

## ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΦΙΛΟΞΕΝΟΥΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ ΣΤΗ Β. ΕΥΒΟΙΑ

Σερέλης Κ., Γκάρτζος Ξ. και Τσαουσίδου Π.

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Τμήμα Γενικό, Γ.Π.Α., Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, [egartz@aua.gr](mailto:egartz@aua.gr), [serelis@aua.gr](mailto:serelis@aua.gr), [gtsaousidou@yahoo.gr](mailto:gtsaousidou@yahoo.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι εξαλλοιώσεις των υπερβασικών πετρωμάτων της Β. Εύβοιας, στην οποία διακρίναμε διάφορους τύπους ανάλογα με τον τρόπο δράσης και τη χημική σύσταση των διαλυμάτων που έδρασαν. Μελετήθηκαν η χωρική κατανομή της εξαλλοίωσης και η σχέση της με τα κοιτάσματα μαγνησίτη της περιοχής, καθώς επίσης και οι παραγενέσεις που εμφανίζει.

Μετά από σχολαστική έρευνα υπαίθρου σε επιφανειακά και υπόγεια έργα διακρίναμε, εξαιρώντας τη σερπεντινίωση, δύο περιπτώσεις. Τις σύγχρονες επιφανειακές εξαλλοιώσεις που περιορίζονται σε μία στενή επιφανειακή ζώνη και τις εξαλλοιώσεις βάθους που οφείλονται στη δράση ρευστών διαλυμάτων στο εσωτερικό της υπερβασικής μάζας (hydrogenne wall rock alteration).

Από τις παραπάνω εξαλλοιώσεις, μελετήθηκαν αποκλειστικά οι εξαλλοιώσεις βάθους, δηλαδή αυτές που συνέβησαν στο εσωτερικό του πετρώματος και απαντούν κυρίως σε περιοχές όπου έχουμε κοιτάσματα μαγνησίτη και οι οποίες διακρίνονται σε δύο κύριους τύπους.

Ο πρώτος τύπος (B<sub>1</sub>) αφορά εξαλλοιώσεις που απαντώνται κατά μήκος των επαφών των φλεβών με το υπερβασικό πέτρωμα και συνδέονται με φλέβες μαγνησίτη μικρού έως μέσου πάχους, που πληρούν διακλάσεις και άλλες μικρής κλίμακας διαρρήξεις των υπερβασικών πετρωμάτων.

Ο δεύτερος τύπος (B<sub>2</sub>) αφορά εκτεταμένες εξαλλοιώσεις στο εσωτερικό των υπερβασικών μαζών, οι οποίες βρίσκονται συνήθως δεκάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τις συνάγαμε στο εσωτερικό ανοικτών εκσκαφών.

Αυτοί οι δύο τύποι εξαλλοίωσης (B<sub>1</sub> & B<sub>2</sub>) μελετήθηκαν μικροσκοπικά, χημικά και ορυκτολογικά με μεθόδους περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD), διαφορικής θερμικής βαρυμετρικής ανάλυσης (DTGA) και υπερευθρής φασματοσκοπίας (FTIR). Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ο πρώτος τύπος εξαλλοίωσης (B<sub>1</sub>) αποτελεί συνδυασμό δολομιτίωσης και πυριτίωσης (dolomitization-silicification), ενώ ο δεύτερος τύπος (B<sub>2</sub>) είναι αργλική εξαλλοίωση που οδήγησε στο σχηματισμό δευτερογενών φυλλοπυριτικών ορυκτών (βερμικουλίτη).

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υδατικά διαλύματα που δημιούργησαν τα κοιτάσματα μαγνησίτη στη Β. Εύβοια προξένησαν και εξαλλοιώσεις στα περιβάλλοντα υπερβασικά πετρώματα (Gartzos 1986, Σερέλης 1989). Τα κοιτάσματα αυτά και οι συνδεόμενες με αυτά εξαλλοιώσεις καθορίζονται από τα κανονικά ρήγματα και τις αντίστοιχες ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής.

Εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα που περιέχουν SiO<sub>2</sub> και ανθρακικά ορυκτά (κυρίως μαγνησίτη και δολομίτη) απαντούν στις Δυτικές ΗΠΑ (Καλιφόρνια).

Ο Bailey (1946) περιέγραψε εξαλλοίωση ανθρακικοποίησης–πυριτίωσης (Carbonitization-silicification) υπερβασικών πετρωμάτων στην περιοχή W. Mayacmas των ΗΠΑ με σχηματισμό χαλαζία και ανθρακικών ορυκτών στην κύρια μάζα του πετρώματος. Επίσης, περιέγραψε φλέβες ανθρακικών ορυκτών και ορυκτών του SiO<sub>2</sub>. Οι Yates & Hilpert (1946) αναφέρουν εξαλλοιώσεις υπερβασικών πετρωμάτων από την περιοχή E. Mayacmas των ΗΠΑ, στις οποίες το SiO<sub>2</sub> φθάνει μέχρι και 100% και τα ανθρακικά ορυκτά μέχρι και πάνω από 50%. Επίσης, περιγράφουν φαινόμενα ψευδομορφώσεων και διατήρησης του ιστού των υπερβασικών πετρωμάτων. Οι Bailey & Everhart (1964) παρέχουν την πλέον λεπτομερή περιγραφή εξαλλοιωμένων υπερβασικών πετρω-

μάτων της περιοχής New Almaden της Καλιφόρνιας, τα οποία φιλοξενούν κοιτάσματα ορυκτών του υδραργύρου. Αναφέρουν τη διατήρηση του ιστού του σερπεντινίτη ακόμη και σε περιπτώσεις πλήρους εξαλλοίωσης και δημιουργίας πετρώματος που αποτελείται κυρίως από  $\text{SiO}_2$  και ανθρακικά ορυκτά (μαγνησίτη και δολομίτη). Οι Barnes et al. (1973) μελέτησαν τις εξαλλοιώσεις των υπερβασικών πετρωμάτων της Καλιφόρνιας, τα οποία έχουν καφέ έως κεραμέρυθρο χρώμα και φιλοξενούν κοιτάσματα κινναβαρίτη, καθώς επίσης και τα πλούσια σε  $\text{CO}_2$  νερά της περιοχής. Παρατήρησαν ότι τα εξαλλοιωμένα πετρώματα, τα οποία αποκαλούν "silica-carbonate rocks" περιέχουν  $\text{SiO}_2$  και ανθρακικά ορυκτά. Επίσης, προτείνουν ότι η εξαλλοίωση προήλθε από τη δράση υδατικών διαλυμάτων πλουσίων σε  $\text{CO}_2$  (Hydrogene wall rock alteration).

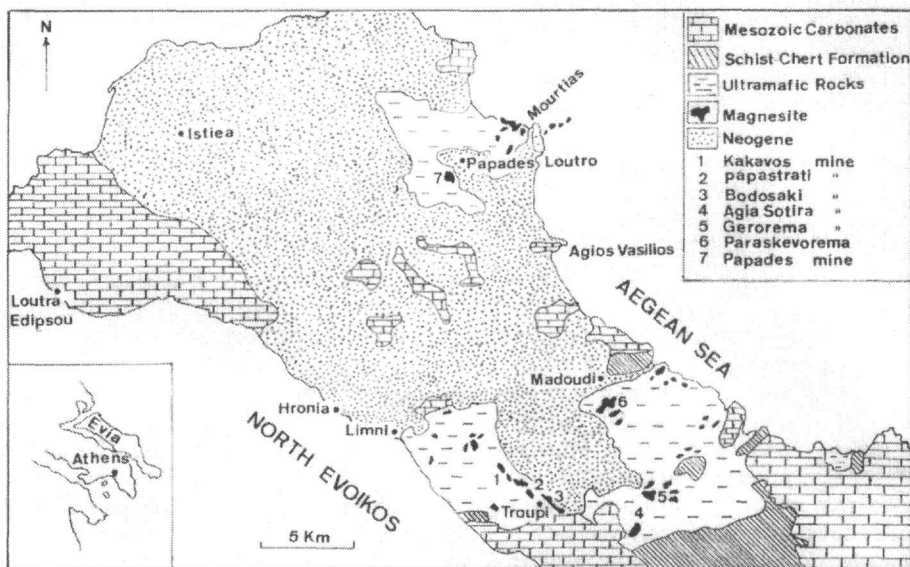
Παρόμοιες εξαλλοιώσεις υπερβασικών πετρωμάτων, τα οποία φιλοξενούν κοιτάσματα μαγνησίτη, έχουν περιγραφεί από τον Dabitzias (1980) στη περιοχή της Βάβδου Χαλκιδικής, ο οποίος χρησιμοποιεί τον όρο "brown serpentinite" για τα εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής. Οι δύο όροι, "silica-carbonate rocks" και "brown serpentinite", είναι ισοδύναμοι, αλλά ο πρώτος δίνει έμφαση στην ορυκτολογική σύσταση, ενώ ο δεύτερος στο χρώμα. Ανάλογες εξαλλοιώσεις αναφέρονται και οι Auclair et al. (1993), Halls C. & Zhao R. (1995), Ucurum A. & Larson L.T. (1999).

Γενικά από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι τα εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα που έχουν υποστεί ανθρακικοποίηση-πυριτίωση carbonitization-silicification αποτελούνται από  $\text{SiO}_2$  (σε μορφή χαλαζία ή χαλκιδόνου) και ανθρακικά ορυκτά (μαγνησίτη, δολομίτη, ανκερίτη και σπανίως ασβεσίτη). Άλλα ορυκτά που αναφέρονται συνήθως είναι ο σιδηροπυρίτης, ο κινναβαρίτης κ.ά.

## 2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Β. Εύβοια παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο με κανονικά ρήγματα, τα οποία οφείλονται στην εφελκυστική τεκτονική που επικρατεί τα τελευταία 13 εκατομμύρια έτη (Le Pichon & Angelier 1979). Η παρουσία των κοιτασμάτων μαγνησίτη, με τα οποία σχετίζονται οι εξαλλοιώσεις, είναι στενά συνδεδεμένη με τα ρήγματα και τις ρηγιγενείς ζώνες της περιοχής.

Τα υπερβασικά πετρώματα της Β. Εύβοιας είναι μέλη της δυτικής οφιολιθικής ζώνης του Ελλαδικού χώρου. Καταλαμβάνουν έκταση περίπου 150 τετραγωνικών χιλιομέτρων και είναι γνωστά για τα μεγάλα κοιτάσματα μαγνησίτη που φιλοξενούν (Σχ. 1).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της Β. Εύβοιας, στον οποίο φαίνεται η εξάπλωση των υπερβασικών πετρωμάτων και τα κυριότερα κοιτάσματα μαγνησίτη (Gartzos 1990)

Γενικά τα κοιτάσματα της Β. Εύβοιας τοποθετούνται στην τομή της δυτικής οφιολιθικής ζώνης με τη ζώνη του ενεργού ηφισιακού τόξου της Ελλάδος, Πλειοκαινικής-Ολοκαινικής ηλικίας. Μεγάλες μάζες υπερβασικών πετρωμάτων που απαντούν δυτικότερα (εκτός της ζώνης των θετικών ανωμαλιών θερμοκρασίας και ροής θερμότητας) δεν φιλοξενούν κοιτάσματα μαγνησίτη, όπως π.χ. τα υπερβασικά της Πίνδου.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης εντάσσονται στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη (Mountrakis et al. 1983). Η κεντρική και βόρεια Εύβοια δομείται, με εξαίρεση το Παλαιοζωικό κρυσταλλικό υπόβαθρο της κυρίως από γνεύσιους, από μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς, οι οποίοι διακρίνονται σε: α) Νεοπαλαιοζωικοί σχηματισμοί, κυρίως από ψαμμίτες και φυλλίτες β) Κάτω- Μέσο- Τριαδικό σχηματισμοί, από κλαστικά και βασικά εκρηξιγενή πετρώματα γ) Μέσο Τριαδικό - Άνω Ιερασιακό ασβεστόλιθοι και δολομίτες δ) Προανακρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα (Ηωελληνικό), το οποίο αναλύεται γενικά σε μία κατώτερη ενότητα από ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς και μία ανώτερη ενότητα, επωημένη στην κατώτερη, από οφιολιθικούς σχηματισμούς στ) Μέσο- Άνω Κρητιδικό επικλυσιογενείς σχηματισμοί, από ασβεστολίθους και ιζήματα φύσχη (Γεωλογικοί χάρτες ΙΓΜΕ, Φυλ. Ψαχνά-Πηλιον, Λιμνη και Λαρυμνα 1:50000, Katsikatsos 1977, Katsikatsos et al. 1986).

### 3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στον πρώτο τύπο εξαλλοίωσης ( $B_1$ ) που αφορά τη δολομίτιση-πυριτίωση έγινε δειγματοληψία της φλέβας του μαγνησίτη, της ζώνης εξαλλοίωσης και του ανεξαλλοίωτου υπερβασικού πετρώματος. Τα δείγματα μελετήθηκαν μικροσκοπικά με τη βοήθεια πολωτικού μικροσκοπίου Leitz Orthoplan, αναλύθηκαν για κύρια στοιχεία με τη μέθοδο ανάλυσης φθορισμού δια ακτίνων Χ (XRF) (συσκευή Philips PW 1450) και με ατομική απορρόφηση (GBC 908) και έγιναν ορυκτολογικοί προσδιορισμοί με μεθόδους περιθλασιμετρίας Χ.Ρ.Δ. και διαφορικής θερμικής βαρυτομετρικής ανάλυσεως D.T.G.A.

Η δεύτερη μορφή της εξαλλοίωσης ( $B_2$ ) των υπερβασικών πετρωμάτων μελετήθηκε από εμφανίσεις που απαντούν στο εσωτερικό βαθιών ανοικτών εκσκαφών εκμετάλλευσης μαγνησίτη στα μεταλλεία Γερορέμματος και Κάκκαβου. Έγινε δειγματοληψία από την ανοικτή εκσκαφή του Γερορέμματος σε βάθος περίπου 70 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς και μια δεύτερη που απείχε περίπου 200 μέτρα βορειότερα αλλά από μικρότερο βάθος, περίπου 10 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Τα δείγματα αυτά υποβλήθηκαν σε ξηρή κοκκομετρική ανάλυση χωρίς να υποστούν θρυμματισμό των συσσωματωμάτων τους και προσδιορίσθηκε η κοκκομετρική σύσταση στα κλάσματα  $>2$  mm. Στα  $<2$  mm η κοκκομετρία έγινε με τη μέθοδο της πιπέτας (Gee & Bauder 1986). Το σύνολο του δείγματος μελετήθηκε ορυκτολογικά με αυτόματο περιθλασίμετρο τύπου Siemens D5000 με λυχνία χαλκού και μονοχρωμάτορα γραφίτη και ο προσδιορισμός των κρυσταλλικών φάσεων έγινε με τη χρήση της βάσης δεδομένων JCPDS (Joint Committee Powder Diffraction Standards). Για την ορυκτολογική ανάλυση του κλάσματος της αργίλου ( $<2$   $\mu\text{m}$ ), έγινε μελέτη με Χ.Ρ.Δ., D.T.G.A και υπερυθρης φασματοσκοπίας F.T.I.R.

Για την ποιοτική ανάλυση της αργίλου ( $<2\mu\text{m}$ ), με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων Χ, έγινε κορεσμός των δειγμάτων με  $\text{K}^+$  και θέρμανσή τους για 2 ώρες στους  $350^\circ\text{C}$  και  $550^\circ\text{C}$  και κορεσμός με  $\text{Mg}^{2+}$  και μίγμα αιθυλογλυκόλης-νερού (3ml αιθυλογλυκόλης:20ml νερού) (Whitting & Allardice 1986). Η ορυκτολογική σύσταση που προέκυψε από τα φάσματα των ακτίνων Χ επιβεβαιώθηκε και με τη χρήση των φασμάτων F.T.-I.R. στο κλάσμα της αργίλου ( $<2$   $\mu\text{m}$ ) όπου χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των δισκίων (pellets) με KBr και σε αναλογία 2 mg αργίλου σε 200 mg KBr. Χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο FT-IR Nicolet (750 Magma Series) (ταχύτητα σάρωσης 100 scans, διαχωριστικής ικανότητας  $4\text{cm}^{-1}$ ) και ο προσδιορισμός των φασμάτων έγινε με τη χρήση του λογισμικού OM-NIC 3.1.

### 4 ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Τα εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα που σχετίζονται με τα κοιτάσματα μαγνησίτη της Β. Εύβοιας προέρχονται κυρίως από χαρτζβουργίτες και δουνίτες. Πετρογραφική μελέτη και χημικές αναλύσεις σχετικά καλά διατηρημένων δειγμάτων έδειξαν ότι κυριαρχεί ο χαρτζβουργίτης, ενώ σε

μικρότερη αναλογία απαντά ο δουνίτης. Η χημική σύσταση των πετρωμάτων αυτών είναι η τυπική των υπερβασικών πετρωμάτων αλπικού τύπου και αποτελούνται, κυρίως από:  $MgO(40,0-48,0)$ ,  $SiO_2(34,0-42,0)$ ,  $Fe_2O_3^{ολ} \cdot (7,6-9,2)$  και  $Al_2O_3(< 1,0)$ , όλα σε κ.β. % (Gartzos, E. 1986). Σχετικά με τα ιχνοστοιχεία διαπιστώσαμε ότι σε σύνολο 19 αναλυθέντων, τα 16 βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης (αναλυτική μέθοδος XRF). Ο ολιβίνης είναι  $For_{91-92,5}$ , και οι πυρόξενοι είναι κυρίως ορθοπυρόξενοι.

Στα υπερβασικά πετρώματα της Β. Εύβοιας έχουν αποτυπωθεί τρία επεισόδια, τα οποία επηρέασαν την ορυκτολογική και χημική σύστασή τους.

Α. Πρώτο επεισόδιο, το οποίο τοποθετείται χρονολογικά πριν από τη γένεση του μαγνησίτη. Πρόκειται για μια εκτεταμένη σερπεντινίωση των υπερβασικών πετρωμάτων που άφησε όμως ορισμένες μάζες των πετρωμάτων ανεπηρέαστες.

Β. Δεύτερο επεισόδιο, που περιλαμβάνει τις εξαλλοιώσεις των υπερβασικών πετρωμάτων που συνέβησαν κατά την περίοδο της γένεσης των κοιτασμάτων μαγνησίτη (συγγενετική εξαλλοίωση).

Γ. Τρίτο επεισόδιο, που αναφέρεται στη σύγχρονη επιφανειακή εξαλλοίωση, η οποία οφείλεται στην έκθεση των πετρωμάτων στις επιφανειακές συνθήκες και ιδιαίτερα στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

Από τα παραπάνω επεισόδια δεν θα ασχοληθούμε ιδιαίτερα με τη σερπεντινίωση, απλά θα αναφέρουμε ορισμένες χρήσιμες παρατηρήσεις με τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

1) Υπαίθριες παρατηρήσεις και πετρογραφική μελέτη έδειξαν ότι φλέβες και φλεβίδια μαγνησίτη κόβουν το σερπεντινίτη και σε ορισμένες περιπτώσεις έχουμε και αντικατάσταση σερπεντινίτη από μαγνησίτη. Οι σχέσεις αυτές δείχνουν ότι η γένεση του μαγνησίτη είναι μεταγενέστερη από τη σερπεντινίωση.

2) Η παρουσία βρουκίτη  $Mg(OH)_2$  στους σερπεντινίτες υποδηλώνει την απουσία  $CO_2$  από τη ρευστή φάση κατά τη σερπεντινίωση (Johannes, 1969). Αντίθετα κατά τη γένεση του μαγνησίτη έχουμε έντονη παρουσία  $CO_2$  στη ρευστή φάση (στα υδατικά διαλύματα). Επομένως δεν μπορεί να συνέβαινε ταυτόχρονα η σερπεντινίωση και η γένεση του μαγνησίτη.

3) Κατά την σερπεντινίωση είχαμε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες που ξεπερνούσαν σε ορισμένες περιοχές τους  $370^\circ C$ . Αυτό προκύπτει από τη διατήρηση του ολιβίνης, δηλαδή, τη μη σερπεντινίωση του υπερβασικού πετρώματος στις περιοχές αυτές.

Σύμφωνα με την αντίδραση  $2 \text{ Φορστερίτης} + 3 \text{ H}_2\text{O} \leftrightarrow 1 \text{ Σερπεντινίτη} + 1 \text{ Βρουκίτη}$  (Johannes, 1968) ο ολιβίνης (φορστερίτης) μετατρέπεται σε σερπεντινίτη σε θερμοκρασία χαμηλότερη των  $350^\circ C$  (όταν απουσιάζει το  $CO_2$  από τη ρευστή φάση ή είναι πολύ πτωχή σε  $CO_2$ ). Αντίθετα οι εξαλλοιώσεις των περιβαλλόντων πετρωμάτων κατά τη γένεση του μαγνησίτη είναι χαμηλών θερμοκρασιών (άργιλοι).

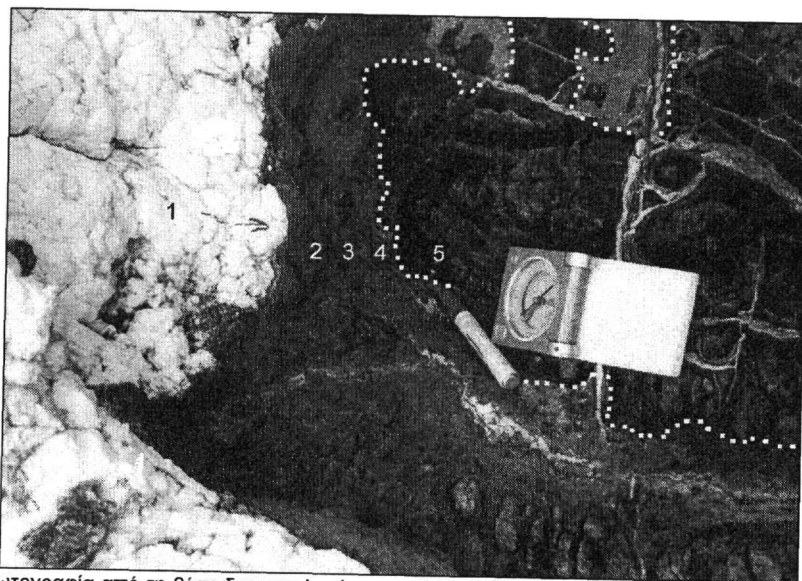
Σχετικά με το τρίτο επεισόδιο της σύγχρονης επιφανειακής εξαλλοίωσης θα αναφέρουμε μόνο παρατηρήσεις που δείχνουν ποια είναι τα προϊόντα της αποσάθρωσης αυτής. Ο οπάλιος βρέθηκε να γειμίζει μικρές κοιλοότητες που υπάρχουν στα εξαλλοιωμένα πετρώματα και στις φλέβες μαγνησίτη, μάλιστα ορισμένες από αυτές βρέθηκαν να έχουν μια αρχική επίστρωση από χαλαζία. Ο οπάλιος, επίσης βρέθηκε να αντικαθιστά μερικώς φλέβες μαγνησίτη και λατύπες μαγνησίτη μέσα στα υπερκείμενα νεογενή ιζήματα της περιοχής. Ο σепτιόλιθος έχει αποθεθεί στα περισσότερα νεοτεκτονικά ρήγματα, πολλά από τα οποία κόβουν φλέβες μαγνησίτη, σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε μερική ή και ολοκληρωτική αντικατάσταση του μαγνησίτη των φλεβών από σепτιόλιθο. Στα τοιχώματα των υπόγειων εκμεταλλεύσεων παρατηρήθηκε σύγχρονη απόθεση σепτιόλιθου, καθώς επίσης και γέμισμα ρωγμών από εύπλαστο φρέσκο σепτιόλιθο.

Από τις παρατηρήσεις αυτές προκύπτει ότι ο οπάλιος και ο σепτιόλιθος είναι μεταγενέστεροι του μαγνησίτη και αποτελούν προϊόντα σύγχρονης επιφανειακής αποσάθρωσης.

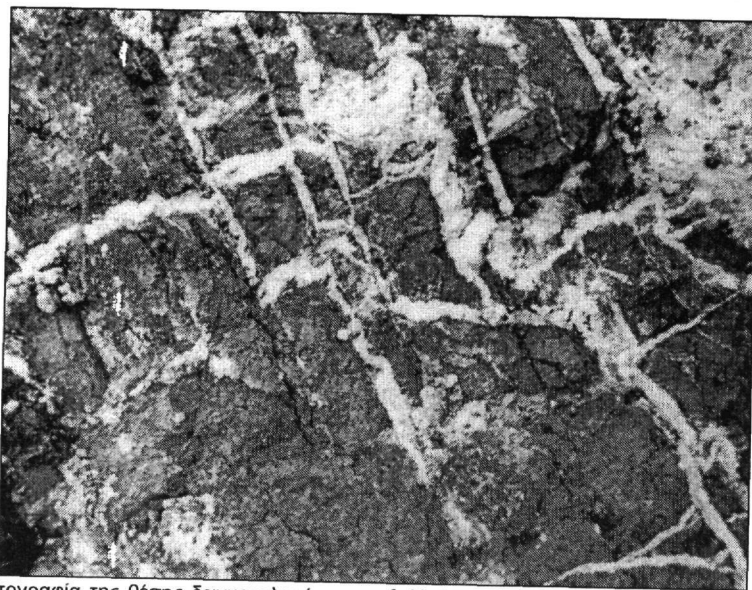
Παρακάτω θα αναφερθούμε διεξοδικά στο δεύτερο επεισόδιο, δηλαδή στη συγγενετική εξαλλοίωση που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Μετά από σχολαστική παρατήρηση και έρευνα υπαίθρου σε επιφανειακά και υπόγεια έργα βρέθηκε ότι υπάρχει στενή χωρική σχέση μεταξύ των κοιτασμάτων μαγνησίτη και των εξαλλοιώσεων που απαντούν στα περιβάλλοντα υπερβασικά πετρώματα. Οι εξαλλοιώσεις αυτές διακρίνονται σε δύο κύριους τύπους συγγενετικής εξαλλοίωσης. Ο πρώτος τύπος ( $B_1$ ) αφορά εξαλλοιώσεις που απαντώνται κατά μήκος των επαφών των φλεβών με το υπερβασικό πέτρωμα (Σχ. 2) και συνδέονται με φλέβες μαγνησίτη μικρού έως μέσου πάχους, που πληρούν διακλάσεις και άλλες μικρής κλίμακας διαρρήξεις των υπερβασικών πετρωμάτων. Στην περίπτωση αυτή έχει δημιουργηθεί στο

πέτρωμα μία συμπαγής ζώνη εξαλλοίωσης, με πάχος ανάλογο προς το πάχος της φλέβας του μαγνησίτη. Μετά από τη ζώνη εξαλλοίωσης ακολουθεί το υπερβασικό πέτρωμα που συνήθως είναι ένας τυπικός ανεξαλλοιώτος ή με μικρό βαθμό σερπεντινίωσης χαρτζβουργίτης. Ο δεύτερος τύπος (B<sub>2</sub>) αφορά εκτεταμένες εξαλλοιώσεις στο εσωτερικό των υπερβασικών μαζών (Σχ. 3), οι οποίες βρίσκονται συνήθως δεκάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τις συναντάμε στο εσωτερικό βαθιών ανοικτών εκσκαφών και σε αντίθεση με τον προηγούμενο τύπο εξαλλοίωσης (συμπαγή) αποτελούνται από ένα εύθρυπτο, ασύνδετο και πλήρως αποδιοργανωμένο υλικό που καταρρέει με απλή πίεση.



Σχήμα 2. Φωτογραφία από τη θέση δειγματοληψίας της εξαλλοίωσης τύπου B<sub>1</sub>, στην οποία φαίνονται η φλέβα μαγνησίτη (λευκή περιοχή, αριστερά), η ζώνη εξαλλοίωσης (γκρί περιοχή στο μέσο) και το μη εξαλλοιωμένο υπερβασικό πέτρωμα (μαύρο, στο δεξιό μέρος). Επίσης σημειώνονται τα σημεία δειγματοληψίας.



Σχήμα 3. Φωτογραφία της θέσης δειγματοληψίας της εξαλλοίωσης τύπου B<sub>2</sub>, στην οποία φαίνεται με λευκό χρώμα ο μαγνησίτης και με γκρι το εξαλλοιωμένο και πλήρως αποδιοργανωμένο υπερβασικό πέτρωμα. Κλίμακα 1:20



Για τη μελέτη αυτών των δύο τύπων εξαλλοιώσεων (hydrogenne wall rock alteration), δηλαδή της δολομιτίωσης-πυριτίωσης (B<sub>1</sub>) και της αργιλικής εξαλλοιώσης (B<sub>2</sub>), η οποία οδήγησε και σε σχηματισμό βερμικουλίτη, ακολουθήθηκε διαφορετική μεθοδολογία.

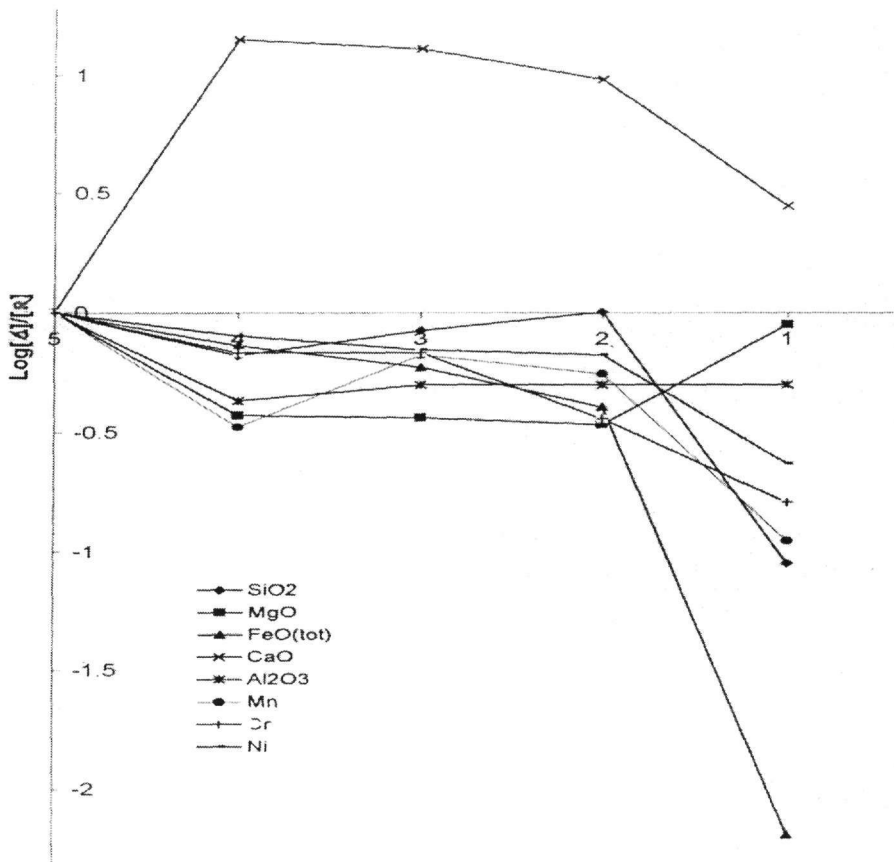
Στον πρώτο τύπο εξαλλοίωσης (B<sub>1</sub>) που αφορά τη δολομιτίωση-πυριτίωση έγινε δειγματοληψία, η οποία αρχίζει από τη φλέβα του μαγνησίτη και μέσα από τη συμπαγή ζώνη εξαλλοίωσης καταλήγει στο ανεξαλλοιωτό υπερβασικό πέτρωμα. Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία (Σχ. 2), ο μαγνησίτης χαρακτηρίστηκε σαν δείγμα 1, το υπερβασικό σαν δείγμα 5 και η ζώνη εξαλλοίωσης σαν δείγματα 2, 3, 4.

Πίνακας 1. Αναλύσεις των δειγμάτων 1, 2, 3, 4 και 5, τα οποία σημειώνονται στη φωτογραφία του σχήματος 2.

Στοιχεία και μέθοδοι ανάλυσης	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5
SiO <sub>2</sub> (X-R-F) κ.β. %	3,45	38,80	32,60	25,70	38,01
MgO (X-R-F) κ.β. %	42,50	15,90	17,00	17,60	46,70
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (X-R-F) κ.β. %	0,07	4,44	6,50	8,00	11,00
CaO (X-R-F) κ.β. %	3,35	11,56	15,55	17,00	1,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (X-R-F) κ.β. %	0,14	0,14	0,14	0,12	0,28
Mn (Ατομ. απορ. ppm)	0,01	0,05	0,06	0,03	0,09
K <sub>2</sub> O ( - >> - )	0,05	0,03	0,05	0,11	0,07
Na <sub>2</sub> O ( - >> - )	<0,03	<0,03	0,05	0,06	0,07
V ( - >> - )	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
B ( - >> - )	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn ( - >> - )	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr ( - >> - )	400	900	1700	1700	2500
Ni ( - >> - )	700	2000	2100	2400	3000
Hg ( - >> - )	<10	<10	<10	<10	<10
Απ. Πυρώσεως % σε 105°C	0,60	1,72	1,11	1,45	0,21
Απ. Πυρώσεως % σε 1000°C	49,05	27,12	27,09	29,69	1,07
<b>Δεκαδικό λογάριθμοι των ανωτέρω τιμών των συγκεντρώσεων των στοιχείων</b>					
SiO <sub>2</sub>	-1,0516	-0,0026	-0,0737	-0,1787	0,0000
MgO	-0,0492	-0,4679	-0,4389	-0,4288	0,0000
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-2,1900	-0,3940	-0,2285	-0,1383	0,0000
CaO	+0,4459	+0,9838	+1,1125	+1,1512	0,0000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,3010	-0,3010	-0,3010	-0,3679	0,0000
Mn	-0,9547	-0,2557	-0,1765	-0,4776	0,0000
Cr	-0,7959	-0,4437	-0,1675	-0,1678	0,0000
Ni	-0,6326	-0,1761	-0,1549	-0,0969	0,0000

Από τη μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων της δολομιτικής-πυριτικής εξαλλοίωσης διαπιστώθηκε στο δείγμα 1, η παρουσία μόνο κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη. Στα 2, 3, 4 μια εκτεταμένη καφετί έως κεραμέρυθρη ανθρακική μάζα, στην οποία υπάρχουν διεσπαρμένοι ευμεγέθεις κρυσταλλοί ορθοπυροξένων, οι οποίοι βρίσκονται από αρχικό έως και τελικό στάδιο εξαλλοίωσης. Ο ολιβίνης έχει αντικατασταθεί από ανθρακικά ορυκτά (κυρίως δολομίτη) και χαλαζία. Επίσης, διαπιστώνεται η ύπαρξη μεμονωμένων κρυστάλλων χρωμίτη, οι οποίοι φαίνεται να ανθίστανται στην εξαλλοίωση, καθώς επίσης και λεπτών φλεβιδίων χαλαζία. Τέλος, στο δείγμα 5 (ανεξαλλοιωτή μάζα χαρτζβουργίτη) παρατηρήθηκαν ανεξαλλοιωτοί κρυσταλλοί ολιβίνης, οι οποίοι εφάπτονται χωρίς να παρεμβάλλεται σερπεντίνης ή ανθρακικά ορυκτά.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων παρατίθενται στον πίνακα 1 και προβάλλονται στο διάγραμμα του σχήματος 4, από το οποίο γίνεται εμφανές ότι από το μητρικό πέτρωμα (χαρτζβουργίτης) προς τη φλέβα του μαγνησίτη όλα τα στοιχεία βαίνουν μειούμενα με εξαίρεση το CaO, το οποίο αυξάνεται σημαντικά, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι κατά τη διαδικασία αυτής της εξαλλοίωσης τα υδατικά διαλύματα μετέφεραν και προσέθεσαν ασβέστιο.

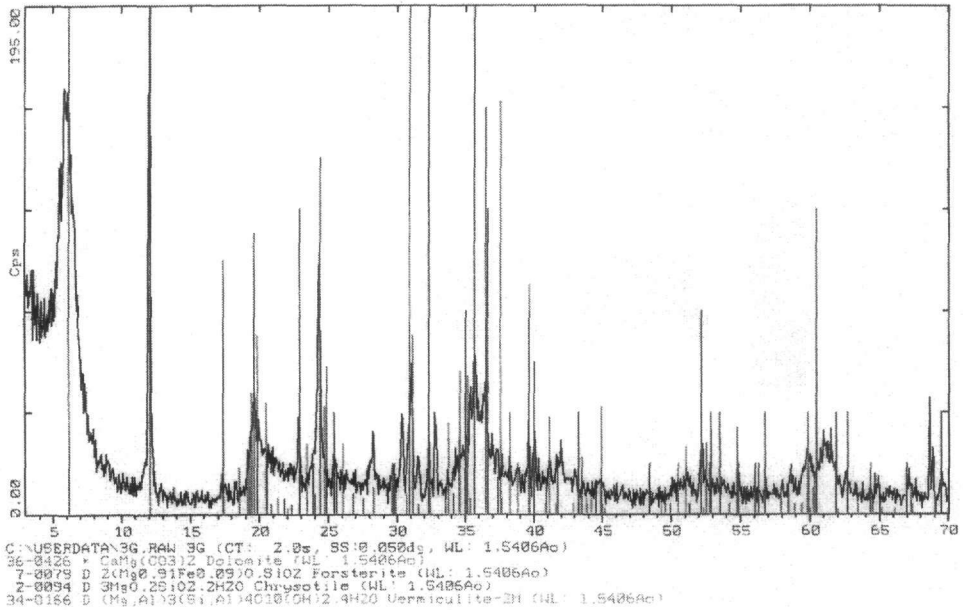


Σχήμα 4. Προβολή του λογαρίθμου των συγκεντρώσεων των στοιχείων του Πίνακα 1. (Δ)=συγκέντρωση των στοιχείων σε δείγμα εξαλλοιωμένου πετρώματος και φλέβας μαγνησίτη, (R)=συγκέντρωση των στοιχείων σε δείγμα μητρικού πετρώματος.

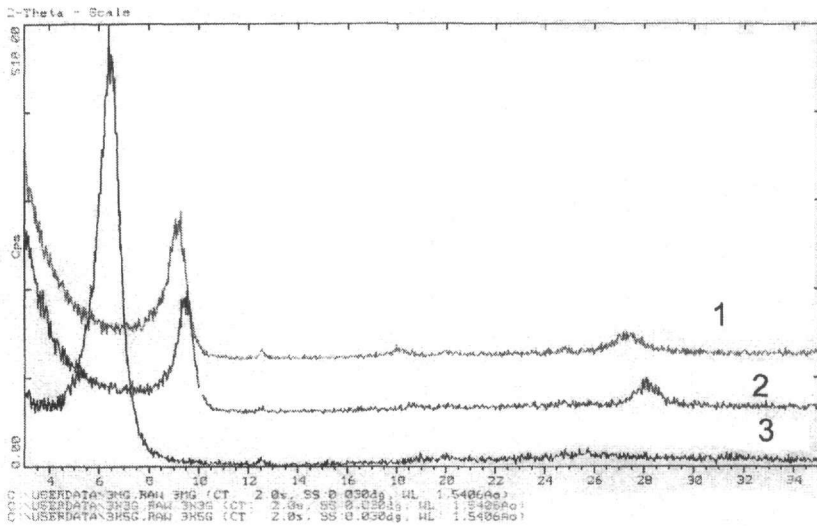
Από το ποσοστό της απώλειας βάρους και από τη θερμοκρασία (105 – 1000<sup>0</sup> C) που συνέβη η μεταβολή κατά τη διαφορική θερμική βαρυμετρική ανάλυση D.T.G.A. διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για ασβεστο-μαγνησιούχο ανθρακική ορυκτολογική φάση της ζώνης εξαλλοίωσης που συνήθως συνοδεύεται από χαλαζία.

Η δεύτερη μορφή της εξαλλοίωσης (B<sub>2</sub>) των υπερβασικών πετρωμάτων μελετήθηκε από εμφανίσεις που απαντούν στο εσωτερικό βαθιών ανοικτών εκσκαφών εκμετάλλευσης μαγνησίτη στα μεταλλεία Γερορέμματος και Κάκκαβου.

Από τη μελέτη αυτών των δειγμάτων που αντιστοιχούν στο εξαλλοιωμένο και πλήρως αποδιοργανωμένο πέτρωμα, συγκεκριμένα του κλάσματος < 2 μm, προσδιορίστηκε η παρουσία του βερμικουλίτη με τη βοήθεια των διαγραμμάτων XRD (Σχ. 5 & 6), γεγονός το οποίο επιβεβαιώθηκε και από τα διαγράμματα των D.T.G.A. και FT-I.R.. Επίσης, προσδιορίστηκαν τα ορυκτά δολομίτης, χρυσοσίλης, φορστερίτης και μικτής δομής αργιλικά ορυκτά στο κλάσμα <2 mm.



Σχήμα 5. Διάγραμμα XRD δείγματος <2 mm από τις εξαλλοιώσεις τύπου B<sub>2</sub>. Προσδιορίστηκαν τα ορυκτά δολομίτης, φορστερίτης, χρυσότης και βερμικουλίτης.



Σχήμα 6. Διάγραμμα XRD από το κλάσμα της αργίλου. (1) Επεξεργασία δείγματος με εμπότισμό K και θέρμανση στους 550°C, (2) Επεξεργασία δείγματος με εμπότισμό K και θέρμανση στους 350°C και (3) Επεξεργασία δείγματος με εμπότισμό Mg και μίγματος αιθυλογλυκόλης και νερού. Κατά τους (Whitting & Allardice 1986) ο συνδυασμός των χειρισμών μας προσδιορίζει ότι πρόκειται για βερμικουλίτη.



## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνά μας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Υπάρχει στενή χωρική και γενετική σχέση μεταξύ των κοιτασμάτων μαγνησίτη και των εξαλλοιώσεων που απαντούν στα περιβάλλοντα υπερβασικά πετρώματα. Οι εξαλλοιώσεις αυτές διακρίνονται σε δύο κύριους τύπους συγγενετικής εξαλλοίωσης (ακραία μέλη).
- ❖ Ο πρώτος τύπος (B<sub>1</sub>) αφορά εξαλλοιώσεις που δημιουργήθηκαν κατά μήκος των επαφών των φλεβών (μικρού έως μέσου πάχους) με το υπερβασικό πέτρωμα, οι οποίες πληρούν διακλάσεις και άλλες μικρής κλίμακας διαρρήξεις των υπερβασικών πετρωμάτων. Στην περίπτωση αυτή έχει δημιουργηθεί στο πέτρωμα μία συμπαγής ζώνη εξαλλοίωσης, με πάχος ανάλογο προς το πάχος της φλέβας του μαγνησίτη, στην οποία επικρατούν τα ανθρακικά ορυκτά και ο χαλαζίας. Τα ορυκτά αυτά έχουν αντικαταστήσει μερικώς ή ολικώς τα πυριτικά ορυκτά των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Η σειρά αυξανόμενης αντίστασης στη δράση των υδατικών διαλυμάτων είναι ολιβίνη, πυρόξενος, αμφίβολος και σερπεντίνη. Ο χρωμίτης παρουσιάζει την πλέον ισχυρή αντίσταση. Η εξαλλοίωση αυτή χαρακτηρίζεται ως δολομιτίωση-πυριτίωση και δημιουργήθηκε από διαλύματα που ήταν υπερκορεσμένα ως προς τον δολομίτη (το γινόμενο διαλυτότητας του δολομίτη είχε τιμή μεγαλύτερη από την τιμή κορεσμού) και τον χαλαζία.
- ❖ Στις περιπτώσεις που έχουμε στα περιβάλλοντα πετρώματα εξαλλοιώσεις τύπου B<sub>1</sub> ("δολομιτική-πυριτική") συνήθως παρατηρούνται φαινόμενα μερικής δολομιτίωσης των υπαρχουσών φλεβών μαγνησίτη και απόθεση χαλαζία στα τοιχώματα κοιλοτήτων των φλεβών.
- ❖ Ο δεύτερος τύπος (B<sub>2</sub>) αφορά εκτεταμένες εξαλλοιώσεις στο εσωτερικό των υπερβασικών μαζών, οι οποίες βρίσκονται συνήθως δεκάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούν αργίλικού τύπου εξαλλοιώσεις με χαρακτηριστικό ορυκτό τον βερμικουλίτη. Δημιουργήθηκαν από διαλύματα ακόρεστα ως προς τον δολομίτη και τον χαλαζία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Auclair M. Gauthier M. Trottier J. Jebrak M. Chartrand F. 1993. Mineralogy, geochemistry, and paragenesis of the eastern metal serpentinite associated Ni-Cu-Zn deposit, Quebec Appalachians. *Econ. Geol. Bull. Soc.* 94(7) 1007 – 1028.
- Bailey E. H. 1946. Quick silver deposits of the Western Mayacamas District, Sonora County, California. *California Jour. Mines Geology.* 42, 199 - 230.
- Bailey E. H. & Everhart D. L. 1964. Geology and Quick silver deposits of the New Almaden district, Santa Clara County, California. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 360, 206 p.
- Barnes I., O'Neil J. R., Rapp J. & White D. 1973. Silica – Carbonate alteration of serpentinite: wall rock alteration in mercury deposit, of the California Coast Ranges. *Economic Geology*, 68, 388-398,
- Dabitzias S. 1980. Petrology and genesis of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits, Chalkidiki peninsula, Northern Greece. *Economic Geology*, 75, 1138-1151.
- Gartzos E. 1986. On the genesis of cryptocrystalline magnesite deposits in the ultramafic rocks of northern Evia, Greece. Ph.D. thesis. Inst. of Mineralogy and Petrography, ETH, Zurich. P. 195
- Gartzos E. 1990. Carbon and oxygen isotope constraints on the origin of magnesite deposits, N. Evia (Greece). *S.M.P.M.* 70, 67-72.
- Gee, G.W. & Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis.9:383-411. In: A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2<sup>nd</sup> ed.* Agronomy. ASA and SSSA. Madison. WI. USA.
- Halls C. Zhao R. 1995. Listvaenites and related rocks – perspectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at Regganbaun, Co Mayo Republic of Ireland. *Miner. Deposita* 30(3-4) 303-313.
- Katsikatsos G. 1977. La structure tectonique d'Attique et d'Eubee. VI Coll. on the Geol. of the Aegean Reg., Athens, I, 211-228.
- Katsikatsos G., Migiros G., Triantaphyllis E. & Mettos A. 1986. Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly SW Macedonia, Euboea Attica Northern Cyclades and Lesvos). *I.G.M.E., Geol. and Geoph. Res., Special issue*, 191-212.
- Le Pichon, X., and Angelier, J., 1979. The Hellenic arc and trench system. *Tectonophysics*, 60, 1- 42.
- Mountrakis D., Sapountzis E., Kiliias A., Eleftheriadis G. & Christofidis G. 1983. Paleogeographic conditions in the western pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Canadian Journal of Earth. Sc.*, 20, 1673 - 1681.
- Σερέλης Κ. 1989. Υδροθερμική εξαλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων στη Β. Εύβοια. Μεταπτυχιακή διατριβή (M. Sc.), ΓΠΑ.

- Ucurum A, Larson L.T. 1999. Geology, base-precious metal concentration and genesis of the silica-carbonate alteration (listwaenites) from late Cretaceous ophiolitic melanges at central east Turkey. *Chemie der Erde – Geochemistry* 59 (2) 77-104.
- Whitting L. D. & Allardice W.R. 1986. X-ray diffraction techniques. In: A.Klute (ed.), *Methods of soil analysis, Part 1., Physical and Mineralogical methods*. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy, 9, 331-362.
- Yates R. G. & Hilpert L. W. (1946). Quick silver deposits of the Eastern Mayacamas District, Lake and Napa Counties, California. *Jour. Mines Geology*, 42, 231-286.

## ABSTRACT

### **STUDY OF THE WALL ROCK ALTERATION OCCURRING IN ULTRAMAFIC ROCKS HOSTING MAGNESITE DEPOSITS, EVIA, GREECE.**

Serelis K.<sup>1</sup>, Gartzos E.<sup>1</sup>, and Tsaousidou P.<sup>1</sup>

*1 Division of Geological Sciences and Atmospheric Environment, Dept. of Sciences, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece, egartz@aua.gr, serelis@aua.gr, gtsaousidou@aua.gr*

Three different kinds of alteration processes occur in the studied ultramafic host rocks of the magnesite deposits of N. Evia. In chronological order: Pre-magnesite event (serpentinization), syngenetic brown alteration and weathering.

This paper concerns the syngenetic wall rock alteration of the ultramafic host rocks. Two types of wall rock alteration were distinguished. The first one named type (B<sub>1</sub>) concerns cases of brown alteration accompanying thin to medium size veins of magnesite. Alteration is restricted in thin (a few cm to 20 cm) vein-parallel bands occurring on both sides of the vein. Alteration increases gradually towards the edges of the vein. The altered band consists mainly of abundant dolomite and/or quartz. The second type (B<sub>2</sub>) concerns argillic alteration of large ultramafic masses in areas with intense magnesite mineralization and can be observed along the walls of the open pit mines. Secondary vermiculite has been formed in this case. Both types are related to the genesis of the magnesite deposits.