GEOGRAPHICAL SCIENCES

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93 ВЫСОКО-SR/У ГРАНИТОИДЫ КАВМИНВОДСКОГО КОМПЛЕКСА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Гусев А.И.

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru

Приведены данные об отнесении гранитоидов к высоко-Sr/Y типу, характеризующимся низкими концентрациями Y и HREE, указывающие на генерацию путём частичного плавления материала утолщённой нижней земной коры. Выявлено два типа тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов. Обосновано проявление W и M типов тетрадного эффекта фракционирования различными параметрами флюидного режима высоко эволюционированных лейкогранит-порфиров. Приведены данные, подтверждающие отнесение гранитоидов кавминводского комплекса к шошонитовой серии гранитоидов. Показаны особенности влияния тетрад-эффекта на характер распределения в породах различных элементов и его влияния на оруденение.

Ключевые слова: высоко-Sr/Y гранитоиды, частичное плавление нижней коры, тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов

HIGH-SR/Y GRANITOIDS OF KAVMINVODSKII COMPLEX OF GREAT CAUCAZ

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Data about concerning of granitoids kavminvodskii complex to high- Sr/Y type lead, characterizing low concentrations Y and HREE, showing on the generation by way partial melting material thickness lower crust. Two types tetrad effect fractionation of rare earth elements. Manifestation of W and M- types tetrad effect fractionation rare earth elements substantiated by different parameters of fluid regime of high evolutionated leuco-granite porphyries. Data, conferming concerning of granitoids kavminvodskii complex to shoshonitic series. Peculiariaties of influence tetrad effect fractionation on the character distribution in rocks different elements showed and it is influence on the ore mineralization.

Keywords: high- Sr/Y granitoids, partial melting of lower crust, tetrad effect fractionation rare earth elements

В последние годы наблюдается большой поток исследований по петрогеохимическим характеристикам гранитоидов с целью их типизации. Высоко-Sr/Y тип гранитоидов имеет специфический генезис, в котором просматриваются аспекты плавления утолщённой земной коры и контаминация корового материала мантийной составляющей. Кавминводский комплекс несёт типичные черты высоко-Sr/Y типа и с ним прагенетчески связано урановое оруденение. Это весьма актуально и рассмотрение геохимических особенностей этих рудоносных гранитоидов с современных позиций позволит выработать в качестве эталона ураноносных гранитоидов модель геохимических критериев специфики этого типа. Цель исследования - выявить геохимические и физико-химические особенности высоко-Sr/Y гранитоидов кавминводского компоекса.

Результаты исследований и их обсуждение

Кавминводский ареал гранитоидов входит в состав Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского орогенного пояса Евразии. В кавминводском неогеновом комплексе содержатся лишь небольшие включения субщелочных биотитовых габброидов, что, вероятно, связано с малым уровнем эрозионного среза массивов Кавказских Минеральных Вод. Лакколиты последних включают 4 фазы: субщелочные габброиды, граносиенит-порфиры, гранитпорфиры и лейкогранит-порфиры.

В наиболее крупных лакколитах распределение фазовых разновидностей зонально. При этом наиболее эволюционированные поздние фазы лейкогранит-порфиров локализуются на периферии лакколитов и в виде выступов и сателлитов, показывая обратную зональность. Известно, что обратная зональность массивов проявляется тогда, когда более эволюционированные порции магмы локализуются на периферии; контакты между фазами и фациями контрастные с дискордантными взаимоотношениями. Такая зональность проявляется в том случае, когда скорость становления массивов малая и предыдущие фазы внедрения успевают закристаллизоваться и тогда более поздние фазы внедряются на периферию плутонов с образованием обратной зональности. В глубинном очаге создавались условия для появления высоко эволюционированных и флюидизированных лейкогранит-порфиров.

Граносиениты содержат во вкрапленниках калий-натровый полевой шпат, пла-

гиоклаз, клинопироксен, магнезиальный биотит. Основная ткань породы представлена кварцем, полевыми шпатами и мельчайшими чешуйками слюды. Клинопироксен идиоморфен, субидиоморфен. Образует длиннопризматические кристаллы диопсид-салитового состава. Слюды представлены магнезиальным биотитом и фогопитом, дающих листочки и чешуйки. Акцессории представлены апатитом, сфеном, магнетитом, ильменитом.

Гранит-порфиры сложены вкрапленниками кварца, плагиоклаза, К-Na полевого шпата, биотита роговой обманки и основной тканью породы, представленной тонкозернистым агрегатом кварца и калий-натрового полевого шпата. Интрателурический вкрапленники амфибола представлены железистыми паргасит-ферроэденитами. Листочки биотита относятся к магнезиальным разностям. Акцессории включают зёрна апатита, сфена, циркона, флюорита.

Лейкогранит-порфиры содержат во вкрапленниках кварц и кали-натровый полевой шпат. Основная масса породы кварц-полевошпатовая с тонко рассеянными включениями флюорита. Акцессории – монацит, апатит, ортит. Химический состав пород приведен в табл. 1.

Таблица 1

Представительные	анализы п	юродных	типов	кавминводского	о комплекса
*	(оксидь	и в %, эле	менты	в г/т)	

Оксиды, элементы	1	2*	3	4*	5*	6	7*	8	9*	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	68,3	66,2	71,85	72,50	71,75	72,8	72,9	73,3	72,6	73,4	73.6
TiO,	0,30	0,38	0,31	0,08	0,10	0,07	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	14,96	15,4	14,76	14,70	14,98	14,75	14,98	14,43	14,91	14,89	14,95
Fe ₂ O ₃	1,32	2,40	0,74	1,06	1,30	1,20	0,47	0,41	0,25	0,30	0,28
FeO	0,62	0,43	0,50	0,10	0,10	0,12	0,30	0,33	0,25	0,31	0,33
MnO	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03
MgO	1,10	1,36	0,32	0,15	0,19	0,17	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04
CaO	1,80	1,39	0,55	0,35	0,42	0,40	0,04	0,44	0,69	0,30	0,42
Na ₂ O	4,32	4,21	4,80	4,35	4,22	4,32	5,21	5,22	5,31	4,89	4,98
K ₂ O	5,30	6,77	5,32	4,60	4,69	4,98	4,89	4,20	4,50	4,97	5,03
P_2O_5	0,34	0,38	0,28	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,03	0,05	0,04
Ga	20	21	30	29	28	29	36	35	34	34	32
Rb	271	231	425	436	602	564	602	564	510	610	612
Sr	1154	1177	254	273	408	423	105	96	93	108	105
Y	16	17	11	5	5	6	5	4	6	6	5
Zr	165	179	123	110	148	132	125	124	110	106	109
Nb	15,1	16,4	12,7	21,2	26,2	22,5	54,5	34,5	30,6	40,3	41,7
Mo	0,6	0,5	0,5	0,6	0,2	0,4	0,3	1,5	0,3	1,0	0,8
Cs	23	22	25	65	41	45	110	72	90	94	98
Ba	2431	2362	204	265	524	487	59	45	56	60	61
La	63,1	62,7	17,8	6,0	12,5	4,2	2,5	2,6	1,1	1,0	0,9
Ce	118,2	116,8	33,4	15,0	32,4	11,2	6,3	6,1	4,2	5,1	5,5
Pr	11,8	12,0	4,2	1,5	2,9	1,5	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
Nd	43,2	45,3	13,7	5,2	9,9	4,7	2,1	2,0	1,4	1,8	2,0
Sm	7,3	7,7	2,2	0,9	1,7	1,8	0,5	0,6	0,3	0,4	0,3
Eu	1,2	1,6	0,38	0,24	0,40	0,32	0,11	0,10	0,06	0,06	0,07
Gd	4,6	5,19	2,1	0,72	1,22	1,4	0,36	0,34	0,30	0,65	0,66
Tb	0,55	0,52	0,16	0,30	0,37	2,3	0,06	0,03	0,06	0,31	0,35
Dy	2,3	2,4	0,78	0,59	0,93	1,2	0,33	0,31	0,38	0,60	0,62
Но	0,4	0,41	0,32	0,13	0,19	0,11	0,09	0,09	0,09	0,12	0,12
Er	1,23	1,25	0,42	0,41	0,54	0,31	0,32	0,31	0,31	0,40	0,39
Tm	0,13	0,12	0,08	0,07	0,09	0,13	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07
Yb	1,2	1,01	0,65	0,53	0,59	0,69	0,55	0,22	0,50	0,45	0,38

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ №11, 2014

									Окон	чание	габл. 1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lu	0,14	0,15	0,10	0,10	0,12	0,08	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10
∑РЗЭ	271,3	274,1	87,3	36,7	68,8	35,9	18,7	17,1	15,2	17.6	17,0
Hf	4,5	5,17	6,5	5,92	6,48	5,5	8,23	8,06	6,74	8,10	8,12
Та	1,21	1,25	1,8	1,60	1,50	1,65	6,0	4,1	8,6	7,2	7,3
W	4,1	3,6	2,8	6,4	1,4	4,6	6,0	4,1	6,9	7,1	7,0
Tl	4,1	3,5	5,1	3,8	4,2	4,1	7,9	5,3	6,9	7,1	7,0
Pb	143	151	154	233	187	205	263	257	209	212	211
Bi	0,9	0,8	2,1	2,1	2,1	2,2	4,1	0,7	7,1	4,5	5.2
Th	46	47	50	48	54	52	32	23	13	20	21
U	16	15	24	15	13	14	24	31	17	16	15
Li	38,2	37,4	75	150,0	43,4	45,8	210	76,3	201,4	203	205
Be	16,1	15,1	34	25,2	24,4	24,5	21,5	36,1	40,0	41	43
В	37,5	36,3	11	66	28,4	30,6	129	63	249	155	178
Sc	5,4	5,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,1	1,1	1,1	1,2	1,0
V	45,7	49,8	23	18,8	22,5	20,4	17,4	17,7	13,7	12,5	13,3
Cr	17,4	18,9	6,7	7,5	8,7	5,6	7,0	5,2	11,0	6,5	7,0
Со	4,5	4,7	1,4	0,4	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
Ni	14,5	15,1	6,5	3,8	5,2	4,2	4,7	5,3	5,8	4,7	4,4
Cu	9,3	8,4	3,5	4,9	1,5	3,3	12	32	12	15	14
Zn	31,1	33,0	43	29,9	92,1	54,6	23,5	23,2	35,2	24,6	26,2
La/YbN	35,1	41,5	18,2	7,6	14,1	3,05	6,9	7,8	1,53	1,51	1,57
Sr/Y	72,1	69,2	23,1	54,6	81,6	70,5	21,0	24,0	15,5	18,0	21,0
Th/U	2,9	3,1	2,1	3,2	4,1	3,7	1,3	0,74	0,76	1,25	1,4

Примечание. 1 – граносиенит-порфир (г. Змейка); 2 – граносиенит-порфир (г. Верблюдка); 3 – гранит-порфир (г. Бештау); 4, 5, 6 – лейкогранит-порфиры (Козьи Скалы); 7*, 8, 9*, 10, 11 – Лейкогранит-порфиры (г. Бык) * – анализы заимствованы из работы [Носова, Сазонова и др., 2005].

Почти все представительные анализы гранитоидов (за исключением 2 лейкогранит-порфиров горы Бык) относятся к слабо изменённым вторичными процессами разностям, подтверждающимся высокими отношениями Th/U, превышающим 1. Состав породных типов кавминводского комплекса близок к шошонитовым гранитоидам. Все породные типы обогащены LILE, LREE и летучими компонентами, такими как F, B, P.

На классификационных диаграммах гранитоиды попадают в поле шошонитовой серии. По соотношениям рассеянных элементов они также локализуются в поле шошонитовых гранитоидов. Самая ранняя фаза граносиенит-порфиров располагается вблизи границы щелочной и высоко калиевой известково-щелочной и шошонитовой серий пород. Характерно, что лейкогранит-порфиры горы Бык образуют самостоятельное кучное поле фигуративных точек на канонической диаграмме, что связано с особенностями состава наиболее флюидизированных лейкогранитов, находящихся на наиболее высоком вертикальном уровне. В породных типах проанализированы содержания изотопов стронция и неодима [Дубинина, Носова и др., 2010]. Установлено, что содержания єNd (t) не высокие и варьирует в узких пределах от -4,2 до -2,1. Отношение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr высокие и варьируют в пределах от 0,7077 (в ксенолитах габбро) до 0,70855 в граносиенит-порфирах и лейкогранит-порфирах, указывающие «мокрый» анатексис метаосадочных пород и на контаминацию корового материала. Этим контаминантом, как считают авторы [Дубинина] являются осадочная карбонатная высокомагнезиальная порода, содержащая повышенные концентрации стронция и бария.

В породах кавминводского комплекса снижение суммы РЗЭ (редкоземельных элементов) от ранней фазы к заключительным лейкогранит-порфирам коррелируется с уменьшением нормированных к хондриту отношений La/YbN. Главной геохимической особенностью гранитоидов комплекса является высокое отношение Sr/Y (от 15,5 до 81,6). Низкие содержания Y (от 4 до 17 г/т) и тяжёлых HREE в породах указывают на их генерацию путём частичного плав-

.

ления материала нижней части утолщенной земной коры.

Нами изучено распределение РЗЭ в породах и выявлены два типа тетрадного эффекта распределения лантаноидов. Программа для расчёта значений тетрадного эффекта составлена А.А. Гусевым [Гусев, Гусев, 2011]. Значения тетрадного эффекта (ТЭ) и некоторые показательные соотношения элементов приведены в табл. 2.

Таблица 2 Отношения химинеских элементор и значения тетралисто эффекта фракционирования

РЗЭ в г	ранит-і	орфира	ах и лей	ікограні	ит-порф	рирах ка	авминво	одского	компле	кса
0	1	2	2	4	5	6	7	0	0	Voum

Отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Хондрит
эл-тов и зна-										
чения 19										
Y/Ho	34,7	38,4	26,3	54,5	55,5	44,4	66,7	50,0	41,7	29,0
Eu/Eu*	0,039	0,064	0,045	0,043	0,055	0,058	0,044	0,026	0,034	0,32
La/Lu	178,0	60,0	65,7	38,2	27,8	28,9	12,2	8,3	7,5	0,975
Zr/Hf	18,9	18,6	22,8	24,0	15,2	15,0	16,3	13,0	13,4	36,0
Sr/Eu	668,4	1137,5	1020	1321,8	328,1	685,7	1550	1800	1500	100,5
TE _{1,3}	1,54	1,34	1,28	2,67	0,85	0,72	1,24	1,68	1,73	-

Примечание. ТЕ_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ по В. Ирбер []. Еи*= (Sm_N+Gd_N)/2. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [Anders, Greevese, 1999]. 1 – гранит-порфир (г. Бештау); 2, 3, 4 – лейкогранит-порфиры (Козьи Скалы); 5, 6, 7, 8, 9 – лейкогранит-порфиры (г. Бык).

Соотношения таких элементов как Y/Ho, La/Lu, Sr/Eu намного превышают такие соотношения элементов в хондритах. Отношения же Eu/Eu*, Zr/Hf значительно меньшие, чем в хондритах, что указывает на экстремальную дифференцированность породных типов кавминводского комплекса.

Фракционирование РЗЭ при тетрад-эффекте происходит при участии сложных комплексных соединений – фтор-комплексов таких металлов как U, Th, Mo, W, Be [Bau, Dulski, 1995]. А. Масуда с соавторами [Masuda et all., 1987] выявили 2 типа тетрадного эффекта: W (вогнутая кривая распределения) и М (выпуклая кривая распределения РЗЭ). В морской воде, грунтовых водах, известняках, других осадочных породах обнаруживается W-тип тетрадного эффекта [Masuda et all., 1987]. Тетрад-эффект М-типа обнаруживается чаще всего в высоко эволюционированных гранитоидных системах на поздних стадиях дифференциации, при гидротермальных изменениях и в различных типах минерализации. М-тип тетрадного эффекта по литературным данным выявлен в лейкогранитах во многих регионах. С учётом аналитической погрешности ISP-ms (масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой), тетрад-эффект считается значимым при $TE_i > 1,1$ (М-тип) или $TE_i < 0,9$ (W-тип) [Irber, 1999; Monecke, Kempe, 2002]. С этих позиций в породах кавминводского комплекса выделяется оба типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ: М и W. Характерно

присутствие двух типов тетрадного эффекта в лейкогранит-порфирах г. Бык, что связано с двумя причинами: тетрадный эффект типа М проявлен в лейкогранит-порфирах благодаря высокой активности и концентрации фтора во флюидах, имевшего глубинный трансмагматический характер поступления в глубинный очаг. А развитие W-типа тетрадного эффекта, вероятно, связано с высокой долей вадозных вод и их поглощением в процессе становления и кристаллизации лейкогранит-порфиров г. Бык в прикровельной части массива вблизи контакта с вмещающими обводнёнными породами.

Другая примечательная особенность проявления тетрадного эффекта заключается в том, что вблизи рудных тел г. Бык и в районе штольни месторождения урана Козьих Скал наблюдаются наиболее высокие значения тетрадного эффекта (1,73 и 2,67, соответственно) (табл. 2), что связано с аномальными параметрами флюидного режима вблизи рудных тел.

На диаграмме Zr/Hf – TE_{1,3} фигуративные точки составов пород локализуются ниже области варьирования составов магматических пород и разные типы тетрадного эффекта проявляют различные геохимические закономерности. Увеличение тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа происходит по мере увеличения отношений Zr/Hf, приближающихся к области варьирования этих значений в магматических породах (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма Zr/Hf – TE_{1,3} для породных типов кавминводского комплекса: 1 – Гранит-порфиры горы Бештау; 2 – лейкогранит-порфиры Козьих Скал; 3 – лейкогранит-порфиры горы Бык

Тогда как уменьшение тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ W-типа происходит по мере уменьшения отношений Zr/Hf и удаления от области варьирования этих значений в магматических породах. ний локализуются выше области варьирования составов магматических пород и увеличение величины тетрадного эффекта М-типа происходит с увеличением отношений Y/Ho и удалением от области варьирования составов магматических пород (рис. 2).

На диаграмме У/Но – ТЕ_{1,3} фигуративные точки анализируемых соотноше-



Уменьшение величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ происходит по мере снижения отношений У/Но и их приближения к области варьирования составов магматических пород.

Полученные результаты однозначно указывают на принадлежность гранитоидов кавминводского комплекса к высоко-Sr/Y типу, характеризовавшемуся сложным сценарием становления, обязанным процессам взаимодействия корового и мантийного материала в глубинном очаге. В более эродированных гранитоидах гор Бештау и Козьих скал проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М - типа, обусловленный высокой флюидной насыщенностью соединениями фтора и других летучих компонентов. В менее эродированном массиве горы Бык проявлен также и тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W - типа, обусловленный контаминацией в области кровли этого массива сильно обводнённых пород, значительно трансформировавших соотношения многих химических элементов. Здесь резко увеличиваются концентрации Th, Zn и соотношение Th/U, но уменьшается содержание Си.

Заключение

Высоко-Sr/Y гранитоиды каминводского комплекса формировались при анатексисе обводнённых метаосадочных пород нижней коры и контаминацией вмещающих пород рамы массивов с экстремальной трансформацией соотношений многих элементов и проявлением тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М – и W-ипа.

Список литературы

1. Гусев А.И., Гусев А.А. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания, 2011. – № 5. – С.45–49.

2. Гусев А.А., Гусев А.И., Гусев Н.И., Гусев Е.А. Два типа тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов в шошонитовых гранитоидах Кавказских Минеральных вод // Современные наукоёмкие технологии, 2011. – № 4. – С. 17–22.

3. Носова А.А., Сазонова Л.В., Докучаев А.Я., Греков И.И., Гурбанов А.Г. Неогеновые позднеколлизионные субщелочные гранитоиды района Кавказских Минеральных Вод: Т – P-f-O2 условия становления, фракционирования и флюидно-магматическая дифференциация // Петрология, 2005. – Т. 13, № 2. – С. 139–178.

4. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta, 1989. – V. 53. – P. 197–214.

5. Bau M., Dulski P. Comparative study of yttrium and rare-element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids // Contrib. Mineral. Petrol. 1996. – V.123. – P. 323–333.

 Jiang Y-H, Jiang S-Y, Ling H-F, Zhou X-K, Rui X-J, Yang W-Z. Petrology and geochemistry of shoshonitic plutons from the western Kunlun orogenic belt, Xinjing, northwestern Chine: implications for granitoids genesis // Lithos, 2002. – V.63. – P. 165–183.

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. Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effects in nature: two mutually opposite types W and M // Geochim J., 1979. – V. 13. – P. 19–22.