

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

**ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС
АДАКИТОВЫХ ГРАНИТОИДОВ КШТИНСКОГО
ТОНАЛИТ-ПЛАГИОГРАНИТОВОГО МАССИВА ГОРНОЙ ШОРИИ**

Гусев А.И.

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

Приведены петро-геохимические данные по породным типам Кштинского массива, felsические различия которого (кварцевые диориты, тоналиты и плагиограниты) относятся к высококремнистым адакитам. По экспериментальным данным изученные породы образовались в результате плавления амфиболитов. Соотношение изотопов стронция и неодима позволяет предположить, что адакитовые породы Кштинского массива образовались за счёт плавления сильно метаморфизованных пород (эклогитов и амфиболитов) субдуцированного океанического слэба с модельным рифейским возрастом. Высокоглинозёмистые и магнетитовые породы массива генерированы за счёт плавления субстрата, содержащего гранат.

Ключевые слова: петро-геохимия, габбро, кварцевые диориты, тоналиты плагиограниты, лейкоплагиограниты, изотопы стронция и неодима

**PETRO-GEOCHEMICAL PECULIARITIES AND GENESIS OF ADAKITIC
GRANITOIDS KSHTINSKII TONALITE-PLAGIOGRANITE MASSIF
OF GORNAJA SHORIA**

Gusev A.I.

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

The petro-geochemical data on rock types of Kshtinskii massif lead that the felsic differences (quartz diorites, tonalities, plagiogranites) carry to high silica adakites. Studied rocks on experimental data derived in result of melting amphibolites. Ratio of isotopes strontium and neodium allow suppose that adakitic rocks of Kshtinskii massif derived for account melting strong metamorphic rocks (eclogites and amphibolites) of subducted oceanic slab with model age of Rephean. High aluminous and magnesium rocks of massif generated for account melting of substrate containing garnet.

Keywords: petro-geochemistry, gabbro, quartz diorites, tonalities, plagiogranites, leucoplagiogranites, isotopes of strontium and neodium.

Изучение плагиогранитоидов, имеющих близость к адакитовому типу, имеет важное значение в понимании петрологии и геодинамики становления этого характерного магматизма активных зон, переживших океанически-островодужный режим развития регионов [2]. Некоторые комплексы адакитового магматизма являются золотогенерирующими и с ними связаны месторождения золота мирового класса, особенно если в их генерации отмечено-мантийно-коровое взаимодействие [4]. Садринский сектор содержит перспективные месторождения и проявления золота [3] и изучение петро-геохимических особенностей кштинского массива актуально. Цель исследования – изучение петро-геохимических особенностей с использованием данных по изотопии стронция и неодима для выявления генезиса адакитового магматизма Кштинского массива.

**Петрогеохимия и генезис гранитоидов
Кштинского массива**

Кштинский диорит-тоналит-плагиогранитовый массив расположен в Садринском

секторе Алтае-Северосаянского вулканоплутонического пояса на водоразделе рек Лебедь и Садра. Массив имеет в плане вытянутую в северо-восточной направлении форму площадью более 5 км². Он прорывает островодужные толеитовые базальты и андезитобазальты садринской свиты раннего кембрия и низкотитанистые высокоглинозёмистые габброиды лысогорского перидотит-пироксенит-габброноритового комплекса венда-раннего кембрия. Кштинский массив изучен нами в 2001 году при проведении геологического доизучения района и в 2012 году. В составе Кштинского массива нами выделяются 4 фазы внедрения: 1 – средне-крупно-зернистые габбро-диориты; 2- среднезернистые биотит-амфиболовые кварцевые диориты и диориты; 3- среднезернистые биотит-амфиболовые тоналиты; 4 – мелко-среднезернистые амфибол-биотитовые и биотитовые плагиограниты и лейкоплагиограниты. Плагиограниты 4 фазы являются главной преобладающей фазой (90%). Преобладают плагиограниты, среди которых на севере и северо-востоке интрузивного тела иногда

встречаются тоналиты, блоки диоритов и габбро-диоритов в его краевой части, указывая на прямую зональность массива. Такая зональность указывает на то, что становление массива происходило последовательно от габбро-диоритов, диоритов, кварцевых диоритов, тоналитов, расположенных по периферии интрузива, а заключительные фазы локализовались после кристаллизации ранних фаз и внедрялись в центре. Откартированы также интрузивные брекчии с остроугольными обломками ранних габброидов. Вблизи массива отмечены несколько даек лейкоплагиогранитов.

Плагииграниты имеют средне-мелкокристаллическое строение с массивной или слабо такситовой текстурами. В мелкокристаллических разностях изредка наблюдается порфиоровидное строение с крупными интрателлурическими выделениями андезина (№ 34-39). Местами по периферии андезина отмечается каёмка олигоклаза. Основная ткань породы представлена (масс. %): олигоклазом 40-57, кварцем – 28-39, биотитом (2-10), роговой обманкой (0-6). Калиевый полевой шпат редок (0-2 %), и образует ксеноморфные выделения размерами 0.5-1,5 мм. Кварц часто наблюдается в виде крупных округлых выделений с волнистым погасанием; он часто придаёт породе порфиоровидный облик. Плагииоклаз (олигоклаз % 23-28) идиоморфен, часто зонален, с каёмкой альбита по периферии. Олигоклаз нередко серицитизирован. Аксессуары в плагиигранитах: апатит, циркон, магнетит, ортит, пирит.

Тоналиты по структурно-текстурным особенностям весьма близки плагиигранитам, но отличаются от последних более высокими содержаниями роговой обманки (до 15%) и пониженными – кварца (17-22%). Роговая обманка нередко слабо эпидотизирована и хлоритизирована. Набор аксессуаров – циркон, апатит, пирротин, сфен, ильменит.

В тесной связи с гранитоидами Кштинского массива находятся комплексные геохимические аномалии золота, меди, висмута, серебра, располагающихся в области развития березитизированных пород вмещающей рамы массива.

Химический состав пород Кштинского массива представлен в таблице.

Все породы, попавшие в нашу выборку, оказались неизменёнными наложенными процессами о чём свидетельствуют низкие отношения U/Th, не превышающие 1. Во всех разностях отмечается средний уровень или очень высокий нормированных отношений $(La/Yb)_N$, указывающих на дифференцированный тип распределения РЗЭ, что наряду с низкими значениями Y и Yb характерно для адакитовых магм.

На диаграмме $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ все породы Кштинского массива попадают в поле пералюминиевого типа (рис. 1, а). По соотношению $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ все породы за исключением одного анализа лейкоплагиогранита попадают в поле магнезиального типа (рис. 1,б).

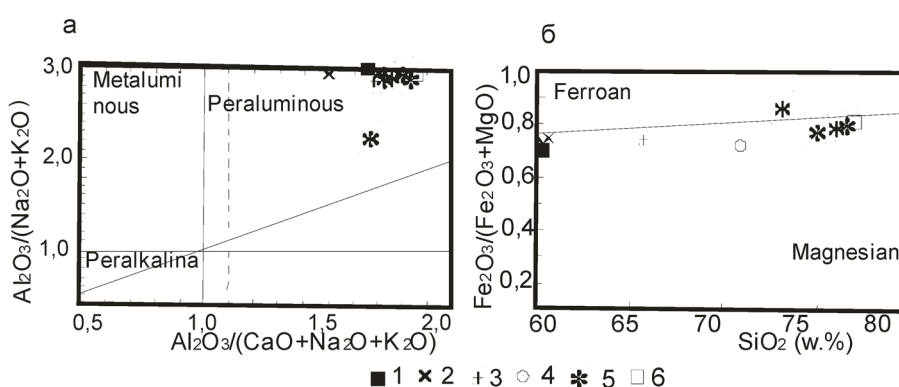


Рис. 1. а – диаграмма $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ по [11] и б – диаграмма $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ по [15] для пород Кштинского массива: Габбро-диорит, 2 – кварцевые диориты, 3 – тоналит, 4 – плагиигранит, 5 – лейкоплагиограниты, 6 – дайка лейкоплагиогранита

Представительные анализы пород Кштинского массива
(оксиды – в масс. %, элементы – в г/т)

Оксиды, элементы и их отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	53,87	58,43	58,61	66,65	71,8	74,34	75,23	75,25	75,45	75,61
TiO ₂	0,65	0,54	0,48	0,37	0,22	0,09	0,18	0,16	0,15	0,14
Al ₂ O ₃	17,65	18,62	18,22	16,12	15,4	13,4	13,51	13,49	13,45	13,47
Fe ₂ O ₃	4,67	3,25	3,45	2,01	1,11	1,0	1,02	1,04	1,03	1,01
FeO	5,12	4,06	4,21	2,12	1,23	1,04	1,08	1,07	1,1	1,08
MnO	0,17	0,15	0,14	0,1	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03
MgO	5,11	2,81	2,31	1,38	0,98	0,41	0,7	0,65	0,62	0,59
CaO	6,75	7,85	7,18	5,18	3,98	1,91	3,55	3,65	3,45	3,3
Na ₂ O	3,34	3,21	3,96	3,9	3,91	4,76	3,42	3,39	3,51	3,7
K ₂ O	0,55	0,63	0,99	0,92	1,12	1,42	0,88	0,83	0,76	0,68
P ₂ O ₅	0,09	0,08	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
Sc	55,1	50,2	49,2	47,8	34,3	28,9	25,7	24,4	19,8	20,4
Be	1,3	1,35	1,4	1,55	2,01	2,12	2,34	2,45	2,51	2,6
Cs	0,4	0,45	0,46	0,52	0,55	0,53	0,51	0,58	0,57	0,59
Rb	9,2	8,9	9,1	9,5	1,5	17,4	17,1	18,6	19,2	20,3
Sr	393	387	391	384	271	196	171	242	134	123
Ba	345	334	338	286	368	653	1987	376	123	137
Y	11,5	12,1	12,3	9,3	6,4	3,5	5,2	1,9	1,7	1,5
Zr	14,5	18,3	13,5	29,1	23,4	57,5	13,6	11,2	13,5	14,8
Hf	0,45	0,62	0,42	0,7	0,68	0,57	1,97	1,45	1,35	1,42
Nb	2,4	2,35	2,34	2,33	2,94	2,76	1,9	1,81	1,78	1,92
Ta	0,17	0,18	0,16	0,18	0,21	0,23	0,19	0,14	0,16	0,15
Th	0,86	0,91	0,76	0,65	0,98	1,56	1,97	2,45	2,56	2,76
U	0,24	0,34	0,16	0,17	0,41	0,29	0,47	0,40	0,38	0,42
V	87	70	69	53	28	30	17	15	13	12
Cr	65	49	47	31	33	34	37	19	20	23
Ni	20	12	11	10	9	7	5	6	5	4
Cu	23	25	13	17	12	8	7	6	5	4
Pb	12	9,5	10	13	16	21	19	18	12	10
Zn	65	54	55	42	34	29	20	16	13	12
La	13,8	5,6	4,65	5,2	8,4	9,3	10,2	10,5	11,1	11,5
Ce	33,2	12,2	10,61	10,8	14,2	19,0	17,9	17,5	17,1	16,3
Pr	4,3	1,55	1,47	1,4	1,6	2,3	1,62	1,63	1,7	1,63
Nd	16,1	6,92	6,2	5,9	5,6	7,8	5,5	5,5	5,3	5,9
Sm	4,2	1,83	1,67	1,34	0,8	1,32	0,54	0,56	0,6	0,58
Eu	0,75	0,68	0,65	0,54	0,44	0,56	0,28	0,27	0,25	0,26
Gd	4,1	2,16	1,67	1,35	0,75	1,25	0,62	0,6	0,58	0,6
Tb	0,53	0,3	0,24	0,17	0,12	0,16	0,06	0,07	0,06	0,07
Dy	4,5	1,94	1,51	0,85	0,54	0,83	0,2	0,2	0,18	0,25
Ho	0,83	0,49	0,32	0,18	0,09	0,15	0,06	0,07	0,05	0,07
Er	2,3	1,24	0,87	0,48	0,3	0,49	0,12	0,11	0,12	0,10
Tm	0,23	0,2	0,17	0,07	0,05	0,1	0,04	0,03	0,04	0,03
Yb	1,71	1,19	0,81	0,42	0,35	0,55	0,18	0,18	0,17	0,16
Lu	0,22	0,19	0,13	0,08	0,05	0,11	0,04	0,03	0,02	0,02
ε _{Nd} (T)	-	-	-	+7,3	+7,5	+7,6	-	-	-	-
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	-	-	-	0,7031	0,7038	0,7041	-	-	-	-
(La/Yb) _N	5,33	3,09	3,8	8,2	15,9	11,8	36,0	38,7	42,9	47,4
U/Th	0,28	0,37	0,21	0,26	0,42	0,19	0,24	0,15	0,14	0,15
Mg#	0,34	0,28	0,23	0,25	0,3	0,17	0,25	0,24	0,22	0,22

Примечание. Анализы выполнены: силикатный анализ в Испытательном Западно-Сибирском Центре (г. Новокузнецк), на редкие и редкоземельные элементы – методом ICP-MS и ICP-AES в Лаборатории ИГиМ СО РАН (г. Новосибирск). Значения PЗЭ нормированы по хондриту по [6]. Mg# [=Mg/(Mg+Fe)]_N – габбро-диорит, 2-3 – кварцевые диориты, 4 – тоналит, 5 – плагиогранит, 6-9 – лейкоплагиограниты, 10 – дайка лейкоплагиогранита.

Интерпретация результатов. Ранее высказывалось мнение о том, что породы Кштинского массива сформировались за счёт плавления метабазальтов каечакской свиты раннего кембрия [5]. По нашим данным породы каечакской свиты не могли служить источником плавления для адакитовых пород массива, так как они моложе пород Кштинского массива (венд). Такими породами могли служить сильно метаморфизованные породы не моложе венда,

так как возраст пород Кштинского массива составляет 545 ± 4 млн. лет, а модельный возраст по изотопной системе Sr и Nd оценивается в 660 млн. лет, что отвечает рифею [5].

Так соотношения $Mg\# - SiO_2$ указывают, что породы массива тяготеют к области плавления эклогита и амфиболита при давлении от 1 до 3 Гпа (рис. 2). В источнике плавления присутствовал гранат, о чём говорит деплетированность на иттрий.

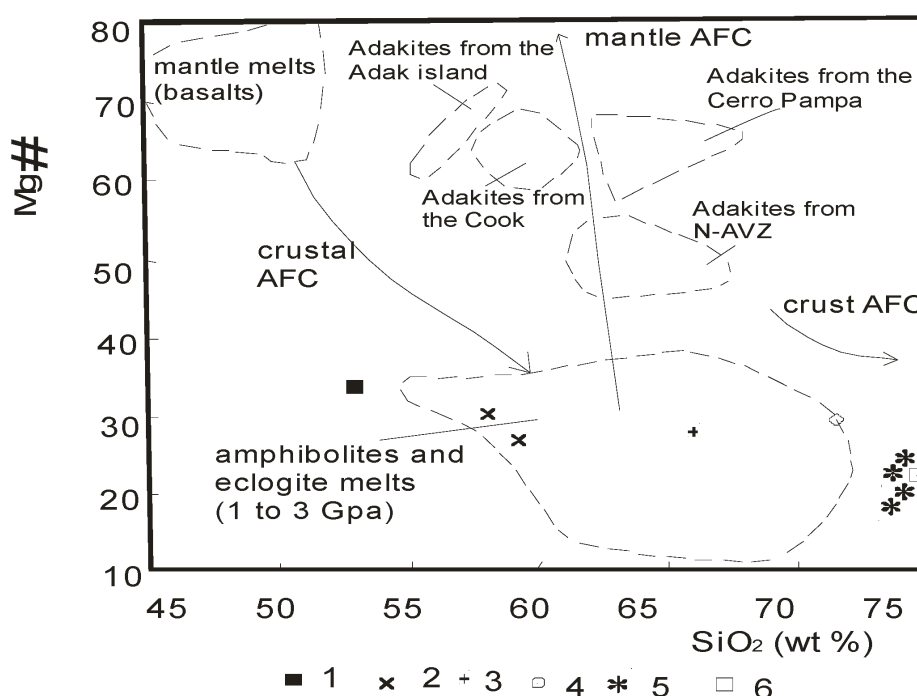


Рис. 2. Диаграмма $Mg\# - SiO_2$ по [14] для пород Кштинского массива: AVZ – Андийская вулканическая зона. Остальные условные обозначения – на рис. 1

На серии диаграмм по экспериментальному плавлению различных субстратов устанавливается, что генерация пород Кштинского массива проходила за счёт плавления амфиболитов (рис. 3, а, б, с). По соотношению $A/CNK - SiO_2$ фигуративные точки пород близки к области плавления па-

леозойских граувакк и фанерозойских кратонных сланцев (рис. 3, d).

На диаграмме соотношений $\epsilon_{Nd}(T) - ^{87}Sr/^{86}Sr$ фигуративные точки составов попадают в поле плавления субдуцированного океанического слэба (рис. 4).

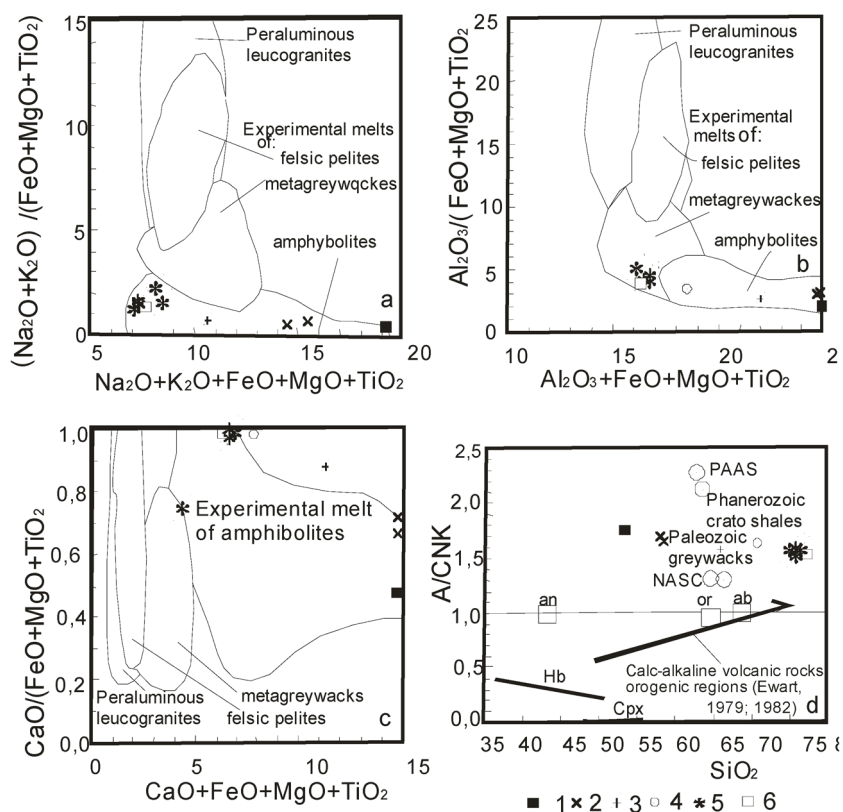


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы: (a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусовитовых сланцев), метагравякк и амфиболитов для пород Китинского массива; (d) – диаграмма $\text{SiO}_2 - \text{A/CNK}$ для пород Китинского массива. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [8, 9]. A – Al_2O_3 , CNK – сумма CaO , Na_2O , K_2O . Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1

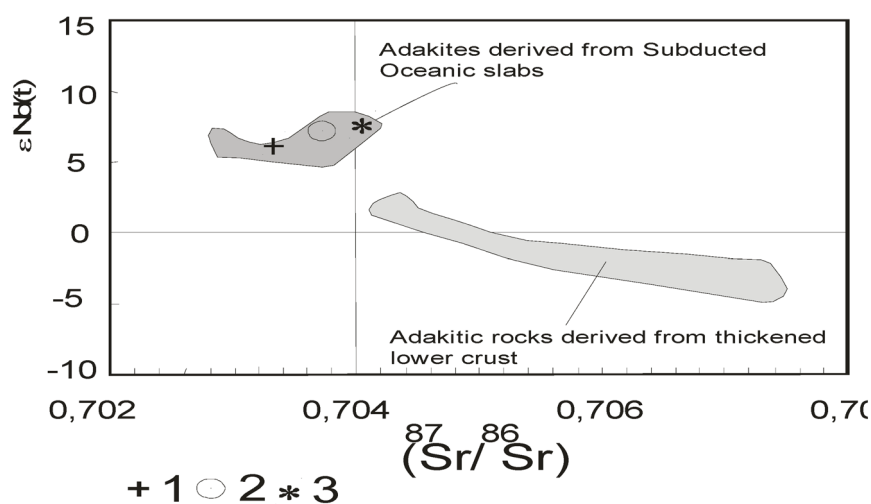


Рис. 4. Диаграмма $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \epsilon\text{Nd}(t)$ для адакитовых гранитоидов Китинского массива

Серые поля на диаграмме: для адakitовых пород из субдукционного океанического слэба по [7, 10] и для адakitовых пород континентальной нижней коры по [12, 13].

Заключение

Приведенные данные показывают, что породы массива относятся к высокоглинозёмистым и магнезиальным типам. Экспериментальные данные показывают, что источником плавления для адakitовых пород массива служил сильно метаморфизованный субстрат субдуцированного океанического слэба (амфиболиты и эклогиты, содержащие гранат) с модельным возрастом, отвечающим рифею. Именно рифейские и вендские комплексы рассматриваются океаническими образованиями для региона. Плавление такого субстрата происходило при высоких давлениях в интервале от 1 до 3 Гпа и последующего мантийно-корового взаимодействия [1, 4].

Список литературы

1. 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.
2. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАН, 2012. – 160 с.
3. Гусев А.И. Металлогения золота: на примере Горного Алтая и Горной Шории. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.
4. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. Адakitовые гранитоиды Калбы: петрология и рудоносность // Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316. – №1. – С. 31-38.
5. Руднев С.Н., Бабин Г.А., Ковач В.П. и др. Ранние этапы островодужного плагиигранитоидного магматизма Горной Шории и Западного Саяна // Геология и геофизика, 2013. – Т. 54. – № 1. – С. 27-44.
6. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – Pp. 197-214.
7. Defant M.J., Jackson T.E., Drummond M.S., De Boer J.Z., Bellon H., Feigenson M.D. The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview // Journal of Geological Society of London, 1992. – V. 149. – P. 569–579.
8. 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.
9. 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.
10. Kay S.M., Ramos V.A., Marquez Y.M. Evidence in Cerro Pampa volcanic rocks for slab-melting prior to ridge-trench collision in southern South America // Journal of Geology, 1993. – V. 101. – P. 703–714.
11. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Soc. America Bulletin, 1989. – V.101. – Pp. 635-643.
12. Muir R.J., Weaver S.D., Bradshaw J.D., Eby G.N., Evans J.A. Geochemistry of the Cretaceous Separation Point Batholith, New Zealand: granitoid magmas formed by melting of mafic lithosphere // Journal of Geological Society of London, 1995. – V. 152. – P. 689–701.
13. Petford N., Atherton M.P. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru // Journal of Petrology, 1996. – V. 37. – P. 1491–1521.
14. Stern C. R., Kilian R. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakitites from the Andean Austral Volcanic Zone // Contrib. Mineral. Petrol., 1996. – V. 123. – Pp. 263-281, 1996.
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 Edinburgh Earth Science, 1998. – V. 89. – P. 113-119.