

УДК 552.11:552.13

**ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ ОРОЧАГАНСКОГО МАССИВА
ГРАНИТОИДОВ ЮГА ГОРНОГО АЛТАЯ****Гусев А.И.***Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены данные по геохимии и петрологии гранитоидов Орочаганского массива юга Горного Алтая. Умеренно-щелочные граниты, лейкограниты и щелочные граниты характеризуются повышенными концентрациями Zr, Nb, Ga, редкоземельных элементов (РЗЭ), Y, Zn и низкие содержания Mg, Ca, Cr, Ni. Гранитоиды отнесены к пералюминиевому и железистому типам, с признаками анорогенного A_2 -типа, сформированных в постколлизии обстановке под влиянием плюма. В породах отмечаются признаки плавления мантийного, корового (метаграувакк) субстратов и их взаимодействия. В них проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, обусловленный активным влиянием фтор-комплексов в магматогенных флюидах. Наблюдается корреляция концентраций W в породах и величин тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

Ключевые слова: Умеренно-щелочные граниты, лейкограниты, щелочные граниты, геохимия, петрология, анорогенные граниты, мантийно-коровое взаимодействие, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ

**GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY OF OROCHAGANSKII MASSIF
GRANITOIDS OF SOUTHERN ALTAI****Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on geochemistry and petrology of granitoids Orochaganskii massif of south Mountain Altai lead in paper. The moderate-alkali granites, leucogranites and alkali granites characterized by high concentrations of Zr, Nb, Ga, rare earth elements (REE), Y, Zn and low contents Mg, Ca, Cr, Ni. Granitoids carry to peraluminous and ferroan types with anorogenic A_2 – type, forming in postcollision setting under influence plum. Signs of melting mantle and crust (metagreywackes) substrates and their interaction noted. The tetradic effect fractionation of REE M-type display in rocks that it caused by active influence of fluor-complexes in magmatic fluids. Correlation of concentrations W in rocks and size of tetradic effect fractionation REE.

Keywords: moderate-alkali granites, leucogranites, alkali granites, geochemistry, petrology, anorogenic granitoids, mantle-crust interaction, tetradic effect fractionation of REE

Наиболее крупными массивами ранне юрского чиндагатуйского комплекса, помимо петротипического Чиндагатуйского, является Орочаганский плутон. Он располагается в области развития юрского магматизма, с которым пространственно и парагенетически связаны различные типы оруденения Li, Ta, Nb, Mo, W [2, 3]. *Актуальность изучения* этого массива связана с тем, что парагенетически с ним связано грейзеновое молибденит-вольфрамитовое оруденение. Кроме того, он попадает в район, по которому в настоящее время начинается комплексное доизучение площадей по госпрограмме (ГДП-200). В рудах месторождения присутствуют редкоземельные минералы, что сближает его с редкоземельно-вольфрамовым месторождением Кызыл-Тау, расположенным в Монголии [6]. Массив изучался в конце прошлого века, по нему отсутствуют общие геохимические и петрологические представления, а некоторые данные по геохимии и петрологии устарели. *Цель исследования* – осветить новые данные по петро-геохимии и петрологии Орочаганского массива, перспективного на обнаружение комплексного редкоземельно-молибден-вольфрамового оруденения.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Орочаганский массив имеет сложную, вытянутую на 40 км в северо-западном направлении форму с провесами ороговикованной кровли в своей юго-восточной части, что может свидетельствовать о слабом эрозионном срезе данного массива. В Орочаганском массиве, наряду с порфиридовыми биотитовыми меланогранитами первой фазы, более чем в других массивах этого комплекса, развиты двуслюдяные среднезернистые и слабопорфиридовидные лейкограниты и мелкозернистые аплитовидные (северо-запад массива) граниты и лейкограниты. Биотитовые умеренно-щелочные граниты первой фазы состоят (в %): кварц – 30-38, микрклин и микроклин-пертит – 16-41, плагиоклаза олигоклаз-андезинового состава – 20-41, биотита – 5-8, реликтов роговой обманки – 2. В пробах-протоколках обнаружены акцессории (г/т): ильменит – 4020-4680, магнетит 1010-1165, ильменорутит – 100-125, циркон – 210-230, апатит – 296-335, монацит- 20-23, ксенотим – 20-21, тантало-ниобаты – 8-12,

гранат – 2-6, турмалин – 310-380, флюорит – 2-6, пирит – 0,5-1,2, шеелит – 0,3-0,6. Преобладание в гранитах ильменита и ильменорутила позволяет относить их к восстановленной ильменитовой серии гранитоидов по [13].

Представительные анализы Орочаганского массива (оксиды – %, элементы – в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	70,3	70,35	71,05	72,8	73,48	73,84	74,7	70,35
TiO ₂	0,45	0,34	0,38	0,33	0,12	0,28	0,13	0,24
Al ₂ O ₃	13,97	15,1	13,85	14,64	12,56	13,14	12,66	14,46
Fe ₂ O ₃	0,52	0,54	0,32	1,1	0,38	0,35	0,3	1,66
FeO	3,46	2,31	3,43	0,9	3,85	2,51	1,45	0,5
MnO	0,07	0,05	0,06	0,03	0,09	0,03	0,05	0,14
MgO	0,75	0,48	0,65	0,9	0,26	0,47	0,19	0,56
CaO	1,5	1,4	1,33	1,27	0,5	0,6	0,3	0,7
Na ₂ O	2,98	2,92	3,1	3,1	2,67	2,85	2,82	3,57
K ₂ O	5,13	5,9	4,97	4,8	4,37	4,86	4,73	6,35
P ₂ O ₅	0,14	0,1	0,14	0,1	0,13	0,13	0,07	0,1
Li	144	154	143	165	115	111	118	190
Be	5,6	5,5	5,2	6,3	7,1	7,5	8,0	9,7
Sc	7,2	8,1	6,9	7,1	4,5	3,4	4,5	4,0
V	52	55	51	40	48	45	42	41
Cr	35	25	21	18	20	20	19	19
Co	7	5	4	2	3	4	4	5
Ni	8	6	4	3	5	4	3	5
Cu	2	2	2	3	2	2	3	2
Ga	19	21	21	20	21	22	22	21
Rb	334	320	310	380	350	340	332	521
Sr	152	140	135	133	110	90	95	196
Y	45	44,8	49,2	40,7	23,2	24	18	17
Zr	203	210	220	250	200	212	220	232
Nb	20,7	22	23	20,0	19	20,3	21,5	22
Cs	43	40	38	56	43	44	51	65
Ba	855	830	840	800	810	823	812	831
La	35,5	44,5	41,1	40,5	34,8	41,8	39,1	28,5
Ce	95,2	93,6	106,3	105,1	98,0	108,5	104,0	96,2
Pr	8,7	7,7	10,7	10,6	9,5	10,8	9,7	7,7
Nd	30,3	35,1	38,1	38,0	33,9	39,0	34,6	28,1
Sm	6,2	7,9	8,1	8,05	6,8	7,96	7,1	5,7
Eu	0,95	1,1	1,1	1,09	0,68	1,15	1,02	0,65
Gd	5,5	7,5	7,4	7,3	5,6	7,02	6,2	4,4
Tb	4,96	4,5	6,3	6,28	3,43	6,52	5,6	3,3
Dy	4,96	4,5	6,3	6,28	3,43	6,52	5,6	3,3
Ho	1,1	0,95	1,2	1,19	0,6	1,2	1,08	0,6
Er	2,9	2,8	3,02	3,03	1,5	3,5	3,2	1,5
Tm	0,48	0,5	0,49	0,48	0,22	0,54	0,47	0,22
Yb	3,1	4,5	3,3	3,4	1,4	3,7	3,1	1,8
Lu	0,4	0,5	0,47	0,47	0,3	0,55	0,46	0,48
Hf	5,5	5,2	5,3	5,1	3,5	3,3	3,4	3,2
Ta	3,5	3,2	3,4	3,3	5,4	4,8	3,3	3,2
W	15,5	14,8	15,1	15,0	17,9	28,3	26,6	27,6
Th	28,2	26,1	27	30,3	19,7	21,4	22,5	36,1
U	8,5	8,2	8,1	15,0	16,2	16,3	17,1	14,5
U/Yh	0,30	0,31	0,3	0,49	0,82	0,76	0,76	0,4
ΣTR	211,22	237,25	257,8	247,22	223,4	262,7	235,7	199,4
La/Nb	1,71	2,0	1,78	2,0	1,83	2,06	1,82	1,3
Ce/Y	2,1	2,09	2,16	2,6	4,2	4,5	5,8	5,6
TE _{1,3}	1,77	1,39	1,75	1,76	1,65	1,83	1,79	1,78

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [12]. Породные типы Орочаганского массива: 1-4 – умеренно-щелочные граниты 1 фазы; 5-7 – лейкограниты 2 фазы с турмалином; 8 – щелочной гранит 1 фазы.

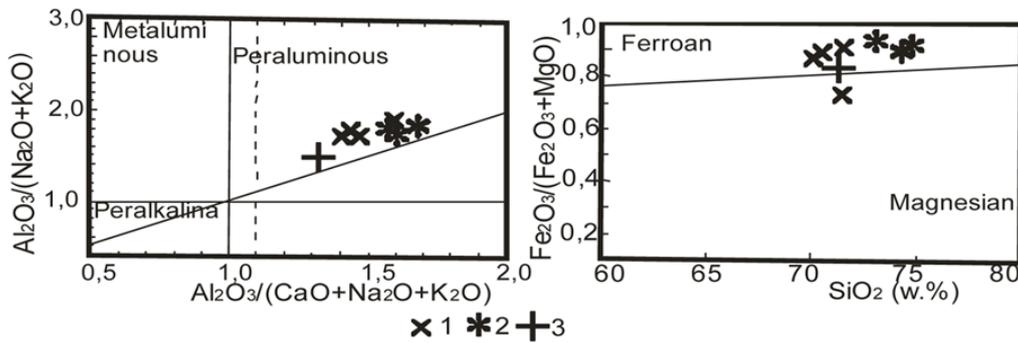


Рис. 1. а – диаграмма $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ по [14] и б – диаграмма $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ по [15] для пород Орочаганского массива. Породы массива: 1 – умеренно-щелочные граниты 1 фазы, 2 – лейкограниты 2 фазы, 3 – щелочные граниты 1 фазы

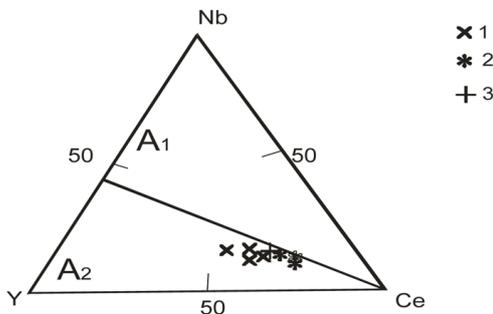


Рис. 2. Диаграмма $Y - Nb - Ce$ по [9] для пород массивов. Поля гранитоидов по [9]: A_1 – анорогенные гранитоиды A_1 – типа рифтов, мантийных горячих точек и плюмов; A_2 – анорогенные гранитоиды A_2 – типа постколлизийных обстановок, связанных с функционированием плюмов. Остальные условные на рис. 1

Лейкократовые мусковитовые и аляскитовые разности гранитоидов (среднее значение $SiO_2 = 76\%$) характеризуются нормальной щелочностью ($Na_2O = 3,14\%$; $K_2O = 4,57\%$), пониженной известковистостью (0,05) и слабоповышенными коэффициентами агаптитности (0,78) и окисленности (0,35) при тех же показателях калиевости, глиноземистости и железистости, что и в гранитоидах Чиндагатуйского массива [5]. В лейкогранитах повышенные концентрации турмалина (45-520 г/т).

Абсолютный возраст гранитов Орочаганского массива определен уран-свинцовым методом и составляет 182 млн. лет, что отвечает ранней юре.

С заключительной фазой лейкогранитов связано кварцево-грейзеновое молибден-вольфрамовое месторождение Кок-Коль со значительными запасами триоксида вольфрама промышленных категорий В + C_1 + C_2 [3].

Химические составы пород массива сведены в таблице.

Отношения U/Th в породах менее 1 (вариации от 0,3 до 0,82), указывающие на отсутствие наложенных процессов на отобранные пробы, что также подтверждается и просмотром в шлифах. В породах массива в повышенных концентрациях (превышающих кларк в гранита) отмечаются Li (от 2,7 до 4,75), U (от 2,3 до 4,88), Th (от 1,1 до 2,0), Zr (от 1,14 до 1,43), Be (от 1,7 до 3,2).

На канонических диаграммах фигуративные точки составов пород попадают: целиком в поле пересыщенных глинозёмом (пералюминиевые граниты) (рис. 1, а) и в поле высоко-железистых пород (ferroan) за исключением одного анализа умеренно-щелочных гранитов (рис. 1, б).

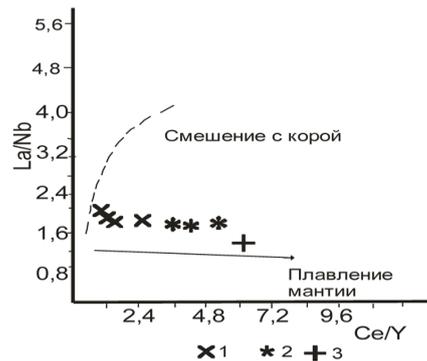


Рис. 3. Диаграмма соотношений $La/Nb - Ce/Y$ по [8] для пород Орочаганского массива. Условные те же, что на рис. 1

Высокая железистость, повышенные концентрации Zr, Nb, Ga, редкоземельных элементов (РЗЭ), Y, Zn и низкие содержания Mg, Ca, Cr, Ni определяют эти породы как анорогенные гранитоиды, что сближает их с породами Чиндагатуйского массива [5, 7].

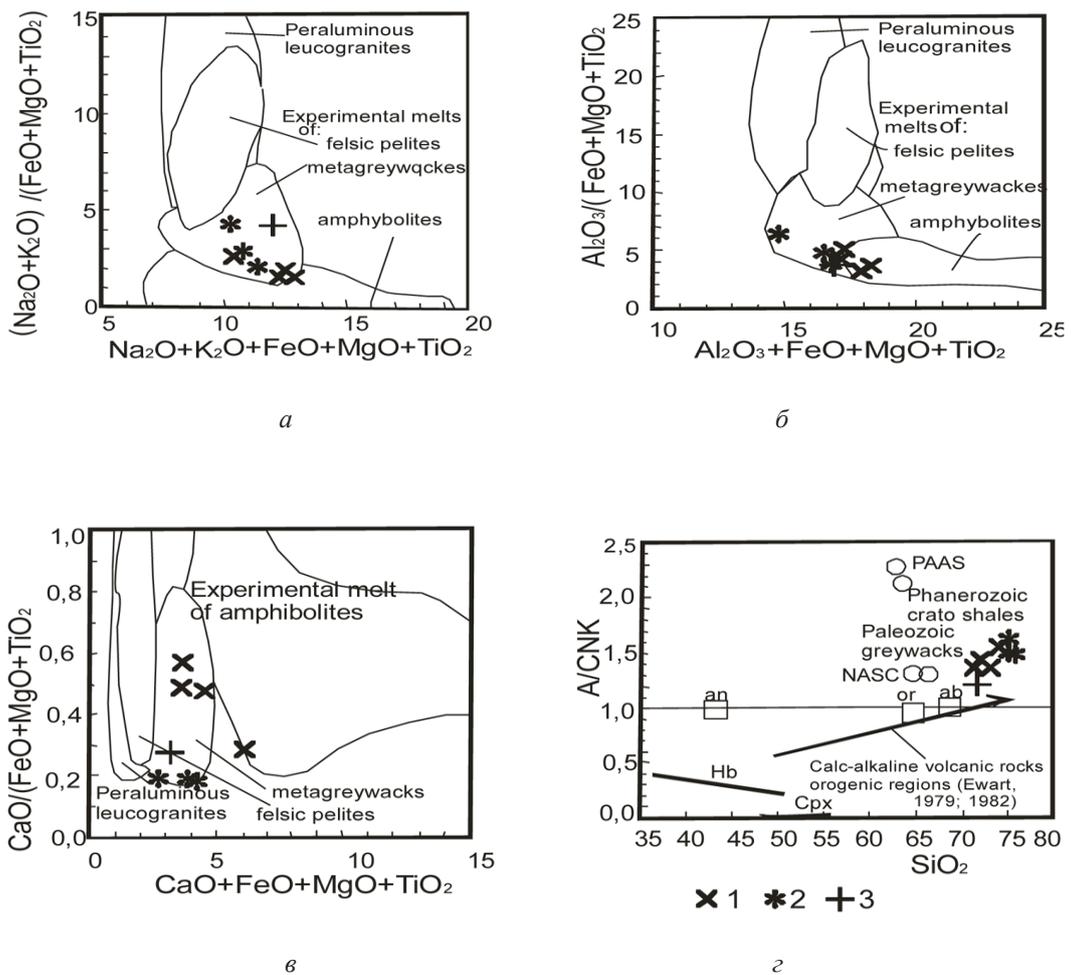


Рис. 4. Экспериментальные диаграммы: (а), (б), (в) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусовитовых сланцев), метаграувакк и амфиболитов для пород Орочаганского массива; (г) – диаграмма $\text{SiO}_2 - \text{A/CNK}$ для пород Орочаганского массива. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [10, 11]. А – Al_2O_3 , CNK – Сумма CaO , Na_2O , K_2O . Остальные условные на рис. 1

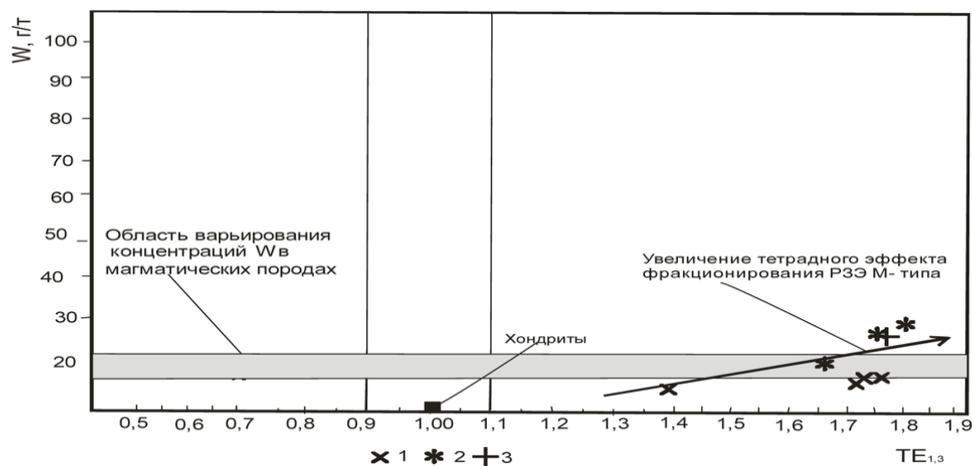


Рис. 5. Диаграмма $W - \text{TE}_{1,3}$ для породных типов Орочаганского массива (составлена автором)

Особенности классификации, типизации и генезиса магматических пород запечатлеваются в распределении редких и рассеянных элементов. Соотношение таких элементов как Nb, Y, Ce позволяют с уверенностью относить породы Орочаганского массива к A_2 -типу гранитоидов, моношпатовых гиперсолъвусных, характерных для постколлизииных обстановок, вызванных функционированием плюма (рис. 2).

На диаграмме соотношений La/Nb – Ce/Y фигуративные точки составов пород образуют тренд, параллельный тренду плавления мантии, но начало этого тренда фиксируется вблизи тренда смещения с корой (рис. 3).

Следовательно, в породах Орочаганского массива главную роль играли процессы плавления мантийного субстрата, но и возможно участие корового компонента.

На экспериментальных диаграммах по плавлению различных субстратов большинство фигуративных точек составов пород попадает в поле плавления метаграувак (рис. 3). По соотношению $A/CNK - SiO_2$ все породные типы тяготеют также к среднему составу палеозойских граувак и в то же время близки к концу тренда известково-щелочных пород орогенных регионов, отвечающего фракционированию ортоклаза и альбита (рис. 4, г).

В породах Орочаганского массива проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, варьирующий от 1,39 до 1,83 (таблица). Как известно, проявление ТЭФ РЗЭ М-типа обусловлено специфичностью магматогенных флюидов, в которых повышенные концентрации и активность фтора и его комплексов обеспечивают и дифференцированный тип распределения РЗЭ, и проявление ТЭФ РЗЭ, а также извлечение из расплавов и перенос редких металлов и вольфрама в гидротермальных растворах М-типа в породах связано с активностью фтор-комплексов в магматогенных флюидах [4]. На диаграмме зависимости содержания вольфрама и величины ТЭФ РЗЭ М-типа видно, что увеличение концентраций W в породах сопровождается увеличением величины ТЭФ РЗЭ М-типа (рис. 5).

Серая область на диаграмме выделена на основании средних содержаний вольфрама в изверженных породах по [1]. Содержания вольфрама в хондритах по [16]. Условные те же, что на рис. 1.

Таким образом, гранитоиды Орочаганского массива относятся к A_2 -типу гранитов, формировавшихся в постколлизииной об-

становке под влиянием плюма. Они характеризуются повышенными концентрациями турмалина. В их генерации отмечается плавление мантийного субстрата, коровых метаграувак и последующее мантийно-коровое взаимодействие. Концентрации W в породах увеличиваются с увеличением величины ТЭФ РЗЭ М-типа в обстановке активной роли фтор-комплексов в магматогенных флюидах.

Список литературы

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–572.
2. Гусев А.И. Петрология редкометалльных магмородно-метасоматических систем Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 4. – С. 43–47.
3. Гусев А.И. Минерагеня и полезные ископаемые Республики Алтай. – Бийск: Изд-во АГАО, 2010. – 385 с.
4. 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.
5. Гусев А.И. Геохимия и петрология Чиндагатуйского массива юга Горного Алтая // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11. – Ч. 3. – С. 27–32.
6. Гусев А.И. Некоторые аспекты геохимии минералов TR-вольфрамового месторождения Кузыл-Тай (Западная Монголия) // Успехи современного естествознания, 2015. – № 1 (Ч. 2). – С. 209–215.
7. Гусев А.И., Гусев Н.И. Анорогенные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим. – Бийск: Изд-во АГАО, 2014. – 202 с.
8. Barbarin B. A Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // Lithos. – 1999. – V. 46. – P. 605–626.
9. Eby G.H. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications // Geology, 1992. – Vol. 20. – P. 641–644.
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. – P. 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. – P. 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 Comochim Acta. 1999. – V.63. – № 3/4. – P. 489–508.
13. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // Min. Geol. Tokyo, 1977. – V. 27. – P. 293–305.
14. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Soc. America Bulletin, 1989. – V. 101. – P. 635–643.
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.
16. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Composition of chondrites // Phil. Trans. R. Soc. Lond, 1988. – V. 201. – P. 535–544.