

Η ΘΕΙΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΠΤΑΔΕΝΔΡΟΥ ΚΑΙ ΡΑΧΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ

Χατζηκύρκου Α.¹, Μιχαηλίδης Κ.²

¹ ΙΓΜΕ, Φράγκων 1, 546 26 Θεσσαλονίκη

² Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετάται η θειούχος μεταλλοφορία των περιοχών Επταδένδρου και Ράχης που φιλοξενείται στην Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα της ανατολικής Ροδόπης. Αυτή η μεταλλοφορία συνδέεται με μια ρηξιγενή ζώνη ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνσης. Τα μεταλλοφόρα σώματα βρίσκονται στην επαφή μεταξύ γρανιτοειδών διεισδύσεων και μετα-υπερβασικών – βασικών πετρωμάτων, καθώς και μέσα στα μετα-υπερβασικά – βασικά πετρώματα. Η ορυκτολογία της μεταλλοφορίας περιλαμβάνει σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη ως κύρια ορυκτά, σφαλερίτη, γαληνίτη, μαγνητίτη και αιματίτη ως επουσιώδη τα οποία δημιουργούν επίσης και τοπικές συγκεντρώσεις και ορυκτά Bi, Ag και Co-Ni. Τα μη μεταλλικά ορυκτά είναι χλωρίτης, χαλαζίας, ασβεστίτης και σερικίτης.

Τα χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας όπως η πτύχωση λεπτών μεταλλοφόρων στρωμάτων, κατακλαστική υφή, πλαστική παραμόρφωση, ανόπτωση ή δημιουργία πορφυροβλαστών σιδηροπυρίτη, αποτελούν τυπικές ενδείξεις μεταμόρφωσης και επιβεβαιώνουν την παραδοχή ότι η μεταλλοφορία έχει επηρεαστεί από μια σειρά μεταμορφικών και παραμορφωτικών γεγονότων.

Οι πορφυροβλάστες σιδηροπυρίτη παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική χημική ζώνωση με υψηλότερες περιεκτικότητες σε Ni και Co στις περιφερειακές ζώνες.

Για την περιοχή μελέτης μια μεταλλογενετική διεργασία δύο σταδίων έγινε αποδεκτή. Πρώτα σχηματίστηκε μια στρωματόμορφη μεταλλοφορία σε υποθαλάσσιο περιβάλλον που συνδέθηκε με υπερβασικά-βασικά πετρώματα. Αργότερα, η διείσδυση των γρανιτοειδών ανακίνησε μέρος αυτής της μεταλλοφορίας προς τη ρηξιγενή ζώνη. Επιπλέον, τα μαγματικά ρευστά των γρανιτοειδών πρόσφεραν νέες ποσότητες μεταλλοφορίας κυρίως Zn και Pb.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της χαλκούχου μεταλλοφορίας στις περιοχές Επταδένδρου (Aberdeen) και Ράχης (Μπάϊκο) στην Ανατολική Ροδόπη (Σχ.1). Η μεταλλοφορία αυτή φιλοξενείται σε λιθολογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα (ΑΤΕ). Δόθηκε βαρύτητα στη μελέτη της ορυκτολογίας – ορυκτοχημείας και των ιστολογικών χαρακτηριστικών της μεταλλοφορίας αυτής, σε μια προσπάθεια να ερμηνευθεί ο τρόπος γένεσής της.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα (Α.Τ.Ε.) περιλαμβάνει μια μεταμορφωμένη οφιολιθική σειρά (Μροσκος 1989, Μροσκος and Perdikatsis 1989), πάνω στην οποία επικάθονται ασύμφωνα οι σχηματισμοί της ηφαιστειοϊζηματογενούς λεκάνης του Πριαμπονίου – Ολιγοκαίνου. Στην περιοχή Λεπτοκαρυάς - Αισύμης η ΑΤΕ είναι επωθημένη στους σχηματισμούς της Κατώτερης Τεκτονικής Ενότητας με διεύθυνση βόρεια και πάχος που ξεπερνά τα 800 μ. (Billett and Nesbitt 1986), ενώ στην περιοχή Γιαννούλη η ενότητα αυτή έχει πολύ μεγαλύτερο πάχος και είναι επωθημένη δυτικά στους σχηματισμούς της Κατώτερης Τεκτονικής Ενότητας (Κ.Τ.Ε.).

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί της Α.Τ.Ε. αποτέλεσαν το αντικείμενο λεπτομερούς πετρολογικής μελέτης, αφού σ' αυτούς εντοπίζονται, όπως αναφέρθηκε, οι μεταλλοφόρες εμφανίσεις που μελε-

τώνται. Οι σχηματισμοί της ΑΤΕ εμφανίζονται σε διαφορετικές διαστάσεις και θέσεις λόγω της παραμόρφωσης.

Η ΑΤΕ περιλαμβάνει τους εξής λιθολογικούς σχηματισμούς:

1. Μετα-υπερβασικά πετρώματα (σερπεντινίτες)
2. Μεταβασικά πετρώματα (αμφιβολίτες, κερροσιλίτες και μεταγάββροι)
3. Ώξινα πετρώματα (τροντγεμίτες, γνεύσιοι και πηγματίτες) και
4. Μάρμαρα και
5. Ώξινα ηφαιστειακά

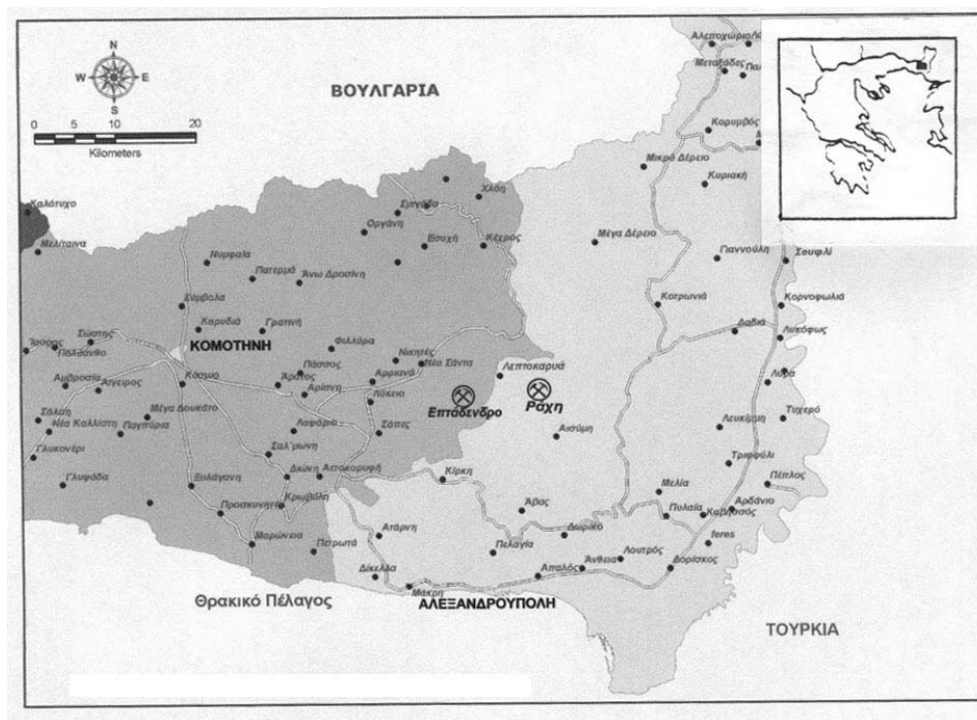
Με βάση τη γεωλογία και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων πιστεύεται ότι τα μετα-υπερβασικά-βασικά και όξινα πετρώματα αποτελούν μέλη μιας οφιολιθικής σειράς πιθανόν Ιουρασικής ηλικίας που δημιουργήθηκε σε γεωτεκτονικές συνθήκες νησιώτικου τόξου (Χατζηκύρκου 2003).

3 ΜΕΤΑΛΟΦΟΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΡΟΔΟΠΗ

3.1 Γενικά

Στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Ροδόπης εντοπίζεται πληθώρα μεταλλοφόρων εμφανίσεων, αρκετές από τις οποίες έτυχαν εκμετάλλευσης κατά το παρελθόν, μεταξύ αυτών οι σπουδαιότερες είναι: χαλκούχος μεταλλοφορία πορφυριτικού τύπου στα Πεύκα Αλεξ/λεως (Michael et al. 1989, Δήμου κ.ά. 1994) και επιθερμικού χρυσού στις περιοχές Πετρωτά και Κώνου-Κασσιπερές (Michael et al. 1995, Βουδουρίσ 1997, Βουδούρης και Σκαρπέλης 1998).

Για τη μεταλλοφορία των περιοχών Επταδένδρου και Ράχης στην Ανατολική ασχολήθηκαν παλαιότερα οι Bitzios et al. (1981), Κωνσταντινίδης κ.ά. (1983), Billet and Nesbitt (1986), Ashworth et al. (1988), Nesbitt et al. (1988).



Σχ.1. Γεωγραφική θέση περιοχής Επταδένδρου και Ράχης.

3.2 Μεταλλοφόρες εμφανίσεις Εππαδένδρου και Ράχης

Στην περιοχή Εππαδένδρου διανοίχτηκαν ερευνητικές στοές το 1912 από τους Τούρκους, το 1935 από τους Άγγλους και το 1968 από τη ΓΕΜΕΕ Α.Ε., ενώ στην περιοχή Ράχης από τους Τούρκους το 1912. Επίσης στην περιοχή Ράχης πραγματοποιήθηκε γεωχημική έρευνα εδάφους και επαναδιάνοιξη παλαιών στοών από το ΙΓΜΕ το 1982.

Στις περιοχές έρευνας έγινε χαρτογράφηση τμήματος μεταλλευτικών στοών, στο βαθμό που ήταν προσπελάσιμες.

Από την εργασία αυτή προέκυψε ότι η μεταλλοφορία φιλοξενείται σε μια ρηξιγενή ζώνη ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης στην επαφή μετα-υπερβασικών-βασικών πετρωμάτων και τροντγεμιτικών διεισδύσεων όπου εμφανίζεται υπό μορφή μικρών φακών, σε μήκος που κυμαίνεται από 10 μέχρι 30 μέτρα, και πάχος που φθάνει το ένα μέτρο. Επίσης επεκτείνεται με τη μορφή στρωματόμορφων σωμάτων μέσα στα υπερβασικά-βασικά πετρώματα, τα οποία παρουσιάζονται έντονα χλωριτωμένα, σε ορισμένες θέσεις βρίσκεται στα περιθώρια των τροντγεμιτών.

Έτσι,

η μεταλλοφορία μπορεί να διακριθεί από άποψη διάταξης των μεταλλοφόρων σωμάτων στο χώρο σε:

Φλεβικού τύπου: που πληρεί την τεκτονισμένη ζώνη και βρίσκεται στη επαφή των τροντγεμιτών με τα μετα-υπερβασικά – βασικά πετρώματα.

Στρωματόμορφου τύπου: όταν αυτή εγκλείεται μέσα στα μετα-υπερβασικά – βασικά πετρώματα.

Από λεπτομερέστερη έρευνα η μεταλλοφορία διακρίθηκε στους παρακάτω τρεις μορφολογικούς τύπους, ανάλογα με την ποσότητα μεταλλικών ορυκτών ή και τον τρόπο πλήρωσης του χώρου:

- α) φλεβική
- β) συμπαγής-ημισυμπαγής
- γ) διάσπαρτος

3.3 Ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος

Από τη μικροσκοπική μελέτη και τις αναλύσεις με μικροαναλυτή διαπιστώθηκε η παρακάτω ορυκτολογική σύσταση (Χατζηκώρκου 2003) των δύο τύπων μεταλλοφορίας:

1. **Στρωματόμορφη μεταλλοφορία:** αποτελείται κύρια από τα ορυκτά σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη με εποσιώδη μαγνητίτη, μαγνητοπυρίτη, ενώ τα μη μεταλλικά ορυκτά είναι χλωρίτης και χαλαζίας.
2. **Φλεβική μεταλλοφορία:** παρουσιάζει μεταβολές από τη μια θέση στην άλλη στην αναλογία των ορυκτών, τα οποία διακρίθηκαν ανάλογα με την αφθονία τους σε:

Κύρια: σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, μαγνητίτης και αιματίτης.

Δευτερεύοντα ή εποσιώδη: σφαλερίτης, γαληνίτης,

Σε ίχνη: βισμούθινίτης, εμπλεκτίτης, αίκινίτης, τετραδυμίτης, βιττισενίτης, μιλλερίτης, εσοίτης, σιεγκενίτης, βορνίτης, μαγνητοπυρίτης, κοβελλίνης, γκαϊπίτης,

Μη μεταλλικά: χλωρίτης και χαλαζίας, ενώ τοπικά παρατηρούνται ασβεστίτης και σερικήτης.

Σε αρκετές θέσεις και ανεξάρτητα από τον τύπο της μεταλλοφορίας διαπιστώθηκε παρουσία χρωμιούχου σπινελλίου. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνει την άποψη ότι ο χώρος ανάπτυξης των μεταλλοφόρων σωμάτων είναι σ' αυτές τις περιπτώσεις το αρχικό υπερβασικό πέτρωμα.

Η αυξημένη ποσότητα κατά θέσεις πυριτικού υλικού αναγνωρίστηκε ότι έχει σχέση με τις διεισδύσεις των τροντγεμιτών σε τεκτονισμένες ζώνες, αλλά και με την αποβολή υδροθερμικού χαλαζία κατά τη μεταλλογενετική διεργασία.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των κύριων ορυκτών της μελετούμενης μεταλλοφορίας.

3.3.1 Σιδηροπυρίτης

Εμφανίζεται σχεδόν πάντα σε ιδιόμορφους κρυστάλλους, διαφορετικού μεγέθους. Επίσης σχηματίζει χαρακτηριστικούς πορφυροβλάστες (Εικ.1), που το μέγεθός τους φθάνει τα 2 εκ. ή εκτεταμένα πολυγωνικά συσσωματώματα.

Συχνά παρουσιάζει κατακλαστική υφή μέχρι και φαινόμενα μυλωνιτώσης (Εικ.2).

Φιλοξενεί εγκλείσματα μη μεταλλικών ορυκτών σε κυκλική ομόκεντρη διάταξη, που μαρτυρά τη ζώνωση του ορυκτού.

Η προσβολή του με χημικά αντιδραστήρια αποκάλυψε τη μικρομωσαϊκή μορφή με τριπλά σημεία επαφής (Εικ.3), καθώς και μια οπτική ζώνωση (πυρήνας ακανόνιστος και γύρω ανάπτυξη ιδιόμορφου κρυστάλλου) (Εικ.4).

3.3.2 Χαλκοπυρίτης

Ο χαλκοπυρίτης σχηματίζει λεπτές ζώνες εναλλασσόμενες με στρώσεις συνδρόμων ορυκτών, κυρίως χλωρίτη (Εικ.5).

Συνήθως παρατηρείται ως υλικό πλήρωσης στις διακρυσταλλικές θέσεις του σιδηροπυρίτη ή στις διαρρήξεις του. Επίσης είναι δυνατόν κόκκοι σιδηροπυρίτη να είναι διεσπαρμένοι μέσα στη μάζα του χαλκοπυρίτη σχηματίζοντας ένα χαρακτηριστικό «νησοειδή» ιστό (Εικ.6).

3.4 Ιστοί και υφές από τη μεταμόρφωση

Η λεπτομερής μελέτη στο μικροσκόπιο πολλών δειγμάτων μεταλλεύματος ανέδειξε πολλά χαρακτηριστικά, όπως επίσης παρουσιάζονται στις προηγούμενες εικόνες, τα οποία επιβεβαιώνουν την άποψη ότι η μεταλλοφορία δέχθηκε ένα ή περισσότερα παραμορφωτικά-μεταμορφικά επεισόδια. Τα σπουδαιότερα απ' αυτά είναι:

- πύκωση λεπτών μεταλλοφόρων σωμάτων
- τα χαρακτηριστικά του σιδηροπυρίτη που περιγράφηκαν: ανάπτυξη πορφυροβλαστών, φαινόμενα κατάκλασης, πολυγωνικός ιστός και ζωνώδης δομή των πορφυροβλαστών
- διαμελισμός ή διάρρηξη και μετατόπιση κρυστάλλων ορυκτών.

Η στρωματοειδής ανάπτυξη της μεταλλοφορίας μπορεί να είναι αποτέλεσμα μεταμορφικής διεργασίας, μπορεί όμως να είναι και αρχικό γνώρισμα συγγενετικό.

4 ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ

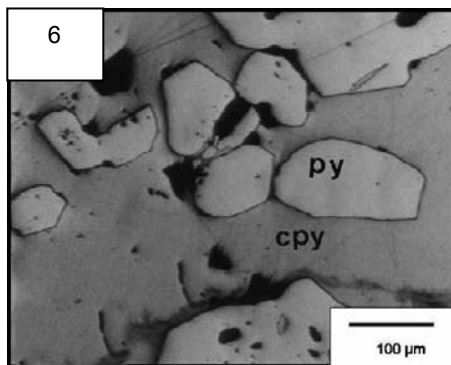
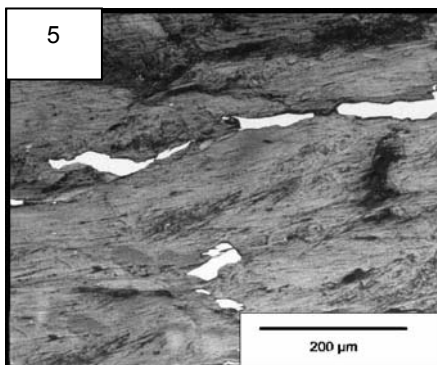
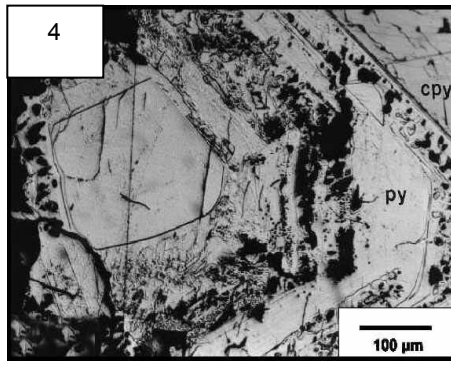
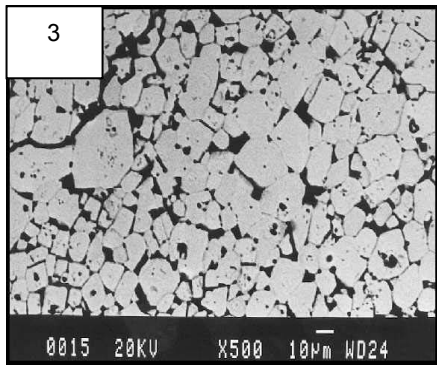
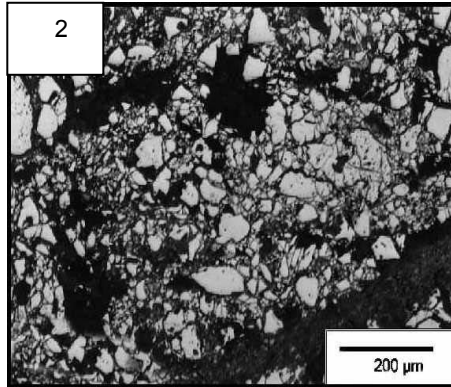
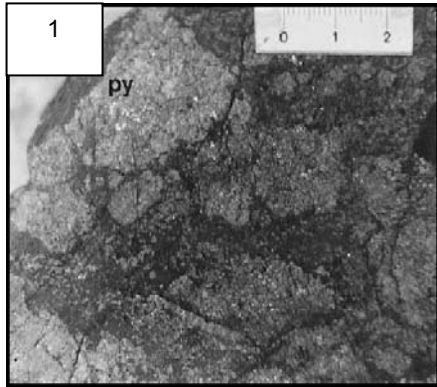
Η μελέτη του χημισμού των σουλφιδίων της περιοχής Επταδένδρου και Ράχης, έγινε με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι οργάνων: Jeol Superprobe 753 του Ι.Γ.Μ.Ε. (συνθήκες λειτουργίας: 20 KV τάση επιτάχυνσης, 5nA ρεύμα δείγματος 1μm διάμετρος δέσμης ηλεκτρονίων και 20 sec χρόνος μέτρησης) και Jeol JSM-840A SEM-EDS του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (συνθήκες λειτουργίας: 15 KV τάση επιτάχυνσης, 3nA ρεύμα δείγματος σε πρότυπο κοβάλτιο, 1μm διάμετρος δέσμης ηλεκτρονίων και 100 sec χρόνος μέτρησης). Για τη ρύθμιση του συστήματος ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικά ή συνθετικά πρότυπα.

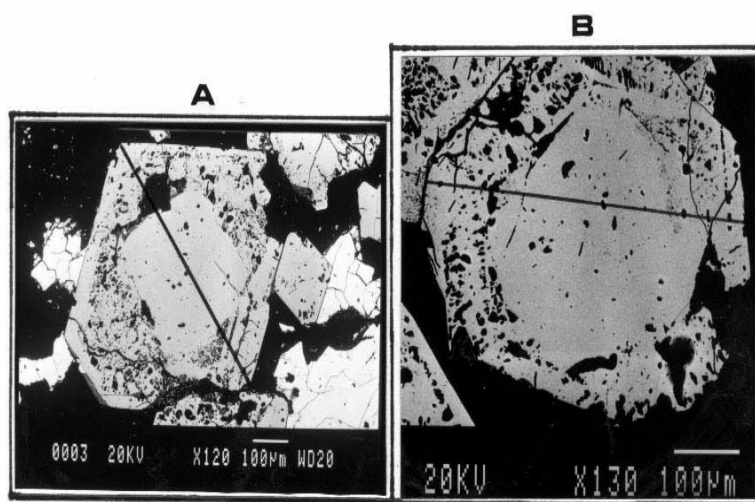
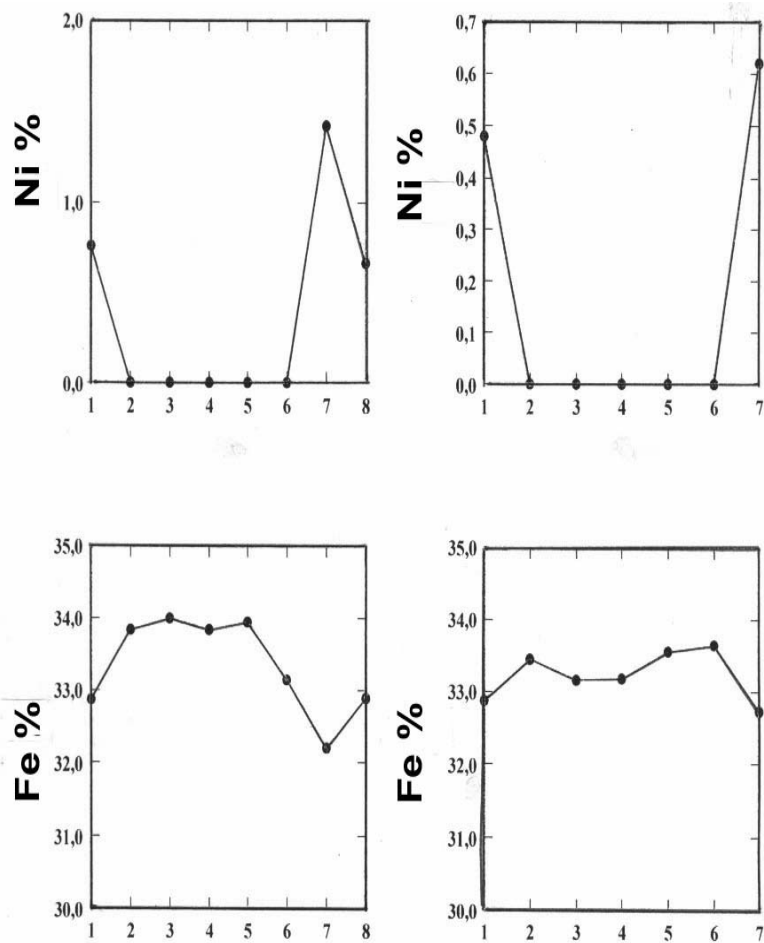
Το σύνολο των ορυκτών που μελετήθηκαν παρουσιάζουν συστάσεις πολύ κοντά στη στοιχειομετρική.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην περίπτωση του ζωνώδους σιδηροπυρίτη. Η οπτική ζώνωση που διαπιστώθηκε μετά από προσβολή, για ένα λεπτό με 6M HCl και ένα λεπτό με πυκνό HNO₃, αποδεικνύεται ταυτόχρονα με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή ότι αποτυπώνει μια χημική ζώνωση. Συνεπώς, υπάρχει σαφής παρουσία δυο γενεών στον ίδιο κρύσταλλο. Ο πυρήνας αποτελεί την πρώτη γενεά και χαρακτηρίζεται ως σιδηροπυρίτης I, με κύριο γνώρισμα του τις χαμηλές συγκεντρώσεις σε Co και Ni. Η περιφέρειά του αποτελεί τη δεύτερη γενεά και χαρακτηρίζεται ως σιδηροπυρίτης II, που συγκριτικά με τον σιδηροπυρίτη I παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις σε Co και Ni.

Ειδικά για το σιδηροπυρίτη που παρουσιάζει χημική ζώνωση έγιναν αναλύσεις σάρωσης κατά μήκος κρυστάλλων από τους οποίους φαίνεται η διαφορά στην περιεκτικότητα του πυρήνα και των περιφερειακών ζωνών σε Ni ή και Co (Εικ.7). Οι παρατηρήσεις αυτές, σε συνδυασμό με το γεγονός της παρουσίας του ορυκτού σε μετα-υπερβασικά-βασικά πετρώματα, αποτέλεσαν ένα σημαντικό βοήθημα για την ερμηνεία της γένεσης της μεταλλοφορίας. Γίνεται σαφές ότι κατά την ανάπτυξη της δεύτερης γενεάς σιδηροπυρίτη τα μεταλλοφόρα ρευστά εμπλουτίστηκαν με τα στοιχεία Ni και Co. Πηγή αυτών των στοιχείων θα πρέπει να είναι το πετρολογικό περιβάλλον διαμέσου του οποίου κινήθηκαν τα ρευστά αυτά.



Εικ.1.Πορφυροβλάστες σιδηροπυρίτη (μακροσκοπικό δείγμα). Μικροφωτογραφίες σε ανακλώμενο φως και παράλληλα πολαιοειδή. Εικ.2. Κατακλαστική υφή σιδηροπυρίτη.Εικ.3.Σιδηροπυρίτης με μικρομωσαϊκή υφή. Εικ.4. Ζωνώδης βλαστοπορφύρης σιδηροπυρίτη. Εικ. 5. Χαλκοπυρίτης που βρίσκεται παράλληλα με τα πετρογενετικά ορυκτά. Εικ.6. Νησοειδής ιστός σιδηροπυρίτη στο χαλκοπυρίτη.



Εικ. 7. Κρύσταλλοι ζωνώδους σιδηροπυρίτη που σαρώθηκαν κατά τη διεύθυνση της γραμμής με τον αναλυτή. Μικροφωτογραφία SEM οπισθοανακλώμενων ηλεκτρονίων και γραφήματα κατανομής των στοιχείων Ni και Fe από την περιοχή Επταδένδρου (A) και Ράχης (B).

5 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΕΝΕΣΗΣ

Από τη συνολική έρευνα στην περιοχή μελέτης μπορούμε να τονίσουμε τα εξής:

1. Πρόκειται για ιδιαίζουσα περίπτωση χαλκούχου μεταλλοφορίας που φιλοξενείται σε μετα-υπερβασικά-βασικά πετρώματα και στην επαφή με γρανιτοειδή (τροντγεμίτες).
2. Η μεταλλοφορία παρουσιάζει σαφείς χαρακτήρες αναμόρφωσης και παραμόρφωσης.

Η θέση των κοιτασμάτων θα μπορούσε να οδηγήσει στη σκέψη της ανάπτυξης της μεταλλοφορίας κατά μήκος ζωνών διάτμησης (shear zones) μέσα στις οποίες διακινήθηκαν μεταλλοφόρα ρευστά ως ένα πιθανό σενάριο για την ερμηνεία της γένεσης.

Από τη διερεύνηση της διεθνούς βιβλιογραφίας ανάλογες περιπτώσεις κοιτασμάτων που να σχετίζονται με λιθολογικό περιβάλλον υπερβασικών – βασικών έχουν βρεθεί στις περιοχές της μεσοωκεάνιας ράχης του Ατλαντικού (Cannat 1993, Murphy and Meyer 1998), όπου περιγράφεται η σύγχρονη γένεση σουλφιδίων (κυρίως χαλκού) πάνω σε υπερβασικό υπόβαθρο σε βάθος 2970 μέτρων στο θαλάσσιο πυθμένα στο υδροθερμικό πεδίο Logatcen (14° 45' N). Τα υπερβασικά εμφανίζονται στο θαλάσσιο πυθμένα ως αποτέλεσμα βραδείας επέκτασης μικρής ποσότητας ή και χαμηλής προσφοράς θερμότητας από την ασθενόσφαιρα βασικής έκχυσης μάγματος σε βραδείας διάρκειας μαγματικό θάλαμο και της δημιουργίας συνεχούς φλοιού που αποτελείται από βασικές διεισδύσεις σε υπερβασικό φλοιό. Στο κοίτασμα Bou Azzer στο Μαρόκο (Leblanc and Billaud 1982), όπου αναφέρεται ότι η μεταλλοφορία εντοπίζεται μέσα στους συμπαγείς σερπεντινίτες και στην επαφή των σερπεντινιτών-γάββρων. Στα Ουράλια το κοίτασμα του Ishkinino (Wipfler et al. 1999), όπου η μεταλλοφορία εντοπίζεται στην επαφή σκούρων ανθρακοπυριτικών σχιστολίθων, ταλκοποιημένων σερπεντινιτών και θολεϊτικών βασάλτων. Επίσης στο Maryland Piedmont των ΗΠΑ (Candela et al. 1989), όπου η μεταλλοφορία βρίσκεται στην επαφή σερπεντινωμένων υπερβασικών πετρωμάτων και μεταϊζημάτων (πηλιτών-ψαμμιτών). Από τις προαναφερθείσες μελέτες προέκυψε ότι είναι δυνατόν να σχηματισθούν κοιτάσματα Cu-FeS₂ αντίστοιχα με εκείνα της Κύπρου και σε υπερβασικά πετρώματα.

Ως πιθανότερο λοιπόν σενάριο ερμηνείας της γένεσης των κοιτασμάτων της περιοχής μελέτης δεχόμαστε μια δύο σταδίων μεταλλογενετική διεργασία:

1. Απόθεση σε υποθαλάσσιο περιβάλλον μιας χαλκούχου στρωματόμορφης μεταλλοφορίας κατά τη διάρκεια της δημιουργίας νέου ωκεάνιου φλοιού. Στη διάρκεια πιθανόν του Ιουρασικού ή και παλαιότερα γίνεται άνοδος του άνω μανδύα κατά μήκος ρηγμάτων αποκόλλησης, στη διεργασία της ωκεάνιας επέκτασης πιθανόν σύμφωνα με το μοντέλο που προτείνει ο Cannat (1993). Το αποτέλεσμα της μαγματικής δραστηριότητας και η συνεχιζόμενη διεργασία της ωκεάνιας επέκτασης, προκαλεί την ανάπτυξη νέων ρηγμάτων στον αποδυναμωμένο φλοιό. Έτσι έχουμε μια ευνοϊκή περίπτωση για την υδροθερμική κυκλοφορία του θαλασσινού νερού μέσα στο θερμαινόμενο εκ νέου βασικό – υπερβασικό ανώτερο τμήμα του ωκεάνιου φλοιού για το σχηματισμό των μεταλλοφόρων σωμάτων σε υπερβασικά - βασικά περιβάλλοντα με την απόθεση μεταλλοφορίας Cu-FeS₂, έστω και σε μικρές συγκεντρώσεις, σύμφωνα με όσα παρατήρησαν οι Murphy and Meyer (1998).

2. Ανακίνηση της μεταλλοφορίας κατά τη διείσδυση των τροντγεμιτών από βαθύτερα σημεία και απόθεση στα συστήματα διάρρησης που δημιουργήθηκαν στην επαφή τους με μετα-υπερβασικά-βασικά πετρώματα, με παράλληλη προσθήκη στοιχείων όπως Pb, Zn και τα Bi, Te, Co, Ni. Το τροντγεμικό μάγμα μαζί με τα ρευστά του κατά την έξοδό του με διαδικασίες ρωγμάτωσης ανακίνησε την προϋπάρχουσα χαλκούχο μεταλλοφορία από τον ίδιο τύπο πετρωμάτων και έδωσε τη μεταλλοφορία της δεύτερης γενεάς τη φλεβική, που ουσιαστικά εμφανίζεται ως πλήρωση ρηξιγενούς ζώνης σε επαφή μετα-υπερβασικών-βασικών πετρωμάτων με τους τροντγεμίτες, η οποία είναι πλούσια σε χαλκοπυρίτη. Το στάδιο αυτό είναι συνδεδεμένο με την εκλογιτική φάση μεταμόρφωσης ηλικίας Κατ. Κρητιδικό.

3. Τέλος, αναμόρφωση της μεταλλοφορίας στη διάρκεια του τελευταίου μεταμορφικού επεισοδίου πρασινοσχιστολιθικής φάσης ηλικίας Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ashworth, K.L., Billet, M.F., Constantinides, D., Demetriades, A., Katirtzoglou, C. and Michael C. 1988. Base Metal Mineralization in the Evros Region, N.E. Greece. In: Friedrich, G.H and Herzig, P.M. (eds): Base Metal Sulfide Deposits. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 169 -181.

- Βουδούρης, Π. και Σκαρπέλης, Ν. (1998): Μεταλλοφορίες επιθερμικού χρυσού-αργύρου στις περιοχές Περάματος (Θράκη) και Λήμνου. *Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ. τόμ. XXXII/3*, 125-135.
- Billett, M.F. and Nesbitt, R.W. 1986. Base metal mineralization associated with mafic and ultramafic rocks, eastern Rhodope massif, Greece. *Trans. Inst. Min. Metall.*, 95B: 37 - B45.
- Bitzios, D., Constantinides, D., Demades, E., Demetriades, A., Katirtzoglou, C. and Zachos, S. 1981. Mixed sulphide mineralization of the Greek Rhodope, I.G.M.E., 118 p.
- Candela, P.A., Wylie, G.A. and Burke, M.T. 1989. Genesis of the ultramafic rock-associated Fe-Cu-Co-Zn-Ni deposits of the Sykesville district, Maryland Piedmont. *Econ. Geol.*, 84, 663 - 675.
- Cannat, M. 1993. Emplacement of mantle rocks in the seafloor at mid-ocean ridges. *J. Geophys. Res.*, 98, B3, 4163 - 4172.
- Δήμου, Ε., Μιχαήλ, Κ. και Serment, R. (1994): Ορυκτολογική σύσταση της επιθερμικής πολυμεταλλικής μεταλλοφορίας Πεύκων Ροδόπης. *Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ. τόμ. XXX/1*, 533 - 550.
- Κωνσταντινίδης, Δ., Καπιτζόγλου, Κ., Μιχαήλ, Κ., Δημητριάδης, Α., Αγγελόπουλος, Α. και Κωνσταντινίδου, Ε. 1983. Μεταλλογενετικός χάρτης Ν. Έβρου. I.G.M.E., (εσωτερική έκθεση), 136 σελ.
- Leblanc, M. and Billaud, P. 1982. Cobalt arsenide orebodies related to an Upper Proterozoic ophiolite: Bou Azzer (Marocco). *Econ. Geol.*, 77, 162 - 175.
- Michael, C., Katirtzoglou, C., Perdikatsis, V. and Constandinides, D. (1989a): The polymetallic mineralization of the Pefka area, Evros county, Greece. *Geologica Rhodopica* 1, 332 - 329.
- Michael, C., Perdikatsis, V., Dimou, E. and Marantos, I. (1995) : Hydrothermal alteration and the ore deposition in epithermal precious metal deposit of Agios Demetrios, Konos area, northern Greece. *Proceedings, XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association. Geol. Soc. Greece, Sp. Publ., No. 4*, 778-782.
- Mposkos, E. 1989. Polymetamorphism in the central and east Rhodope massif. *Geologica Rhodopica* 1, 153 - 159.
- Mposkos, E. and Perdikatsis, V. 1989. Eclogite-amphibolites in the East Rhodope massif. *Geologica Rhodopica* 1, 160 -168.
- Murphy, P. J. and Meyer, G. 1998. A gold-copper association in ultramafic-hosted hydrothermal sulfides from the Mid-Atlantic Ridge. *Econ. Geol.*, 93, 1076 -1083.
- Nesbitt, W.R., Billet, F.M., Ashworth, L.K., Deniel, C., Constantinides, D., Demetriades, A., Katirtzoglou, C. Michael, C. Mposkos, E., Zachos, S. and Sanderson, D. 1988. The geological setting of base metal mineralization in the Rhodope region, Northern Greece. In: J. Boissonnas and P. Omenetto (eds). *Mineral Deposits within the European Community*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 499 - 514.
- Voudouris, P. (1997): Epithermal and porphyry type mineralization in Kassiteres area, Thrace (Greece). In: Papunen (ed.), *Mineral Deposits: Research and Exploration* (Balkema, Rotterdam). *Proceedings of 4th Biennial SGA meeting, Turku, Finland*, 683-686.
- Wipfler, L.E., Buschmann, B. and Zaykov, V.V. 1999. The mafic-ultramafic hosted massive sulfide deposits of Ishkino, Southern Urals. In: Stanley et al. (eds.) *Mineral Deposits: Processes to Processing*, Balkema, Rotterdam, 613 - 616.
- Χατζηκύρκου, Α. 2003. Μελέτη θειούχου μεταλλοφορίας περιοχής Επταδένδρου και Ράχης στην Ανατολική Ροδόπη. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., 232 σελ.

ABSTRACT

SULPHIDE MINERALIZATION FROM EPTADENDRO AND RACHI AREAS IN EASTERN RHODOPE

Chatzikirkou A.¹, Michailidis K.²,

¹ I.G.M.E., *Frangon Str. 1, 546 26, Thessaloniki*

² *Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24, Thessaloniki*

The sulphide mineralization from Eptadendro and Rachi areas hosted in the Upper Tectonic Unit of eastern Rhodope is studied. This mineralization is related to a fault zone of NE-SW direction. The orebodies are found along the contacts between granitoid intrusions and meta-ultrabasic rocks as well as within the meta-ultrabasic-basic rocks. The ore mineral assemblages consist of pyrite and chalcopyrite as main minerals, minor sphalerite, galena, magnetite and hematite which

form also local concentrations, and traces of Bi-, Ag-, and Co – Ni- minerals. Chlorite, quartz, calcite and sericite are the main gangue minerals.

Folding of thin mineralized layers, brittle or ductile deformation, annealing or porphyroblasting of pyrite are typical metamorphic features confirming that mineralization has been affected by a series of metamorphic and deformation events.

Pyrite porphyroblasts display a characteristic chemical zonation with higher Ni and Co contents at the marginal zones.

A two-stage mineralization process was accepted for the studied area. Firstly, a stratabound mineralization hosted in the ultrabasic-basic rocks was formed in a submarine environment. Later on the intrusion of granitoids remobilized a part of this mineralization into the fault zone. Besides, the magmatic fluids of the granitoids offered new amounts of metals mainly of Zn and Pb.