ТИПОХИМИЗМ ШЕЕЛИТОВ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАЦИОННЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ

Е.А. Дзагоева*, А. И. Гусев
*Бийский педагогический государственный университет, г. Бийск
ОАО «Горно-Алтайская экспедиция, с. Малоенисейское

Типохимизм минералов является важнейшей характеристикой многих формационных типов оруденения [7, 13]. Типоморфные и типохимические особенности многих минералов используются для установления уровня эрозионного среза рудных тел [11], зональности оруденения [9], локального прогнозирования эндогенного оруденения [10]. Некоторые элементы–примеси и редкоземельные элементы (РЗЭ) признаны наиболее информативными типоморфными примесями в шеелите [2, 3, 5, 12]. В Горном Алтае шеелит встречается во многих типах месторождений [1, 4, 8, 12]. Нами РЗЭ в шеелитах проанализированы в скарново-шеелитовых, золото-медно-скарновых, золото-скарновых, скарновых золото-редкометальных, золото-черносланцевых, жильных кварц-шеелитовых, грейзеновых молибденит-редкометалльно-вольфрамитовых и стратиформных гидротермально-метасоматических кварц-шеелитовых месторождениях Горного Алтая. Для сравнения данные по концентрациям РЗЭ в шеелитах сопоставлены с содержаниями лантаноидов для сходных генетических типов и по другим регионам (Большой Кавказ, Средняя Азия, Восточный Саян, Приморье). В сообщении использованы 95 анализов шеелитов, выполненных методом ICP-MS в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва).

На треугольной диаграмме e (La - Nd) - e (Sm - Ho) - e (Tb - Lu) фигуративные точки составов РЗЭ в шеелитах всех промышленно-генетических типов месторождений Горного Алтая попадают в комплексное лантан-иттриевое поле, подчёркивая региональную специфику соотношений различных групп лантаноидов в анализируемом вольфрамате - низкие содержания тяжёлых лантаноидов группы тербия-лютеция при некотором варьировании спектра лёгких и средних РЗЭ (рис. 1). При этом в скарново-шеелитовом типе (Никольское, Шемиловское, Плитнинское, Светлое) отмечаются самые низкие концентрации элементов группы Sm - Ho. В этом типе месторождений концентрации РЗЭ в шеелитах весьма однородны. Отношение Y/Ce в них дают узкий интервал колебаний от 1,4 до 1,45. На диаграмме составы лантаноидов скарново-шеелитовых месторождений и проявлений Горного Алтая располагаются между полями вольфраматов кальция Тырныауза (Северный Кавказ) и Кара-Тюбе (Средняя Азия). В отличие от шеелитов скарновых месторождений других регионов алтайские характеризуются сравнительно небольшими отношениями лёгких и средних РЗЭ относительно тяжёлых (отношения $Gd/Yb_{(N)}$ и $La/Yb_{(N)}$).

1. Редкоземельные элементы (в г/т) в шеелитах различных формационных типов оруденения Горного Алтая (в пересчёте на TR_2O_3)

Месторождения, проявления, генерации шеелитов	n	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Y	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	? TR	Y/Ce	$La/Sm_{(N)}$	$Gd/Yb_{(N)}$	$La/Yb_{(N)}$
Скарново-шеелитовые																					
Плитнинское	5	3,4	22,8	12,8	11,9	7,5	0,5	7,0	0,2	32,3	-	0,1	0,8	-	0,5	0,1	0,027	1,42	0,28	11,1	4,49
Щемиловское	3	4,4	21,6	13,1	12,2	7,8	0,5	7,1	0,2	31,1	-	0,2	1,0	-	0,7	0,1	0,011	1,44	0,35	11,86	4,28
Никольское	4	3,5	22,7	12,8	12,1	7,5	0,4	7,5	0,1	31,8	-	0,1	0,8	-	0,6	0,1	0,021	1,4	0,29	10,1	3,94
Светлое	3	4,1	22,2	12,9	12,0	7,3	0,5	7,0	0,1	32,2	-	0,1	0,7	-	0,8	0,1	0,022	1,45	0,35	7,1	3,47
Золото-медно-скарновые																					
Синюхинское	3	6,5	13,7	5,5	17,7	9,5	1,0	9,7	0,2	32,0	0,3	1,0	1,1	0,1	1,6	0,2	0,08	2,34	0,43	4,91	2,74
Чойское	2	6,6	19,1	5,2	13,1	10,8	1,1	9,2	0,2	30,2	0,1	1,2	1,1	0,2	1,5	0,2	0,09	1,58	0,38	4,96	2,97
Скарново-золото-редкометалльное																					
Карагу	2	6,8	15,7	5,6	15,9	10,2	1,2	9,5	0,3	33,5	1,9	1,1	1,1	0,3	1,6	0,3	1,10	2,13	0,42	4,8	2,87
Золото-черносланцевое																					
Лог №26	3	6,7	13,9	5,3	12,9	10,7	1,2	8,9	0,3	41,1	4,2	1,0	1,1	0,8	1,4	0,3	0,22	2,95	0,39	5,16	3,24
Жильные кварц-шеелитовые																					
Осиновское	3	10,9	12,2	12,2	10,1	10,6	2,8	9,7	0,5	28,7	-	0,8	0,7	-	0,5	0,3	0,082	2,35	0,65	15,4	14,4
Урзарсайское	4	15,6	10,7	8,7	9,0	13,1	2,0	6,2	1,1	29,6	-	0,9	0,8	0,2	1,8	0,3	0,106	2,77	0,75	2,79	5,85
Токаревское	3	8,4	18,7	9,5	9,2	14,1	1,8	6,1	1,2	28,5	-	0,7	0,9	0,2	1,1	0,3	0,074	1,52	0,38	4,49	5,17
Дмитриевское	3	10,8	13,9	11,4	10,2	11,1	2,7	9,6	0,4	26,2	-	0,7	0,8	0,3	1,5	0,3	0,072	1,88	0,61	5,19	4,87
Грейзеновые молибден-редкометалльно-вольфрамитовые и кварцево-шеелитовые																					
Калгутинское, 1 ген.	5	7,0	17,0	10,23	10,1	5,1	0,2	4,4	0,2	42,7	0,7	0,4	0,6	0,3	0,9	0,2	0,134	2,51	0,86	3,96	5,25
Калгутинское, 2 ген.	2	7,2	19,5	12,7	11,1	7,2	0,9	5,8	0,2	34,1	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,053	1,75	0,63	15,66	16,2
Шинокское	3	6,4	17,3	9,1	9,8	5,0	0,3	5,8	0,2	40,8	2,1	0,6	0,7	0,5	1,1	0,3	0,123	2,36	0,8	4,27	3,93
Колыванское	2	6,8	17,2	8,3	7,6	7,2	0,4	7,8	0,2	40,6	1,1	0,6	0,8	0,4	0,8	0,2	0,093	2,36	0,59	7,92	5,75
Гидротермально-метасоматические кварц-шеелитовые																					
Токаревское, 1 ген.	4	7,4	9,6	5,4	8,0	6,3	0,4	6,0	0,1	47,6	4,7	0,6	0,8	0,5	2,3	0,3	0,113	4,96	0,74	2,11	2,18
Токаревское, 2 ген.	2	8,8	12,7	7,4	8,9	7,7	0,9	6,7	0,2	40,4	0,9	0,2	0,5	0,2	1,4	0,2	0,063	3,18	0,72	3,88	4,25
Месторождения других регионов																					
Тырныауз (Б. Кавказ)	8	20,2	11,3	3,0	19,1	15,3	0,5	6,0	1,1	21,2	1,0	0,1	0,5	0,2	0,3	0,3	0,031	1,88	0,83	16,3	45,8
Кти-Теберда (Б. Кавк.)	25	1,8	6,2	1,2	6,7	3,5	0,7	8,1	0,1	54,2	3,5	1,0	5,3	1,1	6,1	0,5	0,56	8,74	0,32	1,1	0,20
Лермонтовское (Приморье)	3	32,3	8,7	1,5	21,0	2,5	0,5	4,5	1,8	26,0	0,4	0,1	0,2	-	0,1	-	0,026	1,12	8,2	36,7	220,0
Уллуг-Алым (В. Саян)	4	2,9	13,2	3,2	15,8	8,4	2,5	10,1	2,0	35,0	1,5	0,7	4,0	-	1,6	-	0,56	2,65	0,22	5,2	1,23
Кара-Тюбе (Ср. Азия)	2	5,2	15,2	4,5	19,5	15,4	0,6	12,5	1,2	17,0	8,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,026	1,12	0,21	51,0	17,8

Примечание: n- количество проб; отношения некоторых РЗЭ нормализованы по хондриту [14].

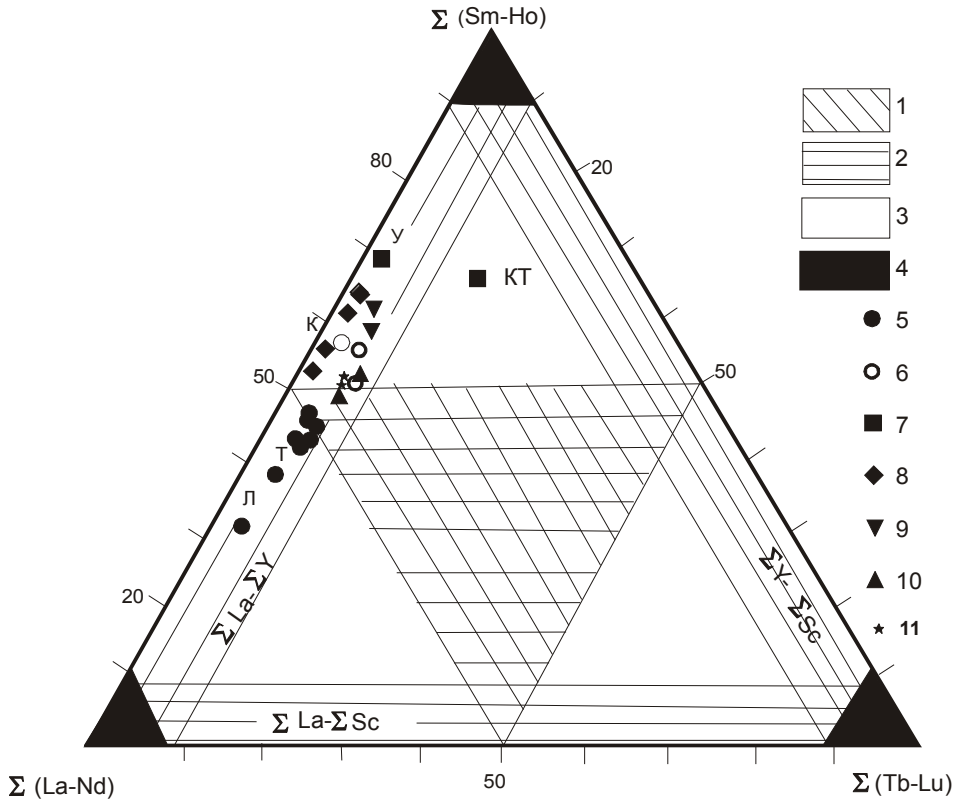

Рис.1. Диаграмма e(La-Nd) – e (Sm-Ho) – e(Tb-Lu) составов РЗЭ в шеелитах месторождений Горного Алтая.
Составы лантаноидов (по Д.А. Минееву): 1- полные, 2- комплексные, 3- селективные, 4- редкоселективные. Месторождения Горного Алтая: 5- скарново-шеелитовые, 6- жильные кварц-шеелитовые, 7- гидротермально-метасоматические кварц-шеелитовые, 8- грейзеновые молибден-редкометалльно-вольфрамитовые, 9- золото-медно-скарновые и золото-скарновые, 10- золото-черносланцевые. 11- скарновые золото-редкометалльные.

В шеелитах золото-медно-скарновых (Синюхинское) и золото-скарновых (Чойское) месторождений, локализующихся в обособленном поле диаграммы, характерны более высокие концентрации суммы иттриевых земель, а также появление в шеелитах этой группы месторождений диспрозия и тулия. Они характеризуются более низкими отношениями лёгких РЗЭ относительно тяжёлых (отношение La/Yb(N)).

2. Спектры РЗЭ в различных образованиях гидротермально-метасоматического изменения пород Токаревского месторождения (в г/т)

Компоненты	Неизменённые песчаники			Изменённые песчаники	Эпидот в изменённых песчаниках
La	8,0	7,6	10,5	6,5	6,4
Ce	18,2	18,4	19,3	22,3	22,7
Pr	6,8	7,2	10,1	4,2	4,3
Nd	8,3	8,2	12,7	4,3	4,2
Sm	12,3	13,1	10,4	8,1	8,2
Eu	2,0	1,2	1,5	0,9	0,8
Gd	6,0	5,6	4,5	4,4	4,3
Tb	1,0	0,8	1,1	0,4	0,5
Y	30,8	31,0	20,3	41,8	42,3
Dy	2,3	2,4	2,0	1,3	1,6
Ho	0,5	0,6	1,0	0,2	0,3
Er	0,8	0,9	1,1	0,4	0,5
Tm	0,3	0,2	0,7	0,1	0,1
Yb	2,4	2,6	3,3	3,4	3,6
Lu	0,3	0,2	0,5	0,2	0,2
сумма TR	0,345	0,286	0,306	0,402	0,123
Y/Ce	1,69	1,68	1,05	1,87	1,86

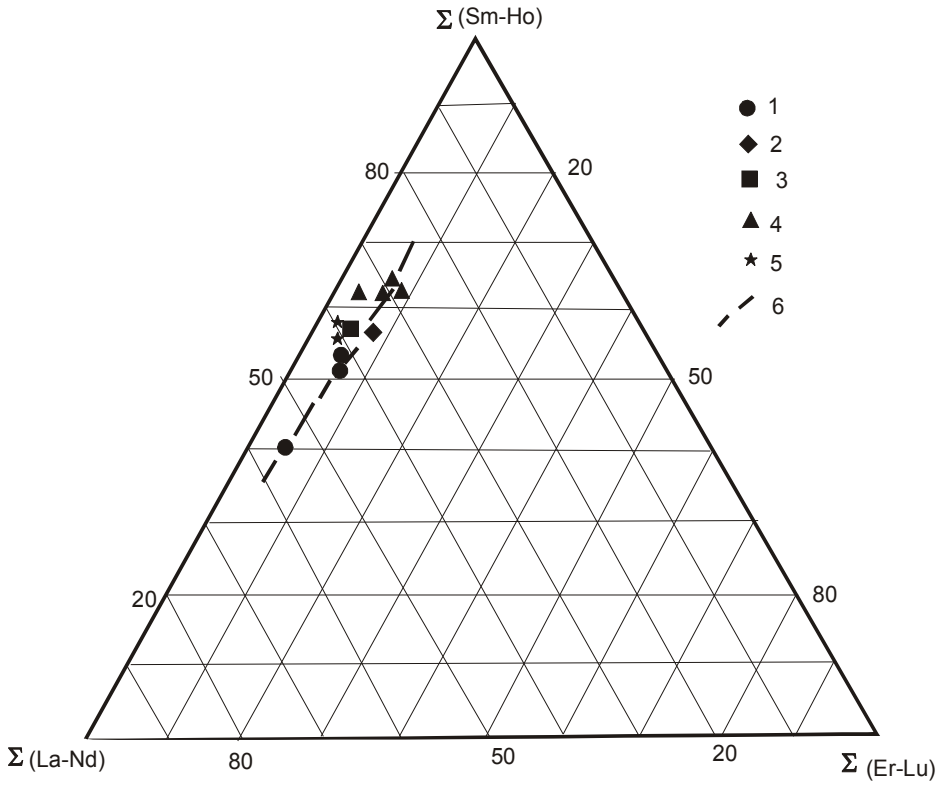

Рис. 2. Тренд эволюции составов РЗЭ в ходе метасоматического изменения песчаников Токаревского месторождения.

1- неизменённые песчаники, 2- эпидот в эпидотизированных песчаниках, 3- эпидотизированный песчаник, 4- вкрапленный шеелит 1 генерации в изменённых песчаниках, 5- шеелит 2 генерации в прожилках; 6- тренд изменения составов РЗЭ в шеелитах Горного Алтая.

В вольфраматах кальция скарнового золото-редкометального проявления Карагу эта тенденция относительных увеличений иттрия в сравнении с церием сохраняется и происходит параллельное увеличение концентраций тяжёлых лантаноидов в сравнении с лёгкими.

В шеелите золото-черносланцевого месторождения Лог №26 ещё более высокие концентрации элементов иттриевой группы, что отражается на отношениях Y/Ce. В них и значительно более высокие концентрации диспрозия, тулия и суммы TR.

Шеелиты жильных кварц-шеелитовых месторождений (Осиновское, Урзарсайское, Токаревское) имеют близкие концентрации РЗЭ с вольфраматами предыдущей группы, но отличаются от последней отсутствием диспрозия. Отношение Y/Ce в них варьирует от 1,52 до 2,77.

Характерны самые высокие концентрации Y в шеелите из гидротермально-метасоматических стратиформных рудных тел Токаревского месторождения. Отношение Y/Ce в минерале первой генерации этого генетического типа достигает 4,96. На диаграмме составов РЗЭ шеелит этого типа занимает промежуточное положение между Уллуг-Алымским (Вост. Саяны) и Кти-Тебердинским (Большой Кавказ) стратиформными месторождениями.

На Токаревском месторождении присутствуют руды двух генетических типов: жильного кварц-шеелитового и стратиформного гидротермально-метасоматического. Шеелит стратиформных рудных тел Токаревского месторождения, в отличие от жильного, имеет значительно более высокую сумму TR. При этом установлено, что увеличение суммы TR и в особенности концентраций Y в шеелите обязано процессу селективного обогащения в процессе метасоматического изменения песчаников (табл.2).

На диаграмме прослеживается чёткий тренд эволюции составов РЗЭ от неизменённых песчаников к изменённым, и далее к эпидоту и шеелиту по стратиформному оруденению Токаревского месторождения (рис.2). Причина обогащения шеелита иттрием кроется в том, что в процессе предрудного взаимодействия щелочных растворов с песчаниками и кристаллизации альбита, калиевого полевого шпата, происходил вынос тяжелых РЗЭ из них. Последние обогащались легкими и средними лантаноидами. Тяжелые РЗЭ и иттрий накапливались в растворах. Затем в ходе инверсии кислотности-щелочности растворов происходило отложение редкоземельного эпидота и шеелита, которые характеризуются общим обогащением суммы TR и в особенности иттрием. Во второй генерации шеелита, образующей тонкие просечки и прожилки в рудах, происходит заметное селективное обогащение лёгкими РЗЭ и уменьшение средних и тяжёлых РЗЭ, что особенно контрастно проявляется в соотношениях иттрия и церия, а также в нормированных относительно хондрита отношениях La/Sm(N), Gd/Yb(N), La/Yb(N) (табл. 1 и рис.2).

Грейзеновые молибден-редкометально-вольфрамитовые (Калгуты, Шинокское) и грейзеновые кварц-

шеелитовые (Колыванское) месторождения и проявления характеризуются шеелитами с самыми высокими в регионе значениями суммы TR и повышенными концентрациями Y. На диаграмме шеелиты этого типа показывают самые низкие концентрации скандиевой группы РЗЭ (тербия-лютеция). В поздней генерации шеелита Калгутинского месторождения наблюдается заметное снижение суммы TR, концентраций Y и отношений Y/Ce. Отмечается также заметное обогащение второй генерации шеелита средними и лёгкими РЗЭ относительно тяжёлых (отношения Gd/Yb(n) и La/Yb(N)).

Таким образом, охарактеризованные особенности поведения РЗЭ в шеелитах указывают на типоморфизм соотношений различных групп лантаноидов для конкретных геолого-промышленных и генетических типов оруденения Горного Алтая. Спектр лантаноидов имеет специфические региональные особенности, характеризующиеся весьма низкими концентрациями группы скандиевых земель (Tb - Lu). Однозначный тренд увеличения суммы TR прямо коррелируется с увеличением концентраций Y. Общая эволюция и тренд изменения спектров РЗЭ от скарново-шеелитовых месторождений к кварцево-шеелитовым, грейзеновым и гидротермально-метасоматическим с последовательным увеличением доли иттриевых земель совпадает с нарастанием кислотности растворов, формировавшим шеелитовое оруденение в указанном ряду генетических типов оруденения. Полученные данные могут быть использованы в качестве дополнительного признака для идентификации различных формационных типов оруденения по спектрам редкоземельных элементов в шеелитах.

Литература

1. Амшинский Н.Н., Ладынина И.Н. Типы вольфрамового оруденения Горного Алтая и закономерности его размещения // Тез. IV конференции по минералогии, геохимии, генезису и комплексному использованию вольфрамовых месторождений СССР. М., 1981, с. 36-39.
2. Багдасаров Ю.А. Некоторые черты геохимической вертикальной зональности вольфрамового месторождения Кти-Теберда (Кургашинчатское рудное поле, Кавказ) // Изв. АН СССР, сер. геол., 1979, № 11, с. 107-115.
3. Гетманская Т.И., Щербакова М.Я., Могилевская С.Б. и др. Типоморфные особенности шеелитов Забайкалья по данным ЭПР, люминесценции и нейтронно-активационного анализа // Записки ВМО, 1984, вып.4, с.464-474.
4. Говердовский В.А. Геологическая позиция и формационные типы вольфрамового оруденения Горного Алтая и сопредельных территорий Тывы и Монголии / Природные ресурсы Горного Алтая. Горно-Алтайск, 1997, с. 86-109.
5. Горобец Б.С., Научитель М.А. Фотолюминесценция минералов группы шеелита / Конституция и свойства минералов. Киев: Наукова Думка, 1975, вып. 9, с. 98-105.
6. Горобец Б.С., Кудрина М.А. Типоморфные особенности шеелита по спектрам фотолюминесценции редких земель / Конституция и свойства минералов. Киев: Наукова Думка, 1976, вып. 10, с. 82-88.
7. Гусев А.И. Селен и теллур в пиритах медных и свинцово-цинковых месторождений Северного Кавказа//Геохимия, 1978, №4, с.602-606.
8. Гусев Н.И., Гусев А.И. Золотогенерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы, 1998, №2, с. 67-78.
9. Ерёмин Н.И., Сергеева Н.Е., Кузнецова Т.П., Шишаков В.Б. Об изменении кобальт-никелевого отношения в пиритах колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений. // Доклады АН СССР, 1975, т.223, № 6, с.823-831.
10. Куприянова И.И. Типоморфизм минералов в локальном прогнозировании эндогенного оруденения / Проблемы генетической и прикладной минералогии. М., 1990, с.40-54.
11. Иванова И.З. Способ определения уровня среза рудных тел // Авторское св-во СССР, № 1430929, 1975, 45 с.
12. Сотников В.И. Никитина Е.И. Молибден-редкометалльно-вольфрамовая (грейзеновая) формация Горного Алтая. Новосибирск, Наука, 1971, 260 с.
13. Черницын В.Б., Гусев А.И., Андреев Ю.П., Коновалова Е.М. Висмут и сурьма в галенитах медных и полиметаллических месторождений Северного Кавказа //Доклады АН СССР, 1977, т.225, №5, с.567-570.
14. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford. 1985, 287 p.