

Πρακτικά		3ου Συνεδρίου		Μάιος 1986	
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	σελ.	Αθήνα		
	XX/2	275-291	1988		
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens		

## ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΞΑΝΘΗΣ - ΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΩΝ ΣΥΝΟΡΩΝ\*

Ε. ΜΠΟΣΚΟΣ\*\*, Α. ΔΗΜΑΔΗΣ\*\*\*, Β. ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ\*\*\*

### ΣΥΝΟΨΗ

Στο κρυσταλλικό υπόβαρο της Ροδόπης μεταξύ Ξάνθης-Ίασμου και Ελληνοβουλγαρικών συνόρων αποκαλύπτονται κυρίως τα πετρώματα του κάτω γνευσιακού συστήματος τα οποία είναι ανεστραμμένα και επωδημένα στο ανώτερο ανθρακικό σύστημα. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν υποστεί μεταμόρφωση μεσαίων πιέσεων κάτω από συνθήκες μέσης μέχρι και ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης. Στο κείμενο δίνονται στοιχεία ενδεικτικών παραγενέσεων σε μεταηλιτικά πετρώματα, αμφιβολιτικά πετρώματα και μάρμαρα. Επίσης αναπτύσσεται ο χημισμός των αμφιβόλων, κλινοπυροξένων, πλαγιοκλάστων και βιοτίτη σε αμφιβολιτικά πετρώματα και βιοτίτη και γρανάτη σε μεταηλιτικά πετρώματα.

### ABSTRACT

In the metamorphic basement of the Rhodope massif between Xanthi-Iasmos and Greek-Bulgarian borders the stratigraphically lower gneiss system is inverted and overthrust upon the higher carbonate system. This system has undergone a medium pressure metamorphism under medium and high amphibolite facies conditions. This work describes the characteristic mineral associations of metapelites, amphibolites and marbles. The mineral chemistry of amphibole, clinopyroxene, plagioclase and biotite in the amphibolites as well as biotite and garnet in the metapelites is also discussed.

\* CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE RHODOPE METAMORPHIC  
BASEMENT BETWEEN XANTHI-IASMOS AND GREEK-BOULGARIAN  
BORDERS

\*\*National Technical University, Department of Geological Sciences, \*\*\*I.G.M.R.

## ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

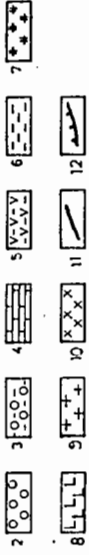
Η περιοχή δομείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα της Ροδοπικής μάζας τα οποία κατά θέσεις καλύπτονται επικλεισιγενώς από Τριτογενείς σχηματισμούς.

Κατά τον KRONBERG (1971) το μεταμορφωμένο σύστημα αποτελείται από την κατώτερη γνευσιακή σειρά, την ενδιάμεση ανθρακική (μάρμαρα φαλακρού-ορέων Λεκάνης) και την ανώτερη γνευσιακή σειρά. Αντίθετα οι ZACHOS and DIMADIS (1983) ταυτίζουν με τεκτονικά και πετρογραφικά κριτήρια την κατώτερη με την ανώτερη γνευσιακή σειρά, τεκμηρίωσαν ένα κατώτερο γνευσιακό σύστημα και ένα ανώτερο ανθρακικό. Οι ΡΑΡΑΝΙΚΟΛΑΟΥ and ΡΑΝΑΓΟΡΟΥΛΟΣ (1981) διακρίνουν στο ελληνικό τμήμα της Ροδόπης δύο τεκτονικές ενότητες. Η κατώτερη ενότητα αποτελείται από δύο λιθοστρωματογραφικές ομάδες, την κατώτερη με γνεύσιους, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και σχιστοποιημένους γρανίτες και την ανώτερη η οποία αποτελείται από μιά σειρά μαρμάρων μεγάλου πάχους και ορισμένους πρασινοσχιστολίθους στα ανώτερα στρώματα. Η ανώτερη τεκτονική ενότητα, η οποία παρουσιάζει υψηλότερο βαθμό μεταμόρφωσης από την κατώτερη αποτελείται από οφθαλμογνεύσιους, αμφιβολίτες, μιγματίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και λεπτές παρεμβολές μαρμάρων.

Ετην περιοχή που ερευνάται (σχήμα 1) αποκαλύπτονται κυρίως οι σχηματισμοί του γνευσιακού συστήματος (ανώτερη τεκτονική ενότητα κατά ΡΑΡΑΝΙΚΟΛΑΟΥ and ΡΑΝΑΓΟΡΟΥΛΟΣ 1981), οι οποίοι ανεστραμένοι και επωδημένοι επικάθονται στο ανθρακικό σύστημα. Στην τομή Ξάνθης-Ωραίου-Θερμών τα πετρώματα του γνευσιακού συστήματος διαμορφώνουν ένα ανεστραμένο αντικλινόριο ΔΒΔ διεύθυνσης με πυρήνα το γρανίτη Σκαλωτής-Εχίνου (ZACHOS and DIMADIS 1983). Νοτιοδυτικά του πυρήνα σε ανεστραμένη διάταξη και βορειοανατολικά σε κανονική διάταξη αναπτύσσονται οι εξής σειρές πετρωμάτων.

1. Γρανιτογνευσιακή σειρά: Αποτελείται κυρίως από γνευσιογραφνίτες, μιγματίτες και οφθαλμογνεύσιους. Οι τελευταίοι είναι βιοτιτικοί γνεύσιοι με οφθαλμούς Κ-ούχων αστρίων. Η σειρά αυτή αποκαλύπτεται στις περιοχές Ωραίου-Θεοτόκου-Σμίνθης ανεστραμένη κάτω από το γρανίτη, στην περιοχή Μελιβοίων-Θερμών σε κανονική διάταξη πάνω από το γρανίτη και μεταξύ Σατρών-Εχίνου και Μέδουσας περιστρέφεται γύρω από το γρανίτη.

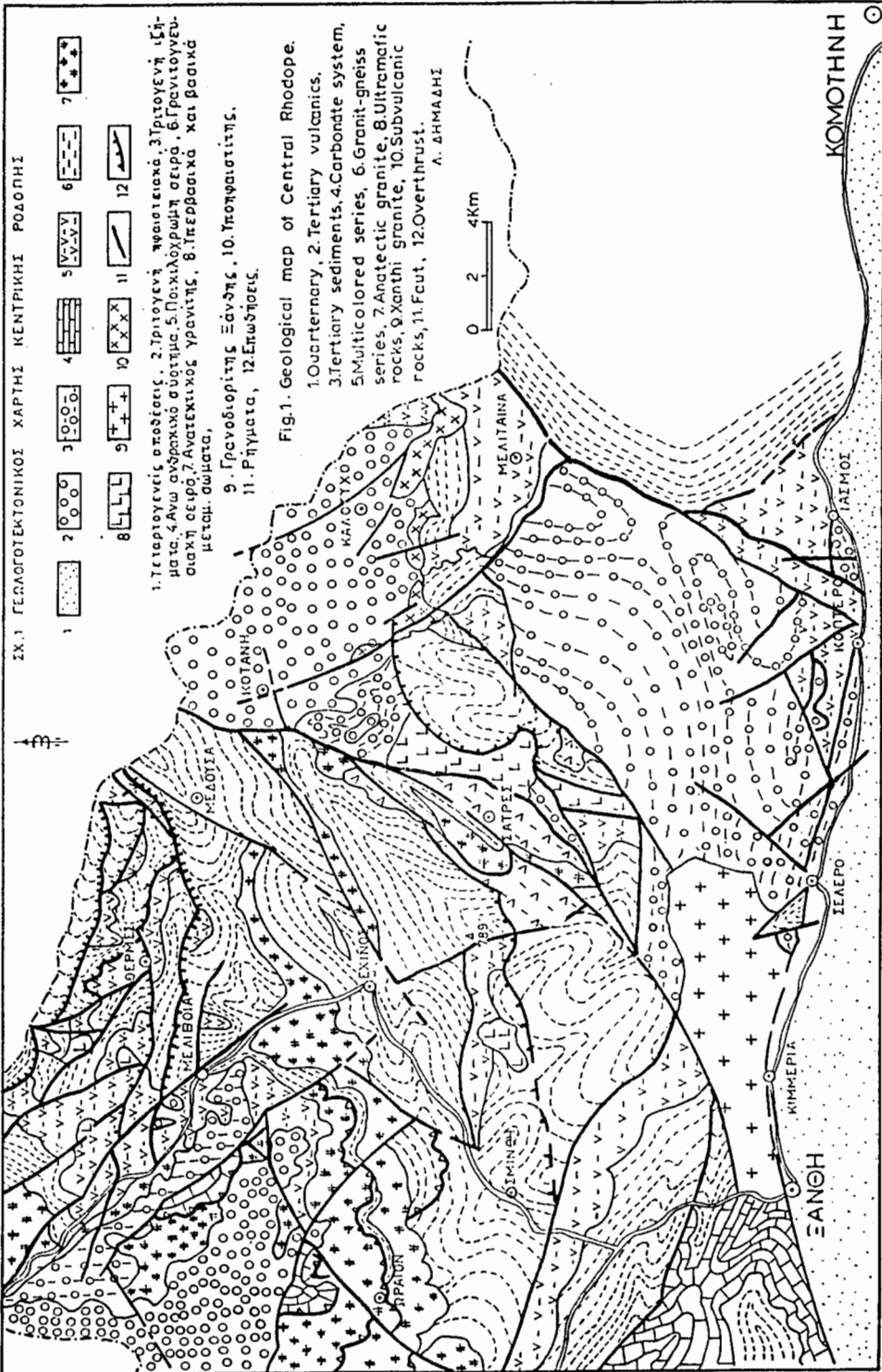
ΣΧ. 1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΝ ΧΑΡΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΡΩΔΟΥ



1. Τεταρτογενείς αποθέσεις, 2. Τριτογενή ηφαιστειακά, 3. Τριτογενή ιζη-  
 ματα, 4. Άνω ανθρακικό σύστημα, 5. Πολιχρωμή σειρά, 6. Γρανιτογενε-  
 σιακή σειρά, 7. Αναθεκτικός γρανίτης, 8. Ξανθοί γρανίτες και βασικά  
 μέταλλα, 9. Γρανοβιορίτης Ξάνθης, 10. Υποφωσφατίζης,  
 11. Ρηγάτα, 12. Εκδηλώσεις.

Fig. 1. Geological map of Central Rhodope.

1. Quaternary, 2. Tertiary volcanics,  
 3. Tertiary sediments, 4. Carbonate system,  
 5. Multicolored series, 6. Granit-gneiss  
 series, 7. Anatectic granite, 8. Ultramafic  
 rocks, 9. Xanthi granite, 10. Subvolcanic  
 rocks, 11. Fault, 12. Overthrust.  
 Α. ΔΗΜΑΔΗΣ



2. Σειρά εναλλαγών ή ποικιλόχρωμη: Αποτελείται κυρίως από αμβολίτες εναλλασσόμενους με διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, κεροστιλικούς κλινοπυροξενικούς-βιοτιτικούς γνεύσιους και μάρμαρα. Η σειρά αυτή αποκαλύπτεται ανεστραμμένη κάτω από τους γνεύσιους νότια της Σμίνθης και σε κανονική διάταξη στην περιοχή Σατρών. Στην περιοχή Μελιβοίων-θερμών βρίσκεται, λόγω έντονης παρουσίας μεσοπτυχών και μικροεπωθήσεων, αλλού σε κανονική διάταξη επάνω από τη γνευσιακή σειρά και αλλού κάτω από αυτήν.

Υπερμαφικά σώματα έμεσα συνδεδεμένα με την ποικιλόχρωμη σειρά εμφανίζονται στην περιοχή Σατρών και στις θέρμες.

Η ρηξιγενής τεκτονική της περιοχής διαμορφώνεται με τα εξής συστήματα ρηγμάτων. Το Α-Δ σύστημα ή "θρακικό", όπως είναι το μεγάλο "θρακικό" ρήγμα Κομοτηνής-Ξάνθης, το ΝΔ-ΒΑ σύστημα Ξάνθης-Καλότυχου και το ΒΔ-ΝΑ σύστημα Θερμών.

#### ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο στο κρυσταλλικό υπόβαθρο της περιοχής που μελετάται αποκαλύπτονται κυρίως τα πετρώματα του κάτω γνευσιακού συστήματος της δυτικής και κεντρικής ροδόπης. Η πετρολογική μελέτη περιορίζεται στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς που περιλαμβάνονται στη ζώνη μιγματιτών της γρανιτογνευσιακής σειράς και στη σειρά εναλλαγών.

#### Βιοτιτικός γνεύσιος

Ο βιοτιτικός γνεύσιος αποτελεί τον κυρίαρχο τύπο πετρώματος της γνευσιακής σειράς. Συναντάται επίσης, αλλά σε περιορισμένη σχετικά κλίμακα και στη σειρά εναλλαγών. Στη ζώνη μιγματιτών διπυερνάται από πηγματιτικές φλέβες των οποίων το πάχος και η πυκνότητα αυξάνει όσο πλησιάζουμε προς τα γρανιτικά σώματα. Μακροσκοπικά διακρίνεται ΝΔ του πυρήνα του αντικλινόριου προς τους ανώτερους ορίζοντες και ΒΑ του πυρήνα προς τους κατώτερους ορίζοντες προοδευτική τάση διαχωρισμού λευκοκρατικών διαστρώσεων (νεόσωμα) από τις αντίστοιχες μελανοκρατικές (παλαιόσωμα). Γενικά επικρατεί η μορφή των οφθαλμογνευσίων με οφθαλμούς καλιούχων αστρίων και πλαγιόκλαστων.

Ορυκτολογικά αποτελείται από Κ-ούχο άστριο, πλαγιόκλαστα, χαλαζία και βιοτιτή. Ως επουσιώδη συστατικά εμφανίζονται γρανά-

της, απατίτης, αλλανίτης, ζιρκόνιο και αδιαφανή ορυκτά. Οι Κ-ούχοι άστριοι εμφανίζονται κυρίως σε μορφή οφθαλμών, συνήθως χωρίς εγκλείσματα ή περιέχουν ελάχιστα εγκλείσματα αποστρογγυλωμένων κόκκων χαλαζία, κρυστάλλων βιοτίτη, σπανιότερα γρανάτη και βελονοειδή σιλλιμανίτη. Τα πλαγιόκλαστα αναπτύσσονται και αυτά συχνά σε μορφή πορφυροβλαστών. Περιέχουν όπως και οι καλιούχοι άστριοι σπάνια εγκλείσματα κυρίως χαλαζία βιοτίτη και γρανάτη. Μυρμηκίτες δεν είναι σπάνιοι. Συχνότεροι είναι στα περιθώρια της ζώνης μιγματιτών.

#### Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι

Η ανάπτυξη πλούσιων σε αργίλιο μεταπηλιτικών πετρωμάτων είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Τα επικρατέστερα μεταπηλιτικά πετρώματα είναι οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, συχνά γρανατούχοι και πολύ σπάνια γρανατούχοι με κυανίτη, σταυρόλιθο-κυανίτη-σιλλιμανίτη, κυανίτη-σιλλιμανίτη, ή σιλλιμανίτη.

Οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι επικρατούν στη σειρά εναλλαγών, στα ανώτερα μέλη της γνευσιακής σειράς και στο επωθημένο κάλυμμα στην περιοχή Σατρών-Τεμένους.

Διμαρμαρυγιακοί οφθαλμογνεύσιοι με παραγένεση βιοτίτη-μοσχοβίτη-πλαγιόκλαστο-ορθόκλαστο-χαλαζία+γρανάτη εντοπίστηκαν και ως διαστρώσεις σε βιοτιτικούς οφθαλμογνεύσιους στη ζώνη μιγματιτών. Στην περίπτωση αυτή η συνύπαρξη του μοσχοβίτη+χαλαζία+πλαγιόκλαστο+Κ-ούχο άστρο μέσα στη ζώνη μιγματιτών, όπου οι συνθήκες μεταμόρφωσης ξεπέρασαν εκείνες που καθορίζονται από την έναρξη της τήξης στο σύστημα αλβίτης+Κ-ούχος άστρος+χαλαζίας+H<sub>2</sub>O θα μπορούσε ενδεχόμενα να αποδοθεί στο γεγονός ότι τοπικά η πίεση του νερού ήταν χαμηλότερη της λιθοστατικής, με αποτέλεσμα να μετατοπιστεί για τις συγκεκριμένες θέσεις η σταθερότητα του μοσχοβίτη σε ψηλότερες θερμοκρασίες.

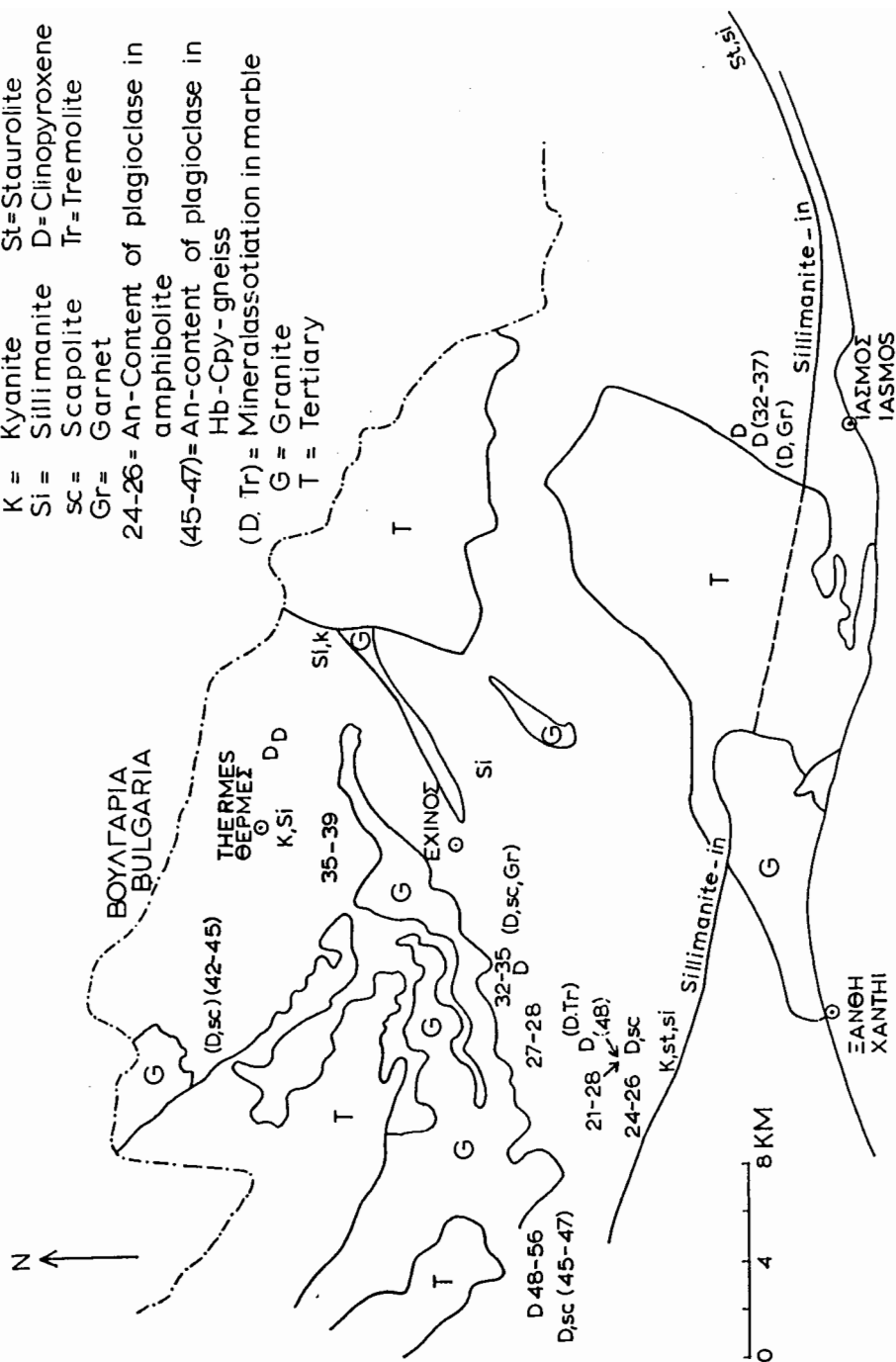
Οι θέσεις των μεταπηλιτικών πετρωμάτων στα οποία εντοπίστηκαν ορυκτά δείκτες για τον τύπο και το βαθμό της μεταμόρφωσης δίνονται στο σχήμα (2).

Στη διασταύρωση των οδών Εάνθης-Εχίνου-Σταυρούπολης εντοπίστηκαν γρανατούχοι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι με τις εξής παραγενέσεις:

α) γρανάτης-σταυρόλιθος-κυανίτης-σιλλιμανίτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης-πλαγιόκλαστο-χαλαζίας. Ο σιλλιμανίτης εμφανίζεται νηματοειδής.

β) γρανάτης-κυανίτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης-πλαγιόκλαστο-χαλαζίας.

K = Kyanite      St=Staurolite  
 Si = Sillimanite    D=Clinopyroxene  
 sc= Scapolite      Tr=Tremolite  
 Gr= Garnet  
 24-26= An-Content of plagioclase in  
          amphibolite  
 (45-47)= An-content of plagioclase in  
          Hb-Cpy-gneiss  
 (D, Tr)= Mineralassociation in marble  
          G = Granite  
          T = Tertiary



Σχήμα 2. Θέσεις με ορυκτά δείκτες για το βαθμό μεταμόρφωσης στο  
 κρυσταλλικό υπόβαθρο της κεντρικής Ροδόπης. Λεπτομέρειες  
 δίνονται στο κείμενο.

Fig. 2. Locations with index minerals in crystalline basement of  
 Central Rhodope. Details are given in text.

Οι παραγενέσεις αυτές χαρακτηρίζουν μεταμόρφωση τύπου Barrow και βαθμό μέσης αμφιβολιτικής φάσης.

Στις θέρμες εντοπίστηκε κυανιτούχος γνεύσιος με βλάστες κυανίτη μήκος μέχρι 2cm με την εξής παραγένεση: γρανάτη-κυανίτη-σιλλιμανίτη-βιοτίτη-πλαγιόκλαστο-ορθόκλαστο-χαλαζίας.

Ο σιλλιμανίτη αναπτύσσεται σε ιδιόμορφους στηλοειδείς κρυστάλλους. Η παραγένεση αυτή χαρακτηρίζει επίσης μεταμόρφωση τύπου Barrow και βαθμό ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης. Από μικροαναλύσεις σε συνυπάρχοντα ζεύγη βιοτίτη-γρανάτη στην παραπάνω παραγένεση, υπολογίστηκαν οι συντελεστές κατανομής σιδήρου-μαγνησίου  $K_D = (Fe/Mg)_{βιοτίτη} / (Fe/Mg)_{γρανάτη}$  και στη συνέχεια οι θερμοκρασίες μεταμόρφωσης. Οι τιμές που προέκυψαν είναι 674-677°C με βάση την εξίσωση των FERRY and SPEAR (1979) και 637°C με βάση τα δεδομένα του THOMPSON (1976). Οι θερμοκρασίες των 674-677°C κρίνονται ικανοποιητικές διότι ξεπερνούν το πεδίο σταθερότητας του μοσχοβίτη στην παραγένεση μοσχοβίτη+χαλαζίας+πλαγιόκλαστο+H<sub>2</sub>O → τήγμα+σιλλιμανίτη (KERRICK 1972). Αλλά και η θερμοκρασία των 637°C μπορεί να αιτιολογήσει την εξαφάνιση του μοσχοβίτη με βάση την αντίδραση μοσχοβίτη+χαλαζίας+πλαγιόκλαστο+K-ούχος άστριος+H<sub>2</sub>O → τήγμα. Η αντίδραση αυτή ταυτίζεται με τα όρια που δίνονται από την έναρξη της τήξης στο σύστημα αλβίτη+K-ούχος άστριος+χαλαζίας+H<sub>2</sub>O (MERRILL et al. (1970). Βέβαια στην περίπτωση αυτή καθορίζεται ως ελάχιστη πίεση για τη θερμοκρασία των 637°C η τιμή των 5-6Kb. Η τιμή αυτή θεωρείται και ως η κατώτερη πίεση προκειμένου να αιτιολογηθεί η παρουσία του κυανίτη-σιλλιμανίτη στα πετρώματα αυτά σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα των RICHARDSON et al. (1969).

Στο δρόμο Εάνθη-Στουρούπολης 1,5 χιλιόμετρα NNE του Λυκοδρομίου διαπιστώθηκε σε γρανατούχο διμαρμαρυγιακό γνεύσιο μερική μετατροπή του γρανάτη σε δευτερογενή πράσινο βιοτίτη. Τέτοιες μετατροπές γρανάτη σε βιοτίτη παρουσιάζουν καθολικό χαρακτήρα στην ανατολική Ροδόπη (ΜΠΟΣΚΟΣ κ.α. 1986). Στην επωθημένη σειρά μεταξύ Σατρών και Τεμένους διαπιστώθηκε μετατροπή του γρανάτη σε χλωρίτη και βιοτίτη.

#### Κερασιλβικοί βιοτιτικοί γνεύσιοι και κλινοπυροξενικοί-κερασιλβικοί-βιοτιτικοί γνεύσιοι

Οι λιθολογικοί αυτοί τύποι αναπτύσσονται ως διαστρώσεις στους ανώτερους κυρίως ορίζοντες της γνευσιακής σειράς και στη

σειρά εναλλαγών, Ο βιοτίτης είναι πλούσιος σε τιτάνιο ( $TiO_2$  3-4%) και παρουσιάζει στη λεπτή τομή χρώμα κεραμυδί. Η κεροσίλβη είναι επίσης σχετικά πλούσια σε τιτάνιο ( $TiO_2$  0,99-1,41%. Στην σχετικά ψηλή περιεκτικότητα σε  $TiO_2$  οφείλει το καφέ-πράσινο χρώμα της. Οι άστριοι-K-ούχοι άστριοι και πλαγιόκλαστα παρουσιάζουν συχνά οφθαλμοειδή ανάπτυξη. Ως επουσιώδη συστατικά εμφανίζονται στους λιθολογικούς αυτούς τύπους, τιτανίτης, απατίτης, αλλανίτης, τουρμαλίνη και αδιαφανή ορυκτά.

### Αμφιβολίτες

Στη γνευσιακή σειρά και γενικά στη ζώνη μιγματιτών οι αμφιβολίτες είναι σχετικά περιορισμένοι. Στη σειρά εναλλαγών εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα είτε ως διαστρώσεις σε βιοτιτικούς ή διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους είτε σε εναλλαγές με μάρμαρα. Στη δεύτερη περίπτωση συχνά διαπιστώνονται μεταβολές στην ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος κατά ζώνες πάχους ορισμένων εκατοστών ή ακόμη και χιλιοστών. Οι ζώνες αυτές αντιστοιχούν σε λεπτότατες εναλλαγές πρωτογενών στρώσεων αντίστοιχου πάχους με διαφορετική χημική σύσταση η κάθε μία.

Οι αμφιβολίτες αποτελούνται ορυκτολογικά από κεροσίλβη, πλαγιόκλαστο, χαλαζία, βιοτίτη, τιτανίτη. Ορισμένοι περιέχουν επιπλέον γρανάτη και πολλοί, ιδιαίτερα στις περιοχές που επικράτησαν ψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη μεταμόρφωση, κλινοπυρόξενο ή κλινοπυρόξενο+σκαπόλιθο.

Η κεροσίλβη είναι πράσινη στη λεπτή τομή και μεταβαίνει, ιδιαίτερα στη ζώνη μιγματιτών, σε καφέ-πράσινη. Οι κλινοπυρόξενοι παρουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό εξαλλοιώσεις σε λεπτοκρυσταλλικά συσσωματώματα χλωρίτη+ασβεσίτη. Ο βιοτίτης είναι γενικά πλούσιος σε τιτάνιο και παρουσιάζει στη λεπτή τομή χρώμα σκούρο καφέ ή ερυθροκαφέ. Κατά θέσεις μετατρέπεται σε χλωρίτη+τιτανίτη.

Σε γρανατούχους αμφιβολίτες στην επωδημένη ενότητα Σατρών-Τεμένους διαπιστώθηκε μετατροπή του γρανάτη σε χλωρίτη και της πράσινης κεροσίλβης με μπλε-πράσινη. Τα στοιχεία αυτά τεκμηριώνουν την επίδραση ανάδρομης μεταμόρφωσης.

### Μάρμαρα

Στη σειρά εναλλαγών τα μάρμαρα σχηματίζουν χαρακτηριστικούς ρίζοντες ή διαστρώσεις με αμφιβολίτες, κλινοπυρόξενικούς-σκαπόλιθικούς-κεροσιλβικούς γνεύσιους και κλινοπυρόξενικούς-κεροσιλβικούς-βιοτιτικούς γνεύσιους.

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



Στην παρούσα μελέτη δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα μάρμαρα που περιέχουν ασβεστοπυριτικά ορυκτά. Οι θέσεις των μαρμάρων στα οποία εντοπίστηκαν ασβεστοπυριτικά ορυκτά δίνονται στο σχήμα 2.

Σε τρεμολιτικό μάρμαρο στην περιοχή της Μύκης, το οποίο βρίσκεται στην εξωτερική ζώνη μιγματιτών, διαπιστώθηκαν εγκλείσματα διοψιδίου σε τρεμολίτη. Η διαπίστωση αυτή επιτρέπει να καθοριστεί σε ικανοποιητικό βαθμό, με βάση τα πειραματικά δεδομένα του METZ (1973), η πορεία και ο βαθμός μεταμόρφωσης για τη συγκεκριμένη θέση. Ο διοψίδιος, του οποίου ο σχηματισμός προηγήθηκε του τρεμολίτη σχηματίστηκε σύμφωνα με την αντίδραση  $1 \text{ δολομίτης} + 2 \text{ χαλαζίας} \rightarrow 1 \text{ διοψίδιος} + 2 \text{ CO}_2$ . Η αντίδραση αυτή απαιτεί λόγο  $X_{\text{CO}_2}$  στην αέρια φάση μεγαλύτερο του 0,95, γεγονός που σημαίνει ότι το μάρμαρο ήταν στην αρχή κατά την προοδευτική άνοδο της θερμοκρασίας σχεδόν απηλαγμένο από νερό. Η αντίδραση αυτή γίνεται για πίεση 5Kb, την οποία δεχόμαστε ως ελάχιστη πίεση (παρουσία κυανίτη-σιλλιμανίτη σε μεταπηλιτικά πετρώματα. RICHARDSON et al. 1969) μεταξύ 620-625°C. Στη συνέχεια με διείσδυση νερού από το γνευσιακό περιβάλλον ελαττώθηκε ο λόγος  $X_{\text{CO}_2}$  στην αέρια φάση με αποτέλεσμα την μετάβαση ακόμη και με προοδευτική αύξηση της θερμοκρασίας στο πεδίο σταθερότητας του τρεμολίτη, ο οποίος πρέπει να σχηματίστηκε σύμφωνα με την αντίδραση  $5 \text{ δολομίτης} + 8 \text{ χαλαζίας} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 1 \text{ τρεμολίτης} + 3 \text{ ασβεστίτης} + 7 \text{ CO}_2$ .

Μάρμαρο με διοψίδιο και σκαπόλιθο εντοπίστηκε στη ζώνη μιγματιτών στο Σακόρεμα κοντά στο συνοριακό φυλάκιο και με διοψίδιο, σκαπόλιθο και γροσσουλάριο ΒΔ του Κενταύρου. Μεταξύ Ιάσμου και Τρίκορφου διαπιστώθηκε σε μάρμαρο πλούσιο σε πυριτικά ορυκτά η παραγένεση διοψίδιος-γροσσουλάριος-ασβεστίτης-χαλαζίας-επίδοτο-τιτανίτης.

Σε ασβεστιτικά κυρίως μάρμαρα εμφανίζονται τα ορυκτά μοσχοβίτης, φλογοπίτης, βιοτίτης, χλωρίτης, πλαγιόκλαστα, επίδοτο σε διάφορους παραγενετικούς συνδυασμούς.

## ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή προσδιορίστηκε η χημική σύσταση των αμφιβόλων, πλαγιουκλάστων, κλινοπυροξένων και βιοτίτη σε αμβιβολιτικά κυρίως πετρώματα και του βιοτίτη και γρανάτη σε μεταπηλιτικά πετρώματα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων σχολιάζονται

παρακάτω. Οι πίνακες των χημικών αναλύσεων είναι στη διάθεση κάθε ενδιαφερόμενου και μπορούν να ζητηθούν από τον Ε.Μπόσκο.

### Κεροσίλβη

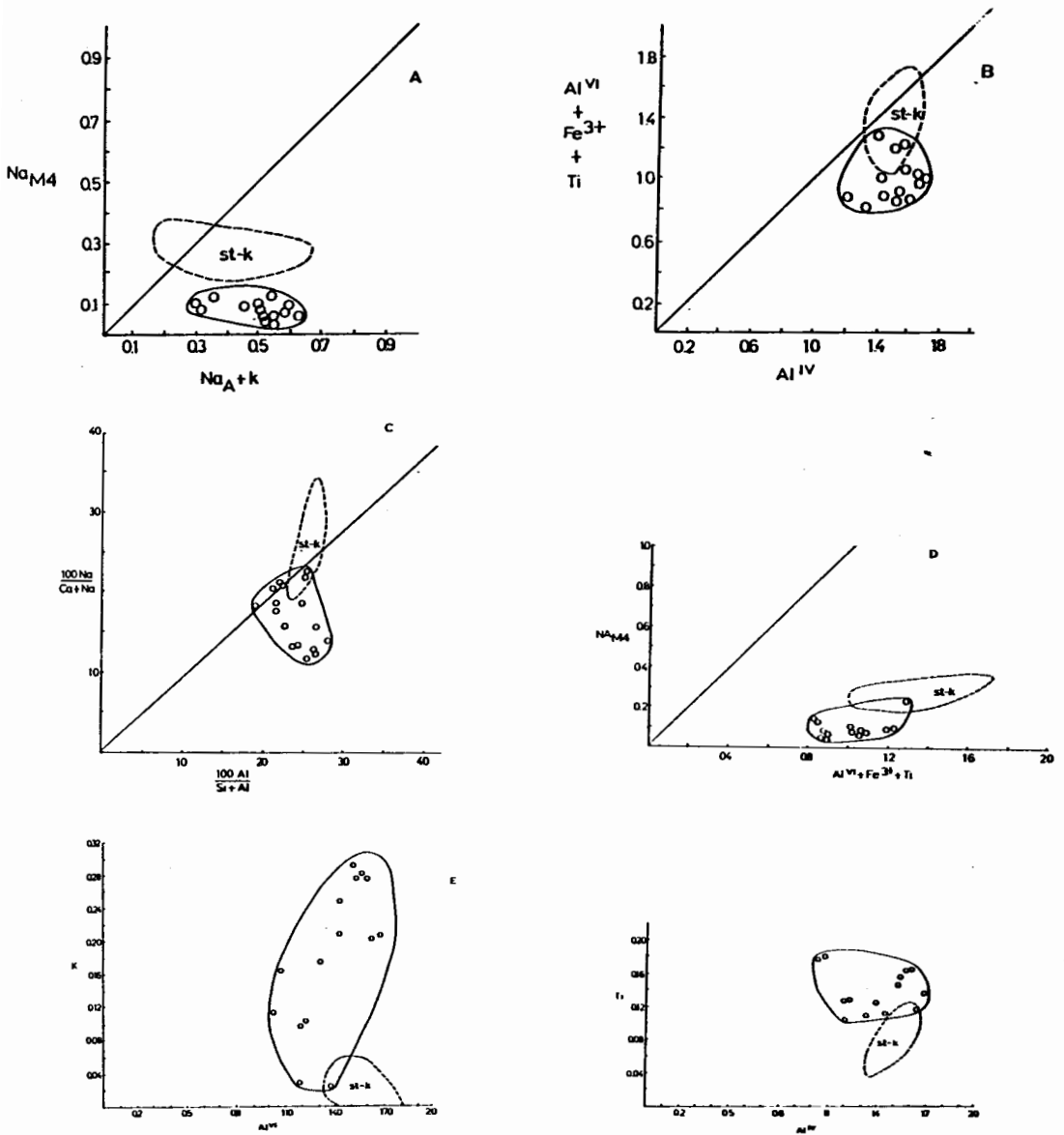
Αναλύθηκαν 20 κεροσίλβες από 5 δείγματα αμφιβολιτών και 3 δείγματα κεροσιλβικών διοψιδικών γνευσίων. Ο δομικός τύπος υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο των ΡΑΡΙΚΕ et al. (1974).

Όπως έχει ήδη τεκμηριωθεί από πολλούς ερευνητές η χημική σύσταση των κλινοαμφιβόλων σε μεταβασιικά πετρώματα επηρεάζεται από τον τύπο και το βαθμό μεταμόρφωσης.

Λαμβάνοντας ως βάση το δομικό τύπο του ακτινόλιθου διαπιστώνεται ότι με αύξηση του βαθμού μεταμόρφωσης αυξάνει η αντικατάσταση με τσερμακίτικό  $(Al^{vi}+Fe^{3+}+Ti+Cr)$ ,  $Al^{iv} \rightleftharpoons (Fe^{2+}+Mg+Mn)$ , Si και γλαυκοφανιτικό  $Na_{M_4}$ ,  $(Al^{vi}+Fe^{3+}+Ti+Cr) \rightleftharpoons Ca$ ,  $(Fe^{2+}+Mg+Mn)$  μόριο, ενώ η αντικατάσταση με εδενιτικό μόριο  $(Na_A+K)$ ,  $Al^{iv} \rightleftharpoons Si$  αυξάνει στην αρχή και στη συνέχεια ελαττώνεται (LAIRD and ALBEE 1981). Η αντικατάσταση με γλαυκοφανιτικό μόριο κυριαρχεί σε μεταμορφώσεις ψηλών πιέσεων, ενώ σε μεταμορφώσεις χαμηλών πιέσεων κυριαρχούν οι αντικαταστάσεις με εδενιτικό και τσερμακίτικό μόριο. Γενικά αμφίβολοι μεσαίων πιέσεως - όπως στην περιοχή που μελετάται - παρουσιάζουν χημική σύσταση ενδιάμεση μεταξύ εκείνης των ψηλών και χαμηλών πιέσεων.

Γιά να εκφραστεί καλύτερα η επίδραση του βαθμού αλλά και του τύπου μεταμόρφωσης σε μιά κρυσταλλοσχιστώδη μάζα, επάνω στη χημική σύσταση των αμφιβόλων, κρίνεται σκόπιμο να προβάλλονται στα αντίστοιχα διαγράμματα αναλύσεις από ζώνες διαφορετικού βαθμού μεταμόρφωσης. Γιά το λόγο αυτό παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 3 και οι περιοχές στις οποίες προβάλλονται οι κεροσίλβες αμφιβολιτών από την περιοχή που εκτείνεται βορειοανατολικά της Κομοτηνής. Στην περιοχή αυτή ο βαθμός μεταμόρφωσης χαρακτηρίζεται από τις συνθήκες της κατώτερης αμφιβολιτικής φάσης μέχρι τη ζώνη σταυρόλιθου-κυανίτη (ΜΠΟΣΚΟΣ κ.α. 1986). Στην περιοχή γιά την οποία αναφέρεται η παρούσα μελέτη ο βαθμός της μεταμόρφωσης χαρακτηρίζεται γενικά από τις συνθήκες της ζώνης κυανίτη-σιλλιμανίτη.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 3C οι αμφίβολοι της περιοχής Ξάνθης-Εχίνου-Ιάσμου παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε νάτριο, σε σχέση με τους αμφιβόλους της ζώνης σταυρόλιθου-κυανίτη. Επίσης περιέχουν και σχετικά χαμηλότερο αργίλιο. Από το διάγραμμα 3B παρατηρούμε ότι όλοι οι αμφίβολοι της περι-



Σχήμα 3. Διαγράμματα στα οποία δίνονται οι σχέσεις των στοιχείων στο δομικό τύπο αμφιβόλων από αμφιβολίτες της περιοχής Ξάνθης-Ιάσμου-ελληνοβουλγαρικών συνόρων. St-K= Αμφίβολοι από τη ζώνη σταυρόλιθος-κυανίτης της περιοχής ΒΑ της Κομοτινής. Η ευθεία γραμμή δέχνει τη σχέση 1:1.

Fig. 3. Formula proportion diagrams of amphiboles in amphibolites from the region Xanthi-Iasmos-Greek-Bulgarian borders. St-K = amphiboles of the staurolite-Kyanite-zone from the region NE of Komotini. The 1:1 line is for reference.

οχής Εάνθης-Εχίνου-Ιάσμου προβάλλονται κάτω από τη γραμμή ακτινόλιθος-τσερμακίτης. Αυτό σημαίνει ότι επικρατεί η αντικατάσταση του εδενιτικού μορίου σε σχέση με το γλαυκοφανιτικό γεγονός που γίνεται εμφανές και από τα διαγράμματα 3A και 3D.

Λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα των LAIRD and ALBEE (1981) θα πρέπει να δεχθούμε ότι οι αμφίβολοι της περιοχής που μελετάται σχηματίστηκαν κάτω από συνθήκες μιάς άλλης μεταμόρφωσης και μάλιστα χαμηλότερων πιέσεων σε σχέση με τους αμφιβόλους της περιοχής που εκτείνεται βορειοανατολικά της Κομοτηνής. Αυτό όμως δεν τεκμηριώνεται από τα πετρογραφικά δεδομένα, όπως τουλάχιστον αυτά αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Από τις παρατηρήσεις αυτές συμπεραίνεται ότι οι αμφίβολοι σε περιβάλλον μεσαίων πιέσεων παρουσιάζουν προοδευτικά αύξηση του τσερμακίτικού και γλαυκοφανιτικού μρίου μέχρι τη ζώνη σταυρόλιθου-κυανίτη. Σε ψηλότερο βαθμό μεταμόρφωσης επικρατεί η αντικατάσταση του εδενιτικού μορίου με αντίστοιχη μείωση κυρίως του γλαυκοφανιτικού αλλά και του τσερμακίτικού μρίου. Στο διάγραμμα 3E δίνεται η σχέση  $K:Al^{IV}$ . Διαπιστώνεται ότι οι αμφίβολοι της περιοχής Εάνθης-Εχίνου-Ιάσμου χαρακτηρίζονται από ψηλές περιεκτικότητες σε κάλιο. Οι μεγαλύτερες τιμές διαπιστώθηκαν σε αμφιβόλους της ζώνης μιγματιτών. Στο διάγραμμα 3F δίνεται η σχέση  $Ti:Al^{IV}$ . Διαπιστώνεται ότι οι αμφίβολοι της περιοχής Εάνθης-Εχίνου-Ιάσμου έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε τιτάνιο σε σχέση με τους αμφιβόλους της ζώνης σταυρόλιθου-κυανίτη. Η ψηλή περιεκτικότητα σε τιτάνιο επηρεάζει ως γνωστό και το χρώμα της κερροσίλβης. Οι περισσότερες από τις κερροσίλβες που αναλύθηκαν παρουσιάζουν στη λεπτή τομή χρώμα καφεπράσινο.

### Πλαγιόκλαστα

Η περιεκτικότητα των πλαγιοκλάστων σε ανορθίτη δίνεται στο σχήμα 2. Παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ανορθίτη παρουσιάζουν τα πλαγιόκλαστα των αμφιβολιτών στη ζώνη μιγματιτών. Οι ψηλότερες τιμές (42-45, 45-47 και 48-56%) διαπιστώθηκαν σε διοψιδικούς-κεροστιλβικούς γνεύσιους και διοψιδικούς-σκαπολιθικούς γνεύσιους στη ζώνη μιγματιτών. Σε αντίστοιχο πέτρωμα μεταξύ Ιάσμου και Τρίκορφου οι τιμές σε ανορθίτη στα πλαγιόκλαστα παρουσιάζονται σχετικά χαμηλότερες (32-37%).

Στο δείγμα ΕΘ-2 (200 μέτρα βόρεια της διασταύρωσης Εάνθης-Εχίνου-Σταυρούπολης) αναλύθηκαν πλαγιόκλαστα με περιεκτικότητα σε ανορθίτη 24-26% και 10-12%. Επειδή η θέση του δείγματος βρίσκεται στη ζώνη σταυρόλιθου-κυανίτη-σιλλιμανίτη η παρουσία των

πλαγιοκλάστων με χαμηλή περιεκτικότητα σε ανορθίτη μπορεί να αποδοθεί μόνο σε επίδραση δεύτερης χαμηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης. Η επίδραση ανάδρομης μεταμόρφωσης στο νότιο τμήμα της περιοχής Εάνθης-Έχίνου τεκμηριώνεται και από τη μετατροπή του γρανάτη σε πράσινο βιοτίτη σε μεταπηλιτικά πετρώματα NNA του Λυκοδρομίου.

### Κλινοπυρόξενοι

Κλινοπυρόξενοι σε αμφιβολιτικά πετρώματα που υπέστησαν μεταμόρφωση μεσαίων πιέσεων απουσιάζουν σχεδόν μέχρι την ανώτερη αμφιβολιτική φάση. Οι WISEMAN (1934) και WENK (1970) αναφέρουν ότι οι κλινοπυρόξενοι πρωτοεμφανίζονται σε αμφιβολιτικά πετρώματα στη ζώνη σιλλιμανίτη.

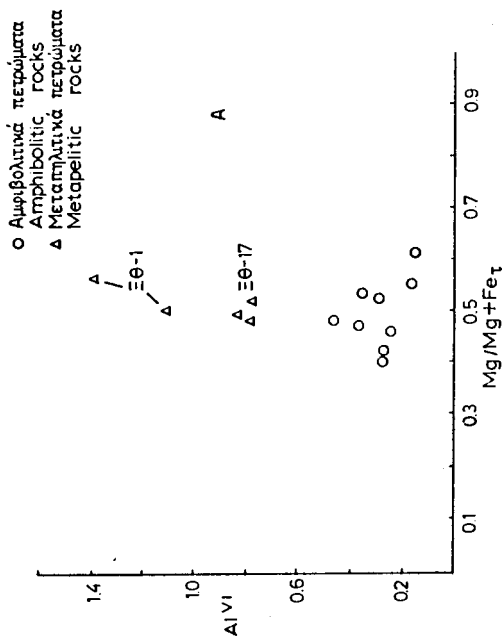
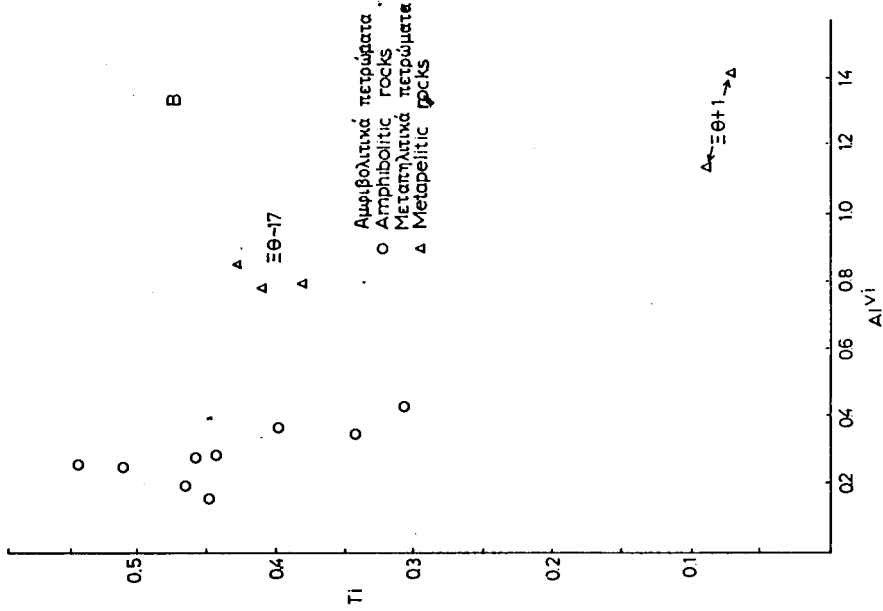
Οι θέσεις των δειγμάτων στα οποία διαπιστώθηκαν κλινοπυρόξενοι σε αμφιβολίτες και κερροσιλβικούς κλινοπυροξενικούς γνεύσιους δίνονται στο σχήμα 2. Όλες οι θέσεις βρίσκονται μέσα στη ζώνη κυανίτη-σιλλιμανίτη.

Αναλύθηκαν 9 κλινοπυρόξενοι. Η περιεκτικότητά τους σε  $Al_2O_3$  κυμαίνεται από 0,43-1,51% και σε  $Na_2O$  από 0,13-0,45%. Τα ακραία μέλη τους υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο των CAWTHORN and COLLERSON (1974). Το μόριο του ιαδεΐτη κυμαίνεται από 0,94-3,31% και του τσερμακίτη από 0,68-5,14%. Με βάση την ταξινόμηση των POLDERWAAT and HESS (1951) χαρακτηρίζονται ως σαλίτες με συμμετοχή του εδεμβεργιτικού μορίου κυμαινόμενο μεταξύ 25-43%.

### Βιοτίτης

Βιοτίτες αναλύθηκαν από αμφιβολιτικά και μεταπηλιτικά πετρώματα. Ο δομικός τύπος υπολογίστηκε με βάση 22 οξυγόνα.

Η σχέση  $Mg/(Mg+Fe_T):Al^{VI}$  δίνεται στο σχήμα 4A. Οι βιοτίτες των μεταπηλιτικών πετρωμάτων παρουσιάζουν αυξημένο  $Al^{VI}$  σε σχέση με εκείνους των αμφιβολιτικών πετρωμάτων. Επίσης διαπιστώνεται μεγαλύτερη διακύμανση του λόγου  $Mg/(Mg+Fe_T)$  στους βιοτίτες των αμφιβολιτικών πετρωμάτων. Στο σχήμα 4B δίνεται η σχέση του  $Ti:Al^{VI}$ . Διαπιστώνεται ότι οι βιοτίτες είναι εξαιρετικά πλούσιοι σε τιτάνιο και στους δύο τύπους πετρωμάτων. Στο δείγμα ΕΘ-1 η χαμηλή περιεκτικότητα σε τιτάνιο στο βιοτίτη οφείλεται στη χαμηλή περιεκτικότητα σε  $TiO_2$  στο πέτρωμα. Η αύξηση του  $Ti$  συνοδεύεται με ελάττωση του  $Al^{VI}$ . Κατά συνέπεια το τιτάνιο στο βιοτίτη αντικαθιστά οκταεδρικό αργίλιο.



Σχήμα 4. Σχέση μεταξύ  $Al^{VI}:Mg/Mg+Fe_T$  και  $Ti:Al^{VI}$  σε βιοτίτες αμφιβολιτών και μεταπηλιτικών πετρωμάτων της περιοχής Εάνθης-Ιάσμου-ελληνο-βουλγαρικών συνόρων.

Fig. 4. Formula proportions between  $Al^{VI}:Mg/Mg+Fe_T$  and  $Ti:Al^{VI}$  in biotites of amphibolitic and metapelitic rocks from the region Xanthi-Iasmos-Greek-Bulgarian borders.

## Γρανάτης

Από τις αναλύσεις γρανατών μεταπηλιτικών πετρωμάτων διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για αλμανδινικούς γρανάτες με 71-74% αλμανδίνη, 16-23% πυρωπό, 0,9-5,8% σπεσαρτίνη και 2,2-7,4% γροσσουλάριο.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη γεωλογική και πετρολογική μελέτη του κρυσταλλικού υποβάθρου της Ροδοπικής μάζας μεταξύ Εάνθης-Ιάσμου και Ελληνοβουλαγαρικών συνόρων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Στην περιοχή αυτή αποκαλύπτονται κυρίως τα πετρώματα του κάτω γνευσιακού συστήματος της δυτικής και κεντρικής Ροδόπης, (ανώτερη τεκτονική ενότητα κατά PAPANIKOLAOU and PANAGOPOULOS 1981), τα οποία είναι ανεστραμένα και επωθημένα στην ανώτερη ανθρακική σειρά. Στην τομή Εάνθης-Ωραίου-Θερμών τα πετρώματα αυτά διαμορφώνουν ένα ανεστραμένο αντικλινόριο με πυρήνα το γρανίτη Σκαλωτής-Εχίνου και με άξονα ΔΒΔ διεύθυνσης. ΝΔ του πυρήνα σε ανεστραμένη διάταξη και ΒΑ σε κανονική διάταξη αναπτύσσονται οι εξής σειρές πετρωμάτων:

- 1: Γρανιτογνευσιακή σειρά: αποτελείται κυρίως από γνευσιογρανίτες, μιγματίτες και οφθαλμογνεύσιους.
- 2: Σειρά εναλλαγών ή ποικιλόχρωμη: Αποτελείται κυρίως από διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, αμφιβολίτες, κερροστιλικούς-διοψιδικούς γνεύσιους και μάρμαρα.

Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν υποστεί μεταμόρφωση μεσαίων πιέσεων (Barrobian type) κάτω από συνθήκες μέσης μέχρι και ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης. Οι συνθήκες της μέσης αμφιβολιτικής φάσης τεκμηριώνονται με τις παραγενέσεις γρανάτης-σταυρόλιθος-κυανίτης-σιλλιμανίτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης-πλαγιόκλαστο-χαλαζίας και γρανάτης-σιλλιμανίτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης-πλαγιόκλαστο-χαλαζίας σε μεταπηλιτικά πετρώματα και της ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης με τις παραγενέσεις γρανάτης-κυανίτης-σιλλιμανίτης-βιοτίτης-ορθόκλαστο-πλαγιόκλαστο-χαλαζίας σε μεταπηλιτικά πετρώματα, διοψίδιος+ασβεστίτης σε μάρμαρα και την ανάπτυξη μιγματιτών σε μεταγραουβάκες ή μετααρκόζες.

Οι κερροσίλβες των αμφιβολιτών και κερροστιλικών-διοψιδικών γνευσίων παρουσιάζουν αυξημένο το εδενιτικό και ελαττωμένο το γλαυκοφανιτικό μόριο σε σχέση με τις κερροσίλβες αμφιβολιτών

της περιοχής που εκτείνεται ΒΑ της Κομοτηνής, οι οποίοι μεταμορώθηκαν στις συνθήκες της ζώνης σταυρόλιθου-κυανίτη. Παράλληλα παρουσιάζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Ti και K.

Οι κλινοπυρόξενοι σε αμφιβολιτικά πετρώματα περιορίζονται στη ζώνη κυανίτη-σιλλιμανίτη.

Τα πλαγιόκλαστα των αμφιβολιτικών πετρωμάτων παρουσιάζουν τις ψηλότερες περιεκτικότητες σε ανορθίτη στη ζώνη μιγματιτών.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- CAWTHORN, R.G. and COLLERSON, K.D., 1974: The recalculation of pyroxene end member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analyses. *Amer.Mineral.* 59 1203-1208.
- FERRY, J.M. and SPEAR, F.S., 1978: Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contr.Mineral.Petrol.* 66, 113-117.
- KERRICK, D.M., 1972: Experimental determination of muscovite+quartz stability with  $P_{H_2O} < P_{total}$ . *Am.J.Sci.* 272, 946-958.
- KRONBERG, P., 1966: Petrographie und Tektonik in Rhodopen Kristallin des Tsal Dag, Simvolon und Mt. Pangaeon (Griechisch-Mazedonien). *Geot. Forsch.* 31.
- LAIRD, J. and ALBEE, A., 1981: Pressure, temperature, and time indicators in mafic schists: their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. *Am.J. Sci.* 281, 127-175.
- MERRILL, R.B., ROBERTSON, J.K. and WYLLIE, P.J., 1970: Melting reactions in the system  $NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - $SiO_2$ - $H_2O$  to 20 Kb compared with results for other feldspar-quartz- $H_2O$  and rock- $H_2O$  systems. *J.Geol.* 78, 558-569.
- METZ, P., 1973: In petrology of metamorphic rocks, Winkler, H. 1976, Springer-Verlag, p.121.
- ΜΠΟΣΚΟΣ, Ε., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Π. και ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ, Β., 1986: Το κρυσταλλικό υπόβαθρο της ροδοπικής μάζας ανατολικά της Κομοτηνής. Ε.Γ.Ε. 3<sup>ο</sup> επιστημονικό συνέδριο (υπό δημοσίευση).



- PAPANIKOLAOU, D. and PANAGOPOULOS, A. 1981: On the structural style of Southern Rhodope, Greece. *Geol. Balcanica* 11, 3, 13-22.
- PAPIKE, J.J., CAMERON, K.L. and BALDWIN, K., 1974: Amphiboles and pyroxenes: characterization of other than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. *Geol. Soc. Am. Abstr. with programs* 6, 1053-1054.
- POLDERWAAT, A., and HESS, H., 1951: Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. *J. Geol.* 59, 472.
- RICHARDSON, S.W., GILBERT, M.E. and BELL, P.M., 1969: Experimental determination of Kyanite - andalusite and andalusite-sillimanite equilibria: The aluminum silicate triple point. *Am. J. Sci.* 267, 259-272.
- THOMPSON, A.B., 1976: Mineral reactions in pelitic rocks: II. Calculation of some P-T-X(Fe-Mg) phase relations. *Am. J. Sci.* 276, 425-454.
- WENK, E., 1970: Zur Regionalmetamorphose und Ultrametamorphose in Lepontin. *Fortschr. Mineral.* 47, 34-51.
- WISEMAN, J.D.H., 1934: The Central and Southwest Highland epidiorites: a study in progressive metamorphism. *Quarterly J. Geol. Soc. London* 90, 354-417.
- ZACHOS, S., DIMADIS, E., 1983: The geotectonic position of the Skaloti-Echinos granite and its relationship to the metamorphic formations of Greek West and Central Rhodope. *Geol. Balcanica*, 13, 5, 17-24.