



EVOLUTION OF THE PALEOGENE VOLCANISM IN BOROVITZA CALDERA (EASTERN RHODOPES) AND ITS RELATIONSHIP WITH FAULT TECTONICS

Yotzo Yanev¹, Damien Dhont², Jacques-Marie Bardintzeff³, Jean Chorowicz⁴

¹ Laboratory of Petrology, Geological Institute of the Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria; e-mail yotzo@geology.bas.bg

² CNRS-FRE 2639: Laboratoire d'Imagerie Géophysique, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 64013 Pau cedex, France; e-mail: damien.dhont@univ-pau.fr

³ Laboratoire de Pétrographie-Volcanologie, Bât. 504, Université Paris-Sud, 91405 Orsay and IUFM, 78008 Versailles, France; e-mail: bardizef@geol.u-psud.fr

⁴ CNRS-UMR 7072: Laboratoire de Tectonique, Université de Paris 6, 75252 Paris cedex 05, France; e-mail: choro@lgs.jussieu.fr

Key words: Paleogene volcanism, Borovitzka caldera, Eastern Rhodopes, remote sensing, fault tectonics

The nested Borovitzka caldera was formed during the collision-related Paleogene volcanism in the Eastern Rhodopes. The pre-caldera succession consists of Priabonian to Lower Oligocene sediments and absarokites, shoshonites, latites and ultrapotassic latites. The caldera filling is a product of Early Oligocene acid volcanism. The tectono-magmatic evolution of the caldera can be divided into six main stages. (1) Deposition of four ignimbritic units (few km thick) with trachydacitic to trachytic composition. The K-Ar method yields an age of 34-33.5 Ma. The volcanic products are either strongly or not welded in the western and eastern parts of the caldera, respectively. (2) Collapse of a former Murga caldera, 7-10 km in diameter. This was accompanied by the intrusion of a circular body consisting of "lenses-bearing" ignimbrite-like rocks within the border faults. Their composition is trachyrhyodacitic to rhyolitic. (3) Further emission of pyroclastic rocks. A large subvolcanic body (3.5 × 4 km) of trachydacitic to trachyrhyolitic composition intruded the western part of the circular body. (4) Formation of Borovitzka caldera (15 × 34 km). Rhyolitic and trachydacitic dykes, dated 32.5 Ma, intruded its border faults. (5) Emplacement of high-Si trachyrhyolitic domes with massive perlitic peripheries in the eastern part of Borovitzka caldera at 30-32 Ma. (6) Intrusion of varying in composition dykes (from shoshonite to rhyolite) and trachydacitic to rhyolitic subvolcanic bodies in the caldera and its rims at 27.5-29.5 Ma.

The petrochemical evolution of the magmas in Borovitzka caldera includes three saturated series: (1) Priabonian pre-caldera magmas whose evolution ranges from intermediate to basic (from latites to absarokites); (2) Lower Oligocene caldera-forming to post-caldera series with a normal magmatic evolution ranging from intermediate to acid (from latites and shoshonites to high-

Si trachyrhyolites), evolving from mainly explosive to purely extrusive volcanism; and (3) post-caldera dyke series (shoshonites, latites, thrachydacites and rhyolites) with unknown temporal succession. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_i ratio and principal component analysis indicate that the magmatic evolution of Borovitzka caldera products is related to a process of crystallization fractionation, including magma-mixing phenomena.

Observations on ERS-1 radar and optic Aster and Landsat satellite imagery allow a new mapping of the structural pattern in Borovitzka caldera, and unraveling of the relationships between the faults and the volcanism in this area. In the eastern part, we have recognized three post-caldera tectonic events. The first one is characterized by the formation of a set of NE- to E-trending curved normal faults and open fractures. They have the pattern of horse-tail structures, which were probably related to dextral motion along the eastern border faults of both the Murga and Borovitzka calderas. The stress regime corresponds to NW-SE to NNW-SSE extension, forming tensional structures that constituted preferential zones for magma ascent up to the surface. This tectonic stage is associated with the emplacement of the perlitic-trachyrhyolitic domes of the fifth post-caldera magmatic stage. The second tectonic event is compressional. It is mainly associated with the reactivation of the previous structures into reverse and/or strike-slip faults. The stress tensor is characterized by NE-SW trending σ_1 and vertical or NW-SE σ_3 . The third tectonic event corresponds to NNW-SSE to NNE-SSW extension. The previous structures were partly reactivated during this stage, but NW-SE to E-W normal faults also formed. The rhyolitic dykes of the last sixth magmatic stage intruded the E-W faults, including one that displaced the eastern border fault of the caldera.

ЕВОЛЮЦИЯ НА КИСЕЛИЯ ПАЛЕОГЕНСКИ ВУЛКАНИЗЪМ В БОРОВИШКАТА КАЛДЕРА (ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ) И ВРЪЗКАТА МУ С РАЗЛОМНАТА ТЕКТОНИКА

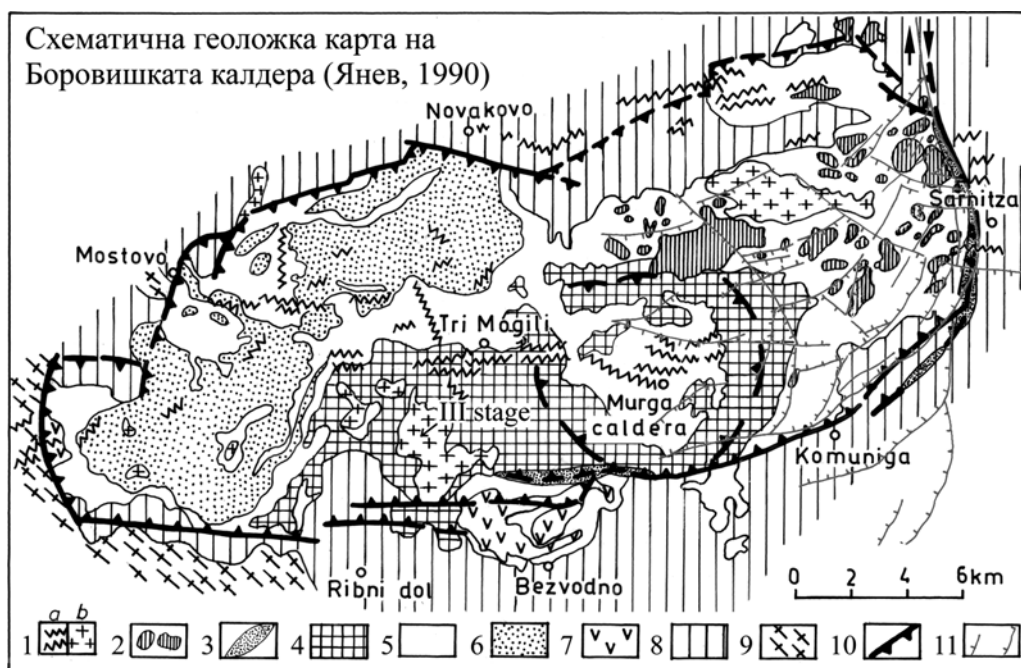
Йоцо Янев¹, Дамиан Дон², Жак-Мари Бардинцеф³, Жан Коровиц⁴

Боровишката калдера (Иванов, 1972; Янев, 1990), една от най-големите единици на Източно-родопската палеогенска вулканска област, има телескопиран строеж. Тя е с неправилна елиптична форма, удължена в И-З посока и с размери 15 x 34 km. Неправилната ѝ форма вероятно се дължи на докалдерния структурен план на цокъла, по-специално на наличието на два регионални разломи (Новаково-Пилашевския и Ардино-Спахиевския - Йосифов и др., 1990), както и на пресичащия цокъла на калдерата Асеновград-Дядовски крипторазлом (Иванов, 1972).

В западната си част докалдерният цокъл е изграден от метаморфни скали и палеогенски седименти, докато в централната и източна част - от приабонски латити, шошонити и абсарокити, покрити от долноолигоценски кисели туфи, латити, шошонити (Марчев, 1985) и ултракалиевите латити на Брястовския вулкан. Калдерата е запълнена с долноолигоценски кисели вулканити. Извън калдерата, в нейната южна рамка, са запазени

неспечени кисели пирокласити (Ar-Ag възраст 31,75 Ma – Singer, Marchev, 2000). Тук също така се разкриват потоци и секущи тела от трахидацити до трахириолити (Марчев, 1985), вероятно докалдерни. В тектоно-магматичната еволюция на Боровишката калдерата може да бъдат отделени 6 главни стадия (Янев, 1990; Yanev, 1998):

1. Отлагане на епикластити (вулканокластични конгломерати и пясъчници), прослоени с въздушно отложени туфи (fall-out) и тънки пластове игнимбрити. Те имат дебелина от няколко десетки m в източната част на калдерата (в подножието на Брястовския вулкан) с лещи от морски варовици (при с. Комунига) до няколко m в централната част. В тази част на калдерата епикластитите се покриват от дебела няколко km серия от спечени игнимбрити, отговарящи по възраст на фазите на I и II кисел вулканизъм. Те са обединени в 4 единици на охлаждане, разделени с неспечени игнимбрити и въздушно отложени туфи с акреционни лапили (напр. вр. Акташ).



1-VI етап: дайки (a) и субвулкански тела (b), 2-V етап: перлит-трахириолитови куполи (обобщени), 3-IV етап: дайки в калдерните разломи, 4-II етап: пръстеновидно тяло от лещови игнимбритоподобни вулканити, 5-неподелени туфи и неспечени игнимбрити, 6-I етап: спечени игнимбрити; 7-I(?) етап: кисели лави (потоци и секущи тела), 8-докалдерни среднокисели вулканити и седименти, 9-кристалинен цокъл, 10-калдерни разломи, 11-посткалдерни разломи (неподелени), установени по спътникови снимки

Състав – трахидацити до трахити, богати на фенокристали: зонален плагиоклаз (лабрадор-олигоклаз), богат на Ва зонален санидин, биотит, авгит, много рядко кварц; възраст 34-33,5 Ма (К-Аг данни на П. Лилов). В централната и източната част на калдерата игнимбритите са неспечени и също се редуват с туфи (обща мощност по сондажни данни 300-400 m), като в най-източната част те покриват червена изветрителна кора (също по сондажни данни), развита върху латитите на Брястовския вулкан. Тук те се отнасят само към фазата на II кисел вулканизъм. Обилната риолитова кластика в някои пирокластични нива говори за наличие на риолити в погребаните пирокластични гърла и/или за разрушаващи се риолитови куполи. Такива вероятно са някои от риолитовите тела, запазени в западната периферия на калдерата (напр. Четрока).

2. Бързото изхвърляне на огромните маси пирокластити е довело до телескопирано калдерообразуване с една централна, Мурговска калдера (Янев, 1990). Тя има диаметър 7-10 km и вероятно е разположена на мястото на вулканските центрове на I стадий. Маркирана е от отрицателни гравитационни аномалии и разломи с амплитуда 300-400 m (Йосифов и др., 1990). В предполагаемите бордови разломи е внедрено секущо пръстеновидно тяло с посочения по-горе диаметър и широчина 0,3-5 km. В най-горната си част то преминава в къси (до 1 km) потоци, дебели няколко десетки m. Секущото тяло и потоците са съставени от лещови (игнимбритоподобни) трахириодацити до риолити с порфири от кварц, санидин, олигоклаз, биотит, рядко еденит и авгит. Основната маса се състои от лещи, подобни на фиаме (дебели няколко mm с диаметър 2-4 cm в долната част на тялото до 4-5 cm с диаметър до 20 cm в горната част), променени в кварц-албитов агрегат. Матриксът е с витрокластична структура (с частиците < 1mm), променен в адулар. Промените засягат и фелдшпатовите порфири. Една Аг-Аг датировка на санидин дава възраст 32,86 Ма (Singer, Marchev, 2000). Разкриват се и десетки тела от слабо засегнати от промяната черни перлити със същата текстура. Те са изградени от непроменени стъклени лещи с риолитов състав и клиноптилолитизиран матрикс, “процепени” от кварц-адуларови ивици, развити около тектонски пукнатини. Температурата на кристализация на порфирите в черните перлити е 722-726°C (по двупелдшпатовия термометър) или 740°C при f_{O_2} над NNO буфер; P_{H_2O} 0,5-1,2 kbar.

3. Продължава изригването на пирокластити (с акреционни лапили в най-горните нива - с. Жълт камък), които покриват потоците на пръстеновидното тяло. В западната му част (с. Шарен нос) се внедрява голямо субвулканско тяло (3,5 x 4 km). Състав – трахириодацити до трахириолити с фенокристали от санидин, зонален плагиоклаз (андезин до олигоклаз), биотит, рядко кварц и авгит; температура на кристализация 720-740°C.

4. Изригването на тези големи маси от кисела лава е довело от ново пропадане и оформяне на Боровишката калдера в сегашната ѝ форма и размери. В източния и южния бордови разлом са внедрени дайки с трахидацитов и риолитов състав, съдържащи порфири от кварц, санидин, олигоклаз, биотит и Mg-хорнбленда. Някои от тях секат по-стари риолитови куполи (напр. в р. Величка). Температурата на кристализация на южната дайка е 720°C, възраст 32,5 Ма (К-Аг данни на П. Лилов) или 31,75 Ма (Аг-Аг метод - Singer, Marchev, 2000).

5. В източната част на калдерата се внедряват десетки високо-Si трахириолитови куполи и криптокуполи с масивна перлитова периферия; диаметър – от няколко десетки m до 1 km; възраст - 30-32 Ма (К-Аг метод - Lilov et al., 1987), което отговаря на фазата на III кисел вулканизъм. Сега те са денудирани на различни нива, вкл. и до нековите им части. Редките порфири са от кварц, зонален (по Ва) санидин, понякога с анортклавозна обвивка, зонален плагиоклаз (андезин-олигоклаз), биотит и Mg-хорнбленда до еденит. Някои тела съдържат разядени базични плагиоклази (лабрадор), признак за смесване с по-основна магма. Температура на кристализация 690-748°C и P_{H_2O} 0,7-1,5 kbar. Този стадий завършва с внедряване на много богати на фенокристали (над 50%) трахириолити (вр. Летница), остатъчен продукт на зонална магмена камера.

6. Внедряване в калдерата и в нейната рамка на трахидацитови субвулкански тела и на множество дайки от шошонити до риолити (преобладават трахидацитите); дължина до 4 km и широчина до 100-150 m; посока СЗ-ЮИ, С-Ю, но преобладава И-З; възраст 27,5-29,5 Ма (К-Аг метод - Lilov et al., 1987). Една шошонитова дайка има възраст 31,76 Ма (Singer, Marchev, 2000).

Началното $^{87}Sr/^{86}Sr$ отношение (Yanev et al., 1998) и компонентният анализ по главни и елементиследи (Караджов, Янев, 1998) сочат, че основният фактор на магмената еволюция е кристализационната диференциация. Отделят се 3 наситени

серии: 1) приабонска антидромна докалдерна (от латити до абсарокити); 2) долноолигоценска хомодромна калдерообразуваща и посткалдерна (от латити и шошонити до високо-Si трахириолити) и 3) долно-горно(?) олигоценска посткалдерна дайкова с неизвестен ход на еволюция. Има данни и за смесване на магми (Марчев, 1985 и данните от V стадий). Поради нарастващото Si съдържание на магмата с напредване на диференциацията киселият вулканизъм от втората серия става по-ниско експлозивен, преобладаващо екструзивен. Най-силно еволюираната магма от V етап е обеднена на бoлшинството елементи-следи (вкл. някои LILE като Ba и Sr), но е обогатена на редки алкалии, U и Th.

По гравиметрични данни (Йосифов и др., 1990) калдерата е със сложен строеж: в източната ѝ част има два пропаднали участъци, разделени с посткалдерен разлом, а в централната – късен резургентен купол, в който е включена и Мурговската калдера. Денивелацията е 600-700 m.

Горската растителност и отсъствието на маркиращи пластове в огромния пирокластичен разрез не са позволили картографирането на разломни структури в калдерата (Иванов, 1972; Янев, 1990). Дешифрирането на радарните снимки на европейския спътник ERS-1 и оптическите снимки Aster и Landsat на американски спътници позволиха да се открият разломи, но засега само в източната част на калдерата (Yanev et al., 2004), някои съвпадащи с отделените по гравиметрични данни. Тяхната конфигурация отговаря на разломна система тип “конска опашка”, вероятно формирана следствие на

дясноотседни движения по източния калдерен разлом. Теренното изследване на разломните плоскости на 20 разкрития позволиха да се отделят три посткалдерни етапи на разломяване.

През **първия етап** са образувани серия от нормални стръмни разломи с посока СИ-ЮЗ (в близост с калдерния разлом), които постепенно завиват до ИСИ-ЗЮЗ (във вътрешността на калдерата). По тях се осъществява СЗ-ЮИ до ССЗ-ЮЮИ екстензия. Предполагаме, че по тях са внедрени куполите от V вулкански стадии. Това предположение се подкрепя от удължението на някои куполи и/или от посоката на слоевете на течение в тях, паралелна на тези разломи. Един също дясноотседен дъговиден разлом е успореден на източния борд на централната Мурговска калдера.

Вторият етап е компресионен и е свързан с разломи със СЗ-ЮИ до С-Ю посока. Те предизвикват възседни и отседни движение. Реактивират се някои от предишните разломи.

Третият етап е отново екстензионен – подновяват се някои от съществуващите разломи и се формират нови, също стръмни, с посока СЗ-ЮИ до И-З (в близост с калдерния разлом). Именно по И-З разломи се внедряват риолитови дайки от последния, VI стадии, както и се проявява хидротермална уранова минерализация, сечаща куполите от V стадии. Някои от тези разломи разместват и Сърнишкия бордови разлом. Вертикалните движения по тях вероятно са причината перлит-трахириолитовите куполи да се разкриват сега на различни хипсометрични нива (с денивелация до 400 m).

Литература

- Иванов, Р. 1972. Вулкано-тектонски структури в Боровишкото понижение. – *Изв. Геол. инст. Сер. геохим., минер. и петрогр.*, 21, 193-210.
- Йосифов, Д., Б. Манева, Ал. Цветков, Д. Цветкова, В. Пчеларов (1990). Геотектоническа позиция и строение Спахиевското рудно поле. – *Geologica Balc.*, 20, 1, 45-66.
- Караджов, М., Й. Янев. 1998. Приложение на метода на главните компоненти при тълкуване на еволюцията на Боровишката шошонитова серия, Източни Родопи. – *Геохим., минер. петрол.*, 35, С., 79-92.
- Марчев, П. 1985. *Петрология на палеогенските вулкани в района на селата Безводно и Русалско, Кърджалийско*. Автореф. кандидат. дисерт. Соф. У-т, 26 с.
- Янев, Й. 1990. *Киселият вулканизъм на Боровишката калдера и нейната рамка*. Хабилитационен труд, ГИ БАН, 170 с.
- Lilov, P., Y. Yanev, P. Marchev. 1987. K/Ar dating of the Eastern Rhodopes Paleogene magmatism. – *Geologica Balc.*, 17, 4, 49-58.
- Singer, B., P. Marchev. 2000. Temporal evolution of arc magmatism and hydrothermal activity, including epithermal veins, Borovitza caldera, Southern Bulgaria. – *Econom. Geol.*, 95, 1155-1164.
- Yanev, Y. 1998. Petrology of the Eastern Rhodopes Paleogene acid volcanics, Bulgaria. – In: *Tertiary Magmatism of the Rhodopian Region. Acta Vulcanol.*, 10 (2), 265-277.
- Yanev, Y., F. Innocenti, P. Manetti, G. Serri. 1998. Upper Eocene-Oligocene collision-related volcanism in Eastern Rhodopes (Bulgaria) – Western Thrace (Greece): Petrogenetic affinity and geodynamic significance. – In: *Tertiary Magmatism of the Rhodopian Region. Acta Vulcanol.*, 10 (2), 279-291.
- Yanev, Y., D. Dhont, J.-M. Bardintzeff (2004). Bulgarie : relations entre tectonique et volcanisme. – *Géochronique*, 89, 3, 14-15.