УДК 552.321.5

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ АНОРОГЕННЫХ ГРАНИТОИДОВ САНГИЛЕНА

Гусев А.И., Белозерцев Н.В.

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

Приведены данные по петрологии и потенциальной рудоносности умеренно-щелочных гранитоидов Нагорного Сангилена, которые по сумме признаков отнесены к анорогенному типу. Показано ведущее значение в генерации этих фельзических интрузивных образований флюидного режима, в котором доминирующую роль играли концентрации плавиковой кислоты.

Ключевые слова: умеренно-щелочные граниты, анорогенный тип, петрология, геохимия, Сангилен

Анорогенные граниты, с момента выделения их в особый петрогеохимический тип, всегда вызывали неподдельный интерес петрологов. Термин «А-тип» гранитов был введён в литературу М. Лоизелем и Д. Уонзом в 1979 году для описания гранитов, которые были генерированы вдоль континентальных рифтовых зон (анорогенных обстановок) [6]. По сравнению с другими типами гранитов, А-тип показывал высокие отношения Fe/Mg, (K + Na)/Al, K/Na, а также высокие концентрации F, Zr, Nb, Ga, редкоземельных элементов (РЗЭ), Y, Zn и низкие содержания Mg, Ca, Cr, Ni [4, 9].

Анорогенные гранитоиды Сангилена слагают несколько относительно крупных массивов – Шинхемский, Дзосский, Хусуингольский и ряд мелких, в том числе Тарбагатайский. Актуальность изучения этих гранитоидов определяется тем, что в непосредственной близости с ними располагаются граниты улугтанзекского комплекса Сангилена, с которыми пространственно и парагенетически связывается известное редкометалльное месторождение Улуг-Танзек. Анализируемые гранитоиды относятся к среднепалеозойскому возрасту.

Наиболее крупный *Шинхемский массив* локализуется на водоразделе рек Шин-Хем, Хурхерен-Гол, Дзос и образует вытянутое в северо-западном направлении небольшой плутон площадью 120 км^2. Сложен Шинхемский массив однородными крупнокристаллическими гранитами и лейкогранит-порфирами, занимающими краевые части интрузива.

Дзосский массив распложен в среднем течении одноименной реки в 5 км южнее Шинхемского. Он образует изометричный шток площадью около 100 км^2 и прорывает известняки протерозоя. Неоднородность гранитов определяется тем, что наиболее глубинные части его сложены крупнокристаллическими разностями первой фазы, а апикальные части – порфировидными лейкогранитами второй фазы.

Хусуингольский массив расположен на крайнем юго-востоке Сангилена, занимая осевую зону одноименной грабен-синклинали. В его строении принимают участии две группы пород – более ранние сиениты и интрудирующие их граниты и лейкогранит-порфиры. Последние тяготеют к периферии полнокристаллических крупнозернистых гранитов ранней фазы. По врезу в вертикальном разрезе наблюдается постепенная смена (снизу вверх) полнокристаллических гранитов порфировидными и далее лейкогранит-порфирами [2].

Тарбагатайский массив площадью более 35 км^2 обнажён в крайней северной части Сангилена, в верховьях реки Верхний Тарбагатай. Он сложен однородными круп-

нокристаллическими лейкогранитами поздней фазы.

Полно-крупнокристаллические граниты первой фазы обладают гипидиморфной микроструктурой и состоят (масс. %) из кварца – 25-26, олигоклаза (№ 23-28) – 30-32, калинатрового полевого шпата – 35-37, биотита – 3-5, роговой обманки – 0-3. Спектр акцессориев охватывает сфен, магнетит, ортит, редко – апатит. Петрохимически они характеризуются низкими содержаниями Mg, Ca, Ti, Mn и высокими – F, Ba, Sr, Zr, Nb, Li, Y. В двухфазных массивах в ранней фазе гранитов наблюдаются более высокие суммарные концентрации редкоземельных элементов и нормированные к хондриту отношения лантана к иттербию (13,7 в Дзосском массиве и 12,3 в Хусуиногльском) (табл. 1). Эти отношения свидетельствуют о более высокой степени дифференциации редкоземельных элементов. В гранитах главной фазы и лейкогранит-порфирах устойчиво высокие отношения K/Na.

Таблица 1

Представительные анализы анорогенных гранитоидов Сангилена
(оксиды в масс. %, элементы – в г/т)

Оксиды, химические элементы и их отношения	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	72,86	74,57	71,03	75,8	73,22	75,84	75,87
TiO_2	0,21	0,16	0,26	0,11	0,19	0,09	0,08
Al_2O_3	13,51	13,31	14,5	13,04	13,65	12,5	12,4
Fe_2O_3	0,72	0,73	0,86	0,71	0,32	0,57	0,56
FeO	2,65	2,0	1,66	1,08	2,37	1,93	1,94
MnO	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01
MgO	0,22	0,21	0,39	0,09	0,41	0,05	0,06
CaO	0,98	0,91	1,64	0,82	1,0	0,40	0,38
Na_2O	3,86	3,8	3,88	3,46	3,71	3,9	3,8
K_2O	4,91	4,25	4,68	4,83	5,03	4,66	5,06
P_2O_5	0,04	0,05	0,13	0,05	0,06	0,02	0,03
Li	33	58	21	7	43	15	14
Cs	2	3,5	3	2	5	2	3
Rb	139	173	128	160	195	180	175
Ba	873	605	803	86	550	375	370
Sr	217	148	327	65	165	40	43
F	410	413	380	390	620	915	920
Be	3	4	4	5	3	4	4
U	3	4	1,2	2	6	5,1	5
Th	17	17,1	13	24	25	22,2	22
La	28	17	26	18	31	30	33
Ce	55	42	53	40	56	64	60
Pr	1,5	1,1	1,4	1,0	1,6	0,9	0,8
Nd	22	12	21	11	19	27	17
Sm	4	3	3,5	3	4,1	6	3,5

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Eu	0,64	0,47	0,62	0,45	0,5	0,4	0,37
Gd	4,3	0,72	3,5	0,65	0,55	0,53	0,55
Tb	0,29	0,33	0,27	0,3	0,3	0,62	0,34
Dy	2,1	2,0	1,9	0,9	0,8	0,5	0,6
Ho	0,25	0,2	0,24	0,18	0,15	0,11	0,14
Er	1,0	0,7	0,98	0,65	0,55	0,45	0,48
Tm	0,19	0,23	0,2	0,21	0,2	0,43	0,26
Yb	1,35	1,37	1,4	1,35	1,7	1,3	1,75
Lu	0,35	0,25	0,39	0,26	0,3	0,6	0,26
Y	24,5	5,6	25,1	4,8	4,5	3,8	3,5
Zr	135	46	140	52	50	45	43
Ta	1,4	2,45	1,4	1,5	1,4	2	2,2
Sc	2,31	2,3	2,4	2,32	1,9	2,4	2,3
Nb	88	98	87	101	100	102	101
Hf	5,5	5,2	5,6	5,1	6,0	5	5,5
Ni	4,9	5,2	4,5	3,8	3,7	9	8
Co	2,7	2,5	2,6	2,1	2,2	1,6	1,5
Sb	0,78	0,47	0,8	0,42	0,8	0,74	0,75
Cu	10,3	8,3	11,5	9,4	9,8	10,1	9,5
Zn	29	28	30,5	29,7	28	30	31
Pb	30	20	31,8	19,8	21	21	18
∑РЗЭ	145,5	86,9	139,5	82,7	121,2	136,6	122,5
$(La/Yb)_N$	13,7	8,2	12,3	8,8	12,0	15,2	12,5
Rb/Sr	0,64	1,2	0,39	2,5	1,2	4,5	4,1
Eu/Eu*	0,034	0,051	0,039	0,05	0,043	0,024	0,037
$TE_{1,3}$	-	1,49	-	1,13	1,22	1,41	1,13

Примечание: РЗЭ – редкозмельные элемнты; $(La/Yb)_N$ – нормированное к хондриту по [3] отношение лантана к иттербию; Rb/Sr – отношение рубидия к стронцию; $Eu^* = (Sm_N + Gd_N)/2$. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект по В. Ирбер [5]. Дзосский массив: 1 – граниты полнокристаллические, 2 – лейкогранит-порфиры; Хусуингольский массив: 3 – граниты полнокристаллические, 4 – лейкогранит-порфиры; 5 – лейкогранит-порфиры Шинхемского массива; 6, 7 – лейкогранит-порфиры Тарбагатайского массива.

Лейкогранит-порфиры второй фазы обладают порфировидной структурой и гипидиоморфной микроструктурой основной ткани породы и состоят (масс. %): кварц – 32-33, олигоклаз (№ 17-20) – 32-33, микроклин-пертит – 31-33, биотит – 1-3. Из акцессориев отмечены лишь сфен и циркон. Биотит лейкогранитов отличается более высокими концентрациями фтора и редких элементов (рубидия, лития) (табл. 2). Лейкогранитам свойственны те же петрохимические характеристики, что и гранитам ранней фазы. В двухфазных массивах наблюдается снижение

суммарных концентраций редкоземельных элементов и уменьшение нормированных к хондриту отношений лантана к иттербию (8,2 в Дзосском и 8,8 в Хусуингольском массивах). В сравнении с ранней фазой в лейкогранит-порфирах наблюдается некоторое увеличение отношения Eu/Eu* и Rb/Sr (см. табл. 1).

Таблица 2

Представительные анализы биотитов анорогенных гранитоидов Сангилена

Компоненты, %	1	2	3	4	5	6
SiO_2	39,26	38,40	39,14	40,34	38,54	38,44
TiO_2	1,27	1,18	1,48	0,99	0,87	0,79
Al_2O_3	16,32	16,35	16,25	18,86	16,25	16,25
Fe_2O_3	5,70	5,75	5,20	5,11	5,20	5,20
FeO	16,87	15,72	13,45	13,24	12,45	13,45
MgO	5,27	7,80	8,26	3,9	6,26	6,26
MnO	0,51	0,52	0,52	0,38	0,51	0,50
CaO	0,54	0,82	1,24	0,60	1,21	1,22
Na_2O	0,35	0,46	0,83	0,22	0,81	0,84
K_2O	8,11	7,69	8,13	8,37	8,93	8,43
H_2O+	3,21	3,70	3,66	4,00	3,66	3,69
F	1,16	0,85	1,05	2,91	3,05	3,55
Rb_2O	0,35	0,40	0,38	0,65	0,76	0,79
Li_2O	0,33	0,31	0,35	0,54	0,61	0,66
Сумма	99,25	99,95	99,94	100,11	100,01	100,07

На тройной диаграмме составов биотитов, построенной автором в координатах OH/F – *f* – *l*, где отражены наиболее важные компоненты слюды (OH/F – отношение гидроксильной группы к фтору; *f* – общая железистсоть биотита; *l* – общая гинозёмистость биотита) [1] и граниты лавной фазы, и лейкогранит-порфиры попадают в поле анорогенных (А-тип) гранитов.

Характерной особенностью массивов анорогенных гранитоидов Сангилена является их зональное строение, когда в центре крупных массивов располагаются более ранние фазы, а по периферии локализуются более дифференцированные поздние разности лейкогранитов с образованием обратной зональности. Установлено, что обратная зональность массивов проявляется тогда, когда более эволюционированные порции магмы локализуются на периферии интрузивов; контакты между фазами и фациями контрастные с дискордантными текстурами [8]. Именно такие наблюдения зафиксированы нами в пределах Дзосского, Хусуингольского и Шинхемского массивов. Характер зональности плутонов интерпретируется как результат химической дифференциации и скорости поступления последовательных фаз. Когда скорость становления массивов малая предыдущие фазы внедрения успевают закристаллизоваться и тогда более поздние фазы внедряются на периферию плутонов с образованием обратной зональности [1].

По соотношениям Zr, Y, Rb, Sr, Ti, Ba в формировании породных типов не просматривается тренд дифференциации с кристаллизацией из расплавов пироксенов, роговых обманок, биотитов, полевых шпатов.

Высокая насыщенность расплавов фтором и другими летучими компонентами позволяет предполагать важную роль в ге-

нерации анорогенных гранитоидов Сангилена флюидного режима. Характерны несколько меньшие температуры кристаллизации лейкогранит-порфиров и более высокие значения фугитивностей воды, парциального давления углекислоты. Обращает на себя внимание повышенные концентрации плавиковой кислоты во флюидах в лейкогранит-порфирах, превышающие на порядок таковые в гранитах ранней фазы. Редкометалльный профиль металлогенической специализации гранитоидов Сангилена можно предположить, исходя из двух признаков:

1 – геохимической специализации гранитоидов на редкие металлы (Zr, Nb, Li);

2 – повышенные концентрации редких элементов – рубидия и лития в биотитах.

При формировании лейкогранит-порфиров проявился тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов М-типа [5, 7], значения которого (от 1,13 до 1,49) приведены в табл. 1 ($TE_{1,3}$).

Таким образом, петрологические, петрохимические данные и параметры флюидного режима указывают на потенциальную рудоносность гранитоидов Сангилена на редкометалльное оруденение.

Список литературы

1. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М. Петрология и рудоносность белокурихинского комплекса Алтая. – Бийск: БПГУ, 2008. – 193 с.

2. Минин В.А., Щипицын Ю.Г., Довгаль В.Н., Иванова Л.Д., Маликова И.Н. Редкие и редкоземельные элементы в среднепалеозойских гранитах нагорья Сангилен (Юго-Восточная Тува) / Редкоземельные элементы в магматических породах. – Новосибирск, 1988. – С. 44–59.

3. Anders E., Greevesse N. // Geochim. Cosmochim. Acta, 1989. – V. 53. – P. 197.

4. Collins W.J., Beams S.D., White A.J.R., Chappell B.W. // Contributions to Mineralogy and Petrology. –1982. – Vol. 80, № 2. – P. 189.

5. Irber W. // Geochim Comochim Acta. – 1999. – Vol. 63, №3/4. – P. 489.

6. Loiselle M.C., Wones D.R. // Abstracts of papers to be presented at the Annual Meetings of the Geological Society of America and Associated Societies, San Diego, California. – 1979. – Vol. 11, № 3. – P. 468.

7. Masuda A., Ikeuchi Y. // Geochim J. – 1979. – Vol. 13. – P. 19.

8. Vigneresse J.L. // Ore geology Reviews. – 2007. – Vol. 30. – № 2. – P. 181.

9. Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1987. – Vol. 95, № 3. – P. 407.

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND FLUID REGIME OF ANOROGENIC GRANITOIDS OF SANGILEN

Gusev A.I., Belozertcev N.V.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk,

e-mail: anzerg@mail. ru

Data on petrology and potential ore mineralization moderate alkali granitoids of Nagorny Sangilen lead in paper that it refer to anorogenic type on sum signs. The basic meaning in generating of it felsic intrusive rocks of fluid regime demonstrated that in it concentration of HCl played predominant role.

Keywords: moderate-alkcalic granites, anorogenic type, petrology, geochemy, Sangilen