

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Géol. Penins. Balk.	62	251–266	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	---------	---

УДК 54:549.623.5:552.11:552.321.3(497.11) Оригинални научни рад

ХЕМИЗАМ БИОТИТА И ГЕНЕТСКИ ТИП ГРАНИТОИДА СРБИЈЕ

од

Миленка Вукова* и Видојка Јовића*

На основу хемијског састава петрогених биотита извршена је анализа генетске и геотектонске припадности гранитоидних стена Србије. Анализа се заснивала на коришћењу критеријума (Abdel-Fattah, 1994) добијених проучавањем биотита из референтних гранитоидних масива у свету, који обухватају: **орогене калкоалкалне** (I-тип) и **пералуминијске** (укључујући S-тип), као и **анорогене алкалне** (A-тип) гранитоиде. Утврђено је да се хемизам биотита из гранитоидних стена Србије може користити као релативно поуздан допунски и као прелиминарни критеријум за опредељење генетске природе гранитоида.

Кључне речи: биотит, хемијски састав, пералуминијски гранитоид, калкоалкални гранитоид, алкални гранитоид, I-тип, S-тип, A-тип, Србија.

УВОД

Данас се у свету примарна **генетско-геотектонска природа** гранитоида своди на разликовање (према хемијско-минералošким карактеристикама стена) три генетске групе: S-, I- (Chappell & White, 1974; White & Chappell, 1977) и A-гранитоида (Collins et al., 1982), који су образовани у **орогеном**, односно **анорогеном** тектонском режиму (Pearce et al., 1984). Првобитно постављени критеријуми временом су знатно допуњавани и делимично мењани (Нечаева, 1976; Ishihara et al., 1979; Ставров, 1981; Chappell, 1979; Backinsele, 1979; Takahashi et al., 1980; White et al., 1982, 1986; Руб и др., 1983; Chappell & White, 1984; Bowden et al., 1984; Batchelor & Bowden, 1985; Harris et al., 1986), а врло упошћени критеријуми (Blatt & Tracy, 1996) дати су у табели 1.

Досадашња проучавања генетско-геотектонске припадности гранитоидних стена Србије вршена су са регионално-геолошког аспекта (нпр. Karamata, 1980; Karamata & Djordjević, 1980; Кнежевић, 1985), ређе према њиховим хемијско-минералošким карактеристикама (нпр. Ратић, 1987; Карамата и др., 1990, 1992; Вуков, 1989, 1995; Кнежевић и др., 1997; и други).

* Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду. Буџина 7. 11 000 Београд.

У раду је извршено дефинисање генетско–геотектонског карактера различитих гранитоидних стена Србије на основу хемизма биотита и процена поузданости добијених података корелацијом са њиховим познатим карактеристикама.

Табела 1. Карактеристике I-, S- и A-типа гранитоида (Blatt & Tracy, 1996)
Table 1. Characteristics of I-, S-, and A-type of granitoid rocks (Blatt & Tracy, 1996)

тип (type)	тектонски режим (tectonic regime)	хемијски карактер (chemical character)
I	орогени (orogenic)	мегаалуминијски ¹ (meta-aluminous ¹) ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)
S	орогени (orogenic)	метаалуминијски до врло пералуминијски ² (meta-aluminous to high peraluminous ²) ($\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$)
A	анорогени, рифтни (anorogenic, rift)	метаалуминијски до слабо пералкални ³ (meta-aluminous to low peralkaline ³) ($\text{Al}_2\text{O}_3 < \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)

хемијски карактер (Shand, 1947)¹⁻³: 1- нормални = засићен алуминијом (Заварицкиј, 1935) = калко-алкални, 2- плумазитски = пресићени алуминијом (Заварицкиј); 3 = апаитски (Ussing, 1911) = пресићен алкалијама (Заварицкиј).

Chemical character (Shand, 1947)¹⁻³: 1- normal = alumina-saturated (Zavaritskiy, 1935) = calc-alkaline; 2- plumbitic = alumina-saturated (Zavaritskiy); 3- apatitic (Ussing, 1911) = alkali-oversaturated (Zavaritskiy).

БИОТИТИ И ДИСКРИМИНАЦИОНИ ДИЈАГРАМИ

Препознавање различитих генетских типова гранитоида заснива се на хемизму коегзистентних биотита (феромагнезијског лискуна), односно на петрогенетским законитостима изовалентне и хетеровалентне супституције катјона ($\text{Mg}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$, $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$; $2\text{Al}^{3+} \leftrightarrow 3\text{Fe}^{2+}$, $3(\text{Mg}, \text{Fe})^{2+} \leftrightarrow 2\text{Al}^{3+}$) условљених физичко–хемијским условима образовања биотита (Nockolds, 1947; Foster, 1960); на хемизму биотита из генетско–геотектонских референтних магматских комплекса (Haslam, 1968; Dodge et al., 1969; Albuquerque, 1973; Walsh, 1975; De Pieri & Jobstraibizer, 1977; Parsons, 1981; Phillips et al., 1981; Pattison et al., 1982; Lalonde & Martin, 1983; Speer, 1984; Kinnaird et al., 1985; Platt & Woolley, 1986; Pichavant et al., 1988; Schneiderman, 1991); као и на постављеним дискриминантима у дијаграмима: $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, FeO^*-MgO (Abdel-Fattah, 1994).

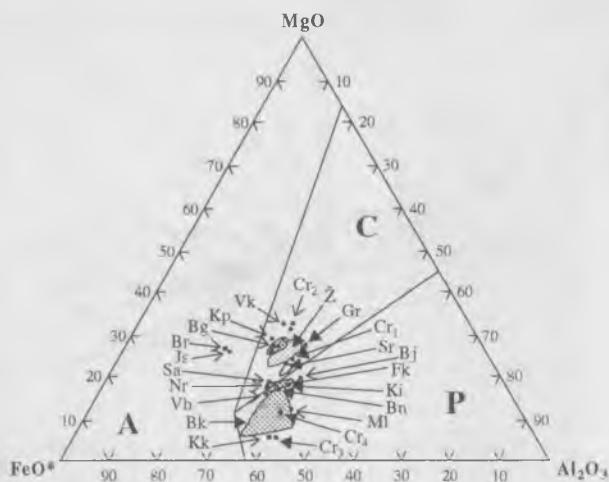
Постављене дискриминанте (Abdel-Fattah, 1994) хемијског састава биотита у дијаграмима $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, FeO^*-MgO (сл. 1–4) омогућују препознавање одређених гранитоидних комплекса, тј. три магматске групе стена:

P – пералуминијске укључујући колизионе и S-тип (Chappel & White, 1974) гранитоиде.

S – калкоалкалне орогене, претежно I-типа (White & Chappell, 1977) образоване при субдукцији.

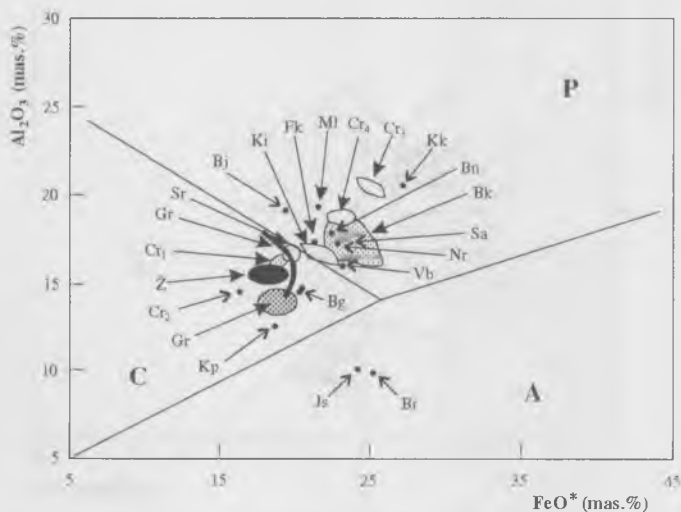
A – анорогене алкалне комплексе, претежно A-типа (Collins et al., 1982) образоване при тектонској екстензији.

У дијаграмима се као компоненти користе оксиди хемијских елемената изражени у мас.%, док се укупно гвожђе (FeO^*) израчунава из формуле: $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.89981 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$.



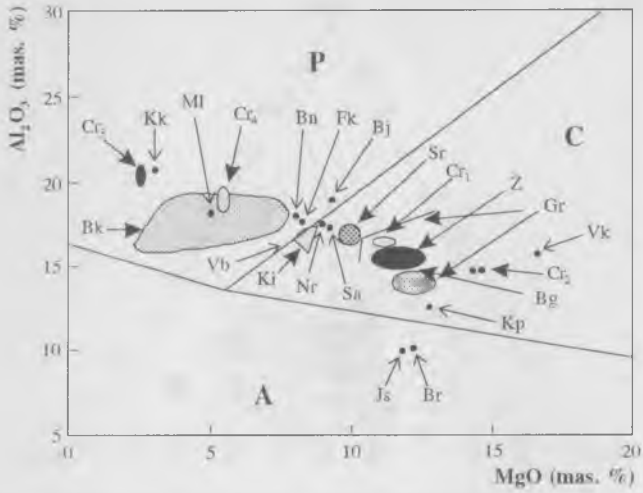
Сл. 1. $\text{FeO}^* - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ дискриминациони дијаграм биотита из гранитоидних стена (Abdel-Fattah, 1994). Координате дискриминанти поља за FeO^* , MgO и Al_2O_3 су: **AP** (58,5/11,5/30; 62/0,0/38); **AC** (58,5/11,5/30; 0,0/83,5/16,5) и **PC** (58,5/11,5/30; 0,0/45,5/54,5). Биотит из: **A** – анорогених (A–тип); **P** – пералуминијских (S–тип) и **C** – калколалних орогених (I–тип) гранитоида. Ознаке гранитоидних масива Србије као у табели 2.

Fig. 1. $\text{FeO}^* - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ discrimination diagram for biotite from granitoid rocks (Abdel-Fattah, 1994). Coordinates of the field discriminants for FeO^* , MgO and Al_2O_3 are: **AP** (58.5/11.5/30; 62/0.0/38); **AC** (58.5/11.5/30; 0.0/83.5/16.5) and **PC** (58.5/11.5/30; 0.0/45.5/54.5). Biotite from **A** – anorogenic (A–type); **P** – peraluminous (S–type) and **C** – calco-alkaline orogenic (I–type) granitoids. Symbols for granitoid massifs of Serbia as in Table 2.



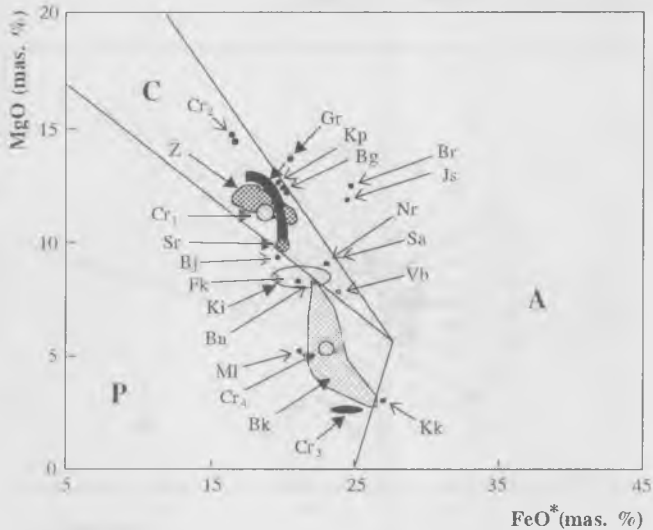
Сл. 2. $\text{FeO}^* - \text{Al}_2\text{O}_3$ дискриминациони дијаграм биотита из гранитоидних стена (Abdel-Fattah, 1994). Координате дискриминанти поља за FeO^* и Al_2O_3 су: **A/C** (5/5; 25,8/14,1), **A/P** (25,8/14,1; 45/19,5) и **C/P** (25,8/14,1; 5/24,7). Ознаке гранитоидних масива Србије као у табели 2 и сл. 1.

Fig. 2. $\text{FeO}^* - \text{Al}_2\text{O}_3$ discrimination diagram for biotites from granitoid rocks (Abdel-Fattah, 1994). Coordinates of the field discriminants for FeO^* and Al_2O_3 are: **A/C** (5/5; 25.8/14.1), **A/P** (25.8/14.1; 45/19.5) and **C/P** (25.8/14.1; 5/24.7). Symbols for granitoid massifs of Serbia as in Table 2 and Fig. 1.



Сл. 3. $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ дискриминациони дијаграм биотита из гранитоидних стена (Abdel-Fattah, 1994). Символи поља А, С и Р исти су као на сл. 1. Координате дискриминанти за MgO и Al_2O_3 су: A/P (0,0/16,3; 5,5/13,5), A/C (5,5/13,5; 20/9,5) и C/P (5,5/13,5; 19,2/30). Ознаке гранитоидних масива Србије као у табели 2 и сл. 1.

Fig. 3. $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ discrimination diagram for biotites from granitoid rocks (Abdel-Fattah, 1994). Symbols of fields A, C and P are the same as in Fig. 1. Coordinates of discriminants for MgO and Al_2O_3 are: A/P (0,0/16,3; 5,5/13,5), A/C (5,5/13,5; 20/9,5) and C/P (5,5/13,5; 19,2/30). Symbols for granitoid massifs as in Table 2 and Fig. 1.



Сл. 4. $\text{FeO}^* - \text{MgO}$ дискриминациони дијаграм биотита (Abdel-Fattah, 1994). Символи поља А, С и Р исти су као на сл. 1. Координате дискриминанти поља за FeO^* и MgO су: A/P (25/0,0; 27,9/5,6), A/C (27,9/5,6; 11,7/20) и C/P (27,9/5,6; 5/17). Ознаке гранитоидних масива Србије као у табели 2 и сл. 1.

Fig. 4. $\text{FeO}^* - \text{MgO}$ discrimination diagram for biotites (Abdel-Fattah, 1994). Symbols of fields A, C and P are the same as in Fig. 1. Coordinates of discriminants of fields for FeO^* and MgO are: A/P (25/0,0; 27,9/5,6), A/C (27,9/5,6; 11,7/20) and C/P (27,9/5,6; 5/17). Symbols for granitoid massifs as in Table 2 and Fig. 1.

У овом раду су за опредељење генетско–геотектонске природе гранитоида коришћене све објављене хемијске анализе биотита из гранитоидних стена Србије (Радукић, 1978; Радукић и др., 1983; Радукић и Кеменци, 1988; Вуков, 1988; Кнежевић и др., 1992, 1997). Репрезентативност анализа, међутим, врло је неуједначена. Нека магматска тела заступљена су солидним бројем анализа (Цер, Жељин, Горњане, Кикинда), а анализе су углавном урађене помоћу електронске микросонде (Цер, Жељин). Већина, чак и већа тела, представљена је, пажалост, само са по једном класичном хемијском анализом мономинералног концентрата.

У раду су обухваћене (посредно преко биотита) у ширем смислу гранитоидне стене, али и стене дефинисане као мигматити, гнајс–гранити, гранитизациони и метасоматски гранити, као и две анклаве (табела 2). Обрађени су следећи масиви: Цер (кварцмонцити – Cr1, анклаве – Cr2, ситнозрни леукократни гранити – Cr3 и мусковитски аплитоидни гранити – Cr4), Стражаница (Sr), Богатић (Bg), Борања (Br), Букуља (Bk), Жељин (Ž), Копаоник (Kp), Горњане (Gr), Брњица (Bn), Сталаћ (Sa), Кукавица (Kk), Јастребац (Js), Кикинда (Ki), Фекетић (Fk), Милошево (Ml) и Вршачка брда (Vb).

ХЕМИЗАМ БИОТИТА И ГЕНЕТСКИ ТИП ГРАНИТОИДА

Дефинисани карактер гранитоидних стена Србије на основу хемијског састава биотита и дискриминантних дијаграма (Abdel-Fattah, 1994): $MgO-FeO^*-Al_2O_3$, $FeO^*-Al_2O_3$, $MgO-Al_2O_3$, FeO^*-MgO (сл. 1–4) углавном показује веома добро слагање са карактером тих стена опредељеним другим методама (геолошким и/или петролошко–минералошким методама). Нелогични резултати су добијени за стене створене из знатно контаминиране магме, као и за интензивније метасоматски промењене или метасоматски образоване стене (нпр. гнајс–граните).

Алкални гранитоиди (А–тип). Према саставу биотита алкални карактер поседују само млади (алпски) гранитоиди Борање и гранит Јастренца. Њиховом алкалном карактеру (табела 2, сл. 1–4), међутим, противурече све геолошко–петролошко–минералошке карактеристике стена (нпр. за Борању, Карамата и др., 1992). Алкални карактер дају им према нашем мишљењу, нереално високи садржаји FeO^* (25,08 и 24,15%), посебно Fe_3O_3 (10,56 и 12,76%) и ниски садржаји Al_2O_3 (9,95 и 9,98%), вероватно због присуства магнетита у концентрату биотита (по једна класична хемијска анализа).

Калкоалкални гранитоиди (I–тип). Калкоалкалним гранитоидима припадају млади алпски (неогени) масиви Динарида (и Вардарске зоне) за које је доказан I–карактер, тј. гранитоид Жељина (Вуков, 1995), гранодиорит Стражанице (Кнежевић и др., 1997) и кварцмонцитит Цера (Cr1), затим геолошко–петролошко–минералошки блиски: тоналит Богатића, гранитоид Копаоника и херцински гранитоидни масив Карпато–балканида –Горњане. Овај последњи показује калкоалкални карактер и веће варирање састава (посебно периферни делови масива, нпр. код Рудне главе), што је и логично с обзиром на његову доказану контаминацију.

Претежно калкоалкални карактер, понекад близак алкалном или пералуминијском, имају: "гнајс–гранит" Сталаћа (каледонски) и "гранит" Нереснице (херцински), док "гранит" Брњице (геолошко–петролошко–минералошки близак горњанском и нересничком гранитоиду) има претежно пералуминијски карактер (близак калкоалкалном). Карактер ове три појаве треба прихватити са резервом, јер се

Табела 2. Парцијални хемијски састави, параметри и дискриминанте хемизма **биотита** из гранитоидних стена СрбијеTable 2. Partial chemical compositions, parameters, and discriminants of chemistry of **biotites** from granitoid rocks of Serbia

	Željin (Z)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al ₂ O ₃	16.08	15.11	15.49	15.43	15.32	15.30	14.83	15.34	15.01	14.52
FeO*	17.54	18.17	17.85	18.12	18.46	20.92	18.84	19.49	17.35	19.70
MgO	12.45	12.00	12.06	12.01	12.19	11.16	11.59	11.60	11.47	11.41
Al ₂ O ₃	34.90	33.37	34.12	33.87	33.33	32.29	32.77	33.04	34.24	31.82
FeO* (100%)	38.07	40.13	39.32	39.77	40.16	44.15	41.63	41.98	39.58	43.17
MgO	27.02	26.50	26.56	26.36	26.52	23.55	25.61	24.98	26.17	25.00
FeO*-MgO-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fe*-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
MgO-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FeO*-MgO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Željin (Z)						Bogatić (Bg)		Kp	Br
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Al ₂ O ₃	16.03	15.16	15.07	14.91	15.00	13.72	14.82	14.76	12.59	9.95
FeO*	19.76	17.56	18.05	16.12	20.08	18.97	20.50	20.10	19.54	25.08
MgO	11.47	11.41	11.50	11.57	11.60	11.24	12.13	12.57	12.85	12.25
Al ₂ O ₃	33.90	34.23	33.70	35.01	32.82	31.23	31.23	31.12	27.99	21.04
FeO* (100%)	41.78	39.65	40.36	37.85	43.94	43.18	43.20	42.38	43.44	53.05
MgO	24.32	26.12	25.94	27.14	23.24	25.59	25.56	26.50	28.57	25.91
FeO*-MgO-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
Fe*-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
MgO-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
FeO*-MgO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
	Stražanica (Sr)									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Al ₂ O ₃	16.74	16.44	17.21	16.13	16.68	16.86	16.67	16.99	16.67	16.61
FeO*	19.38	20.15	19.96	19.68	19.52	19.35	19.73	19.53	19.64	19.29
MgO	9.97	9.65	10.16	9.96	9.83	9.93	10.15	9.76	9.71	9.79
Al ₂ O ₃	36.32	35.55	36.36	35.24	36.24	36.54	35.81	36.71	36.28	36.08
FeO* (100%)	42.05	43.58	42.17	43.00	42.41	41.94	42.38	42.20	42.59	42.66
MgO	21.63	20.87	21.47	21.76	21.35	21.52	21.81	21.09	21.13	21.26
FeO*-MgO-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fe*-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
MgO-Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FeO*-MgO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Cer (Cr1)								Cer (Cr2)	
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Al ₂ O ₃	16.69	16.53	16.34	16.37	16.32	16.25	15.92	16.10	14.52	14.56
FeO*	19.29	19.45	18.89	19.38	18.76	18.90	18.80	18.78	16.71	16.53
MgO	9.61	9.61	11.20	11.52	11.26	10.96	11.32	11.30	14.38	14.88

Al ₂ O ₃	36.61	36.26	35.19	34.63	35.22	35.24	34.58	34.86	31.83	31.67
FeO* (100%)	42.31	42.66	40.68	41.00	40.48	41.00	40.83	40.67	36.64	35.96
MgO	21.08	21.08	24.12	24.37	24.30	23.77	24.59	24.47	31.53	32.37
FeO* - MgO - Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fe* - Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
MgO - Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FeO* - MgO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Cer (C3)					Cer (C4)				
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Al ₂ O ₃	19.65	20.12	20.25	21.00	18.87	18.39	18.80	18.32	19.27	18.90
FeO*	25.36	25.35	25.46	24.23	23.90	23.54	23.42	23.22	22.53	22.93
MgO	2.79	2.75	2.65	2.50	5.63	5.56	5.40	5.60	5.44	5.27
Al ₂ O ₃	41.11	41.72	41.87	44.00	38.99	38.72	39.48	38.86	40.79	40.13
FeO* (100%)	53.05	52.57	52.65	50.76	49.38	49.57	49.18	49.26	47.69	48.68
MgO	5.84	5.70	5.48	5.24	11.63	11.71	11.34	11.88	11.52	11.19
FeO* - MgO - Al ₂ O ₃	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Fe* - Al ₂ O ₃	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
MgO - Al ₂ O ₃	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
FeO* - MgO	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	Bukulja (Bk)					Gornjane (Gr)				
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Al ₂ O ₃	18.08	19.24	15.44	16.45	16.40	14.03	13.94	14.50	14.20	14.60
FeO*	22.55	22.91	26.73	23.87	21.91	19.16	19.13	17.82	18.48	20.50
MgO	8.15	4.09	2.60	5.95	4.64	12.10	11.76	12.85	12.43	13.05
Al ₂ O ₃	37.06	41.61	34.49	35.55	38.18	30.98	31.09	32.10	31.48	30.32
FeO* (100%)	46.23	49.55	59.70	51.59	51.01	42.30	42.67	39.45	40.97	42.57
MgO	16.70	8.84	5.81	12.86	10.80	26.72	26.23	28.45	27.55	27.10
FeO* - MgO - Al ₂ O ₃	P	P	P	P	P	C	C	C	C	C
Fe* - Al ₂ O ₃	P	P	P	P	P	C	C	C	C	C
MgO - Al ₂ O ₃	P	P	P	P	P	C	C	C	C	C
FeO* - MgO	P	P	P/A	P	P	C	C	C	C	P
	Gornjane (Gr)						Nr	Bn	Js	Kk
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Al ₂ O ₃	14.23	13.71	13.99	16.47	15.64	18.01	17.25	17.98	9.98	20.59
FeO*	18.98	19.33	20.14	19.67	20.03	17.89	22.95	22.38	24.15	27.24
MgO	12.30	11.62	11.61	10.39	10.15	13.00	8.96	8.28	11.75	3.10
Al ₂ O ₃	31.27	30.70	30.59	35.40	34.13	36.83	35.09	36.96	21.75	40.43
FeO* (100%)	41.70	43.27	44.03	42.27	43.71	36.58	46.68	46.01	52.64	53.48
MgO	27.03	26.02	25.38	22.33	22.15	26.58	18.23	17.02	25.61	6.09
FeO* - MgO - Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C(p)	P	A	P
Fe* - Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	P	P	A	P
MgO - Al ₂ O ₃	C	C	C	C	C	C	C(p)	P	A	P
FeO* - MgO	C	C	C	C	C	C	C	P/C	A	A

	Sa	Bj	Kikinda (Ki)					Fk	Ml	Vb
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Al ₂ O ₃	17.31	19.02	17.19	16.56	16.40	16.95	15.96	17.49	18.15	16.17
FeO*	23.88	19.45	19.73	23.22	22.15	23.01	23.26	21.04	21.08	23.89
MgO	9.20	9.40	8.72	8.52	8.00	8.25	8.62	8.39	5.13	7.83
Al ₂ O ₃	34.35	39.73	37.66	34.29	35.23	35.16	33.36	37.28	40.91	33.76
FeO* (100%)	47.39	40.63	43.23	48.07	47.58	47.72	48.62	44.82	47.52	49.88
MgO	18.26	19.64	19.11	17.64	17.19	17.11	18.02	17.88	11.56	16.35
FeO* - MgO - Al ₂ O ₃	C	P	P	P	P	P	C	P	P	P/c
Fe* - Al ₂ O ₃	P	P	P/C	P	P	P	P	P	P	P
MgO - Al ₂ O ₃	C	P	C	C	P/C	P/C	C	P	P	P/c
FeO* - MgO	C/A	P	P	C	P	C	C	P	P	C

* укупно гвожђе као FeO (FeO + Fe₂O₃ x 0.89981);

1 16 - Жељин (Ж): 1-15 - кварциорити-гранити (Вуков, 1988), 16 - гранит (Радукић, 1978); 17,18 - Богатић (Bg), тоналит (непубликовано); 19 - Копачник (Кр), ситнозрни гранит (Радукић, 1978); 20 - Борања (Br), гранит (Радукић, 1978); 21-32 - Стражаница (Sr), гранодиорити (Кнежевић и др., 1997); 33-38 - Цер (Cr1) - мезократни гранодиорити (Кнежевић и др., 1992); 39, 40 - Цер (Cr2), анклаве у мезократним гранодиоритима (Кнежевић и др., 1992); 41-44 - Цер (Cr3), ситнозрни леуократни гранити (Кнежевић и др., 1992); 45-50 - Цер (Cr4), мусковитски аплитидни гранити (Кнежевић и др., 1992); 51-55 - Букуља (Bk): 51 - гранит, 52 - гранит, 53 - светлосиви гранит, 54 - тамносиви гранит, мале партије у светлосивом, 55 - шкриљави гранит (51-55 - Радукић, 1978); 56-66 - Горњане (Gr), гранодиорити: 56, 57 - средиште масива (Љубова река), 58-65 - периферни делови масива, 58 - ?, 59 - Танда, 60 - ?, 61-63 - Рудна глава, 64 - Близна река, 65 - Равна река, 66 - гранит, Рудна глава (56-65 - Радукић, 1983; 66 - Радукић, 1978); 67 - Нересница (Nr), порфиroidни гранит (Радукић, 1978); 68 - Брњица (Bn), црвени гранит (Радукић, 1978); 69 - Јастребац (Js), крупнозрни гранит (Радукић, 1978); 70 - Кукавица (Kk), гранит (Радукић, 1978); 71 - Сталаћ (Sa), гнајс-гранит (Радукић, 1978); 72 - Бујановац (Bj), гранит (Радукић, 1978); 73-77 - Кикинда (Ki), 73-76 - мигматити, 77 - гранодиорит (73-77 - Радукић, 1988); 78 - Фекетић (Fk), гранит (Радукић, 1988); 79 - Милошево (Ml), гранит (средња из две анализе, Радукић, 1988); 80 - Вршачка брда (Vb), окцати гнајс (Радукић, 1978).

* Total Fe as FeO (FeO + Fe₂O₃ x 0.89981);

1 16 - Željín (Z): 1-15 - quartzdiorite-granite (Vukov, 1988), 16 - granite (Radukić, 1978); 17,18 - Bogatić (Bg), tonalite (unpublished); 19 - Kopaonik (Kp), fine-grained granite (Radukić, 1978); 20 - Boranja (Br), granite (Radukić, 1978); 21-32 - Stražanica (Sr), granodiorite (Knežević et al., 1997); 33-38 - Cer (Cr1) - mesocratic granodiorite (Knežević et al., 1992); 39, 40 - Cer (Cr2), enclaves in mesocratic granodiorite (Knežević et al., 1992); 41-44 - Cer (Cr3), fine-grained leucocratic granite (Knežević et al., 1992); 45-50 - Cer (Cr4), muscovitic aplite granite (Knežević et al., 1992); 51-55 - Bukulja (Bk): 51 - granite 52 - granite, 53 - light grey granite, 54 - dark grey granite as small parts in pale grey one; 55 - schistose granite (51-55 - Radukić, 1978); 56-66 - Gomjane (Gr), granodiorite: 56, 57 - the central part of massif (Ljubova reka), 58-65 - marginal parts of massif, 58 - ?, 59 - Tanda, 60 - ?, 61-63 - Rudna Glava, 64 - Blizna reka, 65 - Ravna reka, 66 - granite, Rudna Glava (56-65 - Radukić, 1983; 66 - Radukić, 1978); 67 - Neresnica (Nr), porphyroid granite (Radukić, 1978); 68 - Bmjića (Bn), red granite (Radukić, 1978); 69 - Jastrebac (Js), coarse-grained granite (Radukić, 1978); 70 - Kukavica (Kk), granite (Radukić, 1978); 71 - Stalać (Sa), gneiss-granite (Radukić, 1978); 72 - Bujanovac (Bj), granite (Radukić, 1978); 73-77 - Kikinda (Ki), 73-76 - migmatite, 77 - granodiorite (73-77 - Radukić, 1988); 78 - Feketić (Fk), granite (Radukić, 1988); 79 - Miloševo (Ml), granite (average from two analyses, Radukić, 1988); 80 - Vršacka brda (Vb), augen-gneiss (Radukić, 1978).

заснива само на по једној класичној хемијској анализи мономинералног концентра-та биотита (могуће недовољно чистог). Ове стене карактеришу, такође и метасоматски (Сталаћ) и контаминациони утицаји.

Пералуминијски гранитоиди (S-тип). Пералуминијски карактер и мање варијације садржаја имају "ситнозрни леукократни гранити" и "мусковитски аплитоидни гранити" Цера (неоген), којима је и раније иетрохемијски доказан S-карактер (Кнежевић и др., 1997).

Гранити Букуље (херцински/алпски), Бујановца (херцински), Кукавице (каледонски), који садрже мусковит и местимично гранат, и гранити Војводине, тј. Милошева и Фекетића имају редовно пералуминијски карактер, а "окцаста гнајсеви" Вршачког брда и "мигматити" Кикинде имају претежно пералуминијски (близак калкоалкалном) или калкоалкални карактер. Пералуминијски карактер ових стена је логичан с обзиром на значај метасоматских процеса при њиховом образовању. Посебно је значајан положај метасоматских гранита Букуље (Divljan, 1991) и мигматита Кикинде, јер за њих постоји већи број анализа, а карактерише их веће варирање састава, што би могло да потврди улогу метасоматских процеса при њиховом стварању.

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Одређивање карактера примарне магме веома је сложен проблем јер магма током еволуције (кристализације, диференцијације, асимилације, контаминације, хибридизације или других процеса) може претрпети знатне, првенствено хемијске измене. Због тога магматске стене, као продукти кристализације исходне магме, могу носити само мањи број примарних одлика.

Хемијски састав магме и физички параметри њене кристализације условљавају одговарајућу асоцијацију коегзистентних петрогених минерала, као и њихов хемизам. За опредељење генетске и геотектонске припадности гранитоидних стена користи се већи број разноврсних геолошких, петролошких, минералошких и хемијских критеријума.

За одређивање примарног карактера магме може послужити и хемизам коегзистентног биотита коришћењем одговарајућих дискриминантних дијаграма: $MgO-FeO^*-Al_2O_3$, $FeO^*-Al_2O_3$, $MgO-Al_2O_3$, FeO^*-MgO . Постављени критеријуми разликују: **орогене калкоалкалне (I-тип)** и **пералуминијске** (укључујући S-тип), као и **анорогене алкалне (A-тип)** гранитоиде.

Резултати добијени анализом хемизма коегзистентних биотита и коришћењем дискриминантних дијаграма веома добро се слажу са познатим (на друге начине опредељеним) карактером гранитоидних стена Србије. Оне имају:

1. **калкоалкални карактер (I-тип).** Калкоалкалним карактером одликују се гранитоидне стене: Жељина, Стражанице, Цера (кварцмонцитити), Богатића, Копаоника и Горњана; све редовно падају у поље С и то даље од дискриминантних линија.

Гранитоиди Нереснице и Сталаћа (гнајс-гранит) имају претежно калкоалкални карактер, близак пералуминијском, ређе пералуминијски (и алкални) карактер. Задобијање пералкалног (и алкалног) карактера позвано је вероватно контаминационим, односно метасоматским процесима, који су код њих и доказани.

2. **пералуминијски карактер (S-тип).** Пералуминијски карактер редовно имају ситнозрни леукократни гранити и мусковитски аплитоидни гранити Цера и стене

које су мање или више метаморфисане (регионално или метасоматски), а то су гранити Букуље, Бујановца, Кукавице, као и гранити Милошева и Фекетића (последња два из подлоге неогена).

Претежно пералуминијски и близак калкоалкалном или калкоалкални карактер имају, такође контаминирани, метаморфисане или метаморфне стене, нпр. гранит Брњице, мигматити Кикинде и гнајс–гранит (окцасти гнајс) Вршачких брда.

3. **алкални карактер** (А–тип). Алкалним карактером одликују се гранитоидне стене Борање и Јастрепца.

Алкални карактер стена ова два масива, одређен према хемизму биотита (по једна анализа мономинералних концентрата), међутим, противуречи свим геолошко–петролошко–минералошко–хемијским чињеницама и вероватно је последица, по нашем мишљењу присуства нечистоћа у анализираном биотиту.

Према извршеној анализи, постављени критеријуми за дефинисање карактера гранитоида на основу хемизма биотита могу се користити као поуздан прелиминарни и допунски критеријум за одређење генетско–геотектонске природе гранитоида.

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Geol. Penins. Balk.	62	251-266	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	---------	---

UDC 54.549.623.5:552.11:552.321.3(497.11)

Original scientific paper

CHEMISTRY OF BIOTITES AND GENETIC TYPES OF GRANITIC ROCKS OF SERBIA

by

Milenko Vukov* and Vidojko Jovic*

Chemical composition of petrogenic biotites was used in an analysis of genetic and geotectonic classifications of granitic rocks in Serbia. The analysis was based on criteria (Abdel-Fattah, 1994) developed from the study of biotites from reference granite massifs over the world, which included: **orogenic calc-alkaline (I-type)** and **peraluminous** (including **S-type**), and **anorogenic alkaline (A-type)** granitic rocks. The chemistry of biotite from granitic rocks of Serbia was found useful as a relatively reliable additional and a preliminary criterion for discrimination of genetic nature of granitic rocks.

Key words: biotite, chemical composition, peraluminous granitic rocks, calc-alkaline granitic rocks, alkaline granitic rocks, I-type, S-type, A-type, Serbia.

INTRODUCTION

The primary **genetic-geotectonic nature** of granitic rocks is at present internationally reduced to three genetic groups (distinguished by chemical and mineralogical properties of rocks): **S-, I-** (Chappell & White, 1974; White & Chappell, 1977) and **A-granites** (Collins et al., 1982), formed in **orogenic** or **anorogenic** tectonic regime (Pearce et al., 1984). The initially set criteria have been significantly amended and partly revised with the time (Nechaeva, 1976; Ishihara et al., 1979; Stavrov, 1981; Chappell, 1979; Backinsele, 1979; Takahashi et al., 1980; White et al., 1982, 1986; Rub et al., 1983; Chappell & White, 1984; Bowden et al., 1984; Batchelor & Bowden, 1985; Harris et al., 1986), and much simplified criteria (Blatt & Tracy, 1996) are given in Table 1.

The genetic-geotectonic classification of granitic rocks of Serbia has been made so far at the regional-geology level (e.g. Karamata, 1980; Karamata & Djordjević, 1980; Knežević, 1985), sometimes on their chemical-mineral properties (e.g. Pamić, 1987; Karamata et al., 1990, 1992; Vukov, 1989, 1995; Knežević et al., 1997; and others).

* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Djušina 7, 11000 Belgrade.

This work discriminates genetic–geotectonic character of varied granitic rocks of Serbia on the basis of biotite chemistry and reliability estimates of data obtained by correlations with their known characteristics.

BIOTITES AND DISCRIMINATION DIAGRAMS

Recognition of different genetic types of granitic rocks is based on the chemistry of co-existent biotites (ferromagnesian micas), or on petrogenetic regularities in isovalent and heterovalent cationic substitution ($\text{Mg}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$; $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$; $2\text{Al}^{3+} \leftrightarrow 3\text{Fe}^{2+}$; $3(\text{Mg}, \text{Fe})^{2+} \leftrightarrow 2\text{Al}^{3+}$) controlled by physical and chemical biotite formational conditions (Nockolds, 1947; Foster, 1960); on chemistry of biotites from the genetic–geotectonic standard complexes (Haslam, 1968; Dodge et al., 1969; Albuquerque, 1973; Walsh, 1975; De Pieri & Jobstraibizer, 1977; Parsons, 1981; Phillips et al., 1981; Pattison et al., 1982; Lalonde & Martin, 1983; Speer, 1984; Kinnaird et al., 1985; Platt & Wooley, 1986; Pichavant et al., 1988; Schneiderman, 1991); and on discriminants set in diagrams: $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, FeO^*-MgO (Abdel-Fattah, 1994).

The set discriminants (Abdel-Fattah, 1994) of biotite chemical composition in diagrams $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, FeO^*-MgO (Figs. 1–4) allow recognition of particular granitic complexes, i.e. three groups of igneous rocks:

P – **peraluminous** including collision and **S**-type (Chappell & White, 1974) granitic rocks;

C – **calc-alkaline orogens**, dominantly **I**-type (White & Chappell, 1977) formed by subduction;

A – **anorogenic alkaline** complexes, dominantly **A**-type (Collins et al., 1982) formed by extension.

The components used in the diagrams are oxides of chemical elements expressed in wt.%, whereas total iron (FeO^*) is calculated from the relation: $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.89981 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$.

For discrimination of the genetic–geotectonic nature of granitic rocks in this work, all published chemical analyses of biotites from granitic rocks of Serbia were used (Radukić, 1978; Radukić et al., 1983; Radukić & Kemenci, 1988; Vukov, 1988; Knežević et al., 1992, 1997). These analyses, however, are not equally representative. Some magmatic bodies are represented by many analyses (Cer, Željina, Gornjane, Kikinda) mostly using electronic microprobes (Cer, Željina). A majority, even of large bodies, are represented, unfortunately, by a single conventional chemical analysis of monomineral concentrate.

This work embraces (indirectly by means of biotites) both granitic rocks from the broad definition and the rocks designated as migmatites, gneiss–granites, granitization and metasomatic granites, and two enclaves (Table 2). The massifs considered are: Cer (quartz monzonites – **Cr1**, enclaves – **Cr2**, finegrained leucocratic granites – **Cr3**, and muscovitic aplitoid granites – **Cr4**), Stražanica (**Sr**), Bogatić (**Bg**), Boranja (**Br**), Bukulja (**Bk**), Željina (**Z**), Kopaonik (**Kp**), Gornjane (**Gr**), Brnjica (**Bn**), Stalač (**Sa**), Kukavica (**Kk**), Jastrebac (**Js**), Kikinda (**Ki**), Feketić (**Fk**), Miloševo (**Ml**), and Vršačka Brda (**Vb**).

CHEMISTRY OF BIOTITES AND GENETIC TYPES OF GRANITOIDS

The character of granitic rocks of Serbia defined on chemical composition of biotites and discrimination diagrams (Abdel-Fattah, 1994): $\text{MgO-FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, FeO^*-MgO (Figs. 1–4) is mostly in very good agreement with the character of these rocks distinguished by other methods (geological and/or petrologic–mineralogical methods). Illogical results were obtained for rocks formed from much contaminated magma, and for metasomatically much altered or metasomatically formed rocks (e.g. gneiss–granite).

Alkaline granitic rocks (A–type). Alkaline character according to biotite composition, is possessed only by young (Alpine) granitic rocks of Boranja and granites of Jastrebac. Their alkaline character (Table 2, Figs. 1–4), however, is contradicted by all geologic–petrologic–mineralogic characteristics of the rocks (e.g. for Boranja, Karamata et al., 1992). The alkaline character, in our opinion, is given to the rocks by the unreasonably high FeO^* contents (25.08 and 24.15%), especially Fe_3O_3 (10.56 and 12.76%) and low Al_2O_3 (9.95 and 9.98%), a likely consequence of magnetite presence in biotite concentrate (one conventional chemical analysis for each).

Calc–alkaline granitic rocks (I–type) are young Alpine (Neogene) massifs of the Dinarides (and the Vardar Zone) of proved I–character, i.e. granitic rocks of Željina (Vukov, 1995), granodiorites of Stražanica (Knežević et al., 1997) and quartz monzonite of Cer (CrI), then geologic–petrologic–mineralogically related: tonalite of Bogatic, granitic rocks of Kopaonik, and Gornjane, a Hercynian granitoid massif of the Carpatho–Balkanides. The last one exhibits calc–alkaline character and a greater variation in composition (marginal parts of the massif in particular, e.g. at Rudna Glava), which is only natural for its proved contamination.

Prevailing calc–alkaline character, sometimes almost alkaline or peraluminous, is that of: "gneiss–granite" of Stalac (Caledonian) and "granite" of Neresnica (Hercynian), while "granite" of Brnjica (geologic–petrologic–mineralogically close to Gornjane and Neresnica granitoids) is dominantly peraluminous (close to calc–alkaline) in character. The character of this occurrence should be accepted with a reservation, because it is based only on one chemical analysis of the biotite (possibly not quite pure) monomineral concentrate. The rocks are also characterized by metasomatic (Stalac) and contamination effects.

Peraluminous granitic rocks (S–type). "Finegrained leucocratic granites" and "muscovitic aplitoid granites" of Cer (Neogene), of petrochemically proved S–type (Knežević et al., 1997), are peraluminous rocks.

Granites of Bukulja (Hercynian/Alpine), Bujanovac (Hercynian), Kukavica (Caledonian), which contain muscovite and sporadically garnet, and granites of Miloševo and Feketić, Vojvodina, are always peraluminous, and "augen gneisses" of Vršacko Brdo and "migmatites" of Kikinda are dominantly peraluminous (closely related to calc–alkaline) or calc–alkaline in character. The peraluminous of these rocks is a logical result of significant metasomatic processes in their formation. Metasomatic granites of Bukulja (Divljan, 1991) and migmatites of Kikinda are particularly important, because they are adequately analysed and vary in composition, which may testify the role of metasomatic processes in their formation.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The character of primary magma is very difficult to determine, because in the course of evolution (crystallization, differentiation, assimilation, contamination, hybridization, or some other processes) magma may have undergone significant, primarily chemical transformation. Consequently, igneous rocks, as products of magma crystallization, can bear only minor primary characters.

Chemical composition of magma and physical parameters of its crystallization control the respective association of coexistent petrogenic minerals, and their chemistry. For discrimination of genetic and geotectonic types of granitic rocks, many different geological, petrological, mineralogical and chemical criteria are used. Chemistry of the coexistent biotite can also be useful in establishing the primary character of magma, by employing relevant discrimination diagrams: $\text{MgO-FeO*}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO*}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO*}-\text{MgO}$. The set criteria distinguish: **orogenic calc-alkaline** (I-type) and **peraluminous** (including S-type), and **anorogenic alkaline** (A-type) granitic rocks.

The results of coexistent biotite chemistry and of discrimination diagrams are consistent with the known (established by other methods) characters of granitic rocks of Serbia, which are:

1. **Calc-alkaline character** (I-type) characterizes granitic rocks of: Željin, Stražanica, Cer (quartz monzonite), Bogatić, Kopaonik, Gornjane; all fall into field C far from discriminant lines.

Granitic rocks of Neresnica and Stalac (gneiss granite) are dominantly calc-alkaline, related to peraluminous, less to peraluminous (and alkaline) character. Acquiring peralkaline (and alkaline) character is probably caused by contamination, or metasomatic processes, which have been proved.

2. **Peraluminous character** (S-type). Rocks of peraluminous character are finegrained leucocratic granites and muscovitic aplitoid granites of Cer, and more or less metamorphosed (regionally or metasomatically), viz.: granites of Bukulja, Bujanovac, Kukavica, and granites of Miloševo and Feketić (the latter two from Neogene basement).

Dominantly peraluminous and close to calc-alkaline or calc-alkaline in character are, also contaminated, metamorphosed or metamorphic rocks, e.g. granite of Brnjica, migmatite of Kikinda, and gneiss granite (augen gneiss) of Vršačka Brda.

3. **Alkaline character** (A-type) characterizes granitic rocks of Boranja and Jastrebac.

Alkaline character of these two massifs, distinguished by chemistry of biotites (one monomineral concentrate for each), is contradicting any geologic-petrologic-mineralogic-chemical fact, and is a likely consequence, in our opinion, of impurities in analysed biotite.

The criteria set for defining the character of granitic rocks on biotite chemistry basis can be used as a reliable and additional criterion for discrimination of the genetic-geotectonic nature of granitoids.

Translated by D. Mijović-Pilić

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Abdel-Fattah M.A., 1994: Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas.- *J. Petrol.*, 35, 2, 525-541.

- Albuquerque C.A.R., 1973: Geochemistry of biotites from granitic rocks, northern Portugal – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1779–1808.
- Backinsele R.D., 1979: Granite magmatism in the tin belt of south-east Asia. In: M.P. Atherton & J. Tarney (Eds.) *Origin of Granites*.– Shiva Publ. Lim., 34–44, Kent.
- Batchelor R.A. & Bowden P., 1985: Petrogenic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters.– *Chem. Geol.*, 48, 43–55.
- Blatt H. & Tracy R.J., 1996: *Petrology*.– Freeman and Co. 213 p., New York.
- Bowden P., Batchelor R.A., Chappell B.W., Didier J. & Lameyre J., 1984: Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks a discussion.– *Phys. Earth Planet. Inter.*, 35, 1–11.
- Chappell B.W., 1979: Granite as images of their source rocks.– *Geol. Soc. of America.*, Abstract with programs, 11, 400.
- Chappell B.W. & White J.R., 1974: Two contrasting granite types – *Pacific Geol.*, 8, 173–174.
- Chappell B.W. & White J.R., 1984: I- and S-type granites in the Lachland Fold Belt, southeastern Australia.– *Geology of granites and their metallogenetic relations. Proceedings of International Symposium, Heldaat Naving University, China. October, 26–30. Naving, 1982.*
- Collins W.J., Beams S.D., White A.J. & Chappell B.W., 1982: Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia.– *Contr. Miner. Petrol.*, 10, 189–200.
- De Pieri R. & Jobstraibizer P.G., 1977: On some biotites from Adamello massif (northern Italy).– *Neues Jahrb. Min. Monats.*, 27, 15–24.
- Divljan S., 1991: Novi pogled na genuzu magmatskih stena bukuljsko-brajkovackog horstantiklorijuma.– *Radovi Geoinstituta*, 25, 221–230, Beograd.
- Dodge F.C. W., Smith V.C. & Mays R.E., 1969: Biotites from granitic rocks of the central Sierra Nevada batholith, California – *J. Petrol.*, 10, 250–271.
- Foster M.D., 1960: Interpretation of the composition of trioctahedral micas.– *US Geol. Surv. Prof.*, 354.
- Harris N.B.W., Pearce J.A. & Tindle A.G., 1986: Geochemical characteristic of collisional zone magmatism. In: Coward M.P. and Reis A.C. (Eds.) *Collision Tectonics*.– *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 19, 67–81.
- Haslam H.W., 1968: The crystallization of intermediate and acid magmas at Ben Nevis, Scotland – *J. Petrol.*, 9, 84–104.
- Ishihara S., Sawata H., Arpornsuwan S., Busaracome P. & Bungbrahearti N., 1979: The magnetite-series and ilmenite-series granitoids and their bearing on tin mineralization particularly of Malaya Peninsula.– *Geol. Soc. Malaysia*, 11, 103–110, Kuala Lumpur.
- Karamata S., 1980: Tektonika ploča u područjima tetiskog tipa sa primenom na terene Jugoslavije.– *X Kongres geologa Jugoslavije*, 1, 549–567, Budva.
- Карамата С., Делалој М., Ловрић А. и Кнежевић В. (=Karamata et al.), 1992: Две генетске групе терцијарних гранитоида централне и западне Србије.– *Геол. ан. Балк. полуос.*, 56/1, 263–283, Београд.
- Karamata S. & Djordjević P., 1980: Origin of the Upper Cretaceous and Tertiary magmas in the Eastern part of Yugoslavia.– *Bull. de l'Acad. Serbe des Sci.*, LXXII, 20, 99–108, Belgrade.
- Karamata S., Steiger R., Djordjević P. & Knežević V., 1990: New data on the origin of granitic rocks from Western Serbia.– *Bull. de l'Acad. Serbe des Sci.* CII, 32, 1–9, Belgrade.
- Kinnaid J.A., Bowden P., Ixer R.A. & Odling N.W.A., 1985: Mineralogy, geochemistry and mineralization of granitic rocks of Umm Naggat Stock, Egypt.– *Neues Jahrb. Min. Abh.*, 124, 47–60.
- Кнежевић В. (=Кнежевић), 1985: Проблеми у вези са пореклом гранитоидног магматизма терцијара.– *Записници СГД за 1984.г.*, 231–240, Београд.
- Кнежевић В., Цветковић В. и Ресимић К. (=Кнежевић et al.), 1997: Гранодиорити Стражанице (западне падине Цера).– *Геол. ан. Балк. полуос.*, 61/1, 311–324, Београд.
- Knežević V., Karamata S. i Cvetković V., 1992: Petrološka studija terciјарnih magmatskih stena planine Cer u zapadnoj Srbiji.– *Rudarsko-geoloski fakultet, MKPG*, 81 str., Beograd, (nepublikovano-unpublished).
- Lalonde A. & Martin R.F., 1983: The Baie-des-Mountans syenitic complex, La Tabatiere, Quebec. II. The ferromagnesian minerals – *Can. Min.*, 21, 81–91.

- Нечаева И. А. (=Nechaeva), 1976: Щелочно-гранитный магматизм и его формации.- Наука, Москва.
- Nockolds S.R., 1947: The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks.- *Am. J. Sci.*, 245, 401-420.
- Pamić J., 1987: Kredno-tercijarne granitoidne i metamorfne stijene u dodimom području sjevernih Dinari- da i Panonskog struktumog kompleksa.- *Geologija, Rasp. in. Por.*, 28/29, 219-237 (1985/86), Ljubljana.
- Parsons I., 1981: The Klokken gabbro syenite complex, South Greenland: quantitative interpretation of mineral chemistry.- *J. Petrol.*, 22, 233-260.
- Pattison D.R.M., Carmichael D.M. & Onge M.R., 1982: Geothermometry and geobarometry ap- plied to Early Proterozoic "S-type" granitoid plutons, Wopmay Orogen, Northwest Territories, Can- ada.- *Contr. Min. Petrol.*, 79, 392-404.
- Pearce J.A., Harris N.B. & Tindle A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tec- tonic interpretation of granitic rocks.- *J. Petrology*, 25, 956-983.
- Phillips G.N., Wall V.J. & Clemens J.D., 1981: Petrology of the Strathbogie Batholith: a cordie- rite-bearing granite.- *Can. Min.*, 19, 47-63.
- Pichavant M., Kontak D.J., Herrera J.V. & Clark A.H., 1988: The Miocene-Pliocene Macu- sani Volcanics, SE Peru I. Mineralogy and magmatic evolution of a two-mica aluminosilicate-be- aring ignimbrite suite.- *Contr. Min. Petrol.*, 100, 300-324.
- Platt R.G. & Woolley A.R., 1986: The mafic mineralogy of the peralkaline syenites and granites of the Mulawe complex, Malawi.- *Min. Mag.*, 50, 85-99.
- Радукић Г. (=Radukić), 1978: Минералошко и кристалографско проучавање биотита из неких гра- нитоидних масива Југославије.- *Глас. Прир. муз.*, А, 33, 5-94, Београд.
- Радукић Г. и Кеменци Р. (=Radukić & Kemenci), 1988: Биотити из гранитоидних стена из ду- боких бушотина северне Војводине.- *Геол. ан. Балк. полуос.*, 51, 435-448, Београд.
- Радукић Г., Костић А. и Костић М. (=Radukić et al.), 1983: Испитивање биотита из грани- тоидних стена горњанског масива.- *Глас. Прир. муз.*, А, 38, 89-105, Београд.
- Руб М.Г., Гладиков И.Г., Павлов В.А., Руб А.К. и Тронова Н.В. (=Rub et al.), 1983: Щелочные элементы и стронций в рудоносных (Ся, Ы Та) дифференцирован- ых магматических ассоциациях.- *Доклады АН СССР*, 268, 6, 1463-1466, Москва.
- Schneiderman J.S., 1991: Petrology and mineral chemistry of the Ascutney Mountain igneous com- plex.- *Am. Min.*, 76, 218-229.
- Speer J.A., 1984: Petrology of cordierite, and almandine-bearing granitoid plutons of the southern Appa- lachian Piedmont, USA.- *Can. Min.*, 19, 35-46.
- Ставров О.Д. (=Stavrov), 1981: Геохимический метод формационного анализа гранитоидов и крите- рии связи с ними месторождений.- *Геохимия*, 12, 1845-1867, Москва.
- Takahashi M., Agramski S. & Ishihara S., 1980: Magnetite-series/Ilmenite-series vs. I-type/S-ty- pe granitoids.- *Min. Geol. Spec. Issue*, 8, 13-28, Tokyo.
- Вуков М. (=Vukov), 1988: Хемизам петрогених минерала гранитоида Жельина.- *Геол. ан. Балк. полуос.*, 52, 447-480, Београд.
- Vukov M., 1989: Petrologija i geochemija granitoida Zeljina.- *Doktorska disertacija, Rud-geol. fak. Univ. u Beogradu*, 300 str., Beograd (nepublikovano-unpublished).
- Вуков М. (=Vukov), 1995: Генетска и геотектоиска припадност гранитоида Жельина.- *Геол. ан. Балк. полуос.*, 59, 299-326, Београд.
- Walsh J.N., 1975: Clinopyroxenes and biotites from the Central III igneous complex, Ardnamurchan, Argyllshire.- *Min. Mag.*, 46, 283-300.
- White A.J. & Chappell B.W., 1977: Ultrametamorphism and granitoid genesis.- *Tectonophysics*, 43, 7-22.
- White A.J.R., Clemens J.D., Holloway J.R., Silver L.T., Chappell B.W., & Wall V.J., 1986: S-type granites and their probable absence in southwestern North America.- *Geol.*, 14, 2, 115-118.
- White A.J., Collins W.J. & Chappell B.W., 1982: Influence of melt structure in the trace element composition of granites.- *Proceed. Int. Symp. Geology of granites and their metalogenic relations*, 737-751, Nawing.