

УДК 553.3.4.078:553.2:551.73

ПЕТРОЛОГИЯ АДАКИТОВЫХ ГРАНИТОИДОВ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Гусев А.И., Гусев Н.И.

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

Рассмотрены петрография, петрология и геохимия диоритов, тоналитов и плагиигранит-порфиров кастьельского комплекса. Установлена их принадлежность к пералюминиевому магматизму, близкому к адакитовым гранитоидам. Генерация магматитов происходила в результате плавления мантийных гранатовых амфиболитов и коровых пород. В глубинном очаге происходило мантийно-коровое взаимодействие. На заключительных этапах магматогенные флюиды были обогащены водой и в них проявлен тетрадный эффект фракционирования P3Э W-типа.

Ключевые слова: пералюминиевый магматизм, адакитовые гранитоиды, мантийно-коровое взаимодействие, тетрадный эффект фракционирования P3Э

PETROLOGY OF ADAKITE GRANITOIDS OF SOUTH COUST CRIMEA

Gusev A.I., Gusev N.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, c. Biisk, anzerg@mail. ru

Petrography, petrology and geochemistry of diorites, tonalities and plagiogranite-porphyrtes of Kastelskii complex discerned in paper. Their implement to peraluminous magmatism, near to adakite granitoids put up. Generation of magmatites happened in result melting of garnet amphybolites and crust rocks. The mantle-crust interaction took place in deep melting spot. The magmatic fluids were rich by water and in its display tetrad effect fractionation of REE W-type on the final stage.

Keywords: peraluminous magmatism, adakite granitoids, mantle-crust interaction, tetrad effect fractionation of REE

Восточный Крым и Южный Берег Крыма по своему положению весьма близки к структурам Большого Кавказа. В этой части Горного Крыма, как и на Большом Кавказе, известны проявления эффузивного и интрузивного магматизма юрского возраста. Однако изучение магматических пород Крыма проводилось в 30-60-е годы прошлого века. Наиболее свежие данные относятся к началу 90-х годов прошлого века [3, 4]. Новых аналитических данных по большей части магматических образований нет, что сказывается на устаревших представлениях по многим из них. Цель настоящей статьи охарактеризовать свежими аналитическими данными проявления кастьельского комплекса Южного Берега Крыма и составить современные представления на их петрогенезис.

Результаты исследований. Кастьельский диорит-плагиигранитовый комплекс (I2ks) включает преобладающие плагииграниты, тоналиты, а также кварцевые диориты, габбро-диориты в составе Кастьельского, Урагского, Серагозского, Шахринского, Ай-Иоринского, других интрузивов в Кастьельско-Аю-Дагском ареале и сопровождающих их даек такого же состава. По сведениям А.Е. Лагорио, у подножья горы Ай-Тодор субвулканическое тело базальтоидов пересечено гранодиоритами (тоналитами, плагиигранитами), которые

сопоставляются также с образованиями кастьельского комплекса. В краевых частях Кастьельского интрузива развиты многочисленные крутопадающие дайки плагиигранит-порфиров с резко выраженными зонами закалки; мощность даек от десятков см., до 6 м. Дайки плагиигранит-порфиров и тоналит-порфиров встречены также в Аю-Дагском массиве и интрузиве мыса Партенит. Традиционно формирование всей ассоциации пород кастьельского комплекса рассматривалось как двухфазное [3, 4].

По нашим данным породные типы кастьельского комплекса формировались в три фазы, что выявляется по пересечениям различных фаз и наличию включений ранних образований в более поздних. К первой фазе относятся габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты. Во вторую фазу сформировались тоналиты и гранодиориты. Заключительная фаза включает плагииграниты и плагиигранит-порфиры. Массивы комплекса сопровождаются дайками пёстрого состава.

Породы I интрузивной фазы, авгит-биотит-роговообманковые диориты, кварцевые диориты и кварцевые габбро-диориты (обычно среднезернистые) слагают ядерную и южную части Кастьельского штока. Породы II интрузивной фазы, биотит-роговообманковые тоналиты, гранодиориты слагают основной объем Кастьельского, Ураг-

ского и других интрузивов. В центральной части интрузивных массивов породы II фазы среднезернистые и мелко-среднезернистые, относительно равномерно-зернистые; в краевой части интрузивов породы II фазы – мелкозернистые порфирировидные и резко порфирировидные («тоналит-порфиры»). Порфирировидные выделения плагиоклаза в них представлены лабрадором (An44-49) и андезин-лабрадором (An31-42); основная ткань породы сложена андезином (An33-37), кварцем, красновато-бурым резко плеохроирующим биотитом; акцессорные минералы – магнетит, апатит, титанит, пирит и пиротин. Биотит по оптическим показателям близок к ряду аннит-сидеро-

филлиту, а роговая обманка – к паргаситу. Местами паргасит замещается хлоритом и эпидотом.

Химический состав породных типов кастельского комплекса представлен в табл. 1. Все породные типы имеют известково-щелочной состав при сумме щелочей ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) от 4,05 до 7,21% и преобладании Na над K. Коэффициент магнезиальности пород низок (вариации Mg# от 0,15 до 0,38). Отношение U/Th повсеместно меньше 1 (от 0,17 до 0,47) и указывает на относительную не изменённость наложенными процессами. Отношения (La/Yb) повышены (вариации от 4,11 до 6,5), указывающие на дифференцированный тип распределения РЗЭ.

Таблица 1

Представительные анализы адакитовых гранитоидов кастельского комплекса Южного Берега Крыма (оксиды – масс. %, элементы – г/т)

Компоненты	Диорит	Тоналит	Тоналит	Плагио-гранит	Плагио-гранит-порфир	Дайка плагио-гранит-порфира
SiO ₂	56,23	65,93	66,02	70,75	71,05	75,68
TiO ₂	0,45	0,28	0,23	0,18	0,15	0,18
Al ₂ O ₃	16,31	14,35	17,52	15,22	15,33	13,02
Fe ₂ O _{3t}	10,15	5,43	2,34	2,11	2,21	1,72
MnO	0,08	0,17	0,07	0,08	0,07	0,06
MgO	2,72	0,95	1,25	1,31	1,3	0,8
CaO	7,7	3,3	2,78	2,77	2,72	1,05
Na ₂ O	3,3	4,2	4,52	4,72	4,65	4,7
K ₂ O	0,75	1,3	1,81	2,49	2,51	1,62
P ₂ O ₅	0,14	0,16	0,13	0,12	0,11	0,09
Cs	0,5	0,64	0,48	0,52	0,49	0,7
Cr	77,3	25,1	24,0	18,5	18,6	12,5
Rb	17,2	19,0	28,1	16,1	40,0	39,5
Sr	665	630	560	520	420	580
Y	17,3	15,2	14,5	7,6	5,7	5,2
Zr	17,0	23,0	25,0	14,0	13,5	20,0
Nb	5,4	5,42	4,7	3,9	2,7	4,3
Ba	440	770	620	710	750	410
La	12,3	12,0	12,1	7,7	5,2	6,2
Ce	30,3	25,1	22,7	13,5	10,3	10,7
Pr	4,05	2,75	2,8	1,68	1,35	1,3
Nd	17,1	11,0	10,8	6,2	5,2	6,0
Sm	3,75	2,12	2,11	1,25	1,2	1,0
Eu	1,22	0,75	0,76	0,47	0,45	0,33
Gd	3,6	2,42	2,43	1,15	1,12	0,8
Tb	0,62	0,36	0,35	0,18	0,18	0,15
Dy	3,4	2,03	2,1	1,16	0,97	1,0
Ho	0,7	0,42	0,41	0,24	0,22	0,22
Er	2,0	1,4	1,38	0,73	0,68	0,47
Tm	0,34	0,21	0,2	0,14	0,12	0,1
Yb	2,0	1,22	1,25	0,9	0,8	0,78
Lu	0,25	0,24	0,25	0,15	0,23	0,14
Hf	0,82	0,95	0,94	0,65	0,75	0,48
Ta	0,44	0,28	0,27	0,28	0,23	0,21
Th	1,3	3,1	2,3	1,4	1,02	1,3
U	0,62	0,8	0,4	0,32	0,32	0,6
U/Th	0,47	0,26	0,17	0,23	0,31	0,46
Sr/Y	38,4	41,4	38,6	68,4	73,7	111,5
Mg#	0,21	0,15	0,35	0,38	0,37	0,32
(La/Yb) _N	4,11	6,5	6,4	5,67	4,3	5,25
TE ₁	1,07	1,02	0,98	0,97	1,02	0,86

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории Западно-Сибирского Испытательного Центра (г. Новокузнецк). Fe₂O_{3t} – не разделённое общее железо (FeO+Fe₂O₃). Mg# – молекулярные отношения Mg/(Mg+Fe²⁺). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [5]. TE₁ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ для первой тетрады по [11].

Тоналиты характеризуются повышенными концентрациями Ba, Sr, отношениями Sr/Y и пониженными содержаниями Hf, Ta, Rb.

Плагиигранит-порфиры третьей фазы – резко порфировидные породы, и в отличие от тоналитов, существенно биотитовые по составу темноцветных минералов. Роговая обманка встречается весьма редко. Интра-теллурическая фаза представлена идиоморфными выделениями олигоклаза (An₁₇₋₁₉), местами зонального с ядром сложенным андезином (An₃₂₋₃₆). Основная ткань породы включает кварц, олигоклаз (An₁₄₋₁₆), биотит, редко калиевый полевой шпат. Набор аксессуариев: апатит, магнетит, сфен, циркон, сульфиды. Петрогеохимические особенности плагиигранит-порфиров близки такому же тоналитов.

Плагиигранит-порфиры даек преобладают среди дайковых образований. Это резко порфировидные породы, и в отличие от плагиигранит-порфиров интрузивных массивов, содержат редкие листочки и чешуйки биотита, слабо замещаемые по периферии хлоритом. Интра-теллурическая фаза представлена идиоморфными выделениями олигоклаза (An₁₃₋₁₄), местами зонального с ядром сложенным андезином (An₃₁₋₃₃). Основная ткань породы включает кварц,

олигоклаз (An₁₂₋₁₅), биотит, редко калиевый полевой шпат. Набор аксессуариев: апатит, магнетит, сфен, циркон, пирротин, халькопирит.

В целом породы кастельского комплекса характеризуются окисленным типом, что определяется присутствием магнетита среди аксессуариев. Такие породы относятся к магнетитовой серии гранитоидов по [10]. Высокие отношения Sr/Y и La/Yb и низкие содержания тяжёлых РЗЭ (HREE) (Yb < 1,8, Y < 18 г/т) в породах являются типичными для адакитовых магм.

Геологический среднеюрский возраст комплекса подтверждается тем, что валуны и галька интрузивных пород этого комплекса установлены в верхнеюрских конгломератах в районе Балаклавы и на горе Демерджи. K/Ar возраст плагиигранитоидов кастельского комплекса около 160 млн. лет, что отвечает концу средней юры [4].

На диаграмме Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) – Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) все породы попадают в поле пералюминиевых пород (рис. 1, а). Соотношение Fe₂O₃/(Fe₂O₃+MgO) – SiO₂ показывает, что все породы, кроме одной фигуративной точки тоналита, попадают в поле магнезиальных пород (рис. 1, б). А указанный тоналит ближе к железистой разности.

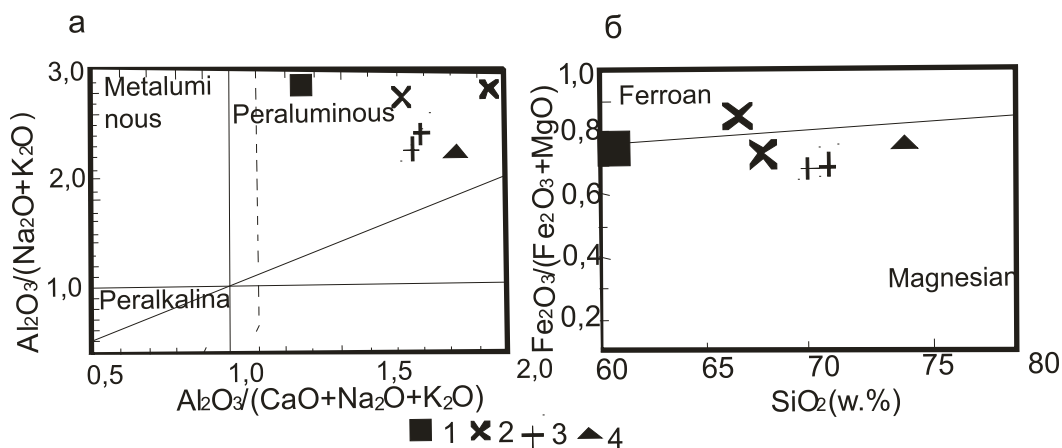


Рис. 1:
а – диаграмма Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) – Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO) по [12] и б – диаграмма SiO₂ – Fe₂O₃/(Fe₂O₃+MgO) для пород кастельского комплекса

- Породы Кастельского комплекса:
1 – диорит;
2 – тоналиты;
3 – плагиигранит-порфиры;
4 – дайки плагиигранит-порфиров.

На диаграмме Sr/Y – Y все фигуративные точки пород, кроме диоритов, попадают в поле адакитов (рис. 2). Диориты локализуются в поле типичных андезитов, риолитов, дацитов вулканических дуг.

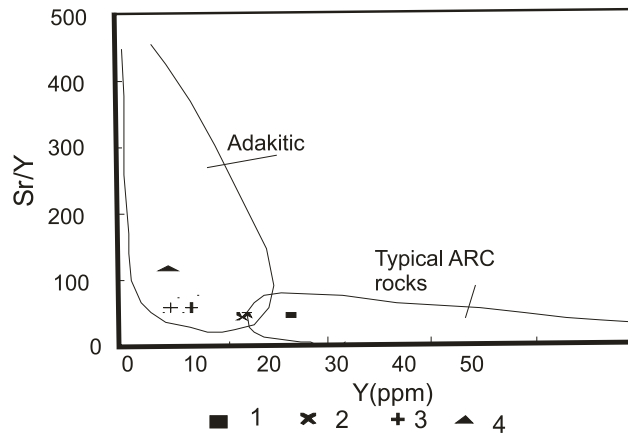


Рис. 2. Диаграмма Sr/Y – Y по [7] для пород кагельского комплекса

Поля на диаграмме по [7]: 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 генерация пород кагельского комплекса проходила за счёт плавления амфиболитов и граувак (рис. 3, а, b, с).

Ультракислые породы кагельского комплекса располагаются на максимуме

степени известково-щелочного фракционирования ортоклаза и альбита (рис. 3, d). Экспериментально установлено, что этой ситуации могут отвечать: уменьшение щёлочности в процессе взаимодействия вода-породы или небольшая степень ассимиляции пелитов, которые и будут легко увеличивать показатель A/CNK. Вероятно, именно ассимиляция пелитов и имела место для генерации конечных дифференциатов кагельского комплекса – плагиогранит-порфиров плагиолейкогранит-порфиров.

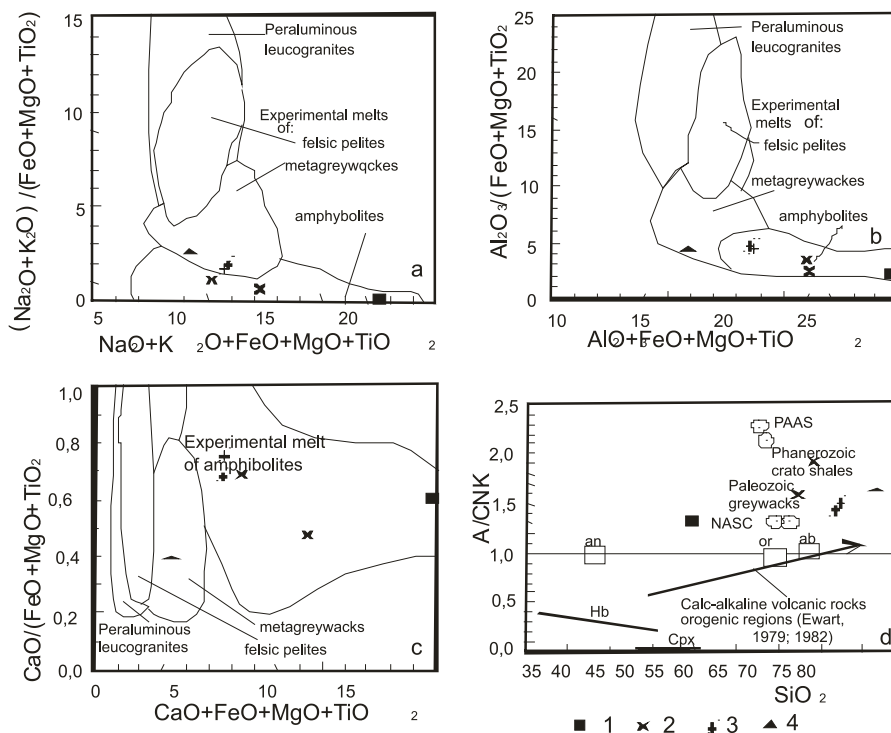


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы:

(a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусовитовых сланцев), метаграувак и амфиболитов для пород кагельского комплекса; (d) – диаграмма $SiO_2 - A/CNK$ для пород кагельского комплекса. 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

Соотношение $La/Nb - Ce/Y$ в породах ка- стельского комплекса указывает на их фор- мирование за счёт смешения мантийного и корового источников плавления (рис. 4).

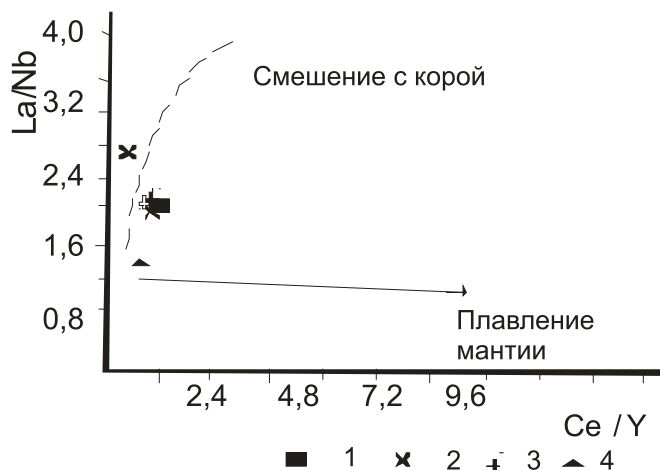


Рис. 4. Диаграмма соотношений $Ce/Y - La/Nb$ по [6] для породных типов ка- стельского комплекса. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1

На диаграмме $(La/Yb)_N - (Yb)_N$ фигу- ративные точки составов пород тяготеют к тренду плавления гранатовых амфибо- литов (II) и гранат-содержащей мантии с высоким содержанием граната (10%) (рис. 5).

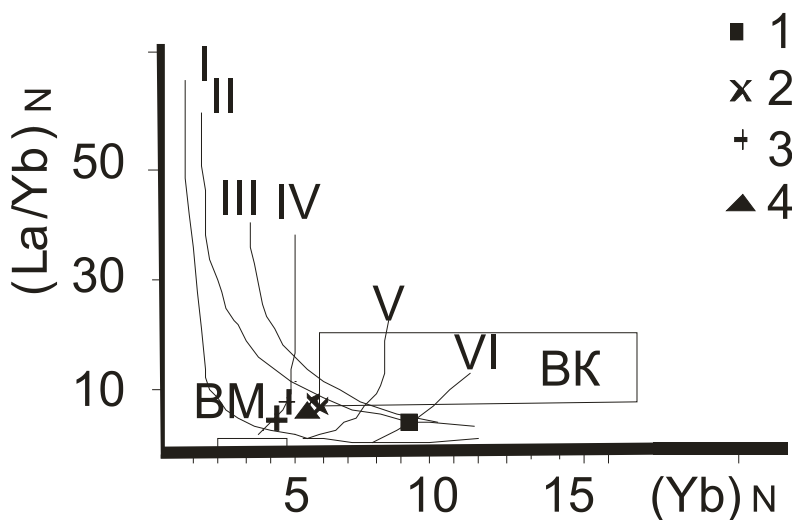


Рис. 5. Диаграмма $(La/Yb)_N - (Yb)_N$ по [6] для пород ка- стельского комплекса

Тренды плавления различных источников: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 10%; V – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 5%; VI – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 3%; VM – верхняя мантия; VK – верхняя кора. Остальные условные см. на рис. 1.

Обсуждение результатов. Приведенные новые материалы по породам кастельского комплекса показывают, что они относятся к пералюминиевому и существенно магнезиальному типам магматизма. Их генерация проходила в результате смешения мантийных и коровых выплавов. При этом мантийный источник был существенно гранатового состава, что и предопределило петро-геохимический облик пород комплекса. На поздних этапах становления комплекса при генерации дайковых образований магматический очаг характеризовался обилием летучих компонентов, о чём свидетельствует проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ – W типа. Ранее нами установлено, что проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ – W типа связано с обильной обводненностью магматогенных флюидов [1, 2]. Проявление окорудных метасоматитов типа березитов, пропицитов, листовитов, наличие зон минерализации и существенной пиритизации с выделением халькопирита, арсенопирита, сфалерита, сопровождаемых аномалиями As, Au, Hg не исключают возможности выявления золото-черносланцевого оруденения в области Кастельского ареала в особенности в связи с дайковыми образованиями. Содержания $C_{\text{орг}}$ в аргиллитах вблизи Кастельского интрузива варьирует от 1,2 до 2,3%.

Выводы

Диориты, тоналиты, плагиогранит-порфиры кастельского комплекса относятся к пералюминиевому типу пород, показывающих близость к адакитовым гранитоидам.

Генерация их проходила в результате мантийно-корового взаимодействия мантийных и коровых источников.

В дайковых образованиях (лейкогранитовых плагиогранит-порфирах) проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W типа, обусловленный значительной обводненностью магматогенных флюидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.А., Гусев А.И., Гусев Н.И., Гусев Е.А. Два типа тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов в шошонитовых гранитоидах Кавказских Минеральных вод // Современные наукоёмкие технологии, 2011. – № 4. – С. 17-22.
2. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – М.: Изд-во РАН, 2011. – 128 с.
3. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Ст. 1 // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 1990. – Т. 65. – Вып. 4. – С. 119-134.
4. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статья 2 // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение геологии, 1990. – Т. 65. – Вып. 6. – С. 102-112.
5. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – Pp. 197-214.
6. Barbarin B. A Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // Lithos. – 1999. – V. 46. – Pp. 605-626.
7. 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.
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. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // Min. Geol. – Tokyo. – 1977. – V.27. – P. 293-305.
11. 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. – Pp. 489-508.
12. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Soc. America Bulletin, 1989. – V. 101. – Pp. 635-643.