

## ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΑΛΚΗ - ΒΕΡΜΙΚΟΥΛΙΤΗ ΣΤΟ ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΙΚΟ ΣΩΜΑ Τ6 ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΚΟΥ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σ. Νταμπίτζιας\* και Χ. Κουγκούλης\*

### ΣΥΝΟΨΗ

Η μεταλλοφορία εντοπίζεται κατά μήκος της επαφής με τους περιβάλλοντες το σερπεντινιτικό σώμα διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους του σχηματισμού Βερτίσκου και κατά μήκος ρηξιγενών δομών στο εσωτερικό του σερπεντινιτικού σώματος. Σχηματίζει μακροσκοπικά ευδιάκριτες, μερικές φορές μονοορυκτολογικές ζώνες των οποίων το πάχος μεταβάλλεται απότομα (από μερικά εκατοστά μέχρι 5 μέτρα). Ζώνες βερμικουλίτη - τρεμολίτη - τάλκη απαντούν με αυτή τη σειρά στις επαφές γνευσίου - σερπεντινίτη, ενώ μία επιπρόσθετη ζώνη χλωρίτη συνήθως παρατηρείται στις μεταλλοφορίες που απαντούν στο εσωτερικό των σερπεντινιτικών σωμάτων.

### ABSTRACT

The mineralization is localized along the contacts with the surrounding two-mica gneisses of the Vertiskos formation and along fault-related structures within the serpentinite body. It forms macroscopically discrete, sometimes monomineralic, zones whose thicknesses change drastically along strike and dip (from a few cm up to 5 meters). Vermiculite-tremolite-talc zones occur in that order at gneiss-serpentinite contacts while an additional chlorite zone is usually observed together with the other zones within the serpentinite bodies.

### I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION

Τάλκης, ένα από τα γνωστά βιομηχανικά ορυκτά, παράγεται σε περισσότερες από 40 χώρες και η ετήσια παγκόσμια παραγωγή του πλησιάζει τους 10 εκ. τόννους (B.G.S., 1992). Η ύπαρξη κοιτασμάτων τάλκη σε πολλές χώρες και η παρουσία των εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων τάλκη σε ένα πλήθος διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μιάς τεράστιας πηγής άντλησης πληροφοριών από τη διεθνή βιβλιογραφία. Σε αντίθεση, το σύνολο σχεδόν της παγκόσμιας παραγωγής βερμικουλίτη, που ανέρχεται σε 600-700 χιλ. τόννους/έτος, προέρχεται από δύο χώρες (ΗΠΑ, Ν. Αφρική) και μάλιστα από τον ίδιο τύπο κοιτασμάτων ζωνώδης πυροξενίτης με πυρήνα πλούσιο σε φλογοπίτη/βερμικουλίτη (Harben & Bates 1984). Το γεγονός αυτό και η ύπαρξη, πιστεύουμε, του "συνδέσμου βερμικουλίτη" (vermiculite association) είχε σαν αποτέλεσμα την σχεδόν παντελή έλλειψη στη διεθνή βιβλιογραφία κοιτασματολογικών στοιχείων για τον βερμικουλίτη. Το σύνολο σχεδόν της βιβλιογραφίας αφορά ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του βερμικουλίτη. Η παρουσία λεπτών ζωνών βερμικουλίτη, τρεμολίτη (±χλωρίτη) και τάλκη στην επαφή υπερβασικών με όξινα πετρώματα είναι κάτι το πολύ σύνηθες και έχει

\* INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION (I.G.M.E.) 1, Frángon str., 546 26 Thessaloniki, Greece.

επανειλλημμένα αναφερθεί (Dabitzias 1980, Kuzvart 1984, Harben & Bates 1984). Τα ποσοτικά όμως χαρακτηριστικά του είδους αυτού της μεταλλοφορίας στην περιοχή του Ασκού την καθιστούν ενδιαφέρουσα όχι μόνον από οικονομικής αλλά και από γεωλογικής πλευράς. Στην παρούσα μελέτη αναφέρονται όλα τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα που εκτέλεσε το ΙΓΜΕ στην περιοχή Ασκού και ειδικότερα στο σερπεντινιτικό σώμα Τ6 από το 1988 μέχρι σήμερα καθώς και γενικές απόψεις σχετικά με την προέλευση των κοιτασμάτων αυτών.

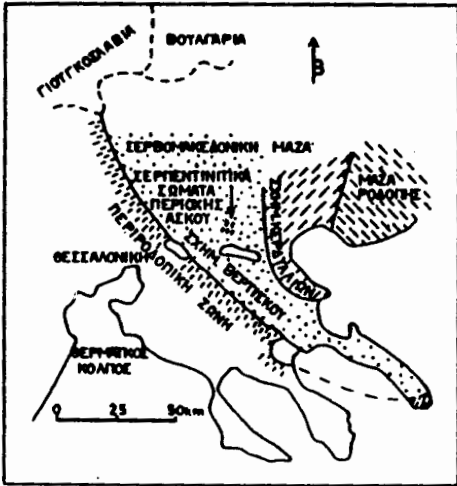
## II. ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ - GENERAL GEOLOGY

### 1. Σχηματισμός Βερτίσκου

Ο σχηματισμός Βερτίσκου αποτελεί, σύμφωνα με τους Kockel et al., (1977), το κεντρικό και δυτικό τμήμα ενός Ανω Προκαμβρίου ηλικίας, επαναπτυχωμένου κατά το Ορδοβίσιο, κρυσταλλικού υπόβαθρου, γνωστού σαν Σέρβο-Μακεδονική μάζα (Σχ.1). Υπέρεται στρωματογραφικά του σχηματισμού Κερδυλλίων, (το υπόλοιπο τμήμα της Σερβο-Μακεδονικής μάζας), και αποτελείται από γνεύσιους, γνεύσιους με ενστρώσεις αμφιβολιτικών οριζόντων, σχιστόλιθους, λίγες εμφανίσεις μαρμάρων και άφθονα οφιολιθικά σώματα. Υπολείμματα ενός Ανω Παλαιοζωϊκής - Κάτω Μεσοζωϊκής ηλικίας κύκλου ιζηματογένεσης και ηφαιστειακής δράσης ενσωματώθηκαν υπό μορφή λεπίων ή πτυχωμένων οριζόντων (γνωστών σαν το Μεσοζωϊκό κάλυμμα, Kockel et al., 1977) στο σχηματισμό Βερτίσκου κατά τη διάρκεια μίας Μέσο Ιουρασικής, ηλικίας ορογένεσης η οποία συνοδεύτηκε από έντονη μαγματική δραστηριότητα (γρανίτης Αρναίας κλπ). Παλαιογενούς ηλικίας, πορφυριτικού κυρίως τύπου, πλουτώνεια και φλεβικά συμπληρώνουν το σχηματισμό Βερτίσκου.

Ερευνώντας το κοιτασματολογικό ενδιαφέρον των σερπεντινιτικών και αμφιβολιτικών σωμάτων του σχηματισμού Βερτίσκου, οι Κουγκούλης κ.α., (1989), εξέφρασαν την άποψη ότι ο σχηματισμός αυτός είναι το μεταμορφικό ισοδύναμο ενός "πακέτου" κλασικών ιζημάτων και τεμαχών ωκεάνιου φλοιού που δημιουργήθηκε κατά την Αλπική ορογένεση σε περιβάλλον ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου και προτείνουν ότι σε περίπτωση που με την προσθήκη νέων δεδομένων γίνει αποδεκτή, θα πρέπει να επαναπροσανατολισθεί και η κοιτασματολογική έρευνα στη Σερβο-Μακεδονική μάζα. Η πρόταση τους αυτή, πιστεύουν ότι δίνει απάντηση στη διάσταση των πολλών διαφορετικών απόψεων που έχουν κατά καιρούς εκφραστεί για την μεταμορφική ιστορία του σχηματισμού Βερτίσκου και εξηγεί: α) το υψηλό ποσοστό (>30%) των αμφιβολιτικών και σερπεντινιτικών σωμάτων σ' όλο το μήκος και πλάτος του σχηματισμού Βερτίσκου β) την ομοιογένεια σε κυρίαρχα μεταμορφικά και παραμορφωτικά στοιχεία όλου του σχηματισμού Βερτίσκου συμπεριλαμβανομένου και του "καλύματος" γ) την παρουσία "Κερδυλλίων" στον "Βερτίσκο", και δ) την μεταμορφική ασυνέχεια και πετρολογική ανομοιομορφία μεταξύ Κερδυλλίων και Βερτίσκου.

Περισσότερα από 70 υπερβασικά σώματα σχετικά μικρών διαστάσεων αναφέρονται στα 1:50.000 γεωλογικά φύλλα χαρτών του ΙΓΜΕ στον σχηματισμό Βερτίσκου. Πρόκειται για αντιγορτιτικούς σερπεντινίτες που απαντούν είτε σαν μεμονωμένα σώματα είτε σαν ομάδες 5-10 σωμάτων τα οποία είναι κεραμιδωτά τοποθετημένα στα περιβάλλοντα μεταϊζήματα (διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι), έχουν φυλλοδομή ή παράλληλη προς το επίπεδο (S) και χαρακτηρίζονται από μεταλλοφορία τάλκη και βερμικουλίτη. Αντίθετα τα μεγάλων διαστάσεων υπερβασικά σώματα Νιγρίτας, Γοματίου και Ν. Ρόδων είναι εν μέρει σερπεντινιωμένοι δουνίτες-χαρζβουργίτες, χαρακτηρίζονται από μεταλλοφορία λευκόλιθου ή/και χρωμίτη και απαντούν στην επαφή με τον σχηματισμό Κερδυλλίων ή κοντά σ' αυτήν.



Σχ. 1: Γεωλογικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας στον Ελληνικό χώρο

Fig. 1: Geological sketch - map of the Serbo-Macedonian massif

Μικροσκοπικές παρατηρήσεις και ακτινογραφήματα έδειξαν ότι τα σερπεντινιτικά σώματα αυτά μακριά από την περιφέρειά τους και από ζώνες διαίτησεων είναι μικροκρυσταλλικοί αντιγοριτικοί σερπεντινίτες. Οι μικροσκοπικοί βελονοειδείς κρύσταλλοι του αντιγορίτη είναι άτακτα διατεταγμένοι σχηματίζοντας έτσι ένα είδος interlocking μεταξύ τους, πράγμα στο οποίο οφείλεται η μεγάλη σκληρότητα των σερπεντινιτών (Κουγκούλης, κ.ά., 1989). Σε μικρό ποσοστό συμμετέχει πινακοειδής αντιγορίτης ενώ κατά θέσεις παρατηρούνται συγκεντρώσεις μικρών γωνιδιών κόκκων χρωμιούχου μαγνητίτη (π.χ.  $FeO=82\%$ ,  $Cr_2O_3=13$ ). Χλωρίτης και μικροσκοπικοί (μέγεθος μερικά  $\mu$ ) κόκκοι σιδηροξειδίων (πιθανόν και σουλφίδια ή κράματα, Filippidis 1982, 1985, 1991), προϊόν της εξαλλοίωσης του ολιβίνη σε σερπεντίνη, συμπληρώνουν την ορυκτολογική σύσταση των σερπεντινιτών.

Το πέτρωμα που φιλοξενεί τα σερπεντινιτικά σώματα είναι ένας λευκοκρατικός, μικροκρυσταλλικός έως οφθαλμοειδής γνεύσιος με ενστρώσεις μικρού πάχους μελανοκρατικού γνεύσιου πλούσιου σε βιοτίτη (βιοτίτης  $>60\%$ ). Φλεβίδια ή και μικροσυγκεντρώσεις χλωρίτη και ελαφρά σερικιτώση των πλαγιοκλάστων είναι η τυπική εξαλλοίωση τους. Υπιδίομορφοι, ευμεγέθεις κρύσταλλοι ανθρακικού (μάλλον ασβεστίτη) απαντά είτε σε διάσπαρτους κόκκους, είτε σε επιμήκεις συγκεντρώσεις κόκκων παράλληλα προς την φολίδωση των μαρμαρυγιών. Μακριά από τα σερπεντινιτικά σώματα η σχιστότητα του γνεύσιου ακολουθεί την γενική διεύθυνση του σχηματισμού Βερτίσκου ενώ στις επαφές καθορίζεται από το περίγραμμα των σερπεντινιτικών σωμάτων.

### III. ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ - MINERALIZATION

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται στην αρχή τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και στην συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα της εργαστηριακής έρευνας. Το περιεχόμενο των ζωνών τάλκη, βερμικουλίτη, τρεμολίτη θα αναφέρονται στο εξής, για λόγους διάκρισης από τα αντίστοιχα ορυκτά, σαν "τάλκης", "βερμικουλίτη" και "τρεμολίτης".

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

## 2. Περιοχή Ασκού

Η υπό μελέτη περιοχή με τα 8 σερπεντινιτικά σώματα καταλαμβάνει μιά έκταση  $1.5Km^2$ , έχει πολύ ομαλό τοπογραφικό ανάγλυφο και απέχει σε ΒΑΑ κατεύθυνση, 1 περίπου χιλιόμετρο από το χωριό Ασκός που είναι 40Km ΒΑ της Θεσσαλονίκης (βλ. Σχ. 1).

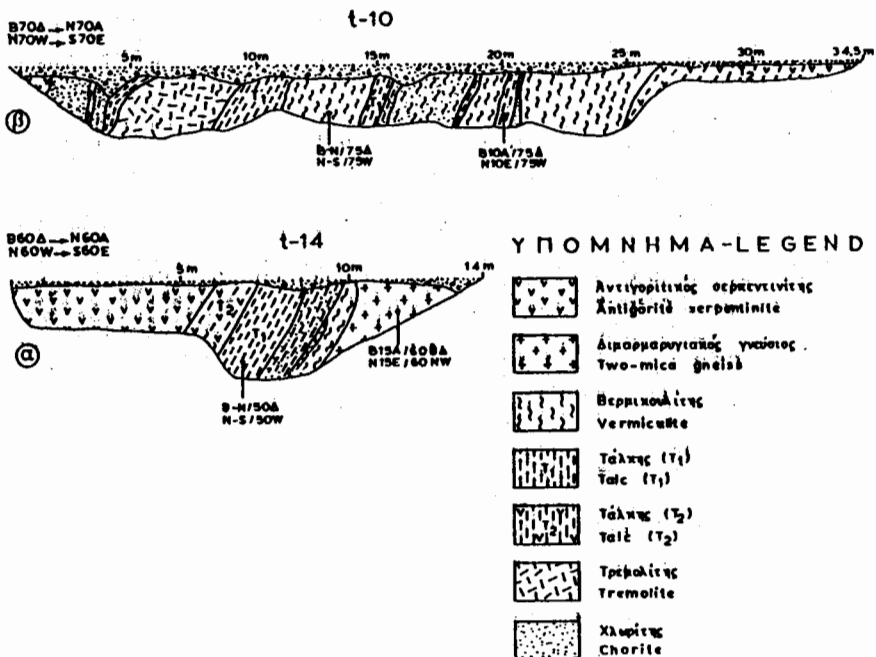
Τα σερπεντινιτικά σώματα της περιοχής είναι μικρών διαστάσεων, επιμήκη και φιλοξενούνται σε γνεύσιους του σχηματισμού Βερτίσκου. Το πάχος τους κυμαίνεται από 20 έως 200 μέτρα και το μήκος τους μέχρι 800 μέτρα. Ο άξονας επιμήκυνσής τους είναι παράλληλος προς την γενική διεύθυνση (B30Δ) του σχηματισμού Βερτίσκου, είναι ολικά σερπεντινιωμένα, έντονα σχιστοποιημένα και παρουσιάζουν, όλα σχεδόν, πανομοιότυπα φαινόμενα εξαλλοίωσης στις επαφές τους με χαρακτηριστικό γνώρισμα την μεταλλοφορία τάλκη και βερμικουλίτη.

## 1. Περιγραφή του κοιτάσματος

"Βερμικουλίτης" → "τρεμολίτης" → "τάλκης" είναι η σειρά με την οποία εμφανίζονται οι ζώνες μεταλλοφορίας στην επαφή του γνεύσιου με τον σερπεντινίτη (Σχ.2α). Αν και οι ζώνες αυτές δεν είναι σχεδόν ποτέ μονοορυκτολογικές, είναι μακροσκοπικά ευδιάκριτες και τα όρια τους είναι σαφή και απότομα. Στην επαφή π.χ. γνεύσιου- "βερμικουλίτη" όχι μόνον δεν παρατηρείται υπολειμματικός γνεύσιος στη ζώνη "βερμικουλίτη" αλλά και αυτός ακόμη ο βιοτίτης του γνεύσιου της επαφής, όπως προκύπτει από μικροσκοπικές παρατηρήσεις και μικρο αναλύσεις, δεν παρουσιάζει ούτε και ίχνη "βερμικουλίτιωσης". Απότομες είναι επίσης και οι επαφές μεταξύ των ζωνών "τάλκη", "βερμικουλίτη" και "τρεμολίτη" παρ' όλο που συχνά παρατηρούνται ακανόνιστου σχήματος συγκεντρώσεις ενός ορυκτού μέσα στις ζώνες άλλων ορυκτών. Το πάχος των ζωνών μεταλλοφορίας παρουσιάζει σοβαρές αυξομειώσεις και κυμαίνεται από 5 περίπου μέτρα μέχρι και μερικά εκατοστά.

Μεταλλοφορία με τα ίδια χαρακτηριστικά της επαφής γνεύσιου- σερπεντινίτη απαντά και στο "εσωτερικό των σερπεντινιτικών σωμάτων (Σχ. 2β). Εδώ όμως απαντούν και μεταλλοφορίες μόνον "τάλκη" ή "τάλκη" και "χλωρίτη". Οι μεταλλοφορίες αυτές στο εσωτερικό του σερπεντινιτικού σώματος εντοπίζονται σε ζώνη που παρουσιάζουν φαινόμενα έντονης ρηξιγενούς παραμόρφωσης.

Σε αντίθεση με προηγούμενες, μεγαλύτερης κλίμακας, χαρτογραφήσεις (Kockel et al., 1978, Κουγκούλης κ.α., 1989), η γεωλογική χαρτογράφηση (Σχ. 3) σε κλίμακα 1:1000 που βασίστηκε κυρίως σε ένα μεγάλο πλήθος ερευνητικών εκσκαφών, (Νταμπίτζιας και Κουγκούλης 1990 και 1992), έδειξε ότι στο σερπεντινιτικό αυτό σώμα φιλοξενούνται επιμήκη τεκτονικά εγκλείσματα (γνεύσιος



Σχ. 2: Μεταλλοφορία Τάλκη και Βερμικουλίτη στην επαφή γνεύσιου σερπεντινίτη α και στο εσωτερικό σερπεντινιτικού σώματος β (Τρανσέρες t-14 και t-10)

Fig. 2: Talc - Vermiculite mineralization in α Gneiss - serpentinite contacts β within serpentinite (Trenches t-14 and t-10).

και επιδοτιτικός-βιοτιτικός σχιστόλιθος). Παράλληλες μεταξύ των ζώνες σύνθλιψης, αφθονούν στο σερπεντινιτικό σώμα και πολλές από αυτές χαρακτηρίζονται από μεταλλοφορία τάلكη ( $\pm$  βερμικουλίτη).

Ο βερμικουλίτης της περιοχής είναι εύθρυπτο, ανοιχτού έως σκούρου καφέ χρώματος φυλλόμορφο ορυκτό. Το μέγεθος των φυλλαρίων του κυμαίνεται από μερικά mm μέχρι και 3 cm και είναι σχεδόν πάντα προσανατολισμένα παράλληλα προς την διεύθυνση των ζωνών που πληρούν.

Διακρίνονται δύο είδη "τάلكη": α) "τάلكης" με φωλιές ανθρακικών που στην επιφάνεια απαντά σαν "τάلكης" με φωλιές λειμωνίτη, και β) "τάلكης" σχιστώδης, χωρίς ανθρακικά. Ο "τάلكης" χωρίς ανθρακικά, που στο εξής θα αναφέρεται σαν "τάلكης" T1, είναι υπόλευκου χρώματος και παρουσιάζεται συνήθως σαν ένα έντονα σχιστοποιημένο υλικό. Ο "τάلكης" με ανθρακικά, στο εξής "τάلكης" T2 έχει λευκογκρί χρώμα και παρουσιάζει φωλιές μεγέθους 2-3 cm με χρώμα μαυριδερό. Αυτές οι φωλιές είναι τα ανθρακικά (σχεδόν αποκλειστικά μαγνησίτης).

## 2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας

### "Τάلكης" T1

Η επί της % κατ' όγκο ορυκτολογική σύσταση του τύπου αυτού "τάلكη" είναι τάلكης 75-90, χλωρίτης 5-15, αδιαφανή 1-6, λίγος υπολειμματικός σερπεντινίτης και σπάνια τρεμολίτης, απατίτης και βερμικουλίτης (υδροβιοτίτης). Χημικές αναλύσεις του τύπου αυτού του "τάلكη" δίνονται στον Πίν. 1.

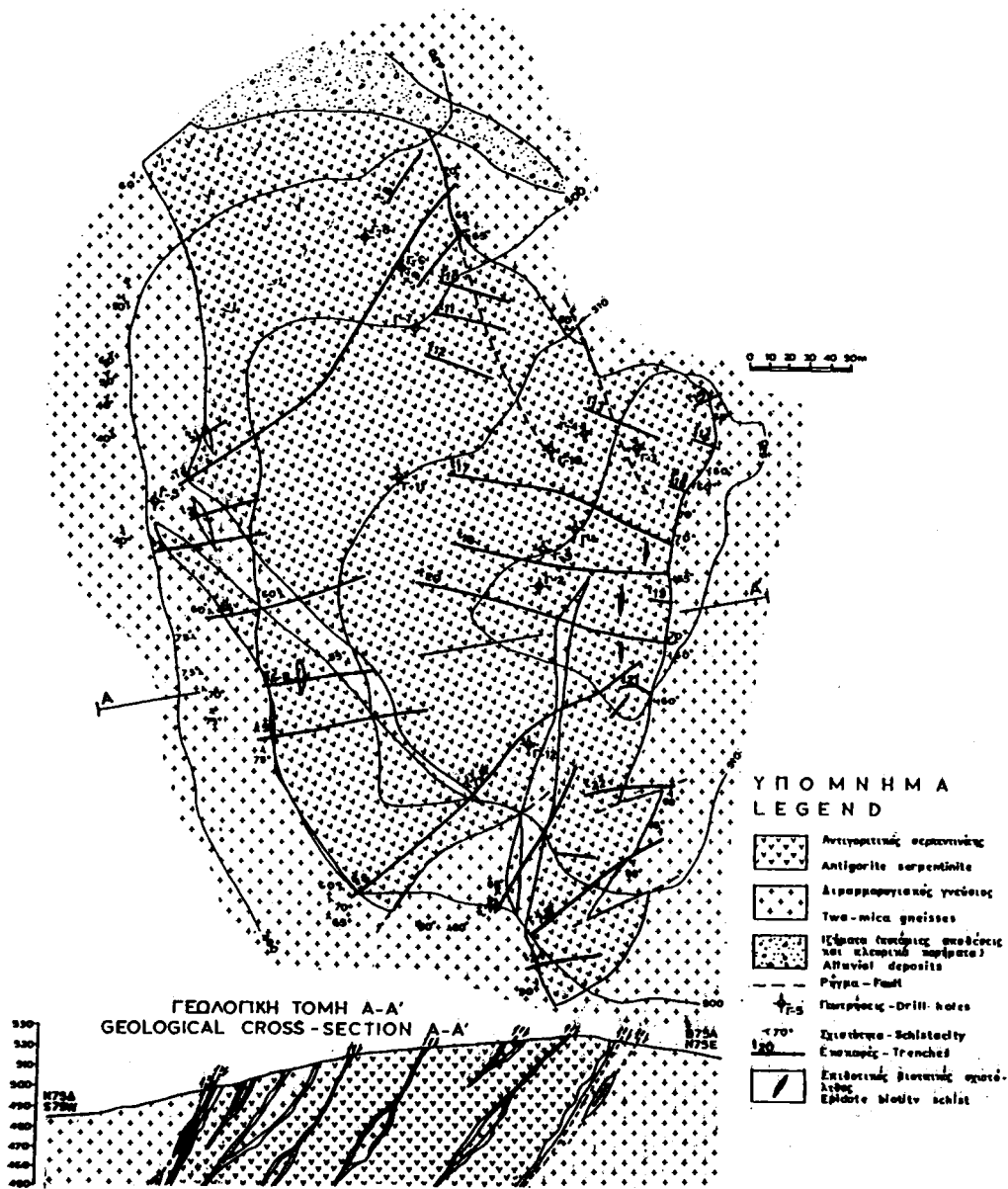
Ο τάلكης είναι μικρό έως αδροκρυσταλλικός (φυλλάρια μεγέθους μέχρι και 4 mm) και ο βαθμός κρυστάλλωσής του διαφέρει από δείγμα σε δείγμα. Παρατηρούνται έτσι υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι τάلكη με τέλειο σχισμό και "μάζα" τάلكη στην οποία δεν φαίνονται τα όρια των κρυστάλλων που την αποτελούν. Η περιεκτικότητα του πλέγματος του τάلكη σε FeO κυμαίνεται από 1,17 μέχρι 1,70% κ.β. με τις περισσότερες τιμές κοντά στο 1,50%. Στον Πίν. 2 παρατίθενται αντιπροσωπευτικές μικρο αναλύσεις τάلكη.

Ο χλωρίτης είναι ένα πλούσιο σε Ni και Cr κλινόχλωρο (Πίν. 2). Σχηματίζει είτε διασπαρτους μονοκρυστάλλους που συμφύονται με τάلكη είτε συσσωματώματα φακοειδούς μορφής.

Πλα σχεδόν τα δείγματα "τάلكη" που μελετήθηκαν χαρακτηρίζονται από την παρουσία διασπαρμένων αδιαφανών κόκκων μεγέθους μέχρι και 3mm. Παρατηρούνται επίσης σε πολλά δείγματα συγκεντρώσεις αδιαφανών γωνι ωδών κόκκων μεγέθους 0,1-0,5 cm και στις 2 περιπτώσεις τα αδιαφανή είναι Cr-μαγνητίτες (Πίν. 2) με μεγάλο εύρος διακύμανσης της περιεκτικότητας τους σε χρώμιο. Πρόκειται για πρώην κρυστάλλους χρωμίτη. Εκτός του χρωμιούχου μαγνητίτη παρατηρούνται, με πολύ όμως μικρό ποσοστό συμμετοχής (μικρότερο του 0,5% κ.ο.), ινώδη συσσωματώματα λεπτομερών Fe-οξειδίων, αποτέλεσμα σερπεντινίωσης ολιβίνη ή και ταλκοποίησης σερπεντίτη. Χρωμίτης και ιλμενίτης εντοπίστηκαν σε μερικά μόνο δείγματα (Πίν. 2).

Ακανόνιστου σχήματος και μικρού μεγέθους (π.χ. <1mm) τεμάχια σερπεντινίτη απαντούν στα περισσότερα από τα μελετηθέντα δείγματα. Πρόκειται για υπολειμματικό αντιγοριτικό σερπεντινίτη που παρουσιάζει έντονα φαινόμενα αντικατάστασης από τάلكη και έχει τα ίδια ορυκτολογικά-ορυκτοχημικά χαρακτηριστικά με τα μεγάλα σερπεντινιτικά σώματα της περιοχής.

Η σχιστότητα του "τάلكη" στα περισσότερα δείγματα οφείλεται στον έντονο προσανατολισμό των φυλλαρίων του τάلكη και των φυλλαρίων χλωρίτη που συμφύονται με αυτά. Στα υπόλοιπα δείγματα η σχιστότητα οφείλεται σε λεπτές ζώνες μέσα στις οποίες τα φυλλάρια του τάلكη είναι προσανατολισμένα ενώ το υπόλοιπο μέρος του δείγματος αποτελείται από ελαφρώς προσανατολισμένα έως άτακτα διατεταγμένα φυλλάρια τάلكη.



Εχ. 3: Γεωλογικός χάρτης μεταλλοφόρου σερπεντινικού σώματος Τ6 στην περιοχή Ασκού Ν. Θεσσαλονίκης (Σμίκρυνση από αρχικό χάρτη σε Κλίμακα 1:1000) από Σ. Νταμπίτζια - Χ. Κουγκούλη.

Fig. 3: Geological map of the T6 mineralized serpentinite body Askos area, Thessaloniki county, Greece. (Initial mapping at 1:1000 Scale) from S. Dabitzias and C. Kougoulis

### Τάλκης Τ2

Η παρουσία φωλεών λειμωνίτη, που σε βαθύτερους ορίζοντες εξελίσσονται

Πίν. 1: Αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις "Τάλκη" T1 επιφανειακών δειγμάτων Χαράγης (1-6) και πυρήνων γεωτρήσεων (7-12).

Tab. 1: Representative chemical analyses of THE1 type "talc" in suriace sample (No 1-6) and in drill - corese (7-12).

Αρ. Δειγμ. Οξείδια	T6-A5X 1	T6-A7X 2	T6-A9X 3	T6-A10X 4	T6-A15X 5	T6-A28X 6	TA 3-1 7	TA 10-2 8	TA 12-2 9	TA 1-5 10	TA 2-14 11	TA 2-18 12
SiO <sub>2</sub>	57,12	56,26	56,05	56,69	57,33	57,76	54,00	55,00	57,00	52,00	52,50	56,00
TiO <sub>2</sub>							0,13	0,06	0,14	0,09	0,16	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,70	1,51	1,51	1,51	1,13	1,13	1,78	3,60	0,55	3,60	0,77	0,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,09	5,81	6,06	6,38	6,72	6,05	8,61	2,60	6,90	5,10	9,30	5,84
MnO	0,04	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06			0,05	0,66	0,03
MgO	26,94	28,39	27,93	27,56	27,56	27,15	27,60	31,50	29,30	29,90	28,40	29,10
CaO	0,33	0,21	0,19	0,36	0,14	0,16	0,62	0,35	0,30	0,66	0,20	0,58
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03
K <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02	0,3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	0,32	0,19	0,39	0,26	0,37	0,60			0,28	0,44	0,22
NiO	0,13	0,22	0,25	0,17	0,23	0,18	0,28			0,25	0,27	0,30
Υγρ.	0,22	0,27	0,43	0,52	0,26	0,50	0,06	0,04	0,05	0,03	0,12	0,12
A.Π.	6,09	5,98	6,01	5,87	5,60	5,83	5,00	6,50	4,70	6,20	5,00	4,80
Σύνολο	99,07	98,95	98,76	99,55	99,33	99,24	98,82	99,71	98,99	98,22	97,88	97,93

βαθμιαία σε φωλιές ανθρακικών, το μικρότερο ποσοστό συμμετοχής του χλωρίτη και η έλλειψη σχιστότητας είναι οι διαφορές μεταξύ T1 και T2 "τάλκη".

Οι φωλιές λειμωνίτη διαμέτρου μέχρι και 1cm σχηματίζουν πολλές φορές συμπλέγματα με διάμετρο μέχρι 3cm. Κυψελοειδής ιστός, σκούρο καφέ χρώμα και λίγος τάλκης χαρακτηρίζουν το λειμωνιτικό υλικό που πληρεί τις φωλιές αυτές. Όπως προέκυψε από τις γεωτρητικές εργασίες, οι φωλιές αυτές σε βαθύτερους ορίζοντες όπου δεν εκκυκλοφόρησαν επιφανειακά διαλύματα, εξελίσσονται βαθμιαία σε φωλιές ανθρακικών. Φαινόμενα βαθμιαίας μετάβασης,

Πίν. 2: Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις στον "Τάλκη" T1.

Table 2: Representative microanalyses of T1 "Talc" minerals

Αρ. Δειγμ. Οξείδια	1	2	3	N.O. 36 Αναλύσεων			4	5	6	N.O. 36 Αναλύσεων			7	8	9	10	11	12	13	14	
SiO <sub>2</sub>	63.81	63.14	61.79	62.48	59.28	61.05	61.08	61.17	33.32	33.10		0.24	0.34					37.61	37.72		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									12.18	11.65			2.73					10.75	10.25		
HgO	30.01	29.94	30.44	30.17	30.88	30.42	29.22	30.74	34.41	34.50		0.30	0.44				2.23	27.91	28.02		
CaO				0.02		0.11		0.04										0.27	0.16	0.15	0.20
FeO	0.96	1.36	2.02	1.43	1.43	1.17	1.70	1.43	5.26	4.97	88.93	83.93	35.14	43.11	5.55	6.64					
Na <sub>2</sub> O	0.54	0.69	0.50	0.42	0.24			0.13	0.97									0.27	0.13		
K <sub>2</sub> O				0.02	0.13			0.03										0.02	0.51	1.16	
TiO <sub>2</sub>		0.15	0.41	0.04	0.12			0.02				0.13						51.35	0.17	0.35	
MnO	0.12		0.22	0.03			0.29		0.23				0.71	2.47				2.26	0.22	0.22	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				0.03					2.15	1.93	3.09	7.99	55.78								
NiO	0.26			0.21					0.25	0.49	0.64										
Σύνολο	95.70	95.28	95.38	94.85	92.08	92.75	92.29	93.56	88.77	86.64	92.79	93.17	97.17	99.11	83.14	84.69					

1-3 Τάλκης σε επιφανειακά δείγματα, 4-6 Τάλκης σε πυρήνες γεωτρήσεων, 7-8 Χλωρίτης, 9-10 Χρωμιούχος μαγνησίτης, 11 Χρωμίτης, 12 Ιλμενίτης, 13-14 Βερμικουλίτης

No 1-3 Talc in surface samples, 4-6 Talc in drill-cores, 7-8 Chlorite, 9-10 Cr-rich magnetite, 11 Chromite, 12 Ilmenite, 13-14 Vermiculite

όπως σχηματισμός λειμωνίτη στα περιθώρια των συγκεντρώσεων των ανθρακικών ή σε διακλάσεις ή ακόμη οξείδωση του Fe στα επίπεδα σχισμού του ανθρακικού,

**Πίν. 3:** Χημικές αναλύσεις T2 τύπου "τάλκη" και μικροαναλύσεις τάλκη και μαγνησίτη.

**Table 3:** Chemical analyses of T2 type "talc" and microprobe analyses of talc and magnesite.

Αρ. Δειγμ. Οξειδία	T4-2 1	TA 7-8 2	TA 12-5 3	TA 6-8 4	TA 6-6 5	TA 6	TA 7	TA 6-8 8	TA 6-8 9
SiO <sub>2</sub>	50,70	43,00	35,50	43,00	43,50	62,05	62,18	0,15	0,17
TiO <sub>2</sub>		0,05	0,20	0,01	0,01	0,11			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,35	0,70	1,80	0,60	1,97				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,25	8,40	9,30	6,10	6,40	*1,29	*1,73	*4,97	*6,54
MnO								0,61	
MgO	25,80	30,80	32,70	32,60	28,50	32,46	32,06	44,31	44,53
CaO	0,50	0,30	1,50	0,28	6,33			0,15	0,13
Na <sub>2</sub> O		0,04	0,05	0,03	0,04	0,33	0,18		0,16
K <sub>2</sub> O		0,01	0,01	0,01	0,01				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
NiO									
Υγρ.		0,05	0,06	0,12	0,10				
A.Π.	5,60	14,20	17,80	16,00	10,90				
Σύνολο	97,20	97,55	98,92	98,75	99,76	96,24	96,15	50,19	51,53

1. Τάλκης με φωλιές λειμωνίτη, 2-5 "Τάλκης" με διάφορες αναλογίες μαγνησίτη - δολομίτη, 6-7 Μικροαναλύσεις τάλκη, 8-9 Μικροαναλύσεις μαγνησίτη, \* Ολικός Fe σαν FeO

No. 1 "Talc" with limonite nests, 2-5 "Talc" with varying amounts of magnesite - dolomite, 6-7 Microprobe analyses of talc mineral, 8-9 Microprobe analyses of magnesite, \* Total Fe as FeO

παρατηρούνται σε πολλά δείγματα πυρήνων. Χημικές αναλύσεις και μικροαναλύσεις στον τύπο αυτό του τάλκη δίνονται στον Πιν. 3.

Τα ανθρακικά, μαγνησίτης και σπάνια δολομίτης ανέρχονται μέχρι και σε 40% κατ' όγκο στα διάφορα δείγματα που μελετήθηκαν. Οι αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι των ανθρακικών έχουν μέγεθος μέχρι και 1cm και παρουσιάζουν φαινόμενα αντικατάστασης τους, κυρίως στην περιφέρεια, από τάλκη. Μικροαναλύσεις (βλ. Πιν. 3) έδωσαν υψηλή περιεκτικότητα Fe στο πλέγμα του μαγνησίτη, πράγμα που εξηγεί τον σχηματισμό λειμωνιτικού υλικού στη θέση του μαγνησίτη όταν αυτός εξαλλοιώνεται από επιφανειακά δείγματα.

Τα παραπάνω και η παρουσία σε ορισμένες θέσεις (ζώνες;) σερπεντινίτη (μη ταλκοποιημένου) με ίδιας μορφολογίας και ορυκτολογικής - ορυκτοχημικής σύσταση φωλιές λειμωνίτη/ανθρακικών, υποδηλώνουν ότι ο T2 "τάλκης" είναι προϊόν αντικατάστασης αντιγο ριτικού σερπεντινίτη με ανθρακικά. Η μετασμάτωση του σερπεντινίτη σε τάλκη είναι σχεδόν καθολική ενώ αυτή των ανθρακικών σε σχετικά μικρό βαθμό. Τάλκης και χλωρίτης είναι τα προϊόντα αντικατάστασης του σερπεντινίτη ενώ τάλκης είναι το προϊόν αντικατάστασης του μαγνησίτη. Δοκιμές εμπλουτισμού (Κακλαμάνης και Χαλκιοπούλου, 1991) σε μαγνητικό διαχωριστή σε δείγματα τάλκη T1 και T2 από τους πυρήνες των γεωτρήσεων έδωσε τελικά προϊόντα με 3,3% και 2,75% FeO αντίστοιχα.

### Βερμικουλίτης

Το σύνολο του βερμικουλίτη απαντά είτε σε μακροσκοπικά μονοορυκτολογικές ζώνες, είτε σαν ανάμικτο υλικό μαζί με τρεμολίτη. Ενα παρά πολύ μικρό ποσοστό βερμικουλίτη (<0.1% κ.β.) είναι διεσπαρμένο σε άλλες ζώνες.

Λόγω της φύσης του "βερμικουλίτη" (εύθρυπτο, μαλακό υλικό ακατάλληλο για λεπτές τομές) για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την ορυκτολο-



γική του σύστασης, έγινε συσχετισμός χημικών και ακτινογραφικών αναλύσεων και χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την μικροσκοπική μελέτη συνεκτικών δειγμάτων, κατάλληλων για λεπτές τομές, "βερμικουλίτη", "υδροβιοσίτη".

Οι περισσότερες από τις χημικές αναλύσεις σε επιφανειακά δείγματα χαραγής "βερμικουλίτη" έδωσαν ασήμαντες σε  $K_2O$  περιεκτικότητες (Πιν.4) και ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα με τις αναφερόμενες στη βιβλιογραφία χημικές αναλύσεις βερμικουλιτών (Deer et al. 1976). Στα υπόλοιπα δείγματα του επιφανειακού "βερμικουλίτη" (βλ. Πιν.4 ) ή σε  $K_2O$  περιεκτικότητα ανέρχεται μέχρι 2.5% κ.β.

Λεπτομερής ακτινογραφική μελέτη (Νταμπίτζιας & Περδικάτσης, 1991) δείγματος "βερμικουλίτη" στο οποίο η σε  $K_2O$  περιεκτικότητα του πλέγματος του βερμικουλίτη κυμαινόταν από 0-2.88% κ.β. απέδειξε ότι πρόκειται για τυπικό βερμικουλίτη. Αντίστοιχες ακτινογραφικές μελέτες δειγμάτων "βερμικουλίτη", των οποίων χημικές αναλύσεις έδωσαν τιμές  $K_2O$  που κυμαινόταν από 3% έως 4.5% κ.β., έδειξαν παρουσία και υδροβιοσίτη. Μελετήθηκε επίσης δείγμα

Πιν. 4: Χημικές αναλύσεις "βερμικουλίτη"

Table 4: Chemical analyses of "vermiculite"

ΑΡ. ΔΕΙ ΟΒΕΙΔΙΑ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	35,89	40,56	35,55	39,31	39,80	35,92	37,50	40,00	34,00	38,00	38,64	39,37
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,79	0,60	0,16			0,76	0,31	5,40	1,40		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,88	12,18	12,56	11,28	16,75	10,68	10,70	9,10	13,40	14,40	14,94	12,08
FeO	0,38	0,41	0,45	0,60		0,82						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,82	10,52	8,10	6,83	*11,40	10,94	*12,50	*7,40	*13,40	*12,30	*9,29	*6,60
MnO	0,07	0,13	0,09	0,12								
MgO	24,84	16,31	19,73	20,37	16,70	22,00	19,50	24,70	16,40	19,20	22,68	23,37
CaO	0,09	0,63	0,83	2,44	2,60	0,44	1,15	0,70	3,50	1,90	1,23	1,46
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,04	0,04	0,06			0,04	0,05	0,09	0,01		
K <sub>2</sub> O	0,09	0,16	0,94	0,10	2,50		0,06	0,10	3,41	4,70	7,84	6,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,39	0,39	0,30									
NiO	0,38	0,08	0,08	0,15								
Cu	0,01		0,01									
Υγρ.	11,15	5,07	10,10	8,10	10,00	10,50	11,00	7,50	2,00	0,92		
A.Π.	10,06	10,53	9,33	10,49		9,34	6,60	9,70	7,35	6,80	5,29	11,38
ΣΥΝΟΛΟ	99,37	97,80	98,71	100,01	99,75	100,64	99,81	99,56	98,95	99,63	99,91	100,26

1-5 Επιφανειακός βερμικουλίτης, 6 Από Deer et al 1976, 7-10 Πυρήνες γεωτρήσεων, 11-12 Εμπορικός βερμικουλίτης από Μοντάνα και Παλάμπορα, \* Συνολικός Fe σαν Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

No 1-5 Surface vermiculite, 6 From Deer et al 1976, 7-10 Drill - cores, 11-12 Commercial vermiculite from Montana and Palabora, \* Total Fe reported as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

εμπορικού "βερμικουλίτη" Ν. Αφρικής. Η χημική ανάλυση του δείγματος αυτού έδωσε  $K_2O=6\%$  κ.β. ενώ μικροαναλύσεις στο ίδιο δείγμα έδωσαν  $K_2O$  στο πλέγμα του "βερμικουλίτη" (;) που κυμαινόταν από 3.97 έως 8.46 %. Το ακτινογράφημα του δείγματος αυτού (Περδικάτσης, προφ. επικοινωνία) έδωσε κορυφές μόνον υδροβιοσίτη (υδροφλογοπίτη) και βιοσίτη (φλογοπίτη).

Η μικροσκοπική μελέτη επιλεγμένων δειγμάτων (συνεκτικά δείγματα κατάλληλα για λεπτές τομές) "βερμικουλίτη" έδειξε ότι στις μακροσκοπικά μονοορυκτολογικές ζώνες "βερμικουλίτη", ο βερμικουλίτης ( $\pm$  υδροβιοσίτης) συμμετέχει σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95% κ.ο. Το υπόλοιπο είναι κυρίως απατί-

της σφήνα και επίδοτο ενώ συμμετέχει σε ίχνη και ζιρκόνιο. Μερικές από τις μικροαναλύσεις στα δείγματα αυτά έδωσαν αρκετά υψηλότερες τιμές  $K_2O$  (στο πλέγμα του βερμικουλίτη) από ότι χημικές αναλύσεις δειγμάτων χαραγής από τις αντίστοιχες ζώνες "βερμικουλίτη". Προφανώς η κυκλοφορία των υπεύθυνων για την "βερμικουλιτώση" διαλυμάτων (επιφανειακά διαλύματα) ήταν περιορισμένη σε σχέση με το υπόλοιπο εύθρυπτο, χαλαρό υλικό που πληρεί τις ζώνες. Εξ' άλλου φαινόμενα εξαλλοίωσης (αντικατάσταση) υδροβιοιτίτη  $\rightarrow$  βερμικουλίτη αφθονούν σ' όλα τα δείγματα που εξετάσθηκαν.

Το κυρίαρχο συμπέρασμα που προέκυψε από την γεωτρητική έρευνα στο σερπεντινιτικό σώμα T6 περιοχής Ασκού είναι ότι σε αντίθεση με τον τάλκη, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του "βερμικουλίτη" μεταβάλλονται (χειροτερεύουν) μετά του βάθους. Οι μεταβολές αυτές είναι μικρές για ένα βάθος 20-25 μέτρων αλλά ακόμη και μέχρι το ερευνηθέν βάθος των 60 μέτρων τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας (περιεκτικότητα σε  $K_2O$ - βλ. Πιν.4) φαίνεται ότι είναι πολύ καλύτερα του εμπορικού "βερμικουλίτη" που προαναφέρθηκε. Εδώ όμως θα πρέπει να αναφερθεί ότι δοκιμές διόγκωσης, που κατά ένα μεγάλο βαθμό θα κρίνουν τελικά τα ποιοτικά - εμπορικά χαρακτηριστικά του βερμικουλίτη, δεν έχουν ακόμη γίνει σε κατάλληλους φούρνους διόγκωσης. Προσπάθειες διόγκωσης του βερμικουλίτη Ασκού σε εργαστηριακό φούρνο περλίτη (Κακλαμάνης, 1989) έδωσαν αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Αν και οι συνθήκες διόγκωσης στον φούρνο περλίτη είναι διαφορετικές (κυρίως στην θερμοκρασία κατά τον χρόνο παραμονής στο φούρνο) από αυτές του φούρνου βερμικουλίτη, οι τιμές που πάρθηκαν (περίπου 8) δεν απέχουν από τον βαθμό διόγκωσης του "βερμικουλίτη" Ν. Αφρικής που κυμαίνεται από 8 έως 12 για τα διάφορα κοκκομετρικά του κλάσματα.

Το σε τάλκη (T1+T2) γεωλογικό αποθεματικό δυναμικό του σερπεντινιτικού σώματος T6 περιοχής Ασκού για ένα βάθος 60 μέτρων υπερβαίνει το 1 εκ. τόννους ενώ του βερμικουλίτη για ένα βάθος 20 μέτρων είναι περίπου 300.000 τόννοι.

## **ΣΥΖΗΤΗΣΗ - DISCUSSION**

Η παρουσία άφθονων κόκκων (M.O. > 2% κ.ο.) χρωμιούχου μαγνητίτη, σπάνια χρωμίτη, σε συνδυασμό με την απουσία ψευδόμορφων, σερπεντίνη κατά ορθοπυρόξενο συνηγορούν στην άποψη ότι ο αντιγορίτικος σερπεντινίτης περιοχής Ασκού είναι μεταμορφικό ισοδύναμο δουνίτη. Σύμφωνα δε με τους Ashley, (1975) και Bliss and Maclean, (1975) αντιγορίτης και μαγνητίτης φανερώνουν συνθήκες ανω πρσι νοσχιστολιθικής κάτω αμφιβολιτικής φάσης μεταμόρφωσης.

Τάλκης + μαγνησίτης και χαλαζίας + μαγνησίτης έχουν μεγάλα πεδία σταθερότητας στο σύστημα  $MgO-SiO_2-H_2O-CO_2$  ενώ αντίθετα αυτό του σερπεντινη είναι πολύ μικρό και περιορίζεται σε σχεδόν ελεύθερα από  $CO_2$  διαλύματα (Johannes, 1969). Η μετασωματική αντικατάσταση σερπεντίνη μόνον από μαγνησίτη, όπως παρατηρείται σε μερικές θέσεις (ζώνες;) στο υπό μελέτη σερπεντινιτικό σώμα, προφανώς προϋποθέτει ένα ανοιχτό σύστημα όπου το παραγόμενο  $SiO_2$  απομακρύνεται από τα προκα λούντα την μετασώματωση  $H_2O - CO_2$  διαλύματα.

Απομάκρυνση τεράστιων ποσοτήτων  $SiO_2$  που παράγονται από την αντικατάσταση σερπεντίνη από μαγνησίτη (ο σερπεντίνης περιέχει 40% κ.β.  $SiO_2$ ) είναι σχεδόν αδύνατη από διαλύματα πλούσια σε  $CO_2$  καθ'όσον η διαλυτότητα του  $SiO_2$  ελλατώνεται δραστικά όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε  $CO_2$  και μάλιστα σε τέτοιο βαθμό που τείνει να γίνει μηδενική όταν η σε  $CO_2$  περιεκτικότητα είναι της τάξης των μερικών mole%, (Shettel, 1973, Dabitzius, 1985/86). Μελέτη υγρών εγκλεισμάτων που θα πρέπει να απαντούν στον μαγνησίτη θα δώσει απάντηση σχετικά με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

των διαλυμάτων. Προς το παρόν όμως συμπεραίνουμε ότι η σε CO<sub>2</sub> περιεκτικότητα των διαλυμάτων πρέπει να ήταν πολύ μικρή (κοντά στο πεδίο σταθερότητας του σερπεντίνης).

Ο προτιμητέος προσανατολισμός κρυστάλλων σε μεταμορφωμένα πετρώματα όπως π.χ. η ανάπτυξη φυλλαρίων βιοτίτη παράλληλα προς το αξονικό επίπεδο πτυχής, αποδίδεται στην κρυστάλλωση του βιοτίτη κατά την διάρκεια του παραμορφωτικού γεγονότος που έδωσε την πτυχή (Spry, 1976). Ομοια η διεύθυνση ινώδους μορφής κρυστάλλων που πληρούν μια ρωγμή, δείχνει την διεύθυνση κίνησης των τοιχωμάτων της ρωγμής κατά την διάρκεια απόθεσης των κρυστάλλων αυτών (Dunney and Ramsay, 1972). Ετσι, ανεξάρτητα από το αν τα κρυσταλλούμενα ορυκτά αντικαθιστούν άλλα ορυκτά ή αποτίθενται από διαλύματα σε ρωγμές, ο προτιμητέος προσανατολισμός τους υποδηλώνει συντεκτονική ανάπτυξη.

Βασιζόμενοι στα βιβλιογραφικά αυτά δεδομένα και στην παρατήρηση ότι τα φυλλάρια του βερμικουλίτη και του αδροκρυσταλλικού τάλκη αναπτύσσονται παράλληλα προς τις ζώνες τις οποίες πληρούν, οι Κουγκούλης κ.ά., (1989) συμπεραίνουν ότι η μεταλλοφορία σχηματίσθηκε ταυτόχρονα με τη δημιουργία των ρηξιγενών δομών (ζώνες σύνθλιψης, τεκτονικά εγκλείσματα) που χαρακτηρίζουν το σερπεντινιτικό σώμα T6 περιοχής Ασκού. Παίρνοντας δε υπ'όψη ότι οι ζώνες μεταλλοφορίας, τα επίπεδα σχιστοποίησης του σερπεντινίτη και η σχιστότητα του γνεύσιου ακολουθούν όλα την γενική διεύθυνση του σχηματισμού Βερτίσκου, αποδόθηκε η μεταλλοφορία στο τελευταίο, κυρίαρχο, μεταμορφικό - παραμορφωτικό επεισόδιο που επέδρασε στα πετρώματα του σχηματισμού Βερτίσκου. Η άποψη αυτή ενισχύθηκε από πρόσφατα ισοτοπικά δεδομένα (Zelyaskova-Panayiotova et al., 1992). Ισοτοπικές αναλύσεις K/Ar σε δείγματα βιοτίτη από τους πυρήνες των γεωτρήσεων στην περιοχή Ασκού έδωσαν ηλικία 104-105 εκ. χρόνια. Μια ηλικία που συμπίπτει με την ισοτοπική ηλικία διαφόρων πετρολογικών τύπων του κεντρικού τμήματος του σχηματισμού Βερτίσκου (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, σχιστόλιθοι - Harre et al., 1968, Papadopoulos and Killias, 1985 κ.ά.).

Ο Fe στον ολιβίνη έχει επιρροή στο πόσο SiO<sub>2</sub> θα παραχθεί κατά την σερπεντινίωση, καθώς και άλλοι παράμετροι (βλ. Caruso & Chernosky 1979, Moody 1976, Filippidis 1982, 1985). Αντικατάσταση σερπεντίνη από τάλκη όπως παρατηρείται στον T1 τύπο τάλκη ή σερπεντίνη και μαγνησίτη από τάλκη όπως στον T2 τύπο τάλκη απαιτεί προσθήκη SiO<sub>2</sub>. Οι δύο μαζί αυτές αντιδράσεις :

1). Σερπεντίνης + 2SiO<sub>2</sub> → Τάλκης + H<sub>2</sub>O και 2) 3 Μαγνησίτης + 4SiO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → Τάλκης + 3CO<sub>2</sub> καθορίζουν στο σύστημα MgO - SiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> σύμφωνα με τον Johannes (1969), θερμοκρασίες 310, 320 και 340°C περίπου σε πιέσεις 1,2 και 4 kb αντίστοιχα σε σχεδόν ελεύθερα από CO<sub>2</sub> διαλύματα (Mole% CO<sub>2</sub> < 0,02).

Το σύστημα όμως που έδωσε την μεταλλοφορία τάλκη, τρεμολίτη, βιοτίτη, χλωρίτη περιλαμβάνει τουλάχιστον 3 ακόμη συστατικά (K<sub>2</sub>O, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Αντίστοιχα διαγράμματα για το πολύπλοκο αυτό σύστημα δεν υπάρχουν. Επιπλέον, προσθήκη τεράστιων ποσοτήτων SiO<sub>2</sub> για την αντι κατάσταση του σερπεντίνης και του μαγνησίτη από τάλκη, προϋποθέτει ένα ανοικτό σύστημα σε αντίθεση με το κλειστό σύστημα του Johannes (1969) που προαναφέρθηκε. Οι επιπτώσεις των 2 αυτών παραμέτρων στην πίεση και θερμοκρασία απόθεσης του τάλκη δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν. Δεν αναμένονται όμως πολύ διαφορετικές από τις προαναφερθείσες, συνθήκες απόθεσης τάλκη.

Τέλος τα υπεύθυνα για την μεταλλοφορία υδροθερμικά διαλύματα πρόσθεσαν στο σύστημα, εκτός από SiO<sub>2</sub>, και μεγάλες ποσότητες K<sub>2</sub>O, CaO και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> για την απόθεση βιοτίτη, τρεμολίτη και χλωρίτη αντίστοιχα.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - SUMMARY & CONCLUSIONS

Η τεκτονική και μεταμορφική ιστορία του σερπεντινιτικού σώματος T6 στην περιοχή Ασκού του Ν. Θεσ/νίκης όπως αυτή προκύπτει από την ερμηνεία των μέχρι τώρα δεδομένων έχει ως εξής :

1) Πλήρης σερπεντινίωση ενός δουνιτικού σώματος. Ανεξάρτητα από το αν η σερπεντινίωση συνοδεύτηκε ή όχι από μεταβολή του όγκου, μεγάλες ποσότητες διαλυμάτων πήραν μέρος είτε για την προσθήκη SiO<sub>2</sub> στο σύστημα (αύξηση του όγκου) είτε για την απομάκρυνση Mg<sup>++</sup> (σταθερός όγκος).

2) Μερική αντικατάσταση του σερπεντινίτη αποκλειστικά από ανθρακικά. Επειδή στον σερπεντινίτη και στις φωλιές των ανθρακικών η περιεκτικότητα Cr-μαγνητίτη δεν φαίνεται να αλλάζει, η αντικατάσταση σερπεντίνη από ανθρακικά δεν συνοδεύθηκε από μεταβολή όγκου. Το επεισόδιο αυτό της CO<sub>2</sub>-μετασμάτωσης απομάκρυνε όλο το SiO<sub>2</sub> που παράγεται από την μετατροπή του σερπεντίνη σε μαγνησίτη και εισήγαγε σημαντικές ποσότητες Mg<sup>++</sup>. Η συνεχής απομάκρυνση του παραγόμενου SiO<sub>2</sub> προϋποθέτει πολύ αραιά CO<sub>2</sub>-διαλύματα (η διαλυτότητα του SiO<sub>2</sub> σε νερό σε θερμοκρασία 300-400°C και πίεση μερικών kb είναι πολλαπλάσια των ανθρακικών).

3) Έντονη K, Al, Ca μετασμάτωση σε ρηξιγενείς ζώνες στο εσωτερικό του σερπεντινιτικού σώματος και στις επαφές του με τον περιβάλλοντα γνεύσιο κατά την διάρκεια του τελευταίου περιοχικού μεταμορφικού επεισοδίου (104-105 εκ. χρόνια). Απόθεση της μεταλλοφορίας.

4) "Βερμικουλίτιση" του βιοτίτη. Όπως αναφέρεται στο σύνολο σχεδόν της παγκόσμιας βιβλιογραφίας (πειραματικά και μη δεδομένα) για την προέλευση του βερμικουλίτη, έτσι και για την περιοχή Ασκού η γεωτρητική έρευνα έδειξε ότι η μετατροπή του βιοτίτη σε υδροβιοτίτη και στην συνέχεια σε βερμικουλίτη οφείλεται σε επιφανειακά διαλύματα. Η έλειψη όμως φαινομένων βερμικουλίτισης των λεπτών βιοτιτικών ζωνών στον διμαρμαρυγιακό γνεύσιο και στα υπόλοιπα φυλλάρια - συσσωμάτωμα μαρμαρυγιών του γνεύσιου, σε απόσταση μάλιστα μερικών μόνον εκατοστών από τις ζώνες μεταλλοφορίας, πιθανόν δείχνει ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την "βερμικουλίτιση" του βιοτίτη είναι ένα πλούσιο σε Mg "μικροπεριβάλλον" και άρα η αντικατάσταση του ενδοστρωματικού K του βιοτίτη πιθανόν να απαιτεί ενυδατωμένα κατιόντα Mg και όχι μόνο H<sub>2</sub>O. Στην περίπτωση όμως που από την μελέτη ενός σημαντικού αριθμού δειγμάτων προκύψει ότι ο βιοτίτης των ζωνών βερμικουλίτη έχει σημαντικές διαφορές στον χημισμό του από τον βιοτίτη του γνευσίου (π.χ. είναι πολύ πιο πλούσιος σε Mg), τότε η "βερμικουλίτιση" θα μπορούσε να αποδοθεί σε "προδιάθεση" των βιοτιτών αυτών να ανταλλάσουν το ενδοστρωματικό τους K με H<sub>2</sub>O.

Δεχόμενοι την άποψη των Κουγκούλη κ.ά., 1989 για την προέλευση του σχηματισμού Βερτίσκου (βλ. κεφ. Γενική Γεωλογία), ο αντιγορτιτικός σερπεντινίτης σχηματίστηκε κατά την διάρκεια της απόξεσης από τον ωκεάνειο φλοιό ενός δουνιτικού σώματος σε περιβάλλον ενεργού περιθώριου και της ενσφύνωσής του στα συνεχώς αυξανόμενα σε όγκο κλαστικά και μή ιζήματα. Κατά τα πρώτα στάδια της τεκτονικής τοποθέτησης του σερπεντινιτικού σώματος στην παρούσα του θέση, έγινε η αντικατάσταση σε ορισμένες θέσεις (ζώνες), του σερπεντινίτη από φωλιές μαγνησίτη (φτωχά σε CO<sub>2</sub>-διαλύματα) και τέλος η μεταλλοφορία τάλκη-βιοτίτη κλπ αποτέθηκε κατά την διάρκεια των τελευταίων σταδίων του κυρίαρχου περιοχικού μεταμορφικού - παραμορφωτικού επεισοδίου στην περιοχή (100-110 εκ. χρόνια). Η διεύθυνση των συνρογενετικών, τύπου Αρναίας, γρανιτών δεν φαίνεται να έχει καμιά σχέση με την μεταλλοφορία επειδή δεν φαίνεται να υπάρχει χωρική συσχέτιση μεταξύ των δύο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASHLEY, P.M. (1975) : Opaque mineral assemblage formed during serpentinization in the Coolac ultramafic belt, New South Wales. *J. Geol. Soc. Aus.*, 22, pp.91-102.
- BLISS, N. W. and MACLEAN, W.H. (1975) : The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba. *Geochim. Cosmoch. Acta*, 39, pp.973-990.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (1992) : World mineral statistics 1986-1990, vol. II, 1992, p. 121.
- CARUSO, L.J. and J.V., JR. (1979) : The stability of Lizardite. *Can. Mineral.* 17, 757-769.
- DABITZIAS, S.G. (1980) : Petrology and genesis of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits, Chalkidiki peninsula, northern Greece. *Econ. Geol.* v. 75, p. 1138-1151.
- DABITZIAS, S.G., (1985) : Reaction of forsterite with  $H_2O-CO_2-0,5 M NaCl$  mixtures and the composition of the fluid phase at  $250^{\circ}$  and  $310^{\circ}C$  and 1 kb pressure. Implications for the origin of Greek magnesite. *An. Geol. Des pays Hell.*, series 1, vol. 33/1, p.199- 219.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. and ZUSSMAN, J. (1976) : Rock-forming minerals, vol. 3 "sheet silicates", Longman, London, 270 p.
- FILIPPIDIS, A. (1982) : Experimental study of the serpentinisation of Mg-Fe-Ni olivine in the presence of sulfur. *Canadian Mineralogist*, Vol. 20, 567-574.
- FILIPPIDIS, A. (1985) : Formation of Avaruite in the system Ni - Fe - Mg - Si - O - H - S and olivine hydration with NaOH solution. An Experimental study. *Econ, Geol.* Vol. 80, No 7, pp. 1974 - 1980
- FILIPPIDIS, A. (1991) : Further comments on the opaque mineral assemblages in ultramafic rocks - an experimental study. *ofioliti*, 1991, 16(1), p.p. 1-6.
- DURNEY, D. W. and RAMSAY, J. G. (1972) : Incremental strains measured by syntectonic crystal growths. In *Gravity and Tectonics*. (Ed.) K. A. De Jong and R. Sholten. 502 p.
- HARBEN, W. and BATES, R.L. (1984) : Vermiculite. In P.W. Harben and R.L. Bates (ed) "Geology of the Nonmetallics", 282-284, New York.
- HARBEN, W., KOCKEL, F., KREUZER, H., LENZ, H., MULLER, P. and WALTER, W.N. (1968) : Uber Rejuvenationen im Serbo-Mazedonischen Massiv (Deutung radiometrischer Altersbestimmungen). 23 Intern. Geol. Gongr., 6 : 223-236 Prag.
- JOHANNES, W., (1969) : An experimental investigation of the system  $MgO-SiO_2-H_2O-CO_2$  : *Am. Jour. Sci.*, v.267, p. 1083-1104.
- ΚΑΚΛΑΜΑΝΗΣ, Ν. (1989) : Ο βερμικουλίτης Ασκού Θεσ/νίκης και η συμβολή του στην αξιοποίηση του τάλκη της περιοχής. Εκθεση στο ΙΓΜΕ, σελ. 6.
- ΚΑΚΛΑΜΑΝΗΣ, Ν. και ΧΑΛΚΙΟΠΟΥΛΟΥ, Φ. (1991) : Μελέτη δειγμάτων γεωτρήσεων τάλκη περιοχής Ασκού Θεσ/νίκης. Εκθεση στο ΙΓΜΕ, σελ. 12.
- KOCKEL, F., MOLLAT, H. und WALTHER, H.W. (1977) : Erlauterungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord-Griechenland). Hannover, Bundesanstalt fur Geowissenschaften und Rohstoffe.
- ΚΟΥΓΚΟΥΛΗΣ, Χ., ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ, Σ. και ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Χ. (1989) : Γεωλογική μελέτη (προέλευση) των μεμονομένων σερπεντινιτικών μαζών της Σερβομακεδονικής μάζας και η κοιτασματολογική τους σημασία. Εκθεση στο ΙΓΜΕ-Δεύτερο μέρος, σελ. 66-108.
- UZVART, M. (1984) : *Industrial Minerals and Rocks*. Elsevier Publ.

- MOODY, J.B. (1976) : An experimental study on the serpentinisation of iron-bearing. *Can. Mineral.* 14, 462-478.
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ, Σ. και ΚΟΥΓΚΟΥΛΗΣ, Χ. (1990) : Γεωλογία του κοιτάσματος τάλκη και βερμικουλίτη στο σερπεντινιτικό σώμα Τ6 περιοχής Ασκού Ν. Θεσ/νίκης - Δεύτερο (τακτικό) στάδιο έρευνας - Εκθεση στο ΙΓΜΕ, σελ. 29.
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ, Σ. και ΚΟΥΓΚΟΥΛΗΣ, Χ. (1992) : Το κοιτάσμα τάλκη- βερμικουλίτη περιοχής Ασκού Ν. Θεσ/νίκης. Εκθεση στο ΙΓΜΕ, σελ. 29.
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ, Σ. και ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ, Β. (1991) : Εμφανίσεις βερμικουλίτη με οικονομικό ενδιαφέρον στην περιοχή Ασκού, Ν. Θεσ/νίκης. *Bull. Geol. Soc. Greece*, vol. XXV/2, 355-367. Πρακτικά 5ου Επιστημ. Συνεδρίου. Θεσσαλονίκη, Μάιος 1990.
- PAPADOPOULOS, C. and KILLIAS, A. (1985) : Altersbeziehungen zwischen Metamorphose und Deformation im zentralen Teil des Serbomazedonischen Massivs (Vertiskos Gebirge, Nord-Griechenland). *Geol. Rund.* 74,1, Stuttgart.
- SHETTEL, D.L., JR., (1973) : Solubility of quartz in H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluids at 5 kb and 500°C. *Am. Geophys. Union Trans.*, v.54, p.480.
- SPRY, A., (1976) : *Metamorphic Textures*. Pergamon Press Ltd, 352 p.
- ZHEL'YASKOVA-PANAYOTOVA, M., et al. (1992) : Vermiculite deposits in Balkan peninsula 6th Congress of the Geol. Soc. of Greece, Athens 1992.