

Гусев Анатолий Иванович,
Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Бийский филиал им. В.М. Шукшина,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
педагогический университет»

ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В ВИСМУТИНЕ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ГРЕЙЗЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛТАЯ

Аннотация. Изучено распределение элементов-примесей в висмутине редкометалльных (Mo-W) месторождениях Алтая. В сульфиде висмута проявлен тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов W- типа, что связано с активностью аква-комплексов во флюидах. Увеличение концентраций серебра в висмутине связано с повышением щёлочности среды гидротермальных растворов.

Ключевые слова: Алтай, редкометалльные грейзеновые месторождения, висмутин, тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов.

Висмутовые сульфосоли, к которым относится висмутин с формулой Bi_2S_3 , могут нести разнообразную информацию о физико-химических особенностях формирования условий кристаллизации минеральных парагенезисов и помогать лучшему пониманию закономерностей распределения рассеянных элементов в пределах рудных месторождений

[Voudouris et al., 2013]. Висмутовые минералы могут использоваться как индикаторы золотой минерализации. Инкорпорация золота в магматические расплавы, содержащие висмут и последующие гидротермальные процессы, обусловленные функционированием магматогенных флюидов таких расплавов в конечном результате могут вызывать кристаллизацию сульфосолей, или теллуридов и являются хорошо известным механизмом, обеспечивающим концентрирование золота и это объясняет тесную парагенетическую ассоциацию в некоторых типах месторождений между висмутом и золотом [Коробейников, Гусев, Русанов, 2010; Ciobanu et al., 2006; Cook and Ciobanu, 2004; Damian et al., 2008; Putz et al., 2003; Voudouris et al., 2013].

Сульфид висмута изучен в грейзеновых редкометалльных (Mo-W) месторождениях Алтая: Очаровательном 1, Очаровательном 2, Осокинском, Мульчихинском, Колыванском, Бугузунском (табл. 1).

Таблица 1

Состав элементов-примесей в висмутине редкометалльных
грейзеновых месторождений Алтая

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
Be	5,2	4,9	3,0	3,1	2,9	6,2	3,9
V	9,2	8,5	11,1	11,8	10,4	9,6	10,9
Cr	7,4	8,1	9,3	10,4	9,3	8,0	8,3
Mn	0,67	0,65	0,4	0,3	0,69	0,73	0,71
Co	10,2	9,9	9,3	10,6	8,4	7,3	9,4
Ni	4,8	5,0	4,0	4,5	4,0	3,2	4,5
Ti	134	165	168	154	124	97	148
Cu	18,5	17,2	25,2	26,4	8,6	9,4	18,6



РАЗДЕЛ: Математические и естественные науки
Направление: Геолого-минералогические науки

Zn	8,5	5,8	14,2	10,8	9,3	8,4	29,3
Pb	8,3	8,2	10,2	10,9	28,8	31,2	48,7
Ga	6,2	5,7	5,1	3,3	4,8	5,9	4,9
Ge	0,76	0,87	0,51	0,38	0,79	0,82	1,79
Rb	19,3	18,2	21,4	19,9	18,5	18,0	21,5
Sr	1,8	2,0	2,2	1,9	2,2	2,6	2,8
Y	1,3	1,7	0,7	0,5	0,64	1,23	0,84
Zr	18,2	19,1	24,2	21,8	18,5	14,7	19,5
Nb	1,8	2,0	1,07	0,92	0,84	0,93	0,94
Mo	1,8	1,96	1,69	1,76	2,9	15,9	7,9
Cs	3,1	3,3	2,8	2,61	3,5	5,7	6,5
Ba	4,8	5,0	5,3	5,41	4,8	4,6	4,87
La	15,6	13,7	14,2	10,1	9,6	12,8	9,9
Ce	1,56	1,21	1,23	1,03	0,98	1,18	0,99
Pr	0,14	0,09	0,11	0,089	0,09	0,1	0,1
Nd	0,34	0,31	0,27	0,13	0,12	0,37	0,125
Sm	0,16	0,17	0,15	0,016	0,02	0,16	0,025
Eu	0,008	0,009	0,006	0,005	0,004	0,007	0,0041
Gd	0,11	0,13	0,056	0,049	0,055	0,06	0,075
Tb	0,054	0,058	0,0048	0,005	0,0049	0,0051	0,0059
Dy	0,11	0,12	0,052	0,039	0,04	0,062	0,043
Ho	0,03	0,034	0,007	0,005	0,0056	0,045	0,0076
Er	0,05	0,06	0,029	0,018	0,02	0,066	0,025
Tm	0,07	0,076	0,0056	0,005	0,006	0,08	0,0065
Yb	0,67	0,61	0,13	0,063	0,07	1,1	0,17
Lu	0,05	0,045	0,04	0,005	0,008	0,05	0,018
Hf	0,96	0,86	0,76	0,56	0,55	0,87	1,55
Ta	0,36	0,26	0,23	0,2	0,31	0,31	0,61
W	8,4	9,2	8,6	6,5	7,3	10,5	17,3
Li	16,3	15,5	14,3	12,8	12,9	15,6	15,9
Sc	26,1	31,8	28,3	24,8	27,4	27,4	27,3
Sn	91,7	83,5	89,3	10,6	9,3	98,3	19,3
Ag	1325,8	1256,7	1165,1	1156,1	5805,8	4585,5	6956
Cd	56,1	48,9	34,6	37,9	55,9	65,8	75,1
B	307	301	272	267	321	306	327
Th	0,67	0,7	0,19	0,17	0,19	0,23	0,39
U	0,84	0,94	0,17	0,16	0,15	0,19	0,25
ΣPЗЭ	20,25	18,32	16,99	12,06	11,66	17,31	12,33



$(La/Yb)_N$	15,4	14,8	71,6	106,5	89,6	7,68	58,2
Eu/Eu^*	0,17	0,17	0,16	0,53	0,35	0,18	0,114
$TE_{1,3}$	0,88	0,8	0,56	0,69	0,62	0,3	0,57

Примечание. Месторождения: 1– Очаровиельное 1; 2 – Очаровательное 2; 3-4 – Осокинское, 5 – Мульчихинское; 6 – Колыванское, 7 – Бугузунское.

Обращает внимание тот факт, что висмутин некоторых месторождений обогащён серебром, в особенности на месторождениях Мульчихинском, Колыванском, Бугузунском. Вероятно, это связано с тем, что висмутин на этих месторождениях кристаллизовался на самых поздних стадиях гидротермального процесса, что устанавливается при изучении взаимоотношений минералов под микроскопом. Установлено, что в наиболее эволюционированных гидротермах на поздних стадиях происходит обогащение растворов Ag, Pb, S [Ye, Liu, Yang et al., 2014]. И действительно, в нашем случае висмутин с высоким содержанием серебра также обогащён свинцом (табл. 16). Сумма редких земель в висмутине сравнительно не высокая и варьирует от 11,66 до 20,25 г/т. Однако минерал обладает повышенной степенью дифференциации тяжёлых и лёгких РЗЭ (варьирование отношения $(La/Yb)_N$ составляет от 7,68 до 106,5. Отношение Eu/Eu^* в висмутине повсеместно ниже хондритового и колеблется от 0,114 до 0,53. В висмутовом блеске проявлен тетрадный эффект фракционирования W- типа меняющийся от 0,3 до 0,88.

На диаграмме Ag – $TE_{1,3}$ тренд увеличения ТЭФ РЗЭ W- типа уменьшается с увеличением содержания серебра в висмутине (рис. 1).

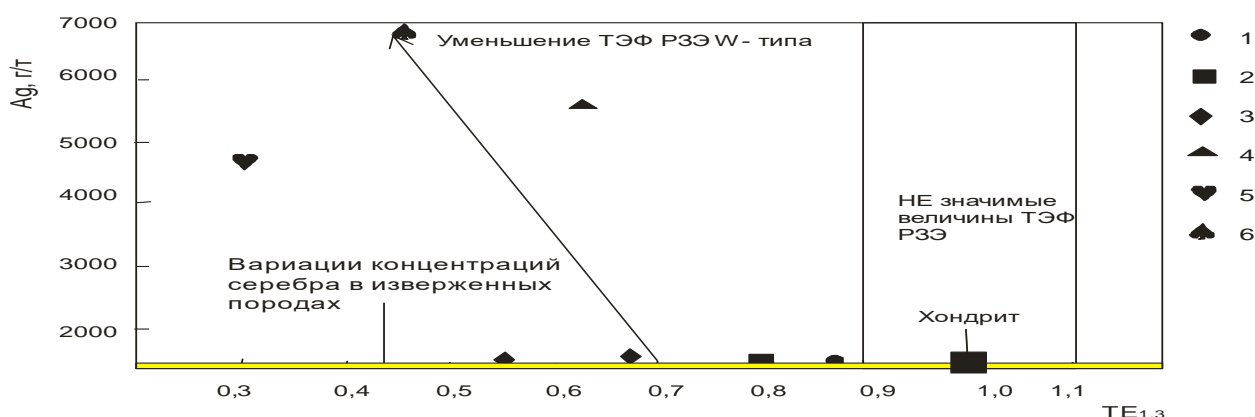


Рисунок 1. Диаграмма Ag – $TE_{1,3}$ для висмутина месторождений Алтая

Содержания серебра в хондритах по [Wasson, Kallemeyn, 1988]. Концентрации серебра в магматических породах по [Виноградов, 1962]. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования REE по [Irber, 1999] как среднее между первой и третьей тетрадами.

Висмутин месторождений: 1- Очаровательное 1, 2 – Очаровательное 2, 3 – Осокинское, 4 – Мульчихинское, 5 – Колыванское, 6 – Бугузунское.

На диаграмме Eu/Eu^* – $TE_{1,3}$ для висмутинов месторождений Алтая уменьшение тренда величин $TE_{1,3}$ происходит со слабым падением значений Eu/Eu^* (рис. 2).



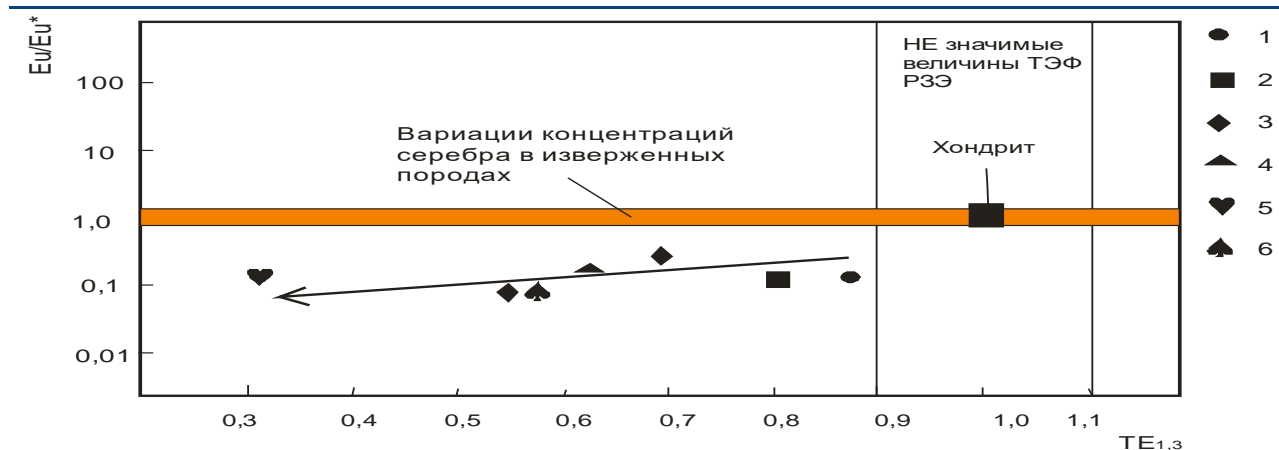


Рисунок 2. Диаграмма $Eu/Eu^* - TE_{1,3}$ для висмутинов месторождений Алтая

Концентрации серебра в магматических породах по [Виноградов, 1962]. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования REE по [Irber, 1999] как среднее между первой и третьей тетрадами. Остальные условные на рис.1.

Снижение величины Eu/Eu^* при проявлении ТЭФ REE W- типа согласно рядам кислотности- щёлочности элементов [Маракушев, 1976] спектра элементов Sm, Gd, Eu (участвуют в расчёте величин Eu/Eu^*) в водно-сероводородных растворах при стандартных условиях. отвечает повышению щёлочности среды. Следовательно, увеличение концентраций серебра в висмутине также связано с повышением щёлочности среды гидротермальных растворов (см. рис. 1 и 2).

Список литературы:

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия, 1962. № 7. С. 555-572.
2. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. Петрология и золотоносность адакитовых гранитоидов Калбы // Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 31-38.
3. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности / Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука, 1976. – С. 36–51.
4. Ciobanu C.L., Cook N.J., Damian F., Damian G., 2006. Gold scavenged by bismuth melts: an example from Alpine shear-remobilisates in the Highis Massif, Romania. Mineral. // Petrol., 2006. – Vol. 87. – P. 351–384.
5. Cook N.J., Ciobanu C.L. Bismuth tellurides and sulphosalts from the Larga hydrothermal system, Metaliferi Mts., Romania: paragenesis and genetic significance. // Mineral. Mag., 2004. – Vol. 68. – P. 301–321.
6. Damian G., Ciobanu C.L., Cook N.J., Damian F. Bismuth sulphosalts from the galena-matildite series in the Cremenea vein, Şuior, Baia Mare district, Romania. // Neues Jb. Mineral. Abh., 2008. – Vol. 185.- P. 199–213.
7. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu^* , Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim. Cosmochim. Acta, 1999. – V. 63 (3/4). – P. 49–71.
8. Putz H., Paar W.H., Topa D., Horner J., Luders V. Structurally controlled gold and sulfosalt mineralization: the Altenberg example, Salzburg Province, Austria. Mineral. Petrol., 2003. – Vol. 78. – P. 111–138



9. Voudouris P.C., Spry P.G., Mavrogonatos C., Sakellaris G.A., Bristol S.K., Melfos V., Fornadel A.P. Bismuthinite derivatives, lillianite homologues, and bismuth sulfotellurides as indicators of gold mineralization in the Stanos shear-zone related deposit, Chalkidiki, Northern Greece. *Can. Mineral.*, 2013. – Vol. 51. – P. 119–142.

10. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Composition of chondrites // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1988. – V. 201. – P. 535-544.

