

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД КАРЬЕРА ПЕТРОПАВЛОВСКОГО (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КРЫМ, РОССИЯ)

Гусев А.И.

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

Приведены новые данные по геохимии и петрологии вулканических пород Петропавловского карьера Центрального Крыма. Отображены составы трахибазальтов, андезибазальтов, трахиандезибазальтов, андезитов, трахиандезитов. Все породные типы относятся к низкотитанистому, пералюминиевому типам с различной насыщенностью железом и магнием. Родоначальными магмами для них были деплетированные и обогащенные мантийные субстраты. Трахибазальты и трахиандезиты формировались за счет разной степени частичного плавления шпинелевого лерцолита. Андезибазальты, трахиандезибазальты и андезиты генерированы за счет небольшой степени частичного плавления гранатового лерцолита. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М – типа, обусловленный насыщенностью магматогенных расплавов летучими компонентами.

Ключевые слова: трахибазальты, андезибазальты, трахиандезибазальты, андезиты, трахиандезиты, геохимия, петрология, частичное плавление шпинелевого лерцолита и гранатового лерцолита, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа

GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY OF VOLCANIC ROCKS BORROW PIT PETROPAVLOVSKII (CENTRAL CRIMEA, RUSSIA)

Gusev A.I.

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

New data on geochemistry and petology of volcanic rocks borrow pit Petropavlovskii of Cenral Crimea lead. Compositions of trachybasalts, andezibasalts, trachyandezibasalts, andezites, trachyandezites reflected. All rock types refer to low-titanic peraluminous types with different saturation of iron and magnesium. Parental magmas for its were depletion and enriched mantle substrates. Trachybasalts and trachyandezites formed for different degrees partial melting of spinel lherzolites. Andezibasalts, trachyandezibasalts and andezites generated for count little degrees of partial melting of garnet lherzolite. Tetradic effect fractionation of REE M-type display that it is cause of saturation mamgmatic melts by volatile components.

Keywords: trachybasalts, andezibasalts, trachyandezibasalts, andezites, trachyandezites, geochemistry, petrology, partial melting spinel lherzolites and garnet lherzolites, tetradic effect fractionation of REE M-type

В Центральном Крыму в районе Симфе-рополя обнажено несколько вулканогенных разрезов, представляющих собой эффузивные центры полуострова, имеющих все признаки близости к вулканическому центру (фрагментам палеовулканов). Их изучение интенсивно проводилось в 60-90-е годы прошлого века с детальным описанием петрографии пород [4, 5, 7]. Возраст вулканитов считался поздне-байосским, отнесённым к бодракско-карадагской вулканической серии и формировавшимся в островодужной обстановке [7, 8]. Однако, в последнее время появились уточнённые данные о возрасте эффузивов Петропавловского карьера [15] и продолжительности вулканической деятельности на этом участке (в 15 млн. лет – от конца байоса до конца келловея), что может значительно уточнить геодина-

мическую обстановку формирования вулканитов, принадлежности их к единой бодракско-карадагской серии и их петрологии. Цель исследования – изучить петрологические и геохимические особенности вулканических Петропавловского карьера с применением современных методов анализа пород, как это сделано нами для вулканитов Карадага [3].

Результаты исследований

Наше обследование проведено не только в Петропавловском карьере, но и в окрестностях с. Украинка, что позволило предположить о положении вулканического фрагмента в тектоническом клине. Представительные анализы вулканитов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Представительные анализы вулканических пород Петропавловского карьера
(оксиды в масс.%, элементы – в г/т)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	50,8	51,1	53,63	53,66	54,86	57,17	57,5	57,05	58,1
TiO ₂	0,71	0,75	0,68	0,65	0,9	1,1	0,65	0,69	0,85
Al ₂ O ₃	16,7	19,4	18,95	18,91	14,6	14,7	18,3	18,5	17,8
Fe ₂ O ₃	2,9	1,8	3,7	3,77	1,35	3,6	2,2	2,3	1,32
FeO	5,8	6,0	5,95	5,75	3,87	5,7	6,1	5,9	6,1
MnO	0,15	0,12	0,17	0,16	0,12	0,14	0,17	0,18	0,15
MgO	4,6	4,4	4,7	4,8	4,86	2,9	2,6	2,7	2,97
CaO	7,5	7,3	8,3	8,4	4,5	5,5	6,8	7,1	9,05
Na ₂ O	4,91	4,84	3,16	3,46	4,21	3,65	3,8	3,7	3,75
K ₂ O	1,23	1,3	0,58	1,52	0,7	0,34	1,2	1,1	1,35
P ₂ O ₅	0,04	0,1	0,07	0,06	0,08	0,10	0,22	0,25	0,23
Be	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,9	1,3	1,3	1,1
Li	2,3	3,3	3,4	3,5	3,3	3,6	4,5	4,5	4,1
V	290	286	305	302	298	186	90	90	292
Cr	8,3	8,5	13	14	8,7	8,9	8,0	8,0	7,5
Co	24	21	25	23	20	16	19,7	19,7	20,4
Ni	3,8	2,7	1,9	2,0	2,1	3,1	5,7	5,7	8,7
Ba	151	150	124	135	145	134	305	303	225
Sc	29	27	18	23,8	22,6	21,7	16,6	16,8	21
Ga	17,9	18,3	17,1	17,9	17,4	17,9	16,9	16,1	17,2
Zn	67	67,6	82	85	65,4	55,8	75	71	80
Cu	52	50	35	33	45	42	45	45	70
Mo	8,5	3,1	7,1	7,2	4,6	4,8	2,8	2,8	2,2
Nb	2,3	1,6	2,3	2,2	1,9	1,85	3,9	3,9	1,8
Y	19,3	19,4	20,2	21,5	19,9	20,4	23,1	22,1	26,8
Zr	48,7	45,5	43,8	44,1	46,2	45,8	92	89	75
Sr	490	489	253	265	359	365	357	360	281
Rb	24,8	25,2	9,7	10,8	24,6	33,6	36	35	24,6
Th	2,6	2,5	3,3	4,1	3,5	4,5	2,3	2,3	2,6
U	0,6	0,5	0,8	1,2	1,1	1,2	0,9	0,8	0,9
Pb	9,9	5,9	6,4	7,8	7,2	7,7	6,7	6,1	5,8
La	6,4	5,8	2,8	2,9	3,3	4,4	11,4	11,5	14,7
Ce	13,5	13,0	11,1	11,3	12,8	13,1	32,1	32,2	35,5
Pr	3,2	3,2	2,4	2,6	2,9	3,2	5,2	5,4	4,9
Nd	10,4	10,5	9,7	10,1	11,4	12,1	16,9	17,9	17,4
Sm	2,8	2,6	2,3	2,5	2,7	2,9	3,4	3,7	3,5
Eu	1,62	1,72	1,7	1,6	1,52	1,45	1,45	1,8	1,89
Gd	4,4	5,5	5,6	5,3	6,1	6,0	5,2	5,3	5,50
Tb	1,2	1,4	1,3	1,3	1,5	1,6	0,8	0,9	0,93
Dy	6,8	8,6	8,8	8,2	9,1	9,2	5,1	5,3	5,5
Ho	0,47	0,46	0,5	0,6	0,8	0,76	0,8	0,9	0,99
Er	0,33	0,32	0,35	0,4	0,42	0,41	0,31	0,3	2,9
Tm	0,71	0,70	0,72	0,65	0,75	0,66	0,40	0,41	0,42
Yb	7,7	7,4	8,1	8,3	8,6	8,1	4,1	3,1	2,5
Lu	0,71	0,70	0,65	0,63	0,65	0,67	0,35	0,35	0,38
Hf	2,8	3,9	3,4	3,2	3,2	3,4	4,0	4,1	4,5
Ta	1,3	1,4	1,5	1,45	1,34	1,4	1,47	1,5	1,53
W	0,31	0,33	0,4	0,37	0,35	0,37	0,5	0,5	0,41
Ba/Nb	65,6	99,8	53,9	61,4	76,3	72,4	78,2	77,7	125,0
La/Nb	2,8	3,6	1,2	1,3	1,7	2,4	2,9	2,9	8,2
Zr/Y	2,5	2,3	2,2	2,05	2,3	2,2	4,0	4,0	2,8
Zr/Nb	21,2	28,4	19,0	20,0	24,3	24,7	23,6	22,8	41,7
U/Th	0,23	0,2	0,24	0,3	0,31	0,27	0,39	0,35	0,35
(La/Yb) _N	0,55	0,52	0,23	0,23	0,25	0,36	1,84	2,38	3,88
Eu/Eu*	1,42	1,37	1,4	1,33	1,12	1,05	1,06	1,24	1,33

Примечание. Анализы выполнены: силикатные на главные компоненты в Лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк); микроэлементы определены методом ICP-MS) в лаборатории Сибирского отделения РАН (г. Иркутск). N- значения нормированы по хондриту по [10]. Породы Петропавловского карьера: 1 – 2- трахибазальты; 3- андезибазальт; 4- 5-трахиандези-базальты; 6- андезит; 7, 8, 9 – трахиандезиты.

Вулканиды относятся к низко-титанистой, известково-щелочной и умеренно-щелочной сериям пород (с преобладанием натрия над калием). Все породные типы характеризуются численными величинами отношения U/Th менее 1, указывающими на то, что проанализированные породы не несут существенных наложенных процессов. Нормированные отношения $(La/Yb)_N$ варьируют от 0,23 до 3,88,

свидетельствующие о не дифференцированном типе распределения РЗЭ. Отношения Eu/Eu^* колеблются от 1,05 до 1,42 (превышающие мантийные значения), подтверждающие слабую позитивную аномалию в породах по европию (табл. 1).

Соотношение $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ классифицирует все породы перглинозёмистым типом (рис. 1, а).

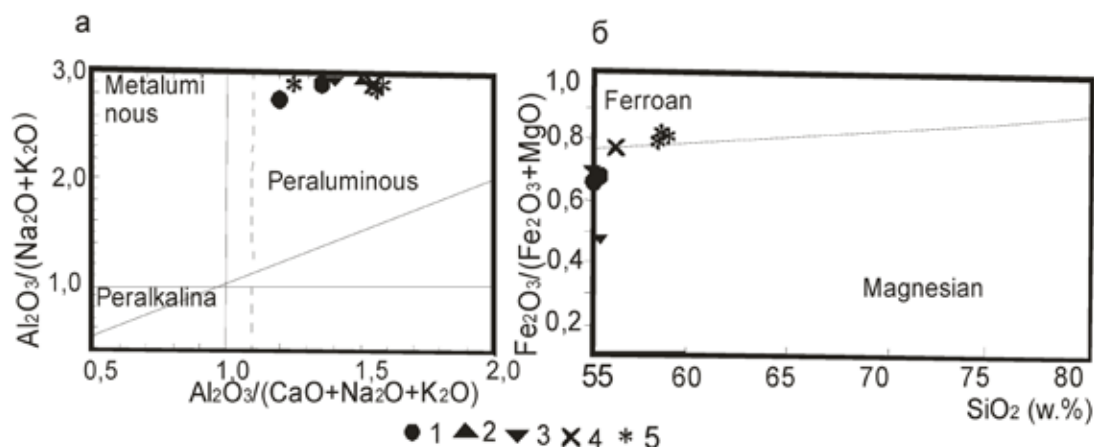


Рис. 1. а – диаграмма $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ по [13] и б – диаграмма $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ по [18] для пород Петропавловского карьера. Породы карьера: 1 – трахибазальты, 2 – андезибазальт, 3 – трахиандезибазальты, 4 – андезит, 5 – трахиандезиты

По соотношениям $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO) - SiO_2$ трахибазальты, андезибазальты, трахиандезибазальты относятся к магнетиальным разностям, а андезиты и трахиандезиты тяготеют к полю железистых пород (рис. 1, б).

Соотношение содержаний La и Sm, нормированных к верхней земной коре, указывает на источник плавления родоначальной магмы на обогащенную (трахибазальты, трахиандезиты) и деплетированную (андезибазальты, трахиандезибазальты) мантию (рис. 2).

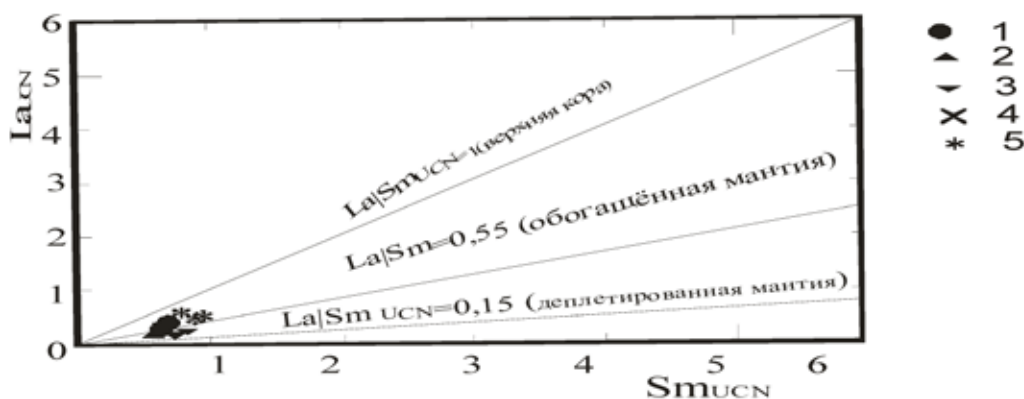


Рис. 2. Диаграмма $LaUCN - SmUCN$ по [16, 17] для пород Петропавловского карьера; $LaUCN$ и $SmUCN$ – значения концентраций лантана и самария, нормализованные верхне-коровые значения по [14]. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Интерпретация результатов

Приведенные результаты показывают, что породы Петропавловского карьера формировались из обогащенной и деплетированной мантийной магмы. На диаграмме соотношений La/Sm и La видно, что тра-

хизабазальты тяготеют к среднему составу E-MORB обогащенной мантии при частичной плавлении шпинелевого лерцолита (0,3), а трахиандезиты ближе к источнику плавления обогащенной мантии, но меньшей степени частичного плавления шпинелевого лерцолита (0,1) (рис. 3).

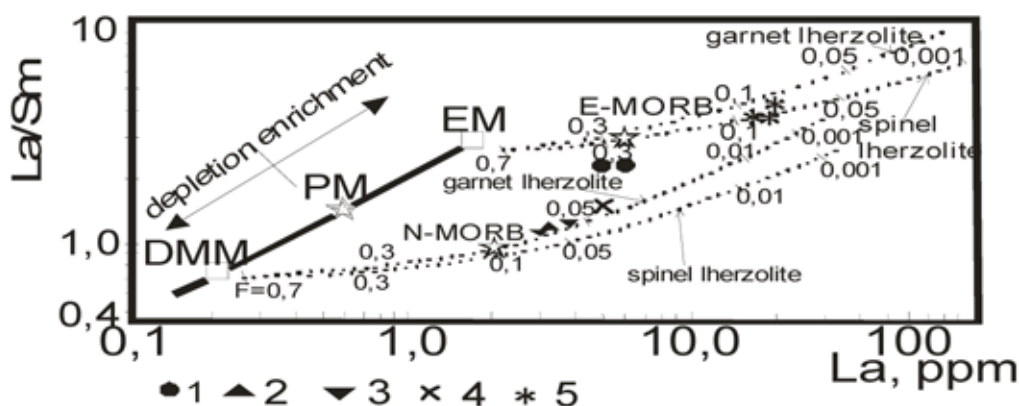


Рис. 3. Диаграмма La/Sm – La по [9] для пород Петропавловского карьера: DMM – деплетированный мантийный источник MORB. PM – примитивная мантия; EM – обогащенный мантийный источник; E-MORB – и N-MORB – составы обогащенных (E) и нормальных (N), базальтов срединно-океанических хребтов; точечные линии – тренды плавления источников DMM и EM, засечки с цифрами на точечных линиях – степень частичного плавления для соответствующих мантийных источников. Условные те же, что на рис. 1

Андезибазальты, трахиандезибазальты и андезиты попадают на кривую плавления нормальных N-MORB базальтов при небольшой (0,05) степени частичного плавления гранатового лерцолита (рис. 3). Обилие в породах миндалин и везикул свидетельствует о насыщенности расплавов

летучими компонентами. Нами оценены величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в породах, приведенных в табл. 2. Во всех проанализированных породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, варьирующий от 1,12 до 1,8.

Таблица 2

Величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ и отношения некоторых элементов в породах Петропавловского карьера

Отношения элементов и величины ТЭФ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Отношения в хондритах
Zr/Hf	17,4	11,7	12,9	13,8	14,4	13,5	23,0	21,7	16,7	36,0
Y/Ho	41,1	42,2	40,4	35,8	24,9	26,8	28,9	24,6	27,1	29,0
La/Nb	2,8	3,6	1,2	1,3	1,7	2,4	2,9	2,9	8,2	17,2
La/Ta	4,9	4,1	1,9	2,0	2,5	3,1	7,8	7,7	9,6	16,8
Sr/Eu	302	284	149	166	236	252	246	200	149	100,5
Eu/Eu*	1,42	1,37	1,4	1,33	1,12	1,05	1,06	1,24	1,33	1,0
TE _{1,3}	1,67	1,78	1,8	1,7	1,61	1,6	1,2	1,21	1,12	

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [11]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2.

На диаграмме соотношений $Y/No - TE_{1,3}$ в породах, образованных за счёт плавления обогащённой мантии тренд увеличения значений ТЭФ РЗЭ коррелируется

с повышением отношений Y/No и имеет более пологий наклон, чем для пород, генерированных за счёт плавления N-MORB базальтов (рис. 4).

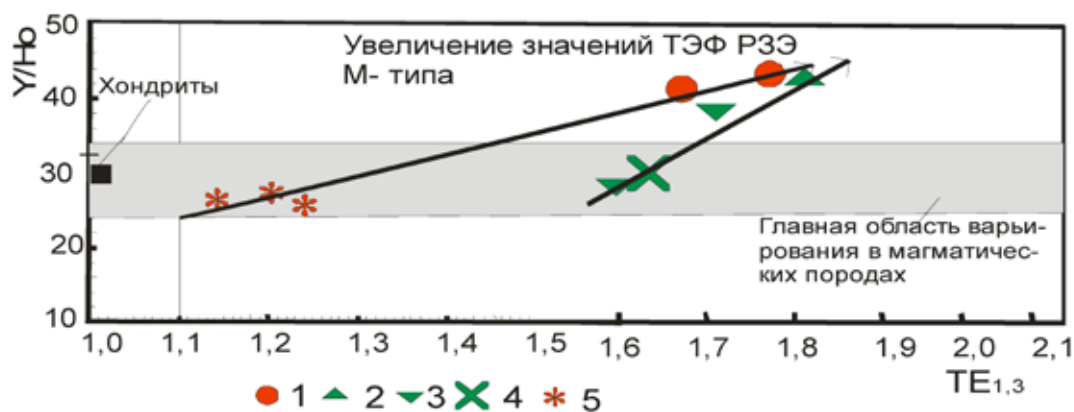


Рис. 4. Диаграмма $Y/No - TE_{1,3}$ для эффузивов Петропавловского карьера; Породы, генерированные: А – за счёт плавления шпинелевого лерцолита: 1 – трахибазальты, 5 – трахиандезиты; Б – за счёт плавления гранатового лерцолита 2 – андезибазальт, 3 – трахиандезибазальты; 4 – андезит

На диаграмме $Zr/Hf - TE_{1,3}$ тренды соотношений для пород, произошедших от плавления разных источников отличаются. В породах, генерированных частичным

плавлением деплетированной мантии увеличение численных значений ТЭФ происходит при почти не меняющихся отношениях Zr/Hf (рис. 5).

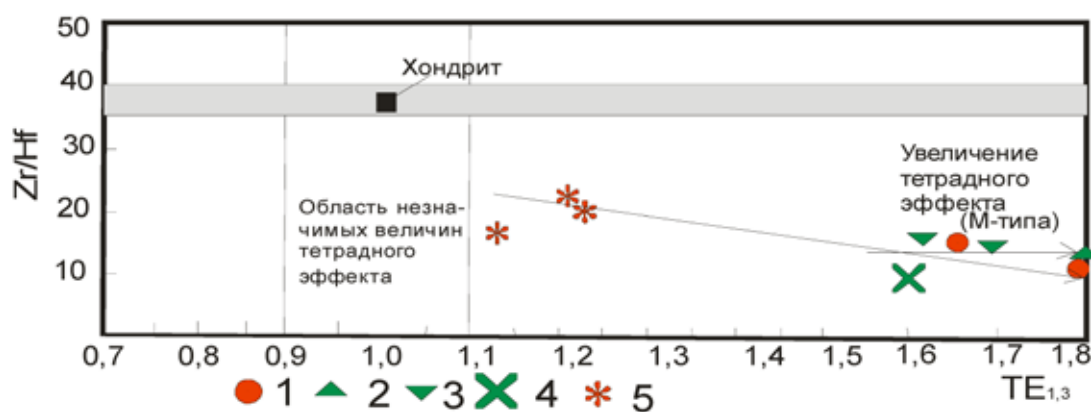


Рис. 5. Диаграмма $Zr/Hf - TE_{1,3}$ для эффузивных пород Петропавловского карьера. Условные обозначения те же, что на рис. 4

Тренд изменения соотношений для пород, образовавшихся за счёт плавления обогащённой мантии (шпинелевого лерцолита) обусловлен различной степенью частичного плавления. Меньшие величины ТЭФ отвечают меньшей степени частичного плавления и повышенных отношений Zr/Hf . А более высокие отношения Zr/Hf отвечают более высокой кислотности среды, согласно рядам кислотности – щелочности в водно-

сероводородных растворах при стандартных условиях по [6].

Выводы

Таким образом, породы вулканического центра относятся к пералюминиевому типу и смешанным характеристикам по железистости и магнезиальности. Генезис вулканитов сложен и определяется степенью частичного плавления различных мантий-

ных субстратов: обогащённой и деплетированной мантии. Трахибазальты и трахиандезиты формировались за счёт частичного плавления (от 0,1 до 0,3) шпинелевого лерцолита, а андезибазальты, трахиандезибазальты и андезиты – за счёт плавления гранатового лерцолита.

В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М- типа, который обусловлен насыщенностью магматогенных расплавов летучими компонентами (фтором, водой, углекислотой и другими компонентами), а также различной степенью частичного плавления разных компонентов мантийного субстрата: шпинелевого лерцолита, или гранатового лерцолита. В последнем случае величины ТЭФ разнообразны и колеблются в узком интервале (от 1,6 до 1,8). Низкая степень частичного плавления шпинелевого лерцолита порождает ТЭФ малых значений (1, 12 до 1,21), а более высокая степень частичного плавления обогащенной мантии сопровождается ТЭФ значениями 1,67-1,78.

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., Гусев А.А.. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания, 2011- № 5. – С.45-49.
3. Гусев А.И. Петрология и геохимия вулканических пород Карадага (Восточный Крым, Россия) // Успехи современного естествознания, 2014. – №12. – С. 91-96.
4. Кравченко С.М. Петрографические особенности интрузивных массивов южной части Крыма в свете новых данных // Известия АН СССР. Сер. геол., 1958. – № 12. – С. 100-105.
5. Лебединский В.И., Макаров Н.Н. Вулканизм Горного Крыма. – Киев, 1962. – 143 с.
6. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука. – 1976. – С. 36-51.
7. 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.
8. 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.
9. Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollision volcanism in western Anatolia, Turkey // Journal of Volcanology and Geothermal Research., 2000. – V. 102. – P. 67-95.
10. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – Pp. 197-214.
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. Jahn B., Wu F., Capdevila R. et al. Highly evolved juvenile granites with tetrad REE patterns: the Wodue and Baerzhe granites from the Great Xing'an Mountains in NE China // Lithos. 2001. – V. 59. – Pp. 171-198.
13. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Soc. America Bulletin, 1989. – V.101. – Pp. 635-643.
14. McLennan S.M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2001. – V. 2. – Paper 2000GC000109. – 24 p.
15. Meijers M.J.M., Vrouwe B., van Hinsbergen D.J.J. et al. Jurassic arc volcanism on Crimea (Ukraine): Implications for the paleo0subduction zone configuration of the Black Sea region // Lithos, 2010. – V. 119. – Pp. 412-426.
16. Pearce J.F. A user's guide to basalt discrimination diagrams // Geological Ass. Of Canada Short Course Notes, 1996. – V. 12. – Pp. 79-113.
17. Putirka K., Busby C.J. The tectonic significance of high-K2O volcanism in the Sierra Nevada, California // Geology, 2007. – V. 35. – Pp. 923-926.
18. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in the intracontinental orogenic belts // Trans. of Royal Soc. of Edinburgh Earth Science, 1998. –V. 89. – P. 113-119.