

## ГЕОХИМИЯ МИНЕРАЛОВ КАЛГУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Н.И. Гусев, А.И. Гусев<sup>1</sup>

Всероссийский геологический институт, г. Санкт-Петербург

<sup>1</sup>Алтайская государственная академия образования, г. Бийск

В последние годы на Калгутинском месторождении выделяется несколько типов оруденения, среди которых основное промышленное значение имеют прожилково-вкрапленное медно-молибден-порфировое и кварцево-грейzenовое молибден-вольфрамовое (Гусев, Семенцов, 2005; Гусев, Гусев, Шокальский и др., 2010). В связи с длительностью формирования рудогенерирующего магматизма, укладывающегося во временной интервал 193-210 млн. лет (Гусев и др., 2010), происходила заметная эволюция глубинного магматического очага, что сказывалось на составе отделяющихся от него флюидов и формирования разно-возрастного оруденения месторождения. Следовательно, это должно отражаться и на составе минералов указанных геолого-промышленных типов оруденения.

Целью проведенных нами исследований является выяснение геохимии рудных и жильных минералов двух главных типов оруденения Калгутинского месторождения: медно-молибден-порфирового и кварцево-грейzenового молибден-вольфрамового.

На Калгутинском месторождении выделяются 3 этапа рудообразования: предрудный; ранний кварцево-жильный с сульфидной и рудными стадиями; прожилково-вкрапленный со штоковой, жильно-штоковой и пегматитовой стадиями; основной кварцево-жильный и поздней стадиями; внутрирудный «ультраредкощелочной» и поздний кварцево-жильный. Как видно из перечисленных ассоциаций минералов, в рудах совмещены продукты прожилково-вкрапленной медно-молибден-порфировой минерализации и кварцево-жильной и грейzenовой молибден-вольфрамовой. В рудном поле отчетливо различимы 3 типа главных руд: кварц-вольфрамитовый, прожилково-вкрапленный «молибденового штока» и прожилково-вкрапленный медно-молибден-порфировый.

Кварц-вольфрамитовый тип оруденения представлен 589 жилами кварца протяженностью по простиранию от 20 до 330 м (средняя 106 м) и от 16 до 210 м (средняя 47 м) по падению. Рудные жилы имеют доминирующее С-В простирание с крутыми падениями на С-З и Ю-В. Текстуры руд: гнездово-вкрапленная и вкрапленная. Главные рудные минералы: вольфрамит, молибденит, пирит. Реже встречаются висмутин, берилл, халькозин, халькопирит, блеклые руды. Второстепенные: шеелит, гематит, магнетит, пиролюзит. Из жильных минералов преобладает кварц нескольких генераций. Эпизодически отмечаются мусковит, турмалин, флюорит, лепидолит. Рудные жилы сопровождаются оторочками грейzenов мощностью от нескольких сантиметров до одного и более метра. Грейzenы содержат прожилково-вкрапленную шеелит-вольфрамитовую минерализацию. Содержания триоксида вольфрама в жилах от 0,02 до 32 % (среднее 1,85 %), молибдена от 0,005 до 1,71 % (среднее 0,327 %), меди от 0,1 до 5% (среднее 0,57 %), в грейzenах  $WO_3$  от 0,01 до 1,3 % (среднее 1,76 %), молибдена от 0,01 до 0,2 % (среднее 0,05 %), меди от 0,1 до 1 % (среднее 0,88 %). Запасы подсчитаны по 103 жилам. Основное количество запасов триоксида вольфрама содержится в 17 жилах из 49 принятых на баланс. 70 % запасов сосредоточено в жиле № 87 Второго разведочного участка. Запасы триоксида вольфрама кварц-вольфрамитового жильного типа составили 12,7 тыс. т (при содержаниях 1,85 %), молибдена – 2,2 тыс. т (при средних содержаниях 0,327 %), меди 3,9 тыс. т (при средних содержаниях (0,57 %).

«Молибденовый шток» (1 разведочный участок) представляет собой «слепое» трубообразное тело размерами от 80 x 100 до 120 x 100 м, прослеженное на глубину 310 м от поверхности штольнями № 18 (горизонт 2764 м), 19 (2821 м) и 20 (2878 м). В плане шток представляет сочетание конической жилы гранит-порфиров, центральная часть которой сло-

жена флюидо-эксплозивной брекчией. Последняя представлена остроугольными обломками гранит-порфиров, сцементированных кварцем с турмалином и микроклином. По падению объём гранит-порфиров возрастает, а флюидо-эксплозивной брекчии сокращается, что свидетельствует о верхнерудном уровне штока и значительной протяжённости Молибденового Штока по падению. Гранит-порфиры сложены кварц-полевошпатовым матриксом с редкими выделениями биотита и интрателлурическими вкрапленниками кварца и полевого шпата, пронизанные сетью кварцевых прожилков с богатым молибденит-халькопирит-пиритовым оруденением. Отдельные просечки размером до 0,3 x 20 см нацело сложены халькопиритом и молибденитом. Вкрапленная рудная минерализация представлена молибденитом (0,8 %) в виде чешуек и пластинок размерами от 0,015 x 0,12 мм до 0,24 x 1,02 мм, образующих лучистые и веерообразные скопления, а также пиритом, халькопиритом, халькозином, вольфрамитом, гюбнеритом и ковеллином. Оруденение сопровождается кварц-биотит-калишпатовыми фельдшпатолитами, реже березитами. Между горизонтами штолен 18 (2764 м) и 20 (2878 м) выделен блок с запасами руды категории  $C_1$  в объёме 542 тыс. т и молибдена 3904 т с максимальными содержаниями молибдена 0,72 %.

Медно-молибден-порфировый тип оруденения локализован в калишпатизированных и грейзенизированных порфировидных биотитовых гранитах, гранит-порфирах. На горизонтах штолен нередко наблюдается наложение грейзенов на ранние фельдшпатолиты кварц-калишпатового, калишпат-биотитового составов. Прожилково-вкрапленная минерализация представлена халькопиритом, пиритом, молибденитом, вольфрамитом, шеелитом, борнитом, халькозином, арсенопиритом, реже самородным золотом. В плане прожилково-вкрапленное медно-молибден-порфировое оруденение образует овал размером 900 x 1200 м. и совпадает с роем даек и небольших штоков гранит-порфиров, микрогранит-порфиров, сопровождающиеся нередко флюидо-эксплозивными брекчиями. В последних отмечается шток-верковое и прожилково-вкрапленное оруденение, представленное кварцевыми прожилками с вкрапленностью пирита комбинированного габитуса (куб + пентагон-додекаэдр), халькопирита, халькозина, молибденита, редко пирротина. Содержания меди в рудах варьируют от 0,2 до 1,8 % (среднее 0,34 %), молибдена от 0,03 до 0,8 % (среднее 0,1 %). По вертикали порфировое оруденение прослежено на 500 м без признаков выклинивания. Этот тип оруденения развит в пределах крупной аномалии меди интенсивностью 0,005-0,2 % и молибдена 0,001-0,005 % площадью свыше 7 км<sup>2</sup>. В центре развития прожилково-вкрапленной минерализации распространены фельдшпатолиты, а по периферии овала преобладают пропициты, березиты. Самое крайнее положение из метасоматитов занимают аргиллизиты. Спорадически в контуре указанной аномалии отмечаются всплески повышенных концентраций висмута, мышьяка, цинка, свинца, серебра, золота. Пространственно с указанной аномалией совмещается отрицательная аномалия магнитного поля  $Z_a$  интенсивностью до 400 Нт размером 300 x 700 м. Аномалия меди и молибдена на большей части площади не оценена и не опровержена.

Для минералов из различных типов руд (медно-молибден-порфировых и кварцево-грейзеновых вольфрамитовых) проведено сравнение содержаний элементов-примесей (табл. 1 и 2).

**Пирит** – наиболее широко распространен в метасоматитах серицит-пирит-кварцевой фации, в грейзенах, являющихся образованиями наиболее ранней предрудной стадии, а также среди жильного кварца различных стадий минералообразования. Его выделения представляет собой неравномерную, участками обильную, вкрапленность, как отдельных кристаллов, так и мелких гнезд. Вкрапленность преимущественно мелкая (до 1 мм, редко до 1-3 мм). Часто пирит ассоциирует с халькопиритом и вольфрамитом. Включения пирита имеют неправильную или кубическую форму, реже отмечаются пентагон-додекаэдрические формы. Содержание его обычно не превышает 1-3 % объёма жил, но на отдельных участках

1. Содержания элементов-примесей в минералах медно-молибден-порфирирового типа оруденения

Элементы, г/т	Pу N=3	Po N=2	Ср N=12	Мо I N=9	Мо II N=3	Sf N=3
Be	45,1	31,6	1,1	97,6	5,4	1,2
V	5,5	3,95	3,5	4,5	7,7	8,6
Rb	24,5	23,5	<2	5,8	25,1	3,7
Sr	2,5	<1	1,2	2,5	2,7	2,8
Y	0,64	0,75	2,1	12,0	1,14	22,3
Zr	6,1	2,35	1,85	3,5	4,73	4,9
Nb	2,1	1,76	<0,5	2,1	3,44	<0,5
Mo	2231	1260	875			8,9
Ba	13,1	6,07	3,2	3,2	6,27	4,5
La	0,63	0,17	0,21	0,64	0,24	3,27
Ce	1,2	0,34	0,41	3,42	0,92	8,15
Pr	0,17	0,063	0,04	2,27	1,17	1,17
Nd	0,74	0,26	0,21	3,41	0,97	5,09
Sm	0,21	0,057	0,04	0,65	0,17	1,87
Eu	0,03	0,012	0,011	0,14	0,048	0,66
Gd	0,12	0,099	0,054	0,43	0,11	2,93
Tb	0,03	0,016	0,013	0,08	0,02	0,78
Dy	0,12	0,064	0,061	0,4	0,11	5,11
Ho	0,025	0,024	0,012	0,06	0,022	1,1
Er	0,05	0,051	0,03	0,15	0,074	3,53
Tm	0,012	0,017	0,007	0,014	0,015	0,59
Yb	0,038	0,066	0,028	0,076	0,072	3,59
Lu	0,009	0,017	0,007	0,017	0,011	0,59
Re	1,4	1,5	6,6	342,2	195,7	7,1
Hf	0,17	0,074	0,042	0,044	0,12	0,22
Ta	<0,1	<0,1	<0,1	0,33	0,37	<0,1
W	345	1350	21,4	61	358	8,6
Th	0,94	<0,1	0,14	1,2	0,68	0,23
U	14,3	5,06	0,60	24,1	5,56	1,25
Se	12,8	10,5	129,1	128	114	124,2
Te	22,3	18,5	49,5	48	32	50,1
Ag	290,1	125	620,1	620,1	540	123
Cd	17,2	11	278,1	3,1	2,4	563
In	4,2	3,1	35,5	5,5	4,6	56,2
Sb	148,2	12	12,2	1,3	1,2	11,3
Mn	874	560	1276	1277	1056	1580
Bi	10,4	15,5	89,4	8,5	5,7	55
Sn	71,7	13,1	68,5	22,2	12,8	34
сумма REE	4,02	2,0	3,23	23,76	5,09	60,73

*Примечание.* Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ИМГРЭ и ВСЕГЕИ. N - количество проб; Pу – пирит, Po - пирротин, Ср – халькопирит, Мо I – молибденит первой генерации, Мо II – молибденит второй генерации, Sf – сфалерит.

2. Содержания элементов-примесей в минералах кварцево-грейзенового типа оруденения

	Py	Po	Cp	Mo	Wolf	Ber	Fl	Mus	Sh I	Sh II
Be	1395	24	2,2	121	1,63		1,5	10,5	34	21
V	5,2	4,4	4,2	12,5	7,9	17,1	3,8	47,2	14	2
Rb	27,2	34,5	3,5	395	3,3	42,3	10,3	605	12	9
Sr	2,5	1,9	2,1	3,5	5,54	3,8	12	10,2	23	14
Y	0,65	0,97	3,3	15,2	12,2	3,87	11	1,56	42,7	34,1
Zr	6,2	2,52	2,5	4,5	35,5	5,1	1,8	5,9	12	8
Nb	2,11	1,39	1,5	14,2	1286	2,1	<0,5	14,4	11	8
Mo	465	961	2100		342	243	321	24,7	123	103
Ba	12,6	14,5	<3	25,6	4,65	10,5	4,1	146	23	10
La	0,63	0,71	0,32	58	0,41	1,2	1,15	1,31	7,0	7,2
Ce	1,3	0,53	0,54	168	0,67	2,2	3,3	2,4	17,0	19,5
Pr	0,18	0,082	0,065	25	0,21	0,16	1,32	1,2	10,2	12,7
Nd	0,75	0,41	0,3	99,7	0,65	0,55	2,5	0,75	10,1	11,1
Sm	0,2	0,14	0,062	14,3	0,23	0,13	1,5	0,17	5,1	7,2
Eu	0,027	0,03	0,014	1,82	0,08	0,044	0,65	0,17	0,2	0,9
Gd	0,11	0,12	0,048	8,82	0,85	0,9	4,5	0,14	4,4	5,8
Tb	0,026	0,029	0,012	1,0	0,34	0,014	1,13	0,04	0,2	0,2
Dy	0,13	0,16	0,065	2,95	1,45	0,055	9,5	0,18	0,7	0,4
Ho	0,026	0,039	0,01	0,37	1,12	0,014	2,56	0,45	0,4	0,1
Er	0,049	0,098	0,017	0,93	1,32	0,033	13,2	0,15	0,6	0,3
Tm	0,012	0,016	<0,005	0,13	0,56	0,007	1,21	0,32	0,3	0,1
Yb	0,037	0,085	0,015	0,91	1,65	0,032	7,1	0,17	0,9	0,3
Lu	0,009	0,012	0,0057	0,11	0,65	0,004	1,2	0,023	0,2	0,1
Re	0,6	0,5	0,8	36	1,3	2,1	1,8	1,2	2,1	1,2
Hf	0,18	0,065	0,047	0,21	1,54	0,14	1,24	0,13	0,2	0,1
Ta	<0,1	<0,1	<0,1	2,66	121,5	0,21	3,1	0,36	9,1	8,2
W	566	1240	131	790		2,7	105	37,1		
Th	0,95	0,12	0,28	26,8	3,54	0,31	2,6	0,22	1,2	1,1
U	15	7,38	0,61	2,16	26,4	0,87	1,1	0,26	2,2	2,1
Se	9,3	8,5	28,2	31,8	11,1	4,1	1,2	1,1	3	1
Te	11,2	5,6	18,4	25,9	9,6	3,6	0,9	0,6	0,4	0,2
Ag	211	156	196	95,4	85	23	11	4	3	1
Cd	113	65	53	3,3	4,4	4,1	2,3	2	1	-
In	2,7	1,5	12,6	4,7	3,1	2,2	1,1	1,2	2	1
Sb	86	43	2,7	2,0	2,2	1,7	1,4	1,5	2	3
Mn	553	541	327	2030	4530	1240	870	1260	65	54
Bi	12,1	6,5	1570	15,7	15,1	7,4	4,5	3,3	2	1
Sn	123	87	34	5,2	4,6	10,3	2,4	1,3	5	4
REE	4,14	3,43	4,78	397,2	22,4	9,2	61,8	9,1	57,3	65,9

*Примечание.* Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ИМГРЭ и ВСЕГЕИ. N - количество проб; Py – пирит, Po - пирротин, Cp – халькопирит, Mo – молибденит, Wolf - вольфрамит, Ber - берилл, Fl - флюорит, Mus - мусковит, Sh I – шеелит первой генерации, Sh II – шеелит второй генерации.

достигает 10-15 % и более. Пириты кварцево-жильных и грейзеновых редкометалльных руд отличаются от дисульфидов медно-молибден-порфирировых образований повышенными концентрациями бериллия, молибдена, вольфрама, кадмия, олова и пониженными – сурь-

### 3. Содержания элементов-примесей во флюоритах (в г/т) месторождения Калгуты

Элементы и отношения	Флюорит Калгутинского месторождения, n=3	Флюорит Южно-Калгутинского месторождения, n=5	Флюорит светло-сиреневый Калгутинского месторождения	Флюорит тёмно-фиолетовый Калгутинского месторождения
Be	7,24	7,1	1,63	36,9
Ti	30,8	25,7	23,1	35,2
V	5,0	4,5	3,37	10,1
Cr	15,1	14,3	5,4	34,6
Mn	96,7	97,2	45,5	199,1
Co	0,36	0,40	0,31	0,98
Ni	12,4	12,3	11,1	16,9
Cu	56,0	55,2	45,1	67,8
Zn	49	35,2	33,2	56,0
Ga	62,4	55,8	45,2	68,8
Rb	1214	1180	5,15	21,3
Sr	8,1	7,5	349	49,3
Y	0,69	0,70	335	18,2
Zr	4,4	4,5	18,4	11,5
Nb	1,21	1,23	21,4	14,9
Mo	1,3	1,2	17,4	173
Cs	2,08	2,10	3,8	7,4
La	0,69	0,65	84,5	0,83
Ce	1,22	1,30	95	1,81
Pr	0,121	0,13	6,92	0,26
Nd	0,43	0,45	17,8	0,95
Sm	0,11	0,12	3,7	0,24
Eu	0,02	0,03	1,14	0,083
Gd	0,07	0,08	8,59	0,43
Tb	0,01	0,02	2,11	0,078
Dy	0,102	0,11	18,7	0,52
Ho	0,021	0,03	4,79	0,11
Er	0,069	0,07	16,2	0,35
Tm	0,007	0,008	2,37	0,045
Yb	0,066	0,07	14,1	0,28
Lu	0,008	0,009	2,2	0,032
Hf	0,2	0,3	1,86	0,67
Ta	1,22	1,3	2,67	4,78
W	4,65	4,8	6300	273
Pb	13,3	14,1	11,1	19,6
Th	0,21	0,2	3,75	0,79
U	0,1	0,12	1,3	0,66
сумма REE	2,94	3,0	613,5	24,2
La/Sm <sub>N</sub>	3,86	3,39	13,99	2,27
La/Yb <sub>N</sub>	6,88	6,18	3,96	2,09
Y/Ho	32,86	23,3	69,9	165,4
Tb/La	0,014	0,031	0,025	0,094
La/Lu	86,2	72,2	34,4	25,9
Sr/Y	11,7	10,7	1,04	2,7
U/Th	0,48	0,6	0,34	0,84
Ta/Nb	1,0	1,10	0,12	0,32
Rb/Sr	149,9	15,7	0,01	0,41
La/Eu <sub>N</sub>	7,94	5,12	16,99	2,45
Zr/Hf	22,0	15,0	9,89	17,16
Eu/Eu*	0,22	0,30	0,044	0,057
TE <sub>1,3</sub>	0,9	1,05	1,05	1,03

*Примечание.* Анализы выполнены методом ICP-ms и ICP-AES в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). Нормализация РЗЭ проведена относительно концентраций в хондрите по (Anders, Greevesse, 1989). Eu\*=(Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)/2. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по (Irbert, 1999).

мы, марганца, рения, селена, теллура. Суммы редкоземельных элементов в них близки: 4,14 г/т в кварцево-грейзеновых и 4,02 в медно-молибден-порфириновых. В последних содержания рения превышают кларк (0,6 г/т) в пиритах в 2,3 раза (Иванов и др., 1973).

**Пирротин** чаще всего образует вкрапленность и гнёзда в рудах медно-молибден-порфирикового типа. Реже он встречается в сложных сульфидных стростках пирита, пирротина и молибденита в грейзенах. Пирротины кварцево-грейзеновых руд отличаются от пирротин медно-молибден-порфириковых руд более высокими концентрациями селена, серебра, кадмия, сурьмы, олова и пониженными содержаниями рения, вольфрама, урана, индия, висмута. Сумма редких земель в пирротинах кварцево-грейзеновых руд несколько выше (3,43 г/т), чем в медно-молибден-порфириковых (2 г/т).

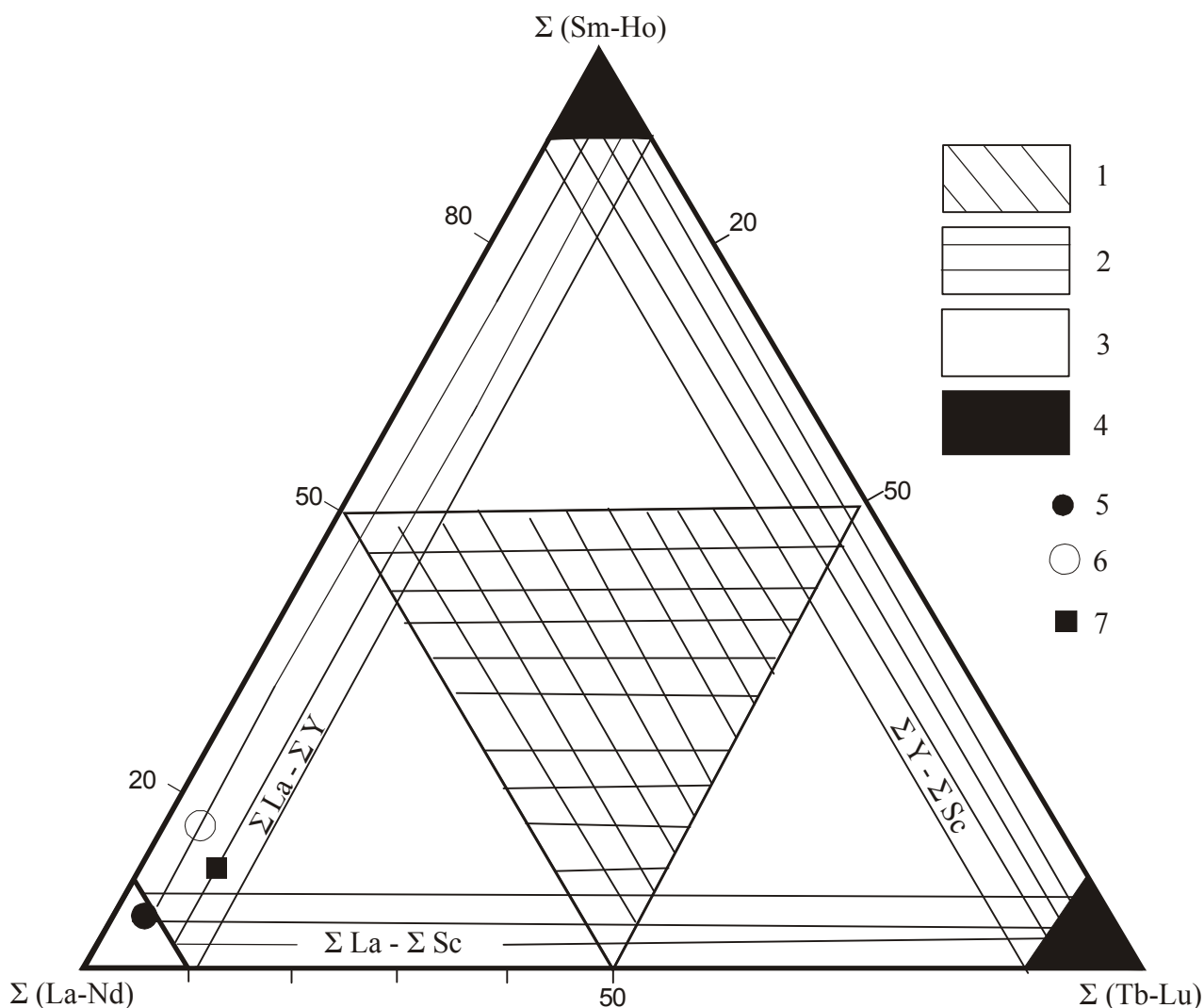
**Молибденит** прожилково-вкрапленных медно-молибден-порфириковых руд образует вкрапленность и гнёзда размерами от 2 мм до 2 см. В Молибденитовом штоке молибденит совместно с другими рудными минералами (халькопиритом, пиритом, редко вольфрамитом и шеелитом) образует наиболее крупные скопления размерами от 20 до 50 см в поперечнике. Молибдениты порфириковых руд отличаются от «молибденового блеска» редкометалльного оруденения повышенными содержаниями серебра, олова, реже селена, теллура, урана и пониженными концентрациями бериллия, ванадия, рубидия, ниобия, бария, всех редкоземельных элементов, вольфрама, марганца, висмута, тантала, тория. Обращает на себя внимание высокое содержание рения в молибденитах порфириковых руд, значительно превышающие минеральный кларк (114 г/т). При этом первая генерация молибденита почти в два раза содержит рения больше, чем вторая. Молибдениты обоих типов руд характеризуются повышенными концентрациями индия, превышающим кларк этого элемента в молибдените в 1,5 – 2,7 раз.

Обращает на себя внимание факт максимальных суммарных концентраций редких земель (397,2 г/т) в молибденитах кварцево-грейзеновых руд относительно всех проанализированных минералов обоих типов руд (табл. 1 и 2). В медно-молибден-порфириковых рудах выделяются две генерации молибденита. При этом первая генерация характеризуется более высокими концентрациями бериллия, иттрия, тория, урана, селена, теллура, серебра, марганца, висмута, олова, суммы редкоземельных элементов и меньшими - рубидия, бария, гафния, вольфрама (табл. 1).

На диаграмме (рис. 1) молибдениты кварцево-грейзенового типа руд попадают в поле редкоселективных составов с резким преобладанием лёгких РЗЭ, а молибдениты обеих генераций медно-молибден-порфирикового типа руд – в поле комплексных составов.

**Халькопирит** – наиболее широко развит в жильном «сульфидном» кварце и в составе прожилково-вкрапленных медно-молибден-порфириковых руд. В целом отмечается его тесная ассоциация с кварцем, сравнительно редко с сидеритом и флюоритом. Образует редкую неравномерную вкрапленность неправильной формы размером до 1-3 мм, редко до 5-10 мм, а так же короткие (до 1-3 см) маломощные прожилки. Часто халькопирит отмечается вблизи зерен пирита и в сростании с ним, реже – с пиритом и сфалеритом, что может свидетельствовать об одновозрастном их образовании. В сидерите в сростках с халькопиритом отмечаются мелкие вкрапленники блеклой руды и висмутитина. Часто по халькопириту, образуя структуру кривых каемок, развит халькозин, ковеллин, лимонит, гетит. Такие «рубашки» характерны для большинства зерен халькопирита. Халькопирит и минералы окисления, развитые по нему, являются основным источником меди в рудах, содержание которой составляет сотые и первые десятые доли %, достигая в единичных случаях 2,5 % и более.

Халькопириты порфириковых руд характеризуются ощутимо более высокими концентрациями почти всех элементов-примесей по сравнению с медным колчеданом редкометалльных руд за исключением вольфрама, марганца, висмута, рубидия, ниобия, молибдена, гафния, тантала, тория. Концентрации рения в халькопирите превышают кларк (1,1 г/т) в



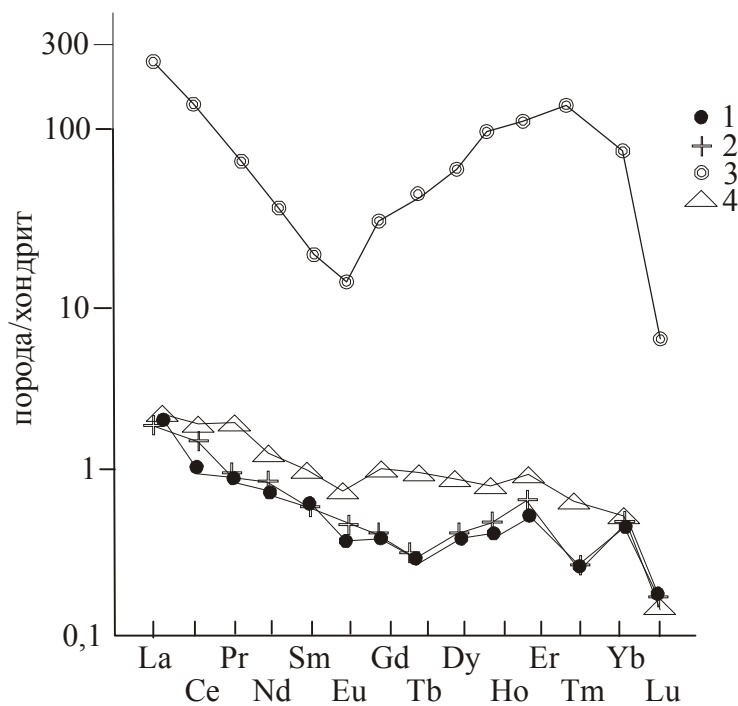
**Рис.1. Диаграмма  $\Sigma(\text{La-Nd}) - \Sigma(\text{Sm-Ho}) - \Sigma(\text{Tb-Lu})$  составов РЗЭ в молибденитах Калгутинского месторождения.**

Составы лантаноидов приведены по Д.А. Минееву: 1 - полные, 2 - комплексные, 3 - селективные, 4 - редкоселективные. Молибдениты: 1 - кварцево-грейзеновых руд, 2-3 – медно-молибден-порфировых руд: 2 - первая генерация, 3 - вторая генерация.

3,8 раза (Иванов и др., 1973). Для халькопиритов отмечается положительная корреляция высоких содержаний индия и олова и в порфировых рудах, и в кварцево-грейзеновых. Содержания индия в халькопиритах медно-молибден-порфировых руд в 2,5 раза превышает кларк этого минерала (12 г/т), а кадмия – в 3,1 раза (89 г/т) (Иванов, 1966; Иванов и др., 1973).

**Сфалерит** отмечается в единичных случаях в кварцевых прожилках в ассоциации с халькопиритом, пиритом и пирротинном, где представлен редкими гнездами размером до 1,4 x 1,7 см и редкой мелкой вкрапленностью зерен до 2 мм. Визуально его содержание не превышает 0,5 % объема породы. Сфалерит медно-молибден-порфировых руд характеризуется самыми высокими концентрациями суммы редкоземельных элементов, кадмия, индия среди всех остальных минералов этого типа руд.

**Вольфрамит** кварцево-грейзеновых руд характеризуется крайне неравномерным распределением. Содержание вольфрамита в жильной массе колеблется от долей и первых % объема до первых десятков %, с образованием отдельных крупных гнезд почти мономинеральных агрегатов. Вольфрамитовые руды визуалью представляют собой неравномерно зернистые и неоднородные образования с прожилково-вкрапленной, полосчатой, брекчие-



**Рис. 2. Спектры распределения РЗЭ для флюоритов Калгутинского месторождения.**

1 - фиолетовый флюорит Калгутинского месторождения (5 проб), 2 - фиолетовый флюорит Южно-Калгутинского месторождения (6 проб), 3 - темно-фиолетовый флюорит Калгутинского месторождения, 4 - светло-сиреневый флюорит Калгутинского месторождения.

видной, гнездовой текстурами. Структура изменяется от тонко- до крупнозернистой. Химический состав вольфрамитов: FeO – 22,65-23,64 %, MnO – 0,83-1,12 %, WO<sub>3</sub> – 75,25-76,31 %. По составу вольфрамиты относятся к группе ферберита с отношением гюбнеритового и ферберитового

миналов от 0,03 до 0,1. Вольфрамит кварцево-грейзенового типа руд отличается самыми высокими концентрациями ниобия и тантала из всех проанализированных минералов. При этом содержания тантала в минерале превышают кларк в 1,3 раза (95 г/т).

**Берилл** часто встречается в грейзенах в виде призматических кристаллов размерами от 1 до 7 см в длину и сростков в виде друз и неправильных хаотических нагромождений кристаллов. В берилле в повышенных концентрациях отмечаются марганец, олово и рубидий. Сумма редких земель не высока (9,2 г/т). Обращает на себя внимание высокое содержание рения в берилле. Для этого минерала кларк рения пока не определен.

**Флюорит** является одним из основных жильных минералов кварцево-грейзенового типа руд, образует как самостоятельные жилы мощностью до 2,4 м, так и мелкие прожилки и вкрапленность. Представлен мелко- и среднезернистыми агрегатами, иногда крупнозернистыми. Окраска самая различная: бледно-желтая, бледно-зеленая, серая, темно-серая, буро-серая, светло-коричневая, сиреневатая, голубая, ярко-фиолетовая, фиолетовая, темно-фиолетовая. Пестрота окраски флюорита наиболее характерна для сложных брекчированных жил, в строении которых принимает участие флюорит нескольких генераций. Мелкие прожилки и вкрапленники чаще всего представлены фиолетовым и зеленоватым флюоритом. Цвет его часто зависит от примесей оксидов марганца и железа. Флюоритовые жилы в большинстве случаев невыдержанны как по мощности, так и по простиранию. На флангах они либо выклиниваются, либо переходят в кварц-флюоритовые, флюорит-сульфидно-кварцевые, барит-флюоритовые жилы. Крупные флюоритовые и сложно построенные жилы часто брекчированы. По данным микроскопических исследований Л.Ф. Сырицо (Санкт-Петербургский государственный университет), флюорит в кварцево-грейзеновых рудах кристаллизовался раньше вольфрамита и молибденита (устное сообщение).

Флюорит Калгутинского месторождения характеризуется несколько повышенными концентрациями рубидия, молибдена, вольфрама, марганца. В целом флюорит месторождения имеет сравнительно невысокие концентрации суммы редких земель.

Более информативны содержания микроэлементов в разных участках месторождения и разной цветовой гаммы. Сведения о микроэлементном составе таких флюоритов приведены в табл. 3.



Анализ таблицы показывает весьма неравномерное распределение и концентрации микроэлементов. Наиболее контрастные данные дают анализы флюоритов разной окраски. Так, флюорит светло-сиреневого цвета характеризуется более высокими содержаниями Sr, Y, Zr, Nb, всех редкоземельных элементов (REE) и суммы REE, La/Sm<sub>N</sub>, La/Lu, La/Eu<sub>N</sub> и заметно меньшими концентрациями Be, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zr, Ga, Nb, отношений Y/Ho, Zr/Hf. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов не проявлен в значимых величинах (значимые величины – менее 0,9, или - более 1.1).

На спайдер-диаграмме редкоземельных элементов светло-сиреневый флюорит занимает позицию очень высоких взвешенных относительно хондрита концентраций всех РЗЭ (рис. 2). Обращает внимание высокое содержание в нём тяжёлых РЗЭ.

Тем не менее, в нём чётко просматривается европиевый минимум и максимум по тулию. Тёмно-фиолетовый флюорит характеризуется значительно более низкими взвешенными концентрациями относительно хондрита, менее проявленным минимумом по европию и максимумом по эрбию.

**Шеелит** встречается в кварцево-грейзеновых рудах и жилах, ассоциирует с кварцем, флюоритом и вольфрамитом, в которых образует включения зерен неправильной формы размерами редко превышающими 0,5 мм (иногда до 1,0-3,5 мм и более). Широко развит по вольфрамиту, где приурочен либо к его массе, либо отмечается по трещинам в нем на границе зерен вольфрамита и в виде обособленных зерен в кварце, располагаясь между зерен последнего. В отдельных обогащенных участках рудных жил шеелит распространен в виде пленок и гнездовых скоплений, развитых по вольфрамиту, и составляет до 0,5-1,0 % объема массы жил. Кроме кварцево-жильной зоны шеелит широко развит во вмещающих ее метасоматитах, а также в мелких и оперяющих и параллельных зонах метасоматитов среди вулканогенно-осадочных пород. Визуально он трудно диагностируется и выделяется преимущественно только под люминескопом. Обладает сероватой и желтоватой окраской, в шлифах выделяется благодаря высокому рельефу и повышенной, по сравнению с кварцем, интерференционной окраске и двупреломлению. Шеелит находится в сростках с кварцем даже в самом тонком классе крупности (менее 0,05 мм), что затрудняет получение кондиционного шеелитового концентрата. Нами выделены две генерации шеелита. В целом шеелиты месторождения тяготеют к группе минералов с высокими значениями суммы TR и повышенными концентрациями Y. По составу РЗЭ шеелиты этого типа показывают повышенные концентрации скандиевой группы РЗЭ (тербия-лютеция). В поздней генерации шеелита Калгутинского месторождения наблюдается заметное повышение суммы TR, снижение концентраций Y и отношений Y/Ce, указывая на повышение редких земель в поздних стадиях формирования рудной минерализации. В первой генерации заметно более высокие концентрации отмечаются для Be, V, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Ba, Mn.

**Мусковит** отмечается в значительных количествах в грейзенах. Местами он образует гнёзда «слюдитов» размерами от 1 x 4 до 3 x 15 см. Мусковит образует листочки и их сростки. Нередко в мусковите наблюдаются включения пирита, шеелита. Он характеризуется сравнительно низкой суммой редких земель и повышенными концентрациями Rb, V, Mn.

В заключении следует отметить, что геохимические особенности рудных минералов из различных геолого-промышленных типов оруденения жильного кварцево-грейзенового и прожилково-вкрапленного медно-молибден-порфирирового значительно различаются по целому ряду параметров. Порфирировое оруденение отличается заметно более высокими концентрациями рения, а его содержания в молибдените представляют промышленный интерес и могут извлекаться из молибденитового концентрата.

### **Литература**

Гусев А.И., Семенцов Б.Г. Новые данные по магматизму и оруденению Калгутинского месторождения, Горный Алтай // Руды и металлы, 2005, № 4, с. 27-32.

Гусев Н.И., Гусев А.И., Шокальский С.П., Кашин С.В., Крупчатников В.И. Магматизм и молибден-порфировое оруденение Калгутинского рудного поля (Горный Алтай) // Региональная геология и металлогения, 2010, вып. 43, с. 83-97.

Иванов В.В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. – М.: Недра, 1966. – 389 с.

Иванов В.В., Белевитин В.В., Борисенко Л.Ф. и др. Средние содержания элементов-примесей в минералах. М.: Недра, 1973, 208 с.

Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989, v.53, pp. 197-214.

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. 489-508

Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effect observed in marine environment // Geochim J., 1979, v. 13, p. 19-22.