

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	61	1	369-388	Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997
--	----	---	---------	---

УДК 552.1:552.323.5(497.11)

Оригинални научни рад

ПЕТРОЛОШКЕ И ПЕТРОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЦИЈАРНИХ БАЗАЛТА РУДНИКА (СРБИЈА)

од

Миливоја Јовановића* и Видојка Јовића**

Базалти на планини Рудник регистровани су на три локалитета: у засеоку Васићи (село Мутањ), 300 m јужно од коте Липа (552 m) и у изворишту Шилопајске реке. На основу геолошког положаја старост ових стена одређена је као послетортопска.

Базалти су израђени од фенокристала моноклиничних пироксена, ретко оливина и плагиокласа, а основну масу чине моноклинични пироксени, стакло, металични минерал и ретко плагиокласи. Садржај главних елемената показује да су базалти алкалног, већином калијског карактера. Однос Al^{VI}/Al^{IV} у моноклиничним пироксенима указује на стварање при условима високих до средњих притисака. На основу хемизма пироксена утврђено је да су они настали на температури 950–1000°C.

Кључне речи базалт, моноклинични пироксен, оливин, плагиоклас, хемијски састав, послетортопска старост.

УВОД

У Вардарској зони до сада је регистровано 25 појава терцијарних базалтондних стена. На планини Рудник ове стене су нађене на три локалитета: у засеоку Васићи (село Мутањ), 300 m јужно од коте липа (552 m) и у изворишту Шилопајске реке.

За разлику од осталих вулканских стена на Руднику, базалти су и мање заступљени и мање проучавани (Dimitrijević, 1938; Терзић и Милојковић, 1967). У овим радовима описан је њихов положај на терену, дате су микроскопске карактеристике главних састојака и хемијске анализе стена.

Током израде Основне геолошке карте базалти се помињу, али не више него што се до тада о њима знало. На карти они су представљени као мала појава у кварцлатитима лампрофирског хабитуса, што не одговара њиховом стварном положају и простирању на терену. Од савремених истраживача базалте на планини Рудник детаљније су обрађивали Јовић (1989, 1990, 1992) и Јовановић (1995).

Јовић је проучавао површинско распадање базалта, приказао положај и распрострањење три појаве ових стена у селу Мутањ, детаљно је описао остењак који је откривен на падниш која се пружа од коте Липа (552 m) до изворишта потока

* Институт ИМС д.д., Булевар војводе Мишића 43, Београд
** Рударско-геолошки факултет, Бвшина 7, Београд.

Усовача. Дао је дегаљан петрографски опис и хемијски састав главних минерала, као и хемијске анализе свежег и различито распадиутог базалта.

Јовановић (1995) је детаљно испитивао петролошке и петрохемијске карактеристике базалта Рудника и Копаоника.

УЗОРЦИ И МЕТОДЕ

Геренским истраживањем детаљно су испитане појаве базалта на Руднику, прикупљено је и обрађено око 20 узорака са сва три локалитета. Хемијска испитивања узорака базалта рађена су класичним поступком у хемијској лабораторији Института ИМС из Београда. Хемијски састав минерала одређивао је помоћу електронске микроскопе ARL-SEMQ. Свако зрно анализирано је у три до пет тачака, а за састав зрна узета је средња вредност из свих мерења. Ова испитивања су урађена у National Museum of Natural History – Smithsonian Institution (Washington).

Базалт у засеоку Васићи

Изданци базалта се палазе 100 m испод пута који се пружа гребеном преко коте Лиша, затим у изворишном делу потока који тече кроз Мутањ ка северу (поток Усовача), и на западу, неколико десетина метара испод кварцлатитског остепљака. Димензије изданка испод пута који се пружа преко коте Лиша јесу око 2×3 m, а висина око 2 m.

На прегледној карти (сл. 1) приказане су све три појаве које је описао још Đimićević (1938). Блокови који се палазе 300 m јужно од коте Лиша вероватно припадају изливу у засеоку Васићи, па су тако и приказани на карти. Највећа појава од њих јесте она у засеоку Васићи. Њено простирање је од коте Лиша (552 m) до изворишног дела потока који тече кроз Мутањ ка северу. На неким местима, у горњем делу потока контакт између горњомиоценоских седимената, који леже испод, и базалта јасно је видљив. Начин појављивања базалтне стене у изворишном делу потока и однос према седиментима указују да је то чело базалтног излива који се ту, на топографски најнижој тачки, и завршава. То значи да је базалтна лава текла преко већ формираног рељефа, од највише тачке, негде око коте Лиша, ка истоку, односно североистоку.

Жица дебљине 5 m која је пронађена у самом путу, правца пружања ЈЈЗ–ССИ (Терзић и Милојковић, 1967), изданци испод пута и блокови 300 m јужно од коте Лиша вероватно маркирају доводни канал (сл. 1).

Базалт у засеоку Васићи је тамносиве и црне боје. На откривеним издашцима је масивне, мандоласте, кугласте и плочасте текстуре. Карактеристика базалта са овог локалитета, по чему је јединствен, јесте то да се у шупљинама у делимично испуњеним мандолама понекад налази флуид. Ова појава је констатована код делова стенске масе који нису директно изложени површинским утицајима. Уколико преломом буде захваћена оваква мандола, флуид се разлива и врло брзо испари. Испаравање је брже него да је испуна само вода. Његов садржај је минималан да би се могао сакупити за испитивања, а зависи од величине шупљине која је остала у мандоли. Мандоле су углавном округлих форми, највише до око 3 mm у пречнику, а ређе, крупније (веће од око 5 mm) имају неправилан, дискоидалан, ретко и вретенаст облик.

Микроскопским испитивањем је утврђено да су узорци базалта приближно истог минералног састава, а извесне разлике се јављају и у садржају мандола.



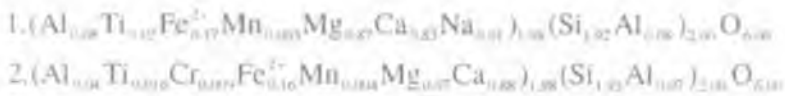
Легенда (Legend):

- ▲ доводни канал (supply channel)
- смер тока лаве (direction of the lava flow)
- β - базалт (basalt)
- место узорковања - број анализе (site of sample - number of analysis)

Сл. 1 Карта базалтног излива у засеоку Васићи и изворишту Шилопајске реке.
Fig. 1. Map of basaltic flow in the Vasići hamlet and the spring of the Šilopajka river.

Од фенокрстала заступљени су моноклинични пироксен, оливин и плагиоклас. Основна маса преовлађује и њен садржај варира од 76 до 87%. Изграђена је од микролита пироксена, веома ситних зрна металичног минерала (<0,02 mm), а сасвим ретко се занајају микролити плагиокласа. Структура је хипокристаласто–порфирска са елементима гломеронорфирске и кумулофирске.

Моноклинични пироксен. Његов садржај варира од око 2 до 12 %. Јавља се у виду хипидиоморфних и идиоморфних пресека различите величине. Најкрупнији фенокрстали су димензија 0,4×0,5 mm (средња величина 0,24×0,37 mm). Резултати хемијских испитивања пироксена приказани су у табели 1, а њихове кристалохемијске формуле су:



На квадрилатералном дијаграму за класификацију моноклиничних пироксена (Brown, 1967) падају у подручје диоксида.

Оливин Његов садржај у стени варира од 0,3 до 3,7%. Углавном се јавља у потпуно трансформисаним фенокрсталима димензија од 0,30×0,35 до 0,4×1,2 mm (средња величина 0,4×0,7 mm). Најчешће су то хипидиоморфни пресеци, а ретко и идиоморфни. Продукти трансформација оливина су серпентин и глиновита материја.

Плагиоклас. Присутан је углавном као микролит у основној маси, а веома ретко у нешто крупнијим микролитима – микрофенокрсталима. У неким деловима излива микроскопски га је тешко разликовати од приткастих микролита пироксена. Јовић (1989) даје анализу плагиокласа са остењака око 100 m испод пута који води преко коте Лица ка Мутњу. Хемијски састав плагиокласа приказан је у табели 1 (анализа 8), а његова кристалохемијска формула је:



Апортит	= 76,6 %
Албит	= 21,4 %
Ортоклас	= 2,0 %

Према добијеним резултатима плагиоклас одговара битовиниту, што се подудара са нормативним саставом на основу хемијске анализе стене (око 74% апортита).

Мегакристални минерал Његов садржај варира од 0,2 до 0,5%. Јавља се у веома ситним неправилним до хипидиоморфним пресецима у основној маси. Равномерно је распршен свуда у стени. Ретко образује мања неправилна нагомљања димензија највише до око 0,09×0,15 mm.

Секундарни минерали. Јављају се глиновита материја и серпентин, и то као продукти трансформације оливина. Осим њих, у основној маси јављају се мања нагомљања калцита која су углавном неправилног облика и различите величине. Садржај секундарних минерала варира од 1,1 до 3,4%.

Мандоле. Садржај мандола у изливу у засеоку Васпћи варира од око 1 до 9,4%. Најзаступљеније су на остењаку, на падини 100 m испод пута који води преко коте Лица (552 m), затим у десном краку потока који тече ка северу (ка Доброковцу). Минерали који најчешће испуњавају мандоле јесу калцит, хлорит, зеолит (аналцим), пирит, као и флуид који је запажен само у делимично испуњеним мандолама у узорцима базалтне стене са остењака.

Ксенолити. Највећи садржај ксенолита (2,1%) констатован је у североисточном делу излива базалта у Васићима. Углавном су неправилног, угластог облика и различите величине. Највећи запажен је ксенокрст кварца димензија 0,8×3 mm. Осим њега, запажен је ксенокрст плагиокласа у истом узорку, као и у узорку јужно од коте Липа. Састави околне и подинске степе, као и степен нагрижености ксенолита, показују да их је лава захватила близу површине или на површини.

Табела 1. Анализе помоћу електронске микроскопе минерала из базалта Рудника
Table 1. Microprobe analysis of minerals of basalts from Rudnik Mt.

Mineral	Pyroxenes					Olivines		Plagioclase
Comp No.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	52.6	52.35	51.55	52.7	52.7	40.49	41.94	50.00
TiO ₂	0.6	0.6	0.87	0.7	0.5	0.04	0.0	0.12
Al ₂ O ₃	3.7	2.64	3.47	2.9	2.8			30.62
Cr ₂ O ₃		0.28						0.04
FeO*	5.6	5.15	5.55	4.8	4.6	11.35	11.18	1.05
MnO	0.1	0.13	0.21	0.2	0.1	0.2	0.17	
MgO	16.0	16.0	15.51	15.8	16.0	46.64	46.70	0.03
CaO	21.3	22.48	22.66	22.8	22.7	0.29	0.23	13.95
Na ₂ O	0.2		0.21	0.3	0.3	0.01	0.01	2.41
K ₂ O				0.02			0.04	0.44
P ₂ O ₅								0.06
Σ	100.1	99.63	100.03	99.62	99.7	99.02	100.27	99.02

Number of ions on the basis of

FeO*—total Fe as FeO

	6(O)					4(O)		8(O)
Si	1.92	1.93	1.90	1.94	1.93	1.01	1.02	2.2
Al ^{IV}	0.08	0.07	0.1	0.06	0.07			1.66
Al ^{VI}	0.08	0.04	0.05	0.06	0.05			
Ti	0.02	0.016	0.02	0.02	0.01	0.01		0.008
Cr		0.009						0.003
Fe ²⁺	0.17	0.16	0.17	0.13	0.14	0.24	0.23	0.04
Mn	0.003	0.004	0.01	0.006	0.003			
Mg	0.87	0.87	0.85	0.90	0.87	1.73	1.70	0.023
Ca	0.83	0.87	0.90	0.87	0.89	0.01		0.69
Na	0.01		0.01	0.02	0.02			0.21
K				0.001				0.02
P								0.002

mg-value	0.78	0.79	0.80	0.81	
Al ^{VI} /Al ^{IV}	1.0	0.57	0.5	1.0	0.71

Легенда (Legend): 1–2 Vasići, 3. Lipa, 4–7 Šilopaj, 8. Vasići (Jović, 1989)

Базалт код коте Липа (552 m)

На локалитету 300 m јужно од коте Липа базалтна стена се јавља у виду блокова на површини од око једног ара. Макроскопски, стена је свежа, тамносиве боје са ретким мајдолама и шупљинама. На прелому је једра и компактна, а преломна површина иолушкољкаста. Према неким резултатима физичкомеханичких испитивања стена је

високе чврстоће и тврдоће. Спада у групу тешких и густих стенских варијетета па шта указују мала порозност и ушњање воље (< 1%).

Од фенокристалата запажају се моноклинични пироксен и потпуно трансформисани оливини. Основна маса је састављена од стакла, металичног минерала, микролита илапнокласа и пироксена. Њен садржај је око 74%. Стена има хипокристаласто-порфирску структуру.

Моноклинични пироксен. Његов садржај је око 18%. Јавља се у виду ситних и неправилних микролита у основној маси и у виду нешто крупнијих фенокристалата, величине највише до око 0,36×0,70 mm. Средња величина је око 0,15×0,34 mm. Најчешће су хипидиоморфни, а некад и правилних штапићастих форми.

Хемијски састав клинопироксена приказан је у табели 1 (анализа 3). Његова кристалохемијска формула је:



Према положају на квадрилатералном дијаграму за класификацију моноклиничних пироксена (Brown, 1967), пироксен са локалитета Липа припада диопсид-хеденберитском низу и пада у поље диопсида.

Оливин. Јавља се као фенокристал и на основу испитивања модалног састава његов садржај износи 2,5 %. Терзић и Милојковић (1967) наводе да према оптичким мерењима ($2V_x = 86-96^\circ$) одговара оливину који садржи 7-28 % Fe_2SiO_4 . При нашим испитивањима свез оливин није пронађен. Пресеци трансформисаних фенокристалата су углавном ксеноморфни, ретко хипидиоморфни или идиоморфни. Најчешће трансформације су у серпентин, металични минерал и хлорит.

Плагиоклас. Јавља се углавном у основној маси у виду слабо издиференцираних микролита. Оптичка проучавања су показала да плагиоклас садржи 60-65 % анортитске компоненте што би одговарало лабрадору (Терзић и Милојковић, 1967).

Мегакрични минерал. Јавља се у веома ситним хипидиоморфним до идиоморфним пресецима у основној маси. Продукти трансформације нису присутни. Највеће зрно је димензија 0,03×0,04 mm.

Од секундарних минерала заступљени су глиновита материја и серпентин као продукти трансформације оливина.

Базалт на изворишту Шилопајске реке

Око два километра јужно од коте Липа (552 m) налази се извориште Шилопајске реке (тзв. Игрутшковића извор) у црној базалтној стени. Преко базалта лежи слој, дебљине око 3 m, од мешавине пирокластичног и материјала околних стена. У њему се запажају фрагменти (пречника 5-10 cm) алевролита, несковитих алевролита, измењених земљастих материјала налик на пљаку, итд. Идући уз јаругу, базалт се губи после 100-150 m из њеног дна, а појављују се пескови и глине, горњег миоцена. Даље може се пратити у левој обали при самој површини терена, а након 20-30 m нестаје под хумусним слојем.

Лучење базалта је неправилно до псеудоплочно. Базалтна стена је једра и афанатична, а ретко се могу запазити нешто крупнији фенокристали оливина. Понеде на свежем прелому јављају се беличасти ксенолити неправилних до округластих облика, пречника до 3 mm.

Од фенокристалата најчешће се јавља моноклинични пироксен, оливин је знатно подређенији, а плагиоклас се запажа веома ретко. Основна маса (око 80 % стене)

изграђена је од преовлађујућег стакла, микролита мопоклиничног пироксена, металичног минерала, ретког плагиокласа и веома ретког лискуна (биотит или флогошит) као споредног минерала. Степа има хипокристаласто–порфирску структуру.

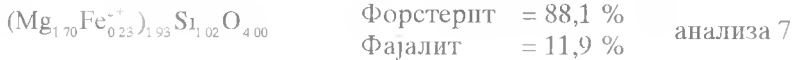
Моноклинични пироксен. Његов садржај варира од 12 до 16 %. Јавља се у виду хипидноморфних и идиоморфних пресека. Величина варира од $0,04 \times 0,12$ до $0,12 \times 0,30$ mm.

Хемијски састав клинопироксена приказан је у табели 1. Њихове кристалохемијске формуле су:



И један и други пироксен припадају диопсид–хеденбергитском низу. На квадрилатералном дијаграму (Brown, 1967) падају у подручје диопсида.

Оливин. Његов садржај варира од 0,5 до 3,0 %. Јавља се у хипидноморфним и идиоморфним пресецима величине од $0,2 \times 0,6$ до $0,7 \times 1,7$ mm (средња величина $0,5 \times 0,9$ mm). Углавном је свеж, а јавља се и у делимично трансформисаним фенокристалима. Продукт трансформације је серпентин, ретко и глиновито–гвожђевига материја. Хемијски састав оливина приказан је у табели 1 (анализе 6 и 7). Њихове кристалохемијске формуле су:



Плагиоклас се јавља веома ретко. Углавном су то приткасти пресеци уједначене величине. Димензије варирају од $0,01 \times 0,09$ до $0,04 \times 0,2$ mm. Полисинтетичке близне ламеле слабо су развијене.

Металчни минерал је споредан састојак и налази се у веома ситним зрнима различитих облика. Равномерно је распоређен свуда у основној маси. Ретко гради неправилна нагомилања. Његов садржај у стени је око 0,5%.

Секундарни минерали су веома ретки и јављају се као продукти трансформације фенокристала оливина и пироксена. То су серпентин и хлорит. Ретко се запажају округласте форме налик на мандоле до око 0,45 mm у пречнику које су испуњене хлоритом.

Ксенокристали Углавном су то зрна кварца неправилног, угластог облика. Величине су од $0,10 \times 0,15$ до $0,50 \times 0,75$ mm, запажен је и ксенолит плагиокласа. Према модалном испитивању њихова заступљеност је < 1%.

Хемизам базалта

Резултати хемијских испитивања базалтних стена Рудника приказани су у табели 2. Анализе 5, 7 и 10 су преузете од других аутора и приказане су ради поређења.

Садржај силиције у базалтима Рудника варира од 44,24 до 47,15 %. Нешто већи садржај силиције у узорцима 4 и 8 у односу на остале узорке може се довести у везу са присуством већег броја ксенокристала кварца. У њима је утврђено и присуство нормативног кварца. Анализа 2 представља твф базалтног састава, који се одликује нижим садржајем силиције, магнезије, калције и натрије, а повишеним садржајем алуминије.

Резултати хемијских испитивања стена указују и на промениљив степен алтерације који је изражен односом $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ и садржајем волатила. Садржај CO_2 износи до 1.81%, а садржај везане воде варира у широком интервалу – од 0.41 до 4.40%.

Табела 2. Хемијске анализе базалта Рудника.

Table. 2. Chemical analysis of basalts from Rudnik Mt.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	44,24	40,26	44,38	46,28	45,40	44,67	45,67	47,15	45,95	44,28
TiO_2	0,72	0,86	0,68	0,72	1,30	0,55	0,54	0,80	0,78	0,65
Al_2O_3	17,17	17,91	15,63	11,91	16,85	13,94	13,12	15,58	13,94	14,95
Fe_2O_3	3,39	5,14	4,29	7,29	3,65	5,06	6,12	4,54	4,85	4,65
FeO	5,59	6,31	5,30	5,09	3,01	5,23	6,21	5,23	5,16	4,25
MnO	0,15	0,14	0,15	0,18	0,18	0,13	0,03	0,20	0,12	0,25
MgO	7,96	7,86	7,96	8,09	8,97	9,90	9,86	8,48	10,10	8,92
CaO	10,93	7,71	11,21	10,68	11,22	10,79	10,18	10,11	9,79	9,83
Na_2O	1,38	0,81	1,46	1,69	2,45	2,00	2,04	2,11	3,45	4,72
K_2O	2,00	2,00	1,80	0,84	1,69	1,11	1,82	0,85	0,91	1,36
P_2O_5	0,41	0,28	0,37	0,57	0,62	0,47	0,73	0,64	0,60	0,72
H_2O^+	2,77	4,40	3,64	4,25	1,69	3,83	2,81	3,63	2,98	0,41
H_2O	2,61	4,79	2,11	0,69	1,06	1,61	0,69	0,94	0,86	4,21
CO_2	0,61	1,68	1,18	0,32	1,81	0,29	0,00	0,55	0,11	0,63
ΣLoss	99,93	100,15	100,16	99,50	99,90	99,58	99,82	99,81	99,60	99,83

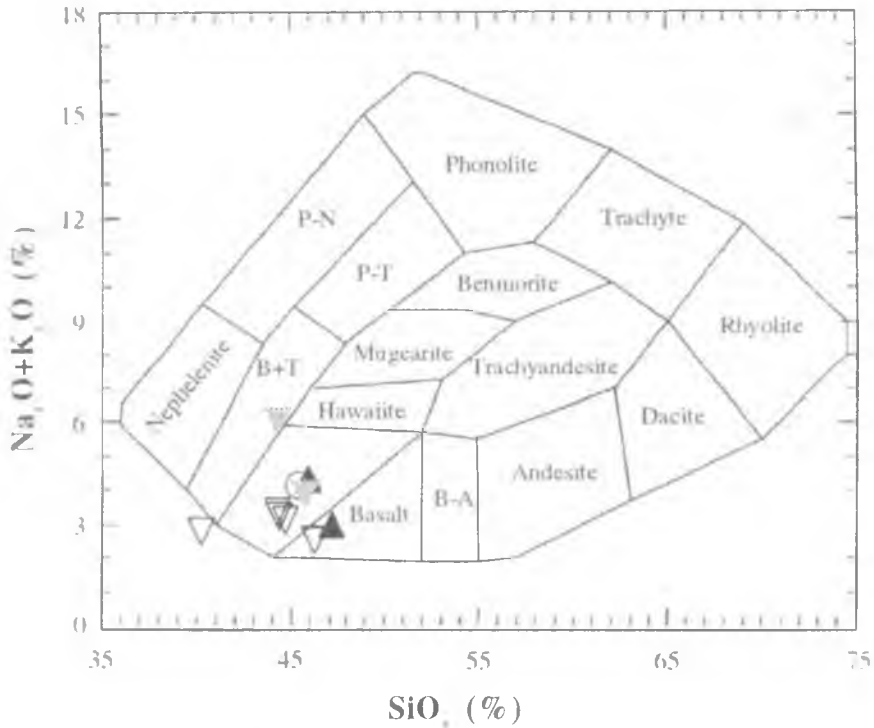
Легенда (Legend):

- Остењак на падини, засеок Васићи, село Мутањ.
The outcrop on the slope, The Vasići hamlet, The Mutanj village.
- Пресек пута и потока на падини, засеок Васићи, село Мутањ.
The cross of road and stream on the slope, The Vasići hamlet, The Mutanj village.
- Извориште потока испод гробља, засеок Васићи, село Мутањ.
At the spring of stream below a cemetery, The Vasići hamlet, The Mutanj village.
- Испод кварцлатитског остењака, засеок Васићи, село Мутањ.
Below quartz latite outcrop, The Vasići hamlet, The Mutanj village.
- Остењак на падини, засеок Васићи, село Мутањ (Јовић, 1989).
The outcrop on the slope, The Vasići hamlet, The Mutanj village (Jović, 1989)
- 300 m јужно од коте Липа (552 m).
300 m south from the Lipa peak (552 m)
- Базалт са Липе (Терзић и Милојковић, 1967).
Basalt from Lipa (Terzić and Milojković, 1967)
- Дно потока испод остењака, извориште Шилопајске реке.
The stream bottom below the outcrop, The Šilopaj river.
- Остењак изнад извора, извориште Шилопајске реке.
The outcrop above the spring, The Šilopaj river.
- Базалт из Шилопајске реке (Терзић и Милојковић, 1967).
Basalt from the Šilopaj river (Terzić and Milojković, 1967)

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Иако резултати хемијских испитивања показују да је садржај укупних алкалија низак, већина анализираних узорака пада у поље алкалних базалта, а мањи број у поље базалта (сл. 2). Једино је узорак базалтског туфа извај дијаграма.

Изразита доминација клинопроксеиа у односу на ољвин, као и високе вредности Al^{VI}/Al^{IV} у клинопроксенима (0.5–1.0) говоре о стварању при високим притисцима. Наиме, према Aoki & Kushiro (1968) и Wass (1979) високи однос Al^{VI}/Al^{IV} (0.63–1.00) указује на кристализацију у условима високих притисака. По хемизму одговарају ли-



Легенда (Legend):

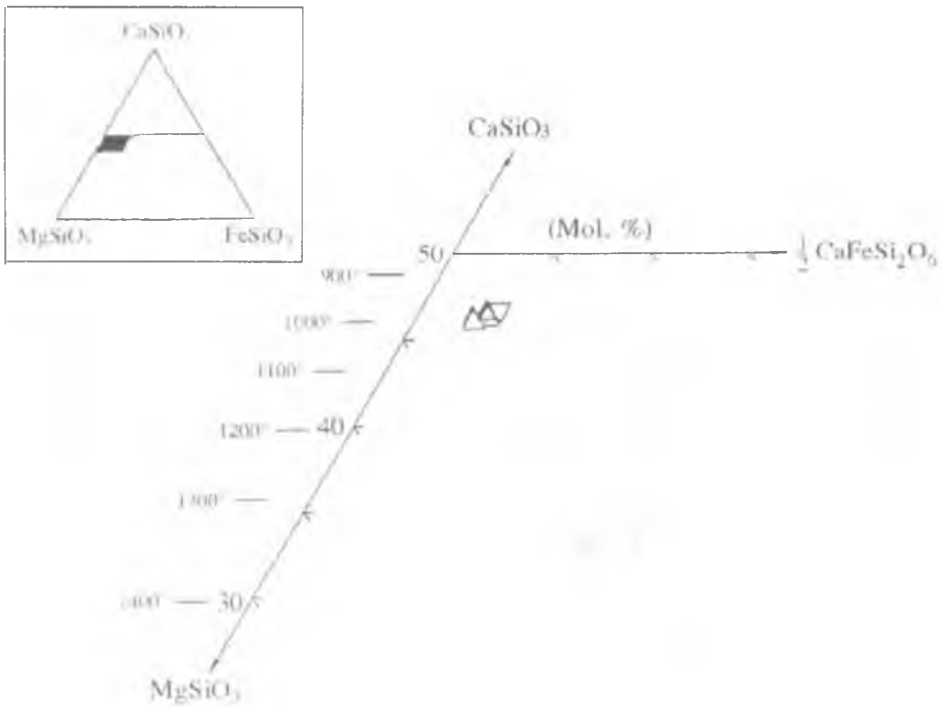
- ▽ – Базалт из засеока Васићи
Basalt from hamlet Vasići
- ▲ – Базалт из изворишта Шилопајске реке
Basalt from Šilopajska river spring
- ⊗ – Базалт из засеока Васићи и изворишта Шилопајске реке
(Терзић и Милојковић, 1967)
Basalt from hamlet Vasići and Šilopajska river spring
(Terzić and Milojković, 1967)
- – Базалт из засеока Васићи (Јовић, 1989)
Basalt from hamlet Vasići (Jović, 1989)

Сл. 2. $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ класификациони дијаграм за вулканске стене (према Cox et al. 1979)

Fig. 2. $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ classification and nomenclature diagram for volcanic rock (modified from Cox et al. 1979).

опсиду са средње високом mg -вредношћу (0.78–0.81), која указује на слабију фракционацију. Температура кристализације диопсида је, према дијаграму који су предложили Boyd & Nixon (1973), између 950–1000 °C (сл. 3).

Садржај форстеритске компоненте у оливинима са изворишта Шилопајске реке је 87.4 и 88.1%. Они су по саставу најближи оливинима из перидотита лерзолитске и харцбургитске зоне централних и унутрашњих Динарида. Према начину појављивања и хемизму вероватно су ксенокристали.



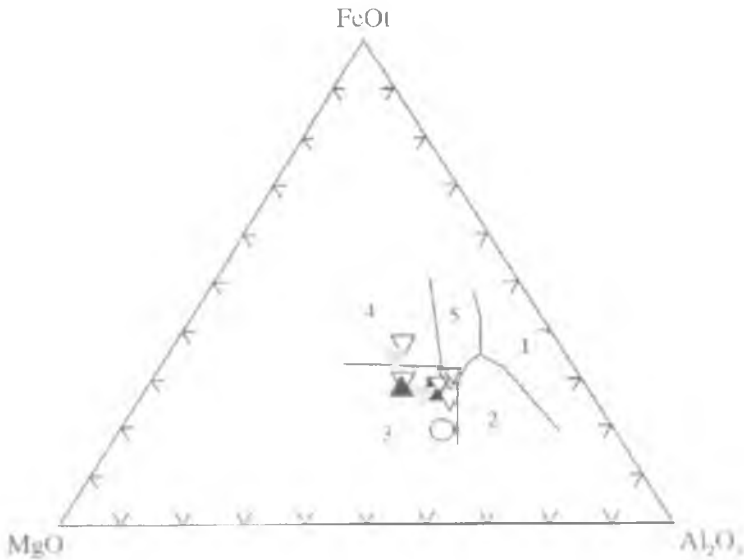
Сл. 3. Део квадрилатералног дијаграма (Boyd and Nixon, 1973) за моноклиничне пироксене Рудника са температурама кристализације.

Fig. 3. A part of quadrilateral diagram (Boyd and Nixon, 1973) for monoclinic pyroxenes of Rudnik with temperature of crystallization.

Иницијална магма која је дала рушичке базалте погиче из дубина које су блиске дубинама из којих воде порекло лерзолитски ултрамафити Динарида и Вардарске зоне. На површину је доспела брзо уз минималну контаминацију и фракционацију. На тектономагматском дискриминационом дијаграму (Pearce et al. 1977) базалти Рудника одговарају базалтима океанског гребена, а само један узорак пада у поље базалта океанских острва (сл. 4).

Осим тога, знатно већа заступљеност микрофенокристала пироксена у односу на оливин, садржај и начин појављивања састојака, разлике у хемизму појединих стенских варијетета у садржају силиције и алкалија, указују на процесе мешања и не би их гребало приписивати контаминацији или фракционацији. Највероватније да је дошло до непотпуног мешања сепаратних продуката парцијалног стапања на нивоу ликвидуса. Стакласта и хинокристаласта основна маса ових стена указује да се лава веома брзо хладнла. Ерупција је, по свему судећи, била фреатомагматског карактера.

О старости рудничких базалта писао је Апђелковић (1956). Он је сврстао базалтни вулканизам у четврту, последњу фазу вулканске активности горњоплиоценско-делувјалне старости. О старости и фазама терцијарног магматизма на простору наше земље детаљније је писао Кагамата (1962). Он је сматрао да су при крају неогена, делом и у квартару избиле на површину младе магме базалтоидног састава. Њихови доводни канали су биле исте дислокационе зоне дуж којих су угиски вапе и старије гранодиоритске магме, па се зато младе базалтоидне стене обично јављају просторио удружене са дацито-андезитима.



Сл. 4. $MgO-Al_2O_3-FeO$ тектономагматски дискриминациони дијаграм за базалте Рудника. 1. Базалти са центрима ширења острва. 2. Орогени базалти. 3. Базалти океанских гребена. 4. Базалти океанских острва. 5. Континентални базалти (Pearce et al. 1977). Легенда као на слици 2.

Fig. 4. $MgO-Al_2O_3-FeO$ Tectonomagmatic discrimination diagram for basalts from Rudnik Mt. 1. Spreading Centre Island. 2. Orogenic. 3. Oceanic Ridge. 4. Ocean Island, 5. Continental (after Pearce et al. 1977). Legend is the same as in Fig. 2.

Проучавајући хронолошки развој терцијарног магматизма у подручју Шумадије, Раџковић (1976) закључује да је магматски циклус у овој области почео субаерским ерупцијама вулканског пепела у претортонским седиментима. Највеће развиће овај магматски циклус достигао је највероватније крајем тортона, када су биле образоване највеће масе пирокласичних стена у Шумадији. Аутор даље претпоставља да је крај овог магматског циклуса обележен мањим појавама базалта на Руднику. Према налазима палеофлоре и микрофауне седименти горњомиоценовачког басена одговарали би слатководним еквивалентима тортона.

На основу наших тереских истраживања утврђено је да базалти у засеку Васахи и у изворишту Шилопајске реке леже преко горњомиоценовачког басена. То значи да су млађи од тортона, односно да су плиоценске или квартарне старости.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk.	61	1	369-388	Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997
--	----	---	---------	---

UDC 552.1:552.323.5(497.11)

Original scientific paper

PETROLOGIC AND PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TERTIARY BASALTS OF RUDNIK MOUNTAIN (SERBIA)

by

Milivoje Jovanović* and Vidojko Jović**

Basalts were registered in three localities on the Rudnik Mountain: in the Vasići hamlet (the Mutanj village), 300 m south from the Lipa peak (552 m) and at the source of the Šilopaj river. According to their geologic position the age of these rocks were determined as posttoronian.

Basalts consist of phenocrysts of monoclinic pyroxenes, rarely of olivine and plagioclases, and the ground mass contains monoclinic pyroxenes, glass, opaque mineral, and rarely plagioclases. The content of major elements shows that basalts are of alkalic, mostly potassic character. The ratio Al^{VI}/Al^{IV} in monoclinic pyroxenes indicated their formation under conditions with high to medium pressure. According to chemical composition of these pyroxenes it concluded that they were formed at 950–1000°C.

Key words: basalt, monoclinic pyroxene, olivine, plagioclase, chemical composition, calc-alkalic magma, posttoronian age.

INTRODUCTION

In the Vardar zone 25 occurrences of Tertiary basaltoid rocks were established. On the Rudnik Mountain these rocks were found at three sites: in the Vasići hamlet (the Mutanj village), 300 m south from the Lipa peak (552 m), and at the spring of the Šilopaj river.

In comparison with the other volcanic rocks on Rudnik Mountain, basalts are less abundant and little studied (Dimitrijević, 1938; Terzić and Milojković, 1967). In these published articles it described their position in the field, microscopic characteristics of their major minerals and chemical analysis.

During making of the Basic geological map of Yugoslavia basalts were mentioned, but not more then it was known before that: On the map they were assigned as a small occurrence in quartz latites of lamprophyric appearance, which does not correspond to their real position and abundance. Among contemporary investigators who studied in deta-

*Institute IMS d.d., Bulevar vojvode Mišića 43, Belgrade.

**Faculty of Mining and Geology, Džušina 7, Belgrade.

ils basalts of Rudnik Mountain it should be mentioned Jović (1989, 1990, 1992) and Jovanović (1995).

Jović has been studied the weathering of basalts, their position and abundance of three occurrences in the Mutanj village. He described in details the outcrop on the slope between the Lipa peak (552 m) and the spring of Usovača stream, petrographic characteristics, chemical composition of major minerals, as well as of fresh and various weathered basalts.

Jovanović described in details petrologic and petrochemical characteristics of basalts from Rudnik and Kopaonik Mountain.

SAMPLES AND METHODS

During the detailed field investigations of three occurrences of basalts on the Rudnik Mountain about 20 samples were collected. Chemical analysis of samples were made by standard wet procedure in the laboratory of the Institute IMS in Belgrade. Chemical composition of minerals is obtained using electron microprobe ARL-SEM-Q. Each grain is analyzed in three to five points, and the chemical composition of grain is obtained as average value of all measurements. These analysis were made in the National Museum of Natural History – Smithsonian Institution (Washington D.C.).

Basalt in the Vasići hamlet

The outcrops of basalts are located about 100 m below the road which stretches along the ridge with the Lipa peak, in the spring of Usovača stream (it flows through the Mutanj village to the north, and in the west several ten-meters below the quartz latite outcrop. Dimensions of outcrop below the road on the ridge are 2×3 m, and height about 2 m.

All three occurrences of basalts which Dimitrijević (1938) described are presented on the geological sketch (Fig. 1). Blocks of basalts found 300 m south from the Lipa peak probably belong to the flow in the Vasići hamlet, and therefore they are so presented on the map. The biggest occurrence of basalt is located in the Vasići hamlet. It extends from the Lipa peak (552 m) to the spring of stream which flows through the Mutanj village to the north. On some places, in the upper parts of the stream, the contact between the Upper Miocene sediments lying below and basalt is very clear. The mode of appearance of basaltic rock in the stream spring and its relationship to sediments refer to the head of basaltic flow ending there, on topographical lowest point. It means that basaltic lava flew over already formed relief, from the highest point, somewhere around the Lipa peak, to the east and north-east.

The vein, 5 m thick and with SSW-NNE direction, found at the road (Terzić and Milojković, 1967), the outcrops below the road and blocks 300 m south from the Lipa peak probably mark the supply channel (Fig. 1).

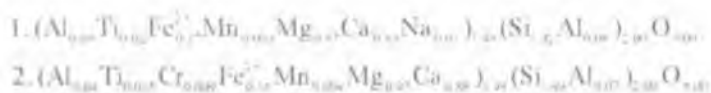
Basalt from the Vasići hamlet is of dark grey and black colour. On the outcrops it shows massive, amygdaloidal, spheroidal and platy structure. Basalt from this locality is characterized by uniquely appearance of fluid in partly filled cavities. This appearance is established in parts of rock mass which do not direct exposed to surface influence. If a such cavity occurs during the rock fracture, then fluid spreads on the surface and evaporates very quickly. The evaporation of fluid is faster than in the case of water. The content

of fluid is low to be collected and depends on the size of free space in the cavities. The amygdales are mostly rounded, up to 3 mm in diameter, but rare larger ones (up to 5 mm) are of irregular, discoidal and rarely spindle-shaped forms.

After optical investigations it was established that samples of basalts are of similar mineral composition, and some differences occur in the content of amygdales, too.

As phenocrysts occur monoclinic pyroxene, olivine and plagioclase. A ground mass is dominant and its content varies from 76 to 87 %. It consists of microlites of pyroxenes, very small grains of opaque mineral (<0.02 mm), but microlites of plagioclases are very rare. Texture is hypocrystalline-porphyric with glomeroporphyric and cumulophyric elements.

Monoclinic pyroxene. Its content varies from about 2 to 12 %. It occurs in hypidiomorphic and idiomorphic forms of different size. The biggest phenocryst is of size 0.4×0.5 mm (the average size 0.24×0.37 mm). Results of chemical investigations of pyroxenes are presented in Table 1, and their crystallochemical formulae are:



On quadri-lateral diagram for classification of monoclinic pyroxenes (Brown, 1967) the studied pyroxenes are in the field of diopside.

Olivine. Its content in basalt varies from 0.3 to 3.7 %. It mainly occurs as completely transformed phenocrysts with a size from 0.30×0.35 to 0.4×1.2 mm (the average size 0.4×0.7 mm). The most often phenocrysts are of hypidiomorphic shapes, rarely idiomorphic ones. The products of transformation of olivine are serpentine and clay substance.

Plagioclase. It presents mainly as microlite in the ground mass, and very rare in some larger microlites – microphenocrysts. In some parts of the flow it is difficult to distinguish plagioclase from pyroxene. Jović (1989) gave the chemical analysis of plagioclase from the outcrop located 100 m below the road leading across the Lipa peak to the Mutanj village. Chemical composition of plagioclase is presented in Table 1 (analysis 8) and its crystallochemical formula is:



- Anorthite = 76,6 %
- Albite = 21,4 %
- Orthoclase = 2,0 %

According to obtained data plagioclase corresponds to bytownite, and it is in agreement with normative composition after chemical analysis of rock (about 74 % anorthite).

Opaque mineral. Its content varies from 0.2 to 0.5 %. It occurs in very small irregular to hypidiomorphic forms in ground mass. It uniform disseminated in the rock. Smaller irregular accumulations with size up to 0.09×0.15 mm are rare.

Secondary minerals. These are clay substance and serpentine, as products of transformation of olivine. Beside them, smaller accumulations of calcite, mainly of irregular shape and size occur in ground mass. The content of secondary minerals varies from 1.1 to 3.4 %.

Amygdales. The content of amygdales in the flow in the Vasići hamlet varies from about 1 to 9.4 %. They are the most abundant in the outcrop on the slope 100 m below the road which leads across the Lipa peak (552 m), in the right branch of the stream flowing to the north (to the Dobrokovac village). The most common minerals filled amygdales are calcite, chlorite, zeolite (analcime), pyrite, as well as fluid observed only in partly filled amygdales in the samples of basalt at the outcrop.

Xenoliths. The highest content of xenoliths (2.1 %) is established in the northeastern part of the flow in the Vasići. They are mainly of irregular, angular shape and various size. The largest observed xenolith is quartz with size 0.8×3 mm. Beside this, it was found xenocryst of plagioclase in the same sample, as well as in sample south from the Lipa peak. Compositions of surrounded and lying rocks, as well as the degree of corrosion of xenoliths, refer to their capture near surface or on surface by lava.

Basalt at the Lipa peak (552 m)

On the site 300 m south from the Lipa peak basaltic rock occurs in blocks covering the surface of approximately a hundred square meters. Macroscopic, the rock is fresh, dark-grey colour with rare amygdales and cavities. Its fracture is solid and compact, and a fractured surface is half-shell-shaped. According to some results of physico-mechanical investigations the rock is characterized by high hardness and firmness. It belongs to the group of heavy and dense rock types because of its low porosity and absorption of water (<1 %).

As phenocrysts monoclinic pyroxene and completely transformed olivine occur. A ground mass consists of glass, opaque mineral, microlites of plagioclases and pyroxenes. Its content is about 74 %. The rock is characterized by hypocrystalline-porphyrific texture.

Monoclinic pyroxene. Its content is about 18 %. It occurs as small and irregular microlites in a ground mass and in larger phenocrysts with size up to 0.36×0.70 mm. The average size is 0.15×0.34 mm. They are the most often of hypidiomorphic shape, and sometimes of regular sticky shape.

Chemical composition of clinopyroxene is presented in Table 1 (analysis 3). Its crystallochemical formula is:



According to the position on quadri-lateral diagram for classification of monoclinic pyroxenes (Brown, 1967), pyroxene from the Lipa belongs to the diopside-hedenbergite type and is in the field of diopside.

Olivine It occurs as phenocryst and after modal composition its content is 2.5 %. On the basis of optical measurements ($2V_x = 86-96^\circ$) Terzić and Milojković (1967) quoted that olivine contains 7-28 % Fe_2SiO_4 . During our investigations a fresh olivine is not found. Transformed phenocrysts are mostly xenomorphic, rarely hypidiomorphic or idiomorphic. The most common transformations of olivine are into serpentine, opaque mineral and chlorite.

Plagioclase. It occurs mainly in ground mass as slightly differentiated microlites. Optical investigations were shown that plagioclase contains 60-65 % of anorthitic compound corresponding to labradorite (Terzić and Milojković, 1967).

Opaque mineral. It occurs in very fine hypidiomorphic and idiomorphic forms in ground mass. Products of its transformation are not present. The largest grain is 0.03×0.04 mm.

Of secondary minerals clay substance and serpentine are present as products of transformation of olivine.

Basalt at the spring of the Šilopaj river

About 2 km south from the Lipa peak is the spring of the Šilopaj river (so called The Ig-rutinović spring) in black basaltic rock. Over basalt is a bed, 3 m approximately thick, consisting of mixture of pyroclastic material and surrounding rock material. Fragments (5–10 cm in diameter) of aleurolites, sandy aleurolites, altered earthy material like a slag, etc. were observed in it. Going along the ravine, basalt disappeared after 100–150 m from its bottom and there occur sand and clay of Upper Miocene. It can be followed farther in the left side near the surface, and after 20–30 m disappeared under humic cover.

Basalt is characterized by irregular to pseudo-platy jointing. It is solid and aphanatic rock. Some coarser phenocrysts of olivine are rarely observed. Somewhere on the fresh fracture occurs whitish xenoliths of irregular to rounded shape with diameter up to 3 mm.

The most common phenocryst is monoclinic pyroxene, olivine is subordinate and plagioclase occurs very rarely. Ground mass (about 80 %) consists of dominant glass, microlites of monoclinic pyroxenes, opaque mineral, rare plagioclase and very rare mica (biotite or phlogopite) as accessory mineral. The rock characterized by hypocrystalline–porphyric texture.

Monoclinic pyroxene. Its content varies from 12 to 16 %. It occurs in hypidiomorphic and idiomorphic shapes. Its size varies from 0.04×0.12 to 0.12×0.30 mm.

Chemical composition of clinopyroxenes is presented in Table 1. Their crystallochemical formulae are:



Both of clinopyroxenes belong to diopside–hedenbergite series. On quadri-lateral diagram (Brown, 1967) they lie in the field of diopside.

Olivine. Its content varies from 0.5 to 3.0 %. It occurs in hypidiomorphic and idiomorphic shapes with size from 0.2×0.6 to 0.7×1.7 mm (the average size 0.5×0.9 mm). It mainly fresh, but also occurs in partly transformed phenocrysts. Its product of transformation is serpentine, rarely iron–clay substance. Chemical composition of olivine is presented in Table 1 (analyses 6 and 7). Their crystallochemical formulae are:



Plagioclase occurs very rarely. It mainly presented stake-like shapes of uniform size. Its size varies from 0.01×0.09 to 0.04×0.2 mm. Polysynthetic twinning lamellae are weak developed.

Opaque mineral is present in very fine grains of various shape. It is uniform disseminated in a ground mass. Its irregular accumulations are rare. Its content in the rock is about 0.5 %.

Secondary minerals are very rare and they occur as products of transformation of phenocrysts of olivine and pyroxene. These are serpentine and chlorite. The rounded forms like amygdales up to 0.45 mm in diameter and filled with chlorite were rarely observed.

Xenocrysts. These are mainly grains of quartz of irregular, angular shape. Their size are from 0.10×0.15 to 0.50×0.75 mm. It also found the xenocryst of plagioclase. According to modal investigation their content is less than 1 %.

Chemistry of basalts

Results of chemical investigations of basalts from Rudnik Mountain are presented in Table 2. Analyses 5, 7 and 10 were taken from published articles by the other authors and presented here for comparison.

The content of silica in basalts from Rudnik varies from 44.24 to 47.15 %. Somewhat higher content of silica in samples 4 and 8 in relation to other samples could be connected with the presence of larger number of xenocrysts of quartz. In these samples were established the presence of normative quartz. Analysis 2 represents tuff of basaltic composition characterized by lower content of silica, MgO, CaO and Na₂O, and by higher content of alumina.

Results of chemical investigations show a variable degree of alteration of rock which can be expressed by ratio Fe₂O₃/FeO and content of volatile compounds. The content of CO₂ reaches 1.81 %, and the content of bound water varies in a broad range – from 0.41 to 4.40 %.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Although the results of chemical investigations show that the content of total alkalis low, most of analyzed samples lie in the field of alkali basalts and small number is in the field of basalts (Fig. 2). Only sample of basaltic tuff is out of diagram.

A distinct domination of clinopyroxene in relation to olivine, as well as high values of ratio Al^{IV}/Al^{VI} in clinopyroxenes (0.5–1.0) refer to their formation under high pressure. Namely, according to Aoki and Kushiro (1968) and Wass (1979) a high ratio Al^{IV}/Al^{VI} (0.63–1.00) means the crystallization under conditions of high pressure. After their chemistry they correspond to diopside with medium high mg-value (0.78–0.81), implying their weak fractionation. Temperature of crystallization of diopside is, according to the diagram proposed by Boyd and Nixon (1973), between 950–1000 °C (Fig. 3).

The content of forsteritic compound in olivines from the spring of the Šilopaj river is 87.4 and 88.1 %. According to the composition they are very close to olivines from peridotites of the Iherzolite and harzburgite zone in the Central and Inner Dinarides. After the mode of occurrence and chemistry they are probably xenocrysts.

Initial magma for the Rudnik basalts originated from the depth close to depths from which came Iherzolic ultramafics in Dinarides and the Vardar zone. Magma quickly reached the surface with minimal contamination and fractionation.

On the tectonomagmatic discrimination diagram (Pearce et al., 1977) basalts of the Rudnik correspond to basalts of oceanic ridges, and only one sample lies in the field of oceanic island basalts (Fig. 4).

Beside it, considerable higher abundance of microphenocrysts of pyroxenes in relation to olivine, the content and the mode of occurrence of minerals, the differences in the content of silica and alkali in particular rock varieties, refer to the processes of mixing and it should not be treated as a result of contamination or fractionation. It is the most probably fact that an incompletely mixing of separate products of partial melting on the liquidus level was happened. Vitrophyric and hypocrySTALLINE ground mass refers to very quickly cooling of lava. Judging by all, eruption was of freatomagmatic type.

On the age of the Rudnik basalt was written by Andjelković (1956). He classified basaltic volcanism to the fourth, last phase of volcanic activity of Upper Pliocene – Quaternary age. Karamata (1962) wrote in detail on the age and phases of Tertiary magmatism in Yugoslavia. He stated that at the end of Neogene, partly in Quaternary, young magmas of basaltoid composition reached the earth surface. Their supply channels were the same dislocation zones where older granodioritic magmas intruded, and therefore young basaltoid rocks usually occur together with dacito–andesites.

Studying chronological development of Tertiary magmatism in the Šumadija region Pavlović (1976) concluded that magmatic cycle in this area began with subaerial eruptions of volcanic ash in pre-Tortonian sediments. The biggest development of this magmatic cycle was happened at the end of Tortonian, when the largest masses of pyroclastic rocks in the Šumadija formed. The author also supposed the end of this magmatic cycle was assigned with small occurrences of basalts on Rudnik. According to findings of paleoflora and microfauna sediments in the Gornji Milanovac Basin correspond to the Tortonian freshwater equivalents.

After our the field investigations it was established that basalts in the Vasići hamlet and at the spring of the Šilopaj river lie over the Upper Miocene sediments of the Gornji Milanovac Basin. It means that they are younger than Tortonian, e.g. they are of Pliocene or Quaternary age.

Translated by authors

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Анђелковић М. (=Andjelković), 1956: Стратиграфија и тектоника планине Рудника. Записници СГД за 1956. год. 89–95, Београд.
- Aoki K. and Kushiro I., 1968: Some clinopyroxenes from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel.— *Contrib. Mineral. Petrol.*, 18, 326–337.
- Boyd F. R. & Nixon P. H., 1973: Structure of the upper mantle beneath Lesotho. *Carnegie Inst. Washington Yearbook*, 72, 431–445.
- Brown G. M., 1967: Mineralogy of basaltic rocks. In: H. H. Hess and A. Poldervaart (eds.) *Basalts*. John Wiley, 1, 103–162, New York.
- Cox K. G., Bell J. D. & Pankhurst R. J., 1979: *The Interpretation of Igneous Rocks*. Allen & Unwin, London.
- Dimitrijević B., 1938: Pojave bazalta na Rudniku.— *Vesn. Geol. inst. Kralj. Jug.*, 6, 243–245, Београд.

- Jovanović M., 1995: Petrološke i geohemijske karakteristike bazaltoidnih stena Rudnika i Kopaonika. Magistarski rad, Rudarsko geološki fakultet, s. 112, Beograd (nepublikovano).
- Јовић В. (=Јовић), 1989: Геохемија биоесенцијалних микроелемената у процесима површинског распадања кредно-терцијарних вулканага Србије.– Докторска дисертација. Рударско-геолошки факултет. 380 стр., Београд (непубликовано).
- Јовић В. (=Јовић), 1990: Површинско распадање кредно-терцијарних вулканага Србије.– XII Конгрес на геолози на Југославија, 2. 278–289. Охрид.
- Jović V., 1992: Hemijsko raspadanje vulkanskih stena u Srbiji. I. Primena indeksa raspadanja. - Radovi Geoinstituta, 26, 231–244, Beograd.
- Karamata S., 1962: Tercijarni magmatiti Dinarida, njegove faze i njegove glavne petrohemijske karakteristike. Referati V savetovanja geologa Jugoslavije, 2, 137–148, Beograd.
- Pavlović Z., 1976: Hronološki razvoj tercijarnog magmatizma u području Sumadije. 8. jugoslovenski geološki kongres, 1, 231–244, Ljubljana.
- Pearce T. H., Gorman B. E. & Birkett T. C., 1977: The Relationship Between major element Chemistry and Tectonic Environment of basic and Intermediate Volcanic Rocks. Earth and Planetary Science Letters, 36, 121–132.
- Терзић М. и Милојковић Р. (=Terzić and Milojković), 1967: Базалтоидне стене Рудника Геол. ан. Балк. пол., 33, 309–318, Београд.
- Wass S. Y., 1979: Multiple origin of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks.– Lithos, 12, 115–132.