

Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΟΙ P-T ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΩΝ «ΚΥΑΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ» ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ (ΒΟΡΕΙΑ/ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ)

A. Κίλιας*, W. Frisch**, L. Ratschbacher**, και Α. Σφέϊκος**

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Στις οροσειρές των Πιερίων, Ολύμπου και Όσας, στη βόρεια/κεντρική Ελλάδα, μελετάται η τεκτονική υφή και εξέλιξη της ηφαιστειοϊζηματογενούς ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων" (Ενότητα Αμπελάκια). Η ενότητα αυτή, πιθανόν αλπικής ηλικίας, αποτελεί το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα από μια σειρά τεκτονικών καλυμμάτων, που τοποθετούνται πάνω στην ανθρακική πλατφόρμα των Ριζωμάτων-Ολύμπου-Όσας, η ηλικίας από το Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο.

Τρία κύρια πλαστικής παραμόρφωσης γεγονότα, αλπικής ηλικίας, διαμόρφωσαν τη μέχρι το Μειόκαινο τεκτονική δομή των "κυανοσχιστόλιθων".

- Το πρώτο D₁-παραμορφωτικό γεγονός, ηλικίας Κρητιδικού έως Ηώκαινου, έλαβε χώρα συγχρόνως με μια K₁-μεταμόρφωση, σε συνθήκες υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας, στο στάδιο εξέλιξης μιας υποβύθισης. Η έννοια της διάτμησης, εξακριβώθηκε, το επάνω προς τα ΝΑ.

- Το δεύτερο D₂-παραμορφωτικό γεγονός, ηλικίας μέσου-άνω Ηώκαινου, είναι συμμορφωτικό ως προς μια δεύτερη HP/LT-K₂-μεταμόρφωση. Η D₂-παραμόρφωση συνδέεται, πιθανόν, με το στάδιο εξέλιξης της σύγκρουσης. Εκδηλώθηκε με κύρια φορά κίνησης προς τα ΝΔ. Στο τελικό στάδιο της D₂-παραμόρφωσης, κατά το τέλος Ηώκαινου-αρχές Ολιγόκαινου, συγχρόνως με μια ανοδική ηπειρογενετική κίνηση του ορογενούς, εξελίσσεται ένας ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης εφελκυσμός, συμμορφωτικός ως προς μια χαμηλού έως πολύ χαμηλού βαθμού K₂-μεταμόρφωση. Στα αρχικά εντούτοις στάδια της K_{2e} διατηρείται ακόμη η μπλε αμφίβηλος.

- Τέλος κατά το Ολιγόκαινο-αρχές Μειοκαινού, λαμβάνει χώρα κατά θέσεις, το συμμορφωτικό, τρίτο D₃-παραμορφωτικό γεγονός, σε ακόμη χαμηλότερες P/T-συνθήκες. Φορά κίνησης προς τα ΒΑ και ΝΔ.

Ανάλυση της ποσοτικής παραμόρφωσης, με την RF/Φ- και Fry-μέθοδο, έδωσε "τελική παραμόρφωση", τόσο του τύπου της "αξονικής επιμήκυνσης" κοντά στη γραμμή της επίπεδης παραμόρφωσης, όσο και του τύπου της πλάτυνσης.

A B S T R A C T

The Ambelakia Nappe forms a volcanosedimentary blueschist sequence of probably Mesozoic age beneath the Pelagonian nappe system. It frames the Olympos and Ossa Windows. The rocks of the Ambelakia Nappe experienced polyphase metamorphism and deformation. The first metamorphic event (crystallization K₁) is due

A.KILIAS - W.FRISCH - L.RATSCHBACHER & A.SFEIKOS. Structural evolution and metamorphism of blueschists, Ampelakia nappe, eastern Thessaly, Greece.

* Institute of Geology, University, GR-54006 Thessaloniki, Greece.

** Institute of Geology, University, D-7400 Tübingen, F.R. Germany.

to subduction and crustal stacking in an accretionary wedge and dates in the Cretaceous until Eocene times. It was of high-pressure low-temperature type. The accompanying deformation (D1) displays a top to SE displacement.

The second metamorphic event (crystallization Kr2) in the Middle Eocene is also characterized by high-pressure low-temperature conditions. The emplacement of the Ambelakia Nappe and the Pelagonian nappe system over the Mesozoic-Paleocene sequence of the Rizomata, Olympos, Ossa, and Kranea Windows was achieved during this event (D2-deformation). D2 displacement was top to SW. On the decompressional path of the second metamorphism the rocks experienced extension in NE-SW direction (D2e) in the Late Eocene and Oligocene. D2e was coeval to low to very low-grade metamorphic transformations (Kr2e). In the initial stage, however, of the Kr2e the blue amphibole remained. Finite strain is mainly of the flattening type.

Brittle-ductile compressional deformation (D3) took place in the Late Oligocene to Early Miocene. Conjugate kink folds and brittle shear zones, open folds, and a spaced foliation were formed.

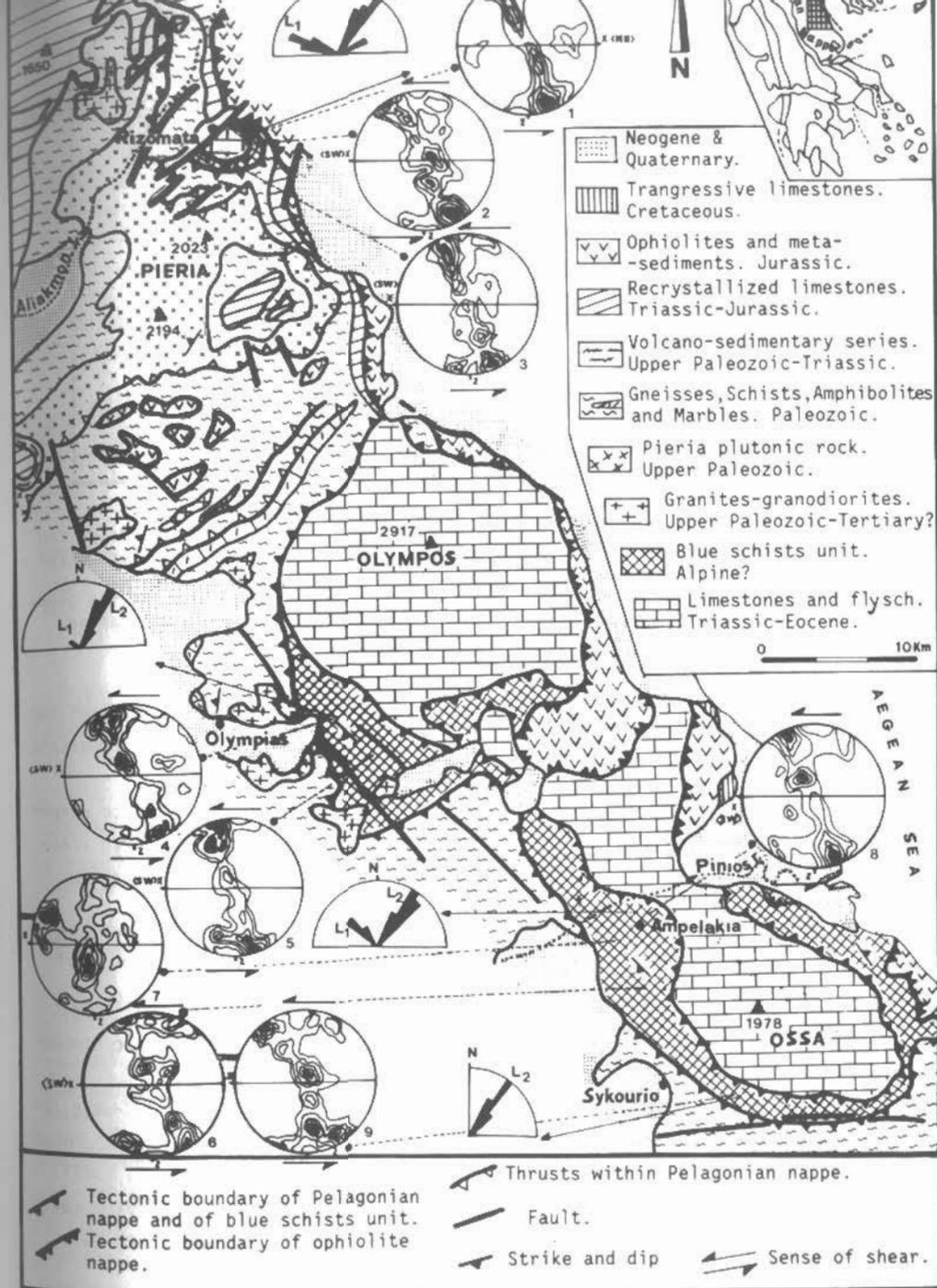
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι οροσειρές των ΒΑ Πιερίων, Ολύμπου και Όσσας στη βόρεια/κεντρική Ελλάδα, αποτελούν μια περιοχή του Ελληνικού ορογενούς, όπου η αλπικής ηλικίας τεκτονική των καλυμμάτων, εκδηλώνεται με τον πλέον αντιπροσωπευτικό τρόπο (σχ.1,2).

Αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα, "Ημελληνικό κάλυμμα" (JACOBSSHAGEN et al. 1976, KILIAS & CHATZIDIMITRIADIS 1985), πελαγονικό κάλυμμα (BARTON 1976, YARWOOD & DIXON 1977, NANCE 1981, KATSIKATSOS et al. 1982, MOUNTRAKIS 1983, PAPANIKOLAOU 1984, KILIAS & MOUNTRAKIS 1987, 1989) και κάλυμμα της "ενότητας των κυανασχιστολίθων" (KATSIKATSOS et al. 1982, SCHMITT 1983, MIGIROS 1983) τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο σε διαφορετικούς χρόνους, από το Ιουρασικό έως το Ηώκαινο και όλα μαζί κατά το τέλος Ηωκαίνου, πάνω σε αλπικής ηλικίας ανθρακικά πετρώματα (GODFRIAUX 1968, BARTON 1976, VERGELY 1984). Τα ανθρακικά αυτά πετρώματα εμφανίζονται σήμερα κατά θέσεις με τη μορφή τεκτονικών παράθυρων (σχ. 1, 2): Τεκτονικό παράθυρο Ολύμπου (GODFRIAUX 1968), τεκτονικό παράθυρο Όσσας (KATSIKATSOS et al. 1982, SCHMITT 1983), τεκτονικό παράθυρο Ριζωμάτων (KILIAS & MOUNTRAKIS 1985).

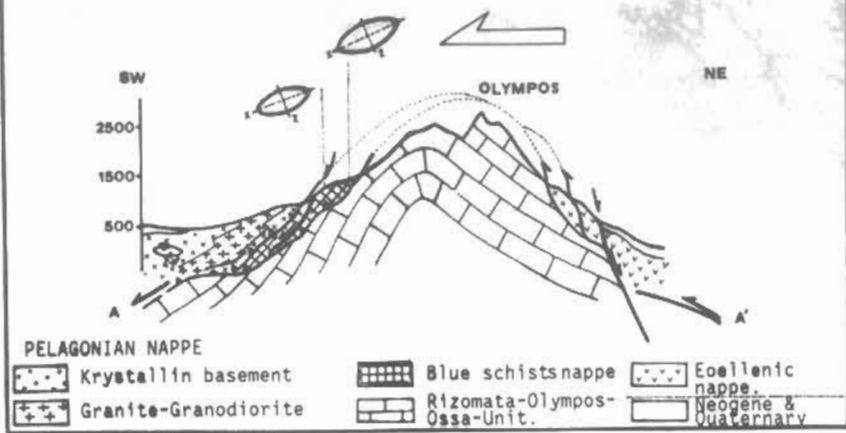
Στην προσπάθεια ερμηνείας της πολύπλοκης αυτής τεκτονικής δομής, μελετήθηκε το κατώτερο κάλυμμα του τεκτονικού αυτού οικοδομήματος, που χαρακτηρίζεται από την παρουσία ορυκτών HP/LT -μεταμόρφωσης και είναι γνωστό ως "ενότητα Αμπελάκια". Πρόκειται για μια ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά, που αποτελείται από μεταβάσιτες και μεταϊζημάτα, ο χώρος προέλευσης των οποίων, καθώς και η ηλικία τους δεν έχει διευκρινισθεί ακόμη πλήρως (BARTON 1975, GODFRIAUX & PICHON 1978, 1979, MALUSKI et al. 1981, KATSIKATSOS et al. 1982, MIGIROS 1983, SCHERMER et al. 1988, PINGOT 1988).

Μέχρι σήμερα έλειπε η λεπτομερειακή ανάλυση υφής και κινηματικής, του τόσο σημαντικού αυτού καλύμματος, που από την τεκτονική του θέση φαίνεται να απο-



Σχ.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (οροσειρές Πιερίων, Ολύμπου και Όσσας). Ο χάρτης απεικονίζει τα γεωλογικά στρώματα, τα τεκτονικά όρια και τα διαγράμματα C-αξόνων χαλαζία. Έννοια της διάτμησης το επάνω προς τα ΝΔ (ο άξονας z, διευθύνεται προς τα κάτω).

Fig.1. Geological map of the studied area (Pieria, Olympus and Ossa mountains). Direction rose diagrams of the two main stretching lineations (L1 & L2).



Σχ. 2. Αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης, στην οροσειρά του Ολύμπου. Απεικονίζονται δύο ελλειψοειδή παραμόρφωσης σε ΧΖ-τομές. Διεύθυνση μέγιστου εφελκυσμού ΒΑ-ΝΔ.

Fig.2. Representative geological cross section of the studied area in the Olympos mountain. Two strain ellipses cut in ΧΖ-sections are represented. Direction of maximum extention NW-SE.

τέλεσε μια ζώνη έντονης διάτμησης, μεταξύ των υπόλοιπων τεκτονικών καλυμμάτων της περιοχής μελέτης και της αλπικής ηλικίας αυτόχθονης έως παρααυτόχθονης ανθρακικής πλατφόρμας.

Με βάση τις παρατηρήσεις στο ύπαιθρο, την ανάλυση μικροδομών στο μικροσκόπιο και την ορυκτοχημεία, προσπαθήσαμε να δώσουμε έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα των συνθηκών εξέλιξης, παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης της ενότητας αυτής των "κυανοσχιστόλιθων".

Κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των συμπερασμάτων μας απετέλεσαν:

I. Όλες οι τεκτονικές δομές που μπορούν να ανανωρισθούν στο ύπαιθρο: Μορφές πτυχών και φορά πτυχών, γραμμώσεις έκτασης, επιφάνειες σχιστότητας, ζώνες διάτμησης.

II. Ανάλυση μικροϋφής: Έννοια της φοράς κίνησης της διάτμησης από S-C-υφές, ασυμμετρία σκιών πίεσης γύρω από συμπαγή σώματα, ζώνες διάτμησης, "mica-fisch", "boudinage"-υφές, υφές c-αξόνων χαλαζία (LISTER & SNOCKE 1984, COBBOLD & GAPAIS 1987).

III. Ανάλυση της ποσοτικής παραμόρφωσης: Rf/Φ- και Fry-μέθοδος, απεικόνιση των τιμών του ελλειψοειδούς παραμόρφωσης στο διάγραμμα Flinn (FLINN 1962, FRY 1979, RAMSAY & HUBER 1983).

IV. Ορυκτοχημεία, υπολογισμός των P-T-συνθηκών μεταμόρφωσης κατά τα διάφορα

2. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΩΝ "ΚΥΑΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ"

Τα στοιχεία υψής της πλαστικής παραμόρφωσης αφήνουν να διακριθούν τρία εξελικτικά παραμόρφωτικά γεγονότα, που διαμόρφωσαν την, μέχρι το Μειόκαινο, τεκτονική δομή των "κυανοσχιστόλιθων" (σχ. 3).

2.1. Πρώτο παραμορφωτικό γεγονός (D_1).

Εδώ ανήκει μια, υπολειμματικά μόνο διατηρημένη, S_1 -σχιστότητα, που χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη ορυκτών μιας Kr_1 -μεταμόρφωσης, όπως λευκού μαρμαρυγία ($G1_1$), χλωρίτη (Chl) και μπλε σφιβόλου ($G1a_1$) (σχ. 3).

Το σύνολο των ορυκτών, που αναφέρθηκαν, διατάσσονται πάνω στις S_1 -επιφάνειες με μια ΒΔ-ΝΑ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση και δημιουργούν μια L_1 -γράμμωση έκτασης (σχ. 1, 3 & 4). Η έννοια της διάτμησης κατά το αρχικό αυτό D_1 -παραμορφωτικό γεγονός, εξακριβώθηκε το επάνω προς τα ΝΑ έως ΑΝΑ.

Διαγράμματα c-αξόνων χαλαζία έδειξαν μια διασπορά των μετρηθέντων c-αξόνων (σχ. 1 Διαγρ. 7), που θα πρέπει να αποδοθεί όμως στην επίδραση των νεότερων παραμορφωτικών γεγονότων.

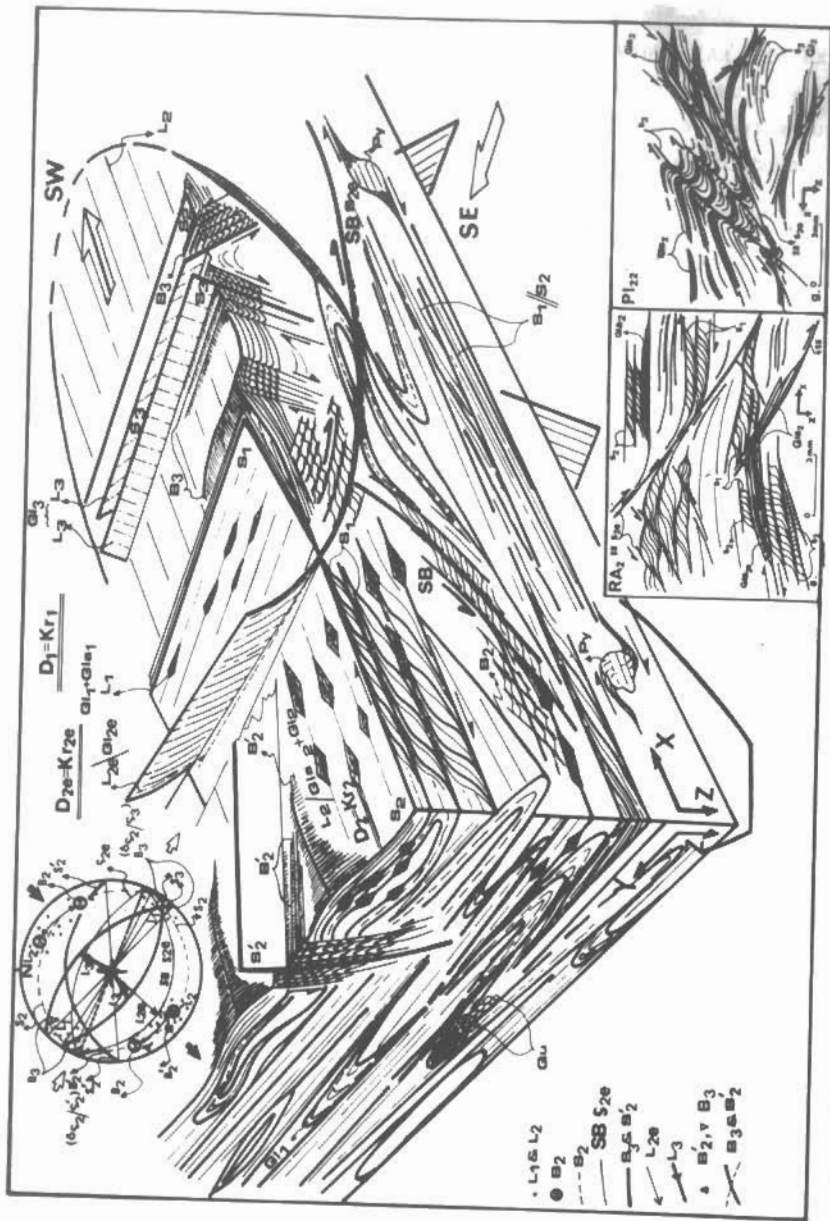
2.2. Δεύτερο παραμορφωτικό γεγονός (D_2).

Αποτελεί το κύριο και κυρίαρχο παραμορφωτικό γεγονός των "κυανοσχιστόλιθων". Χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία τυπικών ισοκλινών, introfolial, κατά θέσεις, πτυχών, καθώς και "sheath"-πτυχών (B_2 -πτυχές), που συνδέονται συνήθως με την έντονη πτύχωση της S_1 -σχιστότητας. Παράλληλα προς την αξονική επιφάνεια των ισοκλινών πτυχών αναπτύσσεται μια διαμπερής S_2 -σχιστότητα, που αποτελεί το καθοριστικότερο επιφανειακό στοιχείο των "κυανοσχιστόλιθων", με ΒΔ-ΝΑ ανάπτυξη και διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΔ ή προς τα ΒΑ (σχ. 1).

Το σημαντικότερο ίσως τεκτονικό στοιχείο της D_2 -παραμόρφωσης αποτελεί, όμως, μια, ΒΑ-ΝΔ-διεύθυνσης, L_2 -γράμμωση έκτασης, που αποτυπώνεται ευκρινώς πάνω στη S_2 -σχιστότητα και παράλληλα στην οποία διατάσσονται οι B_2 -άξονες των ισοκλινών πτυχών (σχ. 3).

Ορυκτά μιας Kr_2 -μεταμόρφωσης, δημιουργούν την L_2 -γράμμωση έκτασης. Μπλε αμφίβολος ($G1a_2$), λευκός μαρμαρυγίας ($G1_2$), χλωρίτης και χαλαζίας (Qu) αποτελούν αντιπροσωπευτικά ορυκτά της κύριας αυτής Kr_2 -μεταμόρφωσης.

Σε ΧΥ-τομές διακρίνεται σαφώς η σχέση των δύο Kr_1 - και Kr_2 -μεταμορφικών γεγονότων, σύμφωνα με την οποία τα ορυκτά της Kr_2 -μεταμόρφωσης προσανατολισμένα στη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση (L_2 -γράμμωση), αναπτύσσονται πάνω από τα ορυκτά της Kr_1 -μεταμόρφωσης, που προσανατολίζονται στη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (L_1 -γράμμωση). Συχνά επίσης, ορυκτά της Kr_1 -μεταμόρφωσης κάμπτονται και περιστρεφόμενα ακολουθούν τη νεότερη L_2 -γράμμωση έκτασης (σχ. 4a,b,c).



Σχ. 3. Σχηματική τρισδιάστατη απεικόνιση των σχέσεων, του συνόλου των τεκτονικών δομών των "κυανοσχιστολίθων" με τις αντίστοιχες διευθύνσεις ανάπτυξης τους, καθώς και τη φορά των συνδεδεμένων με αυτές, κύριων κινήσεων (επεξηγήσεις βλέπε κείμενο).
 Fig. 3. Schematic block-diagram of the relations of the "blue schists" total tectonic structures with the corresponding directions of their development together with the sense of the main tectonic movement related to them (for details see text).

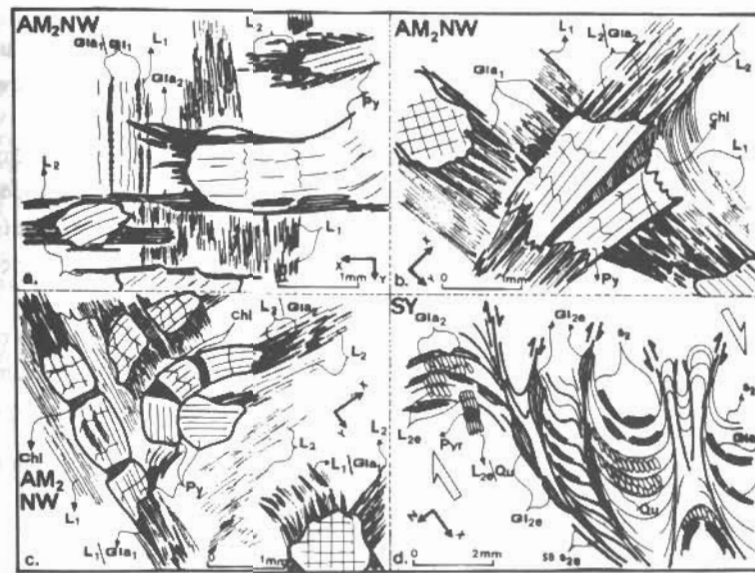
Σε ΧΖ-τομές εξ άλλο ανανωρίζεται ευκρινώς, ότι τα ορυκτά της Kr_2 -μεταμόρφωσης προσανατολισμένα στη S_2 -επιφάνειες κόβουν τα ορυκτά της Kr_1 -μεταμόρφωσης, που αναπτύσσονται πάνω στις αναστομούμενες από τις S_2 , αρχαιότερες S_1 -επιφάνειες (σχ. 3).

Οι B_2 -ισοκλινείς πτυχές επαναπτυχώνονται ομοαξονικά από ανοικτές έως κλειστές ασύμμετρες B_2 -πτυχές κάμψης, γεγονός που θα πρέπει να συνδεθεί με μια συμπιεστική τάση στη διεύθυνση του $Υ_2$ -άξονα, εξ αιτίας, κατά θέσεις τουλάχιστον, μιας, "αξονικής επιμήκυνσης-τύπου", παραμόρφωσης (σχ. 3). Σποραδικά εμφανιζόμενες S_2 -ζώνες διάτμησης, με ανάστροφη κίνηση προς τα ΝΑ, πιθανόν να ανήκουν, επίσης, στο ίδιο πεδίο τάσεων, σε κάποιο όμως τελικό στάδιο της D_2 -παραμόρφωσης (σχ. 3).

Κριτήρια πλαστικής περιστροφικής παραμόρφωσης καθορίζουν κατά τη διάρκεια εξέλιξης της D_2 -παραμόρφωσης την έννοια της διάτμησης, το επάνω προς τα ΝΔ.

Χαρακτηριστικούς επίσης δείκτες κινηματικής απετέλεσαν τα διαγράμματα c-αξόνων χαλαζία (Διαγράμματα I-τύπου, σχ. 1). Αυτά σημαδεύουν έτσι με ακρίβεια τη, ΝΔ-φοράς, αυτή κίνηση.

Στα τελευταία στάδια της D_2 -παραμόρφωσης σε πλαστικές όμως ακόμη συνθήκες, όπως τουλάχιστον δείχνει μια ΒΑ-ΝΔ επίσης διεύθυνσης, L_{2e} -γραμμωση έκτασης, από πλαστικά παραμορφωμένο χαλαζία, νήματα από χαλαζία σε σκιές πίεσης κρυ-



Σχ. 4. Σχέσεις μεταξύ των L_1 - L_2 & L_{2e} -γραμμώσεων έκτασης και των κύριων ορυκτών που τις διαγράφουν. Κατά σειρά ηλικίας ταξινομούνται L_1 , L_2 & L_{2e} . Παρατήρηση στο μικροσκόπιο. (Επεξηγήσεις βλέπε κείμενο).

Fig. 4. Relations between L_1 - L_2 - L_{2e} -stretching lineations and the main minerals by which they are composed. With increasing age they are classified L_1 , L_2 , L_{2e} (see text for details).

στάλλων πυρίτη, λευκό μαρμαρυγία ($G1_{2e}$), χλωρίτη, στιλπνομέλανα και κατά τόπους μπλε αμφίβολο (Kr_{2e} -μεταμόρφωση, σχ. 3, 4d), λαμβάνει χώρα ένας εφελκυσμός.

Ο εφελκυσμός αυτός γίνεται αντιληπτός από την έντονη παρουσία, συνήθως συζυγών συστημάτων εφελκυστικών διατμητικών ζωνών (S_{2e} -επιφάνειες σχιστότητας), πάνω στις οποίες προσανατολίζονται τα ορυκτά της Kr_{2e} -μεταμόρφωσης.

Δυτικά των ανθρακικών παράθυρων των Ριζωμάτων-Ολύμπου-Όσσας, επικρατούν κυρίως συστήματα από S_{2e} -διατμητικές ζώνες με ανεπτυγμένη τη ΝΔ διεύθυνση κλίσης. Αντίθετα ανατολικά των παράθυρων αναπτύσσονται, με επικρατούσα τη ΒΑ-διεύθυνση κλίσης και υποτονισμένη τη ΝΔ διεύθυνση κλίσης.

2.3. Τρίτο παραμορφωτικό γεγονός (D_3).

Συγχρόνως, με το τελευταίο D_{2e} -στάδιο της D_2 -παραμόρφωσης, ή αποτελείσμά κάποιου σχετικά νεότερου γεγονότος, όπως τουλάχιστον φανερώνει μια ρυτίδωση των S_2 - και S_{2e} -επιφανειών σχιστότητας (σχ. 3), λαμβάνει χώρα σε καθορισμένες ζώνες μια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, συμπίεση.

Εκδήλωση αυτού του D_3 -γεγονότος αποτελεί μια σειρά από ασύμμετρες, συνήθως συζυγείς B_3 -γωνιώδεις πτυχές, ανοικτές πτυχές κάμψης και ζώνες-γωνιάσματος με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση ανάπτυξης, καθώς και ζώνες διάτμησης με αναστροφή συνιστώσα κίνησης. Μ'αυτές συνδέεται η δημιουργία μιας S_3 -σχιστότητας, κατά θέσεις επίσης σε συζυγή ζεύγη και διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΔ και/ή ΒΑ (σχ. 3).

Από την τομή των S_2 - και S_3 -επιφανειών σχιστότητας προκύπτει μια ιδιαίτερη έντονη $\delta_{(s_2/s_3)}$ -γράμμωση διατομής, με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση ανάπτυξης, ανάλογης δηλαδή των B_3 -πτυχών (σχ. 3).

Σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις, πάνω στις S_3 -επιφάνειες σχιστότητας παρατηρήθηκε μια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης L_3 -ορυκτολογική γράμμωση από λευκό μαρμαρυγία, χλωρίτη και επιμηκυμένο χαλαζία (σχ. 3). Τις περισσότερες φορές δεν φαίνεται να συνδέεται κάποια καινούργια ορυκτογένεση, με το D_3 -παραμορφωτικό γεγονός. Αυτό θα πρέπει να έλαβε χώρα έτσι, σ'ένα περιβάλλον με χαμηλές P-T-συνθήκες.

Μεταπτωτικά συζυγή ρήγματα, κυρίως σε συνθήκες εύθραυστης τεκτονικής, κατά τη διάρκεια επίσης, κατακόρυφων κινήσεων μαζών, με κύρια ΒΔ-ΝΑ ανάπτυξη, ακολουθούν ως κυρίαρχες τεκτονικές δομές τη D_3 -παραμόρφωση, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τις προϋπάρχουσες δομές.

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΩΝ "ΚΥΑΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ"

Κατά τον υπολογισμό του ελλειψοειδούς παραμόρφωσης οι D_{2e} - και D_3 -παραμορφώσεις δεν ελήφθησαν υπόψη, αφού βέβαια, κατά θέσεις τουλάχιστον, έχουν επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό, το αποτέλεσμα της κυρίαρχης D_2 -παραμόρφωσης.

Εάν αφαιρέσουμε λοιπόν τα επί μέρους D_{2e} - και D_3 -ελλειψοειδή παραμόρφωσης, η ανάλυση της ποσοτικής παραμόρφωσης αναφέρεται στο τελικό ελλειψοειδές παραμόρφωσης, που προέκυψε από την επανατοποθέτηση ενός αρχαιότερου D_1 -ελλειψοειδούς



Σχ. 5. Τελικά ελλειψοειδή παραμόρφωσης σε XY-τομές και απεικόνιση τους στο διάγραμμα Flinn ($Z=1$). Τα βέλη δείχνουν την έννοια της κίνησης, κατά τα δύο κύρια D_1 - και D_2 -παραμορφωτικά γεγονότα. (Συμβολισμοί βλέπε σχ. 1, το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο του Πελαγονικού καλύμματος λαμβάνεται εδώ αδιαίρετο).

Fig.5. XY finite strain ellipses and their redrepresentation in the Flinn diagram ($Z=1$). The arrows indicate the sense of movement during the main D_1 & D_2 deformational events (For symbolizations see fig. 1, the crystalline basement of the Pelagonian zone is considered here as indivisible).

παραμόρφωσης, από το κύριο και ως εντονότερο εμφανιζόμενο σήμερα D_2 -παραμορφωτικό γεγονός.

Το τελικό ελλειψοειδές παραμόρφωσης, που καθορίστηκε, προσανατολίζεται έτσι, με τον X-μέγιστο άξονα εφελκυσμού του, περίπου παράλληλα στη L_2 -γράμμωση έκτασης και το YX-επίπεδό του, σχεδόν ταυτόσημο με το S_2 -επίπεδο σχιστότητας (σχ. 5, $X > Y > Z$ κύριοι άξονες του τελικού ελλειψοειδούς παραμόρφωσης).

Σε μια μόνο περίπτωση (σχ. 5, AM_2) τοποθετήθηκε με τον X-άξονα του μέγιστου εφελκυσμού κάθετα στη L_2 -γράμμωση. Στο συγκεκριμένο δείγμα όμως, είναι το ίδιο εμφανής με τη L_2 -γράμμωση και η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, L_1 -γράμμωση έκτασης.

Για τον λόγο αυτόν πιστεύουμε ότι το συγκεκριμένο ελλειψοειδές παραμόρφωσης, αποτελεί ένα μεταβατικό στάδιο μεταξύ του παλιού D_1 -ελλειψοειδούς παραμόρ-

στάλλων πυρίτη, λευκό μαρμαρυγία ($G1_{2e}$), χλωρίτη, στυλπινομέλανα και κατά τόπους μπλε αμφίβολο (Kr_{2e} -μεταμόρφωση, σχ. 3, 4d), λαμβάνει χώρα ένας εφελκυσμός.

Ο εφελκυσμός αυτός γίνεται αντιληπτός από την έντονη παρουσία, συνήθως συζυγών συστημάτων εφελκυστικών διατμητικών ζωνών (S_{2e} -επιφάνειες σχιστότητας), πάνω στις οποίες προσανατολίζονται τα ορυκτά της Kr_{2e} -μεταμόρφωσης.

Δυτικά των ανθρακικών παράθυρων των Ριζωμάτων-Ολύμπου-Όσσας, επικρατούν κυρίως συστήματα από S_{2e} -διατμητικές ζώνες με ανεπτυγμένη τη ΝΔ διεύθυνση κλίσης. Αντίθετα ανατολικά των παράθυρων αναπτύσσονται, με επικρατούσα τη ΒΑ-διεύθυνση κλίσης και υποτονισμένη τη ΝΔ διεύθυνση κλίσης.

2.3. Τρίτο παραμορφωτικό γεγονός (D_3).

Συγχρόνως, με το τελευταίο D_{2e} -στάδιο της D_2 -παραμόρφωσης, ή αποτέλεσμα κάποιου σχετικά νεότερου γεγονότος, όπως τουλάχιστον φανερώνει μια ρυτίδωση των S_2 - και S_{2e} -επιφανειών σχιστότητας (σχ. 3), λαμβάνει χώρα σε καθορισμένες ζώνες μια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, συμπίεση.

Εκδήλωση αυτού του D_3 -γεγονότος αποτελεί μια σειρά από ασύμμετρες, συνήθως συζυγείς B_3 -γωνιώδεις πτυχές, ανοικτές πτυχές κάμψης και ζώνες-γωνιάσματος με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση ανάπτυξης, καθώς και ζώνες διάτμησης με ανάστροφη συνιστώσα κίνησης. Μ'αυτές συνδέεται η δημιουργία μιας S_3 -σχιστότητας, κατά θέσεις επίσης σε συζυγή ζεύγη και διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΔ και/ή ΒΑ (σχ. 3).

Από την τομή των S_2 - και S_3 -επιφανειών σχιστότητας προκύπτει μια ιδιαίτερη έντονη $\delta_{(s_2/s_3)}$ -γνάμμωση διατομής, με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση ανάπτυξης, ανάλογης δηλαδή των B_3 -πτυχών (σχ. 3).

Σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις, πάνω στις S_3 -επιφάνειες σχιστότητας παρατηρήθηκε μια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης L_3 -ορυκτολογική γνάμμωση από λευκό μαρμαρυγία, χλωρίτη και επιμηκυμένο χαλαζία (σχ. 3). Τις περισσότερες φορές δεν φαίνεται να συνδέεται κάποια καινούργια ορυκτογένεση, με το D_3 -παραμορφωτικό γεγονός. Αυτό θα πρέπει να έλαβε χώρα έτσι, σ'ένα περιβάλλον με χαμηλές P-T-συνθήκες.

Μεταπτωτικά συζυγή ρήγματα, κυρίως σε συνθήκες εύθραυστης τεκτονικής, κατά τη διάρκεια επίσης, κατακόρυφων κινήσεων μαζών, με κύρια ΒΔ-ΝΑ ανάπτυξη, ακολουθούν ως κυρίαρχες τεκτονικές δομές τη D_3 -παραμόρφωση, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τις προϋπάρχουσες δομές.

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΩΝ "ΚΥΑΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ"

Κατά τον υπολογισμό του ελλειψοειδούς παραμόρφωσης οι D_{2e} - και D_3 -παραμορφώσεις δεν ελήφθησαν υπόψη, αφού βέβαια, κατά θέσεις τουλάχιστον, έχουν επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό, το αποτέλεσμα της κυρίαρχης D_2 -παραμόρφωσης.

Εάν αφαιρέσουμε λοιπόν τα επί μέρους D_{2e} - και D_3 -ελλειψοειδή παραμόρφωσης, η ανάλυση της ποσοτικής παραμόρφωσης αναφέρεται στο τελικό ελλειψοειδές παραμόρφωσης, που προέκυψε από την επανατοποθέτηση ενός αρχαιότερου D_1 -ελλειψοειδούς



Σχ. 5. Τελικά ελλειψοειδή παραμόρφωσης σε XY-τομές και απεικόνιση τους στο διάγραμμα Flinn ($Z=1$). Τα βέλη δείχνουν την έννοια της κίνησης, κατά τα δύο κύρια D_1 - και D_2 -παραμορφωτικά γεγονότα. (Συμβολισμοί βλέπε σχ. 1, το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο του Πελαγονικού καλύμματος λαμβάνεται εδώ αδιαίρετο).

Fig.5. XY finite strain ellipses and their redrepresentation in the Flinn diagram ($Z=1$). The arrows indicate the sense of movement during the main D_1 & D_2 deformational events (For symbolizations see fig. 1, the crystalline basement of the Pelagonian zone is considered here as indivisible).

παραμόρφωσης, από το κύριο και ως εντονότερο εμφανιζόμενο σήμερα D_2 -παραμορφωτικό γεγονός.

Το τελικό ελλειψοειδές παραμόρφωσης, που καθορίστηκε, προσανατολίζεται έτσι, με τον X-μέγιστο άξονα εφελκυσμού του, περίπου παράλληλα στη L_2 -γνάμμωση έκτασης και το YX-επίπεδό του, σχεδόν ταυτόσημο με το S_2 -επίπεδο σχιστότητας (σχ. 5, $X > Y > Z$ κύριοι άξονες του τελικού ελλειψοειδούς παραμόρφωσης).

Σε μια μόνο περίπτωση (σχ. 5, AM_2) τοποθετήθηκε με τον X-άξονα του μέγιστου εφελκυσμού κάθετα στη L_2 -γνάμμωση. Στο συγκεκριμένο δείγμα όμως, είναι το ίδιο εμφανής με τη L_2 -γνάμμωση και η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, L_1 -γνάμμωση έκτασης.

Για τον λόγο αυτόν πιστεύουμε ότι το συγκεκριμένο ελλειψοειδές παραμόρφωσης, αποτελεί ένα μεταβατικό στάδιο μεταξύ του παλιού D_1 -ελλειψοειδούς παραμόρ-

φωσης και του τελικού ελλειψοειδούς παραμόρφωσης, στο οποίο διατηρήθηκε κατά κάποιον τρόπο η προϋπάρχουσα υφή.

Μια τέτοια τοποθέτηση έτσι, ενός ελλειψοειδούς παραμόρφωσης, ενισχύει την ύπαρξη μιας παλιότερης της D_2 -παραμόρφωσης, κατά τη διάρκεια δράσης της οποίας λειτούργησε ένα διαφορετικό καθεστώς τάσεων, ανάλογο της D_1 -τεκτονικής

Για τον υπολογισμό του R_s του τελικού ελλειψοειδούς παραμόρφωσης χρησιμοποιήθηκαν οι R_f/Φ - και F_{ry} -μέθοδοι.

Οι δείκτες παραμόρφωσης χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή της R_f/Φ -μέθόδου, γλαυκοφανιτιωμένοι κλάστες πυροξένων μεταβασιτών, γλαυκοφανιτιωμένοι κλάστες πράσινων αμφιβόλων μαρμαρυγιακών-αμφιβολιτικών σχιστόλιθων και κλάστες αλκαλιούχων αστρίων μαρμαρυγιακών σχιστογνεύσεων, ενώ κατά την εφαρμογή της F_{ry} -μέθόδου, κόκκοι χαλαζία μαρμαρυγιακών χαλαζιτών.

Τα αποτελέσματα αυτής, των τριών διαστάσεων ποσοτικής ανάλυσης της παραμόρφωσης δίνονται στον πίν. I.

Πίνακας I. Στοιχεία ανάλυσης ποσοτικής παραμόρφωσης των κυανοσχιστόλιθων. (Επεξηγήσεις στο κείμενο).

Δείγμα	X	Y	Z	X/Y	Y/Z	Z/Y	K	D	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	$\bar{\epsilon}_1$	$\bar{\epsilon}_2$	$\bar{\epsilon}_3$	ϵ_s
SY	2,48	1,4	1	1,77	1,41	0,71	1,43	1,51	0,64	-0,07	-0,34	0,49	-0,08	-0,41	0,67
P122	1,98	1,76	1	1,13	1,76	0,57	0,36	1,52	0,31	0,16	-0,34	0,26	0,15	-0,41	0,62
AM3	2,19	1,7	1	1,29	1,69	0,59	0,58	1,55	0,41	0,09	-0,35	0,34	0,08	-0,43	0,56
K3	2,51	2,18	1	1,15	2,19	0,46	0,28	1,76	0,43	0,24	-0,43	0,36	0,22	-0,56	0,70
AM2	1,98	1,84	1	1,07	1,84	0,54	0,14	1,54	0,28	0,19	-0,36	0,24	0,17	-0,45	0,48

Για την εξακρίβωση του είδους της παραμόρφωσης έγινε προβολή των στοιχείων στο διάγραμμα Flinn (FLINN 1962).

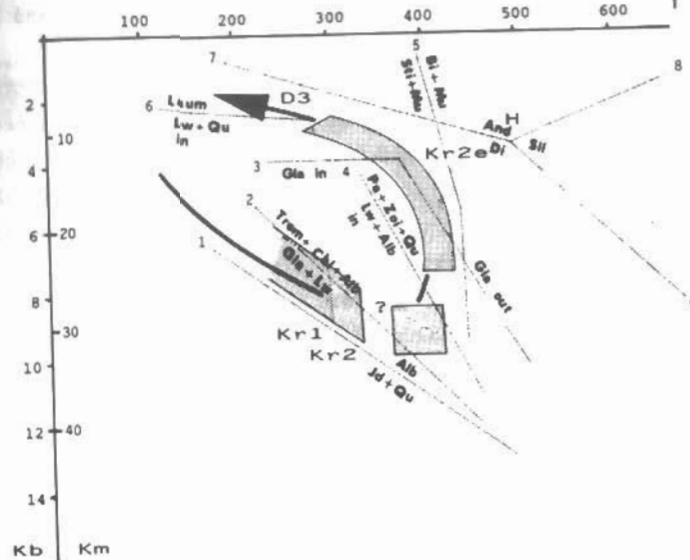
Όπως φαίνεται και στο σχ. 5, ένα δείγμα έδειξε μια παραμόρφωση στο "αξονικής επιμήκυνσης"-πεδίο κοντά στη γραμμή της επίπεδης παραμόρφωσης. Τα υπόλοιπα δείγματα έδωσαν ελλειψοειδή παραμόρφωση, που βρίσκονται στο πεδίο της πλάτυνσης.

4. P-T-ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ - ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ.

Το ίδιο πολύπλοκη με την τεκτονική εξέλιξη είναι και η εξέλιξη των P-T συνθηκών μεταμόρφωσης της ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων".

Σε αναλογία με τα παραμορφωτικά γεγονότα διακρίθηκαν τρεις κυρίως μεταμορφώσεις (Kr_1 , Kr_2 , Kr_{2e}), συντεκτονικές ως προς τις αντίστοιχες D_1 , D_2 και D_{2e} παραμορφώσεις.

4.1. Kr_1 -μεταμόρφωση.



Σχ. 6. Σχηματική πορεία των P-T συνθηκών μεταμόρφωσης των "κυανοσχιστόλιθων" κατά τα στάδια εξέλιξης της αλπικής υποβύθισης, σύγκρουσης και ανόδου του αλπικού ορογενούς, στο χώρο μελέτης. (H) Al_2SiO_5 -τριπλό σημείο κατά HOLDAWAY (1971). Καμπύλες ισορροπίας: 1. HOLLAND (1980), 2. PERCHUK & ARANOVICH (1980), 3. MARESCH (1977), 4. HEINRICH & ALTHAUS (1980), 5. NITSCH (1970), 6. LIU (1977).

Fig. 6. Schematic path of the P-T metamorphic conditions of the "blue schists" during the evolution of the alpine subduction, collision and uplift of the alpine orogene in the studied area. (H) Al_2SiO_5 -Triple point according to HOLDAWAY (1971) and equilibrium curves: 1. HOLLAND (1980), 2. PERCHUK & ARANOVICH (1980), 3. MARESCH (1977), 4. HEINRICH & ALTHAUS (1980), 5. NITSCH (1970), 6. LIU (1977).

Η συν- D_1 - Kr_1 -μεταμόρφωση αναπτύχθηκε κυρίως σε HP/LT-συνθήκες. Αυτό συνάγεται από τη συν- S_1 ανάπτυξη χαρακτηριστικών ορυκτολογικών παραγενέσεων και το συνδυασμό τους με το ορυκτογενετικό δίκτυο του σχ. 6, καθώς και την ορυκτοχημεία πυροξένων των μεταβασιτών και αμφιβόλων (σχ. 7).

Κριτική παραγένεση, συνδεδεμένη με τους μεταπελίτες ή μεταβασίτες της ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων", απετέλεσε έτσι η P_1 -παραγένεση που αποτελείται από: μπλε αμφίβολο + χαλαζία + αλβίτη + χλωρίτη + επίδοτο + μοσχοβίτη + λωσωνίτη.

Η συν- S_1 ανάπτυξη της μπλε αμφιβόλου (Gla) με τον λωσωνίτη (Lw) φανερώνει ότι ξεπεράσθηκαν οι P-T-συνθήκες που καθορίζονται από την καμπύλη ισορροπίας 2, $Lw + Gla$ vs. $Chl + Trm + Alb$ (σχ. 6). Αντίθετα η απουσία ιαδευίτικου πυροξένου (Jd) με τη διατήρηση του αλβίτη (Alb) στην P_1 -παραγένεση δηλώνει ότι P-T-συνθήκες θα πρέπει να διατηρήθηκαν κάτω από τις συνθήκες της καμπύλης ισορροπίας 1, $Jd + Q$ vs. Alb (σχ. 6). Καθορίζεται έτσι ένα πεδίο αντιδράσεων για την Kr_1 -μεταμόρφωση μεταξύ των καμπυλών ισορροπίας 1 και 2 του σχ. 6. Ο χώρος που προκύπτει

αντίστοιχί σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, που κυμαίνονται από 7-11 Kb και 300° C - 400° C αντίστοιχα.

Η ορυκτοχημεία των μπλε αμφιβόλων (Gla₁) έδωσε τις περισσότερες φορές σύσταση ανάλογη του βιντσίτη (σχ. 7d'). Σε δύο μόνο περιπτώσεις προέκυψε σύσταση κροσίτη (σχ. 7e), με περιεκτικότητα όμως σε NaM₄ πολύ λίγο μεγαλύτερη από 1,34.

Η ορυκτοχημεία αναλλοίωτων τμημάτων, συνήθως πυρήνων, των γλαυκοφανιτιωμένων πυρόξενων, έδειξε σε κάθε περίπτωση, ότι πρόκειται για πυρόξενους, βασικού, υποαλκαλικού χαρακτήρα μάγματος, της σύστασης του αυγίτη (σχ. 7a, c). Οι F₁ και F₂ τιμές των πυροξένων, προβλήθηκαν στο αντίστοιχο διάγραμμα των NISBET & PEARCE (1977), στα πεδία των βασαλτών νησιώτικου τόξου και βασαλτών νησιώτικου τόξου /ωκεάνιων βασαλτών (σχ. 7b).

4.2. Kr₂-μεταμόρφωση.

Πρόκειται για την κυρίαρχη συν-D₂-μεταμόρφωση. Η S₂-σχιστότητα συνδέεται σχεδόν πάντα με την ανάπτυξη συν-S₂ ορυκτών του γλαυκοφανή, τόσο στα μεταϊζημάτα, όσο και στους μεταβασίτες.

Η αντιπροσωπευτική παραγένεση της Kr₂-μεταμόρφωσης είναι:

Μπλε αμφίβολος + αλβίτης + χαλαζίας + χλωρίτης + μοσχοβίτης + επίδοτο ± λωσωνίτης.

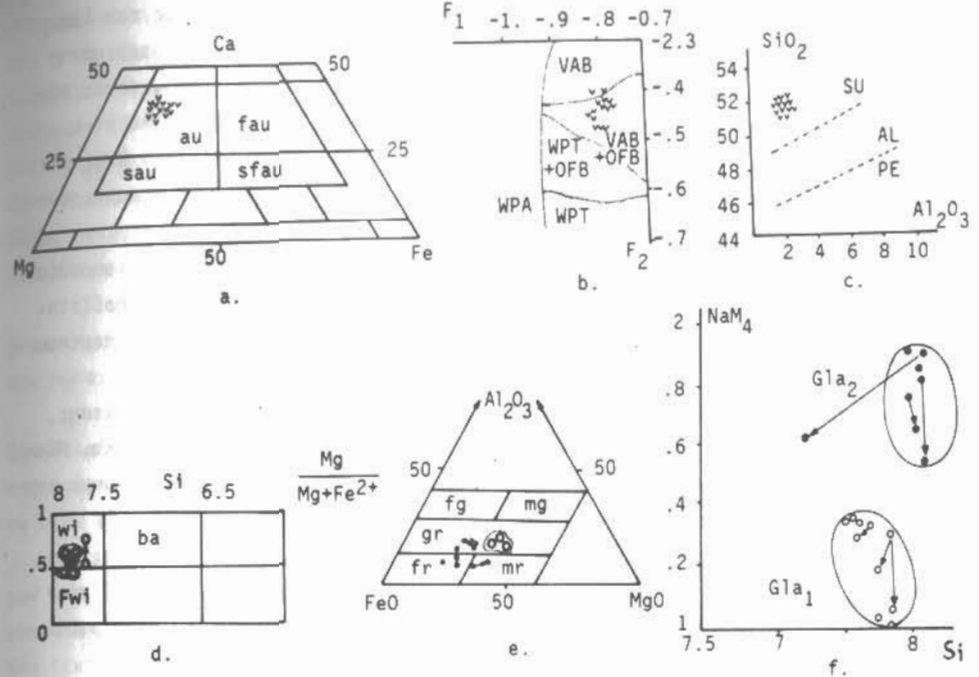
Χημικές αναλύσεις σε μπλε αμφιβόλους (Gla₂) έδειξαν υψηλό ποσοστό συμμετοχής NaM₄ > 1,34 στη σύστασή τους, έτσι ώστε στο διάγραμμα FeO/Al₂O₃/MgO (MIYASHIRO 1957) να προβάλλονται στα πεδία των κροσίτη και ριεμπεκίτη, αποτελώντας συγχρόνως μια ομάδα διαφορετικής σύστασης μπλε αμφιβόλων, από αυτή της Kr₁-μεταμόρφωσης (σχ. 7e).

Στο διάγραμμα, εξ άλλου, NaM₄/MgO, προβάλλονται σ'ένα εντελώς ξεχωριστό πεδίο, από αυτό των μπλε αμφιβόλων (Gla₁) της αρχικής HP/LT-μεταμόρφωσης (σχ.7f).

Η Kr₂-παραγένεση φανερώνει σαφώς μια HP/LT-μεταμόρφωση σε συνθήκες της γλαυκοφανιτικής-λωσωνιτικής φάσης. Οι P-T-συνθήκες διατηρήθηκαν συνεπώς κατά την Kr₂-μεταμόρφωση σε ανάλογες τιμές με αυτές του D₁-γεγονότος. Το πεδίο σταθερότητας εν τούτοις της Kr₂-μεταμόρφωσης, θα πρέπει να έφτασε κατά την εξέλιξη της D₂-τεκτονικής μέχρι τις P-T-συνθήκες της καμπύλης ισορροπίας 4 (σχ. 6), που οριοθετεί τις περιοχές εμφάνισης ή όχι του λωσωνίτη. Το γεγονός αυτό φανερώνει τουλάχιστον η στενή σχέση της D₂-παραμόρφωσης με το συσμεταμορφικό εφελκυστικό D_{2e}-παραμορφωτικό επεισόδιο. Αυτό αποτέλεσε, όπως τονίσθηκε, το αμέσως επόμενο εξελικτικό στάδιο της καλυμματικής τεκτονικής. Κατά το στάδιο αυτό της έκτασης του ορογενούς, η παραγένεση Gla₁+Law δεν παραμένει ακόμη σταθερά (καμπύλη 2, σχ. 6), ενώ ο λωσωνίτης απουσιάζει εντελώς και δεν σχηματίζεται στις νέες συνθήκες της Kr_{2e}-μεταμόρφωσης (καμπύλη 4, σχ. 6).

4.3. Kr_{2e}-μεταμόρφωση.

Θα πρέπει να θεωρηθεί κατά κάποιο τρόπο το εξελικτικό



Σχ. 7. a. Ταξινόηση των πυρόξενων των μεταβασιτών (POLDERVAART & HESS 1951), b. Προβολή των F₁ και F₂ τιμών πυρόξενων των μεταβασιτών, για την εξακρίβωση του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος σχηματισμού τους (NISBET & PEARCE 1977), c. Προβολή πυροξένων στο διάγραμμα SiO₂/Al₂O₃ (LE BAS 1962), d. Σύσταση των μπλε αμφιβόλων (o) των συνδεδεμένων με την D₁-παραμόρφωση (Gla₁) (LEAKE 1978), e. Σύσταση των μπλε αμφιβόλων (●) των συνδεδεμένων με την D₂-παραμόρφωση (Gla₂) και σε μια περίπτωση του Gla₁ (MIYASHIRO 1957). f. Προβολή των μπλε αμφιβόλων στο διάγραμμα NaM₄/Si. (Gla₁ & Gla₂). Τα βέλη συνδέουν πυρήνα και περιφέρεια του ίδιου κρυστάλλου.

Fig. 7. a. Classification of the metabasites pyroxenes (POLDERVAART & HESS 1951), b. Projection of the F₁, F₂ values of the metabasites pyroxenes for the ascertainment of the geotectonic environment of their creation (NISBET & PEARCE 1977), c. Projection of the pyroxenes in the SiO₂/Al₂O₃ diagram (LE BAS 1962), d. Composition of the related with the D₁-deformation (Gla₁) blue amphiboles (o) (LEAKE 1978), e. Composition of the related with the D₂-deformation (Gla₂), and in one case with Gla₁, blue amphiboles (●) (MIYASHIRO 1957), f. Projection of the blue amphiboles in the NaM₄/Si diagram (Gla₁ & Gla₂). The arrows connect the core with the periphery of the same crystal.

Kr₂-μεταμόρφωσης, αφού αποτελεί ένα συνπαραμορφωτικό γεγονός, με τις, στενά συνδεδεμένες με τη D₂-παραμόρφωση, εφελκυστικές D_{2e}-διατμητικές ζώνες (S_{2e}-σχιστότητα, σχ. 3, 4d).

Μεταμορφικής φάσης κριτική παραγένεση αποτελεί η συν-S_{2e}-παραγένεση των μεταϊζημάτων και μεταβασιτών με: αλβίτη + χαλαζία + χλωρίτη + λευκό μαρμαρυγία ± σιλιπνομέλανα. Οι P-T-συνθήκες, κατά το αρχικό, τουλάχιστον, στάδιο του εφελκυστικού

στικού αυτού D_{2e} -γεγονότος, διατηρήθηκαν έξω από το πεδίο σταθερότητας του λωσωνίτη, που ορίζει η καμπύλη ισορροπίας 4 (σχ. 6), μέσα όμως στο πεδίο σταθερότητας του γλαυκοφανή, που οριοθετεί η καμπύλη ισορροπίας 3 (σχ. 6). Το γεγονός αυτό φανερώνει, η τοποθέτηση και η διατήρηση της μπλε αμφιβόλου, παράλληλα στις S_{2e} -επιφάνειες σχιστότητας, καθώς και η εξαφάνιση του λωσωνίτη κατά την Kr_{2e} -μεταμόρφωση. Αυτός μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε σερικίτη, έτσι ώστε να παρατηρούνται ψευδομορφώσεις μόνο λωσωνίτη.

Η συνύπαρξη στιλνομέλανα (Sti) + λευκού μαρμαρυγία (Mu) και η απουσία του βιοτίτη, καθορίζουν το ανώτερο όριο των συνθηκών θερμοκρασίας. Αυτό ορίζεται από την καμπύλη ισορροπίας 5 του σχ. 6, Sti+Mu vs. Bi+Mu και αντιστοιχεί περίπου στους 400° έως 420° C.

Στη θερμοκρασία αυτή των 400° C, αντιστοιχεί ένα ανώτερο όριο πίεσης, με σταθερό τον γλαυκοφανή και σύγχρονη απουσία λωσωνίτη, περίπου στα 8-9 Kb. Πίεση που σημαδεύει έτσι και το ανώτερο δυνατό όριο P-συνθηκών, κατά το ξεκίνημα της έκτασης του ορογενούς (σχ. 6).

Το γεγονός αυτό δείχνει βέβαια, ότι κατά το αρχικό στάδιο του εφελακυστικού D_{2e} -γεγονότος, οι συνθήκες πίεσης θα πρέπει να διατηρήθηκαν σχετικά υψηλές και σημαδεύουν το ανώτερο όριο, κατά το πέρασμα της συν- D_2 Kr_2 -μεταμόρφωσης στη συν- D_{2e} Kr_{2e} -μεταμόρφωση (σχ. 6).

Οι αρχικές αυτές P-T-συνθήκες, κατά την εξέλιξη του D_{2e} -γεγονότος, θα πρέπει να ακολούθησαν μια φθίνουσα πορεία προς χαμηλότερες τιμές, παράλληλα σε γενικές γραμμές με την καμπύλη ισορροπίας-3 του γλαυκοφανή (σχ. 6). Αυτό δείχνει τουλάχιστον, η σταδιακή εξαφάνιση της μπλε αμφιβόλου και η συνέχιση της τεκτονικής διεργασίας κατά το συμπιεστικό D_3 -γεγονός χωρίς κάποια νέα ορυκτογένεση (σχ.6)

Οι συνθήκες θερμοκρασίας δεν πρέπει να έπεσαν εν τούτοις, χαμηλότερα από τους 300° C, αφού σ'όλο το γεγονός διατηρείται η δυναμική ανακρυστάλλωση του χαλαζία, που ως γνωστόν, η χαμηλότερη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του τοποθετείται στους 270° C (WINKLER 1979).

5. ΗΛΙΚΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ.

Η τοποθέτηση του συνόλου των τεκτονικών καλυμμάτων της περιοχής μελέτης, με την ενότητα των "κυανοσχιστόλιθων" στη βάση τους, πάνω στον μέχρι μέσο-άνω ηκκαινικής ηλικίας φλύσχη (GODFRIAUX, 1968, KATSIKATOS et al. 1982, SCHMITT 1983) της ανθρακικής πλατφόρμας των Ριζωμάτων-Ολύμπου-Ώσας, αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο αναφοράς, για τη χρονολόγηση της τεκτονικής εξέλιξης των "κυανοσχιστόλιθων".

Η ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης κύρια L_2 -γράμμιση έκτασης των "κυανοσχιστόλιθων" πάνω στη S_2 -σχιστότητα, περνάει και αποτυπώνεται το ίδιο έντονα και στον ηκκαινικής ηλικίας αυτόν φλύσχη. Η παρουσία της D_2 -παραμόρφωσης στον φλύσχη του Ολύμπου περιγράφεται επίσης και από τον DOUTSO (1984). Εκτός αυτού, η επιφάνεια επώθησης και

η S_2 -επιφάνεια σχιστότητας αναπτύσσονται παράλληλα έως υποπαράλληλα μεταξύ τους και η ΝΔ φορά κίνηση, της περιστροφικής αυτής D_2 -παραμόρφωσης, διατηρείται εκατέρωθεν των ανθρακικών παράθυρων. K/Ar, και $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ισοτοπικές αναλύσεις χρονολογούν εξ άλλου, μπλε αμφίβολου στο μέσο-άνω Ηώκαινο, 45 έως 50 εκ. χρόνια (DIXON 1968, ALTHERR et al. 1982, SCHLIESTEDT et al. 1987, SCHERMER et al. 1988). Ηκκαινικής ηλικίας επίσης, συμμεταμορφικές ισοκλινείς πτυχές ως προς HP/LT-συνθήκες μεταμόρφωσης αναφέρουν, στη Νότια Ελλάδα, για την ενότητα των "κυανοσχιστόλιθων" των Κυκλάδων οι ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1980, 1987), RIDLEY (1982).

Φαίνεται λοιπόν ότι η συμμεταμορφική ως προς HP/LT-συνθήκες D_2 -παραμόρφωση και τα συνοδά με αυτή τεκτονικά γεγονότα, έλαβαν χώρα το αργότερο μέχρι το άνω Ηώκαινο.

Η D_2 -παραμόρφωση πρόκειται έτσι, για το κύριο τεκτονικό γεγονός στη διάρκεια εξέλιξης του οποίου, ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση κατά το μέσο-άνω Ηώκαινο της ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων", μαζί με τα υπόλοιπα τεκτονικά καλύμματα, πάνω στην ανθρακική ενότητα των Ριζωμάτων-Ολύμπου-Ώσας.

Η D_{2e} -παραμόρφωση, που συνδυάστηκε με μια έντονη έκταση της ενότητας των κυανοσχιστόλιθων, σε πλαστικές ακόμη συνθήκες, καθώς και η συν- D_{2e} Kr_{2e} -μεταμόρφωση, χρονολογούνται συνεπώς, μετά το άνω Ηώκαινο και λίγο μετά την τοποθέτηση των τεκτονικών καλυμμάτων. Φαίνεται, πολύ πιθανόν, να συνδέεται με την αναθόλωση και την προς τα πάνω ηπειρογενετική κίνηση του ορογενούς.

Πράγματι οι BARTON 1975, SCHERMER et al. 1988, σε Rb/Sr- και $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -ραδιοχρονολογήσεις λευκών μαρμαρυγιών υπολόγισαν ηλικία κρυστάλλωσης τους 35-39 εκ. χρόνια.

Περίπου συγχρόνως, ή λίγο μεταγενέστερα από τη D_{2e} -τεκτονική, δηλαδή κατά το Ολιγόκαινο ή και αρχές Μειοκαινού, πραγματοποιήθηκε κατά τόπους, η συμπιεστική D_3 -παραμόρφωση, σε ακόμη πιο ψυχρές P/T-συνθήκες, ανάλογες μιας εύθραυστης τεκτονικής.

Η D_1 -παραμόρφωση, ως το αρχαιότερο τεκτονικό γεγονός, που αναγνωρίστηκε στην ενότητα των "κυανοσχιστόλιθων", αποτελεί σαφώς, μαζί με τα συνοδά της φαινόμενα, καθώς και τη συν- D_1 Kr_1 -κρυστάλλωση, μια προμεσοηκκαινικής ηλικίας, παραμόρφωση.

Η κινηματική αυτή διεργασία αν και εντελώς υπολειμματική σήμερα, στην περιοχή μελέτης, από την έντονη δράση της κυρίαρχης D_2 -παραμόρφωσης, θα πρέπει να συνδεθεί με το κύριο τεκτονικό γεγονός, που εξελίχθηκε πριν την έναρξη της τοποθέτησης των "κυανοσχιστόλιθων" πάνω στην ανθρακική πλατφόρμα των Ριζωμάτων-Ολύμπου-Ώσας. Αυτό το D_1 -γεγονός, θα μπορούσε έτσι να θεωρηθεί, ότι είναι ηλικίας κρητιδικής έως ηκκαινικής, αφού το πρώτο αλπικό τεκτοορογενετικό επεισόδιο υπολογίζεται ότι έλαβε χώρα μεταξύ άνω Ιουραϊκού - κάτω Κρητιδικού (MOYNTPAKHIS 1983, VERGELY 1984).

ισοτοπικές αναλύσεις μαρμαρυγών σε ζώνες διάτμησης του κρυσταλλοσχιστώδους του πελαγονικού καλύμματος, έδωσαν ηλικία σχηματισμού τους κατά τα κάτω-μέσο Κρητιδικό (BARTON 1975, YARWOOD & DIXON 1977, SCHERMER et al. 1988). Γεγονός που φανερώνει πράγματι τη δράση μιας σημαντικής τεκτονικής κατά την περίοδο αυτής της αλπικής ορογένεσης.

Αλλά και στην περιοχή της Νότιας Εύβοιας, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -ραδιοχρονολογήσεις αλκαλιαμφιβόλων, από τους MALUSKI et al. (1981), δίνουν μια ηλικία σχηματισμού τους, κατά το κάτω Κρητιδικό.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Η ανάλυση της υφής της ηφαιστειοζήματογενούς ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων", στη βόρεια/κεντρική Ελλάδα, έδειξε ότι αυτή αποτελεί ένα πολυμεταμορφωμένο και αλληπάλληλα τεκτονισμένο σύστημα πετρωμάτων.

Διακρίθηκαν έτσι τρία κύρια αλπικής ηλικίας τεκτονικά γεγονότα (D_1, D_2 και D_3), από τα οποία τα δύο πρώτα συμμεταμορφικά.

Η τελική παραμόρφωση εξακριβώθηκε, ως αξονικής επιμήκυνσης-τύπου κοντά στη γραμμή της επίπεδης παραμόρφωσης, με K-, D-τιμές 1,43 και 1,51 αντίστοιχα, καθώς και ως πλάτυνσης-τύπου, με μέσο όρο K-, D-τιμών, 0,34 και 1,60 αντίστοιχα.

Για να ερμηνεύσουμε την κατανομή αυτή των μεταμορφικών φάσεων και παραμορφωτικών γεγονότων θεωρούμε ότι το πρωταρχικό D_1 -παραμορφωτικό γεγονός συνδέθηκε με την εξέλιξη μιας ζώνης βύθισης κατά τη χρονική περίοδο Κρητιδικού-Ηωκαίνου.

Στο στάδιο αυτό της υποβύθισης και της λεπίωσης του φλοιού στη σφήνα-επαύξεσης, τμήματα του φλοιού μεταφέρθηκαν και βυθίστηκαν σε σημαντικό βάθος, με αποτέλεσμα τη σταδιακή επίδραση, κατά θέσεις τουλάχιστον της πρώτης HP/LT-μεταμόρφωσης και τη δημιουργία της αρχικής μπλε αμφιβόλου (Gla_1) με τον λωσωνίτη.

Κατά το στάδιο της σύγκρουσης, αρχίζει η αντίστροφη προς τα πάνω πορεία των βυθισμένων τμημάτων του φλοιού (μέλη της ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων") και η έναρξη της τοποθέτησής τους στον περίπου συγχρόνως αποτιθέμενο ηωκαίνικης ηλικίας φλύσχη, μπροστά στο μέτωπο της εφίππευσας πλάκας.

Η κίνηση αυτή συνδυάστηκε με τη D_2 -παραμόρφωση και τη δεύτερη HP/LT-μεταμόρφωση, αφού ακόμη η όλη τεκτονική διεργασία λαμβάνει χώρα σε σημαντικό βάθος και τμήματα του φλύσχη καλύπτονται σταδιακά από ένα σημαντικό πάχος τεκτονικών καλυμμάτων.

Συγχρόνως με την αντίστροφη αυτή προς τα πάνω πορεία των τμημάτων των "κυανοσχιστόλιθων", μεταβάλλεται η κινηματική εικόνα της ενότητας των "κυανοσχιστόλιθων", σε μια κίνηση με φορά από τα ΒΑ προς τα ΝΔ.

Η μετατροπή αυτή του κινηματικού πεδίου των "κυανοσχιστόλιθων", κατά την περίοδο του μέσου-άνω Ηωκαίνου, πιθανόν να αποδωθεί στην περιστροφική κίνηση των πλακών ή ακόμη πιθανόν σε μια έντονη αξονικής επιμήκυνσης παραμόρφωση (συμπί-

εση στον Y_1).

Στο τελικό στάδιο της D_2 -παραμόρφωσης, μετά το Ηωκαίνο, όταν είχε σχεδόν ολοκληρωθεί η τοποθέτηση των "κυανοσχιστόλιθων" πάνω στον ηωκαίνικο φλύσχη και ενώ οι P-T-συνθήκες άρχισαν να πέφτουν, συγχρόνως με μια σχετικά γρήγορο ρυθμού, ανοδική ηπειρογενετική κίνηση, λαμβάνει χώρα η D_2e -παραμόρφωση με ΒΑ-ΝΔ-διεύθυνση εφελκυσμού, σε πλαστικές ακόμη συνθήκες της D_{2e} -μεταμόρφωσης. Προκαλείται έτσι το αντίστοιχο προς τα νοτιοδυτικά και βορειοανατολικά άπλωμα των "κυανοσχιστόλιθων", αποτέλεσμα μιας βαρυτικής ολίσησης και ροής του ορογενούς.

Τέλος, συγχρόνως ή λίγο μετά την D_2e -παραμόρφωση, κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο κλείνει ο κύκλος της προνεογενούς παραμορφωτικής εξέλιξης των "κυανοσχιστόλιθων", με το συμπιεστικό D_3 -παραμορφωτικό γεγονός. Αυτό εξελίχθηκε σε ακόμη ψυχρότερες P-T-συνθήκες, αφού ήδη το ορογενές θα πρέπει να είχε ανυψωθεί αρκετά, μετά τη συσσώρευση των καλυμμάτων.

Επακολούθησε η νεοτεκτονική ρηξιγενής τεκτονική του χώρου μελέτης, κυρίως σε συνθήκες εύθραυστης τεκτονικής, με την ανάπτυξη μεταπτωτικών συζυγών ρηγμάτων, που κατακεραματίζουν, μετατοπίζοντας τις προϋπάρχουσες πλαστικές δομές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALTHERR, R., KREUZER, H., WENDT, I., LENTZ, H., WAGNER, G., KELLER, J., HARRE, W. & HONDORF, A. (1982). A late Oligocene/Early Miocene High Temperature belt in the Attic-Cycladic Crystalline Complex.- *Geol. Jb.* E23, 97-164.
- BARTON, M. (1975). Mount Olympus, a study in thrust belt tectonics.- *Ph. D. Thesis, Univ. Cambridge*, 285 p.
- BROWN, H. (1977). The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism.- *J. Petrol.*, 18, 53-72.
- COBBOLD, P. & GAPAIS, D. (1987). Shear criteria in rocks: an introductory review. *J. Struct. Geol.*, 9, 521-523.
- DIXON, J. (1968). The glaucophane schists of Syros.- *Ph. D. Thesis, Univ. Cambridge*, 100 p.
- DOUSOS, TH. (1984). Structural Analysis of central Hellenic nappes.- *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 168, 1-22.
- FLINN, D. (1962). On folding during three-dimensional progressive deformation.- *Geol. Soc. Lond.*, 118, 385-443.
- FRY, N. (1979). Random point distribution and strain measurement in rocks.- *Tectonophysics*, 60, 89-105.
- GODFRIAUX, J. (1968). Étude géologique de la région de l'Olympe (Grèce).- *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 19, 1-280.
- GODFRIAUX, J. & PICHON, F. (1978). Sur quelques assèmlages mineralogiques dans les metabasites d'Ampelakia et de Kalipefki (Unité tectonique de l'Ossa, Grèce).- *VIe R.A.S.T.*, 187-192.
- GODFRIAUX, J. & PICHON, F. (1979). Sur l'importance des événements tectoniques et métamorphiques d'âge tertiaire en Thessalie septentrionale (Olympe-Ossa-Fliambouron).- *Ann. Soc. geol. Nord*, XCIX, 367-376.
- HEINRICH, W. & ALTHAUS, E. (1980). Die obere stabilitätsgrenze von Lawsonit plus Albit bz.w. Jadeit.- *Fortschr. 58B Beih.*, 1, 44-50.
- HOLDAWAY, M. (1971). Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram.- *Am. J. Sci.*, 271, 97-131.
- HOLLAND, T. (1980). The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600°-1200°.- *Am. Mineral.*, 65, 129-134.

- JACOBSSHAGEN, V., RISCH, H. & ROEDER, D. (1976). Die Eohellenische Phase. Definition und Interpretation.- *Z. dt. geol. Ges.*, 127, 133-145.
- JOHANNES, W. & PUHAN, D. (1971). The calcite-aragonite transition reinvestigated.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 31, 28-38.
- KATSIKATSOS, G., MIGIROS, G. & VIDAKIS, M. (1982). La structure géologique de la région de la Thessalie orientale (Grèce).- *Ann. Soc. geol. Nord*, CI, 177-188.
- KILIAS, A. & CHATZIDIMITRIADIS, E. (1985). Die präneogene tektonische Entwicklung der Kalkphyllit-Metabasit-Serie am NE-Rand des Pieria-Gebirges (N. Griechenland).- *Z. dt. geol. Ges.*, 136, 195-206.
- KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1985). Des "Rizomata Fenster" im nordöstlichen Pieria-Gebirge. Neue Daten zur geologischen Grenze der Pelagonischen und der Axios-Zone in Griechenland.- *N.Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 1985 (4), 248-256.
- KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1987). Zum tektonischen Bau der Zentral-Pelagonischen Zone. (Kamvounia-Gebirge, N. Griechenland).- *Z. dt. geol. Ges.*, 138, 211-237.
- KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1989). Altersbeziehungen zwischen Tektonik, Metamorphose und magmatischer Tätigkeit im zentralen Teil der Pelagonischen Zone (Antichasia Gebirge).- *Ann. Geol. Pays Hwvell.*, 39 (in press).
- LEAKE, B. (1978). Nomenclature of amphiboles.- *Min. Mag.*, 42, 533-563.
- LE BAS, M. (1962). The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage.- *Am. J. Sci.*, 260, 267-288.
- LIU, S. (1977). P-T stabilities of laumontite, wairakite, lawsonite and related minerals in the system $CaAl_2SiO_8 - SiO_2 - H_2O$.- *J. Petrol.*, 12, 379-411.
- LISTER, G. & SNOKE, A. (1984). S-C Mylonites.- *J. Struct. Geol.*, 6, 617-638.
- MALUSKI, H., VERGELY, P., BAVAY, D.P. & KATSIKATSOS, G. (1981). $^{39}Ar/^{40}Ar$ dating of glaucophanes and phengites in Southern Euboa (Greece), geodynamic implications.- *Bull. Soc. geol. France*, 23, 469-476.
- MARESCCH, W. (1977). Experimental studies on glaucophane: an analysis of present knowledge.- *Tectonophysics*, 43, 105-125.
- MIGIROS, G. (1983). Geologische Untersuchung des Kato-Olympos-Gebietes in Thessalien.- *Diss. Univ. Patrai*, 214 p.
- MIYASHIRO, A. (1957). The chemistry, optics, and genesis of the alkali amphiboles.- *Tokyo Univ. Fac. Sci. Journ.*, 11, 57-83.
- MOUNTRAKIS, D. (1983). Structural geology of the North Pelagonian zone s.l. and geotectonic evolution of the Internal Hellenides (Macedonia, Greece).- *Habil.-Schr. Univ. Thessaloniki*, 289 p.
- NANCE, D. (1981). Tectonic history of a segment of the Pelagonian zone, North-eastern Greece.- *Can. J. Earth Sci.*, 18, 1111-1126.
- NISBET, G. & PEARCE, A. (1977). Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 63, 149-160.
- NITSCH, K. (1970). Experimentelle Bestimmung der oberen Stabilitätsgrenze von Stilpnomelan.- *Fortschr. Mineral.*, 47, 48-50.
- PAPANIKOLAOU, D. (1980). Contribution to the geology of Aegean Sea. The island of Paros.- *Ann. Geol. Pays Hell.*, 30, 65-96.
- PAPANIKOLAOU, D. (1984). The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation.- In J. DIXON and A. ROBERTSON (ed.) "The geological evolution of the eastern Mediterranean", *Geol. Soc. London spec. Pub.*, 17, 551-561.
- PAPANIKOLAOU, D. (1987). Tectonic evolution of the Cycladic blueschist belt (Aegean Sea, Greece).- *Helgeson (ed.)*, *Chemical Transport in Metasomatic Processes*, 389-428.
- PERCHUK, L. & ARANOVICH, L. (1980). The Thermodynamic Regime of metamorphism in the ancient subduction zones.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 75, 407-414.
- PINGOT, J.L. (1988). Parageneses metamorphiques et geochemie des "schistes bleus" du Bas-Olympe et de l'Ossa (Thessalie, Grèce).- *Ph. D. Thesis, University Catholique d' Louvain*.
- POLDERVAART, A. & HESS, H. (1951). Pyroxenes in the crystallization of basaltic magmas.- *J. Geol.*, 59, 472-489.
- RASAY, G. & HUBER, I. (1983). The techniques of modern electron microprobe analysis. strain analysis.- *Academic press Inc.*, 307 p.
- RIDLEY, J. (1982). Tectonic style, strain history and fabric development in a blueschist terrain, Syros, (Greece).- *Ph. D. Thesis, Univ. Edinburgh*, 283 p.
- SCHLIESTEDT, M., ALTHERR, R. & MATTHEUS, A. (1987). Evolution of the Cycladic crystalline complex: Petrology, isotope geochemistry and geochronology.- *H.C. Helgeson (ed.)*, *Chemical Transport in Metasomatic Processes*, 389-428.
- SCHMITT, A. (1983). Nouvelles contributions à l'étude géologique des Pieria de l'Olympe et de l'Ossa (Greece du Nord).- *These Doctorat Univ. Mons*, 400 p.
- SCHERMER, E., LUX, D. & BURCHFIEL, B. (1988). Age and tectonic significance of metamorphic events in the Mt. Olympos region (Greece).- *4th Congress of the Geol. Soc. of Greece, Athens*, 3-15.
- VERGELY, P. (1984). Tectonique des ophiolites dans le Hellenides internes. Consequences sur l'évolution des régions Tethysiennes occidentales.- *These Doct. d'Etat, Paris/Sud*, 650 p.
- WINKLER, F. (1979). Petrogenesis of metamorphic rocks.- *Springer Verlag*, 348 p.
- YARWOOD, G. & DIXON, J. (1977). Lower Cretaceous and younger thrusting in the pelagonian rocks of the high Pieria, Greece.- *VII Coll. Geol. Aegean region, Athen*, 269-280.