet et al., 1993].

1981].

. III

(. 14)

[Wood et al., 1990].

logfO₂.
250°C

$10^{-34.6}$

$10^{-36.4}$. (. 1).

(. 3, 8).

[Wood et al., 1992].

[Wood et al., 2002].

(. 2),

... , ... , ... , ...

()

(. 3).

[, 2000].

[, 1978].

$Cu_{19,6}S$, $Cu_{1,8}S$ [Cu_2S , 2000].

$Pb_2(Cu,Fe)_{21}S_{15}$.

(501/74).
12.

(;) ;
(;),
(,)

270-360°C,
 10^{-8} - 10^{-13}

[.., 1994].

$ReMoCu_2PbS_6$, Cu_2S , $Cu_{1,8}S$, $Cu_{1,75}S$,
 $Cu_{1,4}S$, $Cu_{1,12}S$, CuS .

1983. 256 .

6. .795-797.

.2000. .42. 5. .409-439.

// -1989. : 1990. .80-82.

1992. 312 .

(). : , 2003. 122 .

// .2002. .131. 5. .40-54.

(01-05-64510 03-05-64206). // -2003. : ,2004. .309-316

//

.785-789. // .2002. .384. 6. ,1986. .108-113.

.. ,1981. 576 . // .132. 2003. 5. .59-65.

// p .2000. .42. 5. .409-439.

// .1997. .356. // .1978. 5. .657-661. .20. 3. .24-35.

// .1972. .14. 5. .106-111.

(- ,14 45 . .)// - .2000. 4. .329-349.

()// .1994. .36. 6. .536-544.

// Bernstein L.R. Renierite, $Cu_{10}ZnGe_2Fe_4S_{16}$ - $Cu_{11}GeAsFe_4S_{16}$: a coupled solid solution series // Amer. Mineral. 1986. V. 71. 1-2. P. 210-221.

: ,1975. 296 .

- Crerar D.A., Barnes H.L.* Ore solution chemistry. Part V. Solubility of chalcopyrite and chalcocite assemblages in hydrothermal solution of 200 to 350 C // *Econ. Geol.* 1976. V. 71. 4. P. 772-794.
- Fouquet Y., von Stackelberg U., Charlou J.L. et al.* Metallogenesis in back-arc environments: the Lau basin example // *Econ. Geol.* 1993. V. 88. 8. P. 2154-2181.
- Orlandi P., Merlino S., Duchi G., Vezzalini G.* Colusite: a new occurrence and crystal chemistry // *Can. Mineral.* 1981. V. 19. 3. P. 423-427.
- Potter R.W.* An electrochemical investigation of the system copper-sulfur. Part II. // *Econ. Geol.* 1977. V. 72. 8. P. 1524-1542.
- Shikazono N.* A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid implications from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan // *Econ. Geol.* 1985. V. 80. 5. P. 1415-1424.
- Szymański J.T.* The crystal structure of mawsonite, $\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$ // *Can. Mineral.* 1976. V. 14. 4. P. 529-535.
- Tettenhorst R.T., Corbat C.E.* Crystal structure of germanite, $\text{Cu}_{26}\text{Ge}_4\text{Fe}_4\text{S}_{32}$, determined by powder X-ray diffraction // *Amer. Mineral.* 1984. V. 69. 9-10. P. 943-947.
- Whitside L.S., Goble R.J.* Structural and compositional changes in copper sulfides during leaching and dissolution // *Can. Mineral.* 1985. V. 24. 2. P. 247-258.
- Wood S.A., Mountain B.W., Pan P.* The aqueous geochemistry of platinum, palladium and gold: Recent experimental constraints and re-evaluation of theoretical predictions // *Can. Mineral.* 1992. V. 30. 4. P. 955-982.
- Yamanaka T., Kato A.* Mossbauer effect study of ^{57}Fe and ^{119}Sn in stannite, stannoidite, and mawsonite // *Amer. Mineral.* 1976. V. 61. 3-4. P. 260-265.