

Επιστημονική Επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τιμητική έκδοση στη μνήμη του ομότιμου καθηγητή Κ. Σολδάτου	Ειδικός τόμος 101	1-8	Θεσσαλονίκη 2012
--	----------------------	-----	---------------------

ΡΥΟΛΙΘΙΚΟΙ ΠΕΠΕΡΙΤΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΜΟ-ΤΡΙΑΔΙΚΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ-ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΠΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ, ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Ασβεστά Α.¹ και Δημητριάδης Σ.²

¹ Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Δυτικής Μακεδονίας, Κοίλα 501 00, Κοζάνη, asvesta@teikoze.gr

² Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 546 21, Θεσσαλονίκη, sarantis@geo.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα ανώτερα μέλη της Περμο-Τριαδικής όξινης Ηφαιστειο-Ιζηματογενούς ακολουθίας της Περιοδοπικής Ζώνης στη βόρεια Ελλάδα εντοπίστηκαν, σε επαφή με πορφυριτικό ρυόλιθο, ασβεστολιθικά πετρώματα τα οποία φιλοξενούν ρυολιθικούς κλάστες. Αυτή η μικτή ιζηματογενής – πυριγενής φάση μελετάται και ερμηνεύεται ως πεπερίτης. Διακρίνονται δύο τύποι πεπεριτών: (1) ο κισσηρώδης ρευστο-μορφοποιημένος πεπερίτης, και (2) ο πορφυριτικός ημιστερο-μορφοποιημένος πεπερίτης. Συζητούνται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (κριτήρια) που διαχωρίζουν τους πεπερίτες ως γενετική φάση από άλλες παρόμοιες φάσεις. Η δημιουργία διαφορετικών τύπων πεπεριτών από το ίδιο μαγματικό υλικό αποδίδεται κυρίως στην αύξηση του ιξώδους κατά την ψύξη του. Η παρουσία πεπεριτών στην Περμο-Τριαδική Ηφαιστειο-Ιζηματογενή ακολουθία φανερώνει αλληλεπίδραση όξινου μάγματος με ένυδρο χαλαρό ανθρακικό ίζημα και αποδεικνύει μαγματισμό (ηφαιστειότητα) ταυτόχρονο με την ιζηματογένεση. Η αναγνώριση των πεπεριτών έχει στη συγκεκριμένη περίπτωση ιδιαίτερη σημασία γιατί συνεισφέρει στη σχετική χρονολόγηση, στη διευκρίνιση της αρχιτεκτονικής των φάσεων και στην αναπαράσταση του παλαιοπεριβάλλοντος.

RHYOLITIC PEPPERITES FROM THE PERMO-TRIASSIC VOLCANO-SEDIMENTARY SUCCESSION IN CIRCUM-RHODOPE BELT, NORTHERN GREECE

Asvesta A.¹ and Dimitriadis S.²

¹ Department of Geotechnology and Environmental Engineering, Technological Educational Institute (T.E.I.) of Western Macedonia, Kila 501 00, Kozani, asvesta@teikoze.gr

² Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 546 21, Thessaloniki, sarantis@geo.auth.gr

ABSTRACT

In the upper members of the Permo-Triassic silicic Volcano-Sedimentary succession within the Circum-Rhodope Belt, northern Greece, calcareous rocks hosting rhyolitic clasts were found in contact with porphyritic rhyolite. This sedimentary – igneous mixed facies is studied and is interpreted as peperite. Two types of peperite can be distinguished: (1) pumiceous fluidal peperite, and (2) porphyritic blocky peperite. The characteristics (criteria) on which peperite is identified as a specific genetic facies, different from other texturally similar facies, are discussed. The formation of different types of peperite from the same magma type is mostly attributed to the increase of its viscosity during cooling. The presence of peperites in the Permo-Triassic Volcano-Sedimentary succession testifies the interaction of silicic magma with wet unconsolidated carbonate sediment and demonstrates contemporaneous magmatism (volcanic activity) and sedimentation. The identification of peperites in this case is particularly important since it contributes to the relative chronology, the recognition of facies architecture and the palaeoenvironmental reconstruction.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος «πεπερίτης», ως γενετική έννοια (Brooks et al. 1982, White et al. 2000, Skilling et al. 2002) χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ποικιλία μικτών κλαστικών πετρωμάτων που αποτελούνται από πυριγενή και ιζηματογενή συστατικά και ερμηνεύονται ότι έχουν δημιουργηθεί από την αλληλεπίδραση μαγματικής διεσόδου με χαλαρά, ένυδρα ιζήματα. Πεπερίτες σχηματίζονται επί τόπου (in situ) από το διαμελισμό του διεσόδου μάγματος σε νεανικούς (juvenile)

κλάστες και την ανάμιξή τους με το χαλαρό, ένυδρο περιβάλλον ίζημα. Ο όρος αναφέρεται επίσης και σε μίγματα που δημιουργούνται με παρόμοιες διαδικασίες στις επαφές λαβών και ζεστών πυροκλαστικών αποθέσεων με τέτοια ιζήματα.

Το μάγμα που εμπλέκεται στη δημιουργία των πεπεριτών μπορεί να έχει ποικίλη σύσταση, από βασαλτική ως ρυολιθική (Skilling et al. 2002 και εκεί αναφορές), ενώ τα ιζήματα μπορεί να ποικίλουν από λεπτό-

κοκκα ως χονδρόκοκκα (Lorenz 1984, Busby-Spera & White 1987, Squire & McPhie 2002). Οι Busby-Spera & White (1987) διακρίνουν δύο βασικούς τύπους πεπεριτών και τους ονομάζουν τον έναν «fluidal» («ρευστο-μορφοποιημένο») και τον άλλον «blocky» («ημιστερο-μορφοποιημένο»), ανάλογα με το κυρίαρχο σχήμα των νεανικών ηφαιστειακών κλαστών.

Οι πεπεριτές συνήθως συνδέονται με συνηφαιστειακές διεισδύσεις σε υποθαλάσσιες ιζηματογενείς ακολουθίες (Brooks et al. 1982, Kokelaar 1982, Lorenz 1984, Kokelaar et al. 1985, Busby-Spera & White 1987, Hanson & Wilson 1993, McPhie 1993, Goto & McPhie 1998, Hanson & Hargrove 1999, Hunns & McPhie 1999, Doyle 2000, Coira & Pérez 2002, Dadd & Van Wagoner 2002, Donaire et al. 2002, Gifkins et al. 2002, Kano 2002, Squire & McPhie 2002, Agnew et al. 2004, Németh et al. 2008). Έχουν όμως περιγραφεί και περιπτώσεις σχηματισμού πεπεριτών σε λιμναίες αποθέσεις (Cas et al. 2001, Erkül et al. 2006, Waichel et al. 2007), ακόμα και σε υπαίριες ακολουθίες (Schmincke 1967, Rawlings et al. 1999, Jerram & Stollhofen 2002).

Στην παρούσα μελέτη, ορισμένα από τα μικτά ρυολιθικά – ασβεστολιθικά κλαστικά πετρώματα που εντοπίστηκαν στα ανώτερα μέλη της Ηφαιστειο-Ιζηματογενούς ακολουθίας της Περιοδοπικής Ζώνης περιγράφονται και ερμηνεύονται με βάση τα χαρακτηριστικά τους ως πεπεριτές. Συζητούνται τα κριτήρια που διαχωρίζουν τους πεπεριτές από άλλες παρόμοιες λιθοφάσεις, καθώς και ο μηχανισμός γένεσης των πεπεριτών. Τονίζεται η σημασία του εντοπισμού τους για τη γεωλογία της περιοχής.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Περιοδοπική Ζώνη, εύρους 10-20 km, στον ελληνικό χώρο εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ από τα βόρεια σύνορα ως τη χερσόνησο της Σιθωνίας. Στη συνέχεια κάμπτεται και με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ διατρέχει το νότιο τμήμα της χερσονήσου του Άθω και συνεχίζει στη νήσο Σαμοθράκη και στο ανατολικότερο τμήμα της Θράκης. Θεωρείται ως η εσωτερικότερη ζώνη των Ελληνίδων και στη Μακεδονία καθιερώθηκε ως αυθυπόστατη μονάδα από τους Kockel et al. (1971), Kauffmann et al. (1976) και Kockel et al. (1977). Η επαφή της Περιοδοπικής Ζώνης με τη Σερβομακεδονική Μάζα θεωρείται τεκτονική, η δε διαδοχή των σχηματισμών της ανεστραμμένη (Mercier 1966/68). Η Περιοδοπική Ζώνη περιλαμβάνει τρεις ενότητες πετρωμάτων δυτικότερα από το δυτικό περιθώριο της Σερβομακεδονικής Μάζας, καθώς και ορισμένα τμήματα της κατά Mercier «Ζώνης της Παιονίας». Τα πετρώματά της έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης, η οποία θεωρείται ότι έγινε στο Ύστερο Ιουρασικό έως Πρώιμο Κρητιδικό. Ταυτόχρονα με αυτό το μεταμορφικό επεισόδιο θεωρείται ότι έγινε η πρώτη φάση πτύχωσης, που περιλαμβάνει σχεδόν ισοκλινείς πτυχές, οπότε δημιουργήθηκε και η κύρια σχιστότητα των πετρωμάτων. Πτυχές ανοιχτές και τύπου kink θεωρούνται ότι δημιουργήθηκαν σε μια δεύτερη φάση πτύχωσης που έλαβε χώρα κατά το Ηώκαινο–Ολιγόκαινο (Mercier 1966/68, Kockel et al. 1971, Kockel et al. 1977).

Η Ηφαιστειο-Ιζηματογενής ακολουθία ανήκει στην ενότητα «Ντεβέ Κοράν–Δουμπιά» της Περιοδοπικής Ζώνης και είναι στρωματογραφικά υπερκείμενη του σχηματισμού του Εξαμιλίου, ηλικίας Περμιού, και υποκείμενη μιας ανθρακικής νηριτικής σειράς ηλικίας Μέσου Τριαδικού που φτάνει ως το Μέσο Ιουρασικό, με πελαγικές φάσεις στα ανώτερα στρώματά της. Ως εκ τούτου, η ηλικία της Ηφαιστειο-Ιζηματογενούς ακολουθίας περιορίζεται στο Κάτω Τριαδικό. Στους επτάνω ορίζοντες της ακολουθίας, κοντά στο χωριό Νέα Σάντα, η παρουσία τρηματοφόρων (*Rectocornuspira kalthori*) δείχνει Κάτω Τριαδική ηλικία (Ferrière & Stais 1995). Ραδιοχρονολόγηση ζirkονίων με τη μέθοδο U-Pb σε ρυολιθική λάβα στην ίδια περιοχή απέδωσε ηλικία 240 Ma (R. Frei, αδημοσίευτη αναφορά στους: Kostopoulos et al. 2001).

Η Ηφαιστειο-Ιζηματογενής ακολουθία δηλώνει υπαίρια, μεταβατική σε υποθαλάσσια ηφαιστειακή δράση και ιζηματογένεση κατά το Περμιο-Τριαδικό, ως αποτέλεσμα της έναρξης ηπειρωτικής διάρρηξης και δημιουργίας παθητικού περιθωρίου, η οποία τελικά οδήγησε στο άνοιγμα μιας Μεσοζωικής ωκεάνιας λεκάνης στη Ζώνη Αξιού (Stais & Ferrière 1991, Ασβεστά 1992, Dimitriadis & Asvesta 1993, Ferrière & Stais 1995, Asvesta & Dimitriadis 2010a,b).

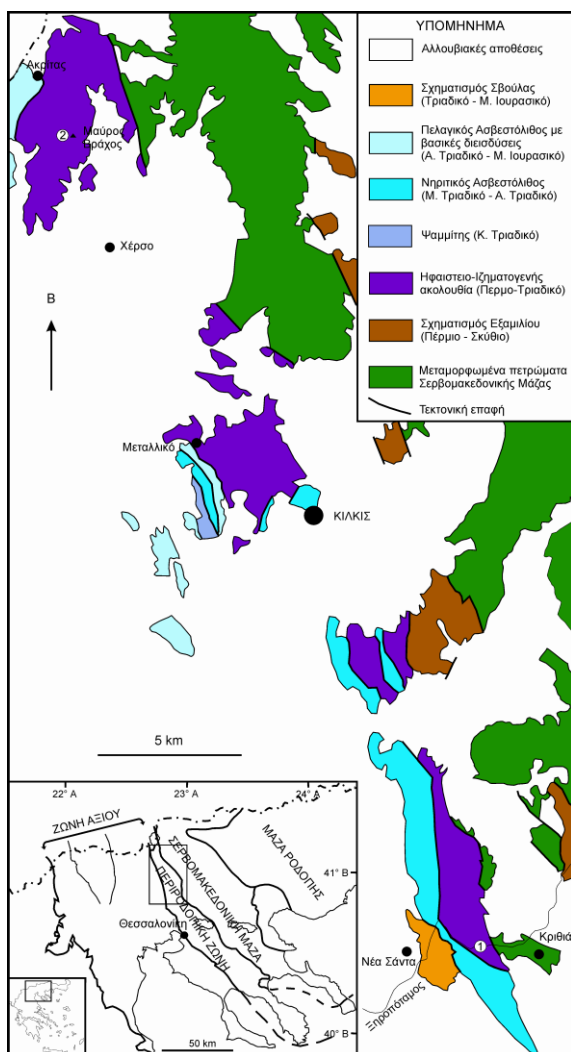
Στα κατώτερα μέλη της η Ηφαιστειο-Ιζηματογενής ακολουθία περιλαμβάνει όξινα πυροκλαστικά πετρώματα (ιγκνιμβρίτες, τόφφους καθώς και ορίζοντες πλούσιους σε λιθάρια επαύξεσης) και ρεύματα αφυριδών οφιδιανικών και κισσηρωδών λαβών με φυσαλίδες γεμισμένες από δευτερογενή ορυκτά, κυρίως χαλαζία και τοπικά βαρύτη. Τα πετρώματα αυτά είναι αφυαλωμένα και έντονα πυριτωμένα. Τα ανώτερα μέλη της αποτελούνται από ρυολιθικές πορφυριτικές λάβες, κοίτες, θόλους και υαλοκλαστίτες, καθώς και υαλοκλαστίτες μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα (πεπεριτές) και τέλος, μικτά ρυολιθικά – ασβεστολιθικά επικλαστικά πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά είναι επίσης έντονα πυριτωμένα και σερικιτωμένα (Ασβεστά 1992, Dimitriadis & Asvesta 1993, Asvesta & Dimitriadis 2010a,b). Παρά τη μεταμόρφωση, η αρχική ορυκτολογική σύσταση και ο ιστός των πετρωμάτων διατηρούνται σε πολύ καλή κατάσταση, γι' αυτό στην περιγραφή που ακολουθεί χρησιμοποιούνται τα ονόματα των πρωτολίθων τους.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΙΤΩΝ

3.1 Ρυολιθικοί πεπεριτές Νέας Σάντας

Στο ρέμα «Ξηροπόταμος», μεταξύ των χωριών Νέα Σάντα και Κριθιά (Σχ. 1, θέση 1), ανάμεσα στα πυροκλαστικά πετρώματα και στις αφυρικές λάβες, εμφανίζεται πορφυριτικός ρυολιθός - ρυοδακίτης με πιθανή μορφή θόλου, διαμέτρου περίπου 1 km. Ο ρυολιθικός θόλος είναι συμπαγής και μη πορώδης στον πυρήνα του, αλλά στα περιφερειακά του τμήματα παρουσιάζει περλιπική υφή και περιέχει σφαιρολίθους διαμέτρου 1-10 cm. Κάθε σφαιρολίθος περιέχει μια λιθοφυσαλίδα (lithophysa) στο εσωτερικό του γεμισμένη με πνευματολυτικό χαλαζία. Ο ρυολιθικός θόλος εφάπτεται τοπικά με μικρή εμφάνιση -μερικών μέτρων- ανθρακικών πετρωμάτων, τα οποία εγκλείουν σερικι-

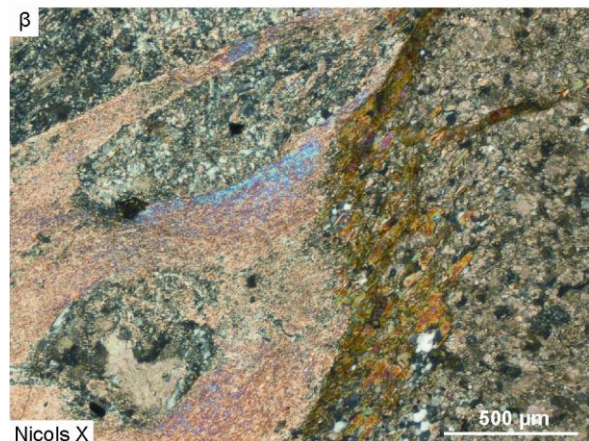
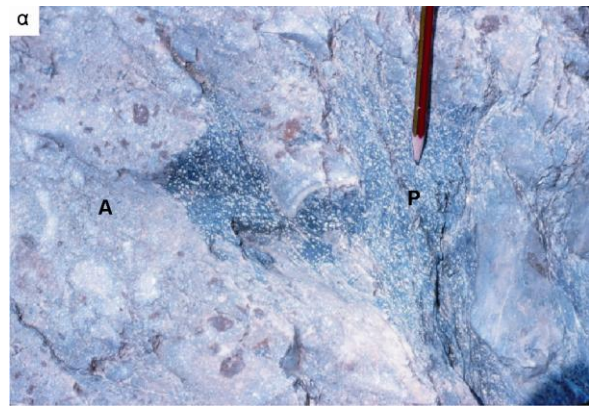
τιωμένα κομμάτια ρυολίθου, δημιουργώντας ένα μικτό λατυποπαγές (breccia) πέτρωμα με περίπλοκες γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ της ανθρακικής φιλοξενούσας φάσης και των εμπεριεχομένων ρυολιθικών κλαστών. Αυτή η μικτή κλαστική μεταβατική λιθοφάση από το ρυόλιθο στον ασβεστόλιθο ερμηνεύεται ως «κισσηρώδης ρευστο-μορφοποιημένος (fluidal) πεπερίτης». Επιπλέον, τοπικά, ο πορφυριτικός ρυολιθικός θόλος διατέμνεται από φλέβες, πάχους από 5 mm ως 50 cm, που περιέχουν γωνιώδη κλαστικά τεμάχια από τον ίδιο το ρυόλιθο μέσα σε ένα ασβεστολιθικό συνδετικό υλικό. Η φάση αυτή ερμηνεύεται ως «πορφυριτικός ημιστερο-μορφοποιημένος (blocky) πεπερίτης». Παρακείμενη μικρή εμφάνιση από μικτά ρυολιθικά-ασβεστολιθικά κλαστικά ιζήματα με αποστρογγυλωμένους λιθικούς κόκκους δεν αποτελούν πεπερίτες, αλλά επικλαστικά ιζήματα που προήλθαν από διάβρωση του ρυολιθικού θόλου και του ασβεστόλιθου. Σε άλλες θέσεις στην ίδια περιοχή ο πορφυριτικός ρυόλιθος εμφανίζεται ως κοίτες ή ροές λάβας που εναλλάσσονται με ασβεστολιθικά στρώματα. Στις επαφές τους παρουσιάζονται επίσης μικρο-πεπεριτικές υφές (Asvesta 1992, Dimitriadis & Asvesta 1993, Asvesta & Dimitriadis 2010a, Asvesta & Dimitriadis 2010b).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης που απεικονίζει τις κυριότερες λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Σημειώνονται οι θέσεις (1) και (2) εμφάνισης των πεπεριτών στην Ηφαιστειο-Ιζηματογενή ακολουθία.

3.1.1 Κισσηρώδης ρευστο-μορφοποιημένος πεπερίτης (*Pumiceous fluidal peperite*)

Αποτελείται από ακανόνιστα, διακλαδούμενα, επιμήκη, λεπτά ινώδη καθώς και αποκομμένα τεμάχια σερικιτιωμένου ρυόλιθου (πυριγενείς κλάστες), κλίμακας cm, εγκλεισμένα σε ανθρακικό υλικό (φιλοξενόν ιζήμα), όπως φαίνεται στη φωτογραφία (Σχ. 2α). Τα δύο συστατικά τοπικά αναμιγνύονται και σε κλίμακα χιλιοστού.

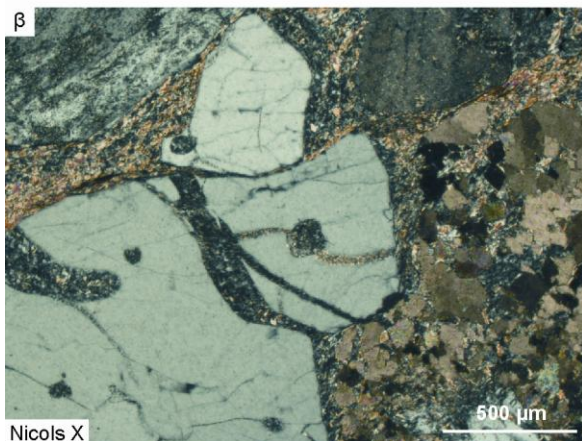


Σχήμα 2. α) Κισσηρώδης ρευστο-μορφοποιημένος (fluidal) πεπερίτης Νέας Σάντας που αποτελείται από σερικιτιωμένους ρυολιθικούς υαλοκλάστες (P) σε ασβεστολιθικό φιλοξενόν πέτρωμα (A). β) Νέο-ορυκτογένεση από υδροθερμική μεταμόρφωση στην επαφή ρυολιθικού υαλοκλάστη (αριστερά) και ασβεστολιθικού πετρώματος (δεξιά).

Οι ρυολιθικοί κλάστες είναι παραμορφωμένοι, σχιστοποιημένοι και τοπικά συμπυκνωμένοι μαζί με το ασβεστολιθικό υλικό. Παρόλο που το σχήμα τους οφείλεται εν μέρει στην παραμόρφωση, κατά μεγάλο ποσοστό αποδίδεται και στην αρχική ρευστική υφή τους. Πρόκειται για κισσηρώδη ρυολιθικά τεμάχια (υαλοκλάστες) που περιέχουν λίγους φαινοκρυστάλλους αστρίων. Λόγω έντονης αλλοίωσης και μεταμόρφωσης, η υαλώδης μάζα έχει μετατραπεί πλήρως σε σερικιτή και οι φαινοκρύσταλλοι αστρίων (1-3 mm) έχουν ασβεστοποιηθεί. Πιθανοί πρώην πυριγενείς κρύσταλλοι βιοτίτη έχουν μετατραπεί σε συσσωματώματα οξειδίων του σιδήρου και λευκό μαρμαρυγία. Υπάρχουν επίσης κρύσταλλοι ζirkονίου που έχουν μερικώς καταστραφεί μεταμικτικά. Οι φυσαλίδες στην κίσηρη διατηρούνται σε πολύ καλή κατάσταση, καθώς είναι γεμισμένες με μικροκρυσταλλικό χαλαζία και ασβεστίτη

και αυτό εμπόδισε τη σύμπτυξή τους. Το ελλειπτικό σχήμα τους οφείλεται εν μέρει και στην παραμόρφωση. Τα όρια ορισμένων υαλοκλαστών παρουσιάζουν «ξεφτισμένη» υφή λόγω σπασίματος των φυσαλίδων.

Το φιλοξενόν ανθρακικό πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως βιο-ασβεστοουδίτης που πιθανότατα προέρχεται από κοντινή ασβεστολιθική πλατφόρμα, καθώς περιέχει θραύσματα κοραλλιών που ανήκουν στο γένος *Thecosmilia* (Asvesta & Dimitriadis 2010a). Το γένος αυτό απαντάται επίσης στο Τριαδικό της Ζώνης Πανασσού–Γιώνας. Το ασβεστολιθικό πέτρωμα, κατά μήκος της επαφής του με ορισμένους υαλοκλάστες, παρουσιάζεται αποχρωματισμένο, εξαιτίας της πυριτίωσης και της θέρμανσής του από τους αρχικά ζεστούς υαλοκλάστες. Όπως φαίνεται μικροσκοπικά (φωτογραφία: Σχ. 2β), πλησιάζοντας από την ασβεστιτική προς τη ρυολιθική φάση εμφανίζονται τα εξής ορυκτά: σπαριτικός ασβεστίτης σε μεγάλους κρυστάλλους, λεπτόκοκκος χαλαζίας όπως των πυριτόλιθων (cherts), λίγος αλβίτης, καθώς και βιοτίτης που πλαισιώνει τους ρυολιθικούς κλάστες και είναι προσανατολισμένος παράλληλα στη σχιστότητα.



Nicols X
Σχήμα 3. α) Πορφυριτικός ημιστερο-μορφοποιημένος (blocky) πεπερίτης Νέας Σάντας που γεμίζει ρωγμή στο ρυολιθικό θόλο. Γωνιώδη τεμάχια πορφυριτικού ρυολίθου σε συνδετικό υλικό ασβεστίτη και δολομίτη. β) Μικροσκοπική εικόνα στον πορφυριτικό ημιστερο-μορφοποιημένο (blocky) πεπερίτη. Χαλαζίας με μαγματική διάβρωση, πλαγιόκλαστο και σερικήτης (αριστερά) σε επαφή με μια μάζα σπαριτικού ασβεστίτη (δεξιά).

3.1.2 Πορφυριτικός ημιστερο-μορφοποιημένος πεπερίτης (Porphyritic blocky periperite)

Αποτελείται από γωνιώδεις πορφυριτικούς ρυολιθικούς κλάστες, μήκους ως 40 cm, με ακανόνιστα πο-

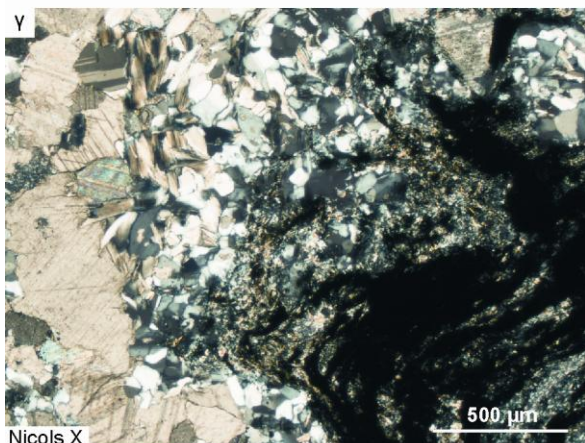
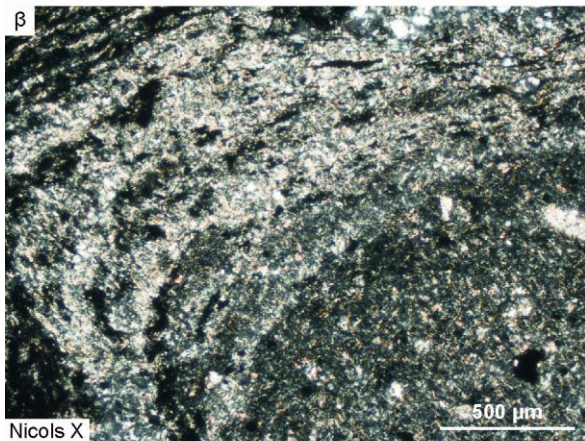
λυεδρικά σχήματα και με επίπεδες, κυρτές ή κοίλες πλευρές, που υποστηρίζονται από την κύρια ανθρακική μάζα (φωτογραφία: Σχ. 3α). Οι ρυολιθικοί κλάστες βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους και κατά θέσεις είναι φανερό ότι θα μπορούσαν να συναρμολογηθούν, όπως τα τεμάχια των παζλ (jigsaw-fit texture). Είναι φανερό ότι αποσπάστηκαν από τις πλευρές των ρωγμών του γειτονικού πορφυριτικού ρυολίθου. Η πρώην υαλώδη μάζα είναι ανακρυσταλλωμένη σε λεπτοκρυσταλλικό χαλαζία και ελάχιστο σερικήτη. Οι φαινοκρύσταλλοι είναι κυρίως χαλαζίας με πρωτογενή σπασίματα και διατηρημένη τη μαγματική του διάβρωση, καθώς και περθιωμένος K-ούχος άστριος και σερικήτιωμένο πλαγιόκλαστο που απαντούν σε μικρό ποσοστό (φωτογραφία: Σχ. 3β). Υπάρχουν ακόμη ελάχιστοι κρύσταλλοι ζirkονίου.

Το ανθρακικό υλικό αποτελείται από χονδρόκοκκο σπαριτικό ασβεστίτη, με κατά θέσεις συγκεντρωμένα ρομβόεδρα δολομίτη, καθώς και από λεπτοκρυσταλλικό χαλαζία. Η έντονη ανακρυστάλλωση, η δολομίτωση και η πυριτίωση έχουν εξαφανίσει πιθανές πρωτογενείς ιζηματογενείς υφές. Γωνιώδεις κρύσταλλοι χαλαζία με μαγματική διάβρωση και κρύσταλλοι K-ούχου αστρίου και πλαγιόκλαστου αποσπασμένοι από το ρυόλιθο βρίσκονται διασκορπισμένοι στην ανθρακική μάζα.

3.2 Ρυολιθικοί πεπερίτες Ακρίτα

Νότια του χωριού Ακρίτας, δυτικά από το λόφο Μαύρος Βράχος (Σχ. 1, θέση 2), μέσα στα όξινα πέτρωμα της Ηφαιστειο-Ιζηματογενούς ακολουθίας υπάρχουν τεκτονικά τοποθετημένα τεμάχια Τριαδικού νηριτικού ασβεστόλιθου της ενότητας «Ντεβέ Κοράν–Δουμπιά». Λεπτομερέστερη παρατήρησή τους έδειξε ότι εγκλείουν κλάστες από το γειτονικό πορφυριτικό ρυόλιθο ιώδους χρώματος (φωτογραφία: Σχ. 4α). Οι φαινοκρύσταλλοι στους ρυολιθικούς κλάστες είναι χαλαζίας, K-ούχος άστριος, πλαγιόκλαστο, καθώς και λίγο ζirkόνιο. Περιφερειακά, σε ορισμένους ρυολιθικούς κλάστες, η κύρια μάζα παρουσιάζει ρευστική υφή και εμπλουτισμό σε μικροκρυστάλλους αδιαφανών ορυκτών, ξεχωρίζοντας σα στεφάνι από την υπόλοιπη μάζα, φαινόμενο που ενισχύεται και από την ανακρυστάλλωση και την αλλοίωση σε σερικήτη και χαλαζία (φωτογραφία: Σχ. 4β). Το περιφερειακό αυτό στεφάνι πιθανά αντιπροσωπεύει απότομα ψυγμένο περιθώριο (chilled margin) εμπλουτισμένο σε Fe από υδροθερμική αλλοίωση στη διάρκεια γένεσης του πεπερίτη.

Το φιλοξενόν ανθρακικό πέτρωμα αποτελείται από μικροσπαριτικό ασβεστίτη και περιέχει βιοκλάστες κρινοειδών. Μεταμορφικά αναπτύχθηκαν πορφυροβλάστες και ποικιλοβλάστες πιεμονίτη, γεγονός που φανερώνει ίζημα πλούσιο σε Mn και Fe. Κατά μήκος της επαφής ρυολιθικών κλαστών και ανθρακικού υλικού παρατηρείται, όπως και στους κισσηρώδεις πεπερίτες της Νέας Σάντας, σπαριτικός ασβεστίτης (ανακρυστάλλωση), λεπτόκοκκος χαλαζίας (πυριτίωση), λίγος αλβίτης και χλωρίτης (φωτογραφία: Σχ. 4γ), που πιθανά δημιουργήθηκαν λόγω υδροθερμικής αλλοίωσης και μεταμόρφωσης κατά τη διάρκεια ή/και μετά το σχηματισμό του πεπερίτη.



Σχήμα 4. α) Ρυολιθικός πεπερίτης Ακρίτα. Πορφυριτικός υαλοκλάστης ρυολίθου (P) φιλοξενείται στο ασβεστολιθικό πέτρωμα (A). β) Πιθανά αλλοιωμένο απότομα ψυγμένο περιθώριο σε υαλοκλάστη ρυολίθου. γ) Νέο-ορυκτογένεση από υδροθερμική μεταμόρφωση στην επαφή ρυολιθικού υαλοκλάστη (δεξιά) και ασβεστολιθικού πετρώματος (αριστερά).

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο χαρακτηρισμός μιας συγκεκριμένης λιθοφάσης ως πεπερίτη απαιτεί προσκόμιση αποδείξεων για το ότι: (α) το φιλοξενόν ίζημα ήταν ένυδρο και χαλαρό κατά το χρόνο της ανάμιξης και (β) το πυριγενές συστατικό ήταν σε κατάσταση τήξης (Goto & McPhie 1996, Hunns & McPhie 1999, White et al. 2000, Gifkins et al. 2002, Skilling et al. 2002, Squire & McPhie 2002, Agnew et al. 2004). Κλαστικές λιθοφάσεις παρόμοιας σύστασης και υφής με τους πεπερίτες, που προκύπτουν όμως με διαφορετικές γενετικές διαδικασίες,

μπορεί να είναι δύσκολο να διαχωριστούν από αυτούς, ιδίως στα πολύ παλιά πετρώματα που έχουν υποστεί αλλοιώσεις. Διαδικασίες όπως, η εισχώρηση ιζήματος στον κενό χώρο ηφαιστειοκλαστικών αποθέσεων, η πτώση νεανικών πυροκλαστών σε χαλαρό ίζημα, η καθίζηση σε νερό νεανικών πυροκλαστών ταυτόχρονα με την ιζηματογένεση και η επανιζηματοποίηση ηφαιστειοκλαστικών αποθέσεων με μαζώδεις ροές, μπορούν να παράγουν μίγματα πυριγενών κλαστών και ιζήματος που μοιάζουν με πεπερίτες (Branney & Suthren 1988, White et al. 2000, Gifkins et al. 2002).

Τα χαρακτηριστικά που αποτελούν πειστήρια για την ερμηνεία των μικτών φάσεων ρυολίθου – ασβεστολίθου της Νέας Σάντας και του Ακρίτα ως πεπερίτες είναι τα ακόλουθα:

- 1) Η βαθμιαία μετάβαση και η περίπλοκη γεωμετρική σχέση μεταξύ των γειτονικών λιθοφάσεων (ρυολίθου–ασβεστόλιθου).
- 2) Η ρευστική υφή των κισσηρωδών υαλοκλαστών που φανερώνει ροή και μια εύπλαστη (ductile) κατάσταση το χρόνο της ανάμιξής τους με το ίζημα, καθώς και τα ξεφτισμένα άκρα τους που δείχνουν σπάσιμο των φυσαλίδων, είτε από έκταση, είτε από έκρηξη.
- 3) Το γωνιώδες σχήμα των πορφυριτικών υαλοκλαστών με τις απότομες επίπεδες, κυρτές ή κοίλες πλευρές και η αναγνώριση της δυνατότητας συναρμολόγησης των κομματιών μεταξύ τους (jigsaw-fit texture), φανερώνει σπάσιμο επί τόπου (in situ) από απότομη ψύξη ενός σχετικά εύθραυστου (brittle) υψηλού ιξώδους ρυολιθικού μάγματος, μετά την ενσωμάτωσή του στο φιλοξενόν ανθρακικό ίζημα.
- 4) Η πιθανή παρουσία απότομα ψυγμένου περιθωρίου (chilled margin) σε ορισμένους υαλοκλάστες.
- 5) Η ανακρυστάλλωση του ασβεστίτη, η πυριπίωση και η νέο-ορυκτογένεση κατά μήκος των επαφών του φιλοξενούντος ασβεστολιθικού πετρώματος με τα ρυολιθικά τεμάχια ερμηνεύονται ως αποτέλεσμα υδροθερμικής μεταμόρφωσης, δηλαδή «ψησίματος» του ψυχρού ιζήματος στην επαφή με τους ζεστούς ρυολιθικούς υαλοκλάστες.
- 6) Η παρουσία ασβεστίτη και χαλαζία στις φυσαλίδες των κισσηρωδών υαλοκλαστών φανερώνει εισροή ρευστοποιημένου ασβεστιτικού ιζήματος που γέμισε τις κενές φυσαλίδες καθώς και απόθεση υδροθερμικού χαλαζία.

Η γένεση πεπερίτη εξ' ορισμού συνεπάγεται διαμελισμό του μάγματος για να σχηματίσει νεανικούς κλάστες και ανακάτεμα αυτών των κλαστών με το φιλοξενόν ίζημα. Ο διαμελισμός του μάγματος μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες, όπως: απότομη ψύξη, μηχανική πίεση (αυτοσπάσιμο), εκρήξεις ατμού από το νερό των πόρων του ιζήματος, εκρήξεις στις φυσαλίδες του μάγματος (Skilling et al. 2002 και εκεί αναφορές). Το ανακάτεμα των νεανικών κλαστών με το φιλοξενόν ίζημα προωθείται κυρίως λόγω ρευστοποίησης (fluidization) του ιζήματος, δυναμικής διείσδυσης του μάγματος, υδρομαγματικών εκρήξεων, αντίθεση των πυκνοτήτων μάγματος–ιζήματος (Skilling et al. 2002 και εκεί αναφορές).

Η περίπτωση του ρυολιθικού θόλου της Νέας Σάντας χαρακτηρίζεται από την τοπική παρουσία δύο διαφορετικών τύπων πεπεριτών: (1) πεπερίτης με κισ-

σπρωδεις ρευστο-μορφοποιημένους (fluidal) κλάστες που φιλοξενούνται σε ίζημα ασβεστορουδίτη στα περιθώρια του ρυολιθικού θόλου και (2) πεπερίτης με πορφυριτικούς ημιστερο-μορφοποιημένους (blocky) κλάστες μέσα σε ανθρακικό ίζημα ανακρυσταλλωμένο και δολομιτωμένο, που εμφανίζεται ως «κλαστικές φλέβες», καθώς γεμίζει ρωγμές συστολής του θόλου λόγω ψύξης.

Οι Busby-Spera & White (1987) παρατήρησαν ότι «fluidal» πεπερίτης αναπτύσσεται κυρίως όταν το φιλοξενόν ίζημα είναι λεπτόκοκκο, ενώ «blocky» πεπερίτης όταν το ίζημα είναι χονδρόκοκκο. Στην περίπτωση των πεπεριτών Νέας Σάντας, το ίζημα που φιλοξενεί τους ρευστο-μορφοποιημένους (fluidal) κλάστες είναι σε αντίθεση χονδρόκοκκο. Άρα δεν ήταν το μέγεθος των κόκκων του ιζήματος που διαμόρφωσε τη μορφή των κλαστών.

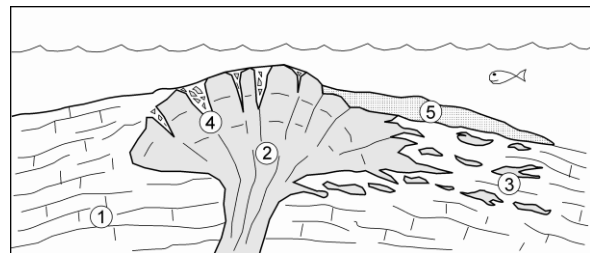
Οι Goto & McPhie (1996) αρχικά, και συμφώνησαν μαζί τους αργότερα και άλλοι ερευνητές (Coira & Pérez 2002, Dadd & Van Wagoner 2002, Erkül et al. 2006, Martin & Németh 2007) θεωρούν ότι το ιξώδες του μάγματος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που ελέγχει τη δημιουργία «fluidal» ή «blocky» πεπερίτη. Έτσι, μάγμα με χαμηλό ιξώδες δημιουργεί ρευστο-μορφοποιημένους (fluidal) κλάστες, ενώ αντίθετα μάγμα υψηλού ιξώδους δημιουργεί ημιστερο-μορφοποιημένους (blocky) κλάστες. Το ιξώδες εξαρτάται από τη χημική σύσταση του μάγματος, την πίεση, τη θερμοκρασία, το ποσοστό των κρυστάλλων στο μάγμα, των πτητικών -ιδίως του διαλυμένου ύδατος- και την περιεκτικότητα σε φυσαλίδες (Cas & Wright 1987).

Όταν το ρυολιθικό μάγμα διείσδυσε στο ανθρακικό ίζημα φαίνεται ότι είχε αρκετά υψηλή θερμοκρασία, ελάχιστους κρυστάλλους αστρίων και ήταν πλούσιο σε πτητικά (πιθανή συμμετοχή και νερού από το ίζημα), με αποτέλεσμα να βρίσκεται σε εύπλαστη κατάσταση, όπως φανερώνει η ρευστική υφή των κλαστών και η παρουσία θερμικής μεταμόρφωσης του ιζήματος στις επαφές με τους ρυολιθικούς κλάστες στον κισσηρώδη ρευστο-μορφοποιημένο (fluidal) πεπερίτη Νέας Σάντας, καθώς και στον πεπερίτη Ακρίτα. Ο θόλος πρέπει να τοποθετήθηκε κάτω από πολύ λεπτό κάλυμμα ένυδρου χαλαρού ιζήματος και σε σχετικά πολύ ρηχή θάλασσα (παραύλαξη θραυσμάτων κοραλλίων στο ίζημα) έτσι ώστε η «περιοριστική» πίεση (confining pressure), από το ίζημα και το νερό, να ήταν αρκετά χαμηλή ώστε να επιτρέψει την ανάπτυξη φυσαλίδων στα περιφερειακά τμήματα του θόλου (παρόμοιες περιπτώσεις: Hunns & McPhie 1999, Giffkins et al. 2002). Η «φυσαλιδοποίηση» του μάγματος και η ανάπτυξη της κισσηρώδους υφής του έγινε πριν το διαμελισμό του, όπως φανερώνουν οι σπασμένες φυσαλίδες στα ξεφτισμένα άκρα των κλαστών του πεπερίτη. Ζεστός κισσηρώδης ρυολίθος από το περιφερειακό τμήμα του θόλου, σε συνθήκες κοντά στη μεταβατική θερμοκρασία του γυαλιού, αλληλεπιδράσε απ' ευθείας με το ένυδρο χαλαρό ίζημα και διαμελίστηκε, είτε από απότομη ψύξη και/ή εκρήξεις ατμού (quench fragmentation and/or steam explosions), είτε από έκταση κατά τη ροή (αυτοσπάσιμο). Δημιουργήθηκε έτσι αρχικά ο «fluidal» πεπερίτης.

Η παρουσία πορφυριτικού ημιστερο-μορφοποιημένου (blocky) πεπερίτη με μορφή φλεβών στο θόλο

της Νέας Σάντας δείχνει ότι αυτός δημιουργήθηκε σε ένα δεύτερο στάδιο, όταν η θερμοκρασία του μάγματος είχε κατέβει και αυτό απέκτησε υψηλότερο ιξώδες, έγινε πιο πορφυριτικό και πιο εύθραυστο. Πιθανή νέα διείσδυση μάγματος στο θόλο να επέβαλε πίεση σε τμήματα που είχαν ήδη αρχίσει να παγώνουν και να στερεοποιούνται, προκαλώντας τον εύθραυστο διαμελισμό του ρυολίθου κατά μήκος των ρωγμών συστολής του. Το ρευστοποιημένο ανθρακικό ίζημα εισχώρησε στις ανοιγμένες ρωγμές με αποτέλεσμα να τις ψύξει επιπλέον και να προκαλέσει σπάσιμο του πορφυριτικού ρυολίθου (quench fragmentation) σε γωνιώδη τεμάχια και ανάμιξή τους με το ίζημα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό «blocky» πεπερίτη με μορφή κλαστικών φλεβών (παρόμοιες περιπτώσεις: Brooks et al. 1982, Kokelaar 1982, Goto & McPhie 1996, Coira & Pérez 2002, Dadd & Van Wagoner 2002, Erkül et al. 2006, Martin & Németh 2007). Ο ρυολιθικός θόλος πιθανότατα τελικά πέρασε τη διαχωριστική επιφάνεια νερού – ιζήματος, όπως δηλώνει η παρουσία επικλαστικών μικτών ιζημάτων που προήλθαν από διάβρωση ρυολίθου και ασβεστολίθου.

Στο σχήμα 5 αναπαριστάνεται σχηματικά ο μηχανισμός γένεσης των πεπεριτών κατά τη διείσδυση του ρυολιθικού θόλου της Νέας Σάντας σε ένυδρο χαλαρό ανθρακικό ίζημα και προτείνεται η εικόνα της αρχιτεκτονικής των φάσεων και του παλαιοπεριβάλλοντος (βλέπε αναλυτικά: Asvesta & Dimitriadis 2010a).



Σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση της διείσδυσης του πορφυριτικού ρυολιθικού θόλου της Νέας Σάντας σε ένυδρο χαλαρό ασβεστολιθικό ίζημα και δημιουργία πεπεριτών. (1) ασβεστολιθικό χαλαρό ίζημα, (2) ρυολιθικός θόλος, (3) κισσηρώδης ρευστο-μορφοποιημένος (fluidal) πεπερίτης, (4) πορφυριτικός ημιστερο-μορφοποιημένος (blocky) πεπερίτης και (5) μικτά ασβεστολιθικά – ρυολιθικά επικλαστικά ιζήματα.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ορισμένα από τα μικτά ρυολιθικά – ασβεστολιθικά κλαστικά πετρώματα που εντοπίστηκαν στα ανώτερα μέλη της Ηφαιστειο-Ιζηματογενούς ακολουθίας της Περιοδοτικής Ζώνης ερμηνεύονται, βάση γενετικών κριτηρίων, ως πεπερίτες. Η παρουσία των πεπεριτών φανερώνει την αλληλεπίδραση όξινου μάγματος με ανθρακικά ένυδρα χαλαρά ιζήματα. Αναγνωρίστηκαν δύο τύποι ρυολιθικών πεπεριτών: (1) ο κισσηρώδης ρευστο-μορφοποιημένος (fluidal) πεπερίτης και (2) ο πορφυριτικός ημιστερο-μορφοποιημένος (blocky) πεπερίτης. Ο πρώτος τύπος δημιουργήθηκε όταν το μάγμα ήταν σε εύπλαστη κατάσταση ενώ αργότερα όταν το μάγμα ήταν σε εύθραυστη κατάσταση δημιουργήθηκε ο δεύτερος τύπος. Η μετάβαση από τον πρώτο τύπο στο δεύτερο έγινε σταδιακά, καθώς η θερμοκρασία του μάγματος έπεφτε και το ιξώδες του αυξανόταν.

Ο εντοπισμός και η αναγνώριση των πεπεριτών στην Ηφαιστειο-Ιζηματογενή ακολουθία της Περιροδοπικής Ζώνης έχει ιδιαίτερη σημασία για τη γεωλογία της περιοχής γιατί:

1. Αποδεικνύει μαγματισμό ταυτόχρονο με την ανθρακική ιζηματογένεση και επιβεβαιώνει την ηλικία των πορφυριτικών ρυολίθων των περιοχών Νέας Σαντας και Ακρίτα ως Τριαδική, πιθανά Μέσο Τριαδική (σχετική χρονολόγηση).
2. Διαμορφώνει την εικόνα της αρχιτεκτονικής των φάσεων στους ανώτερους ορίζοντες της Ηφαιστειο-Ιζηματογενούς ακολουθίας.
3. Δηλώνει το περιβάλλον διείδυσης και έκχυσης ορισμένων πορφυριτικών ρυολιθικών θόλων, κοιτών και λαβών ως ρηχό υποθαλάσσιο.

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Οι συγγραφείς αφιερώνουν την εργασία αυτή στη μνήμη του εκλειπόντος Κωνσταντίνου Σολδάτου, επί σειρά ετών καθηγητή της Ορυκτολογίας και Πετρολογίας στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Η πρώτη εκ των συγγραφών προέρχεται από τη σχετικά νεότερη γενιά των φοιτητών του, ενώ ο δεύτερος από το πρώτο φοιτητικό του ακροατήριο. Και οι δύο πάντως οφείλουν στον εκλειπόντα, εκτός από πολλά άλλα, την αγάπη για τη μικροσκοπική πετρογραφία και τη δεξιοτήτα στη χρήση των πολλών δυνατοτήτων του πολωτικού μικροσκοπίου για την αποκρυπτογράφηση των μυστικών των πετρωμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ασβεστά Α. 1992. Ο μαγματισμός και η συνοδός του ιζηματογένεση κατά τα πρώτα στάδια ανοίγματος της ωκεάνιας λεκάνης του Αξιού στο Τριαδικό. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 439σ.
- Agnew M.W., Bull S.W. & Large R.R. 2004. Facies architecture of the Lewis Ponds carbonate and volcanic-hosted massive sulfide deposits, central western New South Wales. *Aust. J. Earth Sci.*, 51, 349-368.
- Asvesta A. & Dimitriadis S. 2010a. Facies architecture of a Triassic rift-related Silicic Volcano-Sedimentary succession in the Tethyan realm, Peonias subzone, Vardar (Axios) Zone, northern Greece. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 193, 245-269.
- Asvesta A. & Dimitriadis S. 2010b. The Nea Santa submarine rhyolite dome of the Triassic Silicic Volcano-Sedimentary succession, Circum-Rhodope Belt, northern Greece. XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece. In: *Geologica Balcanica*, abstracts vol. 39(1-2), 30-31.
- Branney M. & Suthren R. 1988. High-level peperitic sills in the English Lake District: distinction from block lavas, and implications for Borrowdale Volcanic Group stratigraphy. *Geol. J.*, 23, 171-187.
- Brooks E.R., Wood M.M. & Garbutt P.L. 1982. Origin and metamorphism of peperite and associated rocks in the Devonian Elwell Formation, northern Sierra Nevada, California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93, 1208-1231.
- Busby-Spera C.J. & White J.D.L. 1987. Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. *Bull. Volcanol.*, 49, 765-775.
- Cas R.A.F. & Wright J.V. 1987. *Volcanic Successions: Modern and ancient. A geological approach to processes, products and successions.* Unwin Hyman, Boston, Mass., 528p.
- Cas R.A.F., Edgar C., Allen R.L., Bull S., Clifford B.A., Giordano G. & Wright J.V. 2001. Influence of magmatism and tectonics on sedimentation in an extensional lake basin: the upper Devonian Bunga Beds, Boyd Volcanic Complex, southeastern Australia. In: *Volcaniclastic Sedimentation in Lacustrine Settings*, White J.D.L. & Riggs N.R. (eds.), *Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ.*, 30, 83-108.
- Coira B. & Pérez B. 2002. Peperitic textures of Ordovician dacitic synsedimentary intrusions in Argentina's Puna Highland: clues to emplacement conditions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 165-180.
- Dadd K.A. & Van Wagoner N.A. 2002. Magma composition and viscosity as controls on peperite texture: an example from Passamaquoddy Bay, southeastern Canada. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 63-80.
- Dimitriadis S. & Asvesta A. 1993. Sedimentation and magmatism related to the Triassic rifting and later events in the Vardar-Axios zone. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXVIII(2), 149-168.
- Donaire T., Sáez R. & Pascual E. 2002. Rhyolitic globular peperites from the Aznalcollar mining district (Iberian Pyrite belt, Spain): physical and chemical controls. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 119-128.
- Doyle M.G. 2000. Clast shape and textural associations in peperite as a guide to hydromagmatic interactions: Upper Permian basaltic and basaltic andesite examples from Kiama, Australia. *Aust. J. Earth Sci.*, 47, 167-177.
- Erkül F., Helvacı C. & Sözbilir H. 2006. Olivine basalt and trachyandesite peperites formed at the subsurface/surface interface of a semi-arid lake: An example from the Early Miocene Bigadiç basin, western Turkey. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 149, 240-262.
- Ferrière J. & Stais A. 1995. Nouvelle interprétation de la suture téthysienne vardarienne d'après l'analyse des séries de Péonias (Vardar oriental, Hellénides internes). (New interpretation of the Vardarian Tethysian area based on the Peonian series). *Bull. Soc. géol. France*, 166(4), 327-339.
- Giffkins C.C., McPhie J. & Allen R.L. 2002. Pumiceous rhyolitic peperite in ancient submarine volcanic successions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 181-203.
- Goto Y. & McPhie J. 1996. A Miocene basanite peperitic dyke at Stanley, northwestern Tasmania, Australia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 74, 111-120.
- Goto Y. & McPhie J. 1998. Endogenous growth of a Miocene submarine dacite cryptodome, Rebun Island, Hokkaido, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 84, 273-286.
- Hanson R.E. & Hargrove U.S. 1999. Processes of magma/wet sediment interaction in a large-scale Jurassic andesitic peperite complex, northern Sierra Nevada, California. *Bull. Volcanol.*, 60, 610-626.
- Hanson R.E. & Wilson T.J. 1993. Large-scale rhyolitic peperites (Jurassic, southern Chile). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 54, 247-264.
- Hunns S.R. & McPhie J. 1999. Pumiceous peperite in a submarine volcanic succession at Mount Chalmers, Queensland, Australia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 88, 239-254.
- Jerram D. & Stollhofen H. 2002. Lava/sediment interaction in desert settings: are all peperite-like textures the result of magma-water interaction? *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 231-249.
- Kano K. 2002. Middle Miocene volcaniclastic dikes at Kukedo, Shimane Peninsula, SW Japan: fluidization of volcaniclastic beds by emplacement of synvolcanic andesitic dikes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 81-94.
- Kauffmann G., Kockel F. & Mollat H. 1976. Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides

- (Northern Greece). *Bull. Soc. géol. France* (7) XVIII, 225-230.
- Kockel F., Mollat H. & Walther H.W. 1971. "Geologie des Serbo-Mazedonischen Massivs und seines Mesozoischen rahmens (Nord Griechenland)". (Geology of the Serbo-Macedonian Massif and its Mesozoic framework, Northern Greece). *Geol. Jb.*, 89, 529-551.
- Kockel F., Mollat H. & Walther H.W. 1977. Erläuterungen zur Geologischen Karte der Chalkidhiki und angrenzender Gebiete 1:100 000, (Nord-Griechenland), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 119p.
- Kokelaar B.P. 1982. Fluidization of wet sediments during the emplacement and cooling of various igneous bodies. *J. Geol. Soc. London*, 139, 21-33.
- Kokelaar B.P., Bevins R.E. & Roach R.A. 1985. Submarine silicic volcanism and associated sedimentary and tectonic processes, Ramsey Island, SW Wales. *J. Geol. Soc. London*, 142, 591-613.
- Kostopoulos D., Reischmann T. & Sklavounos S. 2001. Palaeozoic and Early Mesozoic Magmatism and Metamorphism in the Serbo-Macedonian Massif, Central Macedonia, Northern Greece. *Integrated Tectonic Studies of the Evolution of the Tethyan Orogenic Belt in the Eastern Mediterranean Region*, Symposium LS03, Strasbourg, Abstracts, EUG XI, 318.
- Lorenz B.E. 1984. Mud-magma interactions in the Dunnage Mélange, Newfoundland. In: *Volcanic and Associated Sedimentary and Tectonic Processes in Modern and Ancient Marginal Basins*, Kokelaar B.P. & Howells M. (eds.), *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 16, 271-277.
- Martin U. & Németh K. 2007. Blocky versus fluidal peperite textures developed in volcanic conduits, vents and crater lakes of phreatomagmatic volcanoes in Mio/Pliocene volcanic fields of Western Hungary. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 159, 164-178.
- McPhie J. 1993. The Tennant Creek porphyry revisited: A synsedimentary sill with peperite margins, Early Proterozoic, Northern Territory. *Aust. J. Earth Sci.*, 40, 545-558.
- Mercier J. 1966/68. I - Études géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine Centrale (Grèce). II - Contribution à l'étude du métamorphisme et de l'évolution magmatiques des zones internes des Hellénides. Thèse Doct. Ès Sciences, Univ. Paris, 792p. (also in: 1975, *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 20, 1-792).
- Németh K., Zoltán P., Martin U., Gmélíng K., Molnár F. & Cronin S.J. 2008. Hyaloclastites, peperites and soft-sediment deformation textures of a shallow subaqueous Miocene rhyolitic dome-cryptodome complex, Pálháza, Hungary. In: *Structure and Emplacement of High-Level Magmatic Systems*, Thomson K. & Petford N. (eds), *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 302, 63-86.
- Rawlings D.J., Watkeys M.K. & Sweeney R.J. 1999. Peperitic upper margin of an invasive flow, Karoo flood basalt province, northern Lebombo. *S. Afr. J. Geol.*, 102, 377-383.
- Schmincke H.U. 1967. Fused tuff and peperites in south-central Washington. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 78, 319-330.
- Skilling I.P., White J.D.L. & McPhie J. 2002. Peperite: a review of magma-sediment mingling. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 1-17.
- Squire R.J. & McPhie J. 2002. Characteristics and origin of peperite involving coarse-grained host sediment. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 114, 45-61.
- Stais A. & Ferrière J. 1991. Nouvelles donnees sur la paleogeographie Mesozoique du domaine Vardarien: Les bassins d'Almopias et de Peonias (Macédoine, Hellenides Internes Septentrionales). *Bull. Geol. Soc. Greece XXV*(1), 491-507.
- Waichel B.L., De Lima E.F., Sommer C.A. & Lubachesky R. 2007. Peperite formed by lava flows over sediments: An example from central Paraná Continental Flood Basalts, Brazil. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 159, 343-354.
- White J.D.L., McPhie J. & Skilling I.P. 2000. Peperite: a useful genetic term. *Bull. Volcanol.*, 62, 65-66.