

ГЕОХИМИЯ СПЕКУЛЯРИТА ГОРНОГО АЛТАЯ

А.А. Кременецкий¹, А.И. Гусев², В.А. Говердовский³

¹ Институт минералогии и геохимии редких элементов, г. Москва

² ОАО «Горно-Алтайская экспедиция, с. Малоенисейское

³ ГРК «Металлы Алтай», г. Горно-Алтайск

Спекулярит распространён в Горном Алтае во многих проявлениях, обнаруживая пространственную и парагенетическую связь с порфировыми комплексами (аксайский), а также с теми интрузивными комплексами, заключительные фазы которых содержат порфировые образования (синюхинский, садринский). Спекулярит обнаружен в различных типах месторождений: медно-порфировых с гематитом (Рудный Лог, Уландрык, Шибетинское, Кокоринское), эпитермальных золото-серебряных со ртутью (Коксаирское), эпитермальных золото-серебряных (Коно), медно-золото-скарновых (Ульменское, Синюхинское), золото-железородно-скарновых (Майское). Наибольшее значение спекулярит имеет в объектах первого типа.

Цель исследования – изучить особенности геохимии спекулярита из различных типов оруденения Горного Алтая и выработать критерии отличия по спектру элементов-примесей и моделям распределения спектров РЗЭ.

Наиболее полно изучено месторождение Рудный Лог.

Месторождение находится в пределах северных отрогов хребта Сайлюгем (рис. 1). Район месторождения характеризуется расчлененным рельефом с абсолютными отметками господствующих вершин порядка 2600 - 2900 м при относительном превышении водоразделов над днищем долин в пределах 200-400 м. Собственно месторождение находится на высоте 2200-2400 м над уровнем моря.

В геологическом плане месторождение располагается в пределах Аксайской вулканно-плутонической структуры (ВПС), сложенной эффузивными и вулканогенно-осадочными образованиями аксайской свиты и субвулканическими комагматами (трахиандезиты, кварцевые латиты, дациты, риолитоиды). Кроме месторождения Рудный Лог в рамках ВПС известны еще несколько проявлений спекулярита в ассоциации с медной (Уландрыкское) и урановой (Аксайское, Шибетинское) минерализацией. По масштабам и качеству оруденения эти проявления близки Рудному Логу. Все они тяготеют к разрывным нарушениям в контактовых ореолах субщелочных лейкогранитных массивов (Аксайского и Уландрыкского, геологический возраст D_2). Геофизические данные (гравиметрия, магнитометрия) свидетельствуют о том, что массивы являются выступами кровли крупного интрузива лейкократовых гранитов (плотность $2,55 \text{ г/см}^3$) с ведущей геохимической ролью фтора. Последнее обстоятельство подчеркивается широким развитием флюоритовой минерализации как в пределах массивов, так и в рамках всей вулканно-плутонической структуры, под которой, по геофизическим данным, залегает основная часть интрузива. Для всего поля структуры характерны также первичные ореолы меди, молибдена, олова.

Месторождение Рудный Лог локализуется в пределах кварц-гематитовой зоны, представляющей собой дугообразную разрывную структуру северо-западного простирания, протяженностью 8 км и мощностью до 100м. Она пересекает кислые образования аксайского вулканно-плутонического комплекса (лавы и туфы риолитов, трахириолитов) и отчетливо опоясывает северный контур Аксайского гранитного массива в непосредственной близости от него (100-800м) (рис. 2а). Вблизи рудоносной структуры лавы и туфы альбитизированы. Контактная часть массива представлена эруптивными брекчиями с многочисленными обломками гранитов и эффузивов, сцементированных криптозернистой массой кварца с пылевидным гематитом и флюоритом.

Положение рудоносной зоны по отношению к гранитному массиву и наличие к северу от нее аналогичной субпараллельной кварц-жильной зоны без гематита подчеркивают ее контракционную природу, генетически обусловленную становлением Аксайского интрузива.

Месторождение Рудный Лог представляет юго-восточную конечность кварц-гематитовой зоны протяженностью 1,7 км при мощности до 100м [1]. Северо-западный фланг месторождения пережимается, расщепляясь на 2-3 составляющие, юго-восточный фланг выклинивается на поверхности и, вероятно, погружается на глубину, согласно с кровлей гранитного массива.

Канавами с поверхности и буровыми скважинами вскрыта (до глубины 200м) западная часть месторождения [1]. В целом устанавливается пластообразная морфология рудоносной структуры, характеризующаяся зональным внутренним строением. Во внешних частях она сложена слабоизмененными эффузивами с жилами и прожилками

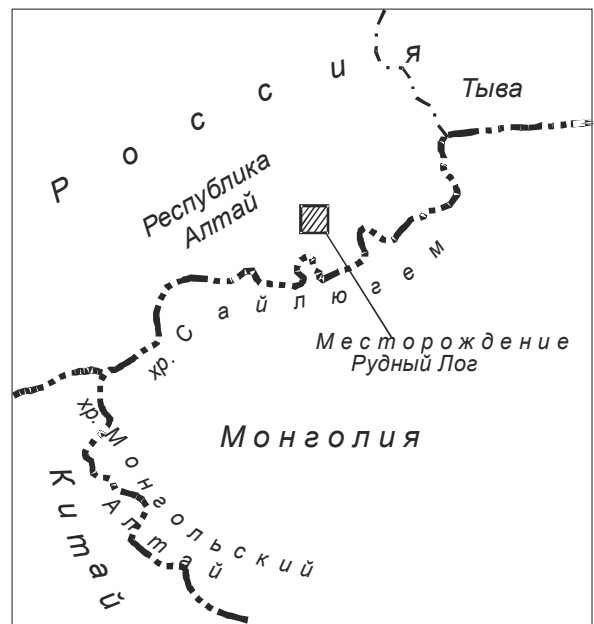


Рис.1. Положение месторождения Рудный Лог

безрудного кварца мощностью от 5 до 70 м. Местами в жильном кварце содержатся обломки вулканогенных пород. Ближе к центральным частям следует зона средне - мелкозернистого кварца с редкой вкрапленностью гематита и маломощными гематитовыми жилами, которая далее к центру постепенно переходит в зону брекчиевых руд - интенсивно катаклазированного кварца, сцементированного мелкопластинчатым гематитом. Трещины имеют преобладающее северо-западное простирание, но местами сливаются и пересекаются друг с другом, образуя сложную сетку жильных тел. В центральной части рудной зоны залегает пластовое тело массивных кварц-гематитовых руд, прослеженное на протяжении 1,5 км при выдержанной мощности 25- 30 м. До глубины 100 м от поверхности падение рудоносной структуры крутое СВ, близкое к 90°, ниже 100 м падение изменяется на юго-западное, также крутое. Эта особенность залегания в целом обусловлена контракционной природой рудоносной структуры и последующими сжимающими напряжениями с СВ.

Минеральный состав руд. В пределах месторождения рудные тела представлены кулисообразно расположенными линзами, разделенными безрудными кремнистыми или слабо оруденелыми интервалами. В большинстве случаев руды представлены массивными и брекчиевыми разностями. В последних обломки эффузивов и кремнистых пород сцементированы чешуйчатым гематитом. Встречаются также полосчатые, гребенчатые и шаровые текстуры.

В составе руд месторождения Рудный Лог выделяются следующие ассоциации минералов: гидротермальная жильная, гидротермально-метасоматическая, реликтовая и гипергенная. Гидротермальная жильная ассоциация сложена в основном кварцем и слюдястым гематитом (спекуляритом), редко встречающимися магнетитом, пиритом, рутилом и флюоритом. Гидротермально-метасоматическая ассоциация представлена минералами измененных эффузивов, вмещающих рудные жилы: кварцем и спекуляритом (главные), карбонатом, каолинитом, серицитом, лейкоксеном и хлоритом. Реликтовую ассоциацию слагают минералы исходных пород, оставшиеся неизмененными при гидротермальном метасоматозе эффузивов: кварц, плагиоклаз, апатит, ильменит, циркон. Гипергенная ассоциация представлена в основном гетитом и гидрогетитом. Главными минералами руд являются кварц и спекулярит, составляющими более 90-95 % их объема.

Спекулярит представлен 3 генерациями. Наиболее ранняя и преобладающая из них образует мелкочешуйчатые агрегаты в ассоциации с кварцем первой генерации. Размеры выделений спекулярита первой генерации варьируют от 0,1 до 1,5 мм. Парагенный кварц первой генерации формирует гетерогенный агрегат аллотриоморфных зёрен размерами от 0,3 до 3 мм, характеризуется блоковым и волнистым угасанием. Содержит многочисленные первичные газовой-жидкие включения, в которых иногда отмечаются дочерние тонкие выделения зеленоватого флюорита и фтороапатита. В зальбандах кварцевых прожилков и жил первой генерации отмечаются альбит, хлорит, турмалин, апатит.

Спекулярит второй генерации наблюдается в брекчиевых рудах, где он иногда отмечается в цементирующей массе в ассоциации с кварцем 2 генерации и сидеритом. Спекулярит более крупночешуйчатый (размеры выделений от 1 до 3,5 мм). Гомогенизация первичных газовой-жидких включений кварца 2 генерации проходила в интервале 190-175°С.

Третья генерация спекулярита отмечена в виде прожилков крупночешуйчатых выделений, секущих брекчиевые руды. Кроме того, третья генерация наблюдается в зальбандах рудной залежи среди кварцевых жил. Местами отмечается кварц 3 генерации (1-2 мм в размере), имеющий эвгедральный облик. Травление таких кристаллов кварца показало их зональное строение. Ядерные части таких выделений имеют редкие первичные газовой-жидкие включения и почти лишены вторичных включений, в то время как периферические зоны содержат обильные вторичные включения. Гомогенизация газовой-жидких первичных включений осуществлялась в интервале температур от 170 до 140°С.

Геохимические особенности руд месторождения Рудный Лог детально приводятся в работе В.А.Говердовского и С.Г.Шушумкова [1]. Более 95% составляют SiO_2 и Fe_2O_3 , что согласуется с биминеральным составом руд (кварц + гематит). Второстепенные компоненты - Al_2O_3 (< 2,3%), K_2O и другие (< 0,5%). Промышленно значимых концентраций Au, Ag, Cu, Pb, Zn, W, Sn, Mo, редких земель, Li, Sc и других элементов в рудах и концентратах не установлено. Можно лишь отметить повышенные содержания в рудах Sn (до 144 г/т), W (до 80 г/т), Co (до 86 г/т), V (до 148 г/т), Y (до 400 г/т), Yb (до 40 г/т), La (до 111.5 г/т) и Zn (до 86 г/т). Содержания других рудных элементов либо отвечают их кларковым содержаниям, либо превышают их в 2-3 раза. В целом же повышенные содержания Co, V, Sn, W и редких земель в рудах месторождения указывают на его железо - редкометалльный профиль оруденения.

В целом геологическая обстановка и само месторождение Рудный Лог обнаруживает большое сходство с месторождениями рудного поля Канделярия-Пунто побережья Чилийских Кордильер, где оруденение, как и на месторождении Рудный Лог, представлено порфировым типом со спекуляритом и связано с субвулканическим порфировым гранитоидным массивом [9]. Запасы железо-медно-золотопорфирового месторождения Канделярия составляют 470 млн.т. руды с содержаниями меди 0,95%, золота- 0,22г/т, серебра- 3,1г/т. Общие черты сходства обнаруживаются с такими месторождениями как Олимпик-Дам (Австралия) и Боюнь-Обо (Китай).

На объектах скарнового и эпитептермального типов Горного Алтая спекулярит встречается в виде отдельных гнезд, жил и вкрапленности. Промышленных залежей в них пока не найдено.

Для сравнительной характеристики и выявления геохимических особенностей этого интересного минерала впервые проанализированы монофракции спекулярита из разных объектов Горного Алтая, сведения по которым отражены в табл. 1.

1. Содержания (г/т) и отношения элементов в спекуляритах Горного Алтая

Химические элементы и отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Be	0,95	0,48	0,45	0,57	0,61	0,43	0,45	0,33	0,26	0,35	0,32	0,77
Ti	48,5	35,5	34,2	38,6	44,2	20,6	21,3	15,6	12,4	15,2	14,7	40,3
V	174	132	128	135	165	680	576	55,5	47,3	52,5	51,5	110
Cr	13,0	9,9	8,3	10,7	10,2	23	21,5	10	8,2	12,6	10,7	21,3
Mn	11,0	120	152	118	116	6114	5270	25,0	41,6	55,4	54,5	155
Co	0,44	1,44	1,57	1,5	1,7	54,8	50,3	0,53	0,67	1,0	0,8	5,6
Ni	12,1	4,7	4,1	4,9	4,3	14,7	14,2	8,5	6,9	1,5	6,3	6,4
Cu	16,0	5,7	5,5	5,9	5,5	10,0	11,8	170	165	187	155	125
Zn	48,0	50,0	52,1	51,0	52,1	92,0	88,3	41,5	42,4	52,6	45,2	55,4
Ga	12,7	7,7	7,5	7,8	7,7	1,52	1,62	1,8	1,6	2,0	1,5	2,7
Rb	7,5	29,0	31,0	28,7	30,0	4,7	4,8	7,9	8,7	8,5	7,5	30,9
Sr	6,7	14,4	14,8	14,5	15,0	279	225	5,4	6,8	5,9	7,7	77,4
Y	10,4	7,3	7,1	7,4	7,5	14,1	14,2	5,2	8,0	6,4	5,1	13,5
Zr	2,3	2,7	3,2	2,9	2,8	3,0	3,1	9,0	11,3	2,5	2,7	2,3
Nb	8,8	8,97	9,1	8,9	8,8	0,63	0,59	0,8	0,95	1,2	1,1	1,7
Mo	6,9	2,4	2,2	2,5	2,5	1,7	1,8	2,0	1,8	2,1	1,7	2,4
Cs	0,14	0,46	0,48	0,47	0,48	0,11	0,12	0,14	0,21	0,22	0,20	0,33
La	65,8	16,2	15,7	18,5	17,2	3,61	4,4	10,4	9,5	12,0	10,3	20,2
Ce	146	37,7	35,5	38,7	36,6	8,13	8,1	31,5	28,4	30,5	29,6	42,4
Pr	18,8	4,56	4,48	5,1	4,7	1,07	1,12	5,7	3,7	5,0	4,7	5,7
Nd	75,8	18,2	16,7	18,1	19,1	4,94	4,85	16,4	14,2	15,2	15,9	15,4
Sm	11,2	2,81	2,77	3,1	2,9	1,41	1,49	2,53	1,84	2,5	2,2	3,2
Eu	0,49	0,22	0,21	0,32	0,28	3,11	2,88	0,52	0,47	0,55	0,56	0,47
Gd	5,3	1,59	1,45	1,82	1,6	2,42	2,4	1,51	1,42	1,7	1,63	1,55
Tb	0,51	0,21	0,20	0,33	0,24	0,45	0,46	0,18	0,14	0,2	0,20	0,22
Dy	2,08	1,22	1,25	1,36	1,31	2,62	2,61	1,24	1,18	1,3	1,27	1,36
Ho	0,36	0,26	0,26	0,28	0,27	0,53	0,51	0,29	0,22	0,31	0,30	0,28
Er	0,93	0,74	0,74	0,80	0,76	1,47	1,42	0,73	0,88	0,9	0,86	0,65
Tm	0,14	0,12	0,12	0,13	0,13	0,24	0,22	0,13	0,11	0,13	0,12	0,14
Yb	0,92	0,72	0,71	0,70	0,70	1,68	1,66	0,51	0,42	0,5	0,44	0,55
Lu	0,12	0,09	0,09	0,11	0,10	0,25	0,24	0,10	0,08	0,12	0,10	0,11
Hf	0,026	0,03	0,03	0,03	0,03	0,18	0,17	0,05	0,05	0,10	0,08	0,09
Ta	0,13	0,14	0,15	0,14	0,14	0,16	0,16	0,12	0,14	0,12	0,13	0,14
W	54,6	75,0	77,1	66,5	77,2	1,62	1,83	1,52	2,7	2,80	2,50	15,6
Pb	3,61	5,20	5,30	4,9	4,7	8,7	8,6	8,3	9,6	12,6	10,3	8,7
Th	0,38	0,35	0,33	0,36	0,34	0,17	0,18	0,14	0,13	0,12	0,13	0,21
U	0,16	0,28	0,37	0,29	0,29	0,79	0,72	0,10	0,22	0,18	0,24	0,36
Sr/Y	0,64	1,97	2,08	1,95	2,0	19,8	15,8	1,03	0,86	2,56	1,5	5,87
U/Th	0,42	0,8	1,12	0,80	0,85	4,6	4,0	0,71	1,69	1,5	1,84	1,71
Ta/Nb	0,014	0,015	0,016	0,016	0,016	0,25	0,27	0,15	0,15	0,10	0,12	0,08
Rb/Sr	1,12	2,0	2,10	1,97	2,0	0,017	0,027	1,46	1,28	1,44	0,97	0,40
Co/Ni	0,036	0,31	0,38	0,31	0,39	3,72	3,54	0,06	0,09	0,67	0,13	0,87
La/Sm _N	4,82	3,6	3,56	3,76	3,74	1,6	1,85	2,59	3,25	3,02	2,95	3,98
La/Yb _N	1,15	1,52	14,9	17,87	16,59	0,14	1,79	13,0	15,3	16,2	15,8	24,8

Примечание. Анализы выполнены методом ICP-ms в лабораториях ИМГРЭ (г. Москва) и ИГиГ СО РАН (г. Новосибирск); отношения некоторых РЗЭ нормализованы по хондриту [14]; 1,2,3 – генерации спекулярита месторождения Рудный Лог; 4 – Уландрык, 5- Кокоринское, 6- Коксаирское, 7- Коно, 8 и 9 – 1 и 2 генерации спекулярита Синюхинского месторождения; 10- Ульменское, 11- Майское, 12- Чике-Таманское.

Анализ таблицы показывает, что в спекуляритах разных типов оруденения присутствуют элементы-примеси в различных количествах. Типоморфными для спекуляритов Рудного Лога и аналогичных ему Кокоринского, Уландрыкского являются повышенные количества галлия, ниобия, лантана, вольфрама. Для них характерны минимальные отношения тантала к ниобию, лантана к самарию, кобальта к никелю.

Весьма показательны изменения концентраций элементов-примесей от ранней к поздней генерации спекулярита на месторождении Рудный Лог. Указанный тренд в сторону уменьшения содержаний обнаруживают бериллий, титан, ванадий, хром, никель, медь, галлий, иттрий, молибден, церий, празеодим, неодим, самарий, европий, гадоли-

ний, тербий, гольмий, эрбий, туллий, иттербий, лютеций, торий, а также отношений лантана к самарию. Таким образом, налицо тенденция рафинирования многими элементами поздних генераций минерала в эволюции гидротермального процесса на месторождении. Обратную тенденцию имеют марганец, кобальт, цинк, рубидий, стронций, цирконий, ниобий, цезий, тантал, вольфрам, свинец, уран и отношения стронция к иттрию, урана к торию, тантала к ниобию, рубидия к стронцию, лантана к иттербию, кобальта к никелю. В группе РЗЭ фракционирование сопровождается относительным увеличением доли лёгких лантаноидов относительно тяжёлых.

Для эпитермальных золото-серебряных и золото-серебряных со ртутью (Коксаирское, Коно) типохимическими элементами-примесями являются повышенные концентрации ванадия, хрома, никеля, цинка, стронция, иттрия, европия, диспрозия, гольмия, эрбия, туллия, иттербия, лютеция, гафния, урана. Наблюдаются максимальные отношения стронция к иттрию, урана к торию, тантала к ниобию, кобальта к никелю. Им свойственны минимальные количества галлия, рубидия, ниобия, цезия, лантана, церия, празеодима, неодима, самария и отношения рубидия к стронцию, лантана к самарию.

Спекуляриду медно-золото-порфирового проявления Чикетаманского присущи промежуточные значения указанных параметров между порфировыми со спекулитом и эпитермальными объектами.

Спекуляридам золото-медно-скарновых месторождений свойственны относительно повышенные концентрации меди, циркония, свинца, минимально низкие содержания галлия, тербия, урана и отношения кобальта к никелю.

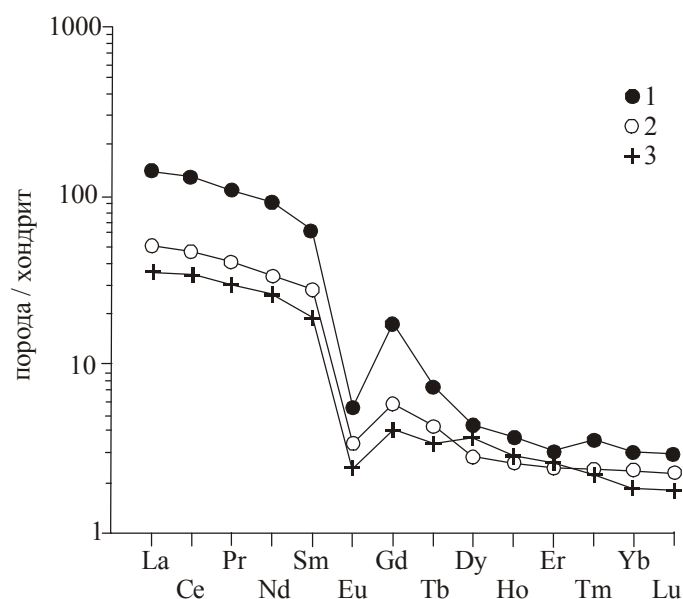


Рис.2. Спектры распределения РЗЭ в спекуляритах разных генераций месторождения Рудный Лог.

Концентрации РЗЭ нормированы по хондриту [14]. Генерации спекулярита: 1 - первая, 2 - вторая, 3 - третья.

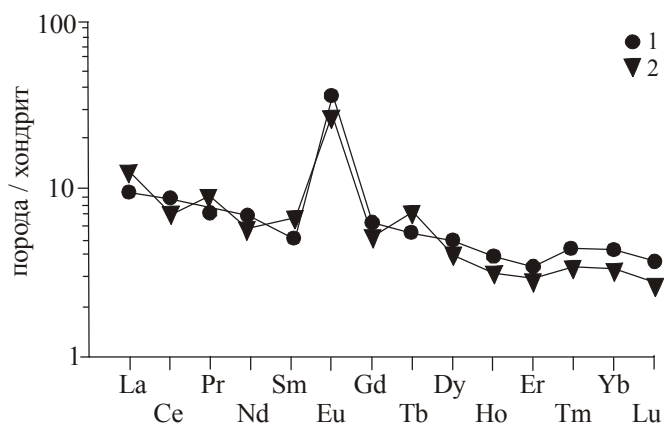


Рис. 3. Спектры распределения РЗЭ в спекуляритах Коксаира и Коно.

Концентрации РЗЭ нормированы по хондриту [14]; 1 - Коксаир, 2 - Коно

Скарново-золото-железородное Майское месторождение имеет спекулит с самыми низкими концентрациями галлия, иттрия, молибдена и минимальным уран-ториевым отношением (табл.1).

На графике распределения РЗЭ в генерациях спекулярита месторождения Рудный Лог наблюдается резкий наклон кривых от лёгких к тяжёлым лантаноидам, что связано с контрастным фракционированием РЗЭ. При этом спектры лантаноидов в разных генерациях почти параллельны и имеют заметный европиевый минимум (рис. 2). В горных породах такой минимум европия принято объяснять наличием в источнике расплава плагиоклаза [6, 12]. Мера европиевого минимума в генерациях спекулярита месторождения Рудный Лог варьирует от 0,17 до 0,29 (табл. 2) и указывает на значительную негативную аномалию, намного отличающуюся от 1 и вполне сопоставимую с таковыми для гранитоидов Горного Алтая и Горной Шории [2].

На диаграмме, отражающей спектры распределения РЗЭ для Коксаира и Коно, наблюдается чёткая позитивная аномалия европия. Кривая распределения РЗЭ имеет выпуклую форму и слабо наклонна в сторону снижения концентраций тяжёлых РЗЭ. Это свидетельствует о менее выраженном фракционировании на этих объектах в сравнении с Рудным Логом.

Обсуждение результатов и выводы. Детальное минералогическое изучение парагенезисов спекулярита показало, что гидротермальный процесс на месторождении Рудный Лог протекал с участием фтора в гидротермальных флюидах (наличие дочерних фторсодержащих минералов - флюорита, фторapatита в качестве дочерней фазы в первичных газовой-жидких включениях кварца 1 генерации). Фторсодержащие минералы отмечены также и на других объектах, в составе которых отмечен спекулит (флюорит в рудах Кокоринского, Коксаирского, Синюхинского, Майского месторождений).

Изучение высоко эволюционированных магматических комплексов (умеренно-щелочных гранитоидов, с высокими содержаниями фтора,

относящихся к A_1 -типу), а также пегматитов показал, что в процессе их эволюции, дифференциации и становления в них происходит фракционирование РЗЭ с отчётливыми негативными аномалиями европия, вызванными тетрадным эффектом [7, 8, 10, 11]. При этом доминирующую роль в возникновении лантанидного тетрадного эффекта играли фтор-комплексы РЗЭ.

На рис. 1 в спектре распределения РЗЭ в спекуляритах месторождения Рудный Лог можно выделить 4 сегмента - La-Sm, Sm-Gd, Gd-Ho, Er-Lu, отражающие «лантанидный тетрадный эффект». На графике для последовательных генераций спекуляритов месторождения Рудный Лог выявляется W-тип (вогнутый) тетрадного эффекта (по А. Масуда и др. [10]).

Нами для подтверждения механизма фракционирования с участием тетрадного эффекта и численной его величины в гидротермальных образованиях месторождения Рудный Лог вычислены некоторые отношения элементов, приведенные в табл. 2.

2. Отношения некоторых РЗЭ и значения тетрадного эффекта в спекулярите месторождения Рудный Лог

Отношения элементов	Спекулярит 1 генерации	Спекулярит 2 генерации	Спекулярит 3 генерации
Y/Ho	28,9	28,01	27,3
Zr/Hf	88,46	90,0	106,67
Eu/Eu*	0,19	0,29	0,17
Sr/Eu	13,67	65,45	70,47
La/Lu	548,33	178,02	174,44
TE _{1..3}	1,25	1,30	1,42

Примечание. TE_{1..3} – тетрадный эффект по [7]. Eu* = (Sm_N+Gd_N)/2.

В отличие от модели W-типа тетрадного эффекта, зафиксированного для спекуляритов Рудного Лога, в железной слюдке Коксаира и Коно с M-типом тетрадного эффекта наблюдаются значительно меньшие величины отношений Zr/Hf и La/Lu, но большие - Sr/Eu. Позитивная аномалия по европию в M-типе тетрадного эффекта сопровождается деплетированной ролью лёгких РЗЭ, что наглядно подтверждается значительно меньшей величиной отношений лантана к лютецию (табл. 2).

W-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в генерациях спекулярита Рудного Лога сопровождается снижением отношений иттрия к гольмию, лантана к лютецию и увеличением отношений циркония к гафнию, стронция к европию в направлении от ранней генерации к поздней. В поведении европия намечается сложная картина – от ранней генерации ко второй происходит увеличение отношения Eu/Eu*, а затем в направлении от второй к третьей генерации - резкое его уменьшение. При этом рост величины тетрадного эффекта в направлении от ранней генерации к поздней происходит от 1,25 до 1,42 (табл.2).

Заслуживает внимания факт очень высоких содержаний иттрия (до 301 г/т), лантана (до 111, 5 г/т), иттербия (до 15,5 г/т), олова (до 144 г/т), вольфрама (до 80 г/т) [1]. В монофракциях спекулярита концентрации указанных элементов на порядок и более ниже, что может быть связано с наличием в рудах месторождения самостоятельных тонких минеральных фаз, не выявляемых современными минералогическими средствами.

В спекуляритах Коксаира и Коно (рис.2), в отличие от таковых Рудного Лога, характер распределения РЗЭ отличается от ранее рассмотренного. Помимо выпуклой формы кривой распределения и европиевого максимума в целом модели распределения близки к M-типу тетрадного эффекта фракционирования лантаноидов по А Масуда и др. [10]. Значения некоторых отношений, связанных с величиной тетрадного эффекта в этих объектах сведены в табл. 2.

Таким образом, в спекуляритах Горного Алтая наблюдается 2 типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ: W - и M-типы, различающиеся не только формой кривой распределения лантаноидов, но и контрастными европиевыми аномалиями. В процессе формирования спекуляритов разных генераций в рудах месторождения Рудный Лог и на других объектах происходило фракционирование многих элементов, в том числе и РЗЭ, которое, вероятно, обязано активной роли летучих компонентов, и в первую очередь - фтору с образованием фтор-комплексов РЗЭ и других элементов, показывающих значительные изменения в процессе эволюции гидротермальных парагенезисов. Приведенные данные по геохимии спекуляритов из разных типов оруденения Горного Алтая позволяют использовать некоторые элементы-примеси в спекулярите и характер распределения спектров РЗЭ как типоморфные и петрохимические признаки различных формационных и геолого-промышленных типов оруденения

Литература

1. Говердовский В.А., Шушумков С.Г., Косолапов Ю.А. Первое в России месторождение антикоррозийного пигмента – железной слюдки // Бюллетень «Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные, водные и лесные ресурсы». Горно-Алтайск, 2004, №1, с. 30-33.
2. Гусев А.И. петрология медно-золотогенерирующих порфировых комплексов Горного Алтая и Горной Шории / Петрология магматических и метаморфических комплексов. Томск, 2002, т. II, с. 79-86.

3. Калугин А.С. Обзор месторождений и рудопроявлений Юго-Восточного Алтая // Железорудные месторождения Алтае-Саянской горной области. Изд-во АН СССР. – 1959, т.1, кн, 2.
 4. Лапин Б.Н. Девонский вулканизм и его роль в металлогении Горного Алтая // Тр. ИГиГ СО АН СССР. – 1963, вып.13. С. 36-47.
 5. Пономарёв В.Г. основные этапы и стадии гипогенного минералообразования гематитового месторождения Рудный Лог // Материалы по геологии и полезным ископаемым Сибири. – М., 1961, вып. 6. С. 68-71.
 6. Склярёв Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В. и др. Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инджиниринг, 2001, 288 с.
 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, p. 489-508.
 8. Liu C.-Q., Zhang H. The lanthanide tetrad effect in apatite from the Altay №3 pegmatite. Xingjiang, China: an intrinsic feature of the pegmatite magma // *Chemical Geology*, 2005, v. 214, p. 61-77.
 9. Marschik R., Fontbote L. The Candelaria – Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au (Zn-Ag) Deposits, Chile // *Econ. Geol.*, 2001, v.96, pp. 1799-1826.
 10. Masuda A., Kawakami O., Dohmoto Y., Takenaka T. Lanthanide tetrad effects in nature: two mutually opposite types W and M // *Geochim. Journal*, 1987, v. 21, p. 119-124.
 11. Monecke T., Kempe U., Monecke J., Sala M., Wolf D. Tetrad effect in rare earth element distribution patterns: a method of quantification with application to rock and mineral samples from granite-related rare metal deposits // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2002, v. 66, p. 1185-1196.
 12. Rollinson H. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation.* New York, 1993, 345 p.
 13. Takahashi Y., Yoshida H., Sato N., Hama K., Yusa Y., Shimisu H. W- and M-type tetrad effects in REE patterns for water-rock systems in the Tono uranium deposit, Central Japan // *Chem. Geol.*, 2002, v. 184, p. 311-335.
 14. Taylor S.R., McLennan S.M. *The continental crust: its composition and evolution.* Blackwell, Oxford, 1985, 356 p.
-