

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ  
САРАКОКШИНСКОГО ПЛАГИОГРАНИТОВОГО МАССИВА  
ГОРНОГО АЛТАЯ**

**Гусев А.И.**

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

Приведены данные по геохимии, петрологии и генезису тоналитов и плагиогранитов Саракокшинского массива Горного Алтая. Они характеризуются высокой глинозёмистостью, а также повышенной магниальностью тоналитов и железистостью плагиогранитов. По соотношению изотопов стронция тоналиты и плагиограниты относятся к мантийным образованиям. Соотношения изотопов стронция и неодима позволяет рассматривать их мантийными образованиями, близкими к типу PREMA. Геохимические данные позволяют относить их к адакитовым гранитоидам. В них выявляются признаки плавления амфиболитов и смешение мантийных выплавов и коровых субстратов. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов W- типа.

**Ключевые слова:** тоналиты, плагиограниты, адакитовые граниты, плавление амфиболитов, смешение с корой, изотопы стронция и неодима, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ

**THE GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF SARAKOKSHINSKII PLAGIOGRANITE  
MASSIF OF MOUNTAIN ALTAI**

**Gusev A.I.**

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

Data on geochemistry, petrology and genesis of tonalities and plagiogranites Sarakokshinskii massif Mountain Altai lead. Its characterized by high peraluminous and high magnesium of tonalities and ferrous of plagiogranites. Tonalites and plagiogranites treat to mantle formations on ratio isotopes Sr, near to type PREMA. Geochemical data allow refer to adakitic granitoids. Signs of melting amphibolites and mixing mantle smelting and crust substrates discover. Tetrad effect fractionation of rare elements W-type reveal in rocks.

**Keywords:** tonalitie, plagiogranites, adakitic granitoids, melting of amphibolites, mixing with crust substrates, isotopes of Sr, Nd, tetrad effect fractionation of rare elements

Плагиогранитоиды имеют важное значение в определении геодинамической обстановки формирования, петрологии и рудогенерирующей роли. Геохимическое изучение их позволяет реставрировать и геодинамическую обстановку их формирования и выявить потенциал рудоносности. Актуальность исследования их связана с тем, что с плагиогранитоидами парагенетически и пространственно связаны различные типы золотого оруденения: золото-черносланцевое, золото-медно-скарновое, медно-золото-порфировое и другие [5]. Цель исследования – изучить геохимические особенности плагиогранитоидов Саракокшинского массива для выявления их петрологии и генезиса.

**Петрология и геохимия  
плагиогранитоидов саракокшинского  
массива**

В Саракокшинском массиве ( $\epsilon_3$ ) картируются габброиды и плагиогранитоиды. Первые по различным петрогеохимическим показателям дискриминируются в различные типы. Тоналиты формируют вторую фазу внедрения, а плагиограниты – третью.

Тоналиты амфибол-пироксеновые, амфиболовые, биотит-амфиболовые и плагиограниты биотитовые, в различной степени разгнейсованные, альбитизированные

и калишпатизированные. В целом, породы плагиогранитного ряда характеризуются неравномернозернистыми структурами и непостоянным минеральным составом с присутствием реликтов клинопироксена (диопсид, салит), переменными количествами плагиоклаза ряда олигоклаз-андезин-лабрадор, кварца, часто образующего крупные порфировидные скопления, а также биотита, амфибола, представленного обыкновенной роговой обманкой и, реже, паргаситом, магнетита и титаномагнетита (до 10%). Набор акцессорных минералов включает сфен, апатит, циркон, рутил, ксенотим, гранат. Детальное петрографическое описание пород выполнено ранее [1, 2]. Химический состав плагиогранитоидов приведен в табл. 1.

Тоналиты и плагиограниты характеризуются повышенными содержаниями натрия, железа, ванадия, никеля, хрома, марганца, превышающие кларковые значения. В то же время в них меньшие количества титана, фосфора, калия. Нормированные отношения  $(La/Yb)_N$  варьируют от 4,75 до 6,7 и указывают умеренную дифференциацию редкоземельных элементов (РЗЭ). В целом магматиты Саракокшинского массива близки костроводужным породам с обогащением литофильными элементами (LILE) и деплетированы на высокозарядные (HFSE) элементы (Nb, Ta and Ti).

Таблица 1

Представительные анализы гранитоидов Саракокшинского массива  
(оксиды, масс. %, элементы, г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	65,47	65,71	69,14	70,61	70,9	71,7	72,22
TiO <sub>2</sub>	0,40	0,43	0,35	0,36	0,39	0,26	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,26	15,51	12,58	12,89	14,92	12,91	12,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,86	2,73	1,68	3,53	4,29	1,7	0,98
FeO	4,54	2,95	4,95	2,13	0,44	2,12	4,99
MnO	0,17	0,15	0,14	0,05	0,06	0,08	0,1
MgO	3,0	1,71	1,67	1,14	0,81	0,78	1,12
CaO	3,65	4,74	3,69	2,85	3,1	1,69	2,49
Na <sub>2</sub> O	4,1	3,82	3,27	4,24	3,72	4,7	3,4
K <sub>2</sub> O	0,31	0,58	0,8	0,8	0,45	1,5	0,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1	0,13	0,06	0,06	0,09	0,09	0,05
V	195	197	102	104	108	105	101
Cr	65	63	45	49	51	48	41
Ni	52	56	42	46	48	44	41
Be	1,4	1,8	2,5	2,9	3,1	2,8	3,3
Sc	22	24	16	17	19	15	12
Li	12	11	18	20	19	17	19
Sr	200	210	190	195	192	196	191
Ba	185	180	181	178	179	180	176
Rb	15,5	16	16,8	16,5	17	16,8	16,6
Nb	0,9	0,8	1,5	1,4	1,5	1,3	1,2
Zr	88	90	165	168	170	165	172
Hf	1,1	1,3	2,7	3,0	3,2	2,8	3,5
Ta	0,3	0,32	0,28	0,29	0,28	0,3	0,29
La	14,2	13,8	11,1	9,3	10,4	11,1	10,5
Ce	20,1	19,6	18,3	16,2	17,3	17,8	15,8
Pr	6,1	6,4	2,5	2,8	2,7	3,4	2,7
Nd	9,3	9,2	8,5	8,1	8,0	8,8	8,2
Sm	8,2	8,1	4,5	4,3	4,2	5,3	4,4
Eu	1,5	1,4	1,9	1,0	1,1	1,4	1,2
Gd	6,4	6,5	5,7	5,8	5,9	5,9	5,8
Tb	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2
Dy	1,9	1,9	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7
Ho	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8
Er	0,7	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
Tm	1,1	1,1	0,9	0,8	0,7	0,9	0,7
Yb	1,4	1,5	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3
Lu	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
Y	13,2	12,8	16,1	16,4	15,6	14,3	16,7
(La/Yb) <sub>N</sub>	6,7	6,08	6,2	4,75	5,8	5,67	5,37
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	3,7	3,5	3,86	3,61	4,0	3,68	3,61
Eu/Eu*	0,044	0,042	0,084	0,045	0,049	0,056	0,053
Mg#	28,9	23,1	20,1	16,7	14,6	16,9	15,7

Примечание. Силикатные анализы на главные компоненты выполнены в Испытательном Западно-Сибирском Центре (г. Новокузнецк), а на элементы – методом ICP-MS в Лаборатории ИМ-ГРЭ (г. Москва); значения РЗЭ нормированы по хондриту по Anders E., Greevesse N. [7]. Σ РЗЭ – сумма редкоземельных элементов. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. Mg# [=Mg/(Mg+Fe<sub>i</sub>)]. Породы Саракокшинского массива: 1, 2 – тоналиты, 3-6 – плагиограниты, 7 – дайка плагиогранита.

На диаграмме  $Al_2O_3/(N_2O+K_2O) - Al_2O_3/(N_2O+K_2O+CaO)$  фигуративные точки составов пород локализуются в поле пересыщенных глинозёмом пород (пералюминиевое поле) (рис. 1, а).

Соотношение  $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$  показывает, что тоналиты попадают в поле

магнезиальных пород, а плагиограниты – в поле железистых (рис. 1, б).

В координатах  $Sr/Y - Y$  фигуративные точки составов пород попадают в поле адакитов и в область перекрытия составов адакитов и поля типичных дуговых пород (андезитов, риолитов, дацитов) (рис. 2).

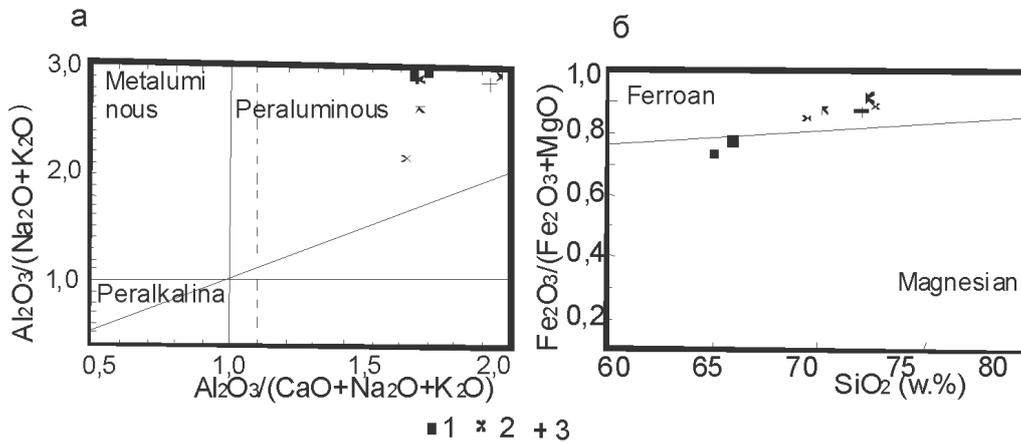


Рис. 1. а – диаграмма  $Al_2O_3/(N_2O+K_2O) - Al_2O_3/(N_2O+K_2O+CaO)$  по [13] и б – диаграмма  $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$  по [15] для пород Саракокшинского массива: 1 – тоналиты, 2 – плагиограниты, 3 – дайка плагиогранита

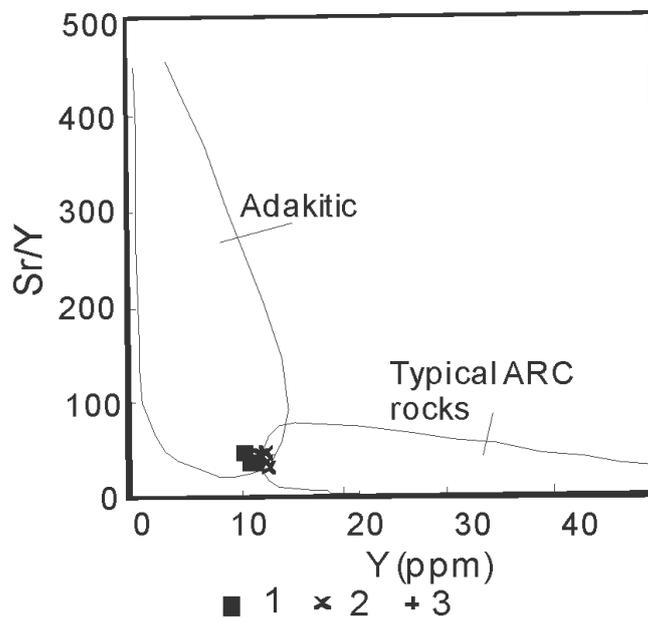


Рис. 2. Диаграмма  $Sr/Y - Y$  по [8] для пород Саракокшинского массива. Поля на диаграмме по [8]: Adakitic – Адакиты, Typical ARC rocks – породы типичных андезитов, риолитов, дацитов вулканических дуг. Условные обозначения те же, что на рис. 1

На серии диаграмм по экспериментальному плавлению различных субстратов устанавливается, что генера-

ция пород Саракокшинского массива проходила за счёт плавления амфиболитов (рис. 3, а, б, с).

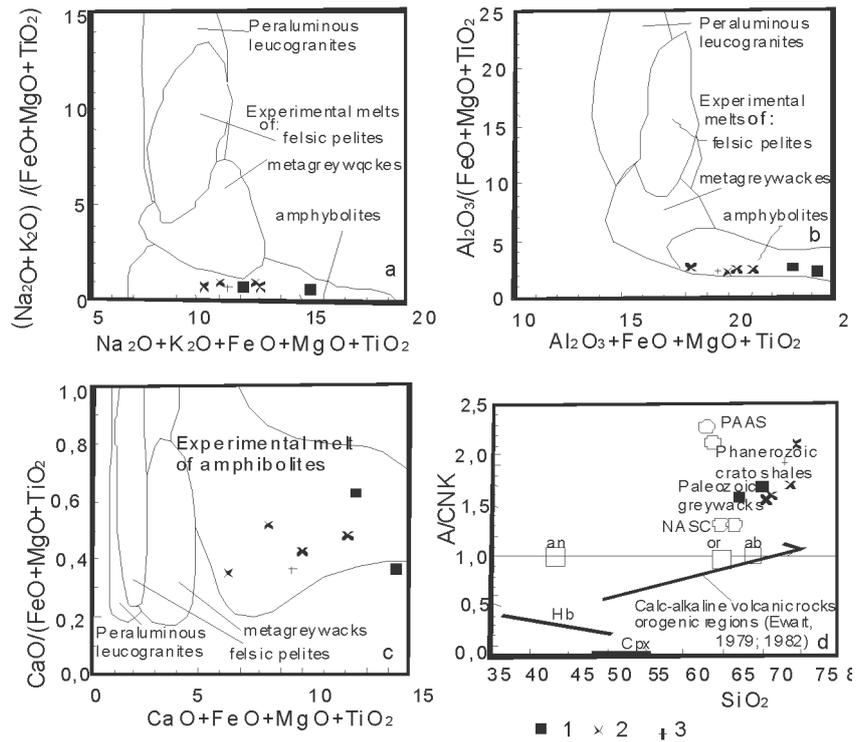


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы:

(a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусовитовых сланцев), метаграувакк и амфиболитов для пород Саракокшинского массива; (d) – диаграмма  $\text{SiO}_2 - A/\text{CNK}$  для пород Саракокшинского массива. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [9, 10].

$A - \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CNK}$  – Сумма  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ .  
Остальные условные те же, что на рис. 1

По соотношению  $A/\text{CNK} - \text{SiO}_2$  фигуративные точки пород близки к области плавления палеозойских граувакк и фанерозойских кратонных сланцев (рис. 3, d).

Соотношения  $\text{La}/\text{Nb}$  и  $\text{Ce}/\text{Y}$  указывают, что породы Саракокшинского массива ближе к тренду смешения с корой, что позволяет говорить о мантийно-коровом взаимодействии [4].

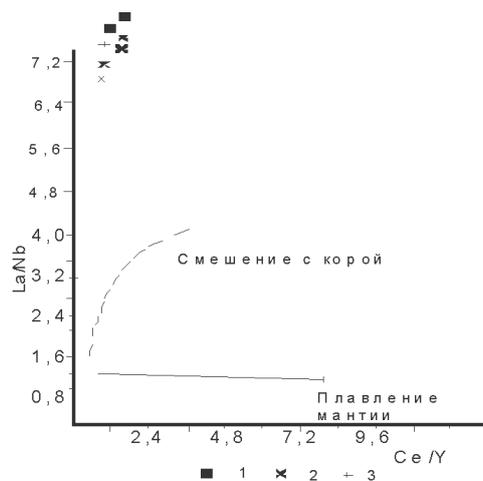


Рис. 4. Диаграмма соотношений  $\text{Ce}/\text{Y} - \text{La}/\text{Nb}$  по [7] для пород Саракокшинского массива.

Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1

Дифференциация РЗЭ привела к тому, что в породах Саракокшинского массива проявился тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, варьирующий от 0,85 до 1,06 (табл. 2). Значимые величины менее

0,9 указывают на проявление ТЭФ W- типа, что является необычным явлением для гранитоидов. Соотношение Y/No –  $TE_{1,3}$  показывает, что с уменьшением величины Y/No происходит уменьшение и ТЭФ (рис. 5).

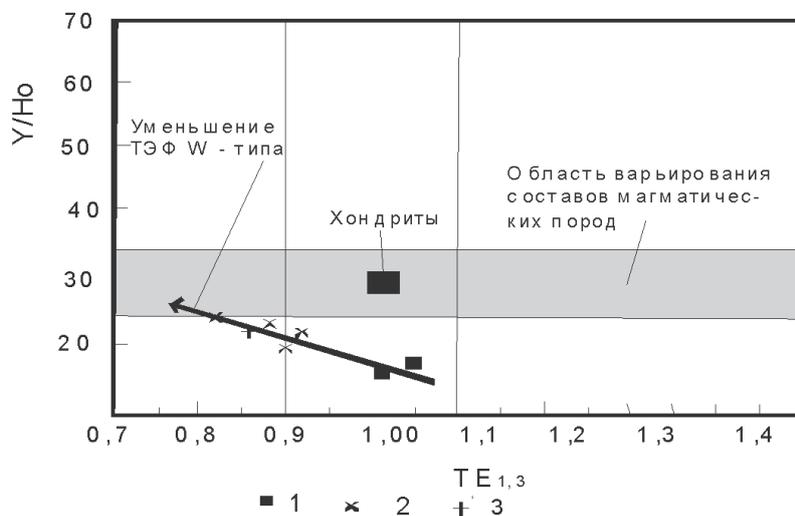


Рис. 5. Диаграмма Y/No –  $TE_{1,3}$  для магматитов Саракокшинского массива

Таблица 2

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ в породах Саракокшинского массива

Отношения элементов и значения ТЭФ	1	2	3	4	5	6	7	Отношения в хондритах
Y/No	14,7	16,0	23,0	20,5	22,3	17,9	20,9	29,0
Zr/Hf	80,0	69,2	61,1	56,0	53,1	58,9	49,1	36,0
La/Nb	15,8	17,3	7,4	6,6	6,9	8,5	8,8	30,75
La/Ta	47,3	43,1	39,6	32,1	37,1	37,0	36,2	17,57
Sr/Eu	133	150	100	195	174	140	159	100,5
Eu/Eu*	0,62	0,58	1,16	0,62	0,5	0,49	0,74	0,32
Sr/Y	15,2	16,4	11,8	11,9	12,3	13,7	11,4	4,62
$TE_{1,3}$	1,03	1,06	0,85	0,91	0,88	0,9	0,86	-

Примечание.  $TE_{1,3}$  – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по В. Ирбер [11];  $Eu^* = (Sm_N + Gd_N)/2$ . Значения в хондритах приняты по [7].

**Интерпретация результатов**

Гранитоиды Саракокшинского массива относятся к толеитовому ряду по классификации Л.В. Таусона. По составу биотита они дискриминируются в плагиограниты адакитового типа (AD – типа) [5]. По данным Sm-Nd изотопного датирования плагиограниты Саракокшинского массива сформированы 587 млн. лет назад [6], а по соотношению  $\epsilon(Sr)t - \epsilon(Nd)t$  близки к примитивному мантийному источнику типа PREMA [1, 4]. По соотношениям Al, Yb, Sr, La они относят-

ся к низкоглинозёмистым «океаническим» трондьемитам в понимании Дж. Арта. Наши же данные показывают, что все породы Саракокшинского массива следует рассматривать, как высокоглинозёмистые (пералюминиевые). Соотношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  варьируют от 0,70325 до 0,70468 и указывают на мантийную природу [2]. Геохимические данные указывают на близость магматитов массива к адакитовым гранитоидам, в которых наблюдаются признаки мантийной составляющей и плавления амфиболи-

тов земной коры с последующим смещением материала плавления коры и мантийных выплавов.

### Заключение

Таким образом, толеиты и плагиограниты Саракокшинского массива по геохимическим признакам можно отнести к адakitовым гранитоидам. Их петрогенезис включает процессы плавления амфиболитов нижней коры и смещение мантийных выплавов с коровым материалом.

### Список литературы

1. Гусев А.И. Золотогенерирующие магмо-рудно-метасоматические системы северо-восточной части Горного Алтая. Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. – Томск, 2000. – 179 с.
2. Гусев А.И. Эталон синюхинского габбро-гранитного комплекса (Горный Алтай). – Новосибирск: СНИИГТИМС, 2007. – 208 с.
3. Гусев А.И. Типизация гранитоидов на основе составов биотитов // Успехи современного естествознания, 2009. – № 4. – С.54-57.
4. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. Мантийно-коровое взаимодействие в генерации различных типов оруденения: геофизический и петрологический аспекты // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 315. – № 1. – С. 18-25.
5. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАН, 2012. – 160 с.
6. Крук Н.И., Владимиров В.Г., Руднев С.Н. Геодинамика и магматизм палеотрансформных окраин Алтае-Саянской складчатой области (средний палеозой) // Эволюция тектонических процессов в истории Земли. Материалы XXXVII Тектонического совещания. – Новосибирск. – 2004. – С. 273-275.
7. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – Pp. 197-214.
8. Barbarin B. A Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // *Lithos.* – 1999. – V. 46. – Pp. 605-626.
9. Defant M.J., Drummond M.S. Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc. // *Geology*, 1993. – V. 21. – Pp. 547-550.
10. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks. – *Trondjemites, Dacites and Related Rocks.* – Amsterdam, 1979. – Pp. 13-121.
11. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. – *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks.* – Chichester, 1982. – Pp. 25-95.
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 Cosmochim Acta.*, 1999. – V.63. – № 3/4. – P. 489-508.
13. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin*, 1989. – V. 101. – Pp. 635-643.
14. Patiño Douce, A.E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origins of granitic magmas? // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 1999. – V. 168. – pp. 55-75.
15. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // *Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science*, 1998. – V. 89. – P. 113-119.