

Επιστημονική Επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τιμητική έκδοση στη μνήμη του ομότιμου καθηγητή Κ. Σολδάτου	Ειδικός τόμος 101	79-85	Θεσσαλονίκη 2012
--	----------------------	-------	---------------------

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ (HP/LT?) ΤΡΙΤΟΓΕΝΟΥΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΣΤΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ: ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΒΑ ΑΚΡΟ ΤΩΝ ΠΙΕΡΙΩΝ

Μπόσκος Ε.

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου 157 80, Αθήνα, mposkos@metal.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο ΒΑ άκρο των Πιερίων η τριτογενούς ηλικίας μεταμόρφωση HP/LT αποτυπώνεται σε αλβιτικούς-επιδοτικούς αμφιβολίτες της Πελαγονικής ζώνης, με την αντικατάσταση κροσσίλης από κροσσίτη και το σχηματισμό στιλπνομέλανα. Από τη χημική σύσταση του κροσσίτη εκτιμήθηκαν ελάχιστες συνθήκες PT \approx 6 kbar και 300°C. Στην τεκτονικά υπερκείμενη ζώνη Αλμωπίας, η τριτογενούς ηλικίας μεταμόρφωση αποτυπώνεται σε κροκαλοαυτοπαγές πέτρωμα, άνω- κρητιδικής ηλικίας, με το σχηματισμό μαγνησιοριβεκίτη, στιλπνομέλανα, φεγγίτη και χλωρίτη σε κροκάλες/λατύπες μεταβασίτη, πυριτιωμένου και ασβεστιτωμένου σερπεντινίτη και με το σχηματισμό μαγνητίτη, χλωρίτη, ριβεκίτη/μαγνησιοριβεκίτη και στιλπνομέλανα σε Fe-Ni-ούχο λατερίτη. Πιέσεις μεταξύ 4-1,8 kbar και θερμοκρασίες μεταξύ 237-273°C προσδιορίστηκαν με εφαρμογή της μεθόδου πολλαπλών ισορροπιών σε ζεύγη φεγγίτη-χλωρίτη από λατύπη μεταβασίτη. Οι συνθήκες αυτές δείχνουν ότι η παρουσία μπλε αμφιβόλου σε μεταμορφωμένο πέτρωμα δεν τεκμηριώνει, πάντοτε, συνθήκες μεταμόρφωσης κυανοσχιστολιθικής φάσης.

ABSTRACT

TERTIARY (HP/LT?) METAMORPHISM IN EAST PELAGONIAN AND WEST ALMOPIA ZONES: PETROLOGICAL EVIDENCES FROM THE NE EDGE OF THE PIERIA MOUNTAIN

Mposkos E.

Division of Geological Sciences, School of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens, Zografou, 157 80, Athens, mposkos@metal.ntua.gr

In the NE edge of the Pieria Mountain, the Tertiary HP/LT metamorphism in the Pelagonian zone is indicated by the replacement of hornblende by crossite and the formation of stilpnomelane in albite-epidote amphibolites. Minimum PT conditions of \sim 6 kbar and 300°C are constrained from the crossite composition. In the tectonically overlying Almoopia zone the Tertiary metamorphism is documented on a late Cretaceous meta-conglomerate by the formation of magnesioriebeckite, phengite, chlorite and stilpnomelane in gravels of diabase and silicified and calcified serpentinite protoliths and by the formation of magnetite, chlorite, riebeckite/magnesioriebeckite and stilpnomelane in metamorphosed Fe-Ni-laterite. Pressures of 4-1.8 kbar and temperatures of 237-273°C were estimated applying the multi-equilibrium method on phengite-chlorite pairs from a metabasite gravel. These PT conditions indicate that the presence of blue amphibole in a metamorphic rock is not always evidence of blueschist-facies metamorphic conditions.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων/χαμηλών θερμοκρασιών (HP/LT), κυανοσχιστολιθικής φάσης, χαρακτηρίζει γεωτεκτονικά περιβάλλοντα ζωνών υποβύθισης. Αποτυπώνεται με χαρακτηριστικές ορυκτολογικές παραγενέσεις σε λιθολογίες ωκεάνιου ή/και ηπειρωτικού φλοιού, όταν την υποβυθιζόμενη ωκεάνια πλάκα συνοδεύει και ηπειρωτικός φλοιός. Στην ύπαιθρο, όπως και στο οπτικό μικροσκόπιο αναγνωρίζεται, συνήθως, με την παρουσία μπλε αμφιβόλων.

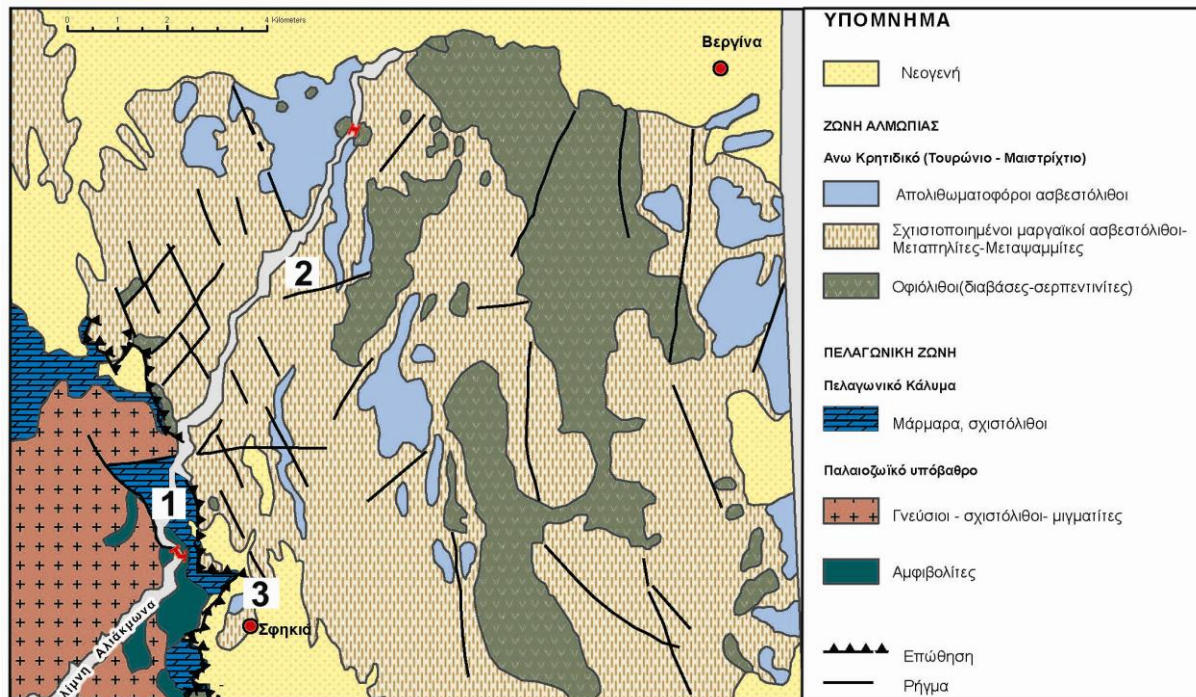
Στο ανατολικό τμήμα της Πελαγονικής ζώνης με τη στενή έννοια (Πελαγονικό κάλυμμα κατά τους Κίλιας & Μουντράκης 1989) μεταμόρφωση κυανοσχιστολιθικής φάσης, ηκαινικής ηλικίας, αποτυπώνεται κυρίως με την παρουσία μπλε αμφιβόλων σε μεταβασίτες, στις περιοχές των Πιερίων, Ολύμπου, Μαυροβουνίου και

Πηλίου (Mposkos 1987, Schermer et al. 1990, Schermer 1993, Περράκη 2003). Στο ΒΑ άκρο των Πιερίων και στο νότιο Βέρμιο μπλε αμφιβόλοι διαπιστώθηκαν μικροσκοπικά σε αμφιβολίτες και γνεύσιους της Πελαγονικής ζώνης από τους Κίλιας & Μουντράκης (1985) και Mposkos & Perraki (2001). Στην τεκτονικά υπερκείμενη ζώνη Αλμωπίας μπλε αμφιβόλοι εμφανίζονται σε μεταβασίτες (Mercier 1968) και στους μεταμορφωμένους Fe-Ni-ούχους λατερίτες (Mposkos 1989, 1981, Μιχαηλίδης 1982, Papadakis et al. 1987).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται πετρολογικά δεδομένα από λιθολογίες της Πελαγονικής ζώνης και της τεκτονικά υπερκείμενης ζώνης Αλμωπίας, από το ΒΑ άκρο των Πιερίων, στις οποίες αποτυπώνεται το μεταμορφικό επεισόδιο τριτογενούς ηλικίας με την πα-

ρουσία μπλε αμφιβόλων σε μεταβασίτες, σε πυριτιωμένους και ασβεστιτωμένους σερπεντινίτες και σε Fe-Ni-ούχους λατερίτες. Παρουσιάζονται πετρογραφικά και ορυκτοχημικά στοιχεία από αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη της Πελαγονικής ζώνης στην περιοχή Σφυκιάς και από μεταμορφωμένο κροκαλοπαγές και Fe-Ni-ούχο λατερίτη της ζώνης Αλμωπίας, από την περιοχή Ασωμάτων και Σφυκιάς αντίστοιχα (Σχ.1). Παράλληλα, σχολιάζεται κατά πόσο η παρουσία μπλε αμφιβόλων σε μεταμορφωμένα πετρώματα αποτελεί από μόνη της δείκτη μεταμόρφωσης HP/LT.

Στη ζώνη Αλμωπίας, τον κατώτερο σχηματισμό αποτελούν οι οφιόλιθοι και συνοδά ιζήματα, που επωθήθηκαν στην Πελαγονική ζώνη στο Κατώτερο Κρητιδικό (Mercier 1968). Fe-Ni-ούχοι λατερίτες παρεμβάλλονται, κατά θέσεις, μεταξύ σερπεντινιτών και ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων (Mercier 1968, Mroskos 1980, 1981, Μιχαηλίδης 1982). Τα ιζήματα που σχηματίστηκαν μετά την άνω κρητιδική επίκλυση, περιλαμβάνουν κροκαλοπαγή βάση, ψαμμίτες και απολιθωματοφόρους ασβεστόλιθους, οι οποίοι εξελίσσονται σε φλυσχοειδή σχηματισμό Ανωτέρου Μαιστριχτίου-Παλαιο-



Σχήμα 1. Απολιθωμένοι γεωλογικός χάρτης του ΒΑ άκρου των Περίων. (Από φύλλο Ι.Γ.Μ.Ε Κολυμδρός 1:50000, διασκευή από Χατζηπαναγή Ι., γεωλόγο Ι.Γ.Μ.Ε). 1,2,3= θέσεις των πετρωμάτων της παρούσης εργασίας

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Πελαγονική ζώνη (Πελαγονικό κάλυμμα κατά Κίλια & Μουντράκη 1988), παρουσιάζει σύνθετη τεκτονομεταμορφική εξέλιξη, με μεταμορφικά επεισόδια προαλπικής και αλπικής ηλικίας. Περιλαμβάνει προαλπικά μεταμορφωμένα και μαγματικά πετρώματα, μεταμορφωμένα κλαστικά και ηφαιστειακά πετρώματα με πρωτόλιθους περμοτριάδικής ηλικίας, ανθρακικά πετρώματα τριαδικοϊουρασιακής ηλικίας, οφιόλιθους που επωθήθηκαν κατά το Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό, επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους κρητιδικής ηλικίας και φλύσχη ηλικίας Παλαιοκαίνου. Πετρολογική έρευνα κατέγραψε δύο μεταμορφικά επεισόδια αλπικής ηλικίας. Το πρώτο, αλβιτικής-επιδοτικής-αμφιβολιτικής φάσης (10-11 kbar/500-550°C), έλαβε χώρα στο Κατώτερο Κρητιδικό και συνδέεται με την επώθηση των οφιολίθων από τη ζώνη Αξιού στην Πελαγονική (Mercier 1968, Yarwood & Dixon 1977, Schermer 1993, Mroskos & Perraki 2001, Most et al. 2001, Mroskos & Krohe 2004). Το δεύτερο, κυανοσχιστολιθικής φάσης (P ~5-8 kbar και T<350°C) έλαβε χώρα στο Ηώκαινο (Schermer 1993).

καίνου (Mercier 1968). Η έντονη τεκτονική λεπιώσεων που έλαβε χώρα στο Τριτογενές (Mercier 1968) οδήγησε στην επανάληψη των λιθολογιών και στην επώθησή τους επάνω στην Πελαγονική ζώνη.

3 ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

3.1 Αλβιτικός-επιδοτικός αμφιβολίτης Σφυκιάς (40°24' 21.50" N :22° 11' 40.83" E)

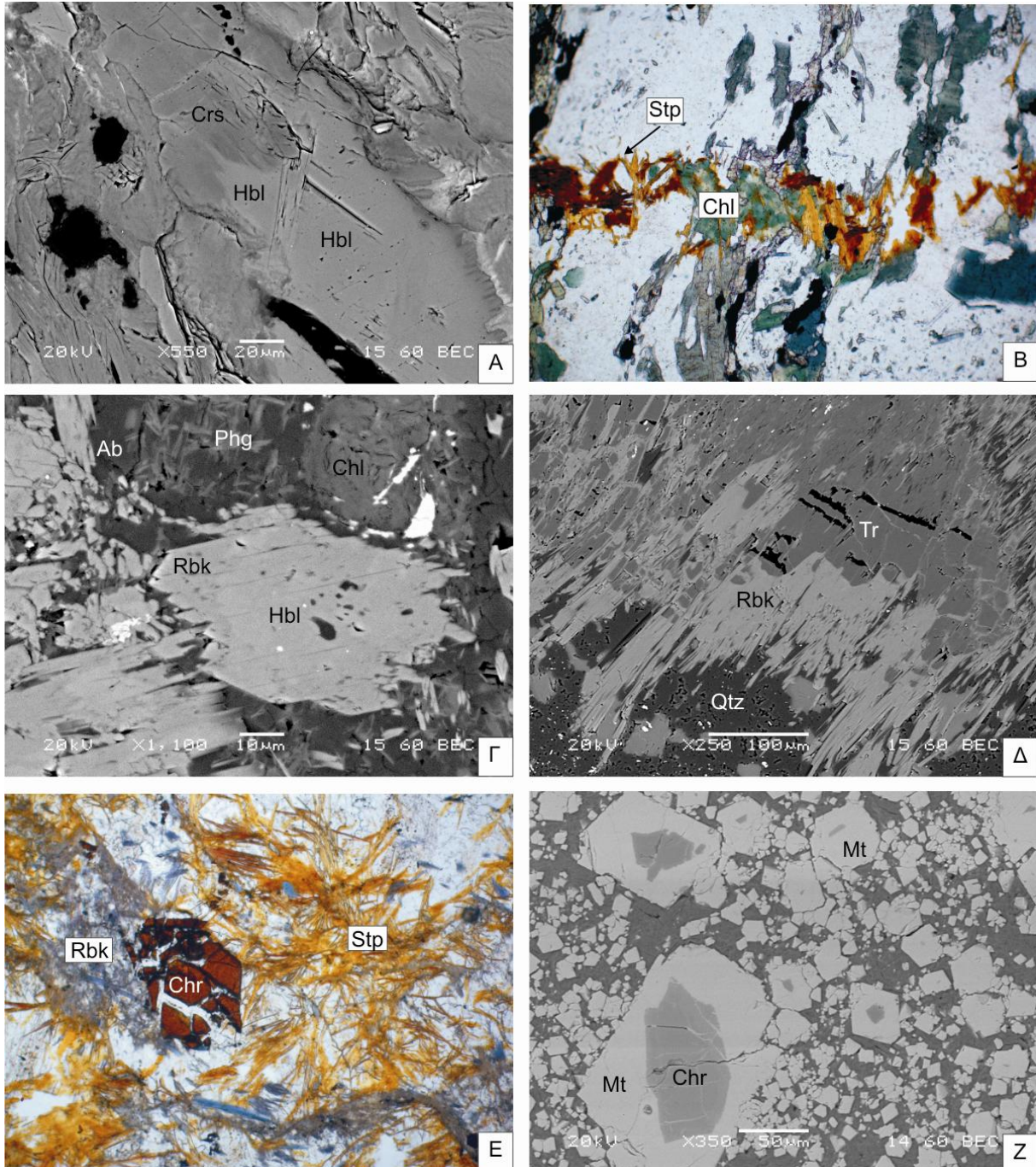
Ορυκτολογικά αποτελείται από κεροσίλβη ± κροσσίτη ± σπιλομέλανα – αλβίτη – επίδοτο – φεγγίτη – χλωρίτη – ιλμενίτη – τιτανίτη – χαλαζία. Ο ιλμενίτης, ο οποίος θεωρείται υπόλειμμα του μαγματικού πρωτόλιθου, αντικαθίσταται από τιτανίτη. Η κεροσίλβη παρουσιάζει ζώνωση, με ανοικτό πράσινο χρώμα στο κέντρο και μπλε-πράσινο στην εξωτερική ζώνη. Στα άκρα της αντικαθίσταται από Na-ούχο αμφίβολο ή ακτινόλιθο (Σχ.2Α). Σπιλπομέλανας σχηματίζει συσσωματώματα γύρω από κεροσίλβες, κυρίως όμως, αναπτύσσεται σε ζώνες εφελευσμού περίπου κάθετα προς τη σχιστότητα του πετρώματος (Σχ.2Β).

3.2 Μετακροκαλολατυποπαγές περιοχής Ασσωμάτων (40° 27' 58.32" N : 22° 14' 23.81" E)

Πρόκειται για πολύχρωμο, πολύμικτο μεταμορφωμένο κροκαλολατυποπαγές πέτρωμα, με μέγεθος κροκαλών και λατυπών έως 20 cm. Επικρατούν λατύπες πράσινες, από μεταβασάλτες, μεταγάββρους και σερπεντινίτες και λευκές κροκάλες από μάρμαρα. Σημαντική είναι επίσης η συμμετοχή κόκκινων κροκα-

λών/λατυπών πυριτωμένου και ασβεστιτωμένου σερπεντινίτη.

Οι λατύπες των μεταγάββρων και μεταβασαλτών αποτελούνται ορυκτολογικά από ακτινολιθική κεροσίλβη, χλωρίτη, αλβίτη, φεγγίτη, μαγνησιοριβεκίτη, ασβεσίτη, τιτανίτη ± Κ-ούχο άστριο. Μαγματικοί πυρόξενοι έχουν αντικατασταθεί πλήρως από ακτινόλιθο/κεροσίλβη και χλωρίτη και πλαγιόκλαστα από αλ-



Σχήμα 2. Α: Κροσσίτης (Crs) αντικαθιστά κεροσίλβη (Hbl). Β: Συσσωματώματα σπιλνομέλανα (Stp) και χλωρίτη αναπτύσσονται κάθετα προς τη σχιστότητα του πετρώματος. Γ: Ακτινολιθική κεροσίλβη αντικαθίσταται από ριβεκίτη (Rbk). Phg=φεγγίτης, Chl=χλωρίτης, Ab=αλβίτης. Δ: Τρεμολίτης (Tr) αντικαθίσταται από ριβεκίτη. Qtz=χαλαζίας. Ε: Σπιλνομέλανας και ριβεκίτης σε κύρια μάζα ασβεσίτη. Chr=χρωμίτης. Ζ: Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι μαγνητίτη (Mt) αναπτύσσονται γύρω από κλαστικούς κόκκους χρωμίτη. Οι εικόνες Α-Β είναι από τον αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη, η Γ από λατύπη μεταβασίτη, η Δ από πυριτωμένο σερπεντινίτη, η Ε από ασβεστιτωμένο σερπεντινίτη και η Ζ από Fe-Ni-ούχο λατερίτη. Α,Γ,Δ,Ζ είναι φωτογραφίες από SEM, Β και Ε από οπτικό μικροσκόπιο.

βίτη±σερικήτη, ενώ διατηρείται ψευδομορφικά ο κοκκώδης ιστός και η ακανόνιστη υφή στις λατύπες των μεταγάββρων και ο πορφυριτικός ή οφειτικός ιστός στις λατύπες των μεταβασαλιτών, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι γάββροι και οι βασάλτες έχουν υποστεί ωκεάνια μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Ακτινολιθική κερροσίλβη αντικαθίσταται στα άκρα της ή κατά μήκος ρωγμών από μαγνησιοριβεκίτη (Σχ. 2Γ).

Οι λατύπες με κλάστες πυριτωμένου σερπεντινίτη αποτελούνται κατεξοχήν από μικροκρυσταλλικό χαλαζία, αιματίτη, χρωμίτη, τρεμολίτη και μαγνησιοριβεκίτη. Ο αιματίτης αποτυπώνει ψευδομορφικά την κυψελώδη υφή του πρώην σερπεντινίτη. Ο ριβεκίτης αντικαθιστά τον τρεμολίτη (Σχ.2Δ). Αναπτύσσεται και σε ινώδεις κρυστάλλους με ακτινωτή διάταξη. Οι λατύπες περιβάλλονται από συσσωματώματα ασβεσίτη με μέγεθος κόκκων 0.06-0.09 mm δίνοντας την εικόνα λεπτόκοκκου μαρμάρου. Κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη στην ασβεσιπτική μάζα αντικαθίστανται από χλωρίτη. Κροκάλες ασβεσιπιωμένου σερπεντινίτη έχουν ως κύρια ορυκτά ασβεσίτη, σιλπινομέλανα και μαγνησιοριβεκίτη (Σχ.2Ε) και δευτερεύοντα αιματίτη, τάλκη, χλωρίτη και χρωμίτη.

3.3 Fe-Ni-ούχος λατερίτης (40°23' 23.94" N : 22° 12' 43.21" E)

Παρεμβάλλεται μεταξύ ταλκοποιημένου αντιγοριτικού σερπεντινίτη και έντονα λατυποποιημένου μαρμάρου με ορατό πάχος ~80 cm. Ορυκτολογικά αποτελείται από μαγνητίτη, αιματίτη, χρωμίτη, χλωρίτη, ριβεκίτη και σιλπινομέλανα. Παρουσιάζει εμφανή σχιστότητα και γράμμωση που αποτυπώνονται με το ελλειψοειδές σχήμα συσσωματωμάτων χλωρίτη και παραμορφωμένων πισσόλιθων. Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι μαγνητίτη αναπτύσσονται επιταξιακά γύρω από κλαστικούς κόκκους χρωμίτη (Σχ.2Ζ).

4 ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Αντιπροσωπευτικές χημικές συστάσεις των ορυκτών που αναλύθηκαν δίνονται στον πίνακα 1.

4.1 Αμφίβολοι

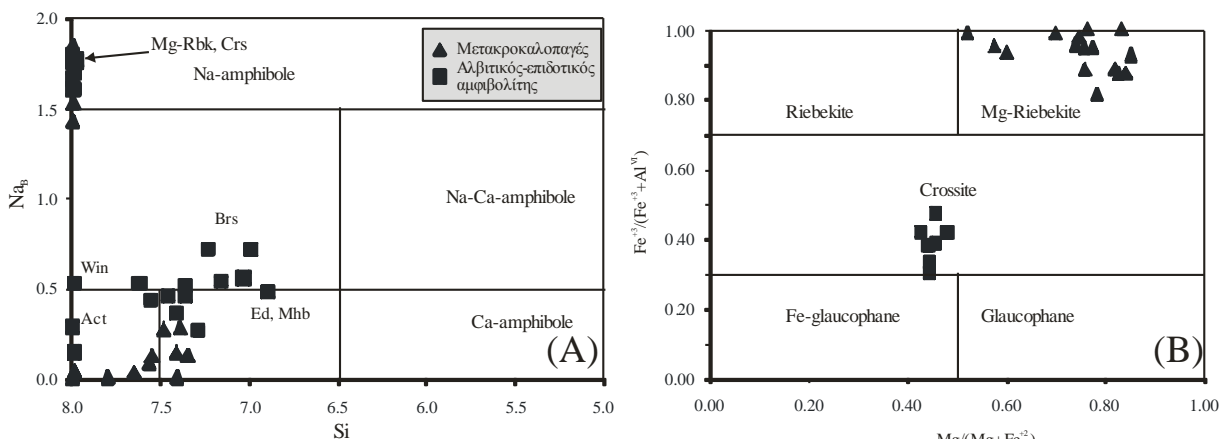
Στον αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη της Πελαγονικής ζώνης, διακρίνονται τρεις γενεές αμφιβόλων (Πίν.1, Σχ.3): α) Νατριούχος ακτινολίθος και ακτινολιθική κε-

ροσίλβη με Al₂O₃ 4,39-5,6 κ.β.% και άτομα Si 7,292-7,707 και Na_B 0,358-0,525 στο χημικό τύπο, υπολογισμένα για 23 άτομα οξυγόνου. Αντιπροσωπεύει το κέντρο σε πράσινες αμφιβόλους με ζωνώδη σύσταση (Σχ.3Α), β) Σιδηρούχος κερροσίλβη, σιδηρούχος μπαρροσίτης, κατοφορίτης, με Al₂O₃ 7,82-10,44 κ.β.%, άτομα Si 6,901-7,30 και Na_B 0,476-0,714. Σε κρυστάλλους με ζωνώδη σύσταση αποτελεί την εξωτερική ζώνη, γ) Κροσσίτης με Al₂O₃ 5,55-6,87 κ.β.%, άτομα Si 7,958-8,00, Na_B 1,606-1,774 και λόγο Mg/(Mg+Fe+Mn) 0,44-0,47 και ακτινολίθος με Al₂O₃ 0,7-1,69 κ.β.%. Ο κροσσίτης και ο ακτινολίθος αντικαθιστούν πράσινες αμφιβόλους δεύτερης γενεάς (Σχ.2Α).

Στο κροκαλολατυποπαγές της ζώνης Αλμωπίας διακρίνονται σε λατύπες και κροκάλες μεταβασιτών, πυριτωμένου και ασβεσιπιωμένου σερπεντινίτη δύο γενεές αμφιβόλων (Πίν.1, Σχ.3). Στις λατύπες των μεταβασιτών η πρώτη γενεά αντιπροσωπεύεται από ακτινολίθο και ακτινολιθική κερροσίλβη με Al₂O₃ που κυμαίνεται μεταξύ 2,54-4,92 κ.β.%, Na_B 0,019-0,282 άτομα στο χημικό τύπο και λόγο Mg/(Mg+Fe+Mn) 0,68-0,83 και στις λατύπες και κροκάλες του πυριτωμένου και ασβεσιπιωμένου σερπεντινίτη από τρεμολίτη με λόγο Mg/(Mg+Fe+Mn) 0,95-0,96. Τη δεύτερη γενεά αντιπροσωπεύει μαγνησιοριβεκίτης με Al₂O₃ 0-1,31 κ.β.%, Ca_B 0,149-0,474 άτομα στο χημικό τύπο και λόγο Mg/(Mg+Fe) 0,78-0,85 στο μεταβασίτη και 0,73-0,77 στον πυριτωμένο και ασβεσιπιωμένο σερπεντινίτη. Στο μεταβασίτη, ο μαγνησιοριβεκίτης αντικαθιστά ακτινολίθο και ακτινολιθική κερροσίλβη και στον πυριτωμένο και ασβεσιπιωμένο σερπεντινίτη, τρεμολίτη (Σχ.2Γ,Δ). Σύσταση ριβεκίτη/μαγνησιοριβεκίτη έχει και η μπλε αμφιβολος στο Fe-Ni-ούχο λατερίτη με λόγο Mg/(Mg+Fe+Ni) που κυμαίνεται μεταξύ 0,45-0,67.

4.2 Φεγγίτης

Στις λατύπες των μεταβασιτών, ο φεγγίτης συνυπάρχει με μαγνησιοριβεκίτη, χλωρίτη και Κ-ούχο άστροιο και είναι πλούσιος σε σελαδονιτικό μόριο. Στο χημικό τύπο τα άτομα Si κυμαίνονται μεταξύ 7,111-7,211 (υπολογισμένα για 22 άτομα οξυγόνου και ολικό σίδηρο ως FeO) (Πίν.1). Επικρατεί το μαγνησιοσελαδονιτικό μόριο, ο δε σίδηρος βρίσκεται κατεξοχήν ως Fe⁺³ υποκαθιστώντας Al. Στον αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη της Πελαγονικής ζώνης, ο φεγγίτης βρίσκεται



Σχήμα 3. Α: Χημική σύσταση των αμφιβόλων με βάση τη σχέση Na_B:Si. ▲ = από λατύπες μεταβασίτη, πυριτωμένου και ασβεσιπιωμένου σερπεντινίτη, ■ = από τον αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη. Β: Σχέση Mg/(Mg+Fe²⁺) : Fe³⁺/(Fe³⁺+Al^{VI}) των Na-ούχων αμφιβόλων.

σε ιστολογική ισορροπία με τις πράσινες αμφιβόλους και δε σχετίζεται με το μεταμορφικό επεισόδιο που οδήγησε στο σχηματισμό του κροσσίτη. Το Si κυμαίνεται μεταξύ 6,688-6,795 άτομα στο χημικό τύπο και το Mg+Fe>Si-6. Συνεπώς, μέρος του σιδήρου πρέπει να είναι ενδομημένο ως Fe⁺³.

4.3 Χλωρίτης

Η χημική σύσταση του χλωρίτη, ιδιαίτερα ο λόγος Mg/(Mg+Fe) επηρεάζεται κυρίως από τη χημική σύσταση του πετρώματος. Στον αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη ο χλωρίτης, ο οποίος συνυπάρχει με σιδηρούχο κροσσίτη είναι πλούσιος σε σίδηρο με λόγο Mg/(Mg+Fe) 0,40-0,44. Στο μεταβασίτη του κροκαλο-

λατυποπαγούς, ο χλωρίτης συνυπάρχει με πλούσιο σε μαγνήσιο φεγγίτη και έχει λόγο Mg/(Mg+Fe) 0,72-0,77. Στο λατερίτη ο χλωρίτης είναι σιδηρούχος και νικελιούχος με NiO 2,89-3,33 κ.β.% και λόγο Mg/(Mg+Fe+Ni) 0,35-0,39.

4.4 Σιλιπνομέλανας, αλβίτης, επιδοτο, ιλμενίτης

Ο σιλιπνομέλανας είναι Mg-ούχος με MgO που κυμαίνεται μεταξύ 6,61-10,14 κ.β.% (Πίν.1). Ο αλβίτης είναι σχεδόν καθαρός αλβίτης με περιεκτικότητα σε ανορθίτη που κυμαίνεται από 0-3 mol%. Στο επιδοτο η περιεκτικότητα σε Fe₂O₃ κυμαίνεται από 12,22-15,08 κ.β.%. Ο ιλμενίτης είναι μαγγανιούχος, με MnO που κυμαίνεται μεταξύ 3,89-4,74.

Πίνακας 1. Χημικές αναλύσεις αμφιβόλων, φεγγίτη, χλωρίτη, τάλκη και σιλιπνομέλανα από λιθολογίες του ΒΑ άκρου των Πιερίων

Αμφιβόλοι											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	49,86	46,10	55,31	54,77	51,73	55,39	58,29	55,39	52,68	54,64	54,69
TiO ₂	1,17	0,34	-	-	0,36	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	4,57	10,44	6,35	1,11	4,77	0,51	-	0,51	5,43	0,70	1,22
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	0,72	0,34	-
Fe ₂ O ₃	0,22	0,54	6,90	0,43	5,45	15,36	-	15,36	4,80	14,78	12,65
FeO	18,64	19,41	13,95	15,99	4,37	7,18	2,00	7,18	1,13	10,52	9,68
MnO	-	0,29	-	-	0,21	-	-	-	-	-	-
MgO	10,05	6,96	7,06	12,93	17,51	11,11	23,33	11,11	19,57	8,67	10,14
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	1,65
CaO	9,65	7,93	1,46	11,01	12,30	1,73	13,59	1,73	12,48	1,32	2,61
Na ₂ O	2,56	4,57	6,32	1,01	0,45	6,16	-	6,16	0,43	6,33	5,94
K ₂ O	0,69	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	97,41	97,25	97,35	97,35	97,16	97,43	97,21	97,43	97,24	97,63	97,58
					(23) οξυγόνα						
Si	7,464	6,977	7,975	7,997	7,338	7,993	7,999	7,993	7,339	7,997	7,955
Ti	0,132	0,038	-	-	0,039	-	-	-	-	-	-
Al	0,806	1,863	1,079	0,192	0,793	0,087	-	0,087	0,892	0,128	0,209
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	0,076	0,037	-
Fe ³⁺	0,024	0,061	0,749	0,048	0,581	1,668	-	1,668	0,503	1,627	1,384
Fe ²⁺	2,334	2,456	1,682	1,953	0,519	0,866	0,230	0,866	0,131	1,287	1,056
Mn	-	0,037	-	-	0,025	-	-	-	-	-	-
Mg	2,242	1,569	1,517	2,814	3,703	2,389	4,773	2,389	4,064	1,892	2,198
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,200
Ca	1,548	1,286	0,226	1,723	1,870	0,269	1,998	0,267	1,862	0,207	0,406
Na	0,749	1,341	1,766	0,313	0,124	1,722	-	1,722	0,117	1,796	1,676
K	0,132	0,061	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Φεγγίτης				Χλωρίτης			Τάλκη	Σιλιπνομέλανας	
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SiO ₂	49,51	52,73	52,30	26,55	32,14	33,61	32,15	30,52	59,38	48,21	48,35
Al ₂ O ₃	26,30	20,35	21,58	19,75	17,24	15,87	9,62	12,55	0,20	4,80	4,07
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	5,08	0,68	-	0,38	0,91
FeO _i	5,33	4,73	4,49	28,86	15,59	13,31	20,89	29,67	10,27	26,68	27,75
MgO	2,39	5,89	5,32	12,85	22,82	25,24	18,19	11,04	23,05	9,59	8,58
NiO	-	-	-	-	-	-	1,77	3,09	1,84	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	10,58	11,19	11,17	-	-	-	-	-	-	1,54	1,35
Total	94,55	94,89	94,86	88,01	87,79	88,03	87,69	87,56	94,74	91,20	91,03
		(22) Οξυγόνα			(28)		(22)	(23,75)			
Si	6,764	7,191	7,122	5,662	6,346	6,534	6,751	6,687	7,988	8,001	7,995
Al	4,235	3,271	3,464	4,963	4,012	3,637	0,381	3,240	0,031	0,940	0,825
Cr	-	-	-	-	-	-	0,843	0,118	-	0,050	0,124
Fe _i	0,609	0,539	0,511	5,146	2,574	2,164	3,669	5,437	1,155	3,707	3,990
Mg	0,486	1,198	1,080	4,084	6,715	7,313	5,693	3,606	4,623	2,375	2,199
Ni	-	-	-	-	-	-	0,299	0,544	0,199	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	0,115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	1,845	1,947	1,940	-	-	-	-	-	-	0,326	0,296

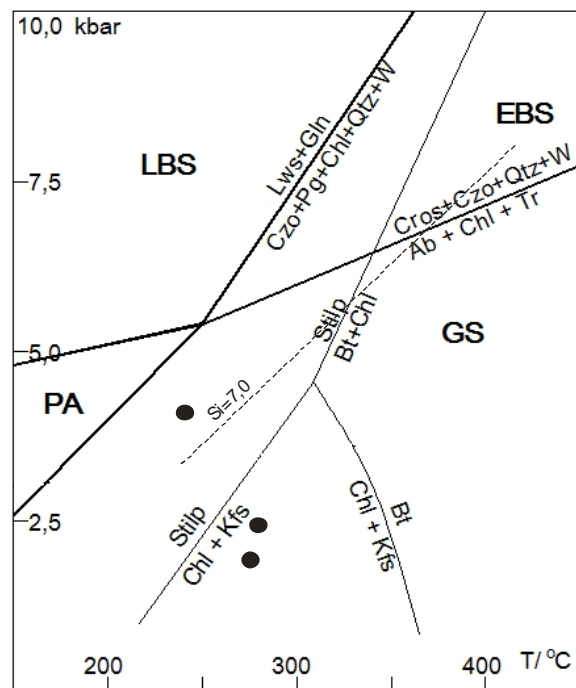
Αναλύσεις 1-4, 12, 15 από αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη της Πελαγονικής. Αμφιβόλοι: 1=πρώτης, 2=δεύτερης, 3-4=τρίτης γενεάς. Αναλύσεις 5-10, 13, 14, 16-18 και 20-22 από κροκαλολατυποπαγές άνω Κρηθδικής ηλικίας της ζώνης Αλμωπίας. 5, 6, 13, 14, 16, 18 από λατύπη μεταβασίτη. 7, 8 από λατύπη πυριτωμένο σερπεντινίτη. 9, 10, 18, 20-22 από κροκάλη ασβεστιωμένου σερπεντινίτη. 11 και 19 από Fe-Ni-ούχο λατερίτη.

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρουσία μπλε αμφιβόλων σε μεταμορφωμένα πετρώματα χαρακτηρίζει, συνήθως, συνθήκες μεταμόρφωσης κυανοσχιστολιθικής φάσης (HP/LT). Όμως, δεν αποτελούν δείκτες υψηλών πιέσεων όλοι οι μπλε αμφιβόλοι. Ριβεκίτης και μαγνησιוריβεκίτης δεν σχηματίζονται μόνο σε συνθήκες μεταμόρφωσης κυανοσχιστολιθικής φάσης, αλλά και σε περιβάλλον έντονης διαγένεσης (Frey 1973). Επίσης, είναι συνήθη μαγματικά ορυκτά σε ορισμένα πετρώματα, όπως είναι οι αλκαλικοί γρανίτες, οι συηνίτες κ.α. Δείκτες μεταμόρφωσης κυανοσχιστολιθικής φάσης αποτελούν οι Al-ούχοι και Al-Fe-ούχοι αμφιβόλοι γλαυκοφανής, σιδηρογλαυκοφανής και κροσσίτης. Η ενδόμηση του Fe και ιδιαίτερα του Fe⁺³ στο γλαυκοφανή, διευρύνει το πεδίο της κυανοσχιστολιθικής φάσης προς χαμηλότερες πιέσεις και υψηλότερες θερμοκρασίες (Evans 1990). Για συστάσεις, όπως εκείνες του κροσσίτη από τον αλβιτικό-επιδοτικό αμφιβολίτη της Πελαγονικής ζώνης (Πίν.1), οι ελάχιστες συνθήκες PT που προκύπτουν είναι ~6 kbar και 300°C (Σχ.4). Οι μέγιστες θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες από εκείνες που δίδονται από την αντίδραση $Stilp=Bt+Chl$ (Σχ.4). Δεδομένου ότι κροσσίτης και στυλπνομέλανας είναι οι μόνες φάσεις που αποτυπώνουν το τριτογενούς ηλικίας μεταμορφικό επεισόδιο, δεν μπορούν να εκτιμηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι συνθήκες PT για το τμήμα αυτό της Πελαγονικής ζώνης. Σε λιθολογίες της Πελαγονικής ζώνης από την περιοχή του Ολύμπου, η Schermer (1993), δίνει για το μεταμορφικό αυτό επεισόδιο P= 5-8 kbar και T <350°C. Η ζωνώδης σύσταση στις πράσινες αμφιβόλους, στις οποίες το Al₂O₃ αυξάνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια, χαρακτηρίζει προϊούσα μεταμόρφωση. Οι αυξημένες τιμές σε άτομα Na_B (0,476-0,714) στις αμφιβόλους δεύτερης γενεάς και η συνύπαρξή τους με επίδοτο, αλβίτη και φεγγίτη, τεκμηριώνουν συνθήκες μεταμόρφωσης αλβιτικής-επιδοτικής φάσης. Η σύσταση του φεγγίτη με Si=6,78 άτομα στο χημικό τύπο τεκμηριώνει ελάχιστες πιέσεις 8,5 kbar, για θερμοκρασία 450°C (Σχ.4).

Στις λατύπες των μεταβασιτών από το κροκαλολατυποπαγές της ζώνης Αλμωπίας, η παραγένεση μαγνησιוריβεκίτης+φεγγίτης (Si=7,1-7,2) + χλωρίτης + αλβίτης + K-ούχος άστριος δεν χαρακτηρίζει υποχρεωτικά συνθήκες μεταμόρφωσης HP/LT. Από την εφαρμογή της μεθόδου πολλαπλών ισοροπιών (Vidal & Parra 2000) σε ζεύγη φεγγίτη-χλωρίτη προέκυψαν συνθήκες ισοροπίας μεταξύ 4 kbar/237°C και 1,8 kbar/273°C (Σχ.4). Για θερμοκρασία 250°C, η ελάχιστη πίεση που προκύπτει από την εφαρμογή του βαρόμετρου του φεγγίτη (Massonne & Szpurka 1997), είναι 2,9 kbar. Στο σύστημα KFLASH η σταθερότητα του χλωρίτη+K-ούχο άστριο εκτείνεται, σε πολύ χαμηλές πιέσεις, από τους ~200°C μέχρι τους ~350°C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες σχηματίζεται από χλωρίτη+K-ούχο άστριο βιοτίτης και σε χαμηλότερες στυλπνομέλανας (Σχ.4). Η μέγιστη πίεση για το χλωρίτη+K-ούχο άστριο είναι 4,1 kbar στους 316°C. Στο σύστημα KFMASH το πεδίο σταθερότητας της παραγένεσης χλωρίτης+K-ούχος άστριος διευρύνεται σημαντικά, κυρίως προς υψηλότερες πιέσεις (Massonne & Szpurka 1997), με αποτέλεσμα στις συνθήκες PT που προσδιορίστηκαν από τα ζεύγη φεγγίτη-χλωρίτη, η

παραγένεση χλωρίτης (Mg/Mg+Fe=0,72-0,77)+K-ούχος άστριος να είναι σταθερή. Η συχνή παρουσία του στυλπνομέλανα στις παραγένεσεις των Fe-Ni-ούχων λατεριτών της ζώνης Αλμωπίας, στους οποίους οι χλωρίτες είναι σιδηρούχοι, (στο χλωρίτη από το λατερίτη της Σφυκιάς, ο λόγος Mg/(Mg+Fe+Ni) είναι 0,35-0,38), δείχνει ότι, σε πλούσια σε σίδηρο συστήματα, ο στυλπνομέλανας είναι σταθερός στις θερμοκρασίες και πιέσεις που προσδιορίστηκαν από τα ζεύγη φεγγίτη-χλωρίτη στο μεταβασιτή. Σε μεταβασιτίτες που υπερκείνται του κροκαλολατυποπαγούς, οι κόκκοι του χαλαζία διατηρούν ακόμη τον κλαστικό τους χαρακτήρα, γεγονός που δείχνει ότι οι θερμοκρασίες του μεταμορφικού επεισοδίου ήταν ιδιαίτερα χαμηλές (<300°C). Ο σχηματισμός του μαγνησιוריβεκίτη ευνοήθηκε από τον χημισμό των πετρωμάτων και την κυκλοφορία Να-ούχων ρευστών. Σχηματίστηκε σε πετρώματα με αυξημένη συμμετοχή σιδήρου (Fe⁺² και Fe⁺³) όπως είναι οι λατύπες και οι κροκάλες των μεταβασιτών και των πυριτωμένων και ασβεστιτωμένων σερπεντινιτών, που πριν από τη μεταμόρφωση ήταν εκτεθειμένες στη λατεριτική αποσάθρωση. Ριβεκίτης είναι συχνά κύριο ορυκτό στους Fe-Ni-ούχους λατερίτες της ζώνης Αλμωπίας (Mroskos 1980, 1981, Μιχαηλίδης 1982).



Σχήμα 4. Διάγραμμα PT με πεδία σταθερότητας μεταμορφικών φάσεων. Οι καμπύλες αντιδράσεων για το σύστημα KFLASH και η ισοπληθής Si=7 είναι από τους Massonne & Szpurka (1997). Οι κύκλοι δίνουν συνθήκες PT που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου πολλαπλών ισοροπιών των Vidal & Parra (2000) σε γειτονικά ζεύγη φεγγίτη-χλωρίτη. EBS=πεδίο της επιδοτικής κυανοσχιστολιθικής φάσης για σύσταση κροσσίτη όμοια με εκείνη του πίνακα 1 (από Evans 1990). LBS=πεδίο της λοζονιτικής κυανοσχιστολιθικής φάσης, PA=πεδίο της πουμπελλυϊτικής ακτινολιθικής φάσης, GS=πεδίο της πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Από τα πετρολογικά δεδομένα που προκύπτουν για το τριτογενούς ηλικίας μεταμορφικό επεισόδιο στην Πελαγονική ζώνη (>6 kbar και >300°C) και στη ζώνη Αλμωπίας (< 4 kbar και 237-273°C), συμπεραίνεται ότι

η τεκτονική επαφή μεταξύ των δύο ζωνών στην περιοχή της Σφυκιάς πιθανώς είναι εφελκυστικού χαρακτήρα, όμοια με εκείνη που δίνει η Schermer (1993) μεταξύ των δύο ενότητων στην ευρύτερη περιοχή του Ολύμπου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Evans B.W. 1990. Phase relations of epidote-blueschists. *Lithos* 25, 3-23.
- Frey M.1973. Progressive niedriggradige Metamorphose glaukonitführender Horizonte in den helvetischen Alpen der Ostschweiz. *Contr. Miner. Petrol.* 30,185-218.
- Kiliias A. & Mountrakis D. 1985. Das Rizomata-Fenster im nordöstlichen Pieria-Gebirge. Neue Daten zur geologischen Grenze der Pelagonischen und der Axios-Zone in Griechenland. *N.Jb.Geol.Paläont. Mh* 248-256.
- Κίλιας Α. & Μουντράκης Δ. 1988. Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 23/1, 29-46.
- Massonne H-J. & Szpurka Z. 1997. Thermodynamic properties of white micas on the basis of high-pressure experiments in the systems K_2O - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O and K_2O - FeO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O . *Lithos*, 41, 229-250.
- Mercier J. 1968. These Etude Geologique des Zones Internes des Hellenides en Macedonie Centrale (Grece). *Ann.Geol.Pays Hell.* XX-B, 1-792.
- Μιχαηλίδης Κ. 1982. Πετρολογική μελέτη των Fe-Ni-ούχων με Cr λατεριτών της περιοχής Έδεσσας. Διδ. Διατριβή Αριστοτελείου παν/μίου Θεσ/νίκης.
- Most T., Fritsch W., Dunkl I., Kadosa B., Boev B., Avgerinas A, & Kiliias A. 2001. Geochronological and structural investigations of the northern Pelagonian crystalline zone. Constraints from K-Ar and zircon and apatite fission track dating. *Bull. Geol.Soc.Greece XXXIV/3*, 939-947.
- Mposkos E. 1980. Mineralogisch-Petrographische Untersuchungen an metamorphen Lateriten und deren benachbarten Gesteinen in der Almopias-Zone im Bereich Edessa (Zentral Mazedonien). *Bull. Geol. Soc. Greece*, XV, 3-23.
- Mposkos E. 1981. The Ni-Fe laterite ores of Almopia zone. UNESCO an international symposium on metallogeny of mafic and ultramafic complexes. Athens, October 9-11, 1980, V1,317-337.
- Mposkos E.1987. The Chemical composition of calcic and sodic-calcic amphiboles in metabasic rocks from Pelagonian zone (Greece) as indicator of pressure and temperature. *Chem. Erde* 46,161-169.
- Mposkos E. & Perraki M. 2001.High pressure Alpine metamorphism of the Pelagonian allochthon in the Kastania area (southern Vermion) Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece XXXIV/3*,939-947.
- Mposkos E.& Krohe A. 2004.New evidences of the low-P/high-T pre-Alpine metamorphism and medium-P overprint of the Pelagonian zone documented in metapelites and orthogneisses from the Voras Massif, Macedonia, Northern Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece. XXXVI*, 558-567.
- Papadakis A., Michailidis K. & Kassoli-Fournaraki A. 1987. Alkali Amphiboles: The main Ni-bearing silicate mineral in the laterite ore occurrences of Sfikia area (Veria): Northern Greece. *Chem. Erde* 46,117-129.
- Περράκη Μ. 2003. "Πετρολογική μελέτη των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Ανατολικής Θεσσαλίας". Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 355.
- Schermer E.R.1993. Geometry and kinematics of continental basement deformation during the Alpine orogeny, Mt.Olympos region, Greece. *J. Structural Geology*, 15/3-5, 571-591.
- Schermer E.R., Lux D.R. & Burchfiel B.C. 1990. Temperature-time history of subducted continental crust, Mt. Olympos region, Greece. *Tectonics*, 9, 1165-1195.
- Vidal O. & Parra T. 2000. Exhumation paths of high-pressure metapelites obtained from local equilibria for chlorite-phengite assemblages. *Geol. Mag.*, 35, 139-161.
- Yarwood G.A. & Dixon J.E. 1977. Lower Cretaceous and younger thrusting in the Pelagonian rocks of High Pieria Greece. *Colloq. Aegean Region, Athens 6th*,1, 269-280.

