УДК 553.3/.4.078:553.2:551.73

ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ СИЛЕКСИТОВ КОРГОНСКОЙ СВИТЫ ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

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

Приведены геохимические и петрологические данные по силекситам коргонской свиты рфннего-среднего девона Горного Алтая. Выделены 3 группы силекситов: калиевые, натриевые, калий-натриевые. Натрий и калий-натриевые силекситы характеризуются повышенными концентрациями Rb, Ba, Sr, Y, Zr, Nb и высокими отношениями $(La/Nb)_N$. Все группы силекситов, и особенно натриевые и калий-натриевые, отличаются высокой степенью дифференцированности редкоземельных элементов. В натриевые силекситах проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа, а в калиевых проявлены оба типа ТЭФ (W- и M). Проявление ТЭФ РЗЭ M- и W- типов в силекситах связано с большой ролью летучих компонентов H_2O, F, Cl, B, P, CO_2 и непостоянным их режимом во флюидах, вызванным контаминацией коровым материалом. Генезис силекситов коргонской свиты связан с процессами ликвации кислого расплава под воздействием летучих компонентов. Силекситы характеризуются различной геохимической и металлогенической специализацией: калиевые с Fe, Mn, а натровые – с Au, Ag.

Ключевые слова: силекситы, высокая степень дифференциации редкоземельных элементов, W- и M-типы тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, Fe, Mn, Au, Ag

GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY OF SILEXITES KORGONSKAJA SUITE OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

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

Geochemical and petrologic data on silexites of korgoskaja suite Early-Middle Devonian of Mountain Altai lead. 3 groups silexites detached: potassic, sodium and potassic-sodium. The sodium and potassic-sodium silexites characterized high contents Rb, Ba, Sr, Y, Zr, Nb and high ratio $(La/Nb)_N$. The all groups silexites and especially sodium and potassic-sodium distinguish by high degrees fractionation of rare earth elements. Tetradic effect fractionation (TEF) REE M-type display but both types TEF (W- и M) display in potassic silexites. Displaying TEF REE of W- и M-types in silexites link with big role volatile components H_2O, F, Cl, B, P, CO_2 and not constant regime in fluids, calling by contamination by crust material. Genesis of silexites korgonskaja suite related with process liquation high acid melt under influence voltale components. The silexites characterized of different geochemistry and metallogenic specialization: potassic with Fe, Mn ore mineralization but sodium with Au, Ag ore mineralization.

Keywords: silexites, high degrees fractionation of rare earth elements, tetradic effect fractionation of rare earth elements, W- and M-ypes tetradic effect fractionation of REE, Fe, Mn, Au, Ag

К силекситам относятся крайне кремнекислые эффузивные породы, содержащие более 70% кварца, или более 80% SiO_2 [10]. Силекситы нередко ассоциируют с пегматитами, грейзенами и кварцевыми жилами в верхних частях куполовидных поднятий крайне дифференцированных кремнекислых лейкогранитов. Так в составе Дунгалинского массива монастырского комплекса ранне-среднепермского возраста Восточного Казахстана выделяется 16 линзовидных тел силекситов мощностью от нескольких метров до 16 м и протяжённостью от 10 до 20 м. Здесь наблюдаются камерные хрусталеносные пегматиты с телами силекситов [9]. Нами ранее указывалось на наличие высоко-кремнистых пород в составе вулканитов коргонской свиты, близких по химическому составу к силекситам [4]. *Цель исследования* – проанализировать геохимические и петрологические особенности силекситов коргонской свиты Горного Алтая.

Результаты исследования и их обсуждение

Реальный минеральный состав силекситов коргонской свиты варьирует (в%): кварц – 90–94, альбит 1–7, ортоклаз – 0,7–7, диопсид – 0,4–2, 1, биотит – 0,4–1, ильменит – 0,3–2,2, магнетит – 0,1–1, апатит – 0,2–1,2.

Нормативный минеральный состав силекситов варьирует (в%): кварц – 90–93, альбит – 0,9–7,1, анортит – 1,1–2,2, ортоклаз – 0,7–6,9, диопсид – 0,5–1, ильменит – 0,3–2,1, магнетит – 0,2–1,1, апатит – 0,2–1,3.

Химический состав силекситов сведен в табл. 1. В целом силекситы коргонской свиты можно отнести по соотношениям альбита и ортоклаза к трём группам: существенно калиевые, существенно натриевые и натрий-калиевые. Натриевые и калий-натриевые силекситы оличаются повышенными коцентрациями Rb, Ba, Sr, Y, Zr, Nb и высокими отношениями $(La/Nb)_N$. Нормированные к хондриту отношения лёгких к тяжёлым РЗЭ для натриевых и калий натриевых силекситов вы-

сокие ($(La/Nb)_N$ варьируют от 22,4 до 111,3), указывая на сильно дифференцированный тип распределения редких земель. Ранее отмечено, что к областям распространения высоко-калиевых вулканитов и силекситов коргонской свиты тяготеют железорудные месторождения (Холунское, Коргонское), а с высоко-натриевыми разностями ассоциируют месторождения, проявления и геохимические аномалии золота и серебра.

Таблица 1

Химический состав силекситов коргонской свиты

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	85,02	85,12	85,03	85,0	84,22	85,25	83,7	84,8	84,9
TiO_2	0,01	0,03	0,05	0,23	0,14	0,12	0,41	0,31	0,3
Al_2O_3	8,3	8,15	7,4	8,55	8,89	8,15	9,5	8,79	8,75
Fe_2O_3	1,88	1,6	1,77	0,8	1,2	0,81	1,54	0,8	0,75
FeO	0,43	0,72	2,73	1,37	1,15	0,57	0,96	0,6	0,58
MnO	0,01	0,05	1,0	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
MgO	0,11	0,57	0,4	0,64	0,05	0,19	0,16	0,16	0,2
CaO	0,32	0,26	0,1	0,38	0,3	0,11	0,5	0,5	0,47
Na_2O	0,55	0,3	0,62	3,87	2,0	5,6	0,12	0,18	0,17
K_2O	6,21	4,14	5,91	0,79	2,15	0,15	0,16	2,15	2,2
P_2O_5	0,04	0,05	0,05	0,03	0,01	0,07	0,09	0,11	0,12
Ga	7,5	7,3	7,4	8,1	9,0	9,1	9,0	6,3	6,0
Rb	3	3,7	3,5	80	90	50	90	2,7	2,5
Ba	6,5	7,8	7,5	27	190	37	19	6,8	6,4
Sr	3	7	5	120	160	150	16	6	4,5
Y	5,5	6,6	6,5	11,5	14,8	13,5	8,8	6,1	5,1
Zr	55	45	51	140	160	160	130	35	38
Nb	3,5	3,1	3,3	12,0	15	17,0	11	3,0	3,2
Mo	0,8	0,6	0,8	1,0	1,7	1,0	1,4	0,7	0,9
Sn	0,8	0,9	0,8	0,97	1,0	0,99	1,1	0,9	0,9
Cs	6,0	6,2	6,1	1,1	6,0	1,0	5,0	6,1	6,3
La	101	102	103	245	78	235	88	105	104
Ce	59	62	60	9,5	48	9,0	50	68	67
Pr	15	17	16	25	20	23	22	20	18
Nd	2,1	2,5	2,3	2,6	2,2	2,3	3,2	2,8	2,5
Sm	6,4	6,8	6,6	8,5	7,0	7,9	7,5	7,6	7,3
Eu	1,4	1,6	1,5	1,2	1,0	1,3	0,7	1,2	1,1
Gd	0,3	0,45	0,4	0,1	0,2	0,09	0,3	0,41	0,42
Tb	0,9	1,3	1,2	1,35	1,1	1,45	1,2	1,1	1,2
Dy	0,4	0,6	0,5	0,31	0,4	0,3	0,7	0,6	0,7
Ho	2,0	2,3	2,2	1,6	2,1	1,5	2,4	2,2	2,0
Er	0,44	0,7	0,48	0,35	0,45	0,33	0,42	0,8	0,9
Tm	1,2	1,4	1,3	1,3	1,5	1,2	1,4	1,1	1,4
Yb	5,3	5,2	5,5	2,4	2,3	1,4	1,3	5,0	4,0
Lu	0,17	0,1	0,2	0,25	0,24	0,2	0,14	0,12	0,11
Hf	5,1	5,5	5,3	6,3	4,3	5,3	3,3	5,3	4,3
Ta	0,6	0,8	0,7	4,3	0,7	4,0	0,5	0,7	0,5
W	0,7	0,6	0,5	1.45	1,1	1.35	1,3	0,6	0,5
U	2,8	3,1	2,9	1,6	2,0	1,0	1,0	2,1	1,1
Th	7,5	7,1	7,0	2,97	9,0	1,97	6,0	4,1	3,4
U/Th	0,37	0,44	0,41	0,54	0,22	0,51	0,17	0,51	0,32
ΣTR	201,1	210,6	207,7	308,6	179,4	298,5	188,1	222,0	215,7
$(La/Yb)_N$	12,6	12,9	12,4	67,6	22,4	111,3	44,7	13,9	17,2
$(La/Sm)_N$	9,65	9,2	9,56	17,7	6,8	18,2	7,2	8,46	8,73
Eu/Eu*	1,007	0,74	0,81	1,98	0,98	2,51	0,43	0,53	0,49

Примечание: Анализы выполнены: силикатный на главные компоненты химическим методом в Лаборатории Западно-Сибирского испытательного Центра (г. Новокузнецк); для микроэлементов – методом ICP-MS в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по Anders E., Greevesse N. [11]. $Eu^*= (Sm_N + Gd_N)/2$.

На ТАС диаграмме фигуративные точки составов пород локализуются в поле силекситов (рис. 1).

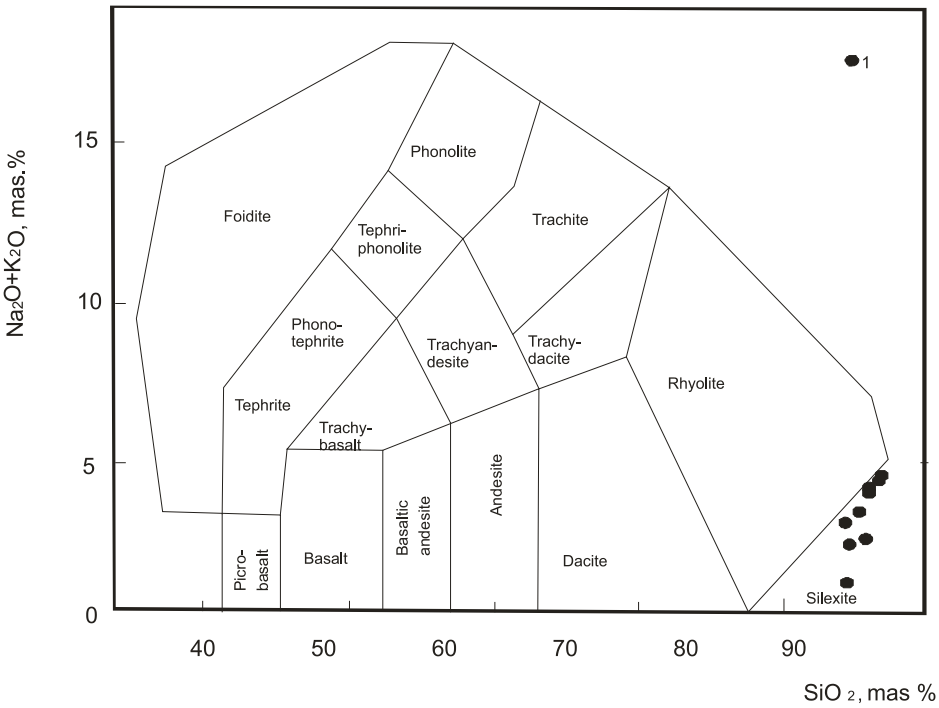

Рис. 1. Диаграмма (Na_2O+K_2O) – SiO_2 для силекситов коргонской свиты
1 – Силекситы коргонской свиты

В силекситах проявлен тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов (РЗЭ). В натровых силекситах ТЭФ РЗЭ М- типа высокий и устойчивый, варьирующий от 1,41 до 2,56. В калиевых силекситах проявлен, примущественно, М-тип ТЭФ, варьирующий от 1,86 до 1,98, хотя в одном анализе определён и W-тип ТЭФ (значение его составляет 0,89). Величины тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ и некоторые отношения элементов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ и отношения некоторых элементов

Отношения элементов и величины ТЭФ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Отношения в хондритах
Zr/Hf	10,8	8,2	9,6	22	37	30	39	6,6	8,8	36,0
Y/Ho	2,7	2,9	3,0	7,2	7,0	9,0	3,7	2,8	2,6	29,0
La/Nb	28,9	32,9	31,2	20,4	5,2	13,8	8,0	35,0	32,5	17,2
La/Ta	168	127	147	57	111	59	176	150	208	16,8
Sr/Eu	2,1	4,4	3,3	100	160	115	23	5	4,1	100,5
Eu/Eu*	1,01	0,74	0,81	1,98	0,98	2,51	0,43	0,53	0,49	1,0
$TE_{1,3}$	1,86	1,92	0,89	2,56	2,23	1,41	1,98	1,98	2,1	

Примечание: $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [Irber]. $Eu^*= (Sm_N+Gd_N)/2$.

Преимущественно в породах проявлен ТЭФ РЗЭ М-типа, превышающий пороговое значение 1,1. Для различных отношений некоторых элементов построены диаграммы зависимостей величины ТЭФ М-типа.

Соотношение отношений Zr/Hf и $TE_{1,3}$ указывает, что увеличение отношений Zr/Hf низкие (ниже отношений в хондритах и слабо повышенные) и коррелируется со слабым увеличением ТЭФ М-типа (рис. 2).

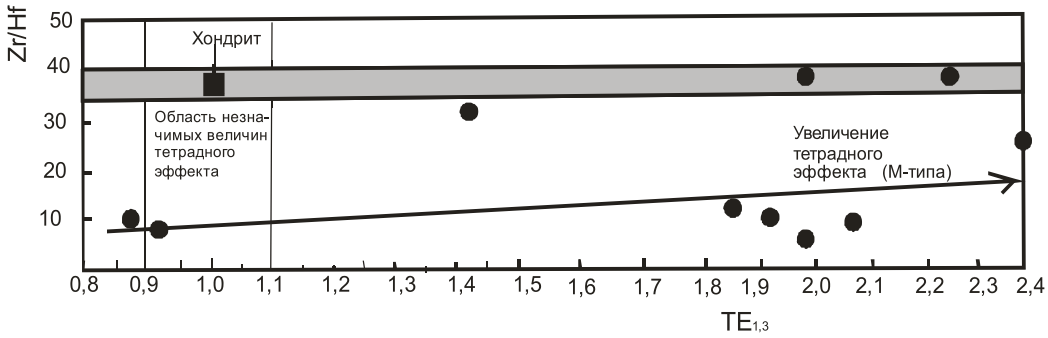

Рис. 2. Диаграмма Zr/Hf – $TE_{1,3}$ для силекситов коргонской свиты

Аналогичная картина наблюдается для соотношений Y/Ho и $TE_{1,3}$ – слабое увеличение тетрадного эффекта М-типа с повышением отношений Y/Ho (рис. 3).

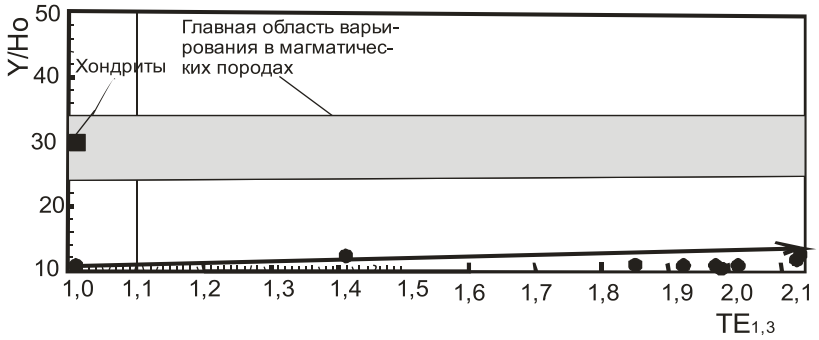

Рис. 3. Диаграмма Y/Ho – $TE_{1,3}$ для силекситов коргонской свиты

На диаграмме La/Nb – $TE_{1,3}$ в калиевых силекситах происходит слабое увеличение отношений La/Nb с повышением значений $TE_{1,3}$, а в натровых и калий-натровых обратная картина – увеличение значений $TE_{1,3}$ коррелируется с уменьшением значений La/Nb (рис. 4).

По генезису силекситов существуют 2 точки зрения: 1 – они являются результатом окварцевания пород, 2 – силекситы являются крайней степенью дифференциации кислых расплавов. Петрографические данные по коргонским силекситам указывают на отсутствие наложенного окварцевания. Об это же свидетельствуют и низкие ураноториевые отношения (менее 1). Силекситы среди риолитов коргонской свиты образуют согласные тела и имеют полосчатость, свойственную ликвационным образования. По нашему мнению силекситы коргонской свиты следует относить к продуктам ликвации сильно кислого расплава под воздействием летучих компонентов (H_2O, F, Cl, B, P, CO_2), при резком преобладании F и B. Такие высоко-фтористые и высоко-борные кислые расплавы способствуют расслаиванию его с выделением силекситов.

Приведенные материалы по силекситам коргонской свиты показывают, что по составу они могут быть подразделены на 3 группы: 1 – калиевые, 2 – натриевые, 3 – калий-натриевые. Развиты указанные силекситы вблизи рудных тел: калиевые ассоциируют с оруденением железа и марганца, а натровые и калий-натровые – с золотом, серебром. В калиевых силекситах проявлены 2 типа ТЭФ М- и W-типы, а в натровых – только М. Известно, что тетрадный эффект М- типа обнаруживается чаще всего на заключительных стадиях дифференциации гранитных систем. При этом отмечается присутствие в магматитах флюидной фазы, содержащей H_2O, F, Cl, B, P, CO_2 во время существования жидкого расплава или непосредственно

после его кристаллизации. Проявление ТЭФ W- типа более всего связано с вадозной H_2O. Такая вода, вероятно, может попадать и в магматогенные флюиды при контаминации коровым материалом. Вероятно, она и вызывает появление тетрадного эффекта W- типа в магматических породах, сильно контаминированных коровым материалом.

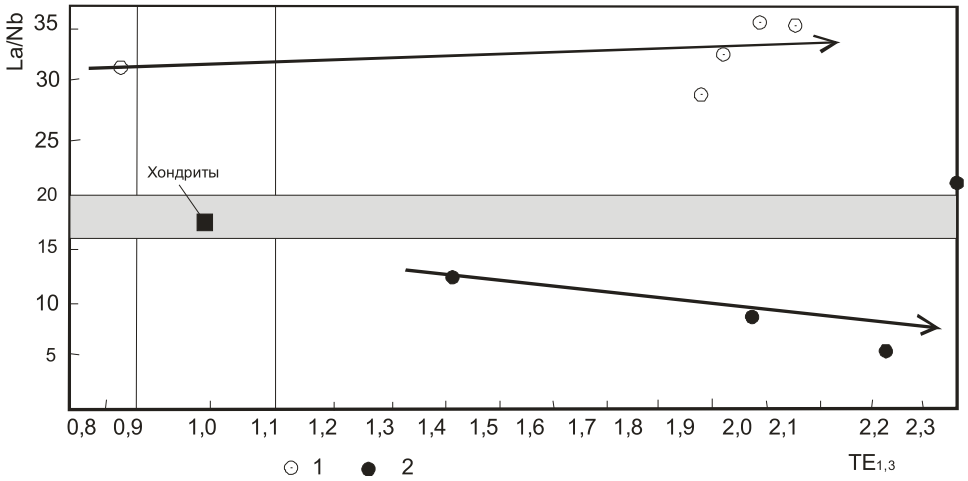

Рис. 4. Диаграмма La/Nb – $TE_{1,3}$ для силекситов коргонской свиты
1 – Калиевые силекситы, 2 – натриевые и калий-натриевые силекситы

Заключение

Таким образом, силекситы, встречающееся в составе вулканитов коргонской свиты являются результатом ликвации сильно кислого расплава под воздействием летучих компонетов (H_2O, F, Cl, B, P, CO_2). Чаще всего они приурочены к субвулканическим телам, где в апикальных частях появлялись высококремнистые отщепления в виде силекситов и тарантулитов [10]. Направленность процесса к генерации ультракислых силекситов обусловливалась обогащённостью расплава солями щелочных металлов, отличающихся высокой растворимостью (Y, Zr, Nb, Ta, Rb, Li и других металлов) и способностью понижать температуры кристаллизации магм, что весьма характерно для расплавов анорогенных обстановок формирования [1-8].

Две группы силекситов в составе коргонской свиты ассоциируют с разной геохимической и металлогенической специализацией: калиевые с Fe, Mn, а натровые – с Au, Ag. Проявление ТЭФ РЗЭ M- и W- типов в силекситах связано с большой ролью летучих компонентов H_2O, F, Cl, B, P, CO_2 и непостоянным их режимом во флюидах, вызванным контаминацией коровым материалом.

Список литературы

1. Гусев А.И. Петрология редкометалльных магмо-рудно-метасоматических систем Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. – Томск. – 2005. – Т. 307, № 4. – С. 43–47.

2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидодинамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Горного Алтая и других регионов // Региональная геология и металлогения. – 2005. – № 23. – С. 119–129.

3. Гусев А.И. Типизация гранитоидов на основе составов биотитов // Успехи современного естествознания, 2009. – № 4. – С. 54–57.

4. Гусев А.И., Гусев Н.И. Анорогенные кислые лавы Коргонской свиты Горного Алтая: петрология, геохимия и оруденение // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 12. – С. 58–63.

5. Гусев А.И. Петрология и оруденение анорогенных гранитоидов Алахинского штока Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 6. – С. 170–175

6. Гусев А.И. Уникальное комплексное тантал-ниобий-рубидий-цезий-литиевое Алахинское месторождение Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии – 2013. – № 6. – С. 181–185.

7. Гусев А.И. Щелочные гранитоиды Майорского массива и их потенциальная рудоносность (Горный Алтай) // Отечественная геология. – 2014. – № 1. – С. 33–40.

8. Гусев А.И. Петрология адакитовых гранитоидов. – М.: Изд-во РАЕ, 2014. – 152 с.

9. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В., Пономарёва А.П., Степанов А.С. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. – М.: Наука, 1982. – 248 с.

10. Маракушев А.А. Петрогенезис. – М.: Изд-во «Недра», 1988. – 293 с.

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

12. 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. – № 3/4. – P. 489–508.