

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Géol. Pénins. Balk.	64 (2001)	167–185	Београд, децембар 2002 Belgrade, Decembre 2002
---	-----------	---------	---

UDC (УДК) 552.321.1:552.11(497.11)

Original scientific paper  
Оригинални научни рад

## THE POLUMIR GRANITE – ADDITIONAL DATA ON ITS ORIGIN

by

Milenko Vukov\* and Dragan Milovanović\*

The Polumir granite is exposed on several localities due to erosion, and its chemical and mineral composition is presented in this paper. It is built of K-feldspar, plagioclase, myrmekite, metasomatic albite, biotite, muscovite and quartz, while apatite, magnetite, monazite, allanite and zircon are present as accessory minerals.

According to its chemical and mineral composition and rock chemistry (trace and REE elements) the Polumir granite is leucocratic, sin-collisional, with S-type characteristics. It crystallized at temperature of about 650°C and under pressure of 2–4 kbar. Results of isotope analyses (K–Ar method on biotites) indicate that the Polumir granite was formed during the Miocene (14–19 Ma) and it has undergone subsequent weak remobilization afterwards.

**Key words:** granite, chemistry, rock, mineral, plagioclase, K-feldspar, muscovite, biotite, geobarometer, genesis.

У раду је приказан хемијски и минерални састав полумирског гранита који је откривен ерозијом на више локалитета. Изграђен је од К-фелдспата, плагиокласа, мирмекита, метасоматског албита, биотита, мусковита и кварца. Од акцесорних минерала јављају се апатит, магнетит, монацит, аланит и циркон.

Према минералном и хемијском саставу полумирски гранит припада леуократном синколизионом S-типу гранита који је кристалисао на температури од 650°C и притиску од од 2–4 kbar. На основу изотопске старости (K–Ar методом на биотиту) створен је у миоцену (14–19 мил. година) уз каснију слабију ремобилизацију.

**Кључне речи:** гранит, хемизам, стена, минерал, плагиоклас, К-фелдспат, мусковит, биотит, геобарометар, генеза.

### INTRODUCTION

The Polumir granite is located in the southeastern part of the Čemerno Mt. (1200 m above the sea level) between Padež and the river Ibar (Fig. 1). Due to erosion, it has been exposed on several localities: Duboki potok, Lučki potok, Mršave livade, Venac and

\* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Džušina 7, 11 000 Belgrade (e-mail: vukovmilenko@beotel.yu; milovdr@beotel.yu).

Padež. Fine-grained granites, mainly of vein character, as well as pegmatites and aplites from the central part of the Čemerno Mt. (1300 m above the sea level), are not presented in this paper.

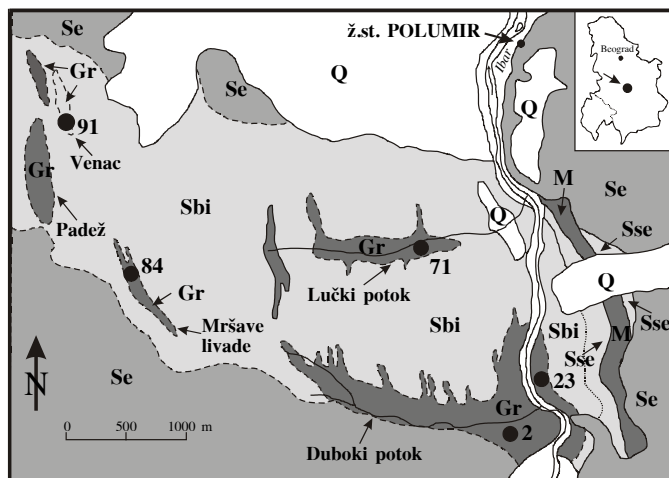


Fig. 1. Geological sketch map of Polumir region. Legend: Sbi = biotite schists, Sse– muscovite schists, M– marble, Se– serpentinite, Gr– granites, Q– deluvium; ●23– Locations of sampling for chemical analyses.

Сл. 1. Геолошка скица ширег подручја Полумира. Легенда: Sbi– биотитски шкриљци, Sse– серицитски шкриљци, M– мермери, Se– серпентинити, Gr– гранити, Q– делувијум; ●23– места хемијски анализираних узорака.

Chemistry and petrology of the Polumir granite has been poorly studied and thus poorly known until now. Before sixties, these acid igneous rocks were only mentioned in passing, or they were studied from a general point of view (Maksimović & Divljan, 1953; Simić, 1956; Simić, 1957). The first petrological data were given by Urošević et al. (1966) and Brković et al. (1977). A petrological description of the Polumir granite was given by Vukov (1980, 1981, and later in 1995). Panto et al. (1988), discussed chemical composition and origin of accessory minerals. Nikolić & Poharc–Logar (1984) investigated the  $\text{NH}_4$ -ion content in biotites from the granitic rocks at some of the mentioned localities. Results of petrological and chemical research on granites from majority of the mentioned localities are presented in this paper. According to the obtained data, physical–chemical conditions of crystallization of these granites, as well as their genetic–geotectonic setting, are analysed.

### ANALYTICAL TECHNIQUES

Major and trace element compositions of the Polumir granite were determined by X–ray fluorescence spectrometry (XRF), while rare earth elements (REE) concentrations were measured by Inductive Coupled Plasma spectroscopy (ICP) at the Federal Institute for Geosciences and Natural resources in Hanover (Germany).

Table 1. Chemical composition of Polumir granite.  
Табела 1. Хемијски састав Полумирског гранита.

major elements – главни елементи (wt%)						trace elements – микроелементи (p.p.m.)					
	2m	23	71	84	91		2m	23	71	84	91
SiO <sub>2</sub>	69.86	70.94	72.56	71.85	70.95	Rb	175.00	223.00	254.00	214.00	220.00
TiO <sub>2</sub>	0.297	0.286	0.207	0.263	0.299	Sr	391.00	357.00	175.00	255.00	287.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.28	15.27	14.87	15.27	15.02	Ba	592.00	435.00	382.00	471.00	476.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>&amp;</sup>	2.34	2.04	1.69	1.72	2.42	Nb	7.51	8.500	9.15	9.960	9.69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>*</sup>	0.31	0.27	0.22	0.23	0.32	Zr	136.00	136.00	107.00	129.00	133.00
FeO <sup>*</sup>	1.81	1.58	1.31	1.33	1.87	Y <sup>†</sup>	5.60	7.88	6.51	6.95	7.75
MnO	0.040	0.051	0.022	0.017	0.039	Zn	50.00	67.00	36.00	30.00	78.00
MgO	0.46	0.46	0.26	0.38	0.42	V	<5.00	18.00	17.00	<5.00	10.00
CaO	2.01	1.94	1.04	1.35	1.56	Sc	2.00	2.00	1.60	2.10	2.30
Na <sub>2</sub> O	3.65	3.76	3.15	3.07	3.33	Cr	5.00	<3.00	<3.00	7.00	9.00
K <sub>2</sub> O	3.98	3.70	4.57	4.05	4.08	Co	2.10	1.90	2.60	1.60	2.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.129	0.129	0.147	0.131	0.168	Hf	2.00	2.20	2.30	2.30	2.00
SO <sub>3</sub>	0.26	0.09	<0.1	<0.1	<0.1	Ta	1.02	1.28	1.45	1.70	1.68
Cl	0.011	0.005	0.007	0.012	0.005	Th	10.70	13.40	12.80	14.00	14.70
F	0.061	<.02	<.02	0.139	0.032	Ga	17.50	17.60	18.10	19.10	19.20
LOI	1.29	0.98	1.16	1.48	1.34	Ni	16.00	<3.00	6.00	10.00	14.00
CIPW-norm						Cu	<10.00	<10.00	<10.00	<10	<10.00
Q	28.16	29.86	34.22	35.27	31.81	U <sup>†</sup>	1.69	1.79	1.87	2.09	1.80
C	1.61	1.85	3.20	3.72	2.96	Li	65.90	117.00	41.10	92.70	90.50
Or	24.06	22.24	27.48	24.46	24.61	Sn	6.60	14.70	6.10	6.90	6.60
Ab	31.53	32.30	27.07	26.49	28.70	As	1.80	1.20	1.90	2.20	2.50
An	9.43	9.01	4.37	6.06	6.89	In	0.031	0.024	0.032	0.027	0.042
En	1.18	1.17	0.66	0.97	1.07	Tl <sup>†</sup>	1.07	1.38	1.44	1.39	1.40
Fs	2.70	2.32	1.94	1.89	2.80	W	0.50	0.69	0.82	1.01	0.57
Mt	0.46	0.40	0.33	0.34	0.48	Be	5.80	7.10	5.12	7.06	6.22
Il	0.58	0.56	0.40	0.51	0.58	Cs	6.23	13.30	5.88	11.2	7.74
Ap	0.29	0.29	0.33	0.29	0.37	Cd	0.170	0.022	0.035	0.054	0.053
Al	76.50	76.00	74.00	76.50	75.00	Pb	29.10	27.90	32.20	26.60	31.00
ΣFe	28.00	24.00	19.00	20.00	29.00	Sb	0.14	0.12	0.18	0.19	0.15
Al/Fe	2.73	3.17	3.89	3.80	2.59	Mo	0.20	0.21	0.15	0.18	0.24
mg	0.31	0.35	0.28	0.34	0.30	Bi	0.30	0.45	0.12	0.81	0.58
K:Na	0.71	0.64	0.94	0.86	0.80	REE elements					
K:K+Na	0.42	0.39	0.48	0.46	0.44	La	15.20	20.30	15.20	20.80	21.40
A.I.	0.67	0.67	0.68	0.62	0.66	Ce	33.20	42.10	37.30	44.00	45.70
mg = Mg:(Mg+Fe <sup>2+</sup> )						Pr	3.66	4.70	3.64	4.64	4.88
A.I. = (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O):Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						Nd	13.80	17.50	13.70	17.40	18.20
						Sm	2.59	3.30	2.84	3.34	3.45
						Eu	0.45	0.49	0.32	0.42	0.46
						Gd	2.03	2.59	2.23	2.63	2.73
						Tb	0.27	0.35	0.31	0.34	0.36
						Dy	1.33	1.73	1.50	1.60	1.74
						Ho	0.22	0.29	0.24	0.26	0.28
						Er	0.60	0.82	0.63	0.69	0.76
						Tm	0.077	0.110	0.089	0.093	0.100
						Yb	0.48	0.72	0.56	0.60	0.67
						Lu	0.076	0.110	0.083	0.089	0.099

Localities (локалитети): 2m, 23– Duboki potok (≈300 m/nv), 71– Lučki potok (≈500 m/nv), 84– Mršave livade (≈950 m/nv), 91– Venac (≈1050 m/nv); &– total (укупно) Fe as (као) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; \*– calculated (прерачунато) FeO: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.15 (FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO×1.11135.

Major and trace element compositions were determined in 5 granite samples (Table 1) from Duboki potok, Lukovski potok, Padež and Mršave livade (Fig. 1).

Chemical composition of main/principal minerals in the same rock samples was determined using the Electron Microprobe CAMECA at the Mineralogical–Petrographical Institute in Hanover, under following conditions: 20 kV, 15 nA, for a 10 seconds. 61 microprobe analyses were performed (Tables 2–5) for the following minerals: plagioclase (17), K–feldspar (17), biotite (15) and muscovite (12).

## GEOLOGY

The Polumir granite is a geological body which is, due to erosion, exposed at seven localities that cover the area of about 2.5 km<sup>2</sup>. It was considered to be a concordant intrusion in the "Mršave Livade Seriae" (Simić, 1957), i.e. in the upper part of the Upper Paleozoic Lower Studenica Series (Simić, 1956) which was primarily composed of clayey, marly, sandy and carbonate sediments, with subordinated diabases and tuffs. Endomorphic changes within granites are weak. Chilled margins, thermal metamorphism and contact–metasomatism, as consequences of the temperature differences between granites and the surrounding rocks, were also noted.

The reason for the different opinions concerning the age of the Polumir granite: the Paleozoic–Late Hercynian (Urošević et al., 1973; Brković et al., 1977): the Carboniferous (Maksimović & Divljan, 1953) or the Permian (Simić, 1957), resulted from the different dating of the Studenica Series. Isotope ratio (K/Ar–analyses on biotites) yields the Miocene age, i.e. 14–19.6 Ma (Vukov, 1980; Stajević, 1980; Delaloye et al., 1989), while according to the results obtained by the same method, the fine–grained "monzonites" from the central part of the Čemerno Mt. are younger – about 9 Ma (Deleon, 1969).

Observing the contact–metamorphic changes and strongly sheared contacts between the Polumir granite and the surrounding rocks, variable degrees of K–feldspar lattice ordering, plastic deformations of micas and feldspars, the Polumir granite was intruded into this level as a crystallized mass for the most part, or as reomorphic, heated and uplifted granitic mass (Vukov, 1981).

## PETROGRAPHY

The Polumir granite is medium–grained (1–3 mm) rock, light–gray to palepink in colour, sometimes darker (with clearer schistosity), with hypidiomorphic granular texture. It has a schistose structure, usually well–expressed, especially on margins, i.e. on the contacts with surrounding rocks.

Main minerals are: orthoclase ( $-2V=45-64^\circ$ ,  $\Delta=0.10-0.12$ ), microcline ( $-2V=78-86^\circ$ ,  $\Delta=0.75-93$ ), orthoclase–microperthite, microcline–microperthite, plagioclase ( $An_{12-44}$ ,  $2V=80-98^\circ$ ), myrmekite, biotite ( $-2V\approx 11^\circ$ ), muscovite ( $-2V\approx 39^\circ$ ) and quartz. New formed minerals: biotite, muscovite and feldspar – albite, were also noted. Apatite, monazite, xenotime, allanite, zircon and magnetite were identified as accessory minerals (as the primary ones), while the secondary minerals are: sericite, chlorite and clay minerals (Vukov, 1981; Panto et al., 1988).

K-feldspars occur as grains up to 3 mm in size, and they make about 28 to 42% vol. of rock. They contain perthite exsolutions. K-feldspars are sometimes transformed into microcline or microcline. Large K-feldspar grains (up to 2–3 mm in size) often enclose plagioclase, biotite and muscovite, and are almost always cataclased or deformed.

Plagioclases make from 12 to 25% vol. of the Polumir granite. They occur as deformed and cataclased individual subhedral grains up to 5 mm in size (usually about 2 mm). They are associated either with orthoclase grains with often intergrown myrmekite, or they occur as individual grains in a fine-grained quartz mass.

Biotite is presented by banded, parallel oriented, lath-like grains with average size of about 1–2 mm. It makes about 5–8% vol. of rock. Biotite is sometimes slightly chloritized and limonitized with exsolved dusty magnetite along the cleavage planes.

Muscovite is less abundant than biotite and makes from 0.5 to 4.5 % vol. of rock. Muscovite occurs as banded, lath-shaped flakes up to 2 mm in size, usually associated with biotite, whereas post-kinematic muscovite is rare.

Quartz makes from 34 to 45% vol. of rock. It is present, either as individual grains up to 2 mm in size, which show undulatory extinction, or as fine-grained aggregates between large feldspar or mica grains. Fine-grained, monomineral and lense shaped aggregates of quartz, up to few cm in length, were also observed.

Among the accessories, apatite, zircon and magnetite occasionally occur as inclusions in biotite, and they are rarely associated with muscovite. They were also observed in rock mass, and their grain size never exceeds 0.3 mm.

Fine-grained sericite is the dominant secondary mineral which replaces mostly K-feldspar, while less abundant chlorite replaces biotite.

According to the content of ferromagnesian minerals ( $M=7-10\%$ ) the granite is leucocratic, i.e. it belongs to two-mica syeno- to monzo-granites with S-type characteristics (Fig. 3). The  $A=Al-(K+N+2Ca)\approx 50$  and  $B=(Fe+Mg+Ti)<50$  ratios correspond to the two-micas mineral association, muscovite>biotite and biotite>muscovite (Debon & Le Fort, 1988). These data are in agreement with earlier conclusions that the Polumir granite belongs to S-type granites.

## CHEMICAL COMPOSITION

After microscopic investigation, 5 samples of granites from four localities were chemically analyzed (Fig. 1). Chosen samples contain less than 3% vol. of sericite and chlorite. According to the major element content (Table 1), the Polumir granite corresponds to acid –  $SiO_2=69.9-72.6\%$ , low alkaline ( $\Sigma alk=7.1-7.8\%$ ), peraluminous rock (Fig. 2) with  $Al_2O_3-(Na_2O+K_2O)>1$ . It shows high content of  $Al_2O_3$  (with normative corundum from 1.6 to 3.7%), very low apatitic coefficient  $-A.I.<0.6-0.7$  and relatively low  $Na_2O$  content.

## CHEMICAL COMPOSITION OF MINERALS

Chemical composition of minerals was determined on samples from the mentioned localities, which were selected after a detailed microscopic study. Special attention was

payed to representative samples, chosen according to the content and size of main/principal minerals, fabric and alteration degree. As it has been already mentioned, chemical composition of K-feldspar, plagioclase, biotite and muscovite was determined.

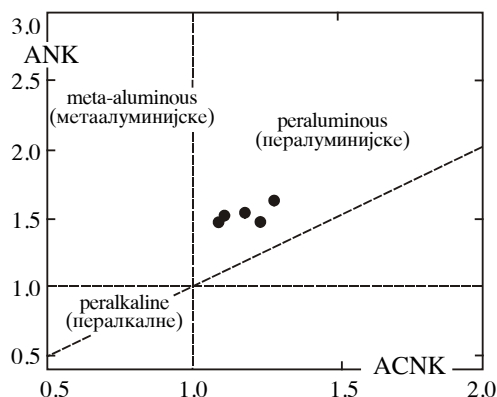


Fig. 2. The ACNK-ANK diagram (Maniár & Piccoli, 1989) for the Polumir granites.

Explanations: ANK =  $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ , ACNK =  $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ .

Сл. 2. ACNK-ANK дијаграм (Maniár & Piccoli, 1989) стена Полумирског гранита.

Објашњење: ANK =  $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ , ACNK =  $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ .

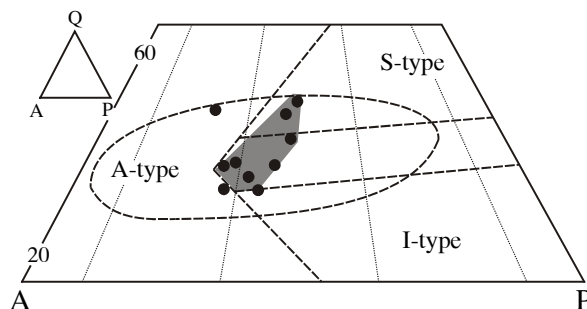


Fig. 3. QAP diagram (Le Maitre, 1989) for the Polumir granites (Vukov, 1981) with marked positions of I-, S- and A-type of granite (Bowden et al., 1984).

Сл. 3. QAP дијаграм (Le Maitre, 1989) стена полумирског гранита (Vukov, 1981) са положајем гранитоида I-S- и A-типа (Bowden et al., 1984).

K-feldspar. Chemistry of this mineral was determined ( $Or_{82.5-92.9}Ab_{7.1-17.3}An_{0.0-0.3}$ ) on fresh or slightly altered (replaced by sericite or clay minerals) grains, over 1 mm or smaller in size. Chemical composition of K-feldspar with plagioclase, biotite, muscovite and quartz inclusions was also determined, but it didn't show any regularity.

Because the K-feldspars are transformed to a different extent, either in microcline (from 0.10-0.12 to 0.75-0.93) or in perthite, they are of very variable composition. The largest amount of sodium, from 1.4-1.93, was noted in the hypsometrically highest part of the granite body, i.e. at Mršave livade and at Padež (Table 2, analyses 13-17, Fig. 4).

In granites from "deeper" level (Duboki potok, Lučki potok) the sodium content is lower and equalized, from 0.77 to 1.24 (Table 2, analyses 1–12, Fig. 4).

Table 2. Chemical composition K-feldspar.  
Табела 2. Хемички састав К-фелдспата.

	Duboki potok											Lukovski potok		Mršave livade			Padež	
	2					23						71		84			91	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
SiO <sub>2</sub>	64.53	64.25	62.37	63.96	63.82	64.35	64.52	64.11	63.04	64.77	64.22	63.59	64.22	64.26	64.60	64.12	63.98	
TiO <sub>2</sub>	0.01			0.01	0.01	0.02			0.01	0.01		0.01		0.02	0.02	0.01	0.01	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.45	18.54	18.41	19.09	19.09	18.57	18.99	18.89	18.95	19.05	19.08	19.05	18.97	18.89	19.21	19.07	18.92	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01						0.01	0.02	0.02				0.02					
FeO		0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
NiO			0.01		0.02						0.03			0.01	0.01		0.03	
MnO	0.01	0.02	0.01		0.02				0.02		0.01			0.02			0.01	
MgO	0.01						0.01	0.01			0.01							
CaO	0.02	0.01	0.04	0.02	0.03	0.05	0.06	0.02	0.06	0.03	0.02	0.01	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04	
Na <sub>2</sub> O	0.77	1.02	0.99	1.00	0.99	1.21	1.09	1.10	1.24	0.98	0.94	0.79	1.06	1.93	1.78	1.79	1.41	
K <sub>2</sub> O	15.25	15.41	14.79	15.14	15.16	15.02	14.79	15.09	14.76	15.20	15.40	15.70	15.11	13.95	14.18	14.16	14.62	
	99.05	99.28	96.64	99.25	99.16	99.25	99.50	99.18	99.13	100.06	99.74	99.17	99.45	99.13	99.87	99.21	99.04	
	O=8																	
Si	2.977	2.986	2.974	2.969	2.967	2.986	2.980	2.975	2.960	2.979	2.970	2.963	2.974	2.975	2.969	2.968	2.973	
Al <sup>IV</sup>	1.009	1.015	1.034	1.043	1.045	1.015	1.033	1.032	1.048	1.032	1.039	1.045	1.035	1.030	1.040	1.040	1.035	
Fe		0.001	0.001	0.001		0.001	0.001	0.001	0.001		0.002		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Ca	0.001		0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001	0.003	0.001	0.001		0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	
Na	0.069	0.092	0.092	0.090	0.089	0.109	0.098	0.099	0.113	0.087	0.084	0.071	0.095	0.173	0.159	0.161	0.127	
K	0.904	0.914	0.900	0.989	0.899	0.889	0.871	0.893	0.884	0.892	0.909	0.933	0.893	0.824	0.831	0.836	0.867	
Ab	7.1	9.1	9.3	9.1	9.0	10.9	10.1	10.0	11.3	8.9	8.5	7.1	9.6	17.3	16.0	16.1	12.8	
An	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	
Or	92.8	90.9	90.5	90.8	90.9	88.9	89.6	89.9	88.4	91	91.4	92.9	90.3	82.5	83.7	83.8	87.0	

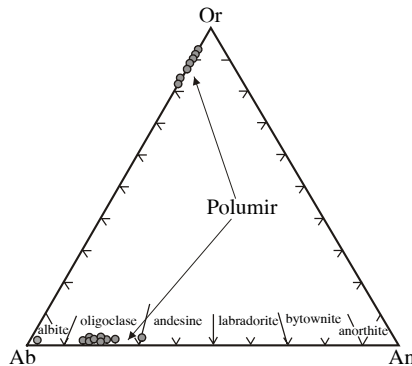


Fig. 4. Or-Ab-An diagram for feldspars (Deer et al., 1962) from the Polumir granite.

Сл. 4. Or-Ab-An дијаграм (Deer et al., 1962) фелдспата полумирског гранита (albite = албит; oligoclase = олигоклас; andesine = андезин; labradorite = лабрадор; bytownite = битовнит; anorthite = анортит).

Plagioclase. Chemistry of plagioclase was determined using fresh, both fine and coarser grains, with or without other mineral inclusions. According to their chemical composition (Table 3), plagioclases correspond to oligoclase (Fig. 4). They are zoned, with up to An<sub>30</sub> in central parts and with about An<sub>16</sub> in more sodic marginal parts. The most basic plagioclases were distinguished in granites of Padež, with 30.2% of anorthite component (Table 3, analysis 15). This could be explained by its "chilling", which would confirm that this exposure represents the apical part (?) of the granite body.

Myrmekite occurs in marginal parts of plagioclase grains which are intergrown with K-feldspar. Concerning its chemical composition, mirmekite corresponds to oligoclase or albite ( $An_{1.6-22.8}Ab_{75.4-96.5}Or_{1.1-1.9}$ ) i.e., it is more acid than the coarser, individual plagioclase grains. Metasomatic myrmekite which is present in a very small amount, corresponds to albite with  $An_{1.6}$  (Mršave livade). Within the granites of Padež, plagioclase from mirmekite contains about 20% An (Table 3, analyses 16 and 17).

Table 3. Chemical composition of plagioclase.  
Табела 3. Хемијски састав плагиокласа.

	Duboki potok							Lukovski potok		Mršave livade				Padež			
	2				23			71		84				91			
	1M	2C	3	4	5	6M	7C	8	9	10M	11C	12	13Ab	14C	15M	16My	17My
SiO <sub>2</sub>	63.30	63.29	62.44	63.92	61.98	62.61	62.31	63.89	63.06	63.91	62.92	63.81	63.16	62.94	59.60	63.14	63.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.99	22.04	23.14	22.38	23.94	23.01	23.56	22.94	23.71	22.40	23.38	23.4	23.16	23.27	25.04	23.01	23.17
FeO		0.03	0.01			0.01		0.01	0.03	0.02	0.02			0.01	0.02		0.01
MnO				0.02	0.05		0.02		0.02		0.02		0.02		0.02		
CaO	4.37	4.47	4.77	3.09	4.86	4.08	4.30	3.44	4.09	3.41	4.18	3.73	0.29	4.12	6.38	4.07	4.07
Na <sub>2</sub> O	9.43	9.39	8.80	10.01	8.90	9.16	9.07	9.86	9.47	9.65	9.04	9.65	9.88	9.32	7.95	9.40	9.48
K <sub>2</sub> O	0.29	0.35	0.30	0.27	0.33	0.28	0.22	0.21	0.21	0.31	0.32	0.22	0.29	0.39	0.33	0.20	0.32
	99.40	99.6	99.48	99.72	100.09	99.17	99.5	100.38	100.61	99.76	99.93	100.83	100.15	100.09	99.38	99.84	100.14
	O=8																
Si	2.821	2.817	2.780	2.831	2.749	2.793	2.772	2.812	2.775	2.830	2.786	2.797	2.849	2.785	2.674	2.797	2.789
Al <sup>IV</sup>	1.154	1.155	1.213	1.167	1.250	1.209	1.234	1.189	1.229	1.168	1.219	1.208	1.230	1.213	1.323	1.200	1.207
Ca	0.209	0.213	0.228	0.147	0.231	0.195	0.205	0.162	0.193	0.162	0.198	0.175	0.014	0.195	0.307	0.193	0.193
Na	0.815	0.810	0.760	0.860	0.765	0.792	0.782	0.842	0.808	0.828	0.776	0.820	0.864	0.800	0.692	0.807	0.813
K	0.016	0.020	0.017	0.015	0.019	0.016	0.012	0.012	0.012	0.018	0.018	0.012	0.017	0.022	0.019	0.011	0.018
Ab	78.4	77.7	75.6	84.1	75.4	79.0	78.3	82.9	79.8	82.1	78.2	81.4	96.5	78.7	68.0	79.8	79.4
An	20.1	20.4	22.7	14.4	22.8	19.4	20.5	15.9	19.1	16.1	20.0	17.4	1.6	19.2	30.2	19.1	18.8
Or	1.5	1.9	1.7	1.5	1.9	1.6	1.2	1.2	1.2	1.8	1.8	1.2	1.9	2.2	1.1	1.8	

M = Marginal (обод зрна), C = Centar (центар зрна); Ab = Metasomatic albite (метасоматски албит); My = Myrmekite (мирмекит).

Biotite is usually partly chloritized. Chemical composition of biotite was determined either on a lath-like grains without dusty magnetite along the cleavages, or on finer laths included in plagioclase and on laths intergrown with muscovite. Neo-biotite was also analyzed.

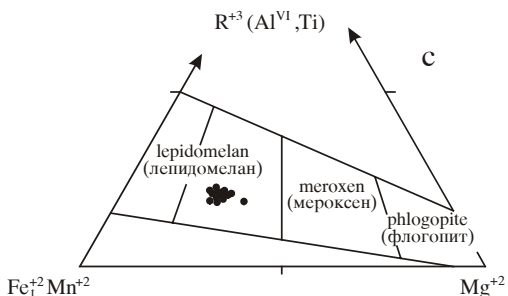


Fig. 5. Composition of biotite from the Polumir granite. ( $Al^{VI}+Ti$ )– $Mg^{2+}$ –( $Fe^{2+}+Mn^{2+}$ ) (Foster, 1960, cit. Wernick & Teuppenhayn, 1999).

Сл. 5. Дијаграми састава биотита из полумирског гранита. ( $Al^{VI}+Ti$ )– $Mg^{2+}$ –( $Fe^{2+}+Mn^{2+}$ ) (Foster, 1960, по Wernick & Teuppenhayn, 1999).

According to its chemical composition (Table 4, Fig. 5), biotite ( $Na_{0.02-0.04}K_{1.84-1.88}Ca_{0.00-0.03}Mg_{1.18-1.51}Mn_{0.02-0.09}Fe^{2+}_{2.21-3.22}Al_{0.69-1.01}Ti_{0.07-0.41}Si_{5.35-5.44}Al_{2.54-2.65}$ ) corresponds to



lepidomelan with uniform composition within the whole Polumir granite. The exception is neo-biotite, which contains lesser amount of titanium (Table 4, Duboki potok).

Table 4. Chemical composition of biotite.  
Табела 4. Хемијски састав биогитта.

	Duboki potok							Lukovski potok				Mršave livade		Padež	
	2				23			71				84		91	
	1	2	3	4n	5pk	6	7	8n	9n	10	11	12n	13n	14	15
SiO <sub>2</sub>	33.97	34.38	34.77	34.73	34.27	34.56	34.56	35.55	35.01	35.22	34.82	34.43	35.31	34.76	34.94
TiO <sub>2</sub>	3.32	3.33	3.12	0.62	3.00	3.21	3.12	2.53	3.25	3.55	3.49	3.13	3.01	3.55	3.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.04	18.14	18.85	19.37	18.37	18.30	18.82	19.06	18.88	18.83	18.92	18.98	18.93	18.25	18.76
FeO	22.79	22.73	22.37	21.60	24.63	21.79	22.02	24.29	23.80	24.48	24.24	23.14	23.65	23.76	23.36
NiO	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02		0.01			0.02	0.01				
MnO	0.39	0.38	0.33	0.37	0.68	0.55	0.60	0.33	0.41	0.39	0.49	0.33	0.18	0.50	0.46
MgO	6.34	6.32	6.82	7.74	5.42	6.10	6.56	5.60	5.51	5.08	5.15	5.39	5.96	5.92	5.79
CaO			0.20	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02		0.02			0.03		
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.14	0.07	0.06	0.10	0.07	0.08	0.08	0.11	0.09	0.10	0.10	0.01	0.14	0.14
K <sub>2</sub> O	9.25	9.37	9.16	9.31	9.30	9.32	9.41	9.52	9.59	9.58	9.54	9.22	9.44	9.40	9.45
	94.24	94.85	95.70	93.84	95.81	93.93	95.19	97.00	96.57	97.26	96.76	94.74	96.61	96.30	96.13
	O=22														
Si	5.350	5.373	5.355	5.436	5.353	5.426	5.358	5.441	5.387	5.393	5.361	5.380	5.410	5.370	5.390
Al <sup>IV</sup>	2.650	2.627	2.645	2.564	2.647	2.574	2.642	2.559	2.613	2.607	2.639	2.620	2.590	2.630	2.610
Al <sup>VI</sup>	0.696	0.712	0.774	1.006	0.732	0.810	0.794	0.876	0.808	0.789	0.791	0.873	0.826	0.691	0.798
Ti	0.393	0.391	0.361	0.073	0.352	0.379	0.364	0.291	0.376	0.409	0.404	0.368	0.347	0.413	0.372
Fe	3.002	2.971	2.881	2.827	3.217	2.861	2.855	3.109	3.062	3.135	3.121	3.024	3.030	3.070	3.014
Mn	0.052	0.050	0.043	0.049	0.090	0.073	0.079	0.043	0.053	0.051	0.064	0.044	0.023	0.065	0.060
Mg	1.488	1.473	1.566	1.806	1.262	1.428	1.516	1.278	1.264	1.160	1.182	1.256	1.361	1.364	1.332
Ca			0.033	0.002	0.003	0.002	0.003	0.03		0.003			0.005		
Na	0.034	0.042	0.021	0.018	0.030	0.021	0.024	0.024	0.033	0.027	0.030	0.030	0.030	0.042	0.042
K	1.858	1.868	1.800	1.859	1.853	1.867	1.861	1.859	1.882	1.871	1.874	1.838	1.845	1.853	1.860
f	0.67	0.67	0.65	0.61	0.72	0.67	0.65	0.71	0.71	0.73	0.73	0.71	0.69	0.69	0.69
l	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.25	0.26
a'	1.34	1.33	1.30	1.30	1.32	1.27	1.27	1.28	1.26	1.26	1.25	1.22	1.28	1.33	1.27
b'	1.60	1.61	1.57	1.52	1.58	1.60	1.55	1.58	1.57	1.59	1.56	1.54	1.58	1.62	1.58

$Fe^{2+*} = Fe^1/1.23$ ;  $f = Fe^1/(Fe^1+Mg)$ ;  $l = Al^1/(Si+Al+Fe^1+Mg)$ ;  $a' = (Mg+Fe^1):Al^1$ ,  $b' = Si/Al^1$ ;  
n= neo (нео), pk = poikilitic (поикилитски).

Muscovite. Chemistry of muscovite (Table 5) from all localities was determined by using either individual large (over 2 mm) deformed and undeformed laths, or the laths intergrown with biotite. The obtained data show its uniform chemical composition ( $K_{1.71-1.83}Na_{0.12-0.19}Al_{3.57-3.66}Ti_{0.08-0.12}Mg_{0.14-0.17}Si_{6.10-6.15}Al_{1.85-1.91}$ ). Muscovite is characterized by rather high TiO<sub>2</sub>: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio and low MgO content (Fig. 6a). The muscovite in granites from Mršave livade and Padež has lower content of sodium (Na<sub>2</sub>O=0.48–0.49) than the muscovite in granite from Duboki and Lučki potok (Na<sub>2</sub>O is 0.63 to 0.74 %) (Fig. 6b).

### CRYSTALLISATION CONDITIONS AND GENETIC–GEOTECTONIC SETTING OF THE POLUMIR GRANITE

Chemistry of biotite, muscovite and feldspar from the Polumir granite enabled determination of P–T conditions of the magma crystallization.

Table 5 Chemical composition of muscovite.  
Табела 5. Хемијски састав мусковита.

	Duboki potok				Lukovski potok				Mršave livade		Padež	
	2		23		71		84		91			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	46.89	46.14	45.89	46.31	45.77	46.05	46.30	46.03	45.45	45.89	45.37	46.09
TiO <sub>2</sub>	1.00	0.83	0.94	0.79	1.07	1.17	0.86	0.97	1.12	1.13	1.33	1.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.40	35.19	34.51	35.58	35.02	35.34	35.09	35.69	34.12	34.67	34.14	35.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.01	0.03		0.01	0.01		0.01			
FeO	1.51	1.53	1.66	1.57	1.73	1.60	1.62	1.55	1.64	1.63	1.56	1.56
MnO		0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	
MgO	0.82	0.80	0.84	0.77	0.78	0.76	0.75	0.70	0.80	0.77	0.76	0.76
CaO	0.03		0.01							0.01	0.03	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.63	0.63	0.70	0.72	0.71	0.74	0.74	0.66	0.48	0.49	0.48	0.48
K <sub>2</sub> O	10.33	10.34	10.27	10.17	10.39	10.41	10.27	10.48	10.61	10.71	10.47	10.64
	96.62	95.52	94.84	95.99	95.49	96.13	95.68	96.09	94.28	95.33	94.17	95.86
	O=22											
Si	6.155	6.134	6.151	6.122	6.102	6.095	6.146	6.089	6.144	6.132	6.133	6.120
Al <sup>IV</sup>	1.845	1.866	1.849	1.878	1.898	1.905	1.854	1.911	1.856	1.868	1.867	1.880
Al <sup>VI</sup>	3.627	3.644	3.599	3.661	3.600	3.603	3.632	3.649	3.576	3.588	3.568	3.593
Ti	0.099	0.083	0.095	0.079	0.107	0.116	0.086	0.097	0.114	0.114	0.135	0.128
Cr	0.001	0.002	0.001	0.003		0.001	0.001		0.001			
Fe <sup>2+</sup>	0.166	0.170	0.186	0.174	0.193	0.177	0.180	0.171	0.185	0.182	0.176	
Mn		0.003	0.002	0.003	0.002	0.004	0.003	0.001	0.003	0.003	0.003	
Mg	0.160	0.159	0.168	0.152	0.155	0.150	0.148	0.138	0.161	0.153	0.153	0.150
Ca	0.004		0.001						0.001	0.004	0.001	
Na	0.160	0.162	0.182	0.185	0.184	0.190	0.190	0.169	0.126	0.127	0.126	0.124
K	1.730	1.754	1.756	1.715	1.767	1.758	1.739	1.769	1.830	1.826	1.806	1.802
X <sub>Na</sub>	8.47	8.45	9.39	9.74	9.43	9.75	9.85	8.72	6.44	6.50	6.52	6.44

XNa = Na:(Na+K).

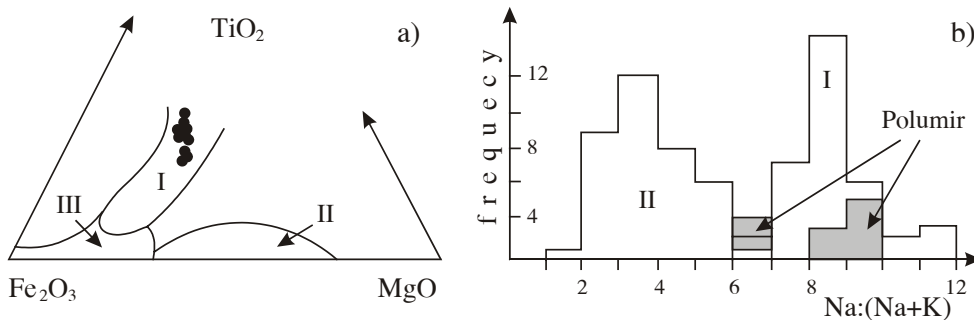


Fig. 6. Discrimination diagram (Monier et al., 1984) for muscovite from the Polumir granite: a) TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO diagram and b) frequency distribution histogram Na:(Na+K). Muscovite from the leucogranite (massif Millevaches – French Massif Central): I- magmatic, II- late to post-magmatic, III = hydrothermal.

Сл. 6. Дискриминациони дијаграми (Monier et al., 1984) мусковита из полумирског гранита: а) TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO дијаграм и б) хистограм фреквенције Na:(Na+K). Мусковит из леукогранита (massif Millevaches – French Massif Central): I- магматски, II- касно до постмагматски, III- хидротермални.

Biotite crystallized, according to its chemical composition, in stable P–T conditions, at relatively shallow depth and at moderate-to-low temperature (Fig. 7). High  $f=Fe/(Fe+Mg)$  ratio, within the range 65–73%, suggests a crystallization temperature for biotite of about 650°C (Ivanov, 1970).

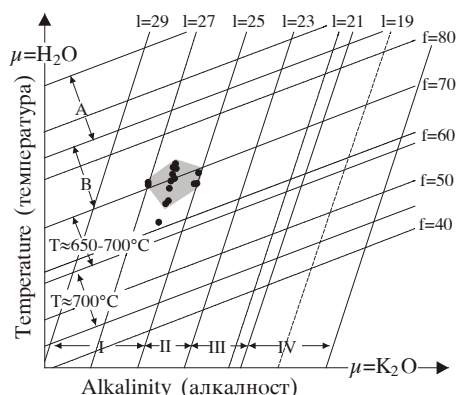


Fig. 7. I–f diagram for biotite composition from the Polumir granite as a function of chemical potential of K and water (Ivanov, 1970).  $f=Fe/(Fe+Mg)$ ;  $l=Al/(Si+Al+Fe+Mg)$ .

Сл. 7. I–f дијаграм састава биотита из стена полумирског гранита у функцији хемијског потенцијала калије и воде (Ivanov, 1970).  $f=Fe/(Fe+Mg)$ ;  $l=Al/(Si+Al+Fe+Mg)$ .

Chemical composition of biotite, including neo-biotite ( $MgO-FeO-Al_2O_3$ , Nockolds, 1947), is analogous with that of biotite associated with muscovite which occur in two-mica granites and gneisses,  $(Si:Al)-(Mg+Fe):Al$ , Marakušev & Tararin, 1965; Fig. 8), pointing indirectly to an equilibrium with muscovite.

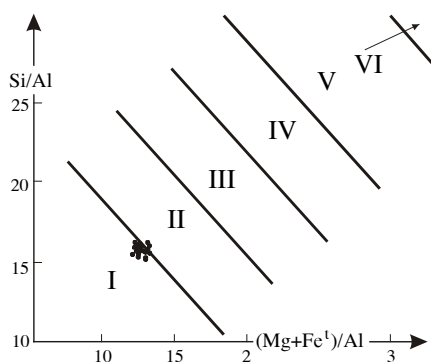


Fig. 8.  $(Si:Al)-(Mg+Fe)/Al$  diagram (Marakušev & Tararin, 1965) for biotite from the Polumir granite. I– twomica granite (gneisses), II– pegmatites, III– biotite granite, IV– granodiorite, V– acid effusive rocks, VI– chamockite.

Сл. 8.  $(Si:Al)-(Mg+Fe)/Al$  дијаграм (Marakušev & Tararin, 1965) биотита из стена полумирског гранита. I– дволискусни гранити (гнајсви), II– гранитски пегматити, III– биотитски гранити, IV– гранодиорити, V– кисели ефузивни, VI– чарнокити.

High content of  $NH_4$ -ions (254 ppm) in biotite (Nikolić & Poharc-Logar, 1984) is typical for the S-type granite.

Concerning the ratio between  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  and  $MgO$ , muscovite most likely crystallized directly from the melt (together with biotite), rather than by a post-magmatic rinsing ( $MgO$  etc.), although some muscovite from the upper part of the Polumir granite pluton (Mršave livade, Padež) contain smaller amount of sodium ( $XNa=6.44-6.52$ ), which makes them close with post-magmatic muscovite (Monier et al., 1984, Fig. 6b). The existence of the primary muscovite is in accordance with the literature data (Anderson & Rowley, 1981; Monier et al., 1984).

The eutectic minimum for the Polumir granite, calculated on the basis of normative QAbOr, was at  $T=670-655^{\circ}\text{C}$  under  $P=2-4$  kbar (Fig. 9). Similar or identical crystallization conditions are suggested for the crystallization of muscovite.

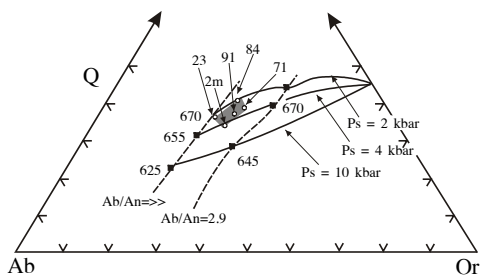


Fig. 9. Q–Ab–Or diagram of normative composition of the Polumir granites with melting temperatures for pressures from 2, 4 and 10 kbar (Vinkler, 1979).

Сл. 9. Нормативни Q–Ab–Or дијаграм стена гранита полумира са температурама стапања за притиске од: 2, 4 и 10 kbar (Vinkler, 1979).

The two–feldspars geothermometer of Stormer (1975) applied to the Polumir granite gave temperatures of about 400 to 550°C for perthite exsolution. Formation of perthite within K–feldspar (with  $\text{Ab}_{16-17}$ ) in the highest part of the Polumir granite (Padež, Mršave livade) where the plagioclase is the most basic (with up to  $\text{Ab}_{68}$ ), ceased at the temperature of about 550°C. More intense transformation of K–feldspar ( $\text{Ab}$  7–10%) associated with plagioclase (nearly 80% of  $\text{Ab}$ ) into perthite occurred in the lower parts of the pluton (Duboki and Lučki potok), at temperature of about 400°C. This was probably connected to subsequent metamorphism – remobilization (together with shearing, microclinalisation and, probably weak Si–Na–metasomatism). Calculated temperature using the supposed pressure of 2 kbar, corresponds to the eutectic minimum of  $P=2-4$  kbar (Fig. 9).

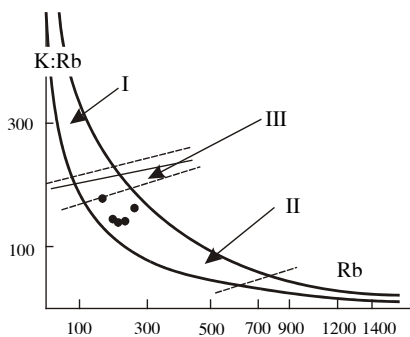


Fig. 10. (K:Rb)–Rb diagram of different genetic magma types (Rub et al., 1983) with marked position of the Polumir granite. Explanation: I– plutonic (under crustal) magmas, II– crustal magmas (palingenic) and III– of non–determined origin.

Сл. 10. (K:Rb)–Rb дијаграм генетских типова магми (Rub et al., 1983) са положајем полумирског гранита. Објашњење: I– дубинске (поткорне) магме, II– магме из коре (палингене) и III– неодређено порекло.

According to the mineral and chemical composition, the Polumir granite originated by melting of continental crust and, according to various criteria, it has the S–character (Chappel & White, 1974; Nečáeva, 1976; White & Chappell, 1977; Pearce & Gale, 1977; Takahasi et al., 1980; White et al., 1982, 1986; Collins et al., 1982; Rub et al., 1983; Chappell, 1984; Bowden et al., 1984, etc.).

Distribution of K and Rb (Fig. 10), as well as identical content of light rare earth elements in the Polumir granite to that in an average composition of continental crust, favours this hypothesis (Taylor & McLennan, 1985, Fig. 11). Eu anomaly points to

the fractionation of plagioclase from the melt, while lower values of heavy REE, compared with an average composition of continental crust could be explained by lesser amount of ferromagnesian mineral.

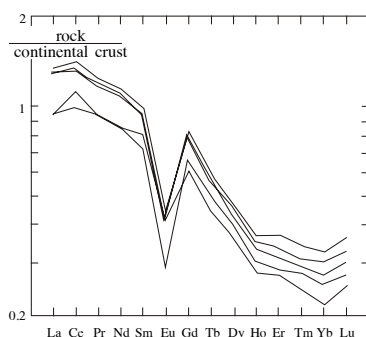


Fig. 11. The rare earth elements content within the Polumir granite normalised to average composition of continental crust (Taylor & McLennan, 1985).

Сл. 11. Садржаји микроелемената РЕЕ полумирског гранита нормализован на просечни састав континенталне коре (Taylor & McLennan, 1985; rock = стена, continental crust = континентална кора).

On the basis of certain trace elements content (Table 1; Fig. 12a–c), as well as on the basis of relations in the field, the Polumir granite represent a sin-collisional (Pearce et al., 1984; Harris et al., 1986), peraluminous granite, i.e. leucogranite (Batchelor & Bowden, 1985) which is in agreement with its overall chemical features.

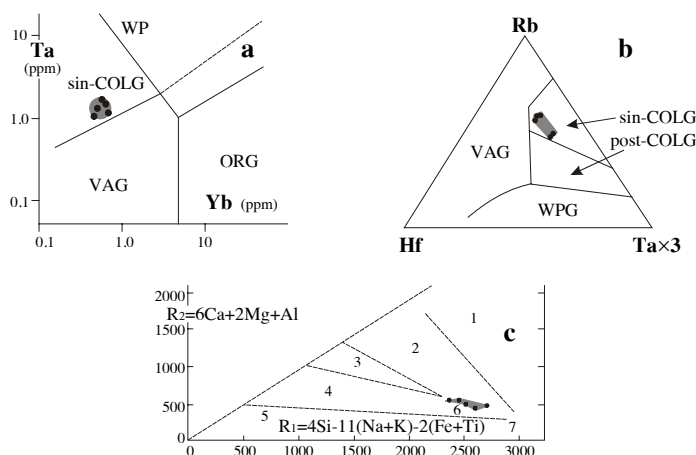


Fig. 12. Diagrams for granite geotectonic setting determination: a) Ta–Yb (Pearce et al., 1984.), b) Rb–Hf–Tax3 (Harris et al., 1986), c)  $R_1$ – $R_2$  (Batchelor & Bowden, 1985) with marked positions of the Polumir granites. Explanation: a–b) granites; WPG–Within Plates, ORG– Ocean Ridges, VAG– Volcanic arc, Sin–COLG– Sin–Collision, Post–COLG– Post–Collision; c) 1– Mantle–Fractionates, 2– Pre–Plate Collision, 3– Post–Collision Uplif, 4– Late–Orogenic, 5– Anorogenic, 6– Sin–Collision, 7– Post–Orogenic.

Сл. 12. Дијаграми за оцену геотектонске припадности гранитоида: а) Та–Yb (Pearce et al., 1984.), б) Rb–Hf–Tax3 (Harris et al., 1986), в)  $R_1$ – $R_2$  (Batchelor & Bowden, 1985) са положајима стена полумирског гранита. Објашњење: а–б) гранити: WPG– унутар плоча, ORG– океанских гребена, VAG– вулканских лукова, sin–COLG– синколизиони, post–COLG– постколизиони; в) 1– фракционисањем мантла, 2– пре колизије плоча, 3– постколизиона уздицања, 4– касноорогени, 5– анорогени, 6– синколизиони, 7– посторогени.

## CONCLUSION

According to its mineral and chemical composition, the Polumir granite belongs to S-type granites. It crystallized from the magma which had been generated by partial melting in the upper levels of continental crust. During the Paleogene, in the Vardar Zone, i.e. in the collisional zone between two continental blocks, the Eastern microplate and the Drina–Ivanjica Element granitic rocks were intruded. Afterwards, under the extensional conditions during the Miocene, partial melting occurred and new magma was generated. These melts, analogous to S-type magmas, were intruded into higher level, and the Polumir granite originated by their crystallization. The granite was remobilized several times when the fine-grained granites and pegmatites from the central part of the Čemerno Mt. were probably formed.

## REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

- Anderson J.L., Rowley M.C., 1981: Sinkinematic intrusion of peraluminous and associated metaluminous granitic magmas, Whipple Mountains, California.– *Can. Mineral.*, 19, 83–101.
- Batchelor R.A., Bowden P., 1985: Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters.– *Chem. Geol.*, 48, 43–55.
- Brković T., Malešević M., Urošević M., Trifunović S., Radovanović Z., Dimitrijević M., Dimitrijević M.N., 1977: Explanatory text for the Basic Geol. Map, sheet Ivanjica (1:100000), 1–61, Beograd (in Serbian, English summary).
- 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., 1984: Source rocks of I- and S-type granites in the Lachland Fold Belt, southeastern Australia.– *Phil. Trans. R. Loand, A*, 310, 693–707.
- Chappell B.W., White A.J.R., 1974: Two contrastine granite types.– *Pac. Geol.*, 8, 173–174.
- Collins W.J., Beams S.D., White A.J.R., Chappell B.W., 1982: Nature and origin of A-type granites with particular references to Southeastern Australia.– *Contr. Min. Petrol.*, 80, 189–200.
- Debon F., Le Fort P., 1988: A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications.– *Bull. Mineral.*, 111, 493–510.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., 1963 (1963): *Rock forming Minerals.*– v. 1–4, London.
- Delaloye M., Lovrić A., Karamata S., 1989: Age tertiary granitic rocks of Dinarides. – XIV congress CBGA, 1186–1189, Sofia.
- Deleon G., 1969: A review of absolute age determinations on granitic rocks from Yugoslavia.– *Rad. Geoinstituta*, 6, 165–182, Beograd (in Serbian, English summary).
- Foster M.D., 1960: Interpretation of the composition of trioctahedral micas.– *U.S. Geol. Surv. Paper*, 345B, 1–49.
- Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G., 1986: Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M.P. & Ries A.C. (Eds.) *Collision Tectonics*. Geol. Soc. Special Publication, 19, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 67–87.
- Ivanov V.S., 1970: The influence of temperature and chemical potassium activity on biotite composition in granites.– *Izv. AN SSSR*, 7, 20–30, Moskva (in Russian).
- Karamata S., 1975: Geologic evolution of Yugoslavian area from Triassic to Quaternary.– *Rad. Geoinstituta*, 10, 1–15, Beograd (in Serbian, English summary).
- Le Maitre R.W., 1989: *A classification of igneous rocks and glossary of terms.*– Blackwell, 1–193, Oxford.
- Maksimović Z., Divljan S., 1953: Resultats la levee de la carte geologique et de l'observation des affleurements miniers dans la region des villages de Plana et Gokčanica, situes sur les pentes occidentales du mont Željina.– *Zbornik rad., SAN, XXXIII*, 5, 223–257, Beograd (in Serbian, resume).

- Maniar P.D., Piccoli P.M., 1989: Tectonic discrimination of granitoids.– *Geol. Soc. A. Bull.*, 101, 535–543.
- Marakušev A.A., Tararin I.A., 1965: On chemical criteria for granite alkalinity.– *Izv. AN SSSR*, 3, 20–37. Moscow (in Russian)
- Monier G., Mergoïl–Daniel J., Laberdarniere H., 1984: Generation successive de muscovites et feldspaths potassiques dans le leucogranite du massif de Millevaches (Massif Central Francais).– *Bull. Mineral.*, 107, 55–68.
- Nečaeva I.A., 1976: Alkali–granitic magmatism and its formation.– *Nauka, Moskva* (in Russian).
- Nockolds S.R., 1947: The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks.– *Am. Jour. Sci.*, 254, 401–420.
- Nikolić D., Poharc–Logar V., 1984: NH<sub>4</sub> ion in biotite from some Yugoslavian granites.– I simpozijum jugoslovenske asocijacije za mineralogiju, Arandelovac 1983, 154–157, Beograd (in Serbian).
- Panto Gy., Jović V., Forizs, I., Vukov M., 1988: Genetic significance of REE accessory minerals in granitic rocks.– *Bulletin*, 44, 197–213, Beograd.
- Pearce J.A., Gale G.H., 1977: Indetification of ore–deposition environment from trace–element geochemistry. In: *Volcanic processes in ore genesis.*– Inst. Min. Metall. and Geol. Soc., 14–24, London.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks.– *J. Petrol.*, 25(4), 956–983.
- Rub M.G., Gladkov N.G., Pavlov V.P., Rub A.K., Troneva N.V., 1983: Alkali elements and strontium in ore–bearing (Sn, W, Ta) differencirated igneous association.– *Dok. AN SSSR*, 6, 1463–1466. Moskva (in Russian).
- Simić V., 1956: Zur geologie des Studenicagebietes (südwestserbien).– *Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NRS*, XII, 5–66, Beograd (in Serbian, German zusammenfassug).
- Simić V.V., 1957: Geology of east Čemerno.– *Ibid.*, XIII, 95–106, Beograd (in Serbian, English summary).
- Stajević B., 1980: Metalogenija rudnog rejana Golije.– *Doktorska disertacija, Rudarsko–geološki fakultet*, 1–158, Belgrade (in Serbian, unpublished).
- Stormer J.C., 1975: A Partical Two–feldspar Geothermometer.– *Am. Min.*, 60, 667–674.
- Takahashi M., Aramski S., Isihara S., 1980: Magnetite–series/Ilmenite–series vs. I–type/S–type granitoids.– *Ming. Geol. Spec. Issue*, 8, 13–28, Tokyo.
- Taylor R.S., McLennan S.M., 1985: The continental crust: its composition and evolution.– *Blackwell*, 1–312, Oksford.
- Urošević M., Pavlović Z., Klisić M., Brković T., Malešević M., Stefanović M., Marković O., Trifunović S., 1973: The explanatory text for the Basic Geol. Map. of SFRJ, sheet Vrnjci (1:100000), 1–69, Beograd (in Serbian, English summary).
- Vinkler G., 1979: Genesis of metamorphic rocks.– *Nedra*, 1–327, Moskva (in Russian).
- Vukov M., 1980: Petrologic characteristics of the Polumir granite.– *Master thesis, Faculty of Mining and Geology*, 1–112, Beograd (in Serbian, unpublished).
- Vukov M., 1981: Petrologic characteristics of Polumir granite.– *Geol. an. Balk. poluou.*, XLV, 273–297, Beograd (in Serbian, English summary).
- Vukov M., 1995: Petrologic characteristics of granitoid rocks of Željina an Polumir.– *Geology and metalogeny of the Kopaonik Mt.*, 207–215, Beograd (in Serbian, English abstract).
- White A.J.R., Chappell B.W., 1977: Ultrametamorphism and granitoid genesis.– *Tectonophysics*, 43, 7–22.
- White A.J.R., Collins W.J., Chappell B.W., 1982: Influence of melt structure in the trace element composition of granites.– *Proceed. Intern. Symp. Geology of granites and their metalogenic relations*, 737–751, Nawing.
- 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 plobable absence in southwestern North America.– *Geol.*, 14, 2, 115–118.
- Wernick E., Teuppenhayn J.P., 1999: Origin and evoution of the Pirituba aluminous calc–alkalic magma, state of Sao Paulo, SE Brasil.– *An. Acad. Bras. Si.*, 71(1), 99–130.

## РЕЗИМЕ

### ПОЛУМИРСКИ ГРАНИТ–НОВИ ПОДАЦИ О ГЕНЕЗИ

Полумирски гранит налази се у југоисточном делу планине Чемерна (испод 1200 мнв) између Падежа и Ибра (сл. 1) где је ерозијом откривен на више места (локалитети Дубоки поток, Лучки поток, Мршаве ливаде, Венац и Падеж). Ситнозрни гранити, претежно жичног карактера, пегматити и аплити из централног Чемерна (изнад 1300 мнв) нису у овом раду разматрани.

Полумирски гранит је до сада скромно хемијски и петролошки проучен. Ове киселе магматске стене у почетку су само узгред помињане или су проучаване у општим цртама (Maksimović & Divljan, 1953; Simić, 1956; Simić, 1957). Прве петролошке податке дали су Urošević et al. (1966), Brković et al. (1968), Vukov (1980, 1981, 1995) и Panto et al. (1988). О хемијском саставу минерала са појединих локалитета писали су Vukov (1980, 1981), Nikolić & Poharc-Logar (1984) и Panto et al. (1988). У овом раду приказани су резултати петролошких и хемијских испитивања већине појава гранита. На основу добијених резултата извршена је анализа физичко–хемијских услова кристализације стена и минерала, као и генетско–геотектонске средине стварања.

### ГЕОЛОШКА ГРАЂА ШИРЕГ ПОДРУЧЈА

Полумирски гранит је јединствено геолошко тело, ерозијом откривено у седам мањих појава, површине око 2,5 km<sup>2</sup>. Сматра се да је конкордантно утиснут у "серију Мршаве Ливаде" (Simić, 1957), односно горњи део "доње студеничке серије" –млађи палеозоик (Simić, 1956) која је примарно била изграђена од глиновитих, лапоровитих, песковитих и карбонатних седимената, са подређеним учешћем дијабаза и туfoва. Ендоморфне промене у гранитима су слабе. Запажени су замрзнути рубови, термометаморфоза и контактна метасоматоза условљене разликом у температури гранита и околних стена.

На основу суперпозиционих односа претпостављало се да је палеозојске – познохерцинске старости (Urošević et al., 1973; Brković et al., 1977): карбонске (Maksimović & Divljan, 1953) или пермске (Simić, 1957). На основу садржаја изотопа (K/Ar–методом на биотиту) добијена је старост од 14–19,6×10<sup>6</sup> год. (Vukov, 1980; Stajević, 1980; Delaloye et al., 1989) што одговара миоцену. Ситнозрни "монзонити" централног Чемерна, на основу исте методе, су млађи – 9×10<sup>6</sup> год. (Deleon, 1969).

На основу карактера контактних промена са околним стенама, шкриљаве текстуре по ободу, степена уређености К–фелдспата, пластичних деформација на лискунима и фелдспатима полумирски гранит је интродован у овој ниво највећим делом као искристалисала маса, или реоморфно, као загрејана и на више интродована гранитска маса (Vukov, 1981).

### ХЕМИЈСКИ САСТАВ

Узорци гранита за одредбу хемијског састава одабрани су након микроскопских проучавања ових стена. Урађено је 5 хемијских анализа гранита са 4 локалитета (сл. 1) у којима је садржај серицита и хлорита био испод 3% vol. стене.



Према садржају макроелемената (табела 1) полумирски гранит одговара киселим –  $\text{SiO}_2=69,86-72,56\%$ , нискоалкалним ( $\Sigma\text{alk}=7,12-7,77\%$ ) и пералуминијским стенама (сл. 2) са  $\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})>1$ . Карактеристике их висок садржај  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (нормативног корунда имају  $1,61-3,72\%$ ), врло ниска алкаитност –  $\text{A.I.}<0,62-0,67$  и релативно низак садржај  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Према садржају бојених минерала ( $M=7-10\%$ ) припадају леукократним гранитима, тј. дволискунским сијено– до монцо–гранитима S–типа (сл. 3). Односи  $A=\text{Al}-(\text{K}+\text{N}+2\text{Ca})\approx 50$  и  $B=(\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Ti})<50$ , потврђују дволискунску асоцијацију минерала и то:  $I=\text{мусковит}>\text{биотит}$  и  $II=\text{биотит}>\text{мусковит}$  (Debon & Le Fort, 1988).

### ХЕМИЈСКИ САСТАВ МИНЕРАЛА

Након детаљних микроскопских испитивања полумирског гранита са поменутих локалитета издвојени су и узорци за одредбу хемијског састава минерала. Посебно се водило рачуна о репрезентативности примерака, садржају и величини главних минерала, структури, текстури и степену алтерисаности стене. Урађене су, као што је поменуто, хемијске анализе К–фелдспата, плагиокласа, мусковита и биотита.

К–фелдспати. Хемијски састав ових минерала ( $\text{Or}_{82,5-92,9}\text{Ab}_{7,1-17,3}\text{An}_{0,0-0,3}$ ) рађен је на свежим или слабо серицитисаним и глиновито алтерисаним зрнима величине преко 1 mm, до ситнијих. Такође је рађен и К–фелдспат који садржи плагиоклас, биотит, мусковит и кварц, али његов хемијски састав не показује закониту промену.

К–фелдспати су у различитој мери микроклинизирани (од 0,10–0,12 до 0,75–0,93) и пертитизирани, због чега су варијабилног састава. Највиши садржаји натрије у К–фелдспатима, од 1,4–1,93, је у хипсометријски највишим деловима гранита, у узорцима са Мршаве ливаде и Падежа (табела 2, анализе 13–17, сл. 4). У гранитима "дубљих" нивоа (Дубоки поток, Лучки поток) садржај натрије је нижи и уједначен, од 0,77–1,24 (табела 2, анализе 1–12, сл. 4).

Плагиокласи. Хемијски састав плагиокласа рађен је на свежим ситнијим али и крупним зрнима, са или без уклопака других минерала. Према хемијском саставу (табела 3) одговарају олигокласу (сл. 4). Показују зонарну грађу. У централним деловима зрна садржај анортитске компоненте је до око  $\text{An}_{30}$ , док су ободни делови киселији, имају до  $\text{An}_{16}$  компоненте. У гранитима Падежа зрна плагиокласа су најбазичнија, имају 30,2 анортитске компоненте (табела 3, анализа 15), могуће услед "замрзавања" плагиокласа што би потврдило да те појаве представљају апикалне (?) делове гранитског тела.

Мирмекити се јављају у ободним деловима зрна плагиокласа која прорастају са К–фелдспатом. По саставу одговарају олигокласу до албиту ( $\text{An}_{1,6-22,8}\text{Ab}_{75,4-96,5}\text{Or}_{1,1-1,9}$ ), тј. киселији су од крупнијих индивидуалисаних зрна плагиокласа. Метасоматски плагиоклас, присутан у врло малим количинама, припада албиту са  $\text{An}_{1,6}$  (Мршаве ливаде). У гранитима Падежа плагиокласи у мирмекитима садрже око 20%  $\text{An}$  компоненте (табела 3, анализе 16 и 17).

Биотит је редовно слабо хлоритисан. Анализиране су лиске овог минерала, без садржаја прашкастог магнетита дуж равни цепљивости, затим ситније лиске уклопљене у плагиокласу и лиске срасле са мусковиотом, као и необиотит.

Према хемијском саставу (табела 4, сл. 5) биотит одговара лепидомелану ( $\text{Na}_{0,02-0,04}\text{K}_{1,84-1,88}\text{Ca}_{0,00-0,03}\text{Mg}_{1,18-1,51}\text{Mn}_{0,02-0,09}\text{Fe}^{2+}_{2,21-3,22}\text{Al}_{6,9-1,01}\text{Ti}_{0,07-0,41}\text{Si}_{5,35-5,44}\text{Al}_{2,54-2,65}$ ). Уједначеног је хемијског састава у свим деловима полумирског гранита осим необиотита који има нижи садржај титана (табела 4, Дубоки поток).

Мусковит. Хемијски састав мусковита (табела 5) одређен је на самосталним и са биотитом сраслим, крупним деформисаним и недеформисаним лискама величине преко 2 милиметра. Овај минерал има уједначен састав ( $K_{1,71-1,83}Na_{0,12-0,19}Al_{3,57-3,66}Ti_{0,08-0,12}Mg_{0,14-0,17}Si_{6,10-6,15}Al_{1,85-1,91}$ ). Карактеристике га доста висок однос садржаја  $TiO_2:Fe_2O_3$  и уједначен и низак садржај  $MgO$  (сл. 6a). Мусковити из гранита Мршавих ливада и Падежа имају ниже садржаје натрије ( $Na_2O=0,48-0,49$ ) од мусковита из гранита Дубоког и Лучког потока ( $Na_2O$  од 0,63 до 0,74 %; сл. 6b).

### УСЛОВИ КРИСТАЛИЗАЦИЈЕ И ГЕНЕТСКО-ГЕОТЕКТОНСКА ПРИПАДНОСТ ПОЛУМИРСКОГ ГРАНИТА

Температура и притисак кристализације магме из које је полумирски гранит стваран добијени су анализом хемијског састава биотита, мусковита и фелдспата.

На основу хемијског састава биотит је кристалисао у стабилним  $PT$ -условима, на релативно малим дубинама и на умереним до ниским температурама (сл. 7). Висока гвожђевитост  $f=Fe:(Fe+Mg)$ , која се креће у интервалу 65–73 %, указује да је овај минерал највероватније кристалисао на температурама од око 650°C (Ivanov, 1970).

Хемизам биотита, укључујући и необиотит, аналоган је истим из асоцијације са мусковитом ( $MgO-FeO-Al_2O_3$ , Nockolds, 1947), односно биотитима из дволикунских гранита и гнајсева ( $(Si:Al)-(Mg+Fe):Al$ , Marakušev & Taragin, 1965; сл. 8), индиректно указујући на равнотежно стање са мусковитом.

Висок садржај  $NH_4$ -јона (254 ppm) у биотитима (Nikolić & Poharč-Logar, 1984), карактеристичан је за  $S$ -тип гранитоида.

Према односу  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  и  $MgO$  мусковит је највероватније кристалисао примарно из растопа заједно са биотитом, а не његовим постмагматским испирањем ( $MgO$  и др.), мада мусковити из виших делова полумирског плутона (Мршаве Ливаде, Падеж) имају нешто ниже садржаје  $Na$  ( $XNa=6,44-6,52$ ) што их приближава постамагматским мусковитима (Monier et al., 1984, сл. 6b). Постојање примарног мусковита сагласно је литературним подацима (Anderson & Rowley, 1981; Monier et al., 1984).

На бази нормативног  $QAbOr$  еутетички минимум полумирског гранита је био на  $T=670-655^\circ C$  и притиску од  $P=2-4$  kbar (сл. 9). Претпоставља се да су идентични услови кристализације били и за мусковит.

Ексолуционо излучивање пертита, на основу двофелдспатског геотермометра (Stormer, 1975), обављало се на температурама до око 400 до 550°C. Пертитизација  $K$ -фелдспата (са  $Ab_{16-17}$ ) у највишим деловима полумирског гранита (Падеж, Мршаве ливаде), где је и најбазичнији плагиоклас (са до  $Ab_{68}$ ), "замрзнута" је на температурама од око 550°C. Интензивнија пертитизација  $K$ -фелдспата ( $Ab$  7–10%) који асоцирају са плагиокласом ( $Ab$  од око 80 %), у дубљим деловима плутона (Дубоки и Лучки поток) обавила се на температурама од око 400°C, вероватно при каснијој метаморфози – ремобилизацији (уз ушкриљавање, микроклинизацију и слабију  $Si-Na$ -метасоматозу). Израчуната температура добијена је уз претпостављени притисак од 2 kbar, сагласно еутетичком минимуму од  $P=2-4$  kbar (сл. 9).

Према минералном и хемијском саставу, полумирски гранит је образован стапањем континенталне коре и има S–карактер сагласно бројним критеријумима (Chappel & White, 1974; Nečaeva, 1976; White & Chappell, 1977; Pearce & Gale, 1977; Takahasi et al., 1980; White et al., 1982, 1986; Collins et al., 1982; Rub et al., 1983; Chappell, 1984; Bowden et al., 1984 и др.).

У прилог поменутој претпоставци говори расподела K и Rb (сл. 10) и идентичан садржај лаких REE полумирског гранита и средњи састав континенталне коре (Taylor & McLennan, 1985, сл. 11). Аномалија Eu указује на фракционисање плагнокласа из растопа, а нижи садржаји тешких елемената REE у односу на средњи састав континенталне коре је вероватно због мале количине бојених минерала.

Према садржају појединих микроелемената (табела 1; сл. 12a–c) полумирски гранит припада синколизионом типу гранита (Pearce et al., 1984; Harris et al., 1986), што је сагласно са његовим укупним саставом као и са геолошком грађом ширег подручја у коме је полумирски гранит смештен. Ове стене припадају пералуминијском, односно леукократном типу гранита (Batchelor & Bowden, 1985).

### ЗАКЉУЧАК

Полумирски гранит, према хемијском и минералном саставу, припада S–типу гранита који је кристалисао из магме образоване парцијалним стапањем горњих делова континенталне коре. У време палеогена у Вардарској зони, тј. у колизионој зони између два континентална блока, Источне микроплоче и Дринско–ивањичког елемента, интродоване су гранитоидне стене. Затим, у време миоцена, при екстензији долази до њиховог парцијалног стапања и генерисања нове магме. Ове, аналогне S–типу магме, интродоване у плиће нивое кристализацијом дају полумирски гранит. Након смештаја у релативно плитке нивое гранит је вишекратно ремобилисан када су вероватно образовани ситнозрни гранити и пегматити који се јављају у централном Чемерну.