

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	377-390	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

УДК 552.313.8(497.115)

Оригинални научни рад

## ПИРОКЛАСТИТИ ВЛАХИЊЕ (КОСОВСКА МИТРОВИЦА): КАРАКТЕРИСТИКЕ И ГЕНЕЗА

од

Владице Цветковића<sup>\*</sup>, Емина Мемовића<sup>\*\*</sup> и Кристице Ресимић<sup>\*\*\*</sup>

У близини Косовске Митровице, код села Влахиња, испитивано је неколико добро откривених профила вулканокластита, који показују карактеристике једног средње експандираног пирокластичног тока вулканског пепела и пловућа. Резултати приказани у раду указују да је депоновање пирокластичне серије Влахиње извршено у виду две, времејски веома блиске јединице (flow unit) и то једног тока веома богатог везикуларним материјалом, насталог колапсом ерупционог стуба и другог, који је проузрокаван разарањем вулканског гротла и доспевањем сувље магме у ниво фрагментације и који одликује углавном чврст и непорозан јувенилни материјал. Према геохемијским особинама стене одговарају дацитоандезитској до кварцјатититској магми генерисаној у екстензионим условима након главне компресије.

**Кључне речи:** пирокластични ток, пловућац, еутакситна структура, елутријација, колапс ерупционог стуба, Влахиња, Косовска Митровица

### УВОД

Испитивање лавичних токова увек је привлачило већу пажњу српских геолога него бављење вулканокластичним стенама, мада су ово сигурно најзаступљенији продукти свих терцијарних вулканских комплекса Композитног терана Вардарске зоне (Karamata et al., 1994).

Неадекватно коришћење појмова, посебно оних везаних за проучавање наслага пирокластичних стена, често представља узрок што је највећи део наших вулканокластичних творевина, у погледу најважнијих карактеристика – начина фрагментације, механизма транспорта и одлагања, практично неистражен. Појава неких веома честих термина, као што су вулканска бреча или агломерат – пекад у петрографском, дескриптивном смислу, пекад с намером да укажу на извесне генетске одлике – неретко изазива погрешну интерпретацију литературних података.

Ова студија има за циљ да приказом резултата проучавања генезе пирокластита Влахиње, код Косовске Митровице, истакне неке посебне моменте који су везани за методологију истраживања терцијарних вулканских области. Нека изразита неслагања ранијих аутора у погледу карактера поменутих стена била су допунски

<sup>\*</sup> Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, Београд.

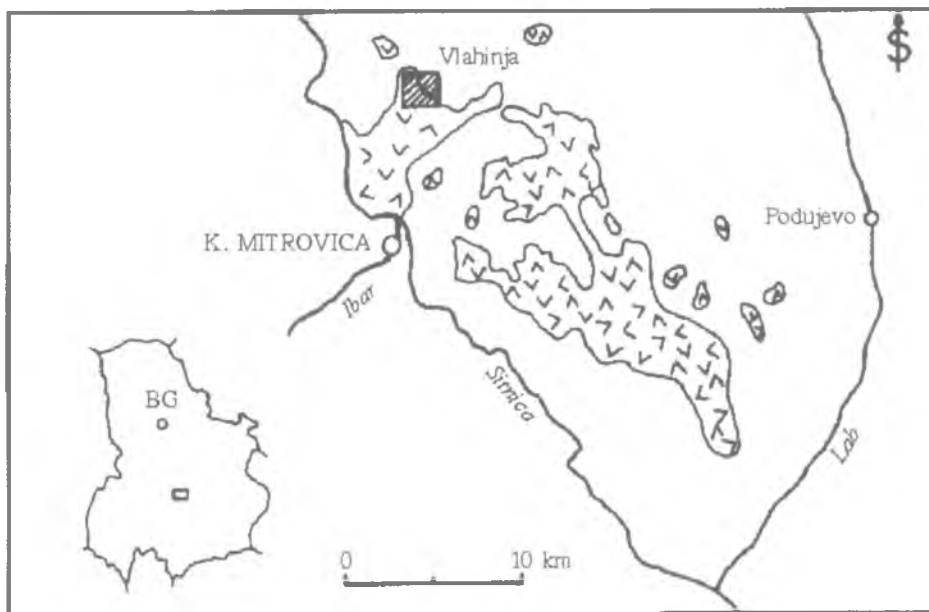
<sup>\*\*</sup> Рударско-металуршки факултет, Косовска Митровица.

<sup>\*\*\*</sup> Постојњска 11/4, 11210 Београд

разлог за пружање могућег модела активности касних еруптивних догађаја у области Копаоника.

## ГЕОЛОГИЈА ТЕРЕНА И РАИИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Око 7 km северозападно од Старог Трга и 15 km од Косовске Митровице (сл. 1), у близини села Влахиње, налази се неколико каменолома који су били експлоатисани током последњих 50 година. Ове појаве вулканита припадају копаоничкој магматској провинцији која је била подручје итеизивне еруптивне активности за време олигоцена и дела миоцена. Петрохемијске одлике, према Мићићу (1980), указују да састав стена варира од андезита до латита и кварцлатита уз обогаћење калијом у каснијим производима. Вулканска активност, по Пићу (1962) и Јовановићу и др. (1995), завршена је финалним стадијумом базалтног до андезитбазалтног састава. Коначно, постоје извесни докази да су то производи магми I-типа, генерисаних у екстензионим условима, након колизионе фазе и затварања Вардарског океана (Cvetković i dr., 1995).



Сл. 1. Распоред вулканских стена ширег подручја Косовске Митровице и положај пирокластичне серије Влахиње.

Fig. 1. Distribution of volcanic rocks of the Kosovska Mitrovica area and position of the pyroclastic series of Vlahinja.

Неколико аутора проучавало је вулканске стене Влахиње углавном с петрографског аспекта; они се, међутим, не слажу ни по питању састава ових пирокластита ни око њихове стратиграфске позиције унутар копаоничке вулканске сукцесије. Према Пићу (1962), они представљају андезитбазалте до базалте најкасније вулканске фазе, док их Мићић (1980) сматра производима који су претходили кварцлатитима неуспоредиво распрострањенијим на подручју Косовске Митровице.

## УЗОРЦИ И МЕТОДЕ

Примерци стена узети из различитих делова највећег каменолома пажљиво су очишћени, и, где је било могуће, из њих су издвојени фрагменти пловућца; да би се избегла контаминација узимани су у обзир само пловућци већи од 2×4 cm. Урађено је осам комплетних хемијских анализа (Рударско–геолошки факултет, Лабораторија за петрологију), као и анализа одабраних микроремената (рендгенофлуоресцентна анализа, аналитичар Т. Марченко, ИГЕМ РАН, Москва).

Исти узорци испитивани су и оптичким методама помоћу Федоровљевог универзалиог сточића, као и коришћењем интегратора Елтинор 4 за одређивање модалног састава.

## ПЕТРОГРАФСКЕ И ГЕОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Проучавање пирокластичне стене откривене су у неколико каменолома; највећи од њих, са отвореним профилем од 15×50 m, показује два дела, често без оштре границе, али који се разликују по структурним карактеристикама и компакцији стенске масе.

Табела 1. Хемијски састав пирокластита Влахиње.

Table 1. Major and selected trace element of the Vlahinja pyroclastic rocks.

wt%	Ž-1	Ž-1a	Ž-2	Ž-5	Ž-5*	Ž-7	Ž-7*	Ž-7a*
SiO <sub>2</sub>	53.58	63.06	56.34	56.72	62.26	57.38	63.18	57.84
TiO <sub>2</sub>	0.80	0.90	0.68	0.70	0.70	0.70	0.56	0.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.06	16.08	16.24	16.10	16.69	16.81	14.04	16.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.75	4.04	3.01	3.26	3.01	4.65	4.00	4.08
FeO	1.95	1.46	2.69	2.44	2.69	2.69	2.20	2.44
MnO	0.68	0.51	0.62	1.02	0.82	0.62	0.72	0.62
MgO	3.96	1.20	5.04	3.02	2.02	4.03	3.02	3.04
CaO	6.70	1.60	6.65	6.51	4.60	4.20	4.22	4.20
Na <sub>2</sub> O	2.45	2.51	3.00	2.70	2.70	3.00	3.10	3.60
K <sub>2</sub> O	2.45	2.43	2.52	2.52	2.25	3.50	2.80	2.90
F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94	0.84	0.54	1.03	0.72	0.30	0.15	0.80
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.63	1.01	0.44	0.65	0.36	0.65	0.18	0.44
H <sub>2</sub> O	4.30	4.79	2.56	3.77	2.16	2.06	1.90	2.50
Σ	100.25	100.43	100.33	100.44	100.90	100.59	100.07	99.26
ppm								
Zr	140	146	147	141	133	143	154	153
Nb	7	7	6	6	7	8	8	8
Y	29	31	26	23	29	27	33	35
Sr	487	544	562	525	453	614	618	603
Rb	73	74	77	72	76	60	78	72

Објашњење: Ж-1: фрагмент пропилитисаног андезита; Ж-1a: матрикс из горњег дела серије; Ж-2, Ж-5 и Ж-7: матрикс из доњег дела серије; Ж-5\*, Ж-7\*, Ж-7a\*: пловућци из доњег дела серије.

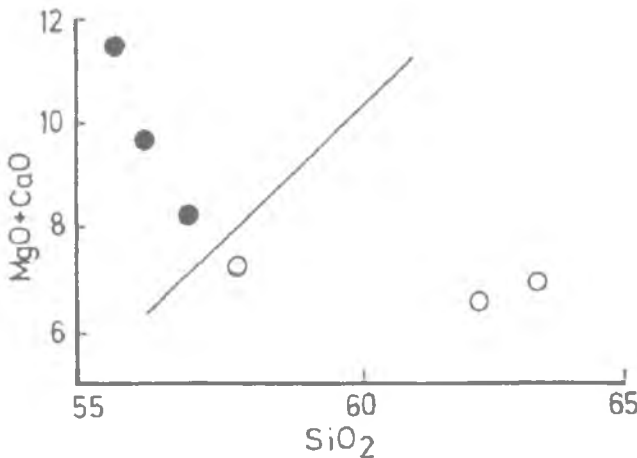
Explanation: Ž-1: fragment of propilitized andezite; Ž-1a: the matrix of the upper unit; Ž-2, Ž-5, Ž-7: the matrix of the lower unit; Ž-5\*, Ž-7\*, Ž-7a\*: pumice fragments from the lower unit.

Доња секвенца је дебела око 10 m. Стена је тамносиве или чак црне боје и подсећа на плочасто лучени базалт. На испраним павршинама, међутим, уочавају се бројни издужени и сочивасти светлосиви фрагменти пловућца, димензија од 0,5×1 cm до 4×10 cm.

Када су јако мали, одломци пловућаца су обично измешани са стакластим матриксом. Еутакситна структура је изражена и у микроскопском препарату у виду умерено до јако издужених фјама које се налазе у финозриом стопљеном витрокластичном материјалу. Изузев обogaћења фрагментима изломљених фенокристала, материјал матрикса показује састав сличан пловућцима, који су изграђени од угластих и углавном кородованих фенокристала плагиокласа (40% ап), ретко кварца и санидина ( $2B=30-40^\circ$ ), као и бојених састојака представљених измењеном хориблендом, биотитом и аугитом, окружених стакластом осивом. Слeплeни и повијени одломци стакла (glass shards), који често повијају око фенокристала плагиокласа, некада подсећају на текстуре течења неког екструзивног вулканита. Ова особина је у појединим примерцима неуочљива због процеса девитрификације.

Горња секвенца је дебљине око 5 m, при чему се њепа горња површина не може поуздано одредити. Стенска маса је много мање компактна, често грусификована и повремено показује кугласто лучење. Уочавају се одломци чврстих јувелилних фрагмената, обично изометричног облика и не већих од 5 cm, који су окружени стопљеним туфним матриксом. Фрагменти страног порекла, најчешће одломци старијих пропилитисаних андезита, ређе спилита и серпентинита, које је јувенилни материјал изнео из доводног канала (accessory lithics) или са површине (accidental lithics), значајно су заступљени у овом делу серије.

Хемијски састав одабраних примерака пирокластита Влахиње, приказан је на табели 1. Као што се запажа на сл. 2, фрагменти пловућаца одликују се вишим садржајем  $SiO_2$  а пижим садржајем  $CaO$  и  $MgO$  у односу на везивни материјал. Састав примерка Ж-1, међутим, показује одступање, јер представља одломак пропилитисаног андезита тј. ксенокласт из доњег дела вулканске серије.

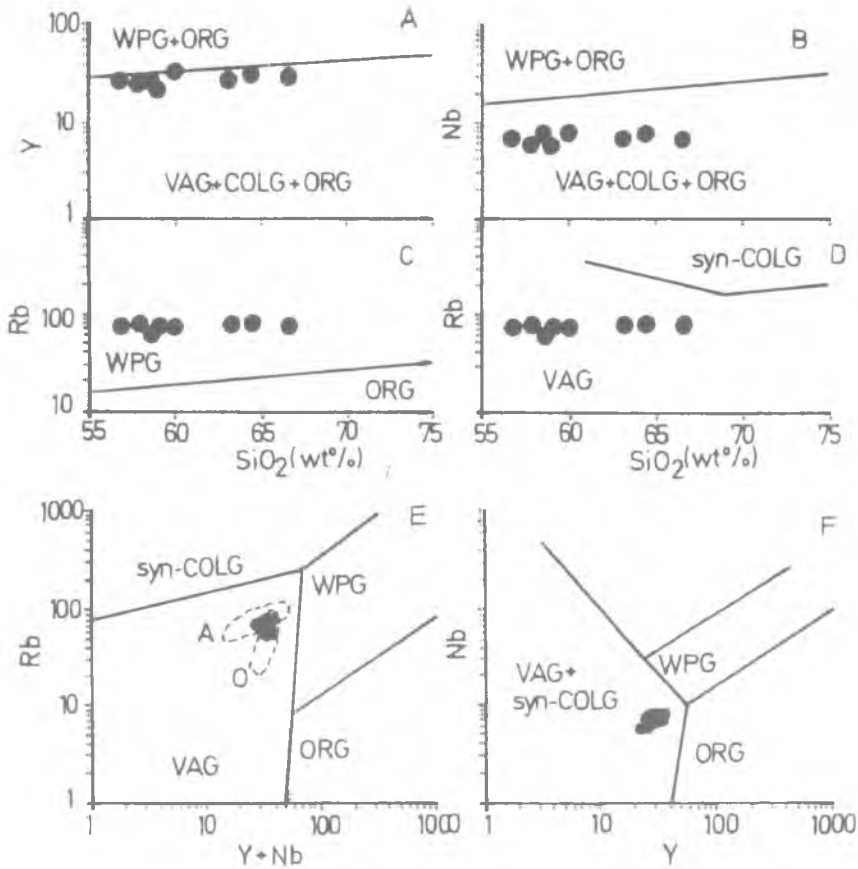


Сл. 2. Дијаграм односа садржаја  $SiO_2:MgO+CaO$  у пловућцима (празни кругови) и матриксу (пунни кругови) пирокластита Влахиње.

Fig. 2. Diagram of content ratios  $SiO_2:MgO+CaO$  of the pumice fragments (open circles) and the matrix (dotted circles) of the pyroclastic rocks of Vlahinja.

Ради одређивања геотектонског смештаја и порекла магме коришћени су стандардни дијаграми према Pearce et al. (1984), приказани на сл. 3 а-ф. На свим дијаграмима примећује се изразит прелазни карактер магме, што је значајно, ако се узме у обзир да одредба пост-колиззионих гранита представља један од најмање дефинисаних проблема у свим геохемијско-тектонским класификацијама. Дија-

грам Y+Nb:Y (сл. 3е), међутим, показује подударност геохемијских карактеристика исиитиваиох стена са типичним постколиззионим граиитима, Адамело–плутоном и гранитоидом Омана.



Сл. 3а-ф. Дискриминациони дијаграми геотектонског афинитета гранитоида на основу садржаја микроелемената (Pearce et al., 1984). А- SiO<sub>2</sub> (wt%):Y (ppm); Б- SiO<sub>2</sub> (wt%):Nb (ppm); Ц, Д- SiO<sub>2</sub> (wt%):Rb (ppm); Е- Y+Nb (ppm) и Ф- Y (ppm):Nb (ppm). Објашњење: WPG- гранити плоча, ORG- гранити океанских гребена, VAG- гранити вулканских лукова, COLG- колизциони гранити, syn-COLG- син-колизциони гранити, А- Адамело плутон, О- плутон Омана.

Fig. 3a-f. Diagrams of geotectonic setting determination (Pearce et al., 1984). A- SiO<sub>2</sub> (wt%):Y (ppm); B- SiO<sub>2</sub> (wt%):Nb (ppm); C, D- SiO<sub>2</sub> (wt%):Rb (ppm); E- Y+Nb (ppm) and F- Y (ppm):Nb (ppm). Explanation: WPG- within plate granites, ORG- ocean ridge granites, VAG- volcanic arc granites, COLG- collision granites, syn-COLG- syn-collision granites, A- Adamello pluton, O- granites of Oman and Masirah Island.

## ДИСКУСИЈА

Marshall (1935) (loc. cit. Fisher & Schmincke, 1984) је био први вулканолог који је приметио да су дебеле и распрострањене серије вулканита на Новом Зеланду, изглед веома сличне лавичним сливовима, уствари стопљени (welded) пирокластични, изграђени од ситних одломака стакла, пловућца и фенокристалата и

депоновани на високој температури. Од тог времена, велики број радова у свету тиче се баш творевина пирокластичних токова, њихових одлика и генезе, а свакако најзначајније систематике ове области геологије представљају књиге Fisher & Schmincke (1984) и Cas & Wright (1987).

Пирокластични карактер вулканских стена Влахиње први је приметио Мићић (1980) назвавши их "латитским игимбритима". Без генетских разматрања он је пажњу усмерио само на постдепазициони феномен слеplивања везикуларних фрагмената под притиском и на високој температури, тј. на еутакситну структуру. Исти аутор је све расположиве петрохемијске податке интерпретирао без осврта на специфичан начин генерисања и одлагања пирокластичних токова, баш као и Мић (1962), који је ове стене повезао са базалтима Матице.

Приликом разматрања генезе матерјала једиог наноса пирокластичног тока, какав је серија Влахиње, неопходно је сумирати све индикативне карактеристике које су обухвћене: геометријом наслага, њиховом грађом, карактером компонената, као и њиховим хемизмом и температуром депоновања.

### **Геометрија наслага**

Пирокластични Влахиње су на терену испољени у виду наноса знатне дебљине релативно на пружање, тј. као својеврсна акумулација стенског матерјала. Ово представља веома значајну карактеристику пирокластичних токова – да су увек најдебљи и најбоље сачувани у депресијама и увалама у рељефу, за разлику од "fall" пирокластичних творевина (вулканског матерјала експлозивно избаченог у ваздух), које најчешће граде топографске аивелопе дебљине углавном непромењиве у односу на рељеф терена.

### **Грађа наслага**

Грађа и склоп серије стена образованих одлагањем из пирокластичног тока одређена је присуством једне или више јединица различитог механизма фрагментације и течења (flow unit), односно температуре при смештању и тока хлађења (cooling unit).

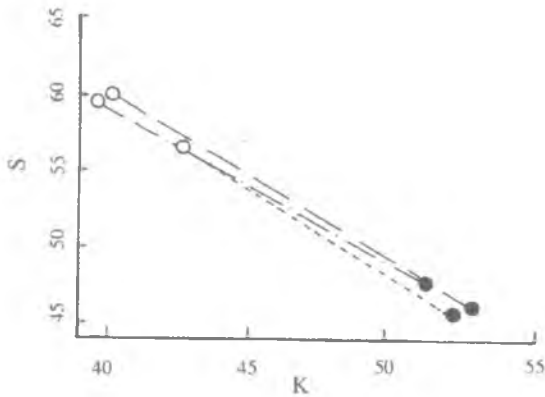
Испитивана пирокластична серија генерално се може поделити на доњи део компактније и често плочасто или полигонално лучене стеиске масе и горњу секвенцу, где је стеиски матерјал иешто растреситији и подложнији распадању.

Будући да интензитет стапања и слеplивања стаклстих фрагмената не показује зонарност или градацију у оквиру целе серије, реч је о једиственој историји хлађења. Материјалне разлике, тј. разлике у карактеру компонената доње и горње секвенце, указују, међутим, на битно друкчији карактер ерунције и природу фрагментације.

### **Карактер компонената и њихов хемијски састав**

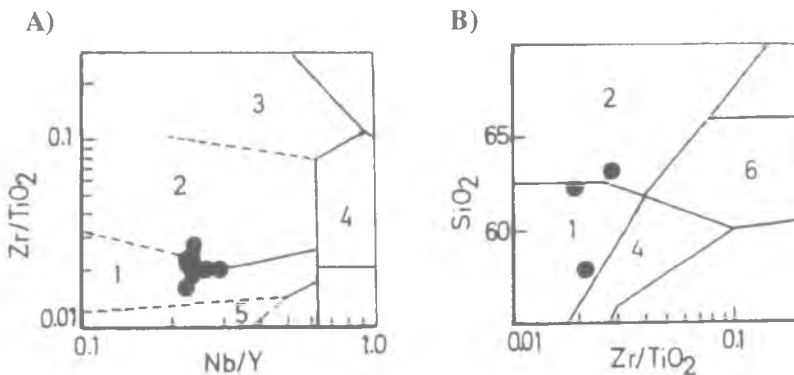
Стена доње секвенце показује класичну еутакситну структуру изграђену од колапсираних и збијених фрагмената пловућа величине лапила и од одломака фенокрстала смештених у стакломатриксу. Већ истакнуте хемијске разлике између пловућаца и везивног матерјала праћене су и њиховим различитим модалним саставом. На сл. 4 приказан је однос фенокрстала и одломака стакла у пло-

вућцима и матриксу који их окружује, при чему се примећује већа заступљеност одломака фенокрстала у околином везиву. Ова одлика је извапредно карактеристична за високо експандиране и топле токове пепела и пловућаца, насталих након тзв. прекинутог колапса ерупционог стуба (*interruption column collapse*). Помеиути процеси фракционације, проузроковане елутријацијом тј. издувавањем најфинијих одломака стакла током издизања ерупционог стуба а касније, након колапса, и током кретања пирокластичног тока, чине податке хемијског састава ирокластита веома тешким за интерпретацију.



Сл. 4. Дијаграм модалног састава пловућаца (празни кругови) и везивног материјала (пунци кругови) пирокластита Влахиње. Објашњење: К- одломци кристала, С- стакласти матрикс.

Fig. 4. Diagram of modal composition of the pumice fragments (open circles) and the matrix material (dotted circles) from the Vlahinja pyroclastic rocks. Explanation: K- the phenocrysts fragments, S- the glassy matrix.



Сл. 5а,б. Дијаграми хемијске класификације вулканита  $Nb/Y$  (ppm): $Zr/TiO_2$  (ppm) (А) и  $Zr/TiO_2$  (ppm): $SiO_2$  (wt%) (Б) према Winchester & Floyd (1977). Објашњење: 1- Андезити, 2- Риодацити/дацити, 3- Риолити, 4- Трахиандезити, 5- Андезити/базалти, 6- Трахити.

Fig. 5a,b. Diagrams of chemical classification of volcanic rocks  $Nb/Y$  (ppm): $Zr/TiO_2$  (ppm) and  $Zr/TiO_2$  (ppm): $SiO_2$  (wt%) (B) after Winchester & Floyd (1977). Explanation: 1- Andesites, 2- Rhyodacites/dacites, 3- Rhyolites, 4- Trachyandesites, 5- Andesites/basalts, 6- Trachytes.

Материјал горње секвенце изграђен је од чврстих и непорозних јувенилних лапила у упечатљиво преовлађујућем матриксу (*open-framework fabric*). Поред тога, значајан део грубог детритичног материјала чине и одломци страног порекла тј. старијих магматских стена.

Као што је већ истакнуто, хемијска класификација вулканских стена, када су у питању пирокластични производи, често је веома непоуздана. Ради што веродостојније одредбе коришћени су дијаграми Winchester & Floyd (1977) Nb/Y:Zr/TiO<sub>2</sub>, као и SiO<sub>2</sub>:Zr/TiO<sub>2</sub> и то само за анализирани фрагменти пловућа. Према резултатима приказаним на сл. 5 а, б пирокластични Влахиње одговарају прелазном пољу од андезита ка риодацитима и дацитима.

### Температура

Без података о термореманентном магматизму, који се дапас користе као веома поуздани геотермометри при испитивању пирокластита, постдепозиционе структуре слењивања и стапања, као и елементи плочастог до полигоналног лучења (претежно у доњој секвенци), остају једини показатељи релативно високе температуре при смештању, која је морала бити изнад 500°C.

### ЗАКЉУЧАК

1. Пирокластичне стене Влахиње одговарају производима веома специфичне и јединствене вулканске активности, дакле творевинама, које, ни просторно нити генетски, не морају бити повезане са наизглед сличним вулканитима копаоничке провинције. Као једини релевантан показатељ старости остаје чињеница да они леже преко пропицитисаних андезита, као и да често садрже уклонке ових стена, при чему њихов однос са кварцлатитима није утврђен.

2. Геохемијске карактеристике су показале да је примарна магма која је дала ове стене била дацитоандезитског састава са изразито прелазним геотектонским афиинитетом. Корелације са типичним пост-колизионим гранитима Адамело-плутона, и интрузијама Омана указује да су ови растопи генерисани у екстензионим условима, након главне колизионе фазе којом је крајем Мезозоица затворен Вардарски океан.

3. Пирокластична серија Влахиње састоји се из две, временски веома блиске, непосредно следеће јединице (flow units), које, према свим одликама, припадају јединственом еруптивном догађају.

Доњу јединицу изграђује слењен и колапсран иекада јако везикуларан материјал једног врућег и експандраног пирокластичног тока. Изразито обогаћење фенокрстала у матриксу у односу на пловућац указује да је ток настао после колапса ерупционог стуба. Након веома кратког периода мировања, услед доспевања порција значајно сувље магме, као и због проширивања вулканског гротла, генерисан је нови пирокластичан ток изграђен од непорозног сингенетског материјала са значајним учешћем већ очврслих комада разрушеног доводног канала (cognate lithics), као и фрагмената потпуно страног порекла (accidental/accessory lithics).

### ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је остварен у оквиру Пројекта ГЕОДИНАМИКА Српске академије наука и уметности. Аутор се захваљују Академику Стевану Карамати на помоћи и корисним сугестијама, као и Татјани Марченко (ИГЕМ РАН Москва) на анализма микроелемената и помоћи при њиховој интерпретацији.



Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	377-390	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

UDC 552.313.8(497.115)

Original scientific paper

## PYROCLASTIC ROCKS OF VLAHINJA (KOSOVSKA MITROVICA, SERBIA): SOME GENETIC ASPECTS

by

Vladica Cvetković<sup>\*</sup>, Emin Memović<sup>\*\*</sup> and Kristina Resimić<sup>\*\*\*</sup>

About 15 km Northwest from K. Mitrovica, near the Vlahinja village a well preserved pyroclastic series expresses all the principal features of a moderately expanded ash and pumice flow deposit, originated after an interrupted column collapse. According to presented data it consists of two close related flow units which have been successively emplaced under high temperature. Similar postdeposition structure e.g. unique welding evidences indicate their single cooling unit character. Geochemical data reveal dacitoandesitic to quartzlatitic magma generated during post-collisional geotectonic conditions.

**Key words:** pyroclastic flow, pumice, glass shards, eutaxitic, elutriation, crystal enrichment, flow unit, cooling unit, Vlahinja, Kosovska Mitrovica

### INTRODUCTION

During the last decades the study of volcanism in Serbian terrains has given more emphasis to the lava flows than to the fragmental rocks. On the other hand, all the Tertiary volcanic complexes within the Vardar Zone composite terrane (Karamata et al., 1994) have a great extent of silica saturated to oversaturated volcanoclastic rocks with subordinate subvolcanic intrusions and only minor lava flows.

Inadequate using of volcanological terminology, especially for pyroclastic rocks, has caused the most volcanoclastic rocks in Serbia to be unsatisfactory described and explained – above all considering fragmentation mode, transport and deposition patterns. Some terms as volcanic breccia and agglomerate, having not been accurately used e.g. once in petrographic sense, as a field description, but sometimes as a genetic name, have provoked frequent misunderstandings and wrong comprehension.

The aim of this study was to present some genetic aspects of the Vlahinja pyroclastic rocks emphasising specific methodology of investigation of volcanic successions and

<sup>\*</sup> Faculty of Mining and Geology, Džušina 7, YU-11000 Belgrade.

<sup>\*\*</sup> Faculty of Mining and Metallurgy, Kosovska Mitrovica.

<sup>\*\*\*</sup> Postojnska 11/4, YU-11210 Belgrade.

pyroclastic rocks especially. Some strong disagreements about the Vlahinja volcanic rocks also enforced this study to offer a possible model of activity of late eruptive events in the area of Kopaonik Mt.

## GEOLOGY AND EARLIER INVESTIGATIONS

About 7 km Northwest from Stari Trg and 15 km from Kosovska Mitrovica (Fig. 1), near the village of Vlahinja, there are several quarries that have been privately exploited during the last 50 years. These volcanics belong to the Kopaonik magmatic province, which was a place of an extensive eruptive activity during Oligocene and part of Miocene. The petrochemical features after Mičić (1980) reveal andesitic to latitic and quartzlatitic composition with a potassium enrichment of the later products, as well as, according to Ilić (1962) and Jovanović et al. (1995) a very final stage of volcanism of basaltic to basaltic andesite composition. There are also certain evidences of their origin from mostly I-type magmas originated in an extensional regime, after the main compressional events of the Vardar ocean closure (Cvetković et al., 1995).

So far several authors have studied the volcanic occurrences of Vlahinja from petrographical point; however, they do not agree neither about the composition nor their stratigraphic position within the Kopaonik volcanic succession.

## SAMPLING AND METHODS

Samples collected from different parts of the largest quarry have been carefully cleaned and, when possible, pumice fragments extracted. To avoid contamination only pumices larger than 4×2 cm were considered. Eight samples have been analysed on major (Faculty of Mining and Geology, Lab. of Petrology) and selected trace elements (Röntgenfluorescent analysis, T. Marčenko, IGEM RAN, Moscow).

The same samples were optically investigated using standard techniques including Fedorov universal stage as well as pointcounter Eltior 4 for modal composition determining.

## PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY

The studied pyroclastic rocks are best exposed in the biggest quarry, of a surface of about 50×15 m, displaying two parts of different textural and compactional properties but often without sharp boundary inbetween.

The lower section is about 10 m thick and due to darkgrey to even black colour and advanced welding processes, resemble a sheet jointed basaltic lava flow. On the slightly weathered surfaces, however, numerous elongated and lensoidal lightgrey collapsed pumice fragments, ranging from 10×4 cm to less than 1 cm, become clearly visible. When very small, they are usually more welded and tend to be intimately interlayered with the glassy matrix. The eutaxitic texture is also obvious in thin-section as moderately to strongly flattened pumice fiamme situated in a fine-grained welded vitroclastic matrix. Beside an enrichment of fractured phenocryst fragments the matrix material reveals similar features as the pumice lapilli i.e. angular and often fractured and embayed plagioclase (avr. 40% An), rare quartz and sanidine ( $2V=30-40^\circ$ ), as well as altered hornblende

( $2V = -68$ – $-76^\circ$ ;  $Ng:c = 11$ – $20^\circ$ ), biotite and augite ( $2V = 40$ – $60^\circ$ ;  $c:Ng = 37$ – $48^\circ$ ) phenocryst fragments lying in a glassy welded matrix. Distortion of stretched glass shards and molding against the plagioclase phenocrysts are recognisable and often simulates the flow texture of an extrusive volcanic rocks. Sometimes it is overprinted by devitrification of the glassy matrix.

The upper section is about 5 m thick but its cover can hardly be determined. The slightly grussified and less compacted rock mass here expresses an oblique jointing. Lacking eutaxitic texture, the rock exhibits an open framework fabric composed of juvenile lapilli within a respectively welded matrix. Furthermore abundant accidental/accessory lithics, represented by alien fragments of propilitized andesites, seldom spilites and serpentinites, also appear.

The bulk chemical analyses and some trace element contents of the selected samples of the Vlahinja pyroclastic rocks are presented at the table.

The major chemistry demonstrates certain specifications which have to be watchfully interpreted. As presented on fig. 2 pumice fragments ( $\check{Z}$ -5\*,  $\check{Z}$ -7\* and  $\check{Z}$ -7a\*) have higher  $SiO_2$  and respectively lower MgO and sometimes CaO contents than the matrix. On the contrary sample  $\check{Z}$ -1, since it represents a propilitized andesitic tuff fragment, has lower  $SiO_2$  and slightly higher  $Al_2O_3$  and CaO content relative to the surrounded matrix ( $\check{Z}$ -1a). Similar accidental/accessory lithics make a significant detrital portion of the upper section of the Vlahinja pyroclastic deposit.

For geotectonic setting and magma origin estimation discrimination plots after Pearce et al. (1984), presented on the fig. 3a–f, have been used. It is well known that post-collisional granitoids represent a major problem in all tectonic classifications of granites, since they can be derived both from melting of the lower crust and of the upper mantle (which may be of "within plate" or "arc" composition). Moreover, renewed subduction after collision could generate "normal" volcanic arc magmas in a post-collision setting (Colman–Sadd, 1982; after Pearce et al., 1984). According to all the plots the expectable strong transitional character of the Vlahinja volcanic rocks is evident (fig. 3a–d), but they show an illustrative correlation with typical post-collision granites of the Adamello pluton and the granites of Oman and Masirah Island, as presented on the Y+Nb versus Rb plot (fig. 3e).

## DISCUSSION

It was Marshall (1935) (loc. cit. Fisher & Schmincke, 1984) who first realized that widespread lava-like pyroclastic rocks (welded tuffs) in New Zealand were actually composed of glass shards, pumice and crystals deposited at high temperature. Ever since Marshall's study thousands of papers have been published about the pyroclastic flow deposits, their character and genesis. Remarkable contribution on development of volcanoclastic petrology are extraordinary books by Fisher & Schmincke (1984) and Cas & Wright (1987), which involve the study of active volcanoes as well as ancient volcanic sequences.

The pyroclastic nature of the Vlahinja series firstly recognised Mićić (1980), suggesting the name "latitic ignimbrites". Without any genetic implication he has only noticed postemplacement phenomena of eutaxitic texture. Unfortunately, the same author has

interpreted all the mineralogical and geochemical data regardless to specific pyroclastic emplacement of the rock. Likewise, Ilić (1962), exclusively regarding compositional features, connected them to the basalts and basaltic andesites of Matica, which are the youngest volcanic products in the area of Kopaonik Mt.

All the valuable characteristics of the Vlahinja series necessary to interpret comprise its: Geometry, Flow and cooling unit pattern, Componental properties and chemistry and Emplacement temperature.

### **Geometry**

The Vlahinja pyroclastics are exposed as an up to 15 m thick rock series, which thins laterally. It represents a kind of a fragmental rock accumulation of various thickness depending of the relief of the basement, what is a principal evidence of small to intermediate pyroclastic flows – always confining to valleys and never enveloping the topography.

### **Flow and cooling unit pattern**

The series can be generally divided into the lower section of sheet jointed and compact rock mass and the upper part, where often grussified rock has mainly oblique jointing.

Absence of temperature gradient evidences i.e. uniform welding characteristics of both the lower and the upper part of the Vlahinja series indicate a single cooling unit. Otherwise, the componental differences, especially those of abundant dense juvenile and accessory/accidental lithics in the upper part should be taken into consideration; this section componentally depart from the substantially vesiculated material of the lower unit indicating certain differences of the eruption and fragmentation mode.

### **Componental properties and chemical composition**

The rock of the lower part has eutaxitic texture made of collapsed pumice lapilli, broken phenocrysts within a glassy matrix of sometimes visible shard texture. The chemical differences between the pumice fragments and the matrix material are reflected by their diverse modal composition. The fig. 4 presents crystal/glassy matrix (stretched shards) modal ratios indicating a considerable crystal enrichment of the groundmass. This has to be stressed as an important characteristic of expanded ash and pumice flows, if we accept that elutriation of fines often occur within the conduit and the eruption column and during the flowage, causing enrichment in crystals and depletion in fine-grained vitric particles within pyroclastic flow deposits (Fisher & Schmincke, 1984). These fractionation evidences make chemistry data of bulk pyroclastic samples very sensitive to interpret, but, on the other hand, they could be a very useful criterion for the determination of initial processes of pyroclastic flows.

The upper part of the Vlahinja volcanics characterises an open framework structure composed of dense, mostly equidimensional juvenile and cognate lapilli as well as abundant alien material comprising xenocrysts of various igneous rocks within a prevailing welded matrix.

As we have already emphasized the classification of volcanic rocks of pyroclastic origin, according to their bulk mineral and chemical composition, can be a great task to imply. To avoid misinterpretations we used Nb/Y:Zr/TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub>:Zr/TiO<sub>2</sub> diagrams (Winchester & Floyd, 1977), for pumice fragments only. As presented on the fig. 5a;b the Vlahinja pyroclastic rocks correspond to the transition area between rhyodacite/dacite and andesite fields.

### The emplacement temperature

Without termoremanent magnetisation data only respectively strong welding as well as sheet to polygonal jointing (in the lower section exclusively) should be regard as indications of a rather high emplacement temperature, probably over 500°C.

### CONCLUSION

Assuming all the above discussed evidences we can put some conclusions regarding to the Vlahinja pyroclastic deposit genesis.

1. It is noteworthy to consider Vlahinja pyroclastic series as a genetically specific volcanic event, which need not to be connected to the other mineralogically similar occurrences. The Vlahinja volcanic series overlies a basement of propylitized andesites of the first volcanic phase, more abundant in the northern parts of the Kopaonik volcanic province, but the relation to the subvolcanic quartz latites does not appear.

2. Geochemical features reveal dacitoandesitic to quartzlatitic composition of the magma which gave these pyroclastic flows. These melts are of transitional geotectonic affinity. According to their relation to the typical post-collision granites it can be concluded that the melts originated in an extensional regime during postcollisional events of the closure of the Vardar ocean.

3. Considering all lithological, structural and compositional properties, the Vlahinja pyroclastic deposit consists of two close related flow units which belong to the very same eruptive event:

The lower unit is represented by strongly vesiculated material of a moderately expanded pumice and ash pyroclastic flow. Distinctive crystal enrichment of the matrix, due to gas segregation and fine particles elutriation, suggested that the pyroclastic flow proceeded after an interruption eruption column collapse. After a vent widening as well as when a poorly vesiculated portion of magma has reached surface, an ash and dense juvenile lapilli flow with abundant xenoliths originated.

Due to very short repose period between emplacement of these two flows the both sequences express the same welding character and have to be regarded as a single cooling unit. During the cooling period respectively high temperature as well as lithostatic load caused advanced welding especially in the lower, pumice-rich unit.

### ACKNOWLEDGMENT

Authors express their gratitude to Acad. Stevan Karamata for his useful remarks and help during this work. We also thank to Dr Tatjana Marchenko (IGEM RAN, Moscow)

for the trace element analyses and geochemical interpretation. The study has been made in the frame of the Project GEODYNAMICS of the Serbian Academy of Sciences and Arts.

*Translated by authors*

### ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Cas R. A. F. & Wright J. V., 1987: Volcanic Successions.– Allen & Unwin. 528 p., London.
- Cvetković V., Karamata S. i Knežević, V., 1995: Vulkanske stene kopaoničke oblasti.– Simp. Geologija i metalogenija Kopaonika, 185–194.
- Fisher R. V. & Schmincke H–U., 1984: Pyroclastic rocks.– Springer–Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo. 472.
- Ilić M., 1962: Andezitbazalti okoline Trepče.– Zbornik rad. RGF- a 1959/1960, 7, 1–22, Beograd.
- Jovanović M., Cvetković V. i Marčenko T., 1995: Prikaz bazalta Kopaonika.– Simp. Geologija i metalogenija Kopaonika, 217–225.
- Karamata S., Krstić B., Dimitrijević D. M., Knežević V., Dimitrijević M. M. i Filipović I., 1994: Terranes between the Adriatic and Balkan arc.– Bull. Acad. Sci. 13, 35, 47–68, Beograd.
- Mićić I., 1980: Kontaktne pneumatolitske i hidrotermalne promene u vulkanskim stenama kopaoničke oblasti – Rasp. Zav. za geol. i geof. istraž., 19, 1–138, Beograd.
- Pearce J. A., Harris N. B. W. and Tindle A. G., 1984: Trace Element Discrimination for Tectonic Interpretation of Granitic Rocks.– Jour. Petrol., 25, 4, 956–983.
- Winchester J. A. and Floyd P. A., 1977: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements.– Chem. Geol. 20, 325–343.