

УДК 550.40(571.55)

**ОСБЕННОСТИ РАПСРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ПОРОДАХ И РУДАХ БУГДАЙНСКОГО МОЛИБДЕНОВОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

**Абрамов Б.Н.**

*ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН»,  
Чита, e-mail: b\_abramov@mail.ru*

Изучено распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в породах и рудах Бугдаинского молибденового месторождения. Интерпретация распределения РЗЭ показывает, что молибденовые руды были образованы из разноглубинных (Eu/Sm – 0,17-0,47) в разной степени дифференцированных (Eu/Eu\*– 0,67-1,49) магматических очагов. Руды кварц-пирит-молибденитового состава отличаются от руд кварц-молибденитового состава наличием тетрад-эффектов в спектрах лантаноидов, указывающим на высокие концентрации летучих компонентов в рудоносной магме.

**Ключевые слова:** Бугдаинское молибденовое месторождение, распределение редкоземельных элементов, рудоносные магматические очаги.

**THE PARTICULARITIES OF RARE EARTH ELEMENTS DISTRIBUTION  
IN THE BREEDS AND ORES OF BUGDAINSKY MOLYBDENUM DEPOSIT  
(EASTERN TRANSBAIKALIA)**

**Abramov B.N.**

*FNBS «Institute of Ecology and Natural Resources Cryology SB RAS»,  
Chita, e-mail: b\_abramov@mail.ru*

The distribution of rare earth elements (RRE) is investigated in the breeds and ores of Bugdainsky molybdenum deposit. The interpretation of distribution RRE shows that molybdenum ores were formed from various depths (Eu/Eu\*– 0,67-1,49) in varying degrees differentiated (Eu/Sm – 0,17-0,47) magma chambers. The ores of quartz-pyrite-molybdenum composition are differ against the ores of quartz-molybdenum composition by the presence of tetrad effect in spectra of the lanthanides, which indicates to high concentrations of volatile components in ore-bearing magma.

**Keywords:** Bugdainsky molybdenum deposit, the distribution of rare earth elements, in ore-bearing magma chambers.

**Введение**

Изучение соотношений РЗЭ дает возможность судить о степени дифференциации магматических очагов, глубин их функционирования, условия и источники их образования. Для этого нами были проанализированы на редкоземельные элементы вмещающие граниты шахтаминского комплекса (J<sub>2-3</sub>), кварц-молибденитовые и кварцево-пирит-молибденитовые руды. Анализы проведены ISP MS методом в аналитическом центре института геохимии СО РАН (г. Иркутск). Для определения степени дифференциации магматических очагов и глубин их формирования используются Eu/Eu\* и Eu/Sm отношения. При расчете степени дифференциации магматических очагов интрузивных образований применяется значение европиевой аномалии

$$Eu/Eu^* = Eu_N / [Sm_N \times Gd_N]^{1/2} [2].$$

Для оценки глубин формирования рудоносных магматических очагов использованы Eu/Sm отношения в трактовке С.Ф. Винокурова [1]. Так, Eu/Sm = 0,2 отвечает гра-

нице между верхней и нижней частями континентальной коры [1]. Важную информацию об особенностях составов магматических очагов дает наличие тетрад-эффектов (ТЭФ) в спектрах лантаноидов. Изучение ТЭФ является важным в познании процессов рудообразования. Рассмотрим эти данные применительно к Бугдаинскому молибденовому месторождению.

**Краткая геологическая характеристика  
Бугдаинского молибденового  
месторождения**

Бугдаинское молибденовое месторождение расположено в Александрово-Заводском районе Забайкальского края в 19 км юго-западнее п. Вершино-Шахтаминский. Оно приурочено к центральной части вулкано-купольной структуры. Генетически месторождение связано со штоком гранитпорифров шахтаминского комплекса (J<sub>2-3</sub>). Структурный контроль оруденения определяется системой кольцевых разрывных нарушений с сетью разнонаправленных разрывных нарушений с кварцево-молибдено-

вым выполнением (штокверковый тип оруденения) (рис. 1).

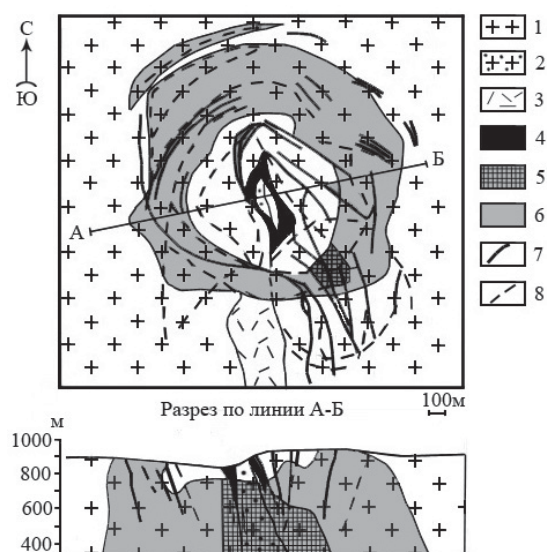


Рис. 1. Схема геологического строения Бугдаинского молибденового месторождения: 1 – средне-крупнозернистые граниты, плагиограниты; 2 – гранит-порфиры; 3 – риолитовые порфиры, риолиты; 4 – кварцевое ядро; 5 – комплексные молибден-золото-полиметаллические руды; 6 – контур штокверковых молибденовых руд; 7 – комплексные молибден-кварцевые полиметаллические руды; 8 – тектонические нарушения (зоны дробления, брекчирования).

Месторождение представлено одним рудным телом – штокверком почти изометрической формы. Площадь распространения промышленных молибденовых руд составляет около 1,2 км<sup>2</sup> (1,2 × 1,0 км). Протяженность рудного тела на северо-запад составляет 1200 м, в широтном направлении – 1000 м. На глубину оруденение прослежено скважинами до 645 м. В юго-восточной части месторождения штокверк пересекается линейной зоной субмеридиональных северо-западных нарушений с полиметаллической минерализацией (жильный тип оруденения). На месторождении выделено несколько стадий минералообразования: I – дорудная, II – кварц-молибденитовая, III – золото-полиметаллическая, IV – пострудная (Коваленкер, Кисилева, Крылова, Андреева, 2011).

К дорудной стадии отнесены высокотемпературные метасоматически преобразованные породы, сформированные в результате внедрения штока гранит-порфиров. Они представлены зонами калишпатизации и окварцевания. Кварц-молибденитовая стадия образована кварц-молибденитовыми жилами и прожилками. В ассоциации с молибде-

нитом развиты шеелит, пирит-I. Золото-полиметаллическая стадия представлена кварцево-сульфидными жилами и прожилками. Наиболее распространенными рудными минералами здесь являются пирит-II, сфалерит, галенит, блеклые руды. Менее развиты висмутин, сульфотеллуриды, сульфоантимониты, золото самородное. Завершает рудный процесс пострудная стадия, представленная аргиллизитами. Минерализация кварц-молибденитовой стадии формировалась при температуре 300-560°C, золото-полиметаллической стадии – 280°C [3, 4].

Зоны окисления наблюдаются вдоль тектонических нарушений и прослеживаются на глубину до 80 метров. Гипергенные преобразования проявлены в развитии глинистых минералов, гидроокислов железа и марганца.

#### Интерпретация результатов распределения редкоземельных элементов

В последние годы выявлены в процессах, приводящие к образованию тетрад-эффектов (ТЭФ) в спектрах лантаноидов. Образование спектров ТЭФ редкоземельных элементов обусловлено их способностью образовывать комплексные соединения в водной среде, что приводит к нарушению формы нормированных соединений с разделением на четыре группы (тетрады): La-Nd, Sm-Gd, Gd-Ho и Er-Lu [5, 6, 7]. Образование ТЭФ связывается с наличием в магме повышенных концентраций летучих компонентов, с фторидно-силикатной жидкостной несмесимостью в магме. Величина спектров ТЭФ рассчитывается по отклонению концентраций середины тетрады относительно краевых значений.

$$TE_1 = \sqrt{X_2/X_1^{2/3} X_4^{1/3} \times X_3/X_1^{1/3} X_4^{2/3}} [13, 14].$$

Спектры ТЭФ рассчитываются для первой, третьей и четвертой тетрады. Суммарное их значение рассчитывается по формуле

$$TE_{1-4} = \sqrt[3]{TE_1 TE_3 TE_4} [5, 6].$$

Спектры ТЭФ принимаются значимыми если  $TE_1 > 1,1$  (M тип),  $TE_1 < 0,9$  (W тип) [7].

Для вмещающих гранитов шахтаминского комплекса, кварц-молибденитовых и кварц-пирит-молибденитовых руд были рассчитаны  $Eu/Eu^*$ ,  $Eu/Sm$  отношения и ТЭЭ в спектрах лантаноидов (табл. 1, рис. 2). Анализ  $Eu/Eu^*$  и  $Eu/Sm$  отношений в молибденитовых рудах показывает, что они образованы из разной степени дифференцированных, разноглубинных магматических очагов.

Таблица 1

Содержание элементов в породах и рудах Бугдаинского месторождения, г/т

Элементы	Номера проб									
	446	447-4	447-5	447-7	448	450-1	450-4	452	452-4	453
Be	2,27	1,14	5,1	0,39	0,43	1,19	0,17	0,39	2,81	2,27
Ti	2646	1342	3036	228	265	1161	165	317	3880	3470
V	38	17	45	3,74	2,85	17	2,08	4,59	64	53
Cr	8,9	21	7,6	4,76	35	23	68	32	6,4	13,4
Mn	282	228	428	182	39	66	40	53	159	5584
Co	12,8	59	9,0	25	39	13,6	63	50	9,6	14,3
Ni	9,7	12,8	7,8	11,1	7,7	5,0	11,3	13,8	6,4	9,7
Cu	27	18	40	37	12,1	13,8	19	23	25	273
Zn	85	33	174	189	52	26	30	56	85	1617
Ga	19	6,7	28	1,08	2,31	9,9	0,82	2,05	28	21
Ge	2,13	3,68	3,63	2,03	2,89	2,83	3,0	3,27	3,58	2,62
Rb	195	96	662	15	42	188	10,9	32	635	278
Sr	419	24	49	8,3	6,6	20	5,3	7,3	32	464
Y	20	2,62	5,7	8,2	0,92	3,56	0,35	0,61	10,9	26
Zr	281	137	308	24	23	128	10,5	26	345	348
Nb	14,6	9,6	12,9	1,84	2,65	6,3	2,14	3,03	17	14,4
Mo	7,7	95576	3455	9439	23965	15442	35694	30955	2290	351
Sn	3,82	18	67	14,5	4,13	32	2,96	10,8	50	8,4
Sb	0,71	20	42	47	10,3	4,84	2,90	4,35	8,6	1,28
Ba	1347	90	506	40	26	185	9,2	13,2	497	3083
La	44	10,7	43	7,9	4,64	12,8	2,98	3,37	36	44
Ce	79	19	70	13,0	8,4	20	4,76	5,9	68	90
Pr	8,2	2,07	6,6	1,43	0,89	1,94	0,50	0,63	6,8	10,3
Nd	31	8,6	24	5,7	3,65	7,4	1,92	2,62	26	44
Sm	5,2	1,48	3,80	1,33	0,54	1,19	0,33	0,54	4,15	8,3
Eu	1,19	0,49	0,92	0,63	0,11	0,31	0,08	0,091	0,88	2,14
Gd	4,88	1,05	2,96	1,41	0,40	1,05	0,21	0,33	3,35	7,70
Tb	0,65	0,12	0,32	0,23	0,04	0,13	0,019	0,03	0,42	1,00
Dy	4,75	0,63	1,90	1,67	0,22	0,83	0,10	0,17	2,70	5,9
Ho	0,75	0,12	0,30	0,31	0,04	0,16	0,016	0,028	1,67	1,03
Er	2,50	0,35	0,91	1,05	0,12	0,50	0,049	0,093	1,60	3,08
Tm	0,33	0,05	0,13	0,13	0,014	0,08	0,004	0,009	0,24	0,41
Yb	2,52	0,44	1,01	1,07	0,11	0,57	0,048	0,10	1,89	3,00
Lu	0,38	0,07	0,17	0,13	0,013	0,09	0,005	0,013	0,27	0,44
Hf	6,9	2,84	7,6	0,62	0,55	2,87	0,20	0,50	7,9	8,2
Ta	2,07	5,3	1,10	1,65	4,32	1,70	3,16	4,05	1,99	1,48
W	219	1035	205	411	847	298	894	1060	279	231
Pb	19	497	337	458	71	111	72	114	25	24
Th	16	3,34	8,4	2,44	1,44	2,45	0,32	0,45	7,0	12,0
U	4,62	1,26	2,04	1,02	0,34	1,02	0,24	0,39	1,92	5,1
ΣTR	185,3	47,91	156,0	35,99	20,11	19,19	11,37	14,44	153,9	221,3
(La/Yb) <sub>n</sub>	12,12	55,47	67,76	5,13	29,14	15,59	75,57	23,32	13,23	10,18
Eu/Eu*	0,72	1,23	0,84	1,49	0,73	0,85	0,97	0,67	0,72	0,82
Eu/Sm	0,23	0,34	0,24	0,47	0,20	0,26	0,25	0,17	0,21	0,26
TE <sub>1</sub>	0,94	0,90	0,92	0,86	0,91	0,88	0,67	0,89	0,96	0,95
TE <sub>3</sub>	0,94	0,89	0,91	1,06	0,91	0,88	0,82	0,91	0,89	0,97
TE <sub>4</sub>	0,90	0,93	0,89	1,00	0,97	0,98	-	-	0,99	0,92
TE <sub>1-4</sub>	0,92	0,96	0,91	0,97	0,93	0,91	-	-	0,94	0,95

Примечание. 446, 453, 452-4 – граниты шахтаминского комплекса, 447-4, 452, 448, 450-4, 447-7 – кварц-молибденитовые жилы, 447-7, 450-1 – кварц-пирит-молибденитовые жилы.

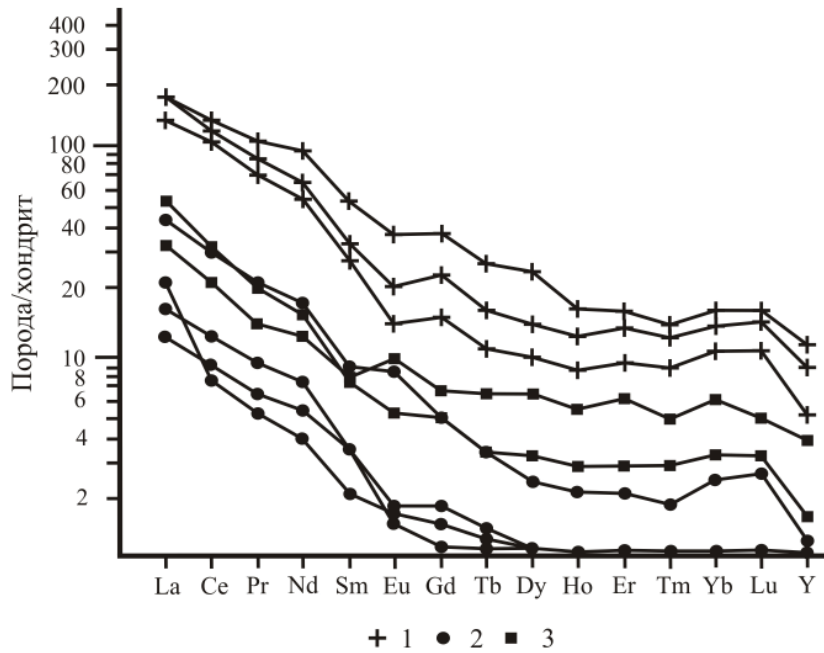


Рис. 2. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в породах и рудах Бугдаинского молибденового месторождения.  
1 – граниты шахтаминского комплекса, 2 – кварц-молибденитовые руды, 3 – кварц-пирит-молибденитовые руды

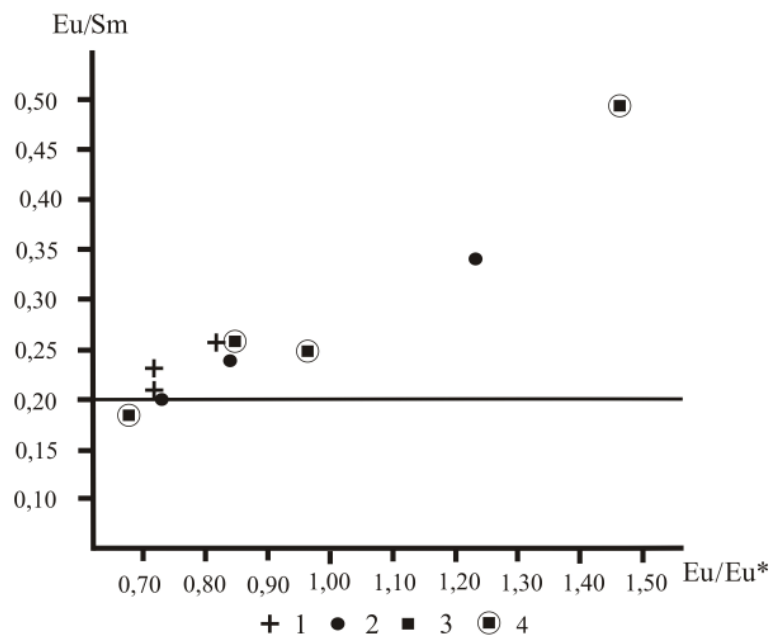


Рис. 3. Диаграмма  $Eu/Sm - Eu/Eu^*$  рудно-магматических образований Бугдаинского молибденового месторождения.  
1 – граниты шахтаминского комплекса, 2 – кварц-молибденитовые руды, 3 – кварц-пирит-молибденитовые руды; 4 – молибденитовые руды с тетрад-эффектом в спектрах лантаноидов.

Большинство значений отношений  $Eu$  к  $Sm$ , в породах и рудах Бугдаинского молибденового месторождения превышает 0,2,

что свидетельствует о функционировании их магматических очагов в нижней континентальной коре (рис. 3).

Кварц-пирит-молибденитовые руды (золото-полиметаллическая стадия) характеризуются наличием ТЭФ в спектрах лантаноидов, свидетельствующих об образовании комплексных соединений редкоземельных элементов. Руды кварц-пирит-молибденитового состава относительно руд кварц-молибденитового состава (кварц-молибденитовая стадия) характеризуются повышенными содержаниями тяжелых лантаноидов [(La/Yb)<sub>n</sub> (среднее – 29,90) соответственно – (La/Yb)<sub>n</sub> – (среднее – 50,79)]; и меньшими содержаниями суммы лантаноидов (∑TR среднее значение – 74,67; соответственно – (∑TR среднее значение – 20,25).

Таким образом, интерпретация отношений РЗЭ показывает, что на Бугдаинском молибденовом месторождении существовали разноглубинные в разной степени, дифференцированные рудоносные магматические очаги, функционировавшие главным образом, в нижней континентальной коре. Выявлено, что руды кварц-пирит-молибденитового состава отличаются наличием ТЭФ в спектрах лантаноидов. Они характеризуются повышенными содержаниями тяжелых лантаноидов [(La/Yb)<sub>n</sub> – от 5,13 до 75,57, среднее – 29,9], низкими концентрациями суммы лантаноидов – ∑TR – 20,25 (среднее

значение). Руды кварц-молибденитового состава характеризуются более низкими концентрациями тяжелых лантаноидов (La/Yb)<sub>n</sub> – (среднее – 50,79) и более высокими содержаниями суммы лантаноидов – ∑TR – 74,67 (среднее).

#### Список литературы

1. Винокуров С.Ф. Европийевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // Доклады Академии Наук РАН. – 1996. – Т. 346. – № 6. – С. 792-795.
2. Интерпретация геохимических данных: учебное пособие / под ред. Е.В. Склярова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 288 с.
3. Коваленкер В.А., Кисилева Г.Д., Крылова Т.Л., Андреева О.В. Минералогия и условия формирования золотоносного W-Мо-порфирирового Бугдаинского месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 2. – С. 107-142.
4. Круглова В.Г., Чернов Б.С., Евдохин А.Г., Пастухова Е.С. Особенности молибденового штокеркового месторождения Восточного Забайкалья // Советская геология. – 1965. – №3. – С. 118-124.
5. Перетяжко И.С., Савина Е.А. Тетрад-эффекты гранитоидных пород – следствие процессов жидкостной несмешиваемости в богатых фтором силикатных расплавах // Доклады Академии Наук РАН. – 2010. – Т. 433. – № 4. – С. 524-529.
6. Ясныгина Т.А., Рассказов С.В. Редкоземельные элементы с тетрад-эффектом: проявление в палеозойских гранитоидах Окинской зоны Восточного Саяна // Геохимия. – 2008. – № 8. – С. 877-889.
7. Irber W. The lanthanide tetrad effect and correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. – 1999. – № 63 (3/4). – С. 489-508.