

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

ПЕТРОЛОГИЯ И ОРУДЕНЕНИЕ ГРАНИТОИДОВ ОСОКИНСКОГО ШТОКА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

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

Приведены данные по составу, геохимическим и петрологическим особенностям Осокинского штока гранитоидов, сложенного лейкогранитами умеренно-щелочными, лейкогранитами с флюоритом. Породы отнесены к пералюминиевым и железистым, ниобий-обогащённым разновидностям. Отмечена геохимическая специализация пород на вольфрам. Описаны грейзеновое вольфрамитовое и скарновое шеелитовое оруденение. Для умеренно-щелочных лейкогранитов характерен W-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, а для лейкогранитов с флюоритом – M-тип. Проявление различных типов тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ обусловлено различной насыщенностью и активностью водонасыщенных и фтор-обогащённых магматогенных флюидов. Генерация вольфрамового оруденения происходила при формировании лейкогранитов с флюоритом, где ведущая роль принадлежала высоко-фтористым флюидам с проявлением ТЭФ РЗЭ M-типа при относительно высокой кремнекислотной обстановке.

Ключевые слова: умеренно-щелочные лейкограниты, лейкограниты с флюоритом, грейзены, скарны, вольфрамовое оруденение, вольфрам, молибден, висмут, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION OF GRANITOIDS OSOKINSKII STOCK MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

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

Data on composition, geochemistry and petrologic peculiarities of Osokinskii stock granitoids, composed by leucogranites moderate-alkalic, leucogranites with fluorites lead. The rocks refer to peraluminous and ferrous? Niobium-enriched varieties. The geochemical specialization of rocks on the tungsten marked. Greisen wolframite and skarn sheelite ore mineralization described. W-type tetrad effect fractionation of REE characterized for moderate alkali leucogranites and M-type tetrad effect fractionation of REE – for leucogranites with fluorite. Display of different types tetrad effect fractionation of REE caused different saturation and activity of water-saturation and fluoride-enriched magmatic fluids. Generation of tungsten ore mineralization at forming of leucogranites with fluorite, where basic role belong are high-fluore fluids with displaying TEF REE M-type near relative high acidic situation.

Keywords: moderate-alkalic leucogranites, leucogranites with fluorites, greisen, skarn, tungsten ore mineralization, tungsten, molibdenium, bismuth, tetrad effect fractionation of REE

Изучение петрологии, геохимии магматических комплексов и связанных с ними типов оруденения имеет важное теоретическое и прикладное значение [3]. Они позволяют выработать поисковые критерии на различные типы оруденения. Металлогенический потенциал Белокурихинского плутона и его наложенных штоков и массивов ещё до конца не изучен. В этой связи не вызывает сомнений актуальность изучения малых штоков, определяющих минерагенический профиль Белокурихинского рудного района. Цель исследования – изучить петрологию, геохимию и потенциальную рудоносность Осокинского штока на юге Белокурихинского плутона. Методы исследования. Силикатные анализы магматических пород на главные компоненты выполнены в лаборатории Сибирского Исследовательского Центра (г. Новокузнецк), а на микроэлементы – методом эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS) на спектрометре «ОРТИМА-4300», для Cu, Zn, Pb,

Li, – методом ISP-AES в Лаборатории ИМ-ГРЭ (г. Москва).

Результаты исследований. Осокинский массив гранитоидов относится к штокам, прорывающим Белокурихинский плутон [2]. Он расположен на водоразделе рек Даниловка и Поперечка. В пределах Белокурихинского плутона выделяется несколько штоков лейкогранитов, относящихся к третьей фазе становления. Ранее было известно 3 таких штока: Точильный, Курановский, Осокинский [1]. Нами выделен четвёртый шток – Черновской, имеющий почти изометричную, округлую форму в диаметре около 1,2–1,3 км. В процессе проведения геологической практики в 2014 году получены новые данные по петрологии и геохимии Осокинского массива и его рудоносности, изложенные ниже.

Осокинский массив представляет собой вытянутое в широтном направлении неправильной формы тело (площадью 25 км²), прорывающее гранитоиды усть-беловского

комплекса, кристаллосланцы и гнейсы протерозоя, терригенно-карбонатные и вулканоогенные образования девона и гранитоиды первой фазы Белокурихинского массива. В составе Осокинского массива выделяются умеренно-щелочные лейкограниты, двуслюдяные лейкограниты с флюоритом и дайки аплитов.

Это розовато-серые и светло-серые биотитовые массивные неравномернозернистые породы. Вблизи контакта лейкогранитов с биотитовыми гранитами – порфириовидные. Редко отмечаются участки пойкилитовых структур. Состав: микроклин-пертит – 25–40%, кварц – 30–40%, альбит-олигоклаз – 30–35%, биотит – 1–3%, редко встречается мусковит. Присутствуют микрографические сростки кварца и калишпата размером до 2 мм. Биотит по химическому составу относится к ряду истонит-сидерофиллит. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, ортит, циркон.

Умеренно-щелочные лейкограниты представляют собой розово-серые среднекрупнозернистые лейкократовые породы, состоящие из микроклина (29–43%), альбит-олигоклаза (до 25%), кварца (31–35%), низкожелезистого ($f = 43–46\%$) биотита (2–5%), мусковита (1–2%), акцессорных минералов (г/т): циркона (10,2), апатита (1,6), флюорита (2–5), магнетита (1642), сфена.

К заключительной фазе отнесены линейно вытянутые участки (шириной до 30 м и протяженностью до 50 км) в юго-восточном эндоконтакте Осокинского массива, сложенные флюоритсодержащими двуслюдяными лейкогранитами. Особенностью этих образований является присутствие низкожелезистого ($f = 37–44\%$) биотита (до 5%) с повышенными содержаниями F (3,5% и более) и акцессорного флюорита (до 105 г/т), наличие миароловых текстур и пегматоидных прожилков и жил. Флюорит в породах образует вкрапленность размерами от 0,5 мм до 0,5 см. Изредка флюорит отмечается и в миароловых пустотах, указывая на то, что в этих случаях его кристаллизация связана с поздними стадиями становления пород под влиянием позднемагматических флюидов.

Представительные анализы типовых пород Осокинского массива приведены в табл. 1.

Флюорит-содержащие лейкограниты Осокинского массива пералюминиевые с коэффициентом ASI более 1,1 (варьирование от 1,42 до 1,74). Экспериментально подтверждено, что кристаллизация флюорита в пералюминиевых гранитоидах из расплавов насыщенных фтором определяется кон-

центрацией CaO в расплавах, но не буферизирующей ролью фтора [6].

Характерной особенностью гранитоидов Осокинского массива является преобладание калия над натрием, низкие концентрации стронция и высокие – ниобия.

В породных типах Осокинского массива наблюдаются широкие вариации нормированных к хондриту отношений $(La/Yb)_N$, варьирующих от 0,67 до 15,1, что свидетельствует о различной их фракционированности на редкие земли от низкой до высокой. В породах массива отношения U/Th менее 1 (за исключением дайки аплита), указывающим на слабую измененность пород вторичными наложенными процессами.

На канонических диаграммах все составы породных типов образуют кучные поля.

По соотношению $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ все породы локализируются в поле пералюминиевых разностей (рис. 1, а).

Соотношение $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO) - SiO_2$ позволяет относить все разновидности пород к высокожелезистым (рис. 1, б).

В породах Осокинского штока проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ: M – и W, что является редкостью для гранитоидов, но нередко обнаруживающихся в породах шошонитовой серии, к которой и относится Осокинский массив [3, 4].

Все породные типы штока имеют высокий коэффициент концентрации вольфрама, варьирующий от 10,1 до 54, указывая на геохимическую специализацию на этот элемент. Последняя реализуется и в металлогенической специализации пород. В контактах штока отмечаются скарны с шеелитом, а в поле лейкогранитов несколько проявлений и Осокинское грейзеновое месторождение вольфрама.

Наибольшее практическое значение имеет Осокинское месторождение, которое находится на водоразделе р. Б. Поперечка и ее левого притока руч. Осокина. Площадь месторождения вытянута в субширотном направлении на 2,5 км при ширине 0,5 км и приурочена к юго-восточному эндоконтакту Осокинского гранитного массива. В средней части поля вскрыто 15 кварцевых жил. Мощность жил колеблется от сантиметров до 2 м при длине до 650 м. В гранитах жилы имеют выдержанную мощность по простиранию и падению. Угол падения жил 70–75° на север. Жилы сопровождаются грейзеновой оторочкой. При переходе из гранитов в породы контакта жилы быстро

Таблица 1

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	74,69	76,1	77,08	77,18	75,19	75,2	75,4	77,2	79,54
TiO ₂	0,16	0,11	0,09	0,08	0,12	0,11	0,10	0,07	0,03
Al ₂ O ₃	14,12	13,0	12,66	12,69	13,5	12,8	12,85	12,7	12,45
Fe ₂ O _{3,t}	1,48	0,95	0,99	0,97	2,05	1,98	1,92	1,02	0,26
MnO	0,05	0,1	0,03	0,03	0,11	0,14	0,12	0,03	0,09
MgO	0,16	0,07	0,15	0,16	0,13	0,34	0,33	0,14	0,05
CaO	0,66	0,25	0,44	0,42	0,28	0,23	0,22	0,4	0,36
Na ₂ O	2,8	3,95	2,1	2,0	2,91	3,3	3,4	2,05	2,85
K ₂ O	5,3	4,97	5,85	5,65	4,92	5,34	5,4	5,54	3,96
P ₂ O ₅	0,7	0,06	0,34	0,44	0,15	0,32	0,23	0,4	0,25
ppp	0,04	0,33	0,06	0,07	0,38	0,31	0,05	0,4	0,04
Сумма	100,16	99,89	99,79	99,69	99,74	99,57	99,99	99,95	99,88
Li	80	21	60,5	61	58	5,9	6,8	62,2	14,6
Cs	14	11	6,3	6,6	12	2,9	3,5	7,0	5,5
Rb	304	85	240	230	98	172	175	232	514
Sr	88	47	15	16	50	7,5	10,4	18	14
Ba	231	905	5,5	7,5	655	26	33	8,2	23
La	41,1	21,9	4,3	4,4	8,4	5,2	6,0	4,35	7,4
Ce	66,3	41,4	8,48	8,5	28,8	12,5	13,1	8,51	18,1
Pr	7,5	5,08	0,99	1,04	2,3	0,97	1,02	1,02	1,4
Nd	27,3	19,2	3,61	3,65	12,3	10,6	11,3	3,66	11,6
Sm	5,65	3,79	0,75	0,8	4,5	1,2	1,7	0,81	3,5
Eu	0,48	0,41	0,07	0,09	0,18	0,48	0,45	0,08	0,08
Gd	3,5	4,1	0,73	0,74	5,9	1,49	1,5	0,73	4,9
Tb	0,71	0,6	0,3	0,4	1,5	0,16	0,2	0,35	1,03
Dy	1,2	4,15	0,75	0,95	1,35	0,85	0,9	0,94	0,95
Ho	0,6	0,99	0,17	0,27	0,43	0,21	0,3	0,26	0,23
Er	0,7	2,8	0,63	0,64	0,86	0,65	0,63	0,63	0,56
Tm	0,21	0,44	0,13	0,15	0,32	0,12	0,13	0,14	0,12
Yb	1,8	3,18	1,01	1,12	6,3	1,3	1,6	1,2	7,3
Lu	0,21	0,45	0,17	0,18	1,1	0,18	0,2	0,19	1,2
Y	10,6	28	4,7	9,7	32,1	15,8	16,2	9,6	115
Сумма РЗЭ	167,86	136,49	26,62	32,63	106,34	51,71	55,23	32,47	173,37
Zr	107	77	44,1	44,6	80	216	220	45	40
Nb	2,4	23,8	15,1	15,0	21,6	77	75	15,3	156
Hf	4,1	3,4	2,6	2,7	3,5	9,8	9,7	2,9	5,5
Ta	1,6	1,19	2,22	2,25	1,3	3,5	3,4	2,3	19
Th	25,1	11,1	23,1	23,8	12,8	20,9	21,5	24,0	14
U	2,6	1,1	3,6	3,6	1,5	4,1	5,2	4,2	18
W	8,5	9,0	31,5	35,7	25,6	7,8	6,7	32,3	7,9
(La/Yb) _N	15,1	4,55	2,81	2,6	0,88	2,64	2,47	2,4	0,67
U/Th	0,1	0,09	0,16	0,15	0,12	0,19	0,24	0,18	1,28
ASI	1,6	1,42	1,51	1,57	1,66	1,44	1,43	1,59	1,74

Примечание. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по Anders E., Greevesse N. [5]. Поро-
ды Осокинского массива: 1–2–6–7 – лейкограниты умеренно-щелочные; 3–4–5, 8 – лейкограниты
с флюоритом, 9 – аплит (дайка).

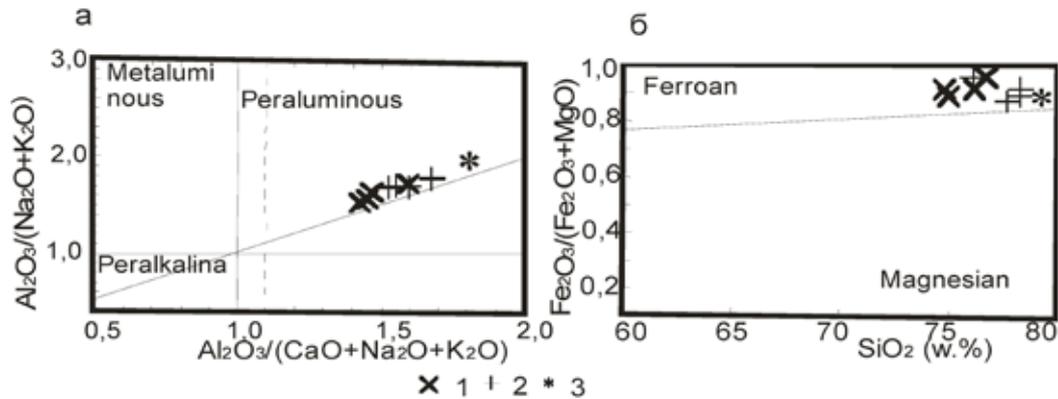


Рис. 1. а – диаграмма $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ по [8] и б – диаграмма $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ по [9] для пород Осокинского штока; 1 – умеренно-щелочные лейкограниты, 2 – лейкограниты с флюоритом, 3 – аплит (дайка)

Таблица 2

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

Отношения элементов и значения ТЭФ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Отношения в хондритах
Y/Ho	17,7	28,3	27,6	35,9	74,6	75,2	54	36,9	500	29,0
Zr/Hf	26,1	22,6	16,9	17,0	22,8	22,0	22,7	15,5	7,3	36,0
La/Nb	17,1	0,92	0,28	0,29	0,39	0,07	0,08	0,28	0,05	30,75
La/Ta	25,7	18,4	1,94	1,98	6,5	1,5	1,7	1,9	0,39	17,57
Sr/Eu	183	114	214,3	178	278	15,6	23,1	225	175	100,5
Eu/Eu*	0,31	0,36	0,29	0,35	0,11	1,1	0,85	0,31	0,06	1,0
Sr/Y	8,3	1,7	3,2	1,6	1,56	0,47	0,64	1,9	0,12	4,62
TE _{1,3}	0,82	0,92	1,25	1,28	1,06	0,69	0,66	1,24	0,89	-

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по В. Ирбер [7]; Eu* = (Sm_N+Gd_N)/2. Значения в хондритах приняты по [5]. Породы Осокинского массива: 1, 2, 6, 7 – лейкограниты умеренно-щелочные; 3, 4, 5, 8 – лейкограниты с флюоритом, 9 – аплит (дайка).

выклиниваются. Руды обладают массивной текстурой и сложены кварцем с присутствием мусковита, полевого шпата. Из рудных минералов встречаются вольфрамит, висмутин, молибденит, пирит и шеелит. Вольфрамит распределен крайне неравномерно, изредка образуя кристаллы длиной до 10-12 см и гнезда до 20×30 см. Висмутин также очень редко образует кристаллы размером до 10–12 см и гнезда до 15–25 см.

В окисленной части жил присутствует лимонит, бисмутит и молибденит, причем в шурфах зона окисления превышает глубину 31 м. Жилы, залегающие в скарнированных известняках, часто содержат кальцит и флюорит. Вольфрамит, висмутин и шеелит здесь содержатся в небольшом количестве. В скарнах около жил встречается редкая вкрапленность висмутина, пирита и довольно много флюорита.

Содержание триоксида вольфрама (среднее) по отдельным жилам колеблется от 0,2 до 1%. Молибден присутствует в количествах от «следов» до 0,02% и висмут – 0,02- 0,12%.

Запасы триоксида вольфрама на 1.01.1956 г. составляли: балансовые, категории В+С₁ – 54 т, С₂ – 3 т, при среднем содержании триоксида вольфрама – 0,9%; забалансовые, категории В+С₁ – 96 т, С₂ – 54 т, при среднем содержании триоксида вольфрама – 0,5%.

Щемиловское скарновое проявление находится на западном фланге Щемиловского участка Осокинского месторождения, где в 1983-86 гг. выявлено широкое распространение шеелитоносных скарнов. Проявление приурочено к кровле Осокинского гранитного массива, сложенной вулканогенно-осадочными и карбонатными образованиями девона и прорванной дайкообразными апофизами гранитов. Контакты пологие (около 20° к югу). Вмещающие породы интенсивно ороговикованы, скарнированы, грейзенизированы, альбитизированы и эпидотизированы. Линейные и линзовидные тела везувиановых и гранат-везувиановых скарнов развиты на площади 0,9×0,4 км, мощность тел до 60 м, падение юго-восточное под 60–80°. Шеелит образует мелкую вкрапленность, гнезда и тонкие прожилки в окварцованных скарнах,

подчиненное значение имеют висмутин, молибденит, касситерит, пирит, апатит, флюорит. Установлена прямая зависимость между степенью окварцевания и содержанием шеелита. В скарнах выделено 11 рудных тел со средним содержанием WO₃ 0,1-1,12%, мощностью 0,1-3,0 м и протяженностью 60-100 м. Везувиан в скарнах образует сплошные массы и местами в пустотах образует правильные короткостолбчатые кристаллы оливково-зелёного цвета размерами до 1-1,5 см. Везувиан в пустотах прозрачен.

В рудах установлены повышенные содержания (%): Li – до 0,1; Be – до 0,079; Bi – до 0,107; Sn, Nb – до 0,02; Mo, Zn – до 0,03; Cu – до 0,05; Au – до 0,2-1,0 г/т; Ag – до 400 г/т. Прогнозные ресурсы категории Р₂ до глубины 200 м оцениваются в 1180 т WO₃, бериллия – 155 т (при среднем содержании 0,01%), лития – 1203 т (0,03%).

Интерпретация результатов и выводы. Важное значение для генерации различных типов оруденения имеют параметры флюидного режима, окисленность и восстановленность обстановки и другие физико-химические условия, влияющие на перенос рудогенных металлов.

На диаграмме Eu/Eu* – TE_{1,3} показательны тренды различных типов тетрадного эффекта (ТЭФ) РЗЭ и изменений величин Eu/Eu* (рис. 2).

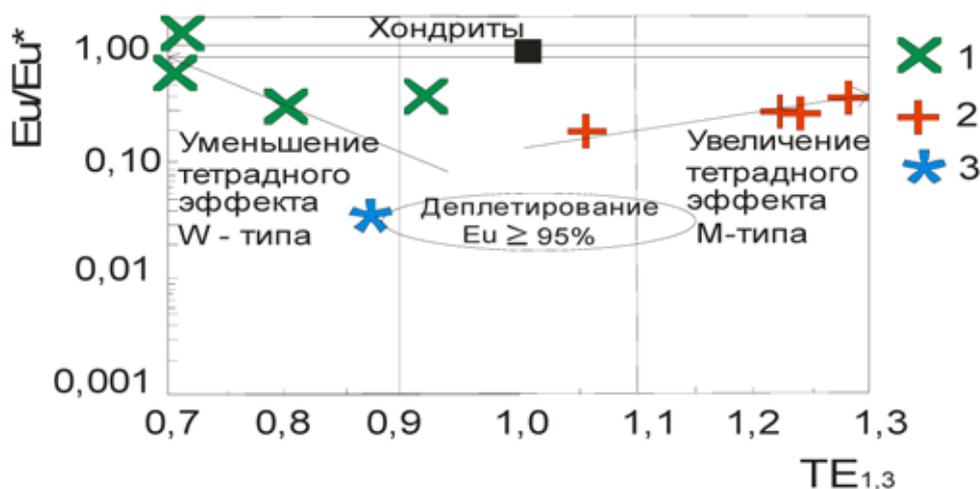


Рис. 2. Диаграмма Eu/Eu* – Te₁ для пород Осокинского массива: 1 – умеренно-щелочные лейкограниты, 2 – лейкограниты с флюоритом, 3 – аплит (дайка)

Для умеренно-щелочных лейкогранитов наблюдается проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ W-типа. Его величина уменьшается с увеличением отношений Eu/Eu^* . В лейкогранитах с флюоритом проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ M-типа. ТЭФ M-типа увеличивается с увеличением отношений Eu/Eu^* (рис. 2).

Интерпретация этого явления сводится к тому, что проявление различных типов ТЭФ обусловлено различным флюидным режимом магматогенного этапа формирования Осокинского массива. При формировании лейкогранитов с флюоритом ведущая роль принадлежала высоко-фтористым флюидам с проявлением ТЭФ РЗЭ M-типа, а при генерации умеренно-щелочных лейкогранитов – ведущую роль играли высоко-водные флюиды с проявлением ТЭФ РЗЭ W-типа.

Различный режим магматогенных флюидов определял металлогенический потенциал различных фаз становления Осокинского массива. Наибольшую роль в формировании грейзенового (Осокинское месторождение) и скарнового оруденения (Щемиловское месторождение) вольфрама и других металлов в контактах Осокинского массива играли высоко-фтористые магматогенные флюиды, которые осуществляли перенос вольфрама во флюидах к местам рудоотло-

жения. При этом формирование оруденения вольфрама происходило при генерации относительно высоко кремнекислотной обстановки с уменьшением содержаний суммы щелочей в лейкогранитах с флюоритом.

Список литературы

1. Волбенко Е.В., Гусев А.И. Петрология и рудоносность Белокурихинского плутона // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая, 2005. – №2. – С. 69–74.
2. Гусев, А.И. Петрология и рудоносность Белокурихинского плутона Горного Алтая // Отечественная геология. – 2008. – №4. – С. 25–33.
3. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим, рудоносность. – М.: Изд-во РАН, 2011. – 125 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. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – Pp. 197–214.
6. Dolejš D., Baker D.R. Fluorite solubility in haplogranitic melts at 100 MPa // Chemical Geology, 2006. – V. 225. – P. 40–60.
7. 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.
8. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Soc. America Bulletin, 1989. – V.101. – Pp. 635–643.
9. Villaseca C., Barnero 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.