УДК 553.3/.4.078:553.2:551.73 ГИПЕРСОЛЬВУСНЫЕ И ТРАНССОЛЬВУСНЫЕ АНОРОГЕННЫЕ ГРАНИТОИДЫ СОЛОНЕШЕНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И., Гусев Н.И.

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

В статье приведены данные по двум подтипам анорогенных гранитоидов Солонешенского рудного района Алтая, генерация которых проходила в сложных условиях мантийно-корового взаимодействия. Установлены различные источники плавления мантийного и корового субстратов для гиперсольвусных и транссольвусных гранитов. Гиперсольвусные рибекитовые лейкограниты Елиновского массива формировались с участием тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа и генерировали альбититовое и скарновое уран-редкометалльно-редкоземельное оруденение, а транссольвусные рибекитовые лейкограниты Казандинского массива сопровождались тетрадным эффектом фракционирования РЗЭ W-типа и генерировали жильное и грейзеновое вольфрам-молибденовое и бериллиевое оруденение.

Ключевые слова: анорогенные гранитоиды, гиперсольвусные, транссольвусные, мантийно-коровое взаимодействие, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, W, Mo, Be, U, Zr, TR

GYPERSOLVUS AND TRANSSOLVUS ANOROGENIC GRANITOIDS OF SOLONESHENSKII ORE DISTRICT OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I., Gusev N.I.

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

Data on two subtypes anorogenic granitoids of Soloneshenskii ore district of Altai lead in paper, generating of its passed in complex conditions of mantle-crust interaction. Different sources of melting of mantle and crust substrate for gypersolvus and transsolvus granites arrange. Gypersolvus riebeckite leucogranite of Elinovskii massive formed with participation in tetrad effect of fractionation of REE M-type and generated albitites and skarn uranium-rare metals-rare earth element ore mineralization, but transsolvus riebeckite leucogranites of Kazandinskii massive accompanied of tetrad effect fractionation of REE W-type and generated lode and greisen tungsten molibdenium and beryllium ore mineralization.

Keywords: anorogenic granitoids, gypersolvus and transsolvus granites, mantle-crust interaction, tetrad effect fractionation f of REE, W, Mo, Be, U, Zr, REE

Рибекитовые граниты и лейкограниты распространены в регионе широко и с ними в пространственной и парагенетической связи обнаруживаются различные типы жильного, скарнового, альбититового и грейзенового оруденения Та, Nb, U, W, Ве, Sc, Zr, редких земель. В Солонешенском рудном районе и в пограничной части с Талицко-Бащелакским локализованы несколько анорогенных интрузивов, 2 из которых являются рудоносными. Формирование рибекитовых гранитоидов этих массивов по данным абсолютного датирования происходило в узком временном интервале 267-272 млн лет. Цель исследования сопоставить петрологические и геохимические признаки указанных типов гранитоидов, относящихся к анорогенному типу [1, 2].

Петро-геохимические особенности массивов

Оба массива слагают сходные породные типы: граниты, лейкограниты, умеренно-щелочные лейкограниты, лейкогранит-порфиры. В обоих массивах присутствуют рибекитовые разности пород. Химические составы пород массивов сведены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что отношения многих элементов в породах сравниваемых массивов действительно обнаруживают не заряд-радиус-контролируемое («поп-СНАRAС» в англо-язычной литературе) поведение химических элементов. Вероятно, различные типы тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (М-тип для Елиновских гранитоидов и W-тип для Казандинских) обязаны различными активностями, насыщенностями и обогащенностями летучими компонентами расплавов, такими как H₂O, CO₂, Li, B, F и/или Cl.

Так отношения K/Rb в породах обоих массивов весьма высокие (от 144,1 до 395,8) и намного превышают среднее значение для хондрита (63,8). Отношения К/ Ва в гранитоидах Казандинского массива (42,6-53,7) намного меньше, чем в хондритах (236,1). Исключение составляет лейкогранит умеренно-щелочной, в котором это отношение немного превышает хондритовое значение. В Елиновском массиве, наоборот, почти все отношения К/Ва весьма высокие (534 – 2072) и намного превышают хондритовое значение (236,1) и лишь у одного рибекитового лейкогранита (206,6) это отношение чуть ниже хондритового. В целом же граниты Елиновского массива отличаются по отношению К/Ва от гранитоидов Казандинского массива.

Таблица 1

1 4	0 31 11 14 14	
Представительные анализы породных типов Елиновского и Казандинского м	ассивов	
(оксиды в масс. %, элементы – в г/т)		

Оксиды, химические элементы и отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiQ.	71.25	75.4	76.1	76.0	77.5	72.29	74.71	75.17	74.02
TiO.	0.22	0.08	0.08	0.08	0.08	0.27	0.18	0.08	0.08
ALO	14 50	12.4	12.3	12.9	11.5	13.99	13 01	12.57	12.67
Fe O	2 35	1 49	1 1 5	0.91	1.59	0.94	0.66	0.64	0.58
FeO	1.25	0.94	0.79	0.63	<0.2	2.08	1.87	1 78	1 36
MnO	0.10	0.05	0.03	0.02	0.062	0.06	0.06	0.06	0.06
MgQ	0.23	0.18	0.07	0.05	<0.1	0.40	0.29	0.15	0.13
CaO	0.15	0.43	0.47	0.43	0.28	1 49	1.27	0.73	0.76
Na O	5 45	4 34	4 36	4 26	3.9	3 67	3 67	3 72	39
K.O	4.12	4.27	4.28	4.63	4.2	3.49	3.46	4.6	4.6
P O	0.15	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	0.07	0.05	<0.05
Сумма	99.99	100	100	100	99.7	99.87	99.9	99.92	99.93
V	12.1	10.7	10.9	10.9	<2.5	12.2	11.6	1.9	8.5
Cr	35.5	20.3	21.5	34.6	26.8	21.4	19.0	8.8	11.4
Со	2.1	1.04	1.39	1.43	< 0.5	3.3	2.9	1.9	1.9
Ni	2.2	2.05	2.99	1.83	<0.1	19.7	17.1	18.0	11.6
Cu	4.5	1.95	2.25	3.27	11.8	13.9	13.2	12.6	14.8
Zn	145	163	149	112	109	46.8	38.1	35.6	34.5
Rb	250	246	226	141	183	111.8	110.5	123.7	98.7
Sr	275	1.85	1.95	5.11	16.9	203.4	191.6	55.2	126.8
Nb	35.1	23.8	25.9	17.7	22.8	12.9	10.0	7.0	8.3
Cs	7.7	2.89	4.66	1.35	2.24	4.7	4.4	3.2	4.3
Ba	204	17.1	24.9	186	43	734	721.7	141.2	725.4
Pb	19.5	5.8	16.5	6.83	18.1	21.3	20.5	22.8	20.7
Th	15.1	14.0	27.5	15.6	17.5	12.2	8.7	11.3	11.2
La	41.5	29.3	40.5	39.7	20.1	51.8	45.7	34.0	41.4
Ce	90,2	72,3	88.9	71.3	50,4	56.8	51,3	41,1	55,3
Pr	12.1	7.83	11.9	10.5	4.99	7.3	5.3	5.1	5.5
Nd	46,8	26,6	45,1	38,4	20,5	29.6	19.6	17.3	16,7
Sm	12,4	4,48	12,1	9.25	5,62	5,4	4,8	2,8	4,4
Eu	0,87	0,11	0,44	0,7	0,27	1,12	1,05	0,69	0,97
Gd	11.9	2,77	12,1	9,1	5,81	4,0	3,4	2,2	2,8
Tb	2,15	0,38	2,12	1,49	1,23	0,66	0,41	0,27	0,43
Dy	15,1	2,54	14,6	9,72	10,8	1,22	1,38	1,58	1,27
Но	3,21	0,63	3,08	2,14	2,22	0,5	0,7	0,9	0,6
Er	10,2	2,15	9,03	6,25	6,41	1,4	1,6	2,7	1,9
Tm	1,78	0,55	1,41	1,03	0,96	0,3	0,29	0,21	0,52
Yb	10,2	3,89	9,4	6,39	7,01	8,2	8,1	8,0	7,5
Lu	1,41	0,63	1,34	0,98	1,25	0,22	0,23	0,21	0,42
Y	90,5	12,2	83,2	62,0	53,6	46,7	45,2	58,0	65,6
Σ Ρ3Э	350,32	166,36	335,2	268,9	191,1	215,2	189,1	175,1	205,3
Ga	31,5	22,6	21,6	20,1	20,3	17,4	18,3	20,7	19,6
Zr	554	248	464	359	262	48,4	45,5	42,7	46,9
Sc	2,5	<0,1	<0,1	<0,1	2,02	8,1	7,7	3,6	5,3
Hf	16,7	8,0	15,3	9,13	10,7	6,1	4,5	4,4	4,3
Та	12,9	1,36	2,41	1,52	1,48	3,5	3,8	2,2	2,3
Мо	1,1	0,75	0,86	1,66	2,75	2,2	1,8	1,1	0,9

MODERN HIGH TECHNOLOGIES №5, 2013

						C) конча	ание т	габл.1
Sb	0,3	0,25	0,2	0,32	0,93	0,1	0,2	0,2	0,1
Sn	5,9	3,34	4,06	2,63	9,21	5,6	5,45	4,7	4,5
Be	4,5	3,67	4,73	3,79	4,45	2,1	1,95	0,7	1,74
W	1,3	0,73	0,89	0,6	0,61	1,5	1,9	2,1	2,5
U	6,3	4,54	6,27	3,83	6,5	2,1	1,9	2,0	2,1
Li	171,0	114,0	169,0	10,9	13,7	55,3	37,6	8,7	21,7
Ag	0,05	0,018	0,045	0,025	0,039	0,1	0,07	0,09	0,1
(La/Yb) _N	2,7	4,97	2,84	4,1	1,89	4,17	3,73	2,8	3,65
Nb/Ta	2,7	17,5	10,7	11,64	15,4	3,68	3,03	3,18	3,61
Eu/Eu*	0,07	0,03	0,036	0,076	0,010	0,71	0,76	0,82	0,79
Th/U	2,4	3,08	4,38	4,07	2,69	5,8	4,6	5,6	5,3
TE	1,08	1,21	1,08	0,99	1,12	0,73	0,78	0,84	0,89
TE ₁₃	1,01	1,02	1,04	0,97	1,11	0,71	0,65	0,67	0,77
(La/Sm) _N	2,05	3,9	2,06	2,9	2,19	5,89	5,84	7,44	5,76
(Gd/Yb) _N	1,1	0,57	1,03	1,14	0,66	0,39	0,34	0,22	0,30
K/Rb	198,6	144,1	157,1	395,8	176,6	282,1	240,3	281,8	386,8
K/Ba	534	2072	1426	207	810	42,9	42,6	252	53,7
Zr/Hf	33,2	31,0	30,3	39,3	24,5	7,9	10,1	9,7	10,9
La/Nb	1,2	1,23	1,56	2,24	0,88	4,01	4,57	4,85	4,98
La/Ta	3,2	21,5	16,8	26,1	13,6	14,8	12,0	15,4	18,0
Y/Ho	28,1	19,4	27,0	28,9	24,1	93,4	64,5	64,4	109,3
Sr/Eu	31,6	16,8	4,43	7,3	62,6	181,6	182,5	80,0	130,7
La/Lu	67,5	46,6	30,2	40,5	16,1	235,4	198,7	161,9	98,5

Примечание. Силикатный анализ выполнен в лаборатории ВСЕГЕИ. Определения редких элементов выполнены эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ОРТІМА-4300», для Сu, Zn, Pb, Li, – методом ISP-AES (аналитик Э.Г. Червякова), остальные элементы, в том числе РЗЭ – методом ISP-MS в той же лаборатории (аналитики В.А.Шишлов, В.Л.Кудряшов). 2 РЗЭ – сумма редкоземельных элементов. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по Anders E., Greevesse N. (1989) [5]. Eu*= (Sm_N+Gd_N)/2. TE₁_ тетадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами. Породы Елиновского массива: 1 – гранит-порфир умеренно-щелочной; породы Казандинского массива: 6 – гранит, 7 – лейкогранит, 8 – лейкогранит умеренно-щелочной, 9 – лейкогранит рибекитовый.

Zr и Hf имеют близкое геохимическое поведение и их отношение (Zr/Hf) в большнстве земных и внеземных пород являются почти постоянными, составляя около 38±2; в хондритах оно составляет 36,0. Однако, Zr/Hf отношения редуцированы для гранитоидов Казандинского массива, варьируя от 7,9 до 10,9

и близки к хондритовому значению в Елиновских гранитоидах (24,5 – 39,3). На диаграмме соотношений Zr/Hf – TE₁ отчётливо видно, что с увеличение тетрадного эффекта М-типа и уменьшением W-типа происходит уменьшение отношений Zr/Hf в разные стороны от хондритовых значений (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма Zr/Hf – TE1 для гранитоидов Елиновского и Казандинского массивов TE₁ no [6]. Серая область отвечает только отношениям элементов (Zr и Hf), но не TE₁. Хондритовые значения приняты по [5]. Гранитоиды массивов: 1 – Казандинского, 2 – Елиновского

На диаграмме Y/Ho – TE₁ фигуративные точки составов пород занимают различные позиции относительно друг друга, а также

составов хондритов и области варьирования составов магматических пород (рис. 2).



Рис. 2. Диаграмма Y/Ho – TE1 для пород Казандинского и Елиновского массивов TE₁ по [6]. Хондритовые значения приняты по [5]. Гранитоиды массивов: 1 – Елиновского, 2 – Казандинского

Если составы пород Елиновского массива близки к области варьирования составов магматических пород, то для пород Казандинского массива наблюдается сильное изменение соотношений редких земель первой триады РЗЭ, а также Y и Ho.

На диаграмме Eu/Eu* – TE₁ соотношения европия и тетрадного эффекта фракционирования первой тетрады также дают различные тренды для сравниваемых массивов. На диаграмме чётко видно, что увеличение величины тетрадного эффекта М-типа первой тетрады в Елиновском массиве коррелируется с уменьшением величины Eu/Eu*. Обратная картина наблюдается для пород Казандинского массива. В нём уменьшение величины тетрадного эффекта W-типа сопровождается слабым увеличением величины Eu/Eu*. Европиевая негативная аномалия ($c \ge 95\%$ Еи дплетированием на рис. 3) для Елиновского массива не может быть объяснена традиционной сепарацией полевых шпатов в расплаве, хотя известна констатация позитивной аномалии Еи в коээфициенте распределения модели РЗЭ в расплавах. Установлено в последнее

время, что первопричиной проявления тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в высоко эволюционированных гранитоидных магмах вызвано взаимодействием магма-флюид, которое создаёт не только деплетирование Еи в породах, но и также вызывает необычную негативную аномалию во всех конституционных минералах, включая и калиевый полевой шпат [8].

Сравнение величин отношений Eu/Eu* для обоих массивов показывает, что чем выше указанное отношение, тем выше кислотность среды, согласно рядам кислотности-щёлочности А.А. Маракушева [4] для ряда элементов Sm, Gd, Eu в водно-сероводородных растворах при стандартных условиях. Следовательно, при становлении Казандинского массива и формирования грейзенового оруденения W и Ве кислотность среды была выше, чем при формировании Елиновского массива с более щелочной средой, с которым связаны альбититы с оруденением U, Zr, Nb. Сравнительные данные по комплексу признаков анализируемых массивов сведены в табл. 2.



Рис. 3. Диаграмма Еи/Еи* – ТЕ₁ для пород Казандинского и Елиновского массивов (Условные обозначения те же, что на рис. 2.)

Параметры	Елиновский массив	Казандинский массив					
Кварц	33	30					
Микроклин-пертит	52	38					
Альбит	1	28					
Рибекит	6	2,7					
Эгирин	1	0,9					
Магнетит	0,3	1,2					
Гематит	0,2	1,0					
Циркон	1,2	0,8					
Флюорит	0,4	-					
Монацит	0,5	0,2					
Тип гранитов	А ₂ , Пералюминиевый. гиперсольвусный	А ₂ , Пералюминиевый. транссольвусный					
Сумма РЗЭ, г/т	166-269	175-215					
Тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ	М-тип	W-тип					
Возраст (млн. лет)	369-372 ±5-7	367 ±4					
87Sr/86Sr	0,70513 - 0,70429	0,7076					
ε(Nd),	+3,1	+0,7					
ε(Sr),	+30,2	+35,5					
Возраст протолита	900	1100					
Рудная минерализация	Ta, Nb, Zr, U, TR	Be, W, Mo					

Таблица 2 Сопоставление гранитоидов Елиновского и Казандинского массивов по данным [1, 2, 7]

Примечание. Минералы в объёмных %.

Анализ табл. 2 показывает, что анорогенные гранитоиды Елиновского массива относятся к гиперсольвусному подтипу и характеризуются преобладанием в своём составе микроклин-пертита, несколько более поздним возрастом и ювенильным (мантийным) соотношением изотопов стронция. В них проявлен М- тип тетрадного эффекта распределения РЗЭ. Анорогенные гранитоиды Казандинского массива относятся к промежуточному подтипу между субсольвусными и гиперсольвусными гранитами транссольвусному. Это несколько более ранние граниты с более древним протолитом и соотношением изотопов стронция, указывающим на контаминацию корового материала. В минеральном составе этих гранитов меньшие количества рибекита и значительные содержания альбита. В гранитоидах Казандинского массива проявлен W-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, предполагающего участие высоководных контаминированных коровых источников с высокими содержаниями летучих компонентов.

Обсуждение результатов и выводы. Два подтипа анорогенных гранитоидов, выделенных в Солонешенском районе, характеризуется разной степенью мантийнокорового взаимодействия и различными источниками плавления корового субстрата. Сопоставление данных по анализируемым массивам с экспериментальными данными по моделированию источников плавления показали, что граниты Казандинского массива тяготеют к расплавам, образовавшимся за счёт плавления амфиболитов, а все остальные породы - за счёт плавления метаграувак [3]. Аналогичные сопоставления с экспериментальными моделями плавления коровых источников для Елиновского массива дали однозначные показатели плавления за счёт граувакк [3].

Ультракислые породы обоих массивов располагаются на максимуме степени изестково-щелочного фракционирования ортоклаза и альбита. Экспериментально установлено, что этой ситуации могут отвечать: уменьшение щёлочности в процессе взаимодействия вода-породы или небольшая степень ассимиляции пелитов, которые и будут легко увеличивать показатели фракционирования ортоклаза и альбита, что и имеет место для конечных дифференциатов и Казандинского, и Елиновского массивов.

Таким образом, анорогенные рибекитовые гранитоиды в Солонешенском рудном районе следует подразделять на два подтипа: 1 – Елиновский, гиперсольвусный, связанный исключительно с плавлением мантийного источника типа эклогитов и гранатовых амфиболитов и 2 – Казандинского, транссольвусного, связанного со смешением мантийного и корового материала. Для подтипов характерны не только различные соотношения изотопов стронция и неодима, но и различная металлогеническая нагрузка: для Елиновского ареала – это уран-редкометалльно-редкоземельная апогранитная и скарновая, а для Казандинского - вольрфрам-молибденовое и бериллиевое оруденение грейзенового и жильного геолого-промышленных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Казандинского массива Горного Алтая // Совр. наукоёмкие технол., 2013 – № 1. – С.88-93.

2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Елиновского массива Горного Алтая // Совр. наукоёмкие технол., 2013 – № 2. – С. 55-60.

3. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М., Дзагоева Е.А., Кукоева М.А. Петрология и рудоносность магморудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая. – Бийск: АГАО, 2013. – 200 с.

4. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М. – Наука. – 1976. – С. 36-51.

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

6. 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 Comochim Acta. 1999. – V. 63. – \mathbb{N} 3/4. – P. 489-508.

7. Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Palesskiy S.V. Sr–Nd isotopic systematic of granitoids and evolution of continental crust of the Western part of Altai-Sajan fold region / Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. – Novosibirsk, 2001. – P. 68-72.

8. Zhao Z.H. REE and O-Pb-Sr-Nd isotopic compositions and petrogenesis of the Altai granitoids // New Development of Solid Earth Science in Northern Xinjiang. Science Publishing Co. – Beijing, 1993. – Pp. 239-266.

110