

ЗАПИСНИЦИ СРПСКОГ ГЕОЛОШКОГ ДРУШТВА ЗА 2022 ГОДИНУ

*COMPTE RENDUS DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ SERBE DE GÉOLOGIE
pour les années 2022*

*REPORTS OF THE SERBIAN GEOLOGICAL SOCIETY
for the year 2022*

Beograd, 2023

Емилија Ницовић¹, Владица Цветковић¹, Кристина Шарић¹
Emilija Nidžović¹, Vladica Cvetković¹, Kristina Šarić¹

ДА ЛИ ИМА ТРАГОВА ЕКСПЛОЗИВНИХ ЕРУПЦИЈА У ИСТОЧНОМ ДЕЛУ ЛЕЦКОГ ВУЛКАНСКОГ КОМПЛЕКСА?

ARE THERE TRACES OF EXPLOSIVE ERUPTIONS IN THE EASTERN PART OF THE LECE VOLCANIC COMPLEX?

ПРЕТХОДНА САОПШТЕЊА, СТРУЧНИ РАДОВИ, ЕСЕЈИ – REPORTS

Апстракт. Лецки вулкански комплекс (ЛВК) представља једну од највећих области кенозојског вулканизма у Србији. У овом раду, испитивано је да ли на простору источног дела ЛВК постоје трагови експлозивне вулканске активности. Теренским и микроскопским испитивањима утврђено је да у источном делу ЛВК постоје три вулканолошке фације: 1) кохерентни хорнбленда-пироксен-биотитски андезити, 2) вулканокластичне стене, и 3) пирокластичне стене. Кохерентни андезити су изграђени од флуидално распоређени и који су окружени холо- до хипокристаластом основном масом трахитског карактера. Наведене карактеристике указују на то да су ове стене настале течењем лаве, а не експлозивним дејством. Запажен је и низ показатеља неравнотежне кристализације, односно индикатора процеса мешања магми различитог састава. Вулканокластичне стене представљене су вулканокластичним бречама и вулканокластичним пешчарима (вулканским псамитолитима) и садрже одломке кохерентних вулканита који се налазе изнад. Пирокластичне стене представљене су наслагама падавинских лапилита који су доминантно изграђени од добро сортираних фрагмената високовезикуларног пловућа. Њихово присуство карактеристично је за снажне експлозивне ерупције киселе до интермедијарне магме, које стварају високе еруптивне стубове и велике количине везикуларног вулканског стакла. На основу постојања ових пирокластита, закључено је да је у некој од вулканских епизода на испитиваном подручју нужно било и експлозивне вулканске активности, што представља главни налаз овог рада. Може се претпоставити да је експлозивна активност била плинијског типа, као и да је иницирана мешањем магми различитог карактера. Ови налази су у складу са доступним подацима истраживања аналогних подручја кенозојског вулканизма у Србији.

¹ Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, Београд, Србија; e-mail: emilija.nidzovic@rgf.bg.ac.rs
University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Đušina 7, Belgrade, Serbia

Кључне речи: експлозивна вулканска активност, Лецки вулкански комплекс, падавински лапилити, пирокластити

Abstract. The Lece Volcanic Complex (LVC) represents one of the largest areas of Cenozoic volcanism in Serbia. This study investigated whether there are traces of explosive volcanic activity in the eastern part of the LVC. The results of field and microscopic investigations indicate that there are three volcanological facies in the eastern part of the LVC: 1) coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites, 2) volcanoclastic rocks, and 3) pyroclastic rocks. The coherent andesites are characterized by phenocrysts of plagioclase, hornblende and biotite, all set in a holo- to hypocrystalline groundmass; the rocks commonly show fluidal fabric. The aforementioned characteristics indicate that these rocks originated from effusive, and not from explosive volcanic activity. The samples also exhibit a number of indicators of non-equilibrium crystallization, most likely due to magma-mixing. The volcanoclastic rocks are represented by volcanoclastic breccias and volcanoclastic sandstones (volcanic psammitolites) and contain fragments of coherent volcanic rocks located in the area above. The pyroclastic rocks are represented by lapilli fall deposits mainly composed of highly vesicular pumice lapilli. Their presence is characteristic of strong explosive eruptions of acidic-to-intermediate magma, which create high eruptive columns and produce large amounts of vesicular and glass material. Based on the existence of these pyroclastic rocks, it has been concluded that one of the volcanic episodes which occurred within the studied area necessarily included explosive volcanic activity, which represents the main finding of this paper. It can be assumed that the explosive activity was Plinian in character, as well as that it was probably triggered by a magma mixing event. These results are in line with the existing data on analogous areas of Cenozoic volcanism in Serbia.

Key words: explosive volcanic activity, Lece Volcanic Complex, fall deposits, pyroclastic rocks

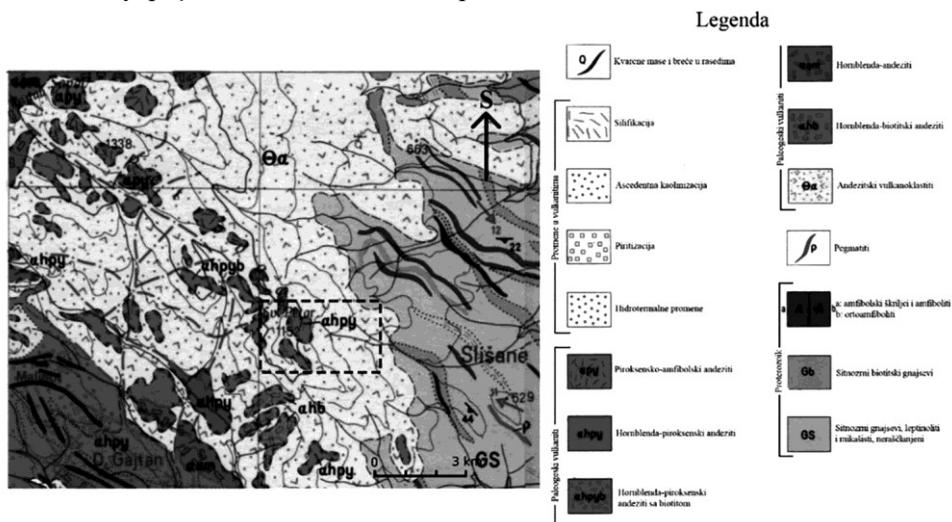
УВОД

Лецки вулкански комплекс (ЛВК) једна је од области која сведочи о кенозојском вулканизму у Србији. Заузима површину од преко 700 km², што га чини другим највећим вулканским комплексом у нашој земљи (након Тимочког магматског комплекса). Налази се на контакту Српско-македонске масе на истоку и Вардарске зоне на западу. Комплекс је настао пост-колизионом магматском активношћу која је трајала од олигоцена до миоцена (Cvetković et al. 2016a). Значајан напредак у разумевању порекла и развоја ЛВК остварен је приликом израде Основне геолошке карте (Димитријевић и др. 1965; Ракић и др. 1965; Малешевић и др. 1974; Вукановић и др. 1975). Временом су, међутим, уочени и пропусти у тумачењима до којих је током овог картирања дошло, углавном услед неразумевања генезе вулканокластичних, односно пирокластичних стена. Недавно, Костић (2016) је обавио петрографско-вулканолошка испитивања западног дела ЛВК и указао на значај вулканолошког приступа у геолошким истраживањима ове области. Резултати његовог истраживања нису указали на постојање трагова експлозивних ерупција у западном делу ЛВК. Источни део комплекса такође је у скорије време био предмет истраживања (Цветковић и др. 2020). Приликом ове студије, фокус је био на утврђивању порекла стена од којих је изграђен рановизантијски археолошки локалитет Царичин Град (*Justiniana Prima*), при чему су стене са овог локалитета упоређиване са стенама источног дела ЛВК. Иако су стене источног дела ЛВК истраживане и у овом и у раду Цветковић и др. (2020), важно је нагласити да су циљеви ових истраживања били различити.

Према је у оба рада вршена петрографска анализа, њени резултати су у раду Цветковић и др. (2020) интерпретирани у контексту геоархеологије, док су у овом раду интерпретирани како би се одговорило на вулканолошко питање постављено у наслову рада, а то је утврђивање постојања трагова некадашње експлозивне вулканске активности у источном делу Лецког вулканског комплекса.

МЕТОДЕ

У циљу испитивања петрографских и вулканолошких карактеристика стена источног дела ЛВК примењене су теренске и лабораторијске методе. Теренски рад укључивао је опсервирање на терену и прикупљање узорака. Испитивани терен обухватао је источне падине планине Радан, од Петровог врха до обода Лецког вулканског комплекса (Слика 1). Прикупљено је шест узорака стена од којих су касније израђени петрографски препарати. Фотомикрографије су израђене на поларизационом микроскопу за пропуштenu светлост типа *Leica DMLS* са урађеном дигиталном камером *Leica DC 300*.



Сл. 1 – Геолошка грађа испитиваног терена (означеног испрекиданим линијама) и ширег подручја источног дела Лецког вулканског комплекса. Прилагођено према ОГК 1:100 000, лист Лесковац К34-44 (Димитријевић и др. 1965).

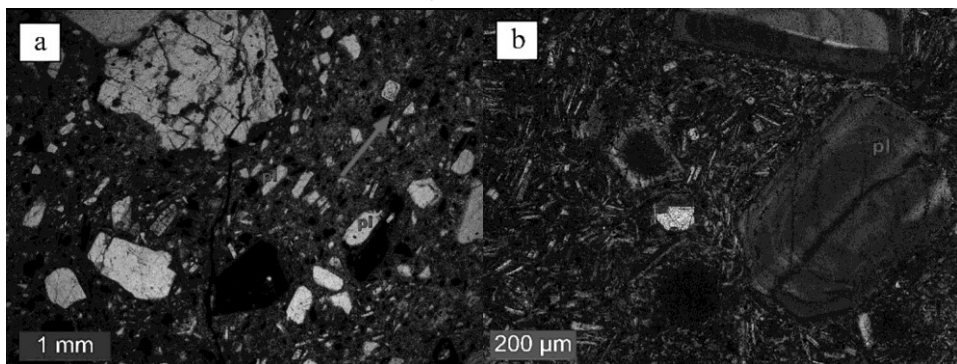
Fig. 1 – Geological map of the investigated area (marked by dashed lines) and the surrounding area of the eastern part of the Lece Volcanic Complex. Adapted from the Basic Geological Map of Yugoslavia 1:100 000, sheet Leskovac K34-55 (Dimitrijević et al. 1965).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Теренским и лабораторијским испитивањима стена источног дела Лецког вулканског комплекса утврђено је да се у грађи овог подручја могу издвојити три вулканолошки различите фазије: 1) кохерентни хорнбленда-пироксен-биотитски андезити, 2) вулканокластичне стене и 3) пирокластичне стене.

Кохерентни хорнбленда-пироксен-биотитски андезити

На простору Петрове горе налази се неколико изданака изграђених од кохерентних андезита. На самом врху запажа се плочасто до стубасто лучење. Структура ових стена је порфирска, а текстура масивна. Основна маса је тамносиве до црне боје, због чега је тешко уочити бојене састојке стене. Могу се уочити једино млечнобели фенокристали плагиокласа, који су понегде флуидално распоређени. Даље низ главни пут, након изласка из шуме, налазе се изданци порозног варијетета исте стене. Њихова структура је порфирска, а текстура флуидална и шупљикава. Основна маса је беле боје. Уочљиви су фенокристали хорнбленде чија дужина понегде прелази 1 cm. Кохерентни хорнбленда-пироксен-биотитски андезити изграђени су од плагиокласа, хорнбленде, пироксена, биотита (флогопита?), кварца, оливина, санидина и металичних минерала. Према степену кристалинитета основне масе, ове стене су хипокристаласто-порфирске до хијалопилитске структуре, док су према количини фенокристала олигофирске структуре (релативна заступљеност фенокристала ~ 40%). Текстура је масивна до флуидална. Међу фенокристалима су најзаступљенији еухедрални плагиокласи код којих се уочавају ламеларно ближњење и зонарност. Они су често флуидално распоређени (Слика 2а). Запажа се и трахитска структура у виду микролита плагиокласа који местимично оптачу крупније фенокристале у основној маси (Слика 2б). Ове карактеристике (флуидална текстура, трахитска структура, еухедралност фенокристала плагиокласа, одсуство поломљених зрна) јесу доказ да су ове стене настале течењем лаве, а не експлозивним дејством (Bard 1986; Vernon 2018).



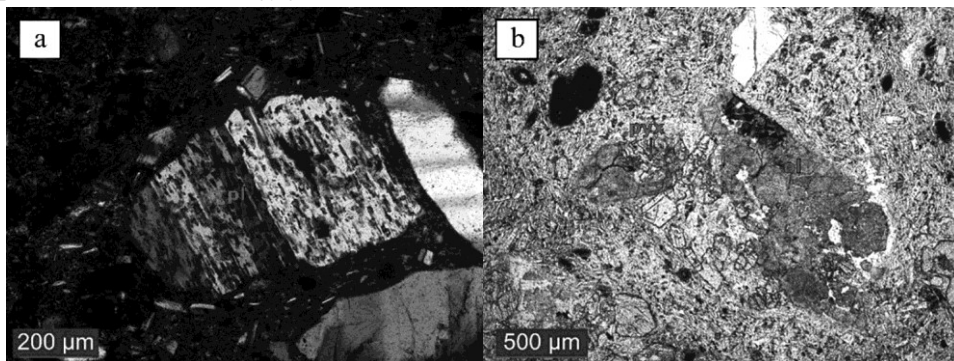
Сл. 2 – Микроскопски изглед кохерентних хорнбленда-пироксен-биотитских андезита.

(а) Флуидални распоред микрофенокристала плагиокласа у основној маси стене (стрелица указује на правац преовлађујуће оријентације), (б) микролити плагиокласа који у 'млазевима' оптачу фенокристале, градећи трахитску структуру; а – паралелни николи (*ppl*), б – укрштени николи (*xpl*)

Fig. 2 – Microscopic images of coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites. (a) Fluoidal arrangement of plagioclase microphenocrysts in the rock groundmass (the arrow points in the dominant orientation), (b) plagioclase microlites which encircle phenocrysts, thus forming the trachytic texture; a – plane polarized light (*ppl*), b - crossed polarized light (*xpl*)

У испитиваним узорцима кохерентних андезита запажен је и низ показатеља неравнотежне кристализације. Могу се приметити инклузије основне

маса у фенокристалима плагиокласа, које представљају трагове ресорпције, односно тзв. ситасту структуру (Слика 3а). Код порозног варијетета андезита, на неким фенокристалима плагиокласа, запажа се да је ситаста структура развијена претежно у виду тамних рубова. Уочавају се и полиминерални агрегати (анклаве) изграђени од пироксена и алтерисаног оливина (Слика 3б). Код порозног варијетета андезита, оливин се среће и у виду самосталних агрегата и лако се препознаје по форми, упркос значајном степену секундарних промена које је претрпео. Чињеница да ове стене садрже и кварц и оливин представља својеврстан термодинамички парадокс који се објашњава мешањем магми (Sakuyama 1979). Фенокристали хорнбленде су флуидално распоређени и изразито полихроични (од светлосмеђе до тамносмеђе боје). Лиске биотита (флогопита?) су изразито полихроичне и по њиховим ободима су развијени опацитски рубови. Осим плагиокласа, ситасту структуру или трагове неког другог типа неравнотежних реакција показују и неки фенокристали пироксена и хорнбленде, лиске биотита (флогопита?), као и зрна металичних минерала. Ове карактеристике такође сведоче о процесима мешања магми (Varol et al. 2008). Наведени налази у складу су са претпоставком о мешању магми изразито различитог састава коју је дао Костић (2019).



Сл. 3 – Микроскопски изглед кохерентних хорнбленда-пироксен-биотитских андезита.

(а) Инклузије основне масе у фенокристалу плагиокласа, које представљају ситасту структуру, (б) полиминерални агрегати изграђени од пироксена и алтерисаног оливина у кохерентним хорнбленда-пироксен-биотитским андезитима; а - *xpl*, б - *ppl*

Fig. 3 - Microscopic images of coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites. (a) Groundmass inclusions in the plagioclase phenocrysts that form sieve texture, (b) polymineral aggregates of pyroxene and altered olivine in coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites; а - *xpl*, б - *ppl*

Вулканокластичне стене

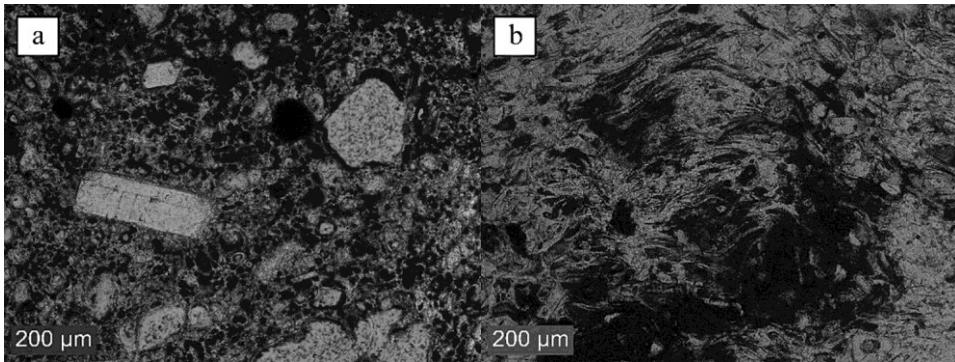
Вулканокластичне стене овог подручја представљене су вулканокластичним бречима и вулканокластичним пешчарима. Вулканокластичне брече су изграђене од угластих фрагмената порозног андезита (величине преко 2 mm) који су везани ситнозрнијим матриksom од истих стена. Вулканокластични пешчари (>50% фракције у опсегу 0.05-2 mm), који се према негенетској, дескриптивној класификацији могу одредити и као вулкански псамитолити

(Цветковић 1998), изграђени су од фрагмената кохерентних андезита везаних ситнозрним матриксом. Матрикс је подређен и истоветног састава као фрагменти. Сортираност вулканокластичних пешчара је добра, а уочава се и ламинација, што указује на то да је редепоноване највероватније извршено бујичним токовима. Примећују се и елементи ритмичне слојевитости, који указују да су наслаге настале вишекратним спирањем. Вулканокластични детритус је представљен одломцима вулканита и индивидуалним зрнима минерала. Одломци вулканита су величине 1-3 mm. Одликују се хијалопилитском и порфирском структуром, што указује на то да су у питању фрагменти већ описаних кохерентних андезита. Уочавају се угласта, субугласта и субзаобљена зрна плагиокласа, кварца, санидина, моноклиничног пироксена, биотита, металичних минерала и хидроксида гвожђа.

Пирокластичне стене

Пирокластичне стене су представљене ретким наслагама падавинских лапилита, које су сачуване само у виду реликата сочивастих форми, чија максимална дебљина не прелази један метар. Најважнија карактеристика ових наслага јесте добра сортираност, односно изостанак ситнозрног матрикса, тако да је стена готово потпуно састављена од фрагмената пловућаца димензија лапила. Осим пловућаца, садрже и веома ретке фрагменте кохерентног андезита тамносиве до црне основне масе. Због доминације белих пловућаца, ове стене су упадљиво беле боје. Падавинске лапилите, дакле, сачињавају преко 95 запр.% одломци пловућаца, док изузетно подређени ситнозрни матрикс изграђују крхотине самих пловућаца, као и одломци фенокрстала и стена. Сами пловућици се одликују веома израженом везикулацијом. Фрагменти пловућаца су присутни у две форме. Прва форма се одликује претежно сферичним везикулама различитих величина (Слика 4а). Полуслепљене шупљине и вулканско стакло сачињавају саћасту текстуру (енг. *honeycomb texture*). Друга форма фрагмената пловућаца одликује се издуженим, сочивастим формама, са еутакситном текстуром и елипсоидалним везикулама (Слика 4б).

Међу фенокрсталима унутар пловућаца најзаступљенији су плагиокласи, а присутне су још и лиске биотита, хлорита, зрна амфибола, пироксена, кварца, оксиди и хидроксида гвожђа и металични минерали. Фенокрстали плагиокласа су варијабилних димензија (од испод 1 mm до преко 10 mm) и угластих до субугластих форми. Уочавају се зонарност и ламеларно ближњење. Многе одликује ситаста структура, односно, „нагриженост“ од стране основне масе. Лиске биотита су полихроичне и делимично прелазе у хлорит. Зрна амфибола су еухедрална и изразито полихроична. Многа од њих имају ситасту структуру, односно садрже бројне капљичасте инклузије које одговарају матриксу. Зрна кварца су мање заступљена и зонарно помрачују. Одломци стена имају порфирску и хијалопилитску основу, што указује на то да су у питању фрагменти кохерентних андезита.



Сл. 4 – Микроскопски изглед одломака пловућаца у падавинским лапилитима. (а) Одломак пловућаца који се одликује сферичним везикулама различитих величина, (б) одломак пловућаца који карактеришу издужене форме вулканског стакла и елипсоидне везикуле; а, б – ppl.

Fig. 4 – Microscopic images of fragments of pumice in lapilli fall deposits. (a) A pumice fragment characterized by spherical vesicles of different sizes, (b) a pumice fragment characterized by elongated forms of volcanic glass and ellipsoidal vesicles; a, b – ppl.

Присуство високовезикуларних пловућаца у виду фрагмената лапила који изграђују падавинске наслаге може бити карактеристично за снажне експлозивне ерупције киселе до интермедијарне магме које стварају високе еруптивне стубове и велике количине везикуларног и стакластог материјала у виду падавинских творевина (Cas & Wright 1987; Fisher & Schmincke 1984). Поред вулканолошких и петрографских доказа о експлозивној вулканској активности, као и оних о мешању магми, који су приказани до сада, о еволуцији Лецког вулканског комплекса може се закључивати и посредно, на основу узимања у обзир резултата истраживања која су рађена у другим областима кенозојског вулканизма у Србији (Рудник, Копаоник, Голија, Авала, Велики Мајдан). Истраживања вршена на Рогозни (Šoštarić et al. 2012) и Руднику (Cvetković et al. 2016b) указују на то да је на овим подручјима до иницирања експлозивних вулканских ерупција дошло услед мешања магми лампроитског и киселог калко-алкалног (дацитског) карактера. Према треба нагласити да током овог истраживања ЛВК нису пронађене стене лампроитског карактера, с обзиром на аналогност наведених подручја и Лецког вулканског комплекса, може се претпоставити да су се слични процеси одвијали и на овом простору. У прилог овом тумачењу сведоче и петрографски докази о мешању магми (присуство анклава оливина у стенама које садрже и кварц, ситаста структура која се запажа код различитих минерала), као и постојање одломака кохерентних андезита у пирокластичним стенама, које указује на то да је изливна активност претходила експлозивној. Међутим, како би се ово са сигурношћу могло тврдити, неопходно је извршити додатна истраживања која би у свом фокусу имала геохемијске карактеристике ових стена.

ЗАКЉУЧАК

У овом раду, приказани су резултати петрографско-вулканолошке анализе стена источног дела Лецког вулканског комплекса. Главни циљ истраживања

било је испитивање постојања трагова експлозивне вулканске активности на овом подручју. На основу опсервација на терену и лабораторијских испитивања, издвојене су три вулканолошке фације: фација кохерентних хорнбленда-пироксен-биотитских андезита, вулканокластичне стене и пирокластичне стене. Дефинитивно постојање трагова експлозивне вулканске активности документовано је присуством падавинских лапилита изграђених готово у потпуности од одломака пловућаца, што представља главни налаз овог истраживања. Може се претпоставити да је ова експлозивна активност била плинијског типа, као и то да је до ње дошло због мешања магми различитог карактера. Наведена тумачења проистичу из резултата ове студије, као и из њихове интеграције са резултатима ранијих истраживања.

ЗАХВАЛНОСТ

Истраживање је урађено у оквиру Уговора о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2022. години, бр. 451-03-68/2022-14/ 200126.

ARE THERE TRACES OF EXPLOSIVE ERUPTIONS IN THE EASTERN PART OF THE LECE VOLCANIC COMPLEX?

INTRODUCTION

The Lece volcanic complex (LVC) is one of the areas that documents Cenozoic volcanism in Serbia. It spans more than 700 km², which makes it the second-largest volcanic complex in this country (after the Timok Magmatic Complex). It is located on the contact between the Serbo-Macedonian Massif in the east and the Vardar Zone in the west. The complex originated through a post-collisional magmatic activity which lasted from the Oligocene to the Miocene (Cvetković et al. 2016a). Considerable progress in understanding the origin and the evolution of LVC was made during the creation of the Basic Geological Map of Yugoslavia (Dimitrijević et al. 1965; Rakić et al. 1965; Malešević et al. 1974; Vukanović et al. 1975). Over time, however, certain volcanological oversights made during this mapping became evident; they were mainly due to misunderstanding the differences between volcanoclastic and pyroclastic rocks. Recently, Kostić (2016) conducted a petrographic-volcanological investigation of the western part of LVC and pointed out the importance of utilizing a volcanological approach in geological investigations of this area. The results of his study did not reveal the existence of traces of explosive eruptions in the western part of LVC. The eastern part of the complex has also been a subject of research lately (Cvetković et al. 2020). This study focused on determining the origin of rocks which were used to build the early Byzantine archaeological site “Caričin Grad” (*Justiniana Prima*); during this research, the rocks from the site were compared to the rocks from the eastern part of LVC. Although rocks from the eastern part of LVC were researched both by the present paper and by the work of Cvetković et al. (2020), it is important to emphasize that the

goals of these studies were different. In the work of Cvetković et al. (2020) the results were interpreted in the context of geoarchaeology, whereas the present study interpreted them in a way that made it possible to answer the volcanological question asked in the title of the article, and that is determining the existence of traces of past explosive volcanic activity in the eastern part of the Lece Volcanic Complex.

METHODS

In order to determine the petrographic and volcanological characteristics of rocks from the eastern part of LVC, field and laboratory methods were utilized. The fieldwork included making observations in the field and collecting samples. The examined area encompassed the eastern slopes of the Radan mountain, starting at the *Petrov vrh* and ending at the edge of the Lece Volcanic Complex (Figure 1). Six rock samples were collected, and petrographic thin sections were created from the samples later on. Photomicrographs were created using a polarizing microscope with transmitted light (Leica DMLSP) with a built-in digital camera (Leica DC 300).

RESULTS AND DISCUSSION

Synthesizing the observations derived from the field and laboratory investigations of the samples collected from the eastern part of the Lece Volcanic Complex, it has been determined that three volcanologically different facies may be determined: 1) coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites, 2) volcaniclastic rocks, and 3) pyroclastic rocks.

Coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites

In the area of *Petrova gora*, there are several outcrops of coherent andesites, on which platy and columnar jointing can be observed. These rocks manifest porphyritic and massive textures. Their groundmass is dark grey to black, which makes the determination of the minerals difficult. The only easily observable minerals are the milky white plagioclase phenocrysts, which are occasionally fluidly arranged. Further down the main road, after leaving the forest, there are outcrops of a porous variety of the same rock. These rocks display porphyritic, fluidal and vesicular textures and their groundmass is white in color. There are noticeable phenocrysts of hornblende occasionally above 1 cm in length. Coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites consist of plagioclase, hornblende, pyroxene, biotite (phlogopite?), quartz, olivine, sanidine, and metallic minerals. In terms of the crystallinity of their groundmass, these rocks are hypocrySTALLINE-porphyritic to hyalopilitic, whereas, in terms of the abundance of phenocrysts, they are oligophytic (relative abundance of phenocrysts ~ 40%). The texture is massive to fluidal. Amongst phenocrysts, the most abundant are euhedral plagioclase phenocrysts which exhibit lamellar twinning and zoning. They are often fluidly arranged (Figure 2a). The trachytic texture may also be observed, in the form of microlites of plagioclase that encircle the larger phenocrysts in the groundmass (Figure 2b). These characteristics (fluidal fabric, trachytic texture,

euhedral plagioclase phenocrysts, absence of broken phenocrysts) prove that these rocks originate from the lava flow, and not from explosive activity (Bard 1986; Vernon 2018).

The investigated samples of coherent andesite also exhibit a series of indicators of disequilibrium crystallization. Droplet inclusions of the groundmass in the plagioclase phenocrysts can be observed, forming the sieve texture (Figure 3a). In the porous variety of andesites, sieve texture can be observed on some of the plagioclase phenocrysts in the form of dark rims. There are also polymineral aggregates (enclaves) consisting of pyroxene and altered olivine (Figure 3b). In the porous variety of andesite, olivine forms monomineral aggregates and can easily be recognized by its characteristic form, despite the significant degree of alteration. The fact that these rocks contain both quartz and olivine represents a thermodynamic paradox that is commonly explained by magma mixing (Sakuyama 1979). Hornblende phenocrysts are fluidly arranged and display strong pleochroism (ranging from light brown to dark brown). Biotite (phlogopite?) plates also exhibit strong pleochroism as well as opacitic rims. Aside from plagioclase phenocrysts, sieve texture or traces of other types of disequilibrium reactions, can also be observed on phenocrysts of other minerals, such as: pyroxene, hornblende, biotite (phlogopite?) and metallic minerals. These characteristics also imply processes of magma mixing (Varol et al. 2008). The stated findings are in line with the previously proposed hypothesis (Kostić 2019) of mixing between two magmas of distinctly different compositions.

Volcaniclastic rocks

Volcaniclastic rocks are represented by volcaniclastic breccias and volcaniclastic sandstones. Volcaniclastic breccias consist of angular fragments of porous andesites (over 2 mm in size) embedded in a fine-grained matrix consisting of the same rocks. Volcaniclastic sandstones (>50% of fraction between 0.05 and 2 mm), that may be determined as volcanic psammitolites according to a non-genetic, descriptive classification (Cvetković 1998), consist of fragments of coherent andesites embedded in a fine-grained matrix. The matrix is scarce and has the same composition as the fragments. The volcaniclastic sandstones are well-sorted and laminated, which indicates that the redeposition most likely occurred through intermittent flows. There are also elements of rhythmic layering, which indicate that the deposits most likely formed through repeated short episodes of erosion. The volcaniclastic detritus consists of fragments of volcanic rocks and individual mineral grains. The size of volcanic fragments is between 1 and 3 mm. They exhibit hyalopilitic and porphyritic textures, implying that they are fragments of previously described coherent andesites. There are also angular, subangular and subrounded grains of plagioclase, quartz, sanidine, clinopyroxene, biotite, metallic minerals and hydroxides of iron.

Pyroclastic rocks

Pyroclastic rocks are represented by lapilli fall deposits, preserved only in the form of up to one meter wide lens-shaped relicts. These deposits are well-sorted, i.e., they lack a fine-grained matrix and consist almost exclusively of lapilli-sizes pumice

fragments. Aside from pumice clasts, they contain very rare fragments of coherent andesites with dark grey to black groundmass. Due to the domination of white pumice (over 95% wt.%), the rocks are distinctively white. The scarce fine-grained matrix is built out of glass shards (tiny fragments of vesicle walls), as well as fragments of phenocrysts and groundmass. Fragments of pumice are present in two forms. The first is characterized by mainly spherical vesicles of different sizes (Figure 4a) and the second is characterized by elongated, lenticular forms, with eutaxitic texture and ellipsoidal vesicles (Figure 4b).

The most abundant phenocryst in pumice is plagioclase, but it also contains flakes of biotite and chlorite, grains of amphibole, pyroxene, quartz, oxides and hydroxides of iron, and metallic minerals. Plagioclase phenocrysts are variable in size (from <1 mm to > 10 mm) and their forms are angular to subangular. They display zoning and lamellar twinning. Many of them are characterized by a sieve texture, that is, they are absorbed by the groundmass. Biotite flakes exhibit pleochroism and a partial transition into chlorites. Amphibole grains are euhedral and display strong pleochroism. Many of them also exhibit a sieve texture, meaning that they contain numerous droplets of the matrix. Quartz grains are less abundant and show zoning. Rock fragments exhibit porphyritic and hyalopilitic textures, indicating that they are fragments of coherent andesites.

The presence of highly vesicular pumice in the form of lapilli fragments that make up the fall deposits indicates strong explosive eruptions of acidic-to-intermediate magma, which create high eruptive columns and produce large amounts of vesicular and glass material (Cas & Wright 1987; Fisher & Schmincke 1984). Aside from the volcanological and petrographic evidence of explosive volcanic activity, as well as of magma mixing, which have been presented thus far, the evolution of the Lece Volcanic Complex may also be constrained by the analogy with other areas of Cenozoic volcanism in Serbia (e.g., Rudnik, Kopaonik, Golija, Avala, Veliki Majdan). Previous studies on Rogozna (Šoštarić et al. 2012) and Rudnik (Cvetković et al. 2016b) argue that explosive volcanic eruptions in these areas were initiated by mixing between magmas of lamproitic and acidic calc-alkaline (dacitic) character. Taking into account that these areas are petrogenetically similar to the Lece Volcanic Complex, it may be assumed that a similar process took place in this area. However, it should also be noted that lamproites (or lamprophyres) were not found during this study of the LVC. Yet, this interpretation is in line with the petrographic indicators of magma mixing (the presence of enclaves of olivine in rocks that also contain quartz, sieve texture displayed by multiple minerals), as well as the existence of fragments of coherent andesites in pyroclastic rocks, which indicates that the effusive activity preceded the explosive activity.

CONCLUSION

In this paper, the results of a petrographic-volcanological analysis of rocks from the eastern part of the Lece Volcanic Complex were presented. The main goal of the study was to investigate the existence of traces of explosive volcanic activity in this area. Based on the field observations and laboratory investigations, three

volcanological facies were determined: coherent hornblende-pyroxene-biotite andesites, volcanoclastic rocks, and pyroclastic rocks. The definitive existence of traces of explosive volcanic activity is documented by the presence of relicts of lapilli fall deposits, consisting nearly exclusively of pumice, which is the main finding of this study. It may be assumed that the explosive activity was Plinian in type, as well as that it was triggered by mixing of magmas of different composition.

ACKNOWLEDGEMENT

The research has been financed by the Contract on realization and financing of scientific research of SRI in 2022, Nr. 451-03-68/2022-14/ 200126.

ЛИТЕРАТУРА

- Bard, J. P., 1986. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks* (Vol. 1). Springer Science Business Media.
- Cas, R. A. F., Wright, J. V., 1987. *Volcanic successions, modern and ancient: A geological approach to processes, products, and successions*. Allen Unwin.
- Cvetković, V., Šarić, K., Tanović, D., Stamenković, A., Matović, V., 2020. Ranovizantijski lokalitet Caričin grad: Poreklo vulkanita i vulkanoklastita korišćenih kao arhitektonsko-građevinski materijal. *Aktuelna Interdisciplinarna Istraživanja Tehnologije u Arheologiji Jugoistočne Evrope: zbornik radova, Beograd*, 28. 02.2020., Srpsko arheološko društvo, Beograd, str. 56-62.
- Cvetković, V., Šarić, K., Pécskay, Z., Gerdes, A., 2016b. The Rudnik Mts. volcano-intrusive complex (central Serbia): An example of how magmatism controls metallogeny. *Geologia Croatica*, 69(1), pp. 89-99.
- Cvetković, V., Prelević, D., Schmid, S., 2016a. Geology of South-Eastern Europe. In: Papić, P. (ed.), *Mineral and Thermal Waters of Southeastern Europe*, pp. 1-30.
- Cvetković, V., 1998. Predlog sistematike i nomenklature vulkanskih procesa i vulkanogenih produkata. *XIII Kongres geologa Jugoslavije*, Herceg Novi, str. 93-104
- Dimitrijević, M., Petrović, B., Ćikin, M., Možina, A., Vukanović, M., Karajčić, Lj., 1965. *Tumač za list Leskovac (OGK SFRJ 1:100000)*. Savezni Geološki Zavod SFRJ, Beograd.
- Dragić, D., Mišković, A., Hart, C., Tosdal, R., Dunav, P. F., Glišić, S., 2014. Spatial and temporal relations between epithermal and porphyry style mineralization in the Lece Magmatic Complex, Serbia. In *Proceedings of the SEG Conference "Building Exploration Capability for the 21st Century"*. Society of Economic Geologists, United States (Vol. 109).
- Fisher, R. V., Schmincke, H.-U., 1984. *Pyroclastic Rocks*. Springer Berlin Heidelberg.
- Kostić, B., 2016. *Vulkanološka analiza dela Leckog vulkanskog kompleksa (Brankova kula - Prolog Banja)*. Master teza, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet.
- Kostić, B., 2019. *Understanding a volcanic history of SW part of Lece Volcanic Complex from plagioclase composition, zircon geochemistry and U-Pb age*. International Lithosphere Program, Hévíz, Hungary.
- Malešević, M., Vukanović, M., Brković, T., Obradinović, Z., Karajčić, Lj., Stanisavljević R., Dimitrijević, M., Urošević, M., 1974. *Tumač za list Kuršumljia (OGK SFRJ 1:100000)*. Savezni Geološki Zavod SFRJ, Beograd.
- Rakić M., Dimitrijević M., Bodić D., Terzin V., Cvetković D., Petrović V., 1965. *Tumač za list Niš (OGK SFRJ 1:100000)*. Savezni Geološki Zavod SFRJ, Beograd.

- Sakuyama, M., 1979. Evidence of magma mixing: Petrological study of Shirouma-Oike calc-alkaline andesite volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5(1–2), pp. 179–208.
- Varol, E., Temel, A., & Gourgaud, A., 2008. Textural and compositional evidence for magma mixing in the evolution of the Camlıdere Volcanic Rocks (Galatean Volcanic Province), Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(4), 709-727.
- Vernon, R. H., 2018. *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge university press.
- Vukanović M., Karajičić Lj., Dimitrijević M. N., Dimitrijević M., Rajčević D., Pejčić M., 1975. *Tumač za list Podujevo (OGK SFRJ 1:100000)*. Savezni Geološki Zavod SFRJ, Beograd.
- Šoštarić, S. B., Cvetković, V., Neubauer, F., Palinkaš, L. A., Bernroider, M., Genser, J., 2012. Oligocene shoshonitic rocks of the Rogozna Mts.(Central Balkan Peninsula): Evidence of petrogenetic links to the formation of Pb–Zn–Ag ore deposits. *Lithos*, 148, pp. 176-195.