

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ  
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Ν. ΨΑΡΑΣ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΥΤΩΝΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ  
ΟΦΘΑΛΜΟΓΝΕΥΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΒΑΡΝΟΥΝΤΑ  
(ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ  
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Ν. ΨΑΡΑΣ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΥΤΩΝΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ  
ΟΦΘΑΛΜΟΓΝΕΥΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΒΑΡΝΟΥΝΤΑ  
(ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

**Επιβλέποντες Καθηγητές**

Κορωναίος Αντώνιος  
Παπαδοπούλου Λαμπρινή

© Κωνσταντίνος Ι. Αναστασίου & Αλέξανδρος Ν. Ψαράς,  
Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2014.  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΥΤΩΝΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΦΘΑΛΜΟΓΝΕΥΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΒΑΡΝΟΥΝΤΑ (ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

## **Πίνακας περιεχομένων**

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Περίληψη .....</b>                                                       | <b>1</b>  |
| <b>2. Πρόλογος.....</b>                                                        | <b>3</b>  |
| <b>3. Η παλαιογεωγραφία και η γεωτεκτονική θέση της Πελαγονικής ζώνης.....</b> | <b>4</b>  |
| <b>4. Η λιθοστρωματογραφία και η τεκτονική δομή της Πελαγονικής .....</b>      | <b>6</b>  |
| 4.1. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.....                                       | 7         |
| 4.2. Οι γνευσιωμένοι πλουτωνίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου .....                 | 7         |
| 4.3. Οι μετακλαστικές ακολουθίες του Πέρμιου – Τριαδικού.....                  | 8         |
| 4.4. Τα ανθρακικά καλύμματα του Τριαδικού – Ιουρασικού .....                   | 9         |
| 4.5. Οι οφειόλιθοι και τα σύνοδα ιζήματα .....                                 | 9         |
| 4.6. Τα επικλυσισγενή ιζήματα του Μέσου – Άνω κρητιδικού .....                 | 10        |
| <b>5. Τεκτονική και συνθήκες μεταμόρφωσης συνολικά στην Πελαγονική .....</b>   | <b>11</b> |
| 5.1. Τεκτοορογενετική εξέλιξη .....                                            | 11        |
| 5.1.1. Πρώτη παραμορφωτική φάση Ερκύνιας ηλικίας .....                         | 11        |
| 5.1.2. Δεύτερη ορογενετική περίοδος (Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό) .....     | 11        |
| 5.1.3. Τρίτη ορογενετική περίοδος του Τριτογενούς .....                        | 12        |
| 5.2. Γεωτεκτονικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης.....                         | 13        |
| 5.3. Συνθήκες μεταμόρφωσης .....                                               | 14        |
| <b>6. Σχέσεις παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης.....</b>                           | <b>15</b> |
| 6.1. Γεγονός DHP .....                                                         | 16        |
| 6.2. Γεγονός D <sub>1</sub> .....                                              | 17        |
| 6.3. Γεγονός D <sub>2</sub> .....                                              | 18        |
| 6.4. Γεγονός D <sub>3</sub> .....                                              | 19        |
| 6.5. Γεγονός D <sub>4</sub> .....                                              | 19        |
| 6.6. Γεγονός D <sub>5</sub> .....                                              | 20        |



|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.7. Γεγονός D <sub>6</sub> .....                                                                                  | 20        |
| 6.8. Νεότερα γεγονότα .....                                                                                        | 21        |
| <b>7. Πετρογραφία και Ορυκτολογία της Περιοχής .....</b>                                                           | <b>22</b> |
| <b>8. Περιγραφή των δύο πετρολογικών τύπων και σύγκριση ορυκτών που καθορίζουν τις συνθήκες μεταμόρφωσης .....</b> | <b>25</b> |
| 8.1. Κεροσιλβικός – βιοτιτικός – χαλαζιακός μονζονίτης (KBXM) .....                                                | 25        |
| 8.2. Οφθαλμογενεύσιος (ΟΓΝ) .....                                                                                  | 26        |
| <b>9. Ορυκτοχημική μελέτη και σύγκριση των ορυκτών του των δύο πετρογραφικών τύπων. ....</b>                       | <b>28</b> |
| 9.1. Βιοτίτης .....                                                                                                | 28        |
| 9.2. Κεροσίλβη .....                                                                                               | 29        |
| 9.3. Τιτανίτης .....                                                                                               | 31        |
| 9.4. Απατίτης .....                                                                                                | 32        |
| <b>10. Μικροσκοπική μελέτη τομών στους πετρογραφικούς τύπους KBXM και ΟΓΝ .....</b>                                | <b>33</b> |
| 10.1. Περιοχή Τούμπα (Δυτικό μέρος) .....                                                                          | 33        |
| 10.2. Περιοχή Τούμπα (Ανατολικό μέρος) .....                                                                       | 37        |
| 10.3. Περιοχή Ανθοβούνι .....                                                                                      | 40        |
| 10.4. Εμφάνιση κεροσίλβης και βιοτίτη στις τομές .....                                                             | 43        |
| <b>11. Γεωχημεία του πλουτωνίτη και του ορθογνευσίου .....</b>                                                     | <b>44</b> |
| 11.1. Κατανομή κύριων στοιχείων .....                                                                              | 44        |
| 11.2. Κατανομή των ιχνοστοιχείων στα ορυκτά .....                                                                  | 44        |
| 11.3. REE (Σπάνιες Γαίες) .....                                                                                    | 45        |
| <b>12. Συζήτηση – Συμπεράσματα - Επίλογος .....</b>                                                                | <b>46</b> |
| <b>13. Βιβλιογραφία .....</b>                                                                                      | <b>49</b> |

## 1. Περίληψη

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Ανατολικό τμήμα του όρους Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία, Νομός Φλώρινας) στην Πελαγονική ζώνη. Αποτελεί τμήμα ενός μεγάλου πλουτωνικού όγκου. Το μάγμα διείσδυσε μέσα στο υποβάθρο, εγκλείοντας έτσι τμήματα του υποβάθρου, τα οποία στη συνέχεια μεταμορφώθηκαν. Ο πλουτωνίτης χρονολογείται στο Άνω Λιθανθρακοφόρο (~300 Ma) και χαρακτηρίζεται από διάφορους πετρογραφικούς τύπους που μεταβαίνουν σταδιακά από γρανιτικής σε μονζονιτικής σύστασης. Μαζί με αυτήν την πλουτωνική σειρά φαίνεται να συνδέονται σικτοί γνεύσιοι και οφθαλμογνεύσιοι. Η ορυκτολογία των πετρωμάτων είναι παρόμοια σε όλους τους τύπους. Τα κύρια ορυκτά είναι μικροκλινής, πλαγιόκλαστα, χαλαζίας, βιοτίτης και κεροστίλβη, ενώ τα επουσιώδη είναι τιτανίτης, επίδοτο, αλλανίτης, απατίτης, ζirkόνιο και μαγνητίτης. Μελετάται επίσης και η τεκτονική της ευρύτερης περιοχής (όρος Βέρνο), όπως και η σχέση της με τα μεταμορφικά φαινόμενα. Από πρόσφατες μελέτες που έγιναν παρατηρήθηκε ότι η παραμόρφωση είναι περίπλοκη, εφόσον επιδρούσαν στα πετρώματα διαδοχικά εφελκυστικά και συμπιεστικά επεισόδια.

Συγκρίνοντας τον κεροστιλβικό –βιοτιτικό - χαλαζιακό μονζονίτη και τον οφθαλμογνεύσιο στις περιοχές Τούμπα και Ανθοβούνι διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν ορυκτολογικές διαφορές μεταξύ των δύο πετρογραφικών τύπων. Παρόλα αυτά το μέγεθος των κρυστάλλων των τιτανιτών και των απατιτών είναι μεγαλύτερο στους οφθαλμογνευσίους, όπως επίσης παρατηρούνται διαφορές στο μέγεθος και στο χρώμα μεταξύ των βιοτιτών και των κεροστιλβών των δύο τύπων. Ορυκτοχημικά, υπάρχουν διαφορές των συγκεντρώσεων των στοιχείων στα ορυκτά, αλλά και συνολικά στα πετρώματα, ενώ οι συγκεντρώσεις κάποιων στοιχείων παραμένουν σταθερές. Κατά τη διαφοροποίηση φαίνεται ότι τα πετρώματα κρυσταλλώνονται ολόένα και σε πιο οξειδωτικό περιβάλλον.

Επομένως, ο οφθαλμογνεύσιος αποτελεί τμήμα του πλουτωνικού όγκου και συγκεκριμένα του κεροστιλβικού –βιοτιτικού - χαλαζιακού μονζονίτη που δέχτηκε έντονες παραμορφωτικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές προκάλεσαν την αύξηση του μεγέθους των ορυκτών απατίτη και τιτανίτη και τη γνευσιακή υφή του πετρώματος.

## **Abstract**

The study area is located in the eastern part of the mountain of Varnountas (NW Macedonia, Florina) in the Pelagonian zone. It is part of a large plutonic volume. Magma penetrated into the metamorphic country rocks enclosing parts of them which were then transformed. The age of the pluton is Upper Carboniferous (~ 300 Ma) and it is characterized by various petrographic types ranging in composition from granite to monzonite which are related by gradual transitions. Plutonic rocks are associated with spotted gneisses and augen gneisses. The mineralogy is similar both in the plutonic rocks as well as the gneisses. The minerals are microcline, plagioclase, quartz, biotite and hornblende while minor constituents are titanite, epidote, allanite, apatite, zircon and magnetite. The deformational events of the greater area were also studied (Mountain of Verno) as they are related to the metamorphic events of the region. Recent studies demonstrate that deformation in this area is complicated because of successive shortening and extension events.

Comparison of two rock types, hornblende - biotite - quartz monzonite and augen gneiss that appear in the areas of Toumpa and Anthovouni. As mentioned above there are no mineralogical differences between these petrographic types. Nevertheless, the crystal size of titanite and apatite is larger in the augen gneiss. Also, differences are observed in biotite and hornblende of the two rock types, both in size and color. There are chemical differences, not only in concentrations of elements in minerals, but also in rocks, whereas concentrations of some elements remain constant. During differentiation, rocks crystallized in increasingly more oxidizing conditions.

Therefore, the augen gneiss is considered part of the pluton and particularly of the hornblende - biotite - quartz monzonite that was affected by deformation. This deformational event resulted in the increase in size of apatite and titanite as well as the gneissic texture of the rock.

## **2. Πρόλογος**

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη σύγκριση δύο πετρογραφικών τύπων: Κεροστιλβικός-βιοτιτικός-χαλαζιακός μονζονίτης (KBXM) και ορθογνεύσιος (ΟΓΝ) που εμφανίζονται στην περιοχή του Ανατολικού Βαρνούντα της Πελαγονικής ζώνης, στη ΒΔ Μακεδονία. Οι δύο πετρολογικοί σχηματισμοί εμφανίζονται μαζί, δίχως όμως να παρατηρείται κάποια επαφή. Ωστόσο υπάρχουν σημαντικές μακροσκοπικές διαφορές μεταξύ αυτών. Αλλά και μικροσκοπικά, διακρίνονται σημαντικές διαφορές στο μέγεθος κάποιων ορυκτών καθώς και σημαντικές αλλοιώσεις και αντικαταστάσεις ορυκτών. Παρά τις όποιες ορυκτοχημικές διαφορές που παρουσιάζει ο ορθογνεύσιος, η γεωχημεία του είναι παρόμοια με τον επικρατέστερο πετρογραφικό τύπο (Hb - Bi - Qz μονζονίτης) σε κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία και REE. Ακόμη παρουσιάζουν την ίδια ισοτοπική αναλογία O και Sr και το ίδιο γεωτεκτονικό περιβάλλον.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η συγκριτική μελέτη των δύο πετρογραφικών τύπων, ορυκτολογικά και γεωχημικά, όπως επίσης και η τεκτονική της ευρύτερης περιοχής, για να διαπιστωθεί αν πρόκειται για 2 ξεχωριστά πετρώματα ή για τον ίδιο πετρογραφικό τύπο ο οποίος έχει υποστεί κατά θέσεις τεκτονισμό.

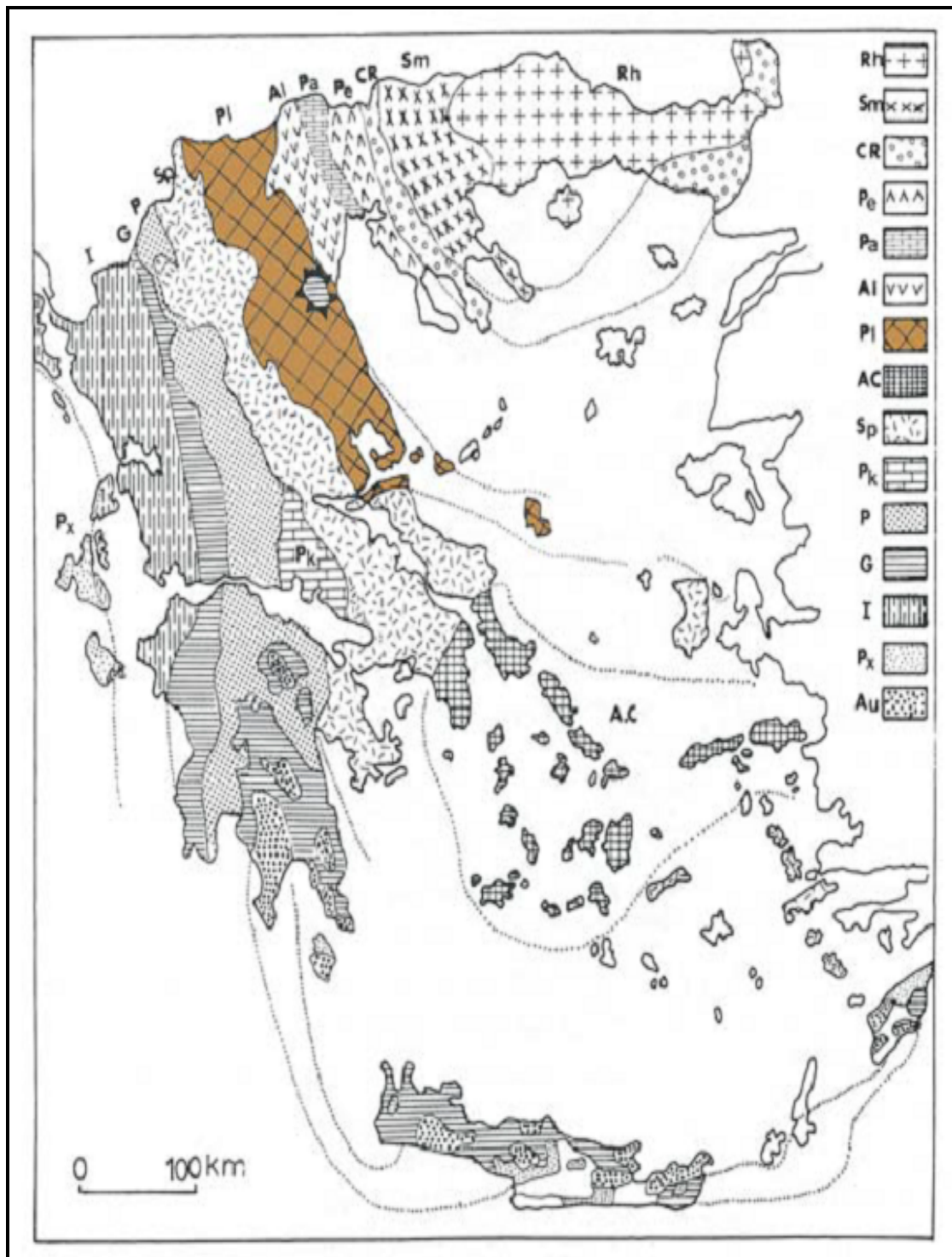
Εισαγωγικά γίνεται μία αναφορά για την Πελαγονική ζώνη, όσον αφορά την παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική της θέση, τη λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και την τεκτονική δομή, τις συνθήκες μεταμόρφωσης στη ζώνη αυτή και την τεκτοορογενετική εξέλιξη της. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις συγκεκριμένες συνθήκες μεταμόρφωσης που επικρατούν στην περιοχή μελέτης και τέλος γίνεται η συγκριτική μελέτη μεταξύ του KBXM (κεροστιλβικός βιοτιτικός χαλαζιακός μονζονίτης) και του ΟΓΝ (ορθογνεύσιος) που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα του όρους Βαρνούντα. Επειδή στο όρος Βαρνούς συναντάμε την ίδια τεκτονική και μεταμόρφωση, όπως επίσης και παρόμοια πετρώματα με αυτά του όρους Βέρνο, γίνεται συχνά αναφορά στο όρος Βέρνο, εφόσον υπάρχουν περισσότερα στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή από νεότερες μελέτες.

### **3. Η παλαιογεωγραφία και η γεωτεκτονική θέση της Πελαγονικής ζώνης**

Η ονομασία Πελαγονική ζώνη και τα όρια αυτής πρώτη φορά αναφέρθηκαν το 1924 από τον Kossmat και μάλιστα με την ονομασία «η Πελαγονική μάζα και το κάλυμμά της», διότι αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (κύρια μάζα) πάνω από τα οποία έχουν αποτεθεί μεσοζωικά ιζήματα (κάλυμμα). Η ονομασία «Πελαγονική ζώνη» καθιερώθηκε από τους Brunh (1956) και Aubouin (1957) στην προσπάθειά τους να διαιρέσουν την Ελλάδα σε αλπικές ισοπικές ζώνες (Σχήμα 2). Στα πλαίσια αυτής της διαίρεσης δόθηκε στην Πελαγονική ζώνη η έννοια του υβώματος, το οποίο χώριζε την αύλακα της Αλμωπίας στα Ανατολικά από την αύλακα της Πίνδου στα Δυτικά. Η ζώνη διακοπτόταν υποθαλάσσια από δύο βυθίσματα (ένα στην περιοχή της Κοζάνης και ένα στην κεντρική Εύβοια) από όπου επικοινωνούσαν οι δύο αύλακες. Κατά το Μεσοζωικό, αποτέθηκαν πελαγικά ιζήματα (ανθρακική –καθαρά νηριτική- ιζηματογένεση), με εξαίρεση τις δυο περιοχές των βυθισμάτων όπου τα πελαγικά ιζήματα εμφανίζονται μαζί με οφειολιθικές μάζες.

Νεότερες έρευνες που έχουν γίνει (Μουντράκης 1983) θεωρούν την Πελαγονική ως ένα μεγάλο ηπειρωτικό τέμαχος, τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου, το οποίο αποσπάσθηκε από την Gondwana και κάτω από το οποίο αναπτύχτηκαν δύο ωκεάνιες περιοχές της Τηθύος (της ζώνης Αξιού και της Υποπελαγονικής της Πίνδου) από όπου και επωθήθηκαν οι οφειολιθικές μάζες. Οι δύο περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν παραπάνω ως βυθίσματα, είναι απλώς περιοχές στις οποίες οι οφειολιθικές μάζες έχουν διατηρηθεί.

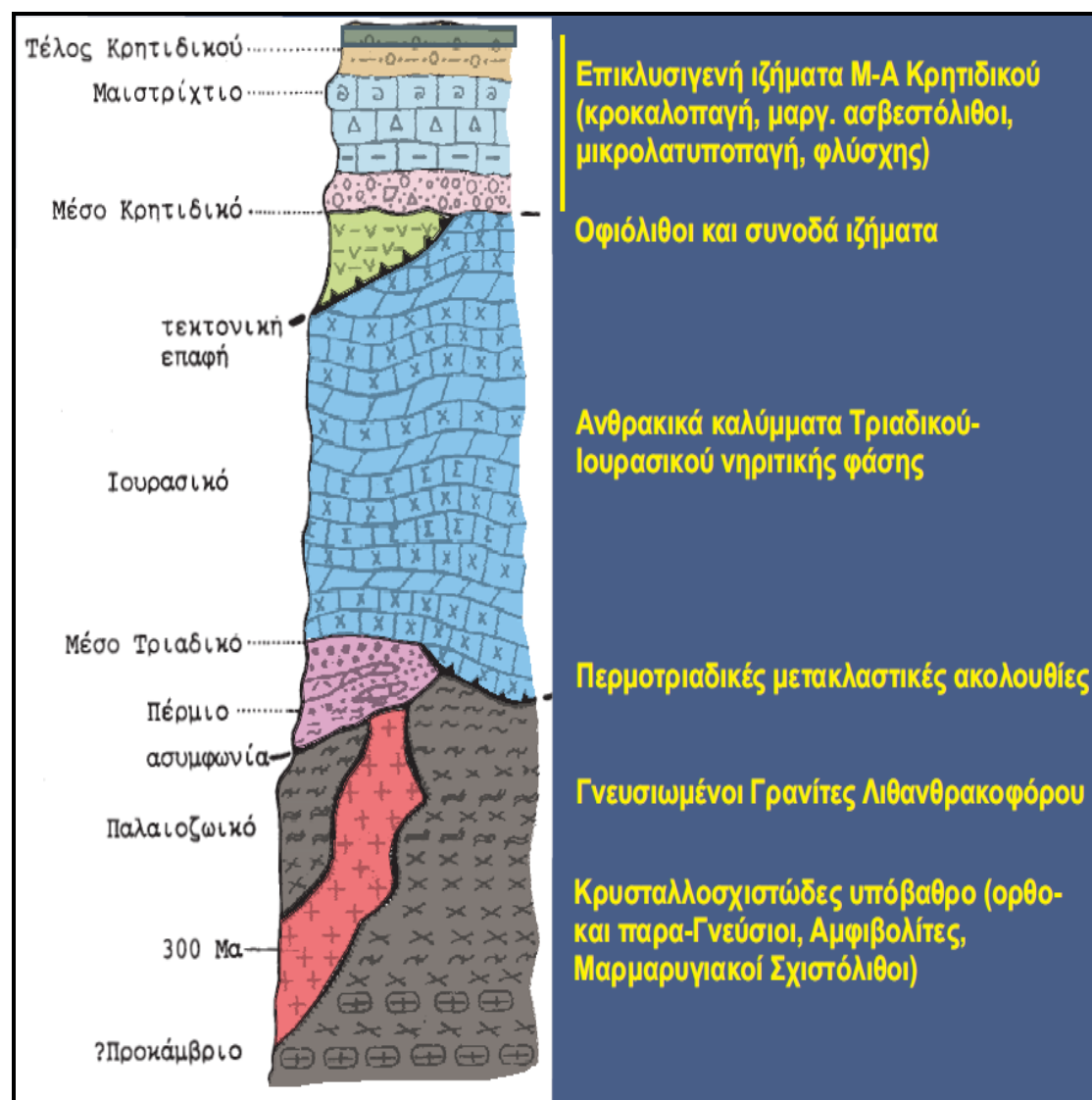
Η Πελαγονική ζώνη έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και εκτείνεται από τη Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους (Βόρας, Βέρνο, Βέρμιο, Πιέρια όρη, Όλυμπος, Πήλιο, τμήμα της βόρειας Ευβοίας) και κάμπτεται προς τις Σποράδες (περιλαμβάνοντας τις νήσους Σκιάθο, Σκόπελο και Σκύρο). Πιθανώς εκτείνεται προς το Αιγαίο βόρεια της Χίου (νησιά Οινούσες) και από εκεί στα βόρεια της Μικράς Ασίας, στην περιοχή Σακάρυα, όπου εμφανίζονται παρόμοια πετρώματα (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική μάζα, (Pe , Pa & Al: Υποζώνες Παιωνίας, Παγγαίου & Αλμωπίας) Ax: Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικοκυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι – Ταλέα όρη» πιθανόν Ιονίου ζώνης. (κατά Mountrakis et al. 1983)

#### 4. Η λιθοστρωματογραφία και η τεκτονική δομή της Πελαγονικής

Η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, γνευσιωμένους γρανίτες (που είναι το θέμα της εργασίας), ημιμεταμορφωμένα πετρώματα του Πέρμιο - Τριαδικού, δύο ανθρακικά καλύμματα του Τριαδικού – Ιουρασικού, οφειολιθικές μάζες και επικλυσιογενή ιζήματα του Άνω Κρητιδικού (Σχήμα 2). Παρακάτω γίνεται μία επιγραμματική αναφορά στην καθεμία από τις προαναφερθείσες λιθοστρωματογραφικές ενότητες.



Σχήμα 2: Λιθοστρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης (Μουντράκης 2008).

#### **4.1. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα**

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα έχουν πολύ μεγάλη εξάπλωση στην Πελαγονική και είναι το κύριο δομικό συστατικό. Δεν είναι ενιαίο και ομογενές σε όλο του το εύρος, αλλά αποτελείται από πολλές ενότητες πετρωμάτων που συνιστούν αλλεπάλληλα τεκτονικά λέπια (π.χ. τέτοια τεκτονικά λέπια έχουν παρατηρηθεί στο Βόρα και στο Βέρνο, όπου βρίσκεται και ο Βαρνούντας). Οι ενότητες αυτές θεωρούνται ως παράλληλες κρυσταλλοσχιστώδεις ακολουθίες ενός κοινού υποβάθρου, οι οποίες έχουν παρόμοια λιθολογική ανάπτυξη και όμοιες συνθήκες δημιουργίας κατά το Παλαιοζωικό. Μία εικόνα αυτών των σχηματισμών που συναντάμε είναι από τους κατώτερους προς τους ανώτερους:

- Γνεύσιοι βιοτιτικοί, οφθαλμοειδείς, ορθοπροέλευσης
- Μιγματιτικοί γνεύσιοι
- Γνεύσιοι ταινιωτοί, μοσχοβιτικοί, παραπροέλευσης
- Αμφιβολίτες και αμφιβολιτικοί – βιοτιτικοί σχιστόλιθοι
- Γρανατούχοι διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι
- Εναλλαγές αμφιβολιτικών σχιστόλιθων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, επιδοιτιτικών σχιστόλιθων με παρεμβολές απλιτογνευσίων

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου ήταν αμφιβολιτικής φάσης και έγινε στο Παλαιοζωικό, πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο.

#### **4.2. Οι γνευσιωμένοι πλουτωνίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου**

Μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο παρεμβάλλονται παλιοί μεγάλοι πλουτωνικοί όγκοι, οι οποίοι έχουν παρόμοια σύσταση και υφή (γρανίτες πορφυριτικοί με μεγάλους κρυστάλλους καλιούχων αστρίων, χαλαζιακοί μονζονίτες, γρανοδιορίτες κá). Σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις, οι διεισδύσεις αυτές συνέβησαν κατά το Άνω Λιθανθρακοφόρο και είναι η αιτία για τα φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής που παρατηρούνται στο υπόβαθρο.

Τα γρανιτικά αυτά υλικά υπέστησαν την αλπική μεταμόρφωση (συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης) που έλαβε χώρα κατά το Άνω Ιουραϊκό - Κάτω Κρητιδικό. Όπως θα εξεταστεί παρακάτω, οι γρανίτες μαζί με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα είναι έντονα συμπτυχωμένοι. Στην Πελαγονική



ζώνη παρατηρούνται γρανιτικοί όγκοι οι οποίοι παραμένουν ανέπαφοι από την αλπική μεταμόρφωση, όπως επίσης παρατηρούνται γρανιτικές διεισδύσεις οι οποίες διεισδύουν η μία μέσα στην άλλη, γεγονός που οδηγεί στην υπόνοια ότι νεώτερα μάγματα διείσδυσαν στους γρανιτικούς αυτούς όγκους, αλλά ακόμα δεν βρέθηκαν στοιχεία για το πότε συνέβη αυτό το γεγονός.

Αλληπάλληλες ζώνες μυλωνιτίωσης παρατηρούνται σε ολόκληρη την Πελαγονική ζώνη. Ειδικότερα, μεγάλα τμήματα των γνευσιωμένων γρανιτών και ορισμένοι οφθαλμοειδείς γνεύσιοι, έχουν υποστεί έντονη μυλωνιτίωση. Το αρχικό πέτρωμα είναι γρανιτικό που σταδιακά μετατράπηκε σε οφθαλμογνεύσιο (πρωτομυλωνίτης), σχιστοειδή γνεύσιο (μυλωνίτης) και φυλλονίτη (υπερμυλωνίτης). Τα μυλωνιτικά αυτά φαινόμενα πιθανότατα συνδέονται με έντονα τεκτονικά γεγονότα, όπως π.χ. τη βύθιση του ωκεάνιου φλοιού της δυτικής λεκάνης και την επώθηση των οφειολίθων της Υποπελαγονικής πάνω στο ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής ή τα τεκτονικά συμπιεστικά και εφελκυστικά γεγονότα που συνέβησαν κατά το Τριτογενές.

Το συγκεκριμένο θέμα απασχολεί την παρούσα διπλωματική εργασία, επομένως θα αναπτυχθούν παρακάτω περισσότερα στοιχεία για την τεκτονική και τη μεταμόρφωση που υπέστη ο γρανιτικός όγκος στην περιοχή του Ανατολικού Βαρνούντα και του Βέρνου.

#### **4.3. Οι μετακλαστικές ακολουθίες του Πέρμιου – Τριαδικού**

Πάνω από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους συναντάμε μία μετα-ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά, πάχους 200m, αποτελούμενη από κλαστικά ιζήματα και ηφαιστειακά υλικά, όπως τόφφοι, όξινες και βασικές λάβες, η οποία αργότερα μεταμορφώθηκε. Τα ιζήματα αποτέθηκαν κατά το Πέρμιο – Κάτω Τριαδικό και μεταμορφώθηκαν κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Εμφανίζονται στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής και αντιπροσωπεύουν την παλιά περμοτριάδικη ιζηματογένεση ηπειρωτικής κατωφέρειας, που λάμβανε χώρα κατά τη διάρκεια της ηπειρωτικής διάρρηξης, η οποία οδήγησε στην ανάπτυξη ωκεάνιας περιοχής στο δυτικό μέρος της Πελαγονικής.

#### **4.4. Τα ανθρακικά καλύμματα του Τριαδικού – Ιουρασικού**

Η κύρια αλπική ιζηματογένεση στην Πελοποννήσια είναι νηριτική, ανθρακική κατά το Τριαδικό - Ιουρασικό και καλύπτει μεγάλες εκτάσεις της ζώνης. Πρόκειται για δύο ξεχωριστά ανθρακικά καλύμματα, εκ των οποίων το δυτικό αναπτύχθηκε κατά το Μέσο Τριαδικό – Άνω Ιουρασικό πάνω στα μετακλαστικά ιζήματα Πέρμιου - Κάτω Τριαδικού. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους διαφόρων τύπων με παρεμβολές ελάχιστων πηλινικών ενστρώσεων. Το συνολικό πάχος του καλύμματος αυτού είναι περίπου 600 – 800 m. Το ανατολικό κάλυμμα είναι παρα-αυτόχθονο, δηλαδή αποτέθηκε στο ανατολικό περιθώριο προς τη ζώνη Αλμωπίας και στη συνέχεια επωθήθηκε προς τα δυτικά πάνω στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα και είναι καθαρά νηριτικής σύστασης. Και στα δύο καλύμματα η μεταμόρφωση είναι αισθητή και θεωρείται ότι συνέβη κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

#### **4.5. Οι οφειόλιθοι και τα σύνοδα ιζήματα**

Σημαντικές αλλόχθονες οφειολιθικές μάζες (π.χ. οι οφειολιθικές σειρές που προαναφέρθηκαν) παρατηρούνται στην Πελοποννήσια, οι οποίες είναι τοποθετημένες τόσο πάνω στα δυο ανθρακικά καλύμματα που προαναφέρθηκαν όσο και στο εσωτερικό της ζώνης. Οι οφειόλιθοι έχουν προέρθει από τις ωκεάνιες περιοχές των ζωνών της Υποπελοποννήσιας και της ζώνης Αξιού και έχουν επωθηθεί πάνω στα ανθρακικά καλύμματα μαζί με άλλα ιζήματα βαθιάς θάλασσας σχηματίζοντας έτσι χαρακτηριστικά τεκτονικά μίγματα (melanges).

Η οφειολιθική μάζα αποτελείται από τα εξής πετρώματα: σερπεντινιωμένους δουνίτες, χαρτσβουργίτες και άλλα υπερβασικά πετρώματα, γάββρους, νορίτες και άλλα βασικά, pillow λάβες, διαβάσες και άλλα βασικά ηφαιστειακά και τόφφους. Τα συνοδά ιζήματα έχουν ως εξής: κερατόλιθοι με ραδιολαρίτες, αργιλικόι σχιστόλιθοι, ασβεστιτικοί πυριτιόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα με υλικά που προέρχονται από βασικά μαγματικά πετρώματα.

#### 4.6. Τα επικλυσιογενή ιζήματα του Μέσου – Άνω κρητιδικού

Κατά το Μέσο – Άνω Κρητιδικό παρατηρείται επίκλυση της θάλασσας και τοποθετούνται ασύμφωνα νέα ιζήματα πάνω στους οφειόλιθους και στα συνοδά τους πελαγικά ιζήματα, καθώς και στα ανθρακικά πετρώματα που έχουν πτυχωθεί κατά την Ανωϊουρασική – Κατωκρητιδική ορογένεση. Η στρωματογραφική διάρθρωση της περιόδου αυτής, ξεκινώντας από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα, έχει ως εξής:

- Κροκαλοπαγή, μικρολατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Κενομάνιο – Τουρώνιο)
- Μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι (Σαντώνιο – Καμπάνιο)
- Συμπαγής ασβεστόλιθος με απολιθώματα *Orbitoides media* (Μαιστρίχτιο)
- Φλύσχης που στην αρχή είναι σχιστώδης ασβεστιτικός, εξελίσσεται σε ασβεστοπηλιτικό – ψαμμιτικό και καταλήγει πηλιτικό – κροκαλοπαγές (Άνω Μαιστρίχτιο – αρχές Παλαιοκαίνου)

## **5. Τεκτονική και συνθήκες μεταμόρφωσης συνολικά στην Πελαγονική**

### **5.1. Τεκτοορογενετική εξέλιξη**

Η Πελαγονική ζώνη αποτελεί ένα ηπειρωτικό τέμαχος, το οποίο αποσπάστηκε από τη Gondwana και προσκόλλησε στην Ευρασία. Κατά την πορεία αυτής της μετακίνησης, το τέμαχος αυτό υπέστη επανειλημμένες παραμορφώσεις και μεταμορφώσεις, καθιστώντας το έτσι σε ένα πολυπαραμορφωμένο και πολυμεταμορφωμένο τέμαχος ηπειρωτικού φλοιού.

Ύστερα από πολυετείς τεκτονικές μελέτες, ομαδοποιήθηκαν οι τεκτονικές φάσεις σε τρεις ορογενετικές περιόδους σύμφωνα με έρευνες (Μουντράκης 1977, 1982, 1983, 1984, Κίλιας 1980, 1985, Kiliyas & Mountrakis 1989, Doutsos 1984, Vergely 1984).

#### **5.1.1. Πρώτη παραμορφωτική φάση Ερκύνιας ηλικίας**

Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής υπέστη την πρώτη παραμόρφωση πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο. Η φάση αυτή συμβαίνει ταυτόχρονα με την πρώτη μεταμόρφωση (συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης) του υποβάθρου, σχηματίζοντας πτυχές τέλειες ισοκλινείς μικροσκοπικής ή εκατοστιαίας κλίμακας με άξονα διεύθυνσης  $155^{\circ}$ - $160^{\circ}$ . Με την παραμόρφωση αυτή σχηματίζεται η κύρια φύλλωση των πετρωμάτων του υποβάθρου με σχιστότητα  $S_1$ , η οποία είναι παράλληλη στα αξονικά επίπεδα των ισοκλινών πτυχών.

#### **5.1.2. Δεύτερη ορογενετική περίοδος (Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό)**

Σε αυτήν την ορογενετική περίοδο καταστράφηκαν οι δύο ωκεάνιες περιοχές (Αξιού και Υποπελαγονικής – Πίνδου) εκατέρωθεν της Πελαγονικής με αποτέλεσμα την επώθηση των οφειολίθων (Άνω Ιουρασικό) με τα σύνοδα ιζήματα βαθιάς θάλασσας πάνω στο ανατολικό άκρο της Πελαγονικής. Από ενδείξεις, οι οφειόλιθοι επωθήθηκαν πρώτα στο ανατολικό κάλυμμα, με κατεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, δημιουργώντας μία πτύχωση ( $JE_1$ ) (πτυχές υποϊσοκλινείς έως ισοκλινείς με αξονική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ,  $150^{\circ}$ - $170^{\circ}$ ), η οποία συνοδεύεται από σχιστότητα  $S_2$  (κύρια σχιστότητα για τα πετρώματα του Άνω Παλαιοζωικού και Τριαδικοϊουρασικού).

Ταυτόχρονα γίνεται και η επώθηση του ανθρακικού καλύμματος πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Η επώθηση των οφειολίθων στο δυτικό κάλυμμα και το κλείσιμο της ωκεάνιας λεκάνης υπολογίζεται ότι έγινε κατά το Κάτω Κρητιδικό, δημιουργώντας μία πτύχωση ( $JE_2$ ) (πτυχές κλειστές – ανοιχτές, ισοπαχείς ή όμοιες συνοδευόμενες πολλές φορές από σχιστότητα ολίσθησης, με άξονα διεύθυνσης  $0^\circ - 30^\circ$  με απόκλιση A ή NA).

Κατά τη διάρκεια της ορογενετικής περιόδου Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού έγινε η δεύτερη μεταμόρφωση των σχηματισμών της Πελαγονικής και σε αυτήν την ορογενετική δράση αναδύθηκε η Πελαγονική όπως και όλες οι Εσωτερικές ζώνες και χέρσευσε μέχρι τη Μέσο- Άνω Κρητιδική επίκλυση.

#### 5.1.3. Τρίτη ορογενετική περίοδος του Τριτογενούς

Μετά το τέλος του Κρητιδικού και πριν το Μέσο Ηώκαινο, έγινε η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής.

Το διάστημα αυτό έλαβαν χώρα δύο τύποι πτύχωσης:

- 1) ( $CT_1$ ) ανοιχτές πτυχές, ισοπαχείς με γενική αξονική διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ με απόκλιση προς τα ΝΔ
- 2) ( $CT_2$ ) πτυχές κλειστές – ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ ( $70^\circ - 80^\circ$ ) με απόκλιση προς τα ΝΑ

Δεν έχει εξακριβωθεί για το ποια από τις δύο έχει λάβει χώρα πρώτη ή αν και οι δύο ανήκουν σε μία συνεχής συμπίεστική τεκτονική του Παλαιογενούς. Με αυτή την συμπίεστική τεκτονική του Τριτογενούς δημιουργήθηκαν μεγάλες πτυχές και μεγάλες δομές (π.χ. αντικλινική δομή του Καϊμακτσαλάν στην οροσειρά του Βόρα με άξονα  $125^\circ$  προς ΝΑ).

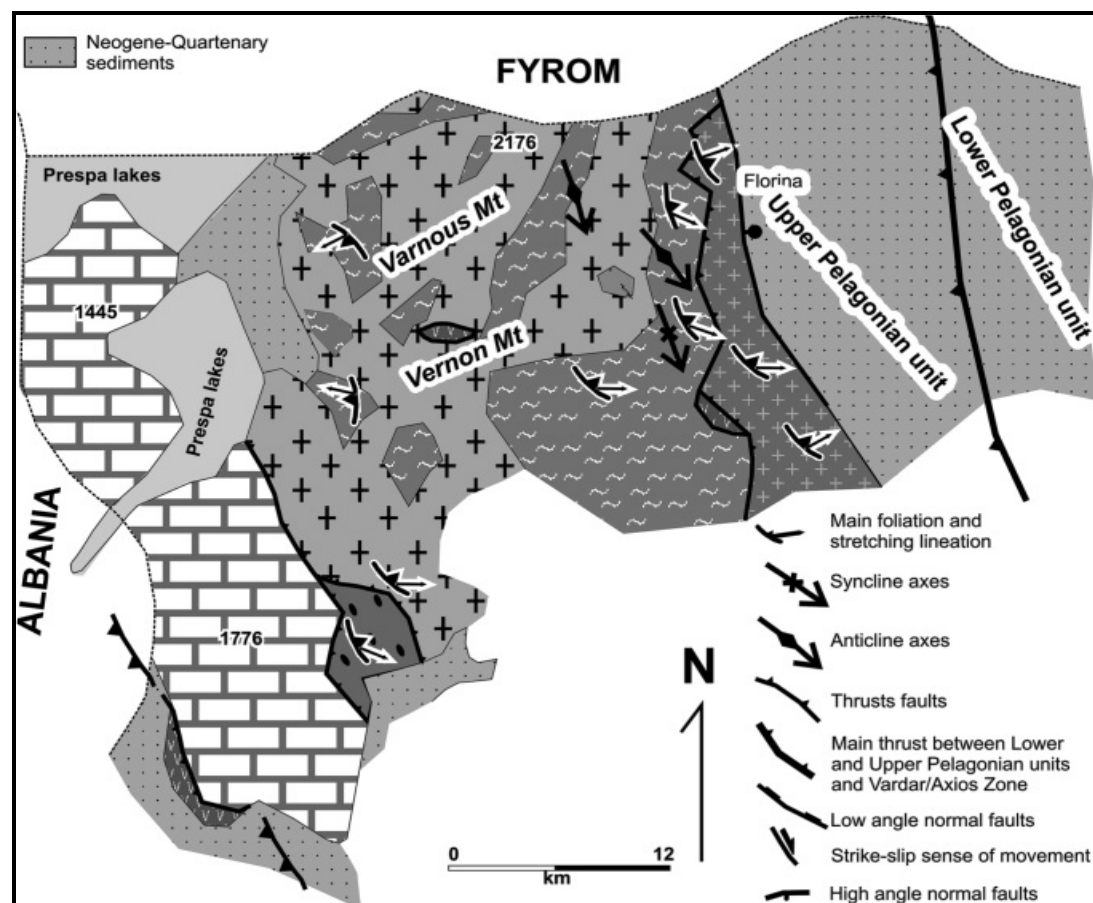
Τέλος, στο Ολιγόκαινο – Μειόκαινο έγινε η τελική παραμόρφωση ( $CT_3$ ) με πτυχές κάμψης πολύ ανοιχτές και τύπου knick γενικής αξονικής διεύθυνσης Β – Ν. Αυτές οι Τριτογενείς φάσεις πτυχώσεων προκάλεσαν λεπίωση των σχηματισμών και επώθηση των λεπίων από Α προς Δ. Η λεπίωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη συχνή αναστροφή των σχηματισμών (δυτικό περιθώριο Πελαγονικής – Δυτική Μακεδονία).

Στο Μέσο – Άνω Ολιγόκαινο και στο Μειόκαινο – Πλειόκαινο ακολούθησε η μεγάλη εφελκυστική τεκτονική παραμόρφωση της Πελαγονικής προκαλώντας έτσι

την κατάρρευση του ορογενούς και την αποκάλυψη του τεκτονικού παραθύρου του Ολύμπου.

## 5.2. Γεωτεκτονικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης

Σύμφωνα με τους Κορωναίος (1991) και Katerinopoulos et al. (1992) η περιοχή της Πελαγονικής που μας ενδιαφέρει, αποτέλεσε κατά το Λιθανθρακοφόρο μέρος ενός ηφαιστειακού τόξου από το οποίο προέκυψαν και τα πλουτωνικά πετρώματα. Επομένως, αναφερόμαστε σε ένα γεωτεκτονικό περιβάλλον κατάδυσης ωκεάνιας πλάκας κάτω από ηπειρωτική. Ο πλουτωνίτης συνδέεται με περιβάλλον συμπίεσης, σύγκλισης δηλαδή λιθοσφαιρικών πλακών (Σχήμα 3).



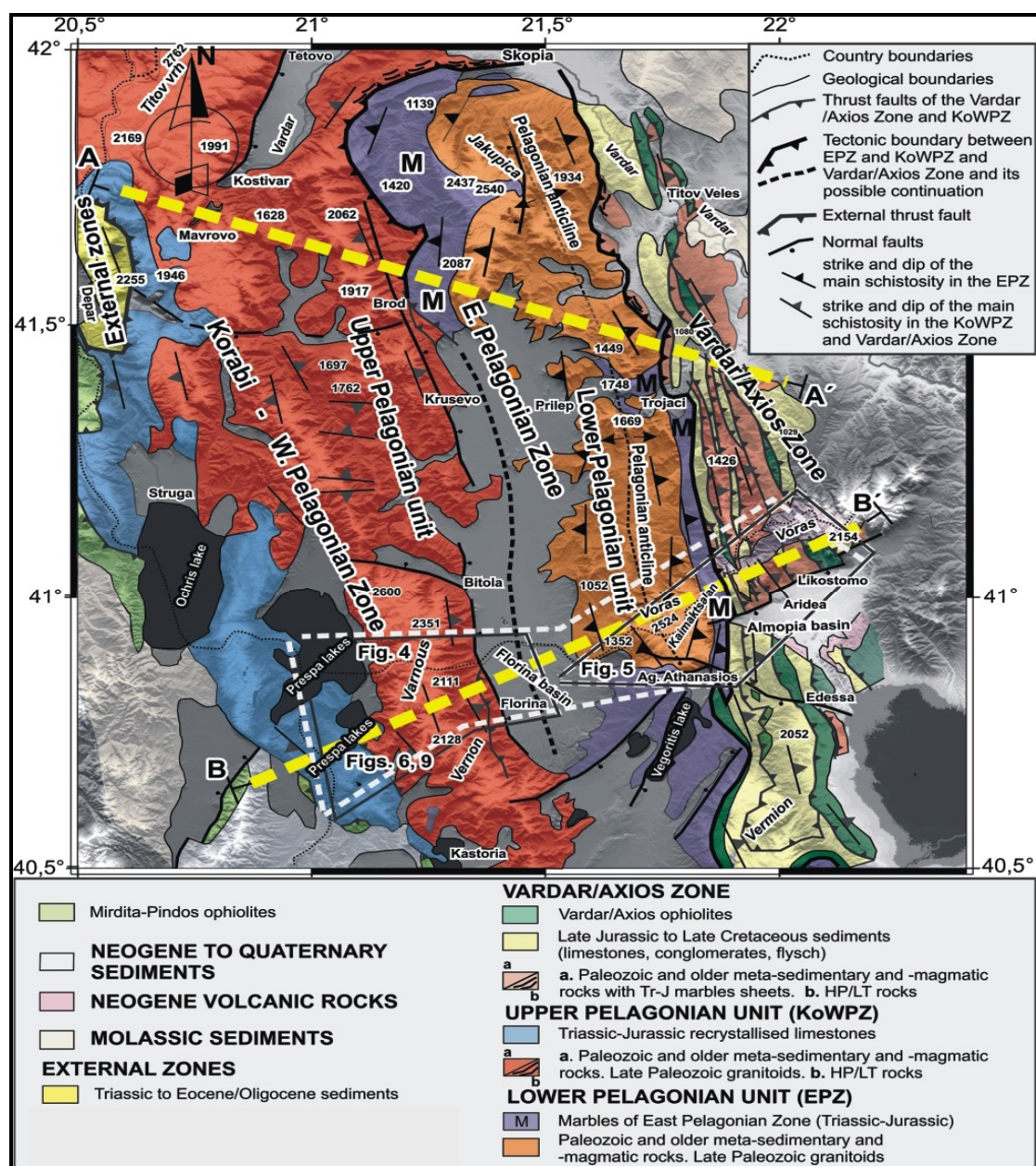
**Σχήμα 3.** Γεωλογία και δομές των ορεινών όγκων Βαρνούντα και Βέρνου στη ΒΔ Ελλάδα. Παρουσιάζονται οι κατώτερες μονάδες της Δυτικής πλευράς της Πελαγονικής ζώνης και του Περμο-Τριαδικού / Ιουρασικού καλύμματος με τους επωημένους οφειόλιθους. (Kiliyas et al. 2010)

### 5.3. Συνθήκες μεταμόρφωσης

Στα πετρώματα της Πελαγονικής επέδρασαν δύο μεταμορφώσεις. Η πρώτη έλαβε χώρα το Παλαιοζωικό (πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο) μεταμορφώνοντας το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο σε συνθήκες της κάτω πρασινοσχιστολιθικής φάσης ως και της άνω αμφιβολιτικής φάσης. Η δεύτερη χαρακτηρίζεται αλπική και έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό μεταμορφώνοντας μαζί με τους γρανίτες (Άνω Λιθανθρακοφόρο) τις μετακλαστικές σειρές (Πέρμιο – Κάτω Τριαδικό) και τα ανθρακικά καλύμματα (Τριαδικό – Ιουρασικό) σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Η αλπική μεταμόρφωση σαφώς έχει επηρεάσει και το ήδη μεταμορφωμένο υπόβαθρο προκαλώντας ανάδρομη μεταμόρφωση (προκύπτει από ραδιοχρονολογήσεις του κρυσταλλοσχιστώδους: ηλικίες μεταμόρφωσης 98-100 Ma, Αν. Ιουρασικό – Κατ. Κρητιδικό). Σε ορισμένες περιοχές παρατηρούνται κατά θέσεις συνθήκες μεταμόρφωσης υψηλών πιέσεων (γλαυκοφανιτική φάση).

## 6. Σχέσεις παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης

Συνολικά η Πελαγονική ζώνη είναι μία ζώνη πολυπτυχωμένη λόγω των αλληπάλλληλων τεκτονικών δομών της που λαμβάνουν χώρα κατά τη γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μεταμόρφωση των πετρωμάτων του υποβάθρου (Σχήμα 4). Οι γρανιτικοί όγκοι που διείσδυσαν, συνέβαλαν στη μεταμορφική διαδικασία, προσφέροντας θερμότητα ενώ ταυτόχρονα μεταμορφώνονται λόγω τεκτονικής.



**Σχήμα 4.** Γεωλογικός χάρτης της Βόρειας Πελαγονικής όπου φαίνονται τα αλληπάλλληλα τεκτονικά καλύμματα και η ζώνη Βαρδάρη / Αξιού (Kiliash et al. 2010). Οι τομές A-A' και B-B' φαίνονται στο σχήμα 6 παρακάτω.



Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει ποιες ήταν εκείνες οι συνθήκες μεταμόρφωσης που έλαβαν χώρα στην περιοχή του όρους Βαρνούντα. Σύμφωνα με τους Kiliyas et al. (2010) τα κύρια παραμορφωτικά γεγονότα που συνέβησαν στην περιοχή ήταν τα γεγονότα  $D_{HP}$ ,  $D_1$  και  $D_2$ . Για τα παραπάνω τεκτονικά – παραμορφωτικά γεγονότα οι μεταμορφικές συνθήκες ( $P - T$ ) υπολογίστηκαν από ορυκτά που αναπτύχθηκαν συνκινηματικά με αυτά. Η συνκινηματική ανάπτυξη των ορυκτών υποδεικνύεται από τον προσανατολισμό τους παράλληλα με τη φολίδωση και τη γράμμωση, από την ελικοειδή «σιγμοειδή» εσωτερική φύλλωση στρεφόμενων κρυστάλλων πλαγιокλάστων ή γρανατών και τη συνέχισή της στη φύλλωση του πετρώματος, καθώς και από τη δυναμική ανακρυστάλλωση του χαλαζία κατά μήκος της φύλλωσης. Η συνκινηματική ανάπτυξη του γρανάτη υποδεικνύεται από την εξωτερική φύλλωση που σε ορισμένες περιπτώσεις παρακάμπτεται γύρω από τους πορφυροβλάστες ενώ σε άλλες, διατηρείται αδιατάραχτη μέσα σε αυτούς.

Συγκεκριμένα στην περιοχή που μελετάμε, υπάρχουν νεότερες μελέτες που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι έλαβαν χώρα επτά τεκτονικά γεγονότα με διαφορετικά είδη παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης (Kiliyas et al. 2010) όπως περιοχική, αλλά και θερμική από επαφή. Η ανάλυση της τεκτονικής παρακάτω αναφέρεται περισσότερο στα αποτελέσματα αυτής στα ορυκτά και στα πετρώματα, και πώς η τεκτονική συνδέεται με τη μεταμόρφωση. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, η παραμόρφωση στην περιοχή είναι περίπλοκη, το ένα γεγονός επιδράει πάνω στο άλλο κι έτσι δεν είναι δυνατόν να διακριθούν.

Με βάση τις μεταβολές στις συνθήκες μεταμόρφωσης έχουμε αρχικά πλαστικές συνθήκες, έπειτα ημιπλαστικές και τέλος θραυστιγενείς. Οι εφελκυστικές και συμπιεστικές δυνάμεις εναλλάσσονται. Τα τεκτονικά γεγονότα σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα έχουν ως εξής:

### **6.1. Γεγονός DHP**

Τεκτονική. Οι δομές υψηλής πίεσης διατηρούνται μεταξύ των ορίων της Ανώτερης Πελαγονικής Ζώνης (EPZ) και της Κατώτερης Πελαγονικής Ζώνης (KoWPZ) και μπορούν να εντοπισθούν πάνω από το κάλυμμα μάρμαρων της EPZ. Χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μιας υπολειμματικής  $S_{HP}$  φύλλωσης που

συνδέεται με μια γράμμωση διεύθυνσης ΔΒΔ – ΑΝΑ. Ορυκτά που καθορίζουν αυτή τη γράμμωση είναι η μπλε αμφίβολος, ο λευκός μαρμαρυγίας και ο χλωρίτης. Οι Majer & Mason (1983) αναφέρουν επίσης νατριούχο πυρόξενο που σχετίζεται με αυτό το γεγονός υψηλής πίεσης.

Μεταμόρφωση. Η εμφάνιση του φεγγίτη, του γλαυκοφανή, της κεροσίλβης σύστασης μπαροϊσίτη, και του ρουτιλίου μέσα σε αμφιβολίτες, γνεύσιους και σχιστόλιθους κατά μήκος των βόρειων, δυτικών και ανατολικών τεκτονικών ορίων της EPZ υποδηλώνει την ύπαρξη ενός γεγονότος υψηλής πίεσης. Νατριούχος πυρόξενος έχει βρεθεί μεταξύ των ορίων της ζώνης EPZ και της ζώνης Βαρδάρη / Αξιού (Majer & Mason, 1983). Ο φεγγιτικός λευκός μαρμαρυγίας, με μέγιστο 3,5 άτομα Si ανά δομική μονάδα (apfu), από το γλαυκοφανιτικό σχιστόλιθο που βρίσκεται τεκτονικά πάνω από το κάλυμμα μαρμάρων της EPZ κοντά στα Σκόπια, δηλώνει ελάχιστη πίεση 12,5 kb (γλαυκοφανιτική φάση) για το γεγονός D<sub>HP</sub> (βαρόμετρο φεγγίτη, Massonne & Schreyer 1987) για μια θερμοκρασία 450-500°C (Most 2003).

## 6.2. Γεγονός D<sub>1</sub>

Τεκτονική. Η κύρια κατεύθυνση της κίνησης είναι ΔΒΔ ή ΒΔ, με ελάχιστες αποκλίσεις, αποτυπώνοντας τις κύριες πλαστικές δομές που είναι διατηρημένες κατά μήκος της ανώτερης τεκτονικής επαφής. Τα ορυκτά που ορίζουν τη γράμμωση L<sub>1</sub> και τη φολίδωση S<sub>1</sub> είναι χλωριτοειδής, λευκός μαρμαρυγίας, χλωρίτης, καλιούχος άστριος ή/και πλαγιόκλαστο, γρανάτης, χαλαζίας (με μορφή κορδέλας), σταυρόλιθος, κυανίτης και τσερμακίτική κεροσίλβη. (Σχήμα 5)

Μεταμόρφωση. Οι κύριες παραγενέσεις του D<sub>1</sub> γεγονότος της EPZ που χρησιμοποιήθηκαν για τις θερμοβαρομετρικές έρευνες έχουν ως εξής. Οι μεταπηλίτες χαρακτηρίζονται από γρανάτη, λευκό μαρμαρυγία, βιοτίτη, χλωρίτη, χλωριτοειδή, χαλαζία, πλαγιόκλαστα, ιλμενίτη, τιτανίτη, κυανίτη και επίδοτο. Ο σταυρόλιθος εμφανίζεται στα κατώτερα τεκτονικά επίπεδα και μόνο. Ο χλωριτοειδής και το ρουτίλιο (ως υπολειμματικό ορυκτό της HP) συχνά εγκλείονται σε πορφυροβλάστες γρανατών και εμφανίζουν, σε ορισμένες περιπτώσεις, μία καλά ανεπτυγμένη εσωτερική φολίδωση. Το ρουτίλιο συχνά αντικαθίσταται από ιλμενίτη. Από τα εγκλείσματα ρουτιλίου στο D<sub>1</sub> γρανάτη μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι η

εκδήλωση της υψηλής πίεσης ξεκίνησε πριν από το D<sub>1</sub> γεγονός ή ότι διατηρήθηκε μετά από αυτό. Οι αμφιβολίες περιέχουν πράσινη αμφίβολο, γρανάτη, λευκό μαρμαρυγία, επίδοτο, πλαγιόκλαστα και βιοτίτη.

Στα ανώτερα τεκτονοστρωματογραφικά επίπεδα της EZP, οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν κυμαίνονται από 450°C έως 580° C, για μία πίεση 10 kb. Στα χαμηλότερα επίπεδα οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 520°C και 620°C για την ίδια πίεση. Οι πιέσεις υπολογίστηκαν με την μέθοδο Tweeq και παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών μεταξύ 8 και 12,5 kb. Το Si στο λευκό μαρμαρυγία του D<sub>1</sub> γεγονότος κυμαίνεται, κατά μέσο όρο, μεταξύ 3,2 και 3,4 άτομα ανά δομικό τύπο. Αυτό δείχνει ελάχιστες πιέσεις από περίπου 6 έως 12 kb για τις εκτιμώμενες θερμοκρασίες. Η μείωση της περιεκτικότητας σε Si από 0,1 στα 0,2 άτομα ανά δομικό τύπο από τον πυρήνα προς την περιφέρεια στο λευκό μαρμαρυγία αποδίδεται στη μείωση της πίεσης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ορυκτών.

Η μεταβαλλόμενη σύσταση, από τον πυρήνα προς την περιφέρεια στους πορφυροβλάστες του γρανάτη, αντανακλά μια αλλαγή στις θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους (Spear et al. 1990). Η αύξηση του λόγου X(Alm) και Mg / (Mg + Fe), καθώς και η μείωση του X(Sps) υποδηλώνουν αυξανόμενες συνθήκες θερμοκρασίας. Σε ορισμένους γρανάτες, οι παραπάνω λόγοι δεν εμφανίζουν μεταβολή, υποδεικνύοντας είτε θερμική εξισορρόπηση είτε ανάπτυξη αυτών των γρανατών υπό σταθερή θερμοκρασία.

Οι συστάσεις των αμφιβόλων βρίσκονται κοντά στην ισόβαθμη του ολιγοκλάστου στο διάγραμμα κατά Laird et al. (1984). Η περιεκτικότητα σε Ti (0,03-0,06 άτομα ανά δομικό τύπο) και Al<sup>VI</sup> (0,4-0,6 άτομα ανά δομικό τύπο) στο βιοτίτη στα χαμηλότερα τεκτονικά επίπεδα δείχνουν συνθήκες χαμηλής έως μέσης αμφιβολιτικής φάσης (T = 520° έως 600° C).

### 6.3. Γεγονός D<sub>2</sub>

Τεκτονική. Οι άξονες των πτυχών είναι κυρίως υποοριζόντιοι ή ελαφρά βυθιζόμενοι προς τα ΒΔ ή ΝΑ με αποκλίσεις. Τα ορυκτά που καθορίζουν το γεγονός αυτό δείχνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από το D<sub>1</sub> γεγονός (πρασινοσχιστολιθική φάση). Ο λευκός μαρμαρυγίας γίνεται λεπτομερέστερος μεταπίπτοντας σε σερίκητη,

ο γρανάτης χλωριτώνεται και η αμφίβολος μετατρέπεται σε ακτινόλιθο ή σε ακτινολιθική κεροστίλβη (Σχήμα 5).

Μεταμόρφωση. Το σύνολο των ορυκτών του D<sub>1</sub> γεγονότος που αντικατοπτρίζει συνθήκες μεταμόρφωσης πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης υπέστησαν ανάδρομη μεταμόρφωση στην κατώτερη πρασινοσχιστολιθική φάση κατά τη διάρκεια του D<sub>2</sub> γεγονότος, το οποίο παρουσιάζεται εμφανώς στα υψηλότερα επίπεδα της EPZ. Ο σερίκίτης, ο ακτινόλιθος, ο χλωρίτης, ο ιλμενίτης, ο τιτανίτης, το επίδοτο και ο χαλαζίας αποτελούν την παραγένεση των ορυκτών αυτού του γεγονότος. Παρατηρείται αντικατάσταση των ορυκτών του D<sub>1</sub> γεγονότος, η οποία έχει ως εξής: στους μεταπηλίτες, ο βιοτίτης και ο γρανάτης αντικαθίσταται από χλωρίτη και ο λευκός μαρμαρυγίας από σερίκίτη ενώ στους αμφιβολίτες η κεροστίλβη αντικαθίσταται από ακτινόλιθο και χλωρίτη.

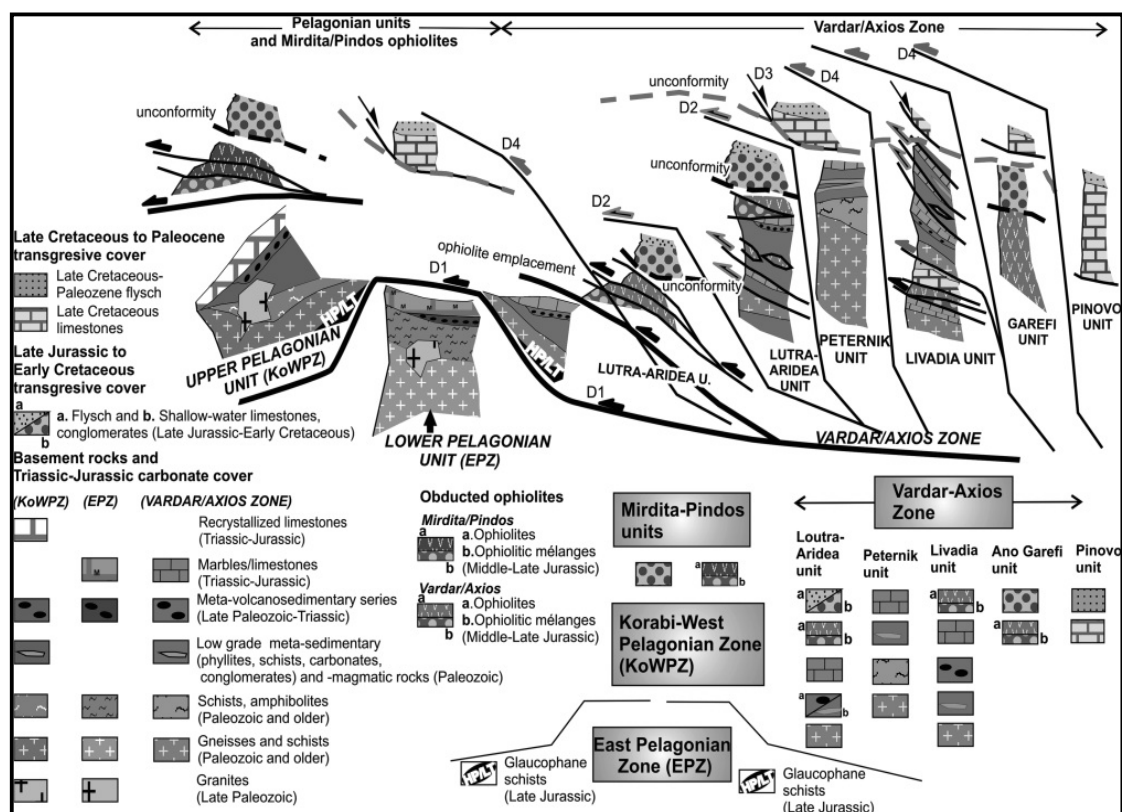
Χρησιμοποιώντας το θερμόμετρο του χλωρίτη για τους χλωρίτες του D<sub>2</sub> γεγονότος υπολογίστηκε ένα εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 280 - 380°C, για πιέσεις 4-5 kb.

#### **6.4. Γεγονός D<sub>3</sub>**

Χαρακτηρίζεται από χαμηλού βαθμού μυλωνίτες και υπερμυλωνίτες με δυναμικά ανακρυσταλλωμένο χαλαζία. Η μυλωνιτική φολίδωση S<sub>3</sub> βυθίζεται γενικά προς ΒΑ. Δείκτες διάτμησης όπως οι δομές τύπου S και C, μαρμαρυγίας με μορφή «ψαριού», ασύμμετρα boudins και σκιές πίεσης γύρω από λευκό μαρμαρυγία ή πορφυροβλάστες αστρίων υποδηλώνουν μια καθοδική διάτμηση (Σχήμα 5).

#### **6.5. Γεγονός D<sub>4</sub>**

Χαρακτηριστικό αυτού του γεγονότος είναι οι ανοικτές έως κλειστές πτυχωσεις με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ καθώς και διακριτές ημιπλαστικές και θραυσιγενείς διατμητικές ζώνες που δηλώνουν επωθήσεις προς τα ΝΔ. Το γεγονός αυτό έλαβε χώρα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα προηγούμενα γεγονότα και άρα σε μικρότερα βάθη. Χαρακτηριστική αυτού του γεγονότος είναι η δυναμική ανακρυστάλλωση του χαλαζία (Σχήμα 5).



**Σχήμα 5.** Η τεκτονονοστροματογραφία (όχι σε κλίμακα) ζώνης Βαρδάρη / Αξιού και των αλληπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων της Πελαγονικής, από τα τεκτονικά γεγονότα D<sub>1</sub> ως D<sub>4</sub>. (σχήμα από Kilias et al 2010).

## 6.6. Γεγονός D<sub>5</sub>

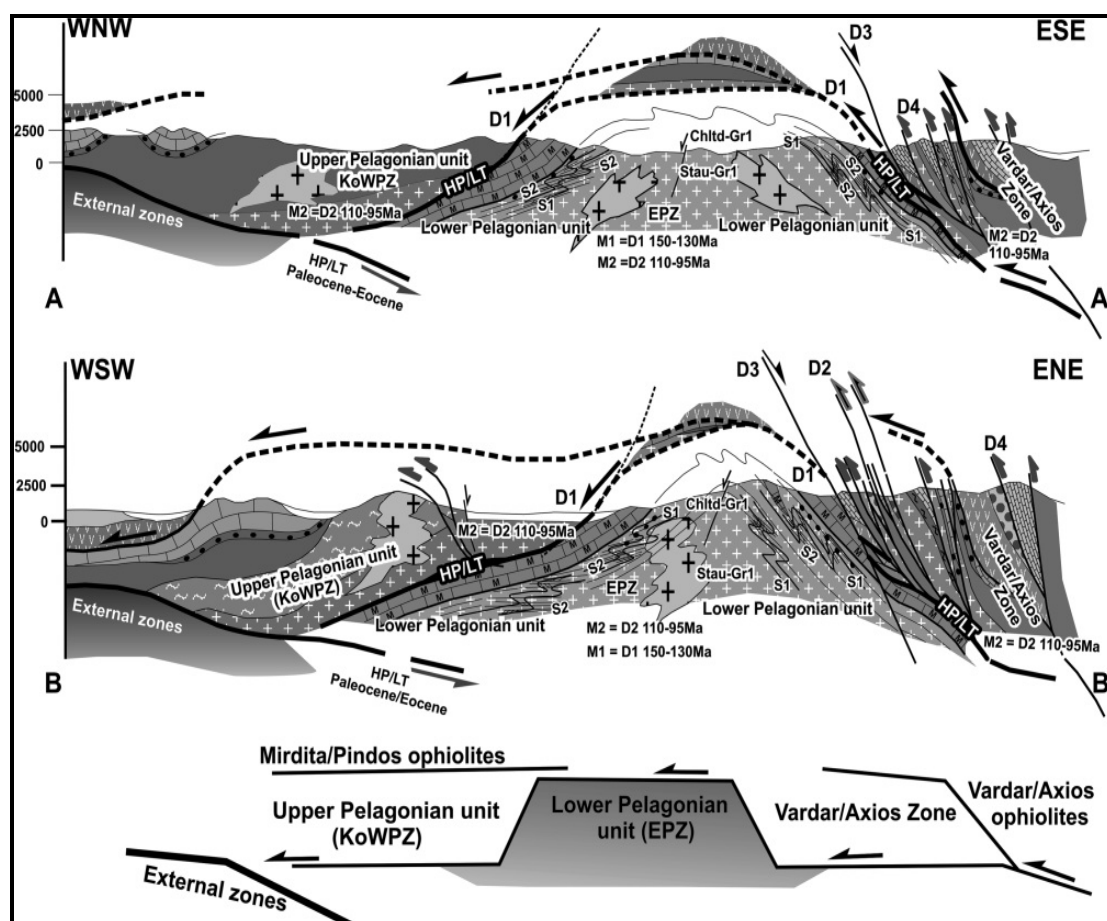
Το γεγονός αυτό ορίζεται από εύθραυστες διατμητικές ζώνες μικρής κλίσης, με κανονική μετατόπιση προς τα ΒΔ, που διαπερνούν όλα τα προηγούμενα τεκτονικά γεγονότα. Οι διατμητικές ζώνες του D<sub>5</sub> γεγονότος αναγνωρίζονται καλά στους γρανίτες και στους ορθογνευσίους της Πελαγονικής και της ζώνης Βαρδάρη/Αξιού.

## 6.7. Γεγονός D<sub>6</sub>

Οι δομές του D<sub>6</sub> γεγονότος αποτυπώνονται πάνω σε όλες τις προηγούμενες δομές και αντιπροσωπεύουν το τελικό στάδιο της ορογενετικής διαδικασίας. Σε αυτή την τελική φάση, λόγω των εφελκυστικών δυνάμεων που λαμβάνουν χώρα, δημιουργούνται κανονικά ή οριζόντιας μετατόπισης ρήγματα μεγάλης κλίσης τα οποία σχετίζονται με τη δημιουργία Νεογενών και Τεταρτογενών λεκανών στην περιοχή μελέτης. Ορισμένα από αυτά τα ρήγματα δείχνουν πρόσφατη δραστηριότητα, όπως το ρήγμα στο βόρειο περιθώριο της λεκάνης της Αλμωπίας.

## 6.8. Νεότερα γεγονότα

Οι χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένοι μυλωνίτες και υπερμυλωνίτες που ανήκουν στο D3 γεγονός χαρακτηρίζονται από τη δυναμική ανακρυστάλλωση του χαλαζία, το χαλαζία με τη μορφή κορδέλας και το ισχυρά προσανατολισμένο δικτυωτό πλέγμα χαλαζία. Οι πορφυροκλάστες αστρίων μπορεί να είναι σπασμένοι δείχνοντας υποκοκκώδη σχηματισμό και βρίσκονται μέσα σε μάζα αποτελούμενη από ανακρυσταλλωμένο χαλαζία και σερίκη. Μία καλά αναπτυγμένη υφή S - C φαίνεται από τον προσανατολισμό του χαλαζία και των μαρμαρυγιών. Η δυναμική ανακρυστάλλωση του χαλαζία και ο λευκός μαρμαρυγίας ή ο χλωρίτης παρατηρούνται τοπικά κατά μήκος των ρηγμάτων επώθησης του D<sub>4</sub> καθώς και των εφελκυστικών ζωνών μικρής γωνίας κλίσης και των ζωνών διάτμησης που σχετίζονται με αυτές του γεγονότος D<sub>5</sub>.



Σχήμα 6. Οι τομές του σχήματος είναι οι τομές A-A' και B-B' του σχήματος 3. Σχήμα από Kilias et al. 2010.

## **7. Πετρογραφία και Ορυκτολογία της Περιοχής**

Σύμφωνα με πετρογραφικό χάρτη της περιοχής του Βαρνούντα (Σχήμα 7), εμφανίζονται δύο κύριοι τύποι πετρωμάτων: α) πλουτωνικά πετρώματα και β) μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου. Τα πλουτωνικά διεισδύουν στα μεταμορφωμένα του υποβάθρου. Στα πλουτωνικά πετρώματα περιλαμβάνονται πετρώματα με τυπικό γρανιτικό ιστό και όρθο- πετρώματα με γνευσιακή υφή όπως πράσινοι οφθαλμογενεύσιοι και σικτοί γνεύσιοι. Σύμφωνα με Κίλια (1980, 1982) οι σικτοί γνεύσιοι και οι οφθαλμογενεύσιοι είναι πυριγενούς προέλευσης και η διείσδυση αυτών στο σύστημα των μεταμορφωμένων έγινε κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών τεκτονικών γεγονότων Π1 (ανώτερο Ιουρασικό) και Π2 (κατώτερο Κρητιδικό). Στην παρούσα εργασία μελετάται η σχέση των πράσινων οφθαλμογενευσίων με τα τυπικά πλουτωνικά καθώς οι σικτοί γνεύσιοι θεωρείται ότι αποτελούν γνευσιωμένα περιφερειακά τμήματα του πλουτωνίτη. Για την ταξινόμηση των τυπικών πλουτωνικών και γνευσιακών πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Streckeisen & Le Maitre (1979) και σύμφωνα με τα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν (Κορωναίος 1991) παραθέτονται παρακάτω οι εξής πετρογραφικοί τύποι της περιοχής του Αν. Βαρνούντα:

1. Κεροστιλβικός - βιοτιτικός - χαλαζιακός μονζονίτης (KBXM)
2. Βιοτιτικός - χαλαζιακός μονζονίτης (BXM)
3. Βιοτιτικός γρανίτης (ΒΓ)
4. Κεροστιλβικός - βιοτιτικός μονζοδιορίτης (KBMD)
5. Λευκογρανίτης (ΛΓ)
6. Απλίτης (ΑΠ)
7. Μονζονιτικά εγκλείσματα (ΜΕΓΚ)
8. Οφθαλμογενεύσιοι χαλαζιομονζονιτικής σύστασης (ΟΓΝ)
  - i. Μεγάλες αυτοτελείς μάζες γνευσίων (ΟΓΝΑ)
  - ii. Μικρές εμφανίσεις γνευσίων μέσα στο πλουτωνίτη (ΟΓΝΒ)
9. Σικτοί γνεύσιοι χαλαζιομονζονιτικής σύστασης (ΣΤΓΝ)

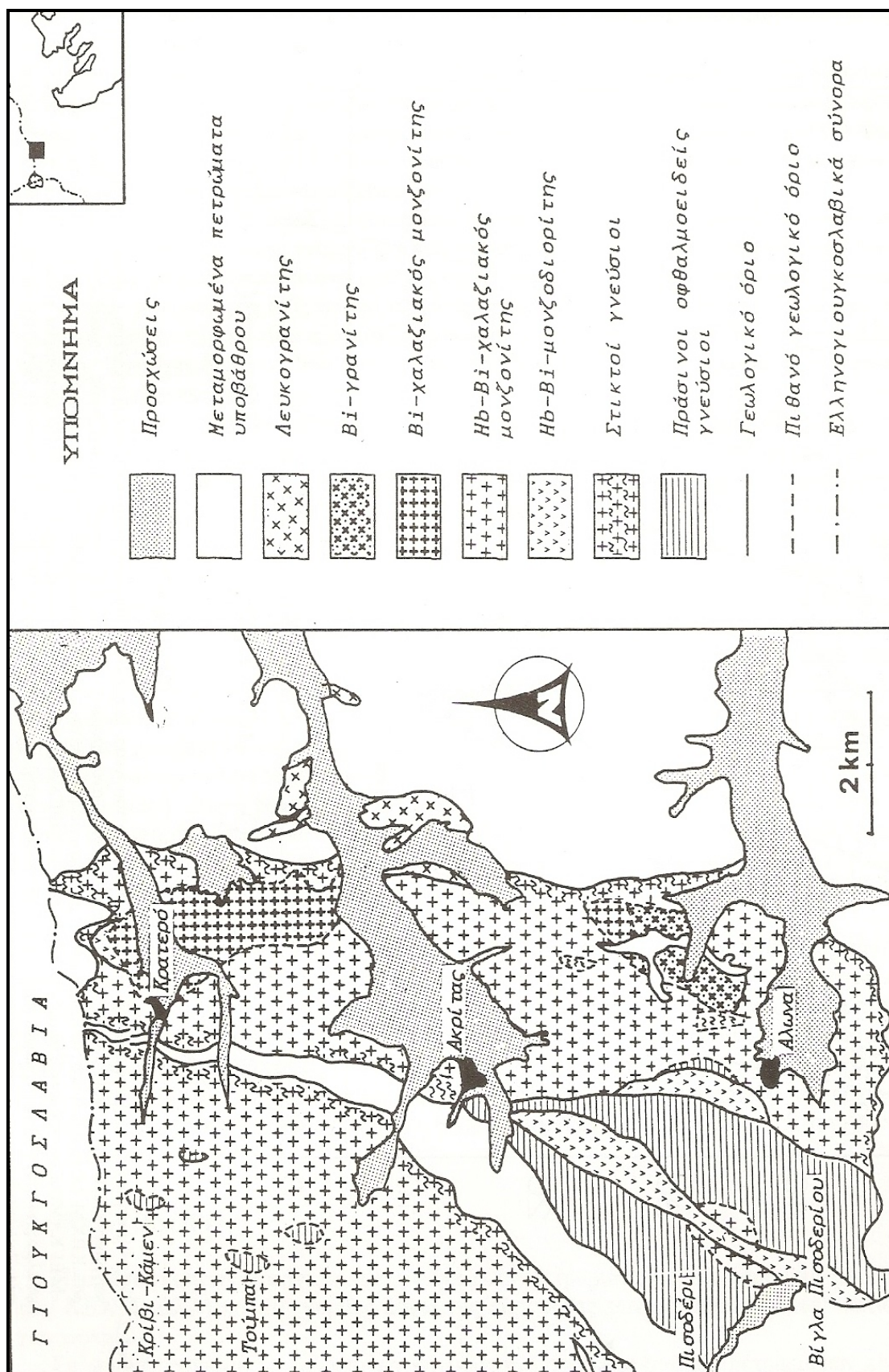
Στις επαφές του πλουτωνίτη με τα περιβάλλοντα πετρώματα σχηματίζονται κερατίτες.

Με βάση αυτή την ταξινόμηση και σύμφωνα με τη συγκριτική, ορυκτολογική, πετρολογική και γεωχημική μελέτη των πετρωμάτων της περιοχής του Βαρνούντα (Κορωναίος 1995) παρατηρήθηκαν τα εξής:

i. Στις επαφές του KBXM και του BXM με τα περιβάλλοντα πετρώματα απαντάται σχεδόν πάντοτε ο στικτός γνεύσιος, αλλά και μερικές φορές μέσα στη μάζα των παραπάνω πετρογραφικών τύπων στο ανατολικό τμήμα της περιοχής. Δεν σχηματίζει επαφές με τα χαλαζιακά μονζονιτικά πετρώματα, αλλά τα τελευταία μοιάζουν να αποκτούν επίπεδη υφή σταδιακά όσο πλησιάζουμε προς τα περιβάλλοντα πετρώματα του πλουτωνίτη. Υπάρχει επομένως μια βαθμιαία μετάβαση. Σε πολλές περιπτώσεις μοιάζει να αποτελεί κάλυμμα του πλουτωνικού πετρώματος.

ii. Τα όρια των οφθαλμογενευσίων με τους διάφορους πετρογραφικούς τύπους της σειράς των πλουτωνικών πετρωμάτων είναι εντελώς ασαφή. Δεν έχουν παρατηρηθεί επαφές μεταξύ των ΟΓΝ και του KBXM αλλά ομαλές μεταβάσεις, τόσο στους μεγάλους γνευσιωμένους όγκους, όσο και στα μικρότερα τμήματα που είναι εγκλωβισμένα μέσα στον πλουτωνίτη. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μέσα στους οφθαλμογενευσίους και στους στικτούς γνευσίους υπάρχουν εγκλείσματα που έχουν την ίδια ορυκτολογική σύσταση με τα μονζονιτικά εγκλείσματα που βρίσκονται στους πλουτωνίτες. Τα όρια επίσης των οφθαλμογενευσίων με τον κεροστιλβικό - βιοτιτικό μονζοδιορίτη δεν είναι σαφή. Όλες αυτές οι παρατηρήσεις δημιουργούν προβληματισμό όσον αφορά τη δημιουργία και εξέλιξη των πετρωμάτων αυτών. Η άρρηκτη σχέση και προέλευση των οφθαλμογενευσίων από τα πλουτωνικά πετρώματα της περιοχής είναι δεδομένη. Το κύριο αντικείμενο της διπλωματικής είναι η αποσαφήνιση της σχέσης των πετρωμάτων της περιοχής του Αν. Βαρνούντα και στην εξαγωγή συμπεράσματος ως αναφορά τις διαδικασίες μεταμόρφωσης και τεκτονισμού που έλαβαν χώρα στο πέρασμα των γεωλογικών χρόνων που επηρέασαν τα παραπάνω πετρώματα. Η εικόνα που παρατηρήθηκε αρκετές φορές είναι εναλλαγές οφθαλμογενευσίων με γνευσιωμένο μονζοδιορίτη, όπου ποσοτικά κυριαρχεί ο τελευταίος.





Σχήμα 7. Πετρολογικός χάρτης του Ανατολικού Βαρνούντα (Κορωναίος 1995).

## **8. Περιγραφή των δύο πετρολογικών τύπων και σύγκριση ορυκτών που καθορίζουν τις συνθήκες μεταμόρφωσης**

### **8.1. Κεροσιλβικός – βιοτιτικός – χαλαζιακός μονζονίτης (KBXM)**

#### **Μακροσκοπικά**

Ο KBXM εμφανίζεται σαν μεσόκοκκο ως ανδρόκοκκο πέτρωμα, του οποίου η κύρια μάζα έχει τυπικό γρανιτικό ιστό. Εμφανίζονται μεγακρύσταλλοι καλιούχων αστρίων με λευκό ως ρόδινο χρώμα και μέγεθος ως και 5 cm. Έτσι το πέτρωμα αποκτά πορφυροειδή ιστό, ο οποίος από τα ΝΔ προς τα Β χάνεται μακροσκοπικά λόγω της μείωσης του μεγέθους των κρυστάλλων. Η συμμετοχή των αστρίων στο πέτρωμα κυμαίνεται από 3% ως 20%.

Το χρώμα του είναι τεφρό ως τεφρόλευκο και ανάλογα με τη συμμετοχή των φεμικών γίνεται σκουρόχρωμο. Ανατολικότερα εμφανίζεται πρασινωπός λόγω της συμμετοχής του επιδότου ή ερυθρωπός λόγω του εμποτισμού του από διαλύματα σιδηροξειδίων. Αυτές οι αλλαγές στο χρώμα είναι συνήθως τοπικές και σε πολύ μικρή κλίμακα. Δυτικά, από Ν προς Β, παρατηρείται αύξηση της συμμετοχής των φεμικών και ταυτόχρονη σταδιακή μείωση του ποσοστού του χαλαζία, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται πιο σκουρόχρωμο.

#### **Μικροσκοπικά**

Ο KBXM αποτελείται από χαλαζία, καλιούχους αστρίους, πλαγιόκλαστα, βιοτίτη, κεροσίλβη, απατίτη, τιτανίτη, ζirkόνιο, επίδοτο, αλλανίτη, αδιαφανή ορυκτά, χλωρίτη και σερίκίτη. Τα ποσοστά των ορυκτών δίνονται στον παρακάτω πίνακα 1, με μέγιστες και ελάχιστες τιμές.

Κεροσιλβικός – Βιοτιτικός – Χαλαζιακός Μονζονίτης (KBXM)

|              | Ελάχιστο (%) | Μέγιστο (%) |
|--------------|--------------|-------------|
| Χαλαζίας     | 8,4          | 28,3        |
| Κ – άστριος  | 9,5          | 44,4        |
| Πλαγιόκλαστο | 24,5         | 53,2        |
| Βιοτίτης     | 5,8          | 17,7        |
| Κεροσίλβη    | 2,0          | 14,7        |
| Λοιπά ορυκτά | 0,5          | 5,2         |

**Πίνακας 1.** Ποσοστιαία συμμετοχή των ορυκτών στον KBXM.

Ο χαλαζίας σχηματίζει μικρούς και μεγάλους κρυστάλλους που γεμίζουν τα σπασίματα ή τα κενά μεταξύ των άλλων ορυκτών.

Τα πλαγιόκλαστα σχηματίζουν ιδιόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους, μεγέθους ως και 5mm. Έχουν σύσταση όξινου ολιγοκλάστου ως όξινου ανδεσίνη. Παρατηρείται ζώνωση και πολυδυμία (αλβιτική, albite – Carlsbad, περικλινική). Οι αλλοιώσεις που παρουσιάζουν τα πλαγιόκλαστα είναι η σερικιτίωση και σπανιότερα η καολινίωση, ενώ επίσης εμφανίζουν αντιπερθιτικά φαινόμενα.

Ο καλιούχος άστριος είναι μικροκλινής με μικροκλινική διδυμία και εμφανίζει περθίτες. Μικροσκοπικά σε όλες τις τομές παρατηρείται πορφυροειδής ιστός. Μέσα στο μικροκλινή εγκλείονται πλαγιόκλαστα, βιοτίτης, κεροστίλβη, επίδοτο και τιτανίτης. Τέλος εμφανίζονται σπάνια μυρμηκιτικά φαινόμενα.

Ο βιοτίτης εμφανίζεται σε ιδιόμορφους ή υπιδιόμορφους κρυστάλλους, με πρισματική ή φυλλώδη μορφή και χρώματα από κιτρινοπράσινα ως σκούρα καστανά. Αντικαθίσταται συχνά από μικροκλινή, πλαγιόκλαστα και χαλαζία. Μέσα σε αυτόν εγκλείονται ορυκτά όπως απατίτης, τιτανίτης και ζirkόνιο, ενώ παρατηρείται συχνά δίκτυο σαγενίτη (βελονοειδείς κρύσταλλοι ρουτιλίου). Είναι γενικά αναλλοίωτος. Παράλληλα στο σχισμό εμφανίζεται δευτερογενής μοσχοβίτης.

Η κεροστίλβη σχηματίζει ιδιόμορφους και υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Αντικαθίσταται κυρίως από βιοτίτη και σπανιότερα μετατρέπεται σε ακτινόλιθο. Εγκλείει ιδιόμορφους κρυστάλλους απατίτη, τιτανίτη και πολύ συχνά μαγνητίτη. Τα χρώματα πλεοхроϊσμού είναι καστανοκίτρινα, πράσινα, ελαιοπράσινα.

Στα επουσιώδη ορυκτά ανήκουν ο αλλανίτης (ιδιόμορφοι κρύσταλλοι συχνά ζωνώδεις), το επίδοτο (παρουσιάζεται σε επιταξική ανάπτυξη με τον αλλανίτη), ο τιτανίτης (μεγάλοι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι), ο απατίτης, το ζirkόνιο και ο μαγνητίτης. Από τα δευτερογενή ορυκτά εμφανίζονται το επίδοτο, ο σερικήτης, το ζirkόνιο και ο μαγνητίτης.

## **8.2. Οφθαλμογενεύσιος (ΟΓΝ)**

Οι οφθαλμογενεύσιμοι καταλαμβάνουν μία αρκετά μεγάλη έκταση στην περιοχή και βρίσκονται σε μεγάλες (ΟΓΝΑ) και σε μικρές (ΟΓΝΒ) εμφανίσεις οι οποίες βρίσκονται μέσα στον KBXM και δεν ξεπερνούν τα 0,1 km<sup>2</sup>. Εμφανίσεις μέσα στον

KBXM υπάρχουν στο δυτικό κυρίως τμήμα (περιοχές όπως η Τούμπα, το Ανθοβούνι κ.ά.).

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί τα όρια μεταξύ των ορθογνευσίων και των πλουτωνικών πετρωμάτων είναι ασαφή και οι δύο τύποι συνδέονται με σταδιακές μεταβάσεις.

### **Μακροσκοπικά**

Οι οφθαλμογνεύσιοι είναι πρασινωπά πετρώματα. Η υφή τους είναι επίπεδη που πολλές φορές μεταβαίνει σε σχιστοποιημένη. Οι οφθαλμοί των καλιούχων αστρίων είναι λευκόγκριζοι ως ρόδινοι με μέγεθος που φτάνει τα 4 cm. Επίσης δεν παρατηρούνται σαφείς διαφορές με τον KBXM.

### **Μικροσκοπικά**

Ο ιστός του οφθαλμογνευσίου είναι πορφυροειδής με λεπτόκοκκη ως μεσόκοκκη μάζα. Τα ορυκτά του είναι χαλαζίας, καλιούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστα, βιοτίτης, κεροστίλβη, τιτανίτης, χλωρίτης, επίδοτο, αλλανίτης, απατίτης, ζirkόνιο και σερίκίτης (παρόμοια ορυκτολογική σύσταση με τον KBXM).

Μέσα στη λεπτόκοκκη μάζα, που αποτελείται κυρίως από σερίκίτη, λεπτομερή χαλαζία, χλωρίτη και επίδοτο συνυπάρχουν κρύσταλλοι των υπολοίπων ορυκτών και κρύσταλλοι χαλαζία με έντονη κυματοειδή κατάσβεση.

Ο καλιούχος άστριος (περθιτιωμένος μικροκλινής) εγκλείει πλαγιόκλαστα αλβιτικής σύστασης και σπάνια βιοτίτη ενώ τα σπασίματά του γεμίζουν από μικρούς κρυστάλλους χαλαζία. Τα πλαγιόκλαστα συμμετέχουν σε μικρό ποσοστό και είναι συνήθως σερίκιτιωμένα.

Παρατηρούνται μεγάλοι κρύσταλλοι κεροστίλβης οι οποίοι στην περιφέρειά τους μετατρέπονται σε ακτινόλιθο. Ο ακτινόλιθος παρατηρείται και στο κέντρο της κεροστίλβης. Η κεροστίλβη υπερτερεί σε ποσότητα κατά πολύ του βιοτίτη ο οποίος, όταν υπάρχει, εμφανίζεται συνήθως σε μικρά φυλλάρια με πρασινωπό χρώμα.

Τέλος, χαρακτηριστικό ορυκτό των οφθαλμογνευσίων είναι η ύπαρξη μεγάλων κρυστάλλων τιτανίτη, μεγαλύτεροι από αυτούς που υπάρχουν στον KBXM, ιδιόμορφου συνήθως σχήματος, καθώς και μεγάλοι κρύσταλλοι απατίτη.

## **9. Ορυκτοχημική μελέτη και σύγκριση των ορυκτών του των δύο πετρογραφικών τύπων.**

Στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση συγκεκριμένων ορυκτών που υπάρχουν στους δυο πετρογραφικούς τύπους, όπως ο βιοτίτης, η κερροσίλβη, ο τιτανίτης και ο απατίτης, όσον αφορά το χρώμα, το μέγεθος κρυστάλλων και την ορυκτοχημεία τους.

### **9.1. Βιοτίτης**

Εμφανίζεται στους περισσότερους πετρογραφικούς τύπους του Ανατολικού Βαρνούντα. Στους ΟΓΝ συμμετέχει σε μικρά ποσοστά. Παρουσιάζεται συχνά καταπονημένος από την τεκτονική, η οποία προκάλεσε τις κάμψεις και την κυματοειδή κατάσβεση των φυλλαρίων. Συχνά αλλοιώνεται σε χλωρίτη που αναπτύσσεται παράλληλα στο σχισμό. Παρατηρήθηκαν και τελείως χλωριτωμένοι βιοτίτες. Το χρώμα τους στον πλουτωνίτη είναι καστανοκίτρινο ενώ στο γνεύσιο είναι πρασινωπό και εμφανίζει μικρότερους κρυστάλλους. Η διαφορά στο χρώμα οφείλεται πρώτα στο Ti (τιτάνιο) και κατά δεύτερο στο λόγο  $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  (Hall 1941, Hayama 1959, Chinner 1960, Dodge et al. 1969, Sapountzis 1976). Οι υψηλές τιμές Ti δίνουν στο βιοτίτη μία κοκκινωπή χροιά, ενώ οι χαμηλές τιμές του  $\text{TiO}_2$  δίνουν την πρασινωπή χροιά. Η επίδραση του  $\text{TiO}_2$  είναι μικρότερη καθώς αυξάνει ο λόγος  $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ .

Οι διαφορές στη σύσταση των βιοτιτών στον πλουτωνίτη και στο γνεύσιο είναι σαφείς και ειδικότερα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε  $\text{TiO}_2$ . Γενικά παρατηρούνται και άλλες διαφορές στις περιεκτικότητες άλλων στοιχείων που έχουν ως εξής:

- Το  $\text{TiO}_2$  δεν παρουσιάζει κάποια κανονικότητα στους διάφορους πετρογραφικούς τύπους, είναι όμως χαμηλότερο στο βιοτίτη του γνευσίου σε σχέση με το βιοτίτη του πλουτωνίτη.
- Το  $\text{K}_2\text{O}$  είναι γενικά σταθερό σε όλους τους πετρογραφικούς τύπους, είναι όμως χαμηλότερο στον οφθαλμογνεύσιο σε σχέση με το πλουτωνίτη.

- Το MgO μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε SiO<sub>2</sub> όσον αφορά τους βιοτίτες του πλουτωνίτη, ενώ δεν παρουσιάζει παρόμοια τάση στον οφθαλμογενεύσιο, όπου ο βιοτίτης εμφανίζεται εμπλουτισμένος σε MgO.
- Ο λόγος Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) αυξάνει με τη διαφοροποίηση, πράγμα που δείχνει ότι καθώς προχωρά η διαφοροποίηση οι συνθήκες γίνονται πιο οξειδωτικές.

Συμπερασματικά, οι βιοτίτες του πλουτωνίτη διαφέρουν αρκετά από του ΟΓΝ, του οποίου φαίνεται ότι πρέπει να προέρχονται από μεταμόρφωση. Τέλος δείχνουν μία κανονική τάση εμπλουτισμού σε Fe ως προς το Mg με τη διαφοροποίηση (αύξηση του SiO<sub>2</sub>), γεγονός που δηλώνει ότι οι συνθήκες κρυστάλλωσης γίνονται ολοένα και πιο οξειδωτικές.

## 9.2. Κεροσίλβη

Είναι κοινό ορυκτό και στον KBXM, αλλά και στον ΟΓΝ (κύριο φεμικό συστατικό). Μικροσκοπικά δεν διαφέρουν (ιδιόμορφοι και υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι) με χρώματα πλεοχρωϊσμού κιτρινοπράσινα, πράσινα και ελαιοπράσινα. Μερικές φορές αποχρωματίζεται περιφερειακά και μετατρέπεται σε ακτινόλιθο. Αντικαθίσταται από βιοτίτη, ενώ συχνά αλλοιώνεται σε χλωρίτη. Τα εγκλείσματα που παρατηρήθηκαν είναι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι απατίτη, τιτανίτη, ζirkονίου και συχνότερα μαγνητίτη. Για να εντοπισθούν τυχόν διαφορές στις δύο κεροσίλβες έγιναν διαγράμματα (Κορωναίος 1991) που δείχνουν τις μεταβολές: 1) των κατιόντων σε σχέση με το SiO<sub>2</sub> στις κεροσίλβες, 2) των αντίστοιχων οξειδίων σε σχέση με το σύνολο του ίδιου οξειδίου στο πέτρωμα και 3) κάποια διαγράμματα λόγων. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων.

- i. Αποτελέσματα των κατιόντων σε σχέση με το SiO<sub>2</sub> στις κεροσίλβες
  - Το Si της κεροσίλβης (και το SiO<sub>2</sub>) αυξάνεται με τη διαφοροποίηση, οι κεροσίλβες στον οφθαλμογενεύσιο έχουν το ίδιο ποσοστό Si με εκείνες που βρίσκονται σε πλουτωνικά πετρώματα με αντίστοιχη περιεκτικότητα σε SiO<sub>2</sub>, ενώ στην περιοχή Ανθοβούνι (Π-94) έχει σημαντικά υψηλότερο Si.
  - Το Al (όπως το Al<sup>VI</sup> και το Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) μειώνεται ελαφρά με τη διαφοροποίηση, οι κεροσίλβες στον οφθαλμογενεύσιο έχουν το ίδιο ποσοστό SiO<sub>2</sub> με εκείνες

που βρίσκονται στο πλουτωνίτη με αντίστοιχη περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$ , ενώ στην περιοχή Ανθοβούνι (Π-94) έχει σημαντικά χαμηλότερο Al.

- Το Ti (και το  $\text{TiO}_2$ ) παραμένει γενικά σταθερό με μία τάση μείωσης. Δεν παρουσιάζονται εμφανείς διαφορές, ενώ στην περιοχή Ανθοβούνι (Π-94) οι κεροστίλβες έχουν σημαντικά χαμηλότερο Ti.
  - Ο  $\text{Fe}^{2+}$  (και το FeO) είναι γενικά σταθερός, ενώ ο  $\text{Fe}^{3+}$  παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών.
  - Το Mn (και το MnO) είναι επίσης σταθερό.
  - Το Mg (και το MgO) είναι σταθερό με κάποιες εξαιρέσεις, ενώ στην περιοχή Ανθοβούνι (Π-94) οι κεροστίλβες έχουν σημαντικά υψηλότερο Mg.
  - Το Ca (και το CaO) μειώνεται από το βασικότερα δείγματα προς τα οξινότερα.
  - Το Na (και το  $\text{Na}_2\text{O}$ ) είναι γενικά σταθερό, ενώ στην περιοχή Ανθοβούνι (Π-94) οι κεροστίλβες έχουν σημαντικά χαμηλότερο Na.
  - Το K (και το  $\text{K}_2\text{O}$ ) εμφανίζει μικρή αύξηση, ενώ στην περιοχή Ανθοβούνι (Π-94) οι κεροστίλβες περιέχουν λιγότερο K.
  - Τέλος, ο λόγος  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$  παραμένει γενικά σταθερός. Δεν παρατηρήθηκε δηλαδή κάτι αντίστοιχο στις αμφιβόλους όπως στους βιοτίτες.
- ii. Μεταβολή των οξειδίων στις κεροστίλβες σε σχέση με το σύνολο του αντίστοιχου οξειδίου στα πετρώματα και πώς μεταβάλλονται σταδιακά κατά τη διαφοροποίηση (αύξηση του  $\text{SiO}_2$ ) του μάγματος και τη μεταμόρφωση του πλουτωνίτη.
- Το  $\text{TiO}_2$  αυξάνει ελαφρώς με την αύξηση του αντίστοιχου οξειδίου στο πέτρωμα.
  - Το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  παραμένει σταθερό ανεξάρτητα από τη μεταβολή του αντίστοιχου οξειδίου.
  - Το FeO εμφανίζει μεγάλο εύρος τιμών με αποτέλεσμα να μην αναγνωρίζεται κάποια τάση.

- Το MgO εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με το αντίστοιχο οξείδιο. Φαίνεται δηλαδή ότι οι κεροστίλβες με την αύξηση του SiO<sub>2</sub> του πετρώματος γίνονται πλουσιότερες σε Mg.
- Το CaO δείχνει θετική συσχέτιση με το αντίστοιχο οξείδιο.
- Το Na<sub>2</sub>O δείχνει ελαφριά μείωση με την αύξηση του αντίστοιχου οξειδίου στο πέτρωμα.
- Το K<sub>2</sub>O παρουσιάζει μία έντονη αύξηση καθώς αυξάνεται το αντίστοιχο οξείδιο.
- Τέλος, ο λόγος FeO/(FeO+MgO) παρουσιάζει ελαφριά αύξηση καθώς αυξάνεται ο αντίστοιχος λόγος στο πέτρωμα, δηλαδή παρουσιάζει παρόμοια τάση με τους βιοτίτες.

Συμπερασματικά, οι αμφίβολοι σε όλο τον εύρος των πετρωμάτων, αλλά και στα δύο πετρώματα που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή στον KBXM και στον οφθαλμογενεύσιο, έχουν σύσταση μαγνησιοκεροστίλβης, εδεντικής κεροστίλβης και εδενίτη, ενώ η αποχρωματισμένη περιφέρεια κεροστίλβης στον οφθαλμογενεύσιο είναι εδενίτης. Παρουσιάζονται ελάχιστες μεταβολές στη σύσταση των κεροστιλβών κατά τη διαφοροποίηση (αύξηση του SiO<sub>2</sub>) του μάγματος, ενώ δεν διαφέρουν συστασιακά τόσο στο πλουτωνικό όσο και στο γνευσιακό πέτρωμα.

### 9.3. Τιτανίτης

Στα πετρώματα του Ανατολικού Βαρνούντα, ο τιτανίτης είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα επουσιώδη ορυκτά, συχνά σε ιδιόμορφους κρυστάλλους και σπανιότερα σε αλλοτριόμορφους. Αλλοιώνεται σε μείγμα αδιαφανών οξειδίων μερικές φορές. Το ιδιόμορφο σχήμα του δείχνει ότι κρυσταλλώθηκε μετά τον απατίτη και πριν την κεροστίλβη και το βιοτίτη. Στον ΟΓΝ παρατηρείται σε ιδιόμορφους ή υπιδιόμορφους κρυστάλλους, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από αυτούς του πλουτωνίτη. Από τις αναλύσεις που έχουν γίνει δεν παρατηρούνται στη σύσταση των τιτανιτών σημαντικές διαφορές. Η μόνη παρατήρηση που προκύπτει από τα διαγράμματα (Κορωναίος 1991) είναι ότι το Ca παραμένει γενικά σταθερό, ενώ το Ti αυξάνει με τη διαφοροποίηση (αύξηση του SiO<sub>2</sub>) του μάγματος.



Τέλος, φαίνεται ότι οι τιτανίτες στους ΟΓΝ είναι πλουσιότεροι σε ΑΙ και είναι και αυτοί πυριγενούς προέλευσης.

#### **9.4. Απατίτης**

Ο απατίτης είναι από τα πρώτα ορυκτά που έχουν σχηματιστεί στα αρχικά στάδια της κρυστάλλωσης του μάγματος. Στον πλουτωνίτη εμφανίζεται σε ιδιόμορφους κρυστάλλους, μακροπρισματικούς ή εξαγωνικούς. Είναι πιο διαδεδομένος στους βασικότερους πετρογραφικούς τύπους. Εγκλείεται σε βιοτίτη, κεροσίλβη και τιτανίτη, γεγονός που δείχνει ότι κρυσταλλώθηκε πριν από αυτά τα ορυκτά. Στον ΟΓΝ σχηματίζει σημαντικά μεγαλύτερους κρυστάλλους σε σχέση με αυτούς του πλουτωνίτη.

## **10. Μικροσκοπική μελέτη τομών στους πετρογραφικούς τύπους KBXM και ΟΓΝ**

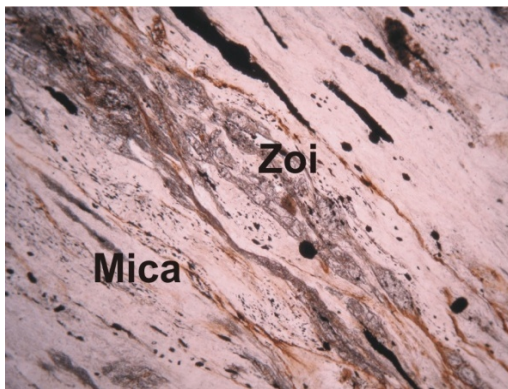
Για τη μελέτη των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα πλουτωνικά και μεταμορφωμένα πετρώματα που βρίσκονται σε επαφή εξετάστηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο λεπτές τομές από τα υπό μελέτη πετρώματα. Να σημειωθεί ότι από τη πληθώρα των λεπτών τομών που υπάρχουν από δείγματα πετρωμάτων της περιοχής έγινε μια επιλογή συγκεκριμένων τομών από γειτονικά πετρώματα με μικρή απόσταση μεταξύ τους, προκειμένου να μελετηθούν πιο προσεκτικά οι διαφορές και οι ομοιότητες που παρουσιάζουν. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων από τις περιοχές της Τούμπας, Δυτικό και Ανατολικό μέρος, καθώς επίσης και της περιοχής του Ανθοβουνίου.

### **10.1. Περιοχή Τούμπα (Δυτικό μέρος)**

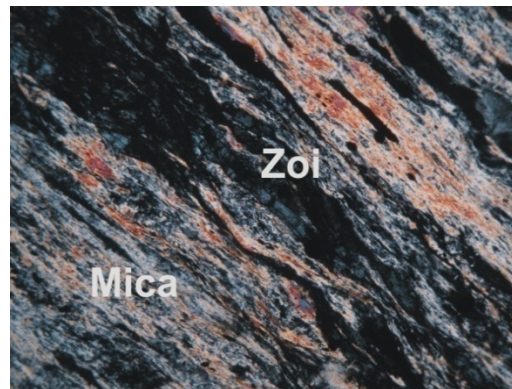
Στην περιοχή αυτή μελετήθηκαν γειτονικές τομές από το KBXM και το KBMD με τους πράσινους ΟΓΝ. Στα πλουτωνικά ο χαλαζίας συναντάται με μεγάλους κρυστάλλους όπως επίσης και ο μικροκλινής. Ο βιοτίτης εμφανίζεται σε μεγάλη ποσότητα και απαντάται σε μεγάλους κρυστάλλους με καστανή απόχρωση. Τα πλαγιόκλαστα είναι σερικιτιωμένα και καολινιωμένα και σε μερικά σημεία εγκλείουν αλλανίτη και επίδοτο. Επίσης βρίσκουμε κεροσίλβη, η οποία άλλοτε εμφανίζεται με μια πρασινωπή χροιά και άλλοτε σε ζώνωση με μια πιο σκουρόχρωμη αμφίβολο. Ο τιτανίτης απαντάται σε μεγάλη ποσότητα ενώ σε μικρότερες ποσότητες συναντούμε απατίτη, σερικήτη, επίδοτο και ζirkόνιο. Στους οφθαλμογενείς της περιοχής παρατηρήσαμε ότι ο χαλαζίας εμφανίζεται ανακρυσταλλωμένος, ο βιοτίτης εμφανίζεται με μικρούς κρυστάλλους, αρκετά κοκκώδης και λεπτομερής. Τα πλαγιόκλαστα είναι έντονα σερικιτιωμένα και σωσσυριτιωμένα. Η αμφίβολος στους ΟΓΝ συναντάται σε μεγάλους κρυστάλλους ενώ παρατηρείται η ανάπτυξη ακτινολίθου στα περιθώριά της. Τέλος συναντούμε τιτανίτη σε μεγάλη ποσότητα ενώ σε μικρότερη ασβεστίτη, απατίτη και ζirkόνιο. Συγκριτικά οι δύο πετρογραφικοί τύποι της περιοχής αυτής εμφανίζουν αρκετές

ομοιότητες κυρίως όσον αφορά την ύπαρξη χαλαζία και μικροκλινή καθώς επίσης και τιτανίτη, ζirkονίου και απατίτη σε μικρότερες ποσότητες. Παρόλα αυτά οι βιοτίτες στους γνευσίους εμφανίζονται πιο πρασινωποί και πιο λεπτομερείς από ότι στους KBXM, ενώ τα πλαγιόκλαστα των ΟΓΝ είναι έντονα αλλοιωμένα σε σχέση με αυτά των πλουτωνικών. Τέλος, η αμφίβολος στους γνευσίους έχει ακτινολιθική σύσταση και εμφανίζεται είτε στο κέντρο των κρυστάλλων της κεροσίλβης είτε στην περιφέρεια αυτών.

Στα παρακάτω σχήματα παρατίθενται φωτογραφίες, που πάρθηκαν από τις τομές των δύο πετρογραφικών τύπων (KBXM και ΟΓΝ) και μελετήθηκαν στην αντίστοιχη περιοχή (Σχήματα 8, 9, 10 και 11).

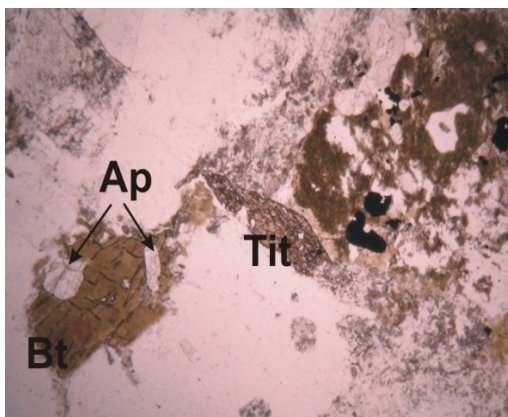


N (-)

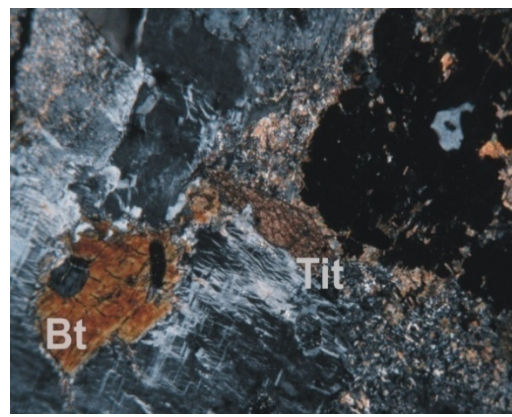


N (+)

**Σχήμα 8.** Τομή T7. Γνεύσιος. Μεγέθυνση: 5X. Mica: μαρμαρυγίες, Zoi: ζοϊσίτης.

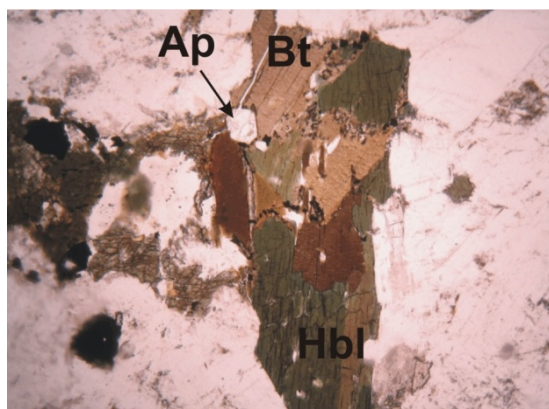


N (-)

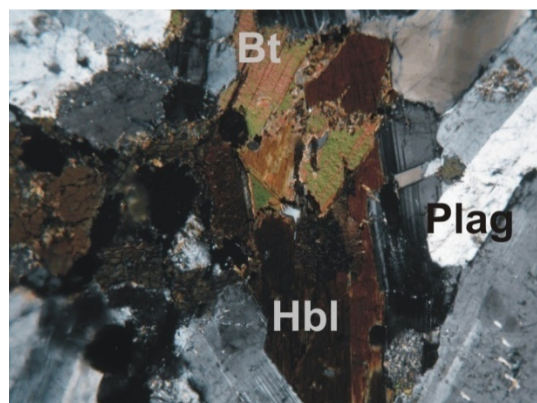


N (+)

**Σχήμα 9.** Τομή T4. Πλουτωνίτης. Μεγέθυνση: 5X. Bt: βιοτίτης, Tit: τιτανίτης, Ap: απατίτης.

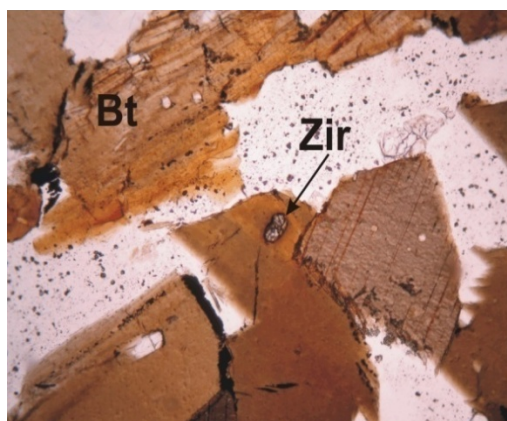


N (-)



N (+)

**Σχήμα 10.** Τομή T6. Πλουτωνίτης. Μεγέθυνση: 5X. Hbl: κεροσίλβη (πράσινη), Bt: βιοτίτης, Plag: πλαγιокλαστό



N (-)

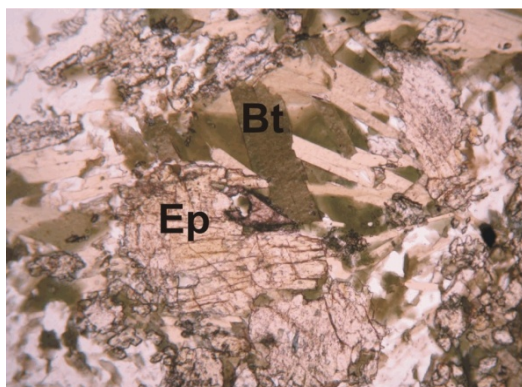
**Σχήμα 11.** Τομή T6.  
Πλουτωνίτης. Μεγέθυνση: 10X.  
Zir: ζirkόνιο, Bt: βιοτίτης

## 10.2. Περιοχή Τούμπα (Ανατολικό μέρος)

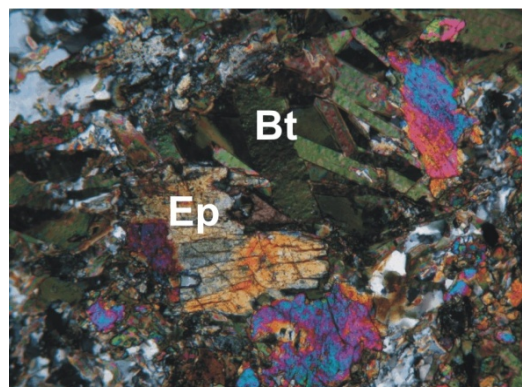
Στο τμήμα αυτό της περιοχής της Τούμπας συναντώνται πετρώματα με παρόμοια ορυκτολογική σύσταση με το δυτικό τμήμα, με κάποιες όμως αξιοσημείωτες διαφορές. Στα τυπικά πλουτωνικά ο χαλαζίας και ο μικροκλινής εμφανίζονται σε μεγάλους κρυστάλλους, τα πλαγιόκλαστα είναι ελαφρώς σερικιτιωμένα κατά θέσεις, η κεροστίλβη εμφανίζεται ανοιχτό πράσινο χρώμα ενώ σε ορισμένες θέσεις εμφανίζεται και ακτινόλιθος. Σε μικρότερες ποσότητες εμφανίζονται τιτανίτης, επίδοτο, απατίτης και ζirkόνιο, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι σε κάποιους κρυστάλλους καστανού βιοτίτη έχουμε σαγενίτη (βιοτίτης με βελόνες ρουτιλίου). Στον οφθαλμογενεύσιο ο χαλαζίας, ο μικροκλινής και τα πλαγιόκλαστα εμφανίζονται με μεγάλους κρυστάλλους και ο βιοτίτης έχει πράσινο χρώμα. Παρατηρήθηκαν μικρότεροι κρύσταλλοι τιτανίτη, ασβεστίτη, απατίτη, ζοϊσίτη και κλινοζοϊσίτη. Αξιοσημείωτο είναι να αναφέρουμε ότι δεν εμφανίζεται καθόλου κεροστίλβη ενώ το επίδοτο βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα. Συνοπτικά στις δύο τομές που μελετήθηκαν στο τμήμα αυτό του χάρτη τα χαρακτηριστικά δεν διαφέρουν και πολύ από το δυτικό τμήμα της περιοχής της Τούμπας. Ο βιοτίτης εμφανίζεται πιο πρασινωπός και κοκκώδης στους ΟΓΝ, τα επουσιώδη ορυκτά τιτανίτης, επίδοτο, απατίτης παρατηρούνται και στους δύο τύπους πετρωμάτων, με μία αύξηση της ποσότητας του επιδότου στο ΟΓΝ. Τέλος, η κεροστίλβη δεν εμφανίζεται καθόλου στα γνευσιακά, όπως και ο ακτινόλιθος, πράγμα το οποίο δεν συνέβαινε στο Ανατολικό τμήμα της περιοχής όπως είδαμε παραπάνω.

Στα παρακάτω σχήματα παρατίθενται φωτογραφίες που πάρθηκαν από τις τομές των δύο πετρογραφικών τύπων (KBXM και ΟΓΝ) και μελετήθηκαν στην αντίστοιχη περιοχή (Σχήματα 12, 13, 14 και 15).





N (-)



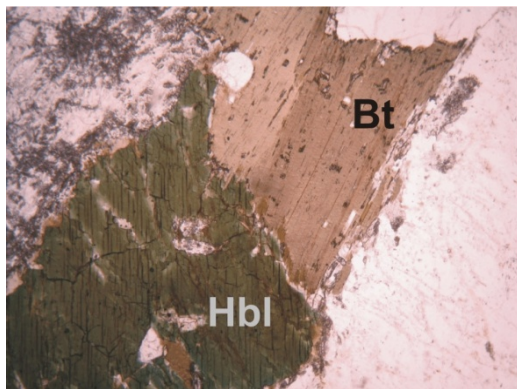
N (+)

**Σχήμα 12.** Τομή T15. Γνεύσιος. Μεγέθυνση: 5X. Ep: επίδοτο. Bt: βιοτίτης

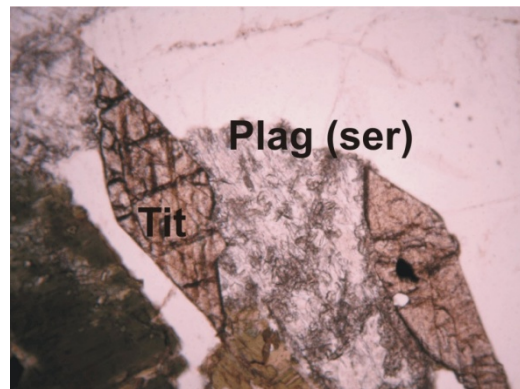


N (-)

**Σχήμα 13.** Τομή T15. Γνεύσιος.  
Μεγέθυνση: 10X. Tit: τιτανίτης,  
Plag (ser): σερικιτωμένο πλαγιόκλαστο

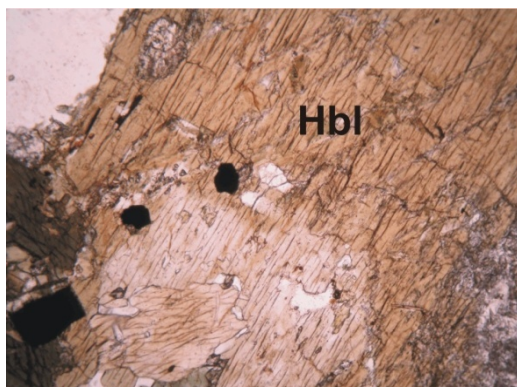


N (-)

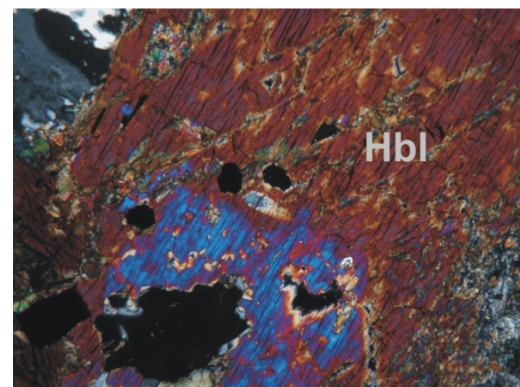


N (-)

**Σχήμα 14.** Τομή T16. Πλουτωνίτης. Μεγέθυνση: 10X αριστερά, 20X δεξιά.  
Hbl: κεροσίλβη (πράσινη), Bt:βιοτίτης, Plag (ser): σερικιτιωμένο πλαγιόκλαστο,  
Tit: τιτανίτης



N (-)



N (+)

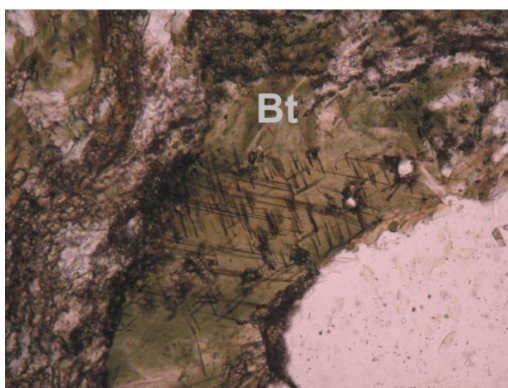
**Σχήμα 15.** Τομή T16. Πλουτωνίτης. Μεγέθυνση: 10X. Hbl: κεροσίλβη



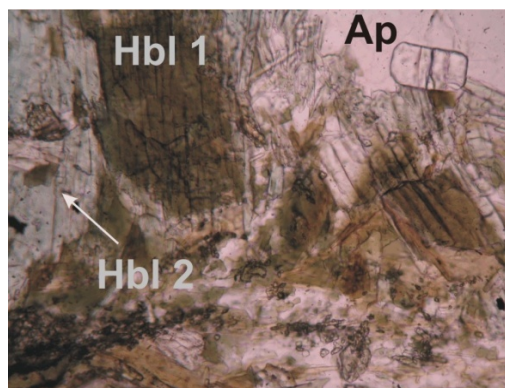
### 10.3. Περιοχή Ανθοβούνι

Η περιοχή του Ανθοβουνίου βρίσκεται Νότια της Τούμπας κοντά στην επαφή διείσδυσης των πλουτωνικών πετρωμάτων με τα μεταμορφωμένα πετρώματα. Από τομές του KBXM βρέθηκαν χαλαζίας, μικροκλινής με μεγάλους κρυστάλλους καθώς επίσης και πλαγιόκλαστα σερικιτιωμένα και σε κάποιες θέσεις καολινιωμένα. Επίσης εμφανίζεται μοσχοβίτης σε μικρότερη ποσότητα, αμφίβολος που είναι μια ανοιχτόχρωμη κεροστίλβη, ενώ βρίσκουμε και ελάχιστο ακτινόλιθο. Ο καστανός βιοτίτης βρίσκεται σε αρκετή ποσότητα και από επουσιώδη ορυκτά έχουμε τιτανίτη, επίδοτο και αλλανίτη. Στους ΟΓΝ βρίσκουμε αρκετό πράσινο βιοτίτη, κεροστίλβη και ακτινόλιθο ενώ ο χαλαζίας είναι ανακρυσταλλωμένος. Τα πλαγιόκλαστα είναι εμφανώς πιο αλλοιωμένα στα γνευσιωμένα πετρώματα. Επίσης παρατηρήθηκαν περθιτικά φαινόμενα στον καλιούχο άστριο που προκλήθηκαν από τη διάμειξη της νατριούχου φάσης μέσα στην καλιούχο και αντιπερθιτικά φαινόμενα στα πλαγιόκλαστα. Σε μικρότερες ποσότητες βρέθηκε σαγενίτης και σερικίτης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση του ποσοστού του τιτανίτη, ο οποίος εμφανίζεται σε λιγότερη ποσότητα απ' ότι στις άλλες τομές που μελετήθηκαν. Τέλος η κεροστίλβη εμφανίζεται κατά θέσεις με ζώνωση, κάτι που το είδαμε και στις άλλες περιοχές.

Στα παρακάτω σχήματα παρατίθενται φωτογραφίες, που πάρθηκαν από τις τομές των δύο πετρογραφικών τύπων (KBXM και ΟΓΝ) και μελετήθηκαν στην αντίστοιχη περιοχή (Σχήματα 16, 17, 18 και 19).

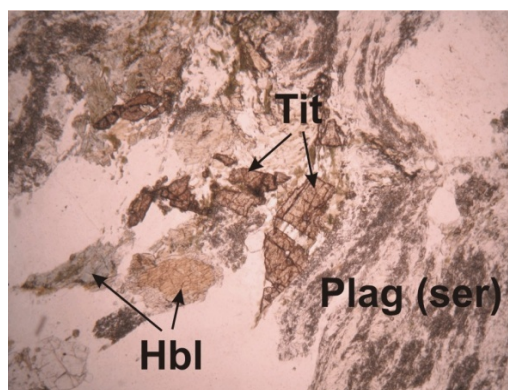


N (-)



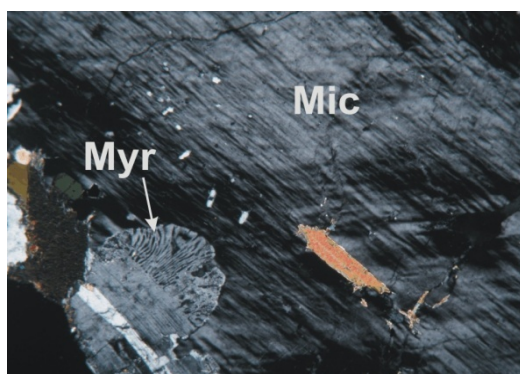
N (-)

**Σχήμα 16.** Τομή Π94. Γνεύσιος. Μεγέθυνση: 10X. Bt: βιοτίτης, Hbl: κεροσίλβη (παρατηρούνται στην τομή δύο είδη κεροσίλβης, μία σκουρόχρωμη και μία ανοιχτόχρωμη), Ap: απατίτης

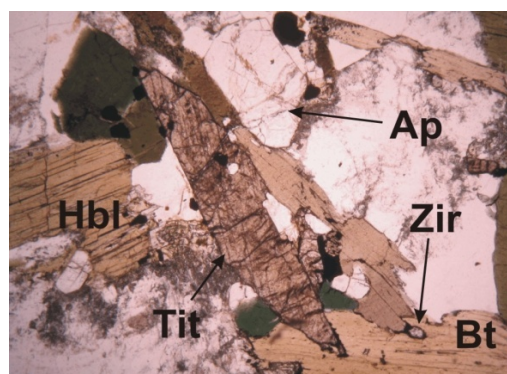


N (-)

**Σχήμα 17.** Τομή Π94. Γνεύσιος. Μεγέθυνση: 5X. Hbl: κεροσίλβη, Plag (ser): σερικιτιωμένο πλαγιόκλαστο, Tit: τιτανίτης

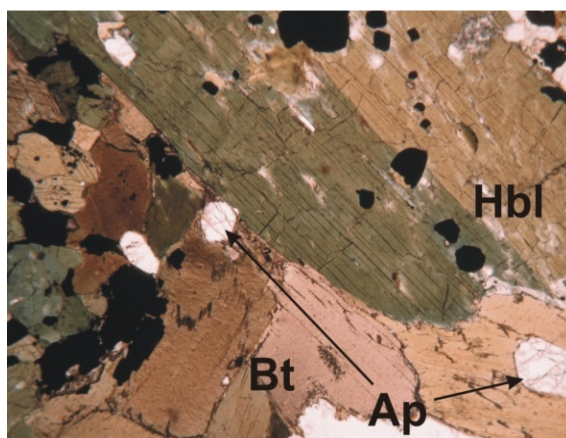


N (+)



N (-)

**Σχήμα 18.** Τομή Π12. Πλουτωνίτης . Μεγέθυνση: 10X αριστερά, 5X δεξιά.  
 Mic: μικροκλινής, Myr: μυρμηκίτης, Hbl: κεροσίλβη, Zir: ζirkόνιο, Bt: βιοτίτης,  
 Tit: τιτανίτης



N(+)

**Σχήμα 19.** Τομή Π12. Πλουτωνίτης.  
 Μεγέθυνση: 5X. Hbl: κεροσίλβη, Bt: βιοτίτης,  
 Ap: απατίτης.

#### 10.4. Εμφάνιση κεροσίλβης και βιοτίτη στις τομές

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζεται η συμμετοχή των δύο ορυκτών, βιοτίτη και κεροσίλβης, στις τομές που εξετάσαμε παραπάνω.

| ΠΕΡΙΟΧΗ     | ΤΟΜΕΣ             | ΚΑΦΕ<br>ΒΙΟΤΙΤΗΣ | ΠΡΑΣΙΝΟΣ<br>ΒΙΟΤΙΤΗΣ | ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΗ<br>ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ | ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΗ<br>ΚΕΡΟΣΤΙΛΒΗ |
|-------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Δυτ. μέρος  | <b>T7</b> (ΟΓΝ)   | -                | +                    | -                         | -                         |
| Τούμπα      | <b>T6</b> (ΚΒΧΜ)  | +                | +                    | +                         | -                         |
|             | <b>T4</b> (ΚΒΧΜ)  | +                | +                    | +                         | +                         |
| Ανατ. μέρος | <b>T15</b> (ΟΓΝ)  | -                | +                    | -                         | -                         |
| Τούμπα      | <b>T16</b> (ΚΒΧΜ) | +                | +                    | +                         | +                         |
| Ανθοβούνι   | <b>Π12</b> (ΚΒΧΜ) | +                | -                    | +                         | -                         |
|             | <b>Π94</b> (ΟΓΝ)  | +                | +                    | +                         | +                         |
|             | <b>Π89</b> (ΚΒΧΜ) | +                | +                    | +                         | -                         |

**Πίνακας 2.** Ο όρος ανοιχτόχρωμη αμφίβολος αναφέρεται σε κεροσίλβη η οποία περιφερειακά στους κρυστάλλους της εμφανίζει ακτινολιθική σύσταση.

Εκτός από τις τομές που μελετήθηκαν παραπάνω, μελετήθηκε κι ένας αριθμός τομών που αντιπροσωπεύουν δείγματα από πετρώματα διάσπαρτα σε όλη την περιοχή μελέτης και όχι απαραίτητα σε γειτονία μεταξύ τους. Έτσι, με την παρατήρηση 12 επιπλέον τομών, μεμονωμένα αυτή τη φορά καθ' ότι αποτελούν τομές μόνο γνευσιακών πετρωμάτων, παρατηρήθηκαν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Η παρουσία όπως είδαμε του πράσινου βιοτίτη στις τομές από τις περιοχές της Τούμπας και του Ανθοβουνίου ήταν αρκετά έντονη. Παρόλα αυτά σε αυτή τη σειρά τομών από τους οφθαλμογενεύσιους της περιοχής παρατηρήθηκε η ύπαρξη μιας ανοιχτόχρωμης αμφιβόλου σε αρκετά υπολογίσιμη ποσότητα σε αντίθεση με την κεροσίλβη η οποία σχεδόν απουσιάζει από την ορυκτολογική παραγένεση.

## **11. Γεωχημεία του πλουτωνίτη και του ορθογνευσίου**

### **11.1. Κατανομή κύριων στοιχείων**

Σύμφωνα με Κορωναίος (1991) φαίνεται να υπάρχει ένα ευρύ φάσμα μεταβολής στα περισσότερα οξείδια, η οποία είναι γενικά ομαλή. Η μεταβολή αυτή μελετήθηκε σε σχέση με το δείκτη διαφοροποίησης (DI). Τα οξείδια  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και το άθροισμα  $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  δείχνει αρνητική συσχέτιση με το DI, ενώ το  $\text{Na}_2\text{O}$  παραμένει σε γενικές γραμμές σταθερό με κάποιες μεταβολές. Έτσι φτάνουμε ξανά στο συμπέρασμα ότι τα πετρώματα συνδέονται χημικά και αποτελούν μία συνεχή σειρά. Επομένως καταλήγουμε ότι η κλασματική κρυστάλλωση είναι η διαδικασία διαφοροποίησης και το αρχικό τήγμα είναι μονζονιτικής σύστασης, αφού ο μονζονίτης είναι το βασικότερο πέτρωμα. Τα διαγράμματα των γνευσιακών πετρωμάτων δεν παρουσιάζουν καμία διαφορά με τον πλουτωνίτη.

### **11.2. Κατανομή των ιχνοστοιχείων στα ορυκτά**

Στα περισσότερα από τα ιχνοστοιχεία που εξετάστηκαν από Κορωναίος (1991) φαίνεται ότι υπάρχει ένα μεγάλο εύρος μεταβολής. Τα περισσότερα στοιχεία τα οποία εξετάστηκαν δείχνουν πολύ καλή θετική ή αρνητική συσχέτιση με το DI ενώ λίγα παραμένουν σταθερά ή δείχνουν κάποια διασπορά. Συγκεκριμένα, το Rb παρουσιάζει κάποιες αυξομειώσεις, το Ba αυξάνεται και μετέπειτα μειώνεται, τα Zr, Sr, Zn, Cu, Ni, Cr, Ce, Nd, Sc και V μειώνονται και τα Nb, Y και La παρουσιάζουν κάποια διασπορά.

Από τις τάσεις των ιχνοστοιχείων που εξαρτώνται από τον ολικό συντελεστή κατανομής D και γνωρίζοντας το συντελεστή κατανομής Kd για κάθε ορυκτό προκύπτει ότι τα ορυκτά που ελέγχουν τη διαφοροποίηση είναι τα πλαγιόκλαστα, οι καλιούχοι άστριοι, η κεροστίλβη και ο βιοτίτης.

Τέλος δεν παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ των πλουτωνικών και των γνευσιακών πετρωμάτων.

### 11.3. REE (Σπάνιες Γαίες)

Από τη μελέτη που έγινε (Κορωναίος 1991) στα πλουτωνικά και στα γνευσιακά πετρώματα στον Ανατολικό Βαρνούντα για τις REE, αποδείχτηκε ότι οι διάφοροι πετρογραφικοί τύποι είναι συμμαγματικοί και προέρχονται από τη διαφοροποίηση του ίδιου αρχικού τήγματος. Η διαφοροποίηση αυτή ελέγχεται γενικά από τους αστρίους, ενώ ο ρόλος της κεροσίλβης είναι σημαντικός κυρίως στους βασικότερους πετρογραφικούς τύπους. Στη στερεά φάση που ελέγχει τη διαφοροποίηση συμμετέχουν και επουσιώδη ορυκτά, όπως ο αλλανίτης, ο τιτανίτης, ο απατίτης και το ζirkόνιο. Τα γνευσιακά πετρώματα παρουσιάζουν γενικά ομοιότητες με τα πλουτωνικά παρά τη θετική ανωμαλία Eu που παρουσίασαν τα δείγματα στην περιοχή Ανθοβούνι. Τα αίτια αυτής ανωμαλίας δεν είναι η μεταμόρφωση με τη γενικότερη έννοια, αλλά τοπικοί παράγοντες όπως οι μεγαλύτερου βαθμού αλλοιώσεις και πιθανόν το επίδοτο που σχηματίστηκε. Επίσης είναι πιθανό να αφομοιώθηκαν πετρώματα που ήταν πλούσια σε Eu τοπικά και σε μικρή έκταση.

## **12. Συζήτηση – Συμπεράσματα - Επίλογος**

Τα επαναλαμβανόμενα τεκτονικά γεγονότα που έλαβαν χώρα στην περιοχή που μελετήθηκε, αλλά και συνολικά στην Πελαγονική ζώνη, προκάλεσαν έντονα μεταμορφικά φαινόμενα. Η περιοχική μεταμόρφωση που έλαβε χώρα επηρέασε το σύνολο των πετρωμάτων της περιοχής και συνδέεται με ορογενετική δράση. Κατά την περιοχική μεταμόρφωση παρατηρούνται χαμηλού βαθμού συνθήκες μεταμόρφωσης έως υψηλής πίεσης (πρασινοσχιστολιθική ως γλαυκοφανιτική φάση). Συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης, καθώς διείσδυσε το μάγμα κατά το Άνω Λιθανθρακοφόρο, διαφοροποιήθηκε δίνοντας αρκετούς πετρογραφικούς τύπους. Στη συνέχεια επέδρασαν στον πλουτωνικό όγκο συμπιεστικές και εφελκυστικές δυνάμεις οι οποίες προκάλεσαν μεταμόρφωση του πλουτωνίτη κατά περιοχές προκαλώντας τη γνευσίωσή του. Αυτού του είδους η μεταμόρφωση θεωρείται δυναμική γιατί συνδέεται άμεσα με την τεκτονική που έλαβε χώρα και διαπιστώνεται από τα φαινόμενα μυλωνιτίωσης και υπερμυλωνιτίωσης που παρατηρούνται στα όρια του πλουτωνικού όγκου.

Μεταξύ των πλουτωνικών πετρωμάτων με τυπικό πορφυροειδή ιστό και των γνευσιωμένων τμημάτων τους υπάρχουν αρκετές ομοιότητες αλλά και διαφορές. Οι διαφορές που εντοπίστηκαν, κυρίως κατά τη μικροσκοπική μελέτη, είναι:

Οι τιτανίτες και οι απατίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερο μέγεθος στα γνευσιωμένα τμήματα από ότι στον KBXM. Το πέτρωμα αποτελεί ένα θερμοδυναμικό σύστημα το οποίο διαταράσσεται από την αλλαγή πίεσης, θερμοκρασίας και των παραμορφωτικών τάσεων που επιδρούν σ' αυτό έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας. Για να μπορέσει να ισορροπήσει, να αποκατασταθεί δηλαδή η θερμοδυναμική του ισορροπία (δηλαδή να μειωθεί η εσωτερική του ενέργεια), τροποποιεί τον ιστό και τα ορυκτά του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ανόπτηση (Blatt et al. 2006). Η εσωτερική ενέργεια του πετρώματος σχετίζεται με το είδος και την αναλογία των ορυκτών, τη θερμοκρασία και την πίεση που ασκείται σε αυτό. Ένα ποσό όμως εσωτερικής ενέργειας προέρχεται από την επιφανειακή ενέργεια των ορυκτών, η οποία είναι συνάρτηση της ελεύθερης επιφάνειάς τους. Ένας μεγάλος κρύσταλλος ορυκτού έχει μικρότερη ελεύθερη επιφάνεια από πολλούς μικρούς κρυστάλλους του ίδιου ορυκτού της

ίδιας μάζας. Ένα πέτρωμα επομένως μπορεί να μειώσει την εσωτερική του ενέργεια χωρίς να μεταβάλλει θερμοκρασία, πίεση ή χημική σύσταση, απλώς αυξάνοντας το μέγεθος των κόκκων του. Επομένως, η αύξηση του μεγέθους του τιτανίτη και του απατίτη είναι πιθανόν να οφείλεται στην τάση του πετρώματος να μειώσει την εσωτερική του ενέργεια όταν επιδρούν σ' αυτό έντονες παραμορφωτικές τάσεις κατά τη διάρκεια της δυναμικής μεταμόρφωσης.

Στη μικροσκοπική μελέτη που έγινε συγκρίθηκαν τομές από τον KBXM και τον ΟΓΝ, όπου τα δύο πετρώματα βρίσκονται σε γειννίαση. Τα δύο πετρώματα διαφέρουν τόσο μακροσκοπικά όσο και μικροσκοπικά ενώ παρατηρήθηκαν και κάποιες χημικές διαφορές. Οι διαφορές αυτές παρατηρούνται στον ιστό, στη γεωχημεία των πετρωμάτων, στις αλλοιώσεις, το χρώμα το μέγεθος και τη χημεία των ορυκτών. Ο KBXM έχει γρανιτικό ιστό με μονζονιτική υφή, ενώ ο ΟΓΝ έχει πορφυροειδή ιστό με λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη μάζα. Στον οφθαλμογενεύσιο παρατηρείται μία καταπόνηση και μετέπειτα θρυματισμός των ορυκτών, γεγονός που παρουσιάζεται έντονα στο χαλαζία. Τα πλαγιόκλαστα στο μεταμορφωμένο πέτρωμα είναι συνήθως σερικιτιωμένα και βρίσκονται σε μικρότερο ποσοστό σε σχέση με τον πλουτωνίτη. Ο καλιούχος άστριος και στις δύο περιπτώσεις είναι μικροκλινής και παρουσιάζει περθιτικά φαινόμενα. Ο βιοτίτης δεν διαφέρει μόνο στο χρώμα (κιτρινοκαστανίνος στον πλουτωνίτη, πρασινωπός στον οφθαλμογενεύσιο), αλλά και στην ορυκτοχημεία (μεταβολές των οξειδίων). Επίσης σε κάποια καταπονημένα δείγματα του πλουτωνίτη οι βιοτίτες είναι κεκαμμένοι και παρουσιάζουν κυματοειδή κατάσβεση. Φαίνεται, δηλαδή, ότι οι βιοτίτες στον οφθαλμογενεύσιο είναι μεταμορφικοί. Η αμφίβολος στον πλουτωνίτη είναι κυρίως κεροστίλβη και εμφανίζει πολλές φορές ζωνώδη δομή. Παρατηρείται ακτινόλιθος σε μικρά ποσοστά. Από την άλλη, στις τομές των οφθαλμογενευσίων παρατηρείται ότι η κεροστίλβη μετατρέπεται μερικώς ή εξ' ολοκλήρου σε ακτινόλιθο. Η μετατροπή της κεροστίλβης σε ακτινόλιθο συμβαίνει στην περιφέρειά της όπου φαίνεται καθαρά μία αποχρωματισμένη περιοχή. Δεν παρουσιάζονται σημαντικές αλλαγές στην ορυκτοχημεία των δύο πετρωμάτων κατά τη διαφοροποίηση.

Οι διαφορές τόσο των κύριων στοιχείων, των ιχνοστοιχείων και των σπάνιων γαιών είναι ελάχιστες. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι το αρχικό μάγμα διαφοροποιήθηκε (κλασματική κρυστάλλωση) δίνοντας έτσι τους διαφόρους



τύπους πετρωμάτων με κυρίαρχο τον KBXM. Λόγω των παραμορφωτικών τάσεων που ασκήθηκαν τοπικά, τμήματα του πλουτωνικού όγκου μεταμορφώθηκαν δυναμικά δίνοντας τους ΟΓΝ. Επομένως, ο ΟΓΝ δεν αποτελεί κάποιο ξεχωριστό μεταμορφωμένο πέτρωμα, αλλά τμήμα του πλουτωνικού όγκου και συγκεκριμένα του KBXM που δέχτηκε έντονες παραμορφωτικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές προκάλεσαν την αύξηση του μεγέθους των ορυκτών απατίτη και τιτανίτη και τη γνευσιακή υφή του πετρώματος. Γι' αυτό το λόγο στον οφθαλμογενεύσιο δίνεται συνολικά η ονομασία γνευσιωμένος χαλαζιακός μονζονίτης από Κορωνάιος (1991).

### **13. Βιβλιογραφία**

- Bermann, R.G. (1991). Thermobarometry using multiequilibrium calculations: A new technique with petrological applications. *Canadian Mineralogist*, **29**, 833-855.
- Blatt, H., Trady, R.J. and Owens, B.E. (2006). *Petrology. Igneous, Sedimentary and Metamorphic* (6th edition). New York, W. H. Freeman and Company.
- Blencoe, J.G., Guidotti, C.V. and Sassi F.P., (1994). The paragonite-muscovite solvus: II. Numerical geothermometers for natural, quasibinary paragonite-moscuvite pairs. *Geochim Cosmochim Acta*, **58**, 2277-2288.
- Brown, S.A.M. and Robertson, A.H.F., (2004). Evidence for the Neotethys ocean rooted in the Vardar zone: evidence from the Voras Mountains, NW Greece. *Tectonophysics*, **381**, 143-173.
- Burn, J. (1956). Contribution à l' étude géologique du Pinde et d' une partie de la Macedoine occidentale. *Ann. Geol. Pays Hell.*, **7**, 1-358.
- Doutsos, T. (1984). Structural Analysis of Central Hellenic Nappes. *N.Jb. Geol. Paläont. Abh.* **168**(1): 1-22.
- Dumurdzanov, N., Hritov, S., Pavlovski, B., and Ivanova, V., (1976). Explanatory note of the general geological map of SRFJ, Sheet Vitoliste and Kajmakcalan. Federal Geological Survey of Yugoslavia, Belgrade, scale 1:100.000.
- Ferry, J.M. and Spear, F.S., (1978). Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**, 113-117.
- Grambling, A.J., (1990). Internally-consistent geothermometry and H<sub>2</sub>O barometry in metamorphic rocks: the axample garnet-chlorite-quartz. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **105**, 617-628.
- Harvey Blatt, Robert J. Trady and Brent E. Owens, (2006). *Petrology. Igneous, Sedimentary and Metamorphic* (6th edition). New York, W. H. Freeman and Company.
- Hynes, A. and Forest, R.C., (1988). Empirical garnet-muscovite geothermometry in low-grade petapelites, Selwyn Range (Canadian Rockies). *Journal of Metamorphic Geology*, **6**, 297-309.

- Laird, J., Lamphere, M.A., and Albee, A.L., (1984). Distribution of Ordovician and Devonian metamorphism in mafic and polytactic schists from northern Vermont. *American Journal of Sciences*, **284**, 376-413.
- Katerinopoulos A., Kyriakopoulos K., Del Moro A., Mitropoulos P. & Giannoti U., (1992). Comparative study of Hercynian granitoids from N.W. Greece and S. Yugoslavia. *Chem. Erde*, **52**, 261-276.
- Κίλιας, Α. (1980). Γεωλογική και τεκτονική μελέτη της ανατολικής περιοχής του Ανατολικού Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία). Διδακτ. Διατρ., Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 271 σ.
- Kilias, A. (1991). Transpressive tektonik in den zentralen Helleniden Änderung der Translationspfade durch die Tranpression (Nord-Zentral-Griechenlan). *N.Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **20**, 291-306.
- Kilias, A. and Mountrakis, D. (1989). The Pelagonian nappe, tectonics metamorphism and magmatism. *Bull. Geol. Soc. Gr.*, **23** (1), 29-46.
- Kilias, A., Tranos, M., Mountrakis, D., Shallo, M., Marto, A. and Turku, I., (2001). Geometry and kinematics of deformation in the Albanian orogenic belt during the Tertiary. *Journal of Geodynamics*, **31**, 169-187.
- Kilias, A., Frisch, W., Avgerinas, A., Dunkl, I., Falalakis, G. and Gawlick H.-J., (2011). Alpine architecture and kinematics of deformation of the Northern Pelagonian nappe pile in the Hellenides. *Austrian Journal of Earth Science*, Vol.103/1.
- Κορωνάιος, Α. (1991). Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη του Ανατ. Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία), Διδακτ. Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 451σ.
- Κορωνάιος, Α. (1995). Συγκριτική, ορυκτολογική - πετρολογική και γεωχημική μελέτη των πλουτωνικών και γνευσιακών πετρωμάτων του Ανατ. Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία). Ανάτυπο από «Γεωλογικών Χρονικών και Ελληνικών Χωρών» **36**, 1993-1995, σ. 119-141.
- Koroneos, A., Kilias, A. and Avgerinas, A. (2013). Hercynian plutonic rocks of Voras Mountain, Macedonia, Northern Greece: their structure, petrogenesis, and tectonic significance. *International Geology Review*, **55**, 8, 994-1016.
- Koroneos, A., Christofides, G., del Moro, A. and Kilias, A. (1993). Rb-Sr geochronology and geochemical aspects of the Eastern Varnountas plutonite (NW Macedonia, Greece). *Neues Jahrbuch Miner. Abh.*, **165**:3, 297-315.

- Majer, V. and Mason, R., (1983). High pressure metamorphism between the Pelagonian Massif and Vardar Ophiolite belt, Yugoslavia *Minerological Magazine*, **47**, 139-141.
- Massonne, H.J., and Schreyer, W., (1987). Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite and quartz. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **96**, 212-224.
- Medwenitsch, W., (1956). Zur Geologie Vardarisch-Makedoniens (Jugoslawien), zum Problem der Pelagoniden. *Oestereichische Akademie der Wissenschaften, for Sitzungsberichte der mathematisch naturwissenschaftlichen Klasse, Abteilung 1*, **165**, 397-473.
- Most, T., (2003). Geodynamic evolution of the Eastern Pelagonian zone in Northwestern Greece and the republic of Macedonia. PhD Thesis, University of Tuebingen, Tuebingen, 195 pp.
- Mountrakis, D. (1977). Observations on the shear fractures of the marbles of the North – Pelagonian zone. *Sci. Ann. Fac. Phys. Mathem., Univ. Thessaloniki*, **17**, 335- 345.
- Mountrakis, D. (1982)a. Étude géologique des terrains métamorphiques de Macédoine occidentale (Grèce). *Bull. Soc. Géol. France*, **24**, 697-704.
- Mountrakis, D. (1982)b. Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the Internal Hellenides (Greece). *Ofioliti*, **7**, N. 2/3, 397-406.
- Μουντράκης, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. *Πραγματεία για Υφηγεσία, πανεπ. Θεσσαλονίκης*, 289 σ.
- Mountrakis, D. (1984). Structural evolution of the Pelagonian zone in Northwestern Macedonia. *Journal of Geol.Society, sp. Publ.*, **17**, 581-590.
- Mountrakis, D. (1986). The Pelagonian zone in Greece: A polyphase deformed fragment of the Cimmerian Continent and its role in the geotectonic evolution of the Mediterranean. *J. Geol.*, **94**, 335-347.
- Spear, F.S., Hickmott, D.D., and Selverstone, J., (1990). Metamorphic consequences of thrust emplacement. Fall Mountains, New Hampshire. *Geological Society of America Bulletin*, **102**, 1344-1360.

- Vergely, P. (1984). Tectoniques des ophiolites dans les Hellénides Internes déformation, métamorphismes et phénomènes sédimentaires) Consequences sur l' évolution des régions Téthysiennes Occidentales. PhD Thesis, Université de Paris – Sud, Orsay, 560 pp.
- Vidal, O., Goffe, B., Bousquet, R., and Parra, T., (1999). Calibration and testing of an empirical chloritoid-chlorite Mg-Fe exchange thermometer and thermodynamic data daphnite. *Journal of Metamorphic Geology*, **17**, 25-39.
- Wu, C.M., Wang, X. S., Yang, C. H., Geng Y.S. and Liu, F.I., (2002). Empirical garnet-muscovite geothermometry in metapelites. *Lithos*, **63**, 113.
- Xie, X., Byerly, R., and Ferrelli, E., (1997). Ilb tiotahedral chlorite from the Barberton greenstone belt: crystal structure and rock composition constraints with implications to geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **126**, 275-291.
- Zang, W. and Fyfe, W.S., (1995). Chloritisation of the hydrothermally altered bedrock at the Igarape Bahia gold deposit, Brazil. *Mineralium Deposita*, **30**, 30-38.