

УДК 550.4: 552.3

## ШОШОНИТОВЫЕ ГРАНИТОИДЫ ТИГИРЕКСКОГО МАССИВА АЛТАЯ: ГЕОХИМИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ

Гусев А.И., Гусев А.А.

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

Приведены геологические, геохимические и петрологические данные по шошонитовым гранитоидам Тигирекского массива Алтая. В составе массива выделены 5 фаз: 1 – габбро; 2 – диориты, монцодиориты; 3 – сиениты, гранодиориты, граносиениты; 4 – граниты, умеренно-щелочные граниты; 5 – лейкограниты, умеренно-щелочные лейкограниты с флюоритом. Породные типы массива отнесены к нормальной известково-щелочной и высококальциевой шошонитовой сериям. Сиениты и монцодиориты тяготеют по составу к банакитам. В процессе становления массива происходила дифференциация глубинного очага с фракционированием редкоземельных элементов, что отразилось на соотношении в породах элементов групп LILE и HFSE со значительной деплетированностью последних. В породах происходила смена типа тетрадного фракционирования редкоземельных элементов, что связано с различной насыщенностью расплавов флюидами и летучими компонентами. С массивом связаны месторождения и проявления железа, вольфрама, молибдена, бериллия, аквамарина, горного хрусталя и раухтопаза.

**Ключевые слова:** петрохимия, геохимия, петрология, шошонитовые гранитоиды, тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов, оруденение вольфрама, молибдена, бериллия

## SHOSHONITIC GRANITOIDS OF TIGIREKSKII MASSIVE OF ALTAI: GEOCHEMISTRY, PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION

Gusev A.I., Gusev A.A.

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

The geological, geochemical and petrological data lead on shoshonitic granitoids of Tigirekskii massive of Altai. 5 phases detached in composition of massive: 1 – gabbro; 2 – diorites, monzodiorites; 3 – sienites, granodiorites, granosienites; 4 – granites, moderate-alkalic granites; 5 – leicogranites and moderate-alkaline leicogranites with fluorites. Rock types of massive referred to normal calc-alkalic and shoshonitic petrogenetic series. Sienites and monzodiorites weighed to banakites on composition. Differentiation of deep spot melting and fractionation of rare earth elements in processes of forming massive that it was reflected on ratio in rocks of elements groups LILE and HFSE with considerable depletion of last. Change of type tetrad effect fractionation of rare earth elements happened in rocks that it is link with different of saturation of melts by fluids and volatile components. Deposits and manifestations of iron, tungsten, molibdenium, berillium, aquamarine, quartz cristal, rauhtopaz connected with massive.

**Keywords:** petrochemistry, geochemistry, petrology, shoshonitic granitoids, tetrad effect fractionation of rare earth elements, ore mineralization of iron, tungsten, molibdenium, berillium, aquamarine, quartz cristal, rauhtopaz

Тигирекский массив гранитоидов находится в приграничной полосе между Алтайским краем и Республикой Казахстан в междуречье Ини, Белой (левые притоки р.Чарыша) и Белопорожной Убы (правый приток р. Убы). Ранее рядом исследователей в составе Тигирекского массива выделялись три фазы внедрения. По мнению О.В. Мурзина [3], в петротипическом Синюшинском интрузивном ареале первая фаза внедрения представлена кварцевыми сиенитами, граносиенитами, гранодиоритами и меланогранитами (5%); вторая – биотитовыми и роговообманково-биотитовыми гранитами (85%); третья – субщелочными лейкогранитами и лейкогранитами (10%). Все исследователи относят интрузивные образования массива к синюшинскому комплексу ( $P_2-T_1$ ). По нашим данным Тигирекский интрузив формировался в 5 фаз и имеет более сложный состав: 1 фаза – габбро; 2 фаза – диориты и монцодиориты; 3 фаза – сиениты, гранодиориты и граносиениты; 4 фаза – граниты и умеренно-щелочные граниты; 5 фаза – лейкограниты и умеренно-щелочные лейкограниты с флюоритом. Жильная фаза представлена дайками аплитов, аляскитов и пегматитов. Наиболее ранние породные типы первых двух фаз внедрения обнаружены нами в приконтактной южной части массива на территории Казахстана, а также в районе г. Россыпной в виде ксенолитов различных размеров от 20 см в поперечнике и до нескольких метров. Здесь же обнаружены и ксенолиты гранодиоритов. Следует отметить, что габброиды и диориты имеют крупнокристаллическое сложение, характерное для первых фаз внедрения интрузивов. В целом набор породных типов близок таковому для интрузий Айского ареала [2], которые являются типичными представителями шошонитовой серии пород. Химический состав породных типов приведен в табл. 1.

за – сиениты, гранодиориты и граносиениты; 4 фаза – граниты и умеренно-щелочные граниты; 5 фаза – лейкограниты и умеренно-щелочные лейкограниты с флюоритом. Жильная фаза представлена дайками аплитов, аляскитов и пегматитов. Наиболее ранние породные типы первых двух фаз внедрения обнаружены нами в приконтактной южной части массива на территории Казахстана, а также в районе г. Россыпной в виде ксенолитов различных размеров от 20 см в поперечнике и до нескольких метров. Здесь же обнаружены и ксенолиты гранодиоритов. Следует отметить, что габброиды и диориты имеют крупнокристаллическое сложение, характерное для первых фаз внедрения интрузивов. В целом набор породных типов близок таковому для интрузий Айского ареала [2], которые являются типичными представителями шошонитовой серии пород. Химический состав породных типов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Средние составы породных типов Тигирекского массива (масс. %)

Породные типы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
Габбро 1 ф (n = 3)	51,09	1,20	12,13	3,34	6,55	8,20	10,75	2,21	1,14	0,91	99,52
Диориты 2 ф (n = 2)	53,12	1,06	16,11	4,71	4,85	6,75	8,11	3,11	1,76	0,63	99,77
Монцодиориты 2 ф (n = 2)	57,88	1,37	17,55	3,01	4,13	1,90	4,38	4,21	4,78	0,44	99,95
Сиениты 3 ф (n = 3)	63,95	0,55	16,31	1,02	2,70	0,92	2,73	3,61	6,12	0,27	99,92
Граносиениты 3 ф (n = 2)	66,15	0,47	16,58	1,13	1,44	0,91	2,21	4,76	5,05	0,21	99,76
Гранодиориты 3 ф (n = 3)	67,14	0,61	16,21	0,64	3,94	1,14	2,54	3,89	3,01	0,23	99,32
Граниты 4 ф (n = 16)	71,70	0,33	13,51	1,15	1,51	0,51	1,71	3,30	4,65	0,10	99,59
Граниты ум.-щел. 4 ф (n = 4)	72,60	0,40	13,31	1,50	1,14	0,90	1,40	3,88	5,12	0,11	99,91
Лейкограниты 5 ф (n = 13)	76,21	0,24	12,09	0,84	1,35	0,25	0,41	3,25	4,55	0,02	99,88
Лейкограниты ум.-щел. с флюоритом 5 ф (n = 11)	74,48	0,28	12,81	0,87	1,31	0,42	1,02	3,28	5,12	0,04	99,74

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории Сибирского Испытательного Центра (г. Новокузнецк). 1 ф – 5 ф – фазы становления массива; n – количество проб; сокращения: щел. – щелочные, ум.-щел. – умеренно-щелочные.

По химизму среди пород массива выделяются известково-щелочные разности – габбро, диориты, гранодиориты, в которых нагрый преобладает на калием и умеренно-щелочные разности – монцодиориты, сиениты, граниты, лейкограниты, в которых обратная картина – калий преобладает над на-

трием. Это подтверждается также и положением фигуративных точек породных типов на диаграмме ТАС (рис. 1). В ранних фазах (до гранитов) наблюдается высокое содержание фосфора, а начиная с гранитов концентрации фосфора падают, что связано с уменьшением апатита в кислых разностях пород.

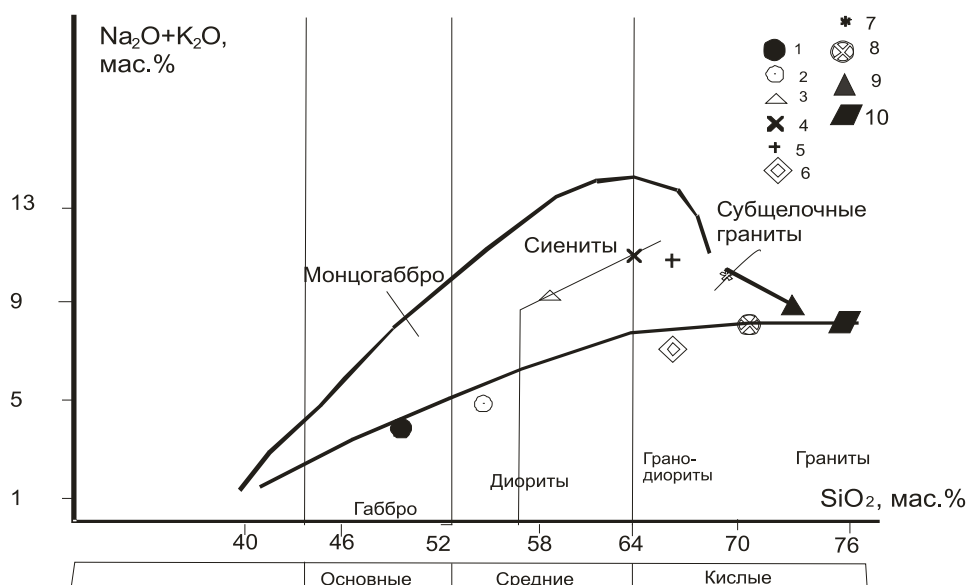


Рис. 1. Петрохимическая диаграмма диагностики горных пород в координатах SiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) для породных типов Тигирекского массива: 1 – габбро; 2 – диориты; 3 – монцодиориты; 4 – сиениты; 5 – граносиениты; 6 – гранодиориты; 7 – граниты; 8 – граниты умеренно-щелочные; 9 – лейкограниты; 10 – лейкограниты умеренно-щелочные

Микроэлементный состав пород отражают данные табл. 2. Обращают на себя внимание высокие концентрации стронция

и бария в породах от габбро до гранодиоритов, что весьма характерно для шошонитовой серии [2].

Таблица 2

Микроэлементный состав породных типов Тигирекского массива (в г/т)

	Габбро	Диориты	Монцодиориты	Сие-ниты	Граносиениты	Гранодиориты	Граниты	Граниты ум-щел	Лейкограниты	Лейкограниты ум.-щел
Li	22,2	21,5	20,5	18,8	37,6	43,3	55	44	65,3	12,9
Rb	96	102	104	109	80	126	145	35	326,3	21,1
Cs	1,2	1,5	1,8	2,2	2,8	3,2	3,6	2,5	11,0	2,1
Ba	1772	1805	1870	1959	750	703	310	175	260,0	27
Sr	1651	2120	2320	4750	630	550	480	120	101,5	15
Zr	342	341	341	286	243	245	250,0	210	130,2	204
Hf	4,6	4,7	4,8	14	7,5	7,0	6,9	5,5	4,5	4,8
Nb	6,8	6,5	6,2	20,7	33	28	24,0	58	20,4	65
Ta	0,7	0,6	0,6	1,1	2	3,1	3,2	5,9	2,0	4,7
Th	4,8	4,7	4,5	5,4	24	26	27	43	38,3	48
U	2,5	2,6	2,6	2,9	9,5	8,8	8,0	12	12,2	14
Y	21,7	20	19,8	16,8	18	22	32,0	17,8	23,0	16,9
La	14	15,5	16	46	73	45	32,0	76	43,9	81
Ce	42	43	44	58	86	91	97	53	58,1	67
Pr	8,8	7,5	6,2	6,4	6,5	6,6	6,7	13	5,8	12
Nd	21	21,6	22	24	24	25,1	25,5	24	22,1	22
Sm	6,8	6,7	6,6	5,4	4,2	4,3	4,6	15	4,1	13
Eu	1,71	1,68	1,67	1,42	1,23	1,1	0,84	10	0,62	12,4
Gd	7,2	6,8	6,6	6,1	3,3	0,9	3,8	16	3,3	17
Tb	1,8	1,4	1,1	0,94	0,52	0,55	0,58	13,1	0,56	12,6
Dy	5,5	5,4	5,3	3,9	2,3	3,2	3,55	24,8	3,65	23,5
Ho	1,5	1,4	1,2	0,8	0,75	0,72	0,70	8,5	0,65	7,8
Er	4,6	3,3	2,9	2,6	2,5	2,3	2,2	15,8	2,1	15,2
Tm	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,35	0,41	3,2	0,33	2,2
Yb	3,6	3,5	3,4	2,8	1,22	3,2	3,60	9,6	3,21	10,7
Lu	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,52	0,61	1,56	0,50	1,52
Co	15,5	14,1	10,9	10	9,8	9,5	9,3	1,1	2,2	1,2
Cr	35,8	28,9	23,4	23,8	24,1	23,0	24,0	4,9	15,3	5,4
Sc	16,8	19,5	20,5	20	19,6	20,1	21,0	2,1	7,4	1,3
Ga	17,9	20	21,1	22	23,1	22,6	22,1	19,8	22,7	18,5
Cu	22,8	21	20	21	20	19,6	19	7,5	15	8,9
Sn	2,5	2,4	2,1	1,6	1,8	3,4	3,3	4,8	4,7	5,0
W	0,5	0,5	0,6	0,6	1,7	1,5	2,6	2,9	2,8	3,2
Mo	0,4	0,3	0,5	0,6	0,8	1,3	2,4	2,7	3,1	3,0
Be	6,4	7,0	7,5	3,9	1,7	3,1	2,8	4,1	4,3	3,6
Rb/Sr	0,058	0,048	0,045	0,023	0,13	0,23	0,30	0,29	3,21	1,41
Th/U	1,92	1,81	1,73	1,86	2,52	2,95	3,37	3,58	3,14	3,43
La/Yb <sub>N</sub>	2,57	2,93	3,11	10,9	39,5	9,26	5,9	5,23	8,91	5,0

Пр и м е ч а н и е . Анализы выполнены в Лаборатории ИМГРЭ методом ICP-MS (г. Москва).

Весь набор пород массива характеризуется умеренными и высокими нормированными по хондриту значениями  $La/Yb_N$ , варьирующими от 2,57 до 39,5, свидетельствуют о разной степени дифференцированности расплавов в отношении лёгких и тяжёлых редкоземельных элементов. Это также свойственно шошонитовой серии гранитоидов.

В целом гранитоидная часть пород массива может быть отнесена к низко-титанистой группе (содержание  $TiO_2$  в породах начиная от сиенитов к лейкогранитам менее 1). Они обогащены группой элементов

LILE и деплетированы элементами HFSE (высокие содержания Rb, Ba, Sr и высокие отношения Rb/Sr от 0,13 в граносиенитах до 3,21 в лейкогранитах, умеренные отношения Th/U, варьирующие от 2,52 до 3,58). Это указывает на сильное фракционирование поздних кислых расплавов в отношении групп элементов LILE/HFSE.

На диаграмме  $K_2O-SiO_2$  все породы кроме известково-щелочных разновидностей (габбро, диоритов, гранодиоритов) попадают в поле шошонитовой серии (рис. 2). При этом, монцодиориты и сиениты локализуются в поле банакитов.

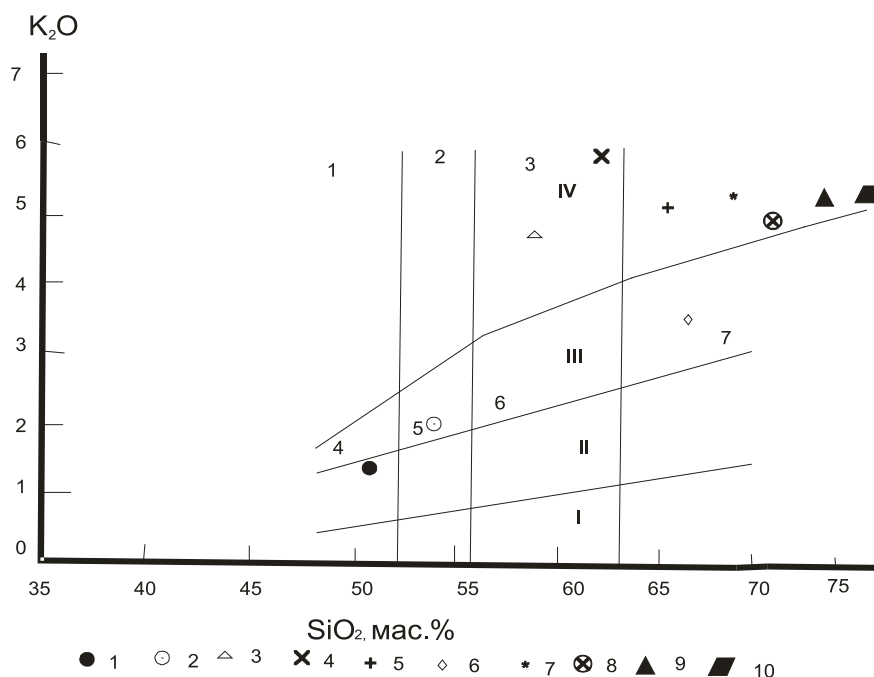


Рис. 2. Диаграмма  $K_2O-SiO_2$  для породных типов Тигирекского массива. Поля пород: 1 – абсарокит; 2 – шошонит; 3 – банакит; 4 – высоко-К базальт; 5 – высоко-К андезибазальт; 6 – высоко-калиевый андезит; 7 – высоко-К дацит по [7]. Серии пород: I – толeutовая; II – известково-щелочная; III – высоко-К известково-щелочная; IV – шошонитовая. Породные типы Тигирекского массива: 1 – габбро, 2 – диориты, 3 – монцодиориты, 4 – сиениты, 5 – граносиениты, 6 – гранодиориты, 7 – граниты, 8 – граниты умеренно-щелочные, 9 – лейкограниты, 10 – лейкограниты умеренно-щелочные

Весьма интересные данные получены нами при расчётах значений тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (РЗЭ). Некоторые отношения элементов и значения тетрадного эффекта фракционирования лантаноидов приведены в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что в процессе становления Тигирекского массива выявляется два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ: W и M. При этом происходила сложная картина изменений тетрадного эффекта, что вызвано было нестабильностью физико-химических параметров расплавов и их флюидного режима.

На первом этапе при кристаллизации габброидов и диоритоидов первой и второй фаз проявлен был M-тип фракционирования РЗЭ (значение  $TE_{1,3}$  превышает 1,1). В гибридных разновидностях пород (сиенитах и граносиенитах) наблюдается W-тип тетрадного эффекта (значение  $TE_{1,3}$  менее 0,9). Начиная с гранодиоритов и кончая умеренно-щелочными лейкогранитами происходило фракционирование РЗЭ вновь по M-типу (значение  $TE_{1,3}$  варьируют от 1,1 до 1,4). Незначимое значение  $TE_{1,3}$  зафиксировано лишь для лейкогранитов. Такой ход изменения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ интерпретируется

нами следующим образом. Кристаллизация габброидов и диоритоидов происходила из расплава, обогащённого летучими компонентами, что подтверждается высокими концентрациями фосфора и бериллия в ранних фазах. Становление последующих дериватов (гибридных сиенитов и граносиенитов) было вызвано контаминацией корового материала, обогащённо-

го вадозной водой, которая и повлияла на изменение типа фракционирования РЗЭ. Последующая кристаллизация пород от гранодиоритов к умеренно-щелочным лейкогранитам вновь протекала в условиях насыщенности расплавов флюидами, обогащёнными фтором, о чём свидетельствует присутствие флюорита в умеренно-щелочных лейкогранитах.

Таблица 3

Отношения химических элементов и значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в породных типах Тигирекского массива и в хондритах

Породные типы и хондриты	Y/No	Eu/Eu*	La/Lu	Zr/Hf	Sr/Eu	TE <sub>1,3</sub>
Габбро	14,46	0,054	20,0	74,3	965,1	1,31
Диориты	14,3	0,055	25,8	72,5	1261	1,17
Монцодиориты	16,7	0,055	26,7	71,04	1389	1,11
Сиениты	21,0	0,055	115,0	20,4	3345	0,88
Граносиениты	24,0	0,071	243,3	32,4	512	0,78
Гранодиориты	30,55	0,085	86,5	35,0	500,0	1,4
Граниты	45,7	0,043	52,4	36,2	571,4	1,11
Граниты умеренно-щелочные	2,09	0,14	48,7	38,2	12,0	1,27
Лейкограниты	35,4	0,037	87,8	28,9	163,7	0,95
Лейкограниты ум.-щел. с флюоритом	2,1	0,19	53,3	42,5	1,2	1,29
В хондритах	29,0	0,32	0,975	36,0	100,5	-

Примечание. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер [6]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [4].

Сложная картина насыщенности различными летучими и флюидами описанных дериватов, вероятно, сказалась и на многообразной рудогенерирующей способности интрузива. Пространственно и парагенетически с ним связаны месторождения и проявления железа (железорудные Белорецкое, Инское), вольфрама, молибдена (редкометалльное месторождение Белорецкий рудник), бериллия (пегматитовые месторождения Тигирекское, Гор Рассыпной, Чайной и другие). Помимо указанных типов оруднения в пегматитах Тигирекского месторождения, Гор Чайной и Рассыпной присутствуют прекрасные аквамарины и друзы горного хрусталя, раухтопаза [1].

Таким образом, Тигирекский массив представлен породами нормальной известково-щелочной и шошонитовой серий, формировавшихся в 5 фаз от габброидов умеренно-щелочных до лейкогранитов с флюоритом. В магматическом глубинном очаге происходили сложные процессы дифференциации, сопровождавшиеся фракци-

онированием редкоземельных элементов. Смена типов тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов связана с менявшимися условиями флюидного режима, что сказалось на комплексной металогенической специализации Тигирекского массива с образованием емтсорождений и проявлений железа, вольфрама, молибдена, бериллия, аквамарина, горного хрусталя, раухтопаза.

#### Список литературы

1. Гусев А.И. Геммология Алтая с основами геммотуризма. – Бийск: БПГУ, 2007. – 156 с.
2. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруднение. – М.: Изд-во РАН, 2011. – 125 с.
3. Туркин Ю.А., Федак С.И. Геология и структурно-вещественные комплексы Горного Алтая. – Томск: STT, 2008. – 460 с.
4. Anders E., Greevesse N. // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.
5. Gusev A.I. // European Journal of Natural History. – 2011. – № 1. – P. 41–45.
6. Irber W. // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63. – P. 489–508.
7. Peccerillo A., Taylor S.R. // Contrib. Mineral. Petrol. – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.