

## ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΟΡΟΓΕΝΟΥΣ, ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ\*

Α. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ<sup>1</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Το Ελληνικό ορογενές είναι σύνθετο από τρεις ορογενετικές λωρίδες: 1) Την Κιμμεριική ορογενετική λωρίδα που είναι η εσωτερικότερη και διαμορφώθηκε πριν το Άνω Ιουραϊκό από τις κινήσεις των Κιμμεριικών μικροπλάκων και τη συζκόλησή τους στην Ευρασία, 2) Την Αλπική ορογενετική λωρίδα που διαμορφώθηκε την περίοδο Κορητιδικού-Παλαιογενούς από την κίνηση της Απουλίας μικροπλάκας, τη σύνθλιψη του ωκεανού της Νέο-Τηθύος και την ενσωμάτωσή της στην ενιαία πλάκα Κιμμεριικής-Ευρασίας, 3) την Μεσογειακή ορογενετική λωρίδα που διαμορφώθηκε το Μειόκαινο-Πλειόκαινο από τη συνεχιζόμενη υποβύθιση της Μεσογειακής πλάκας κάτω από την ενιαία Αλπική-Κιμμεριική-Ευρασιατική πλάκα και εντοπίζεται στο Εξωτερικό Τμήμα του Ελληνικού Ορογενετικού τόξου με τα μεγάλα τεκτονικά παράθυρα της Κορίθης και της Νότιας Πελοποννήσου. Η τεκτονική ανάλυση και οι μελέτες της γεωμετρίας και της κινήματικής των παραμορφώσεων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια συνεχής μεταμόρφωση του τεκτονισμού προς τα Εξωτερικά του Ελληνικού Τόξου με τις διαδοχικές φάσεις συμπιεστικής-εφελκυσμού, την κατάρρευση του διογκωμένου φλοιού και την αποκάλυψη βαθύτερων τμημάτων του φλοιού ως τεκτονικών παραθύρων.

### ABSTRACT

The Hellenic orogen consists of three orogenic belts: 1) the Cimmerian orogenic belt, including Rhodopian, Serbomacedonian, Circum Rhodope, Axios and Pelagonian zones, is the internal belt which has been created in Early-Late Jurassic times as a result of the northward drift of Cimmerian continental fragments from Gondwana towards Eurasia. Ophiolites from small ocean basins were mainly emplaced onto the Cimmerian continental margins in Middle Jurassic. 2) the Alpine orogenic belt, including External Hellenides and Pindos-Subpelagonian ophiolites and oceanic sediments (Neo-Tethyan), which has been created in Cretaceous-Paleogene times after the subduction of the Neotethyan oceanic crust beneath the Cimmerian-Eurasian plate and the collision of the Apulian microplate to the later, 3) the Mesogean orogenic belt along the External Hellenic orogenic arc as a result of the Mesogean-African underplate beneath the unique Alpine-Cimmerian-Eurasian plate in Miocene-Pliocene times and the exhumation of the Cretan-Southern Peloponesus tectonic windows. Structural analysis and detailed studies of the geometry and kinematics suggest that during Alpine-Mesogean orogenic process a SW-ward migration of successive compressional and extensional tectonic events took place resulted of successive subductions. Thus, crustal thickening produced by compressional tectonics in each area was followed by an extensional exhumation of underplate rocks as tectonic windows.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Ορογενετική εξέλιξη, Κιμμεριική, Αλπική, Μεσογειακή Ορογενετικές ζώνες, Γεωμετρία, Κινήματική, συμπιεστική, εφελκυστική τεκτονική.

**KEY WORD:** Orogenic evolution, Cimmerian, Alpine, Mesogean orogenic belts. Geometry, Kinematics, compressional, extensional tectonics.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Ελληνικό Ορογενές τμήμα το μεγάλου Αλπιού Ορογενούς όπως αυτό αναφέρεται ιστορικά (Brunn 1956, Aubouin 1959, Dercourt 1964, Mercier 1968, Godfriaux 1968, Kockel & Mollat 1976) από την εποχή του Αλπιού γεωσυγγλύνου και αποτελείται από τις γνωστές Γεωλογικές ζώνες, σήμερα έχει αποδειχθεί και γίνεται γενικά αποδεκτό ότι αποτελεί ένα σύνθετο ορογενετικό οικοδόμημα που δημιουργήθηκε κατά την εξέλιξη σε διάφορες γεωλογικούς περιόδους και η οριστική του συζκότηση ολοκληρώθηκε με αλληπάλιλλες τεκτονικές διεργασίες στις περιόδους αυτές.

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

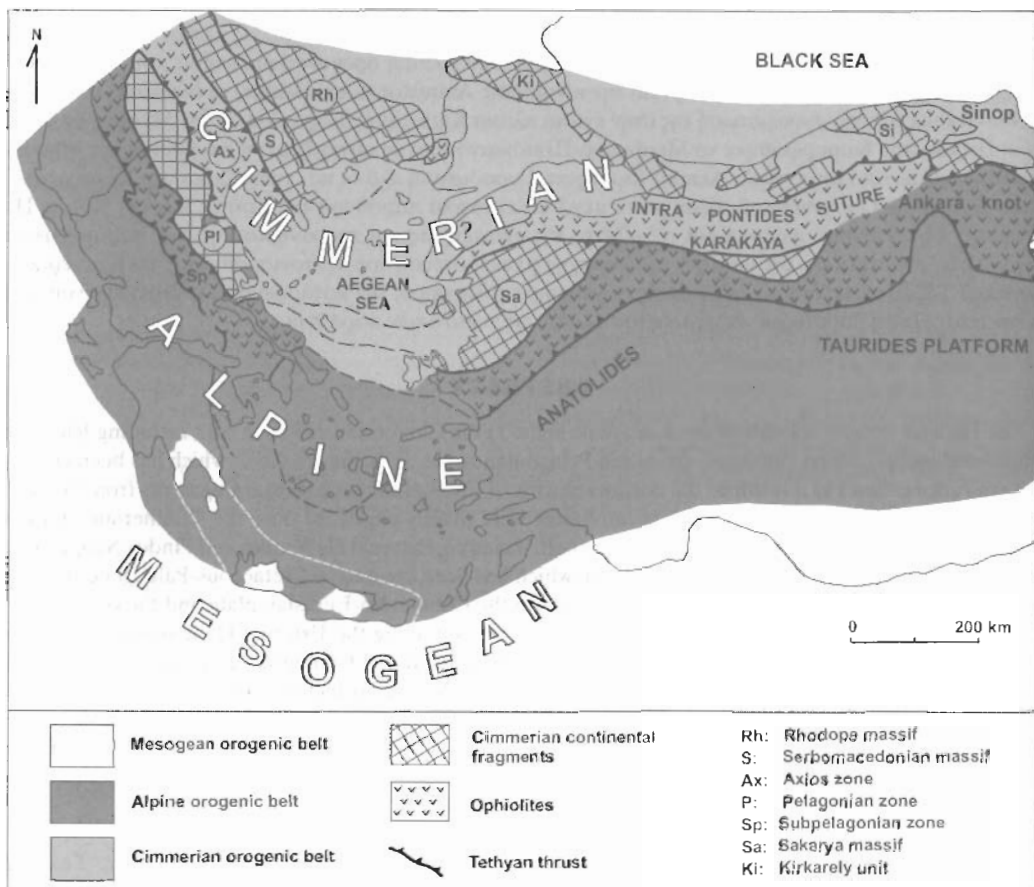
TECTONIC EVOLUTION OF THE HELLENIC OROGEN, GEOMETRY AND KINEMATICS OF THE DEFORMATION

Καθηγητής Α.Π.Θ., 54006 - Θεσσαλονίκη

Στη συνέχεια θα αναλυθεί το σύνθετο Ελληνικό ορογενές με βάση τη γενικότερα επιζωοτούσα σήμερα επιστημονική άποψη, αλλά λαμβάνοντας υπ' όψη και τις διαφορετικές γνώμες που έχουν εκφραστεί τα τελευταία χρόνια για τη γεωδυναμική εξέλιξη του Αιγαίου και γενικότερα της Ανατολικής Μεσογείου (Mercier et al 1975, Jacobshagen et al 1978, Mountrakis 1982, 1983, 1984, Papanikolaou 1984, Sengur et al 1984, Godfriaux & Ricou 1991, Bebiën et al 1994, Ferriere & Stais 1995, Vavasis et al 2000, Vergely and Mercier 2000).

## 2. ΤΟ ΣΥΝΘΕΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ

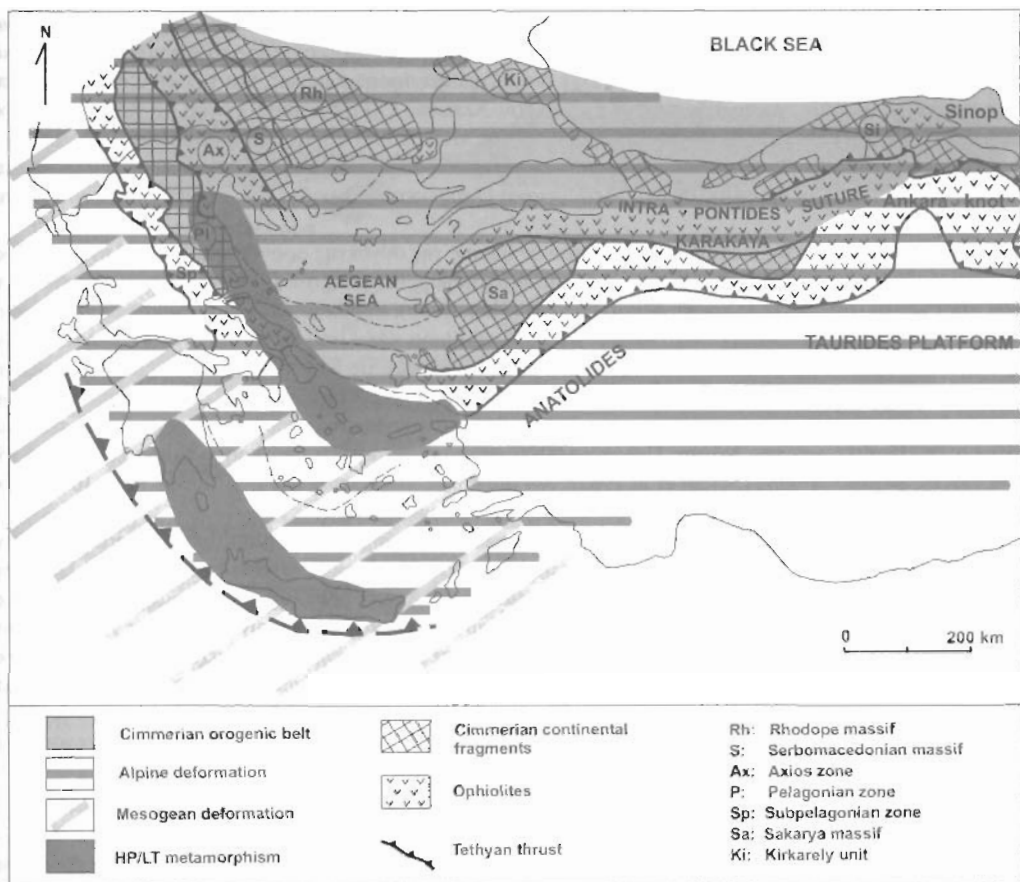
Σήμερα γίνεται γενικότερα αποδεκτό ότι το Ελληνικό Ορογενές συγκροτείται από την Κιμμεριζή Ορογενετική Λορίδα στα εσωτερικά του τόξου, την Αλπική Ορογενετική Λορίδα και την πιο εξωτερική Μεσογειακή Ορογενετική Λορίδα. (σχ. 1).



Σχ. 1. Χάρτης που δείχνει τις τρεις ορογενετικές λορίδες του Ελληνικού Ορογενούς και την επέκτασή τους στο χώρο της Μικράς Ασίας. Η ζωνιοτή των Κιμμερικών ηπειρωτικών τεμαχών και των οφειολιθικών συρραφών βασίζεται στις εργασιές Mountrakis 1986, 1994.

Fig. 1. Structural sketch-map showing the three orogenic belts of the Hellenic Orogen and their extension to the Minor Asia region. Cimmerian continental fragments and ophiolitic sutures after Mountrakis 1986 and 1994.

Η Κιμμεριζή Ορογενετική Λορίδα διαχωρήθηκε πριν το Άνω Ιουραϊκό από τις ζώνες της Κιμμερικής ηπειρωτικής πλάκας (ή των επιμέρους Κιμμερικών μικροπλάκων), τη σύγκλιση και την ενσωμάτωσή τους στην Ευρασιατική πλάκα (Μουντρακίς 1994), την σύνθλιψη και καταστροφή του ωκεάνιου φλοιού των λεκανών του παλιού ωκεανού της Τηλής, διεσπασμένες που οδήγησαν στον πρώτο εφαινή έντονο τεκτονισμό των πετρωμάτων. Ορολιτικοποιήθηκε επομένως η ηπειρωτική σύγκλιση και σύγκλιση των Κιμμερικών ηπειρωτικών τεμαχών σε μια ενιαία πλέον Κιμμεριζή-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα (Mountrakis 1983, 1986, 1994, Φηφιάκη Βιβλιοθήκη "Θεοφράστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.).



Σχ. 2. Τεκτονικό σκαρίφημα που δείχνει το χώρο εξάπλωσης της τεκτονικής δράσης κάθε μιας από τις τρεις ορογενετικές περιόδους και την επικάλυψη των παραμορφώσεων της μιας επί της άλλης.

Fig. 2. Structural sketch-map showing the area covered by the orogenic process of each orogenic belt and the deformation overprint of each one to the other.

Robertson and Dixon 1984, Sengör 1984, Robertson et al 1996). Όλες αυτές οι τεκτονικές διεργασίες ολοκληρώθηκαν πριν το Άνω Ιουραϊκό με τη δημιουργία της **Κιμμερικής** ορογενετικής λωρίδας (ή Κιμμερικής Ελλάδας) που περιλαμβάνει τα πλάϊα ηπειρωτικά τμήματα των ζωνών Πελαγονικής, Ροδόπης, Σερβομακεδονικής και τα αντίστοιχα ιζηματογενή καλύμματα αυτών και βέβαια αντίστοιχα ηπειρωτικά τμήματα στην Μ. Ασία (Ποντίδες, Sakarya, Kırcaali κ.ά.), καθώς και τις ενδιαμέσες ζώνες των ωκεανών πετρομάτων ή ηπειρωτικών περιθωρίων (ζώνες Αξιού, Περιοδοτικής, Intrapontides κ.ά.).

Η Αλπιζή Ορογενετική Λωρίδα διαμορφώθηκε γενικά την περίοδο Κρητιδικού-Παλαιογενούς από την κίνηση της Αιουτιάς ηπειρωτικής μικροπλάκας και την ενσωμάτωση της στην Κιμμερική-Ευρασιατική ήπειρο που είχε διαμορφωθεί πριν το Άνω Ιουραϊκό. Όλες οι τεκτονικές διεργασίες που έλαβαν χώρα στο Κρητιδικό-Παλαιογενές με τη σύγκλιση Αιουτιάς-Κιμμερικής, την καταστροφή του ενδιαμέσου ωκεανού της Νεοτηθύς, την τοποθέτηση των οφειολίθων και την τελική ηπειρωτική σύγκλιση που πλαισίωσε οριστικά την Αλπιζή Ορογενετική διεργασία που κατέληξε στη συγκόλληση της Αιουτιάς στην ενιαία πλέον Αλπιζή-Κιμμερική-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα. Δημιουργήθηκε έτσι στην Ελλάδα μια νέα Ορογενετική Λωρίδα η Αλπιζή, η οποία περιλαμβάνει τα ωκεάνια πετρώματα της Νέο-Τηθύς (ζώνες Πίνδου-Υποπελαγονικής) που διέφυγαν την υποβίθισή τους κάτω από την Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα, καθώς και τα ανθρακικά πετρώματα ηπειρωτικής πλάκας της Αιουτιάς ή ηπειρωτικού περιθωρίου ημισίας Μεσοζωικού-Παλαιογενούς (Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες Γαμηφιακή/Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Η νεότερη Μεσογενική Ορογενετική Λωρίδα που εντοπίζεται στο Εξωτερικό Τμήμα του Ελληνικού Ο-

ορογενετικού Τόξου, στις περιοχές Νότιας Πελοποννήσου και Κρήτης, διαμορφώθηκε την περίοδο Μειοκαινού-Πλειοκαινού από τη συνεχιζόμενη υποβύθιση της Μεσογειακής-Αφρικής πλάκας κάτω από την ενιαία Αλπιική-Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα που είχε διαμορφωθεί προηγουμένως, και την ισχυρή τεκτονική παραμόρφωση που προκάλεσε στο Εξωτερικό Τμήμα του Αλπικού Ορογενετικού Τόξου με την ανύψωση και εκταφή στις περιοχές αυτές τμημάτων της υποβυθιζόμενης πλάκας υπό μορφή τεκτονικών παράθυρων.

Αυτά τα τεκτονικά παράθυρα και τα περιβάλλοντα πετρώματα που υποστήκαν την ισχυρή Μεσογειακή παραμόρφωση και ανύψωση αποτελούν τη Μεσογειακή Ορογενετική Λωρίδα που συμπληρώνει το Ελληνικό Ορογενές.

Καθοριστικό οδηγό στη διατύπωση αυτού του σχήματος της σύνθετης ορογένεσης του ελληνικού χώρου, αποτελούν οι δυο ζώνες μεταμόρφωσης υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας (HP/LT) που τοποθετούνται σχεδόν παράλληλα (σχ. 2). Η 1<sup>η</sup> πρώτη ηλικίας 45 Ma (Ηωκαίνου), περιλαμβάνει τους γνωστούς γλιανοφανιτικούς σχιστόλιθους που παρατηρούνται στα τεκτονικά παράθυρα κάτω από την Πελαγονική ζώνη (παράθυρα Ολύμπου, Ριζομάτων, Κρανιάς, Όσσας, Πηλίου), στη Νότια Εύβοια, τις Κυκλάδες και τη Σάμιο σχηματίζοντας ένα σαφές τόξο υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας μεταμόρφωσης (Durr et al 1978, Blake et al 1981, Altherr et al 1982, Schermer 1990). Η 2<sup>η</sup> ηλικίας 25 Ma (Ανω Ολιγοκαινού-Μειοκαινού) παρατηρείται στα τεκτονικά παράθυρα της Κρήτης και της Νότιας Πελοποννήσου σχηματίζοντας ένα δεύτερο νεότερο εξωτερικό τόξο υψηλής πίεσης μεταμόρφωσης (Seidel et al 1982). Οι συνθήκες πίεσης και των δύο ζωνών ήταν 10-12 kb και υποδηλώνουν περιοχές σύγκλισης λιθοσφαιριζών πλακών και υποβύθισης.

Η διάκριση των τριών λωρίδων του Ελληνικού ορογενούς δεν σημαίνει βέβαια ότι η αντίστοιχη ορογένεση περιορίστηκε μόνο στη συγκεκριμένη ορογενετική λωρίδα. Η Αλπιική ορογένεση Κρητιδικού-Παλαιογενούς εκτός από την Αλπιική λωρίδα επέδρασε σχεδόν καθολικά και σε ολόκληρη την περιοχή της Κιμμερικής Ελλάδας που είχε σχηματισθεί προηγουμένως (πριν το Άνω Ιουραϊκό) προκαλώντας έντονες Αλπιικές παραμορφώσεις. Επίσης η νεότερη Μεσογειακή ορογένεση δεν επέδρασε μόνο στο εξωτερικό μέρος της Αλπιικής Ορογενετικής λωρίδας αλλά σε ολόκληρη την έκτασή αυτής. Υπάρχει επομένως πλήρης επικάλυψη των τεκτονικών παραμορφώσεων των τριών ορογενετικών δράσεων όπως παραστατικά δείχνεται στο σχήμα 2.

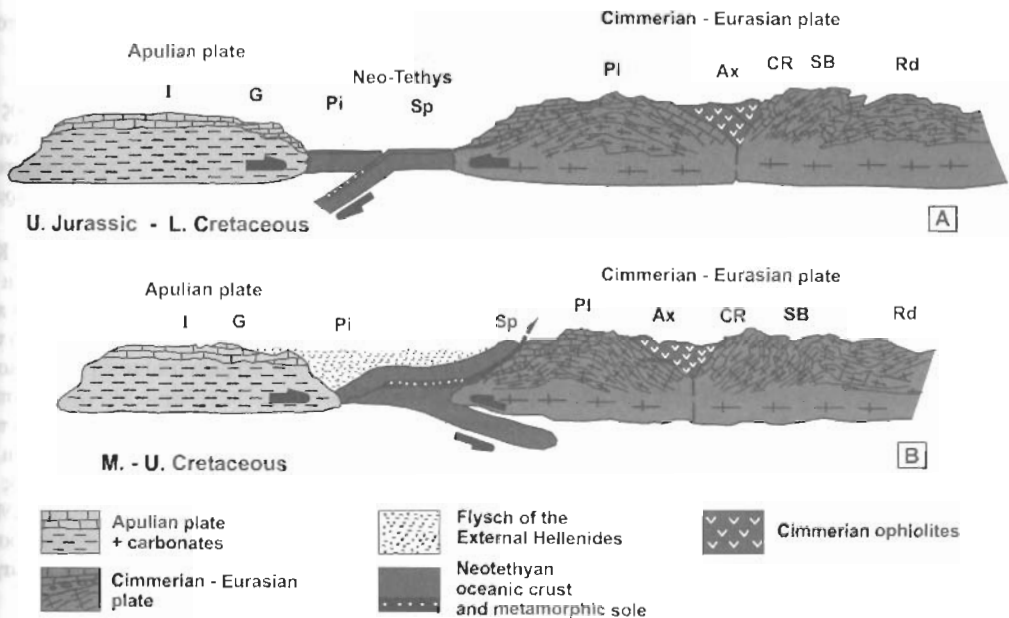
Θα εξετάσουμε στη συνέχεια αναλυτικά τις γεωδυναμικές κινήσεις που οδήγησαν στον τεκτονισμό κάθε μιας ορογενετικής λωρίδας χωριστά.

### 3. Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΚΙΜΜΕΡΙΚΗ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΛΩΡΙΔΑ

Τα αποτελέσματα της Κιμμερικής ορογένεσης δεν είναι βέβαια εντυπωσιακά ορατά από την άποψη των μεγάλων δομών, διότι είναι οι παλιότερες και προφανώς έχουν αλλοιωθεί από τις μεταγενέστερες Αλπιικές παραμορφώσεις οι οποίες εκτός από την Αλπιική Ελλάδα έχουν επιδράσει και στον Κιμμερικό χώρο (Εσωτερικές Ελληνίδες και Ενδοχώρα) όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Αυτές οι Αλπιικές παραμορφώσεις δεσπόζουν φυσικά ως νεότερες και στην Κιμμερική Ελλάδα.

Γενικά οι τεκτονικές δομές που παρατηρούνται σήμερα στον Κιμμερικό χώρο είναι σύνθετες από τις παραμορφώσεις που έγιναν σε διάφορες ορογενετικές περιόδους. Συγκεκριμένα αποτελούνται από:

- 1) Τις χρονοπομπόμενες παλιές (παλαιοζωϊκές) παραμορφώσεις που είχαν τα ηπειρωτικά τεμάχια τα οποία συνθέτουν σήμερα τον Κιμμερικό χώρο. Παλιές συμμεταμορφικές ισοζωνικές πτυχές των χροστοιχιστοειδών πετρωμάτων και ειδικότερα αυτές που εντοπίστηκαν μέσα σε σχιστολιθικά πετρώματα που απομοιώθηκαν και βρισκονται εγκλωβισμένα μέσα σε Άνω Παλαιοζωϊκούς γρανίτες (Μουντρακίης 1983).
- 2) Τις παραμορφώσεις που προκλήθηκαν κατά τη σύγκλιση των Κιμμερικών τεμαχίων με την Ευρασία στη διάρκεια Τριαδικού-Ιουραϊκού και την τελική ηπειρωτική σύγκρουσή τους που δημιούργησε την ενιαία πλάκα Κιμμερικής-Ευρασίας. Πολλές έρευνες έχουν γίνει για να διαπιστωθούν οι παλιές αυτές Κιμμερικές δομές, η γεωμετρία τους και ενδεχόμενα η κινήσή τους με όχι πολύ πλούσια αποτελέσματα. Κυρίως στη μελέτη των πτυχών επικεντρώθηκαν οι έρευνες, ιδιαίτερα σ' αυτές που πιθανόν συνδέονται με την υποβύθιση του παλιού ωκεανού φλοιού της ζώνης Αξιοά, την τοποθέτηση των οφειλιθίων πάνω στα τότε Κιμμερικά ηπειρωτικά περιθώρια και την τελική Ιουραϊκή σύγκρουση. Διαπιστώθηκαν πτυχές ισοζωνικές με άξονες ΒΔ-ΝΑ και απόκλιση προς ΝΔ, κυρίως στο χώρο της Πελαγονικής, συνδεδεμένες με την παλιά τοποθέτηση των οφειλιθίων της ζώνης Αξιοά πάνω στην Πελαγονική. Διαπιστώθηκε η συμμεταμορφική ανάπτυξη αυτών των πτυχών με μια προ-αλπιική (προ Κρητιδική) μεταμόρφωση αμφιβολιτικής έως κάτω προαινοσχιστολιθικής φάσης (Vergely 1984, Mountrakis 1986, Michard et al 1994, 1998).
- 3) Τις Αλπιικές παραμορφώσεις, κυρίως εφελκυστικές πλαστικές δομές που προκλήθηκαν αργότερα στον Κιμμερικό χώρο από την επίδραση της σύγκλισης της Απολλιακής μικροπλάκας με την Εννιαία Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα και τη Γηραιά Βιβλοθήκη (Θεσσαλός) Τμήμα Πελοποννήσου (από το Κιμμερικό παρα-



Σχ. 3. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν τη γεωδυναμική εξέλιξη των Ελληνίδων κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου της Αλπικής ορογένεσης. Δείχνονται επίσης η ενδοωκεάνια υποβύθιση της Νέο-Τηθύος που οδηγεί στο σχηματισμό της μεταμορφικής σόλας, η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από την ενιαία Κιμμεριζή-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα και η τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων στο Κιμμερικό (Πελαγονικό) ηπειρωτικό περιθώριο.

Fig. 3. Cross-sections showing plate motion reconstruction of the Hellenides during the first period of the Alpine orogenic process. The Neo-Tethyan intraoceanic subduction producing the metamorphic sole, the subduction of the oceanic crust beneath the Cimmerian-Eurasian plate and the obduction of the ophiolites onto the Cimmerian (Pelagonian) continental margin are also shown.

μορφώσιμο περιθώριο της Ευρασίας. Αυτές οι αλπικές διεργασίες προκάλεσαν ισχυρές παραμορφώσεις στην Κιμμεριζή Ελλάδα και είναι αυτές σήμερα που δεσπόζουν αφού υπερχιάζουν τις παλιότερες (Papanikolaou and Panagopoulos 1981, Kiliadis and Mountrakis 1990, Ricou et al 1998, Liati and Gebauer 1999, Mposkos and Krohe 2000).

Συμπερασματικά πρέπει να τονισθεί ότι γενικά οι μελέτες της γεωμετρίας των παλιών πτυχών της Κιμμεριζής παραμόρφωσης δεν κατέληξαν σε σαφείς και πειστικές απαντήσεις για την κινήσιμη εξέλιξη των Κιμμεριζών τεμαχών και του τελικού Κιμμεριζού ορογενούς. Υπάρχει βέβαια ένας επίμονος προσανατολισμός των Ιουραϊκών πτυχών στη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση αξιόμων γενικά στις Εσωτερικές ζώνες (Πελαγονική, Αξίου, Περιοδοτική) δεν μπορεί όμως να διαπιστωθεί αν αυτό είναι το πρωτογενές αποτέλεσμα της τότε παραμόρφωσης ή είναι η επανατοποθέτηση των δομών από τις μεταγενέστερες Αλπικές επιδρομές.

Έτσι δεν υπάρχει ένα σαφές συμπέρασμα για την κίνηση των μικροπλακών που οδήγησαν στη συγκρότηση του Κιμμεριζού Ορογενούς.

#### 4. ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΑΛΠΙΚΗ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΛΩΡΙΔΑ

Αντίθετα αρχικά σκαφείς φαίνονται οι αλπικές κινήσεις και παραμορφώσεις που διαμόρφωσαν το αλπικό ορογενές. Αυτή η Αλπική Τεκτονική περιλαμβάνει δυο περιόδους τεκτονικών συμβάντων και διεργασιών μια (Α) περίοδο γενικά στο Κρητιδικό και μια (Β) περίοδο στο Ηώκαινο-Ολιγόκαινο. Υπήρχαν βέβαια και τα ενδιάμεσα στάδια αφού η τεκτονική εξέλιξη δεν διακόπηκε αλλά ήταν συνεχής από την αρχική σύγκλιση της Αποιαίας μικροπλάκας με την ενιαία πλέον Κιμμεριζή-Ευρασιατική Πλάκα, τη συμπύεση του ενδιάμεσου ωκεάνου της Νέας Τηθύος, την ωκεάνια διάρρηξη και ενδοωκεάνια υποβύθιση (subduction) που εξελήχθη στη συνέχεια σε υποβύθιση του Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστos" - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. πλάκα και την τελική τοποθέτηση των οφειολίθων (Pe-Piper & Piper 1990, Jones and Robertson 1991, Robertson et al 1991).

Επιγραμμιατικά τα γεωδυναμικά συμβάντα και τα παραμορφωτικά επεισόδια της Αλπικής ορογένεσης μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

(Α) Περίοδος Αλπικής Ορογένεσης (σχ. 3). Στο Άνω Ιουραϊκό με την ενδοωκεάνια υποβύθιση προς τα Δυτικά δημιουργήθηκαν συνθήκες μεταμόρφωσης των ωκεάνιων ιζημάτων και πετρωμάτων του ωκεάνιου φλοιού. Η μεταμόρφωση ήταν φάσης πρωανοσχιστολιθικής ή και HP/LT. Σχηματίσθηκε έτσι η μεταμορφωτική σόλα (metamorphic sole) αποτελούμενη κυρίως από μεταϊζημιατά (μετα-πελίτες, φυλλίτες, σχιστόλιθους, μάγμα-ρα κλπ) και μεταβιοίτες-αμφιβολίτες (Jones & Robertson 1991).

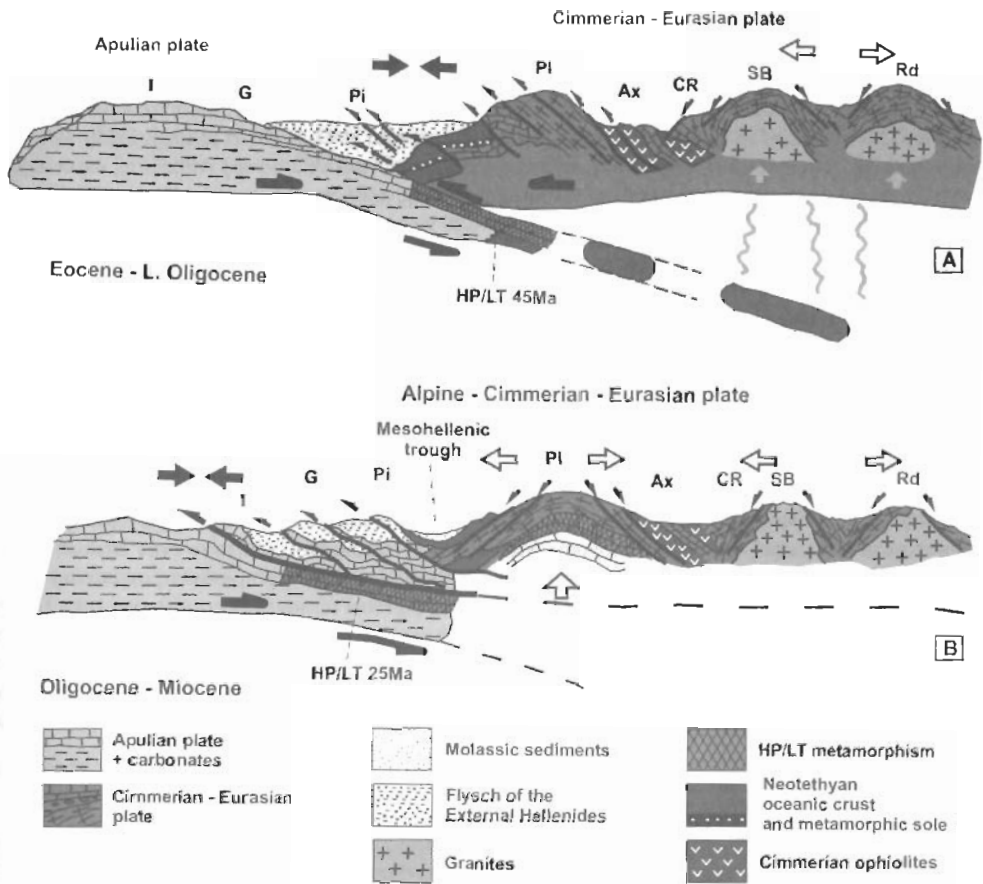
Στη συνέχεια οι συνθήκες σύνθλιψης του ωκεανού της Νέο-Τηθύος μεταβλήθηκαν με αποτέλεσμα στο Κάτω Κρητιδικό η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού να πραγματοποιηθεί κάτω από την Κιμμεριζή-Ευρασία και να εξελιχθεί σε τεκτονική τοποθέτηση (obduction) του ωκεάνιου φλοιού (οφειολίθων) πάνω στο Κιμμεριζό παραμορφώσιμο ηπειρωτικό περιθώριο της ενιαίας πλάκας που στην Ελλάδα αντιπροσωπεύεται από την Πελαγονική ζώνη. Η Αλπική ορογένεση και επομένως ο Αλπικός Τεκτονισμός αρχίζει από αυτή την περίοδο του Κάτω Κρητιδικού με την τοποθέτηση των οφειολίθων στο Δυτικό Πελαγονικό περιθώριο και την αντίστοιχη παραμόρφωση του περιθωρίου. Πτύχωση των Τριασικο-Ιουραϊκών ασβεστολίθων του περιθωρίου και των ιζημάτων του Κάτω Κρητιδικού που παρατηρούνται στο Βούρνο συμπτυχόμενα με τους οφειολίθους είναι τα αποτελέσματα αυτής της πρώτης αλπικής περιόδου. Γεωμετρία και νύνηση πτυχών έχει καταγραφεί προς τα ανατολικά από πολλούς ερευνητές στις περιοχές Καστοριάς, Βούρινου, Θεσσαλίας, Όθους (Mountrakis 1982, Vergely 1984, Robertson et al 1991). Ταυτόχρονη ανάπτυξη της πρώτης αλπικής μεταμόρφωσης, πρωανοσχιστολιθικής-αμφιβολιτικής φάσης και της κύριας σχιστότητας στα χρωσταύλοσχιστοδή πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης και στους Τριασικο-Ιουραϊκούς ασβεστολίθους.

(Β) Περίοδος Αλπικής Ορογένεσης (σχ. 4). Στο Ηώκαινο συντελέστηκε η τελική ηπειρωτική σύγκρουση μεταξύ Απουλίας μικροπλάκας και Κιμμεριζού ηπειρωτικού περιθωρίου. Προκλήθηκε κλείσιμο του ωκεανού της Νέο-Τηθύος που είχε παραμείνει ανοικτός μετά την υποβύθιση και την τοποθέτηση των οφειολίθων. Συνεχίσθηκε και ολοκληρώθηκε η απόθεση του Φλόσχη της Πίνδου. Ακολούθησε στο τέλος Ηώκαινο-Ολιγόκαινο η λεπίσση του λόγω της ηπειρωτικής σύγκρουσης, χωρίς πλέον τη συμμετοχή του ωκεάνιου φλοιού (οφειολίθων) δεδομένου ότι η διαδικασία υποβύθισης καταστροφής και τοποθέτησης των οφειολίθων είχε συμπληρωθεί από το Κρητιδικό. Είχε μόνο απομείνει ένα θεοριό αποκομμένο βυθιζόμενο τμήμα της ωκεάνιας πλάκας (slab), ενώ συνεχιζόταν η ιζηματογένεση του φλόσχη της Πίνδου μεταξύ τελικού Κρητιδικού-Ηώκαινού στο υπόλειμμα της θάλασσας της Νέο-Τηθύος.

Καθώς η ισχυρότερη Κιμμεριζή-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα συγκρούεται με την ασθενέστερη Απουλία μικροπλάκα την υπεραυλίπει και την ωθεί σε υποβύθισή της. Η ισχυρή συμπίεση στο χώρο της σύγκλισης των πλακών δημιούργησε την παραμόρφωση, πτύχωση και λεπίσση των πετρωμάτων των Εσωτερικών ζωνών και του φλόσχη Πίνδου. Έτσι προκλήθηκε αναστροφή των σχηματισμών στην Πελαγονική ζώνη (ιδίως στο Δυτικό περιθώριό της) όσο και στη ζώνη Αξιού καθώς και εντυπωσιακή απόσχιση των λεπίων όλων των ζωνών προς τα Δυτικά (Mountrakis 1983, Kilias and Mountrakis 1984, 1987). Αυτή η συμπεριλαμβανόμενη τεκτονική προκάλυψε τη συσσώρευση των τεκτονικών αλυσμάτων και λεπίων στο εξωτερικό τόξο της Κιμμεριζής-Ευρασιατικής πλάκας (Πελαγονική) κι έτσι την πάχυνση του φλοιού από την επαύξηση λόγω συσσώρευσης. Αυτή η διεύγκωση του φλοιού θα οδηγήσει αργότερα στην κατώρευση.

Η υποβύθιση (underplate) της Απουλίας κάτω από το Κιμμεριζό περιθώριο προκάλεσε τη μεταμόρφωση HP/LT των υπόλειμματικών ιζημάτων του ωκεανού και των ιζημάτων της Απουλίας που βρισκόταν στο τμήμα της που συμπαράσφουθη στην υποβύθιση κάτω από την προσοθούμενη προς τα έξω Κιμμεριζή-Ευρασιατική πλάκα. Η μεταμόρφωση HP/LT που συνοδεύεται και από πτύχωση ισογλάνη, θα ενταφεί ωστόσο κατά την εφελκυστική τεκτονική και θα αποκαλυφθεί ως η ζώνη HP/LT των 45 Ma στις περιοχές Όλυμπον, Όσσας, Πηλίου, Κοζλάδων (Schermer 1990, Kilias et al 1991, 1995).

Ταυτόχρονα πιο εσωτερικά στην Ενδοχώρα (Ροδόπη και Σερβομακεδονική) λόγω της συνεχιζόμενης σε βάθος έναρξης των συνθηκών υποβύθισης, με το αποκομμένο τμήμα της ωκεάνιας πλάκας που απομένει να προκαλέσει θέρμανση και την προς τα έξω επέκταση της επάνω πλάκας Κιμμεριζής-Ευρασιατικής, δημιουργήθηκαν συνθήκες εφελκυσμού και λεπύνσης του φλοιού που έλαβε χώρα σε συνθήκες πλαστικές σε βάθος και θραυστικές στην επιφάνεια. Λόγω του εφελκυσμού προκλήθηκε ανύψωση (uplifting) και αναθόλωση του φλοιού με ταυτόχρονη μερματική άνοδο που δημιούργησε θαλάμους μάγματος στα κατώτερα στρώματα του φλοιού Σερβομακεδονικής και Ροδόπης και στη συνέχεια ανήλθαν αζομή υψηλότερα δημιουργώντας τα μεγάλα και μικρά γρανιτικά σώματα ηλιτίας Ηώκαινο-Ηφακική Βιβλιοθήκη Θεσσαλίας, τμήμα Εωλιτίας (Α.Π.Θ.: 1998, Kilias & Mountrakis 1998, Kilias et al 1999). Στη συνέχεια θα περιγραφεί πιο αναλυτικά αυτή η παραμόρφωση.



Σχ. 4. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν τη γεωδυναμική εξέλιξη των Ελληνίδων στη δεύτερη περίοδο της Αλπικής ορογένεσης. Δείχνονται οι κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, η υποβύθιση του ωκεανού της Νέο-Τηθύος κάτω από την ενιαία ηπειρωτική πλάκα, η συμπιεστική τεκτονική παραμόρφωση-λεπίωση και η πάχυνση του φλοιού στη θέση σύγκλισης, καθώς και η εφελκυστική τεκτονική στο εσωτερικό της ηπείρου και η επακόλουθη λείπτυνση του φλοιού, ανύψωση, εκταφή τμημάτων της κάτω πλάκας και η μαγματική άνοδος.

Fig. 4. Geodynamic reconstruction of the Hellenides during the second period of the Alpine orogenic process. It shows plate motion, the subduction of the oceanic crust, the compressional tectonics causing stacking of the nappes and crustal thickening along the plate convergence as well as the intraplate extensional tectonics causing thinning of the crust, uplift and exhumation of the lower plate rocks and the pluton emplacement.

Μετά το κλείσιμο και τον υπολειμματόν του ωκεανού της Νέο-Τηθύος στο Ηόζιαννο και την τελική ηπειρωτική σύγκρουση, συνεχίστηκε στο Ολιγόκαινο-Κατώτερο Μειόκαινο (σχ. 4B) η επέκταση της ενιαίας Κιμμερικής Ευρωασιατικής πλάκας, μαζί με τα ενσωματωμένα λείπια των ιζημάτων του ωκεανού που διέφευγαν την υποβύθιση, και τα λείπια του φλύοχ της Πίνδου, πάνω στην υποβυθιζόμενη ηπειρωτική πλάκα, με υπολειμματικά ωκεάνιου φλοιού, μετατοπίζοντας τη θέση σύγκλισης πιο εξωτερικά. Έτσι παρατηρείται μετατόπιση της ζώνης συμπίεσης στην περιοχή Ιονίου ζώνης και πιο εξωτερικά, όπου αναπτύσσεται ένα νέο τοίωμα επαύξησης με νέα ορογενετική ζώνη με συσσώρευση νέων τεκτονικών αλληλεπιδράσεων και λείπων, πάχυνση του φλοιού και δημιουργία πολλών συμπιεστικών μισροδομών ηλικίας Ολιγοκαινού - Κατώτερου Μειοκαινού.

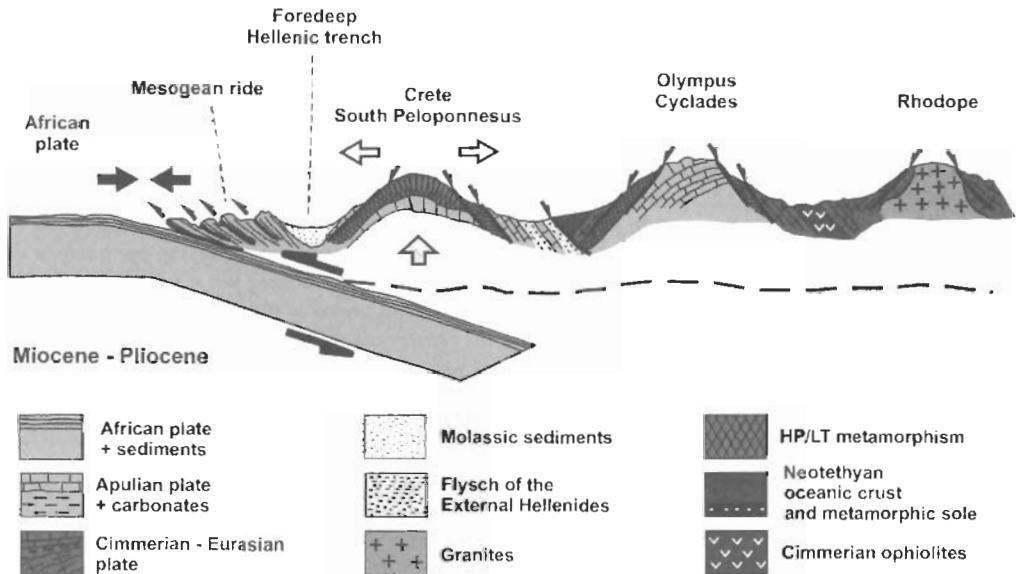
Ταυτόχρονα πιο εσωτερικά στον παλιό χώρο σύγκλισης-συμπίεσης-επαύξησης του φλοιού κατά το Ηόζιαννο, δηλαδή στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, αναπτύσσονται πλέον εφελκυστικές τάσεις από την επέκταση των ηπειρωτικού φλοιού και συνθήκες κατάσπαρσης με σήματα αποκόλλησης κανονικής μίας γωνίας κλίσης που απορρίπτονται τα υποσφαιρικά τεκτονικά αλληλεπιδράσματα, δημιουργούν συνθήκες ανύψωσης - αναλό-

λώσης της παλιάς Απουλιάς πλάκας που ήταν θαμμένη κάτω από τα ζιμμερικά - πελαγονικά πετρώματα. Αυτή η διαδικασία αργότερα (Μειόκαινο-Πλειόκαινο) με τη βοήθεια και της διάβρωσης θα οδηγήσει στην εκταφή-αποκάλυψη των τεκτονικών παράθυρων που αποτελούνται από τα πετρώματα HP/LT μεταμόρφωσης δηλαδή των παλιών ωκεάνιων ιζημάτων (σειρά Αμπελάκια-Όσοα-Πήλιο-Κυζάδες) και των υποκειμένων ανθρακικών (Kilias and Mountrakis 1984, 1987, Avigad et al 1992, Jolivet et al 1992, Kilias et al 1995, 1999). Βέβαια στις συνθήκες σύγκλισης που δημιουργήθηκαν και την προχώρηση της υποβύθισης της Απουλιάς, αναπτύσσονται συνθήκες HP/LT μεταμόρφωσης στα υποβυθιζόμενα ιζήματα της πλάκας (ανάλογα της Ιονίου ζώνης) που θα αποτελέσουν αργότερα τη 2<sup>η</sup> ζώνη HP/LT των 25 Ma μεταξύ Νότιας Πελοποννήσου-Κρήτης.

## 5. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΛΩΡΙΔΑ. ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Την περίοδο Μειοκαινού-Πλειοκαινού η σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών μετατοπίστηκε ακόμη πιο εξωτερικά (νοτιότερα) στην περιοχή νότια της Κρήτης και νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου. Μετατοπίστηκαν επομένως νότια, έξω από το χώρο του Ελληνικού τόξου και οι συνθήκες συμπίεσης, πτυχώνοντας και λεπιώνοντας τα ιζήματα της Μεσογείου. Άρχισε δηλαδή η δημιουργία της Μεσογειακής Ράχης που αργότερα (σήμερα-μέλλον) θα εξελιχθεί σε νέο πρόσμα επαύξησης-πάχυνσης του φλοιού (σχ. 5).

Ταυτόχρονα στο Μειόκαινο-Πλειόκαινο η περιοχή του προηγούμενου πρόσματος επαύξησης (Κρήτη και Νότια Πελοπόννησος) που είχε δημιουργηθεί από τη συμπίεση του Ολιγοκαινού, υφίσταται πλέον την εφελκυστική τεκτονική, την ανύψωση - αναθόλωση και την κατάρρευση του παχυμένου ηπειρωτικού φλοιού. Τα αποτελέσματα αυτά της εφελκυστικής τεκτονικής Μειοκαινού-Πλειοκαινού οδηγούν στην εκταφή της κάτω πλάκας. Έτσι η ζώνη HP/LT ηλικίας 25 Ma που είχε δημιουργηθεί από την προηγούμενη συμπίεση, όπως και τα κάτω απ' αυτή ανθρακικά ιζήματα, αποκαλύπτονται υπό μορφή νέων τεκτονικών παράθυρων στην Πελοπόννησο και στην Κρήτη. Ο Πάρονος και ο Ταύγετος είναι τα δυο μεγάλα τεκτονικά παράθυρα της Πελοποννήσου ενώ στην Κρήτη ο Ψηλορείτης και τα Λευιά Όρη, τα δυο μεγαλύτερα βουνά της νήσου, είναι δυο σπουδαία παράθυρα των πλακωδών ασβεστολίθων και των φυλλιτών (HP/LT) της κάτω πλάκας, ενώ πολλά άλλα μικρότερα όμοια παράθυρα ή ημipαράθυρα αποκαλύπτονται διάσπαρτα σε όλη την έκταση της Κρήτης (Fasoulas et al 1994, Kilias et al 1994).



Σχ. 5. Αναπαράσταση της γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων κατά τη Μεσογειακή ορογένεση. Δείχνονται η μετανάστευση της συμπιεστικής παραμόρφωσης στη Μεσογειακή ράχη Νότια της Κρήτης, η εφελκυστική τεκτονική στο εσωτερικό των Ελληνίδων που προκαλεί ανύψωση, αναθόλωση και εκταφή των τεκτονικών παράθυρων.

Fig. 5. Geodynamic reconstruction of the Hellenides during the Mesozoic orogenic process, showing the migration of the compressional deformation to the Mesogean ridge, the extensional tectonics in the Hellenides causing



Η εφελκυστική αυτή τεκτονική Μειοζαίνου-Πλειοζαίνου, που θεωρείται ότι συνεχίζεται μέχρι σήμερα, αποτέλεσμα της υποβίθισης της Μεσογειακής πλάκας κάτω από το Αιγαίο, με τα τεκτονικά παράθυρα που δημιούργησε και την εφελκυστική παραμόρφωση που προκάλεσε στα γύρω από τα παράθυρα πετρώματα, συνοιστούν τη Μεσογειακή ορογένεση που φυσικά συνεχίζεται.

Με τη δημιουργία της Μεσογειακής ορογενετικής λωρίδας στο εξωτερικό τμήμα του Ελληνικού τόξου συμπληρώθηκε το σύνθετο πλέον Ελληνικό ορογενές αποτελούμενο από τρεις διακριτές ορογενετικές λωρίδες: την Κιμμεριική, την Αλπική και τη Μεσογειακή από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά του Ελληνικού Τόξου. Το τελευταίο πήρε την οριστική του μορφή από τη συνεχιζόμενη ενεργή αμφιθεατρική βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από το Αιγαίο και τη διαφυγή-επέκταση προς τα ΝΔ του φλοιού του Αιγαίου που συνιστά το παραμορφώσιμο ηπειρωτικό περιθώριο της σύγχρονης-σύνθετης Ευρασιατικής πλάκας.

## 6. Η ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ ΤΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ

Από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως προκύπτει ότι από το Κρητιδικό, οπότε άρχισε η Αλπική ορογενετική δράση, παρατηρείται μια συνεχής μετανάστευση της ορογένεσης προς τα εξωτερικά τμήματα (Δυτικά, Νοτιοδυτικά) του Ελληνικού Ορογενούς. Η σύγκλιση των λιθοσφαιριζών πλάκων συνεχώς μετατοπίζεται προς τα έξω. Επομένως μετατοπίζεται προς τα έξω η συμπίεσιμη τεκτονική ενώ εσωτερικά ασκείται εφελκυστική τεκτονική που οδηγεί σε εκτατή τμήματος της Κάτω πλάκας. Δηλαδή η μετανάστευση προς τα έξω της εκτατής ακολουθούσε τη μετανάστευση της συμπίεσης που εκφράζεται με τις δύο ζώνες HP/LT. Κάθε φορά η συμπίεση ακολουθείτο από τον εφελκυσμό. Τα βαθύτερα τμήματα φλοιού εξαθίζονταν και παραμορφώνονταν εφελκυστικά, ενώ ταυτόχρονα μπροστά στο μέτωπο της σύγκλισης των πλάκων άλλα τμήματα του φλοιού συμπιέζονταν και σπασοφραγούνταν ως τεκτονικά λέπια, παχύνοντας το φλοιό στο τρίομα επαύξησης για να ακολουθήσει η κατώρευση και αυτών αργότερα.

Η σχηματική απεικόνιση της μετανάστευσης του ορογενούς προς τα έξω δίδεται στο σκαρίφημα του σχήματος 6 στο οποίο δείχνεται ακόμη η σταδιακή μετανάστευση προς τα έξω του πλουτωνισμού και της επακόλουθης ηφαιστειακής δράσης (Fytikas et al 1984) από το Ηώζαιο μέχρι σήμερα.

## 7. Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

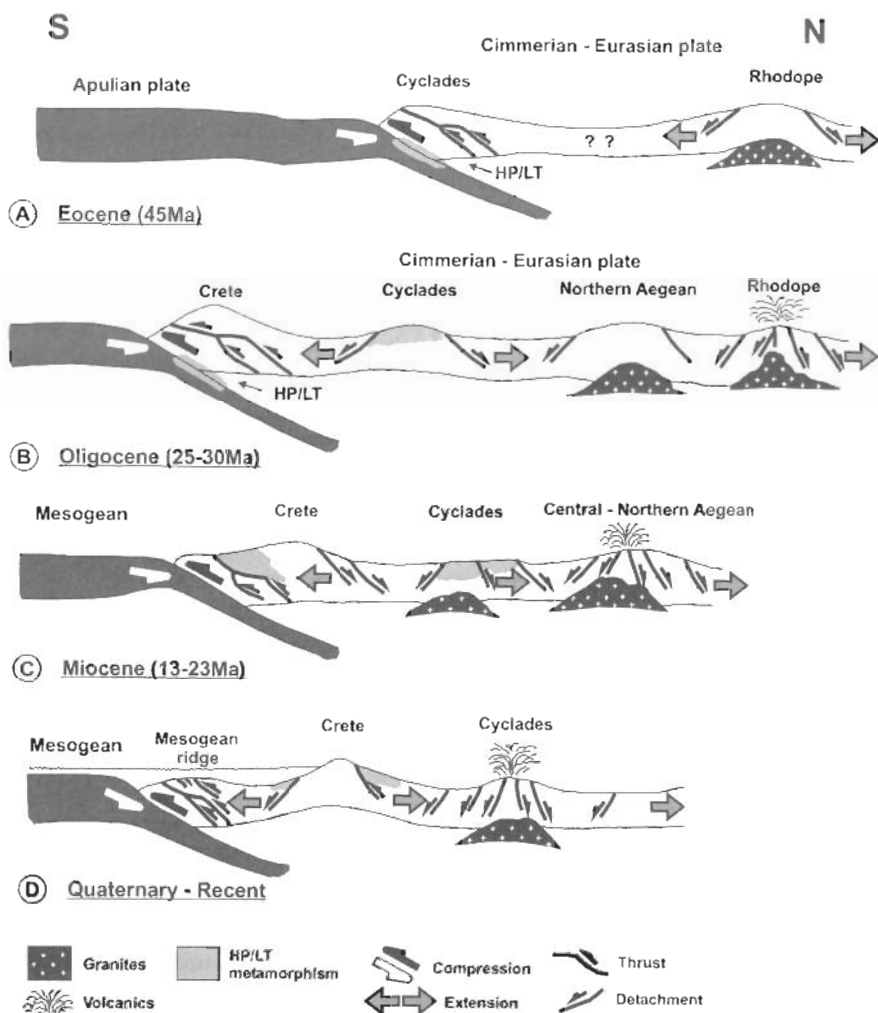
Η γεωμετρία και ορισμένα δεδομένα της κινηματικής της παραμόρφωσης στην Κιμμεριική ορογένεση αναφέρθηκαν ήδη προηγουμένως και χαρακτηρίσθηκαν ως ανεπαρκή για τον καθορισμό των κινήσεων των πλάκων. Για την Αλπική ορογένεση τα δεδομένα που υπάρχουν από τις μέχρι τώρα έρευνες είναι πλήρη για ορισμένες περιοχές της Ελλάδας και ενδεικτικά για τις υπόλοιπες. Θα αναφερθούμε στη συνέχεια πολύ συνοπτικά σ' αυτά τα δεδομένα και τα συμπεράσματά τους.

Για το χώρο Ροδόπης και Σερβομακεδονικής της Κιμμερικής Ελλάδας διαπιστώθηκε ότι σε όλη τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης, δηλαδή Κρητιδικό-Ηώζαιο-Ολιγόζαιο-Μειόζαιο, βρισκόταν υπό την επίδραση εφελκυστικών τάσεων και το μεταμορφωμένο οικοδόμημα τους υφίστατο συνεχείς εφελκυστικές αναβολώσεις και εκτατές των βαθύτερων οριζώντων (Sokoutis et al 1993, Wawrzynitz et al 1995, Kiliias & Mountrakis 1998, Warzenitz and Krohe 1998).

Η εκτατή άρχισε το Ηώζαιο στη Σερβομακεδονική και την ενότητα Σιδηρόνεου της Ροδόπης συνεχίσθηκε στο Ολιγόζαιο-Μειόζαιο στην Ενότητα Παγγαίου ενώ αζόμη αργότερα συνεχίσθηκε στο χώρο της Πελαγονικής (παράθυρα Ολύμπου-Όσσας) και των Κεντρικών και στο Μ. Μειόζαιο στην Κρήτη.

Στη Σερβομακεδονική διαπιστώθηκαν (Kiliias et al 1999) δύο αλπικά εφελκυστικά γεγονότα: το 1<sup>ο</sup> ηλικίας Κρητιδικού, συμμεταμορφικό ως προς την αμφιβολιακή μεταμόρφωση, με εφελκυσμό διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ, διαμητική κίνηση συνήθως προς Α και σπανιότερα προς Δ, δημιουργία πλαστικών δομών και γράμμιση έκτασης ίδιας διεύθυνσης, το 2<sup>ο</sup> ηλικίας Ηώζαίου, εφελκυστικό γεγονός σε συνθήκες πλαστικές σε βάθος που εξελίσσεται σε θραυστικές στην επιφάνεια με ρήγματα κανονικά που δημιουργούν τις λεκάνες με αντίστοιχα ιζήματα. Η διεύθυνση του εφελκυσμού είναι ΒΑ-ΝΔ, παραπλήσια με του προηγούμενου γεγονότος, με κίνηση προς ΒΑ και ΝΔ που προκαλεί συνεχή αναβολή. Ο τεκτονισμός είναι συμμεταμορφικός με την προαιουσι-στολιτική ανάδρομη μεταμόρφωση.

Στη Ροδόπη η διεύθυνση του εφελκυσμού είναι σταθερά ΒΑ-ΝΔ με κίνηση σαφή προς ΝΔ, γεγονός που διαπιστώθηκε από πλήθος κρητιδικών διάτμησης, όπως ορυκτολογική γράμμιση έκτασης, διαμητικές ζώνες, S-C υφές κλπ., τα οποία δείχνουν και τις πλαστικές συνθήκες της παραμόρφωσης (Kiliias & Mountrakis 1990, Sokoutis et al 1993, Burg et al 1995). Το εφελκυστικό αυτό γεγονός στη Ροδόπη ήταν συνεχές από το Ηώζαιο μέχρι το Μειόζαιο. Η εκτατή της ενότητας Σιδηρόνεου έγινε το Ηώζαιο, ενώ η ενότητα Παγγαίου ήταν μέχρι το Μειόζαιο σε ανωψοτική διαδικασία αλλά θαμμένη κάτω από το Σιδηρόνεο και τη Σερβο-



Σχ. 6. Σχηματική αναπαράσταση των σταδίων της γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων στη διάρκεια της Αλπικής και Μεσογειακής ορογένεσης, στην οποία δείχνεται η προς τα ΝΔ μετανάστευση του τεκτονισμού (περιγραφή στην παράγραφο 6 του κειμένου).

Fig. 6. Schematic reconstruction of the geodynamic evolution stages of Hellenides during Alpine and Mesogean orogenic processes, showing the SW-ward migration of deformation (further description in chapter 6 of text).

μακεδονική και υψίστατο την προαινοσχιστολιτική μεταμόρφωση Ολιγοζαίνου (Mposkos & Wawrenitz 1995, Liati and Gebauer 1999) συνοδευόμενη από τη διατηρητική πλαστική εφελκυστική του παραμόρφωση προς τα ΝΔ και ταυτόχρονη αναθόλωση για να αποκαλυφθεί αργότερα (Μ. Μειόζαινο) ως τεκτονικό παράθυρο (core complex) με συνθήκες θραυστικές.

Οι γρανίτες διεισδύσαν το Ηώζαινο-Ολιγόζαινο-Μειόζαινο στη Σερβομακεδονική και Ροδόπη ως αποτέλεσμα της θέρμανσης του φλοιού από την υποβύθιση της Νέο-Τηθύος κάτω από την Κιμμερική - Ευρασιατική πλάκα. Κατά τη διεισδύση τους σχημάτισαν συντεκτονικά διατηρητικά σώματα σε σχέση με την κύρια πλαστική εφελκυστική παραμόρφωση που ασκείτο εκείνες τις περιόδους στο φλοιό της ενότητας του Παγγαίου. Έτσι οι γρανίτες στην ενότητα αυτή χαρακτηρίζονται από μυλωνιτική υφή με κίνηση προς ΝΔ. Αντίθετα οι γρανίτες στην ενότητα του Σιδηρόνεγρου είναι τελειές διεισδύσεις χωρίς πλαστική παραμόρφωση γιατί η ενότητα αυτή είχε ανυψωθεί ψηφιακά Βιβλιοθήκη "Οεόφρατος" (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Kiliyas et al 1999).

Η εφελκυστική κίνηση προς τα ΝΔ την αλπική περίοδο Ηωζαίνο-Ολιγοζαίνου ήταν σταθερή σε

ολόκληρο σχεδόν τον Εσωτερικό Ελληνικό χώρο, όπως δείχνουν όλες οι έρευνες που έγιναν σε πολλές περιοχές. Βεβαιώθηκε στη Ροδόπη και Σερβομακεδονική από πλήθος εργασιών (Kiliias & Mountrakis 1990, Sokoutis et al 1993, Dinter 1998, Burg et al 1995, Wawrzenitz et al 1995) όπως προαναφέρθηκε. Διαπιστώνεται στην ευρύτερη ζώνη Αξιού από έρευνες που βρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη. Διαπιστώθηκαν στο χώρο των τεκτονικών παραθύρων και των λεπίων της Πελαγονικής επίσης από πλήθος εργασιών (Kiliias et al 1991, 1995, 1999, Sfeikos et al 1991, Godfriaux & Ricou 1991, Doutsos et al 1993, Schremer et al 1993) καθώς και στους ορειόλοθους Βουρίνου-Πίνδου όπου η εφελκυστική αυτή τεκτονική Ηωκίανου-Ολιγοκίανου καθορίστηκε ως η υπεύθυνη για τη δημιουργία της Μεσοελληνικής αλυσδας (Mountrakis et al 1993, Doutsos et al 1994).

Στο χώρο των Κυκλάδων η εφελκυστική τεκτονική Ολιγοκίανου-Μειοκίανου έχει περίπου την ίδια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση αλλά με ζήτηση προς τα ΒΑ (Avicad et al 1992, Gautier and Brun 1994, Jolivet et al 1994). Τέλος στην Κρήτη ο εφελκυσμός Μειοκίανου-Πλειοκίανου ασκείται καθαρά σε διεύθυνση Β-Ν με συμμετρική ζήτηση (Fasoulas et al 1994, Kiliias et al 1994).

Αυτή η σταδιακή μεταβολή στη διεύθυνση εφελκυσμού από ΒΑ-ΝΔ στην ηπειρωτική Ελλάδα σε Β-Ν στην Κρήτη ακολουθώντας την εξέλιξη Ηωκίανου-Ολιγοκίανου-Μειοκίανου-Πλειοκίανου προφανώς οφείλεται στη σταδιακή επέκταση του ηπειρωτικού φλοιού στο παραμορφώσιμο ηπειρωτικό περιθώριο του Αιγαίου, που οδηγείται σε μια διαφυγή προς τα ΝΔ και βαθμιαία προς Νότο από την πίεση που ασκεί από το Μειόκίανο η ηπειρωτική περιοχή της Μικράς Ασίας.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με όσα εκτέθηκαν παραπάνω το Ελληνικό Ορογενές είναι σύνθετο από τρεις ορογενετικές λωρίδες: την Κυμμερική, την Αλπική και τη Μεσογειακή που διαμορφώθηκαν αντίστοιχα πριν το Άνω Ιουρασκό η πρώτη, το Κρητιδικό-Παλαιογενές η δεύτερη και το Μειόκίανο-Πλειόκίανο η τρίτη.

Σε όλη τη διάρκεια της Αλπικής και Μεσογειακής ορογένεσης, δηλαδή από το Κρητιδικό μέχρι το Πλειόκίανο αλλά και μέχρι σήμερα, παρατηρείται μια συνεχής μετανάστευση του τεκτονισμού προς τα εξωτερικά του Ελληνικού τόξου με τις διαδοχικές συμπίεσεις των πετρωμάτων που ακολουθούνται κατά ζώνη από την εφελκυστική τεκτονική, την κατάρρευση του φλοιού και την αποζάλυψη τεκτονικών παραθύρων των βαθύτερων τμημάτων του φλοιού.

Η μελέτη αυτής της συνεχόμενης και ενδιάσπαστης τεκτονικής διεργασίας οδηγεί στο γενικό συμπέρασμα ότι από την πρώτη περίοδο της Αλπικής ορογένεσης (Κρητιδικό) μέχρι σήμερα όλη η Ελληνική Ενδοχώρα ήταν σε εφελκυσμό και αναθλόωση με ιδιαίτερη ένταση τη δεύτερη Αλπική περίοδο (Ηωκίανου-Ολιγοκίανου). Η συμπίεση τεκτονική που την περίοδο Ηωκίανου χαραχόταν στο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων (Περιοροδοτική, Αξιού, Πελαγονική, Υποπελαγονική) αντικαθίσταται στις ζώνες αυτές σταδιακά το Ολιγοκίανου-Μέσο Μειόκίανο από εφελκυσμό, ενώ η συμπίεση μεταναστεύει στις Εξωτερικές Ελληνίδες για να αντικατασταθεί στο Μειόκίανου-Πλειόκίανου και εξεί από εφελκυσμό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AUBOUIN, J. (1959): Contribution a l' étude geologique de la Grece septentrional: les confins de l' Epire et de la Thessalie. Ann. Geol. Pays Hell., 10, 1-525.
- ALTHERR, R., KREUZER, H., WENDT, I., LENZ, H., WAGNER, G.A., KELLER, J. HARRE, W. & HOHNDORF, A. (1982) A Late Oligocene/Early Miocene high temperature belt in the Attic-Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). Geol. Jb., E23, 97-164.
- AVIGAD, D., MATHHEWS, A., EVANS, B.W. & GARFUNKEL, Z. (1992). Cooling during the exhumation of a blueschist terrane: Sifnos (Cyclades, Greece). European Journal of Mineralogy, 4, 619-634.
- BEBIEN, J., PLATEVOET, B., & MERCIER, J. (1994). Geodynamic significance of the Paikon massif in the Hellenides: contribution of the volcanic rocks studies. Bull. Geol. Soc. Greece, 30, 63-67.
- BURG, J.P., GODFRIAUX, I. & RICOU, L.E. 1995. Extension of the Mesozoic Rhodope thrust in the Vertiskos-Kerdilion Massifs (Northern Greece). C.R.Ac.Sci. Paris, 320, II, 889-896.
- BLAKE, M.C., JR., BONNEAU, M., GEYSSANT, J., KIENAST, J.R., LEPVRIER, G., MALUSKI, H. & PAPANIKOLAOU, D. (1981). A geologic reconnaissance of the cycladic blueschist belt, Greece. Geological Society of America, 92, 247-254.
- BRUNN, J. (1956): Étude géologique du Pinde septentrional et de la Macédoine occidentale. Ann. Géol. Pays Hellén. 7, 1-358.
- DERCOURT, J. 1964. Contribution à l' étude géologique d' un secteur du péloponnèse septentrional. Ann. Géol. Pays Hell. 15, 1-418.
- Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

- DINTERN, D.A., 1998. Late Cenozoic extension of the Alpine collisional orogen, northeastern Greece: origin of the north Aegean basin. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 110, 1208-1230.
- DOUTSOS, T., KOUKOUVELAS, I., ZELILIDIS, A. & KONTOPOULOS, N. 1994. Intracontinental wedging and post-orogenic collapse in the Mesohellenic Trough. *Geologische Rundschau* 83, 275-75.
- DOUTSOS, T., PIPER, G., BORONKAY, K. & KOUKOUVELAS, I. 1993. Kinematics of the Central Hellenides. *Tectonics* 12, 936-53.
- DURR, St., ALTHERR, R., KELLER, J., OKRUSCH, M. & SEIDEL, E. (1978). The Median Aegean Crustalline Belt: stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism. In: *Alps, Apennines, Hellenides* (eds Closs, H., Roeder, D.H. & Schmidt, K), 455-477. Schweizerbart, Stuttgart.
- FASSULAS, C., KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1994). Postnappe stacking extension and exhumation of high-pressure/low-temperature rocks in the island of Crete, Greece. *Tectonics*, 13, 127-138.
- FERRIERE, J. & STAIS, A. 1995. Nouvelle interpretation de la suture téthysienne vardarienne d'après l'analyse des séries de Péonias (Vardar oriental, Hellénides internes). *Bull. Soc. Géol. France*, 166/4, 327-339.
- FYTIKAS, M. INNOCENTI, F., MANETTI, P., MAZZUOLI, R., PECCERILLO, A., & VILLARI, L. (1985). Tertiary to Quaternary Evolution of Volcanism in the Aegean Region. *Journal Geolog. Society (London)*, Sp. Publ., 17, 687-699.
- GAUTIER, P. & BRUN, J.P. (1994): Ductile Crust exhumation and extensional detachments in the central Aegean (Cyclades and Evia Islands). *Geodinamica Acta*, 7, 57-85.
- GODFRIAUX, I. (1968). Étude géologique de la région de l'Olympe (Grèce). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 19, 1-280.
- GODFRIAUX, I. & RICOU, L.E. (1991). Le Paikon, une fenêtre tectonique dans les Hellénides internes (Macédoine, Grèce). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 313, II, 1479-1484.
- GODFRIAUX, I. & RICOU, L.E. (1991). Direction et sens de transport associés au charriage symmetamorphique sur l'Olympe. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 25, 207-229.
- JACOBSSHAGEN V. DURR S. KOCKEL F. KOPP KO. KOWALCZYK G. BERCKHEMER H., BUTTNER D (1978). Structure and geodynamic evolution of the Aegean region. In: Closs H. Roeder D. Schmidt K (eds) *Alps. Apennines. Hellenides*, Schweizerbart, Stuttgart, 537-564.
- JOLIVET, L., DANIEL, J.M., TRUFFERT, C. & COFFE, B. 1994. Exhumation of deep crustal metamorphic rocks and crustal extension in arc and back-arc regions. *Lithos* 33, 3-30.
- JONES G. & ROBERTSON A.H.F. (1991). Tectonostratigraphy and evolution of the Mesozoic Pindos ophiolite and related units, northwestern Greece. *Journal of Geol. Soc. London*, 148, 267-288.
- KILIAS, A., & MOUNTRAKIS, D. (1984). Das Rhizomata-Fenster im nordöstlichen Pieria-Gebirge. Neue Daten zur geologischen Grenze der Pelagonischen und der Axios-Zone in Griechenland. *N.Jb. Geol., Palaont. Mh.*, 4, 248-256.
- KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1987). Zum tectonischen bau der zentral-pelagonischen zone (Kamvounia-Gebirge). *Z. Dt. Geol. Ges.*, 138, 211-237.
- KILIAS, A. & MOUNTRAKIS D. (1990): Kinematics of the crystalline sequences in the western Rhodope massif.- *Geol. Rhodop.*, 2, 100-116.
- KILIAS A., FRISCH W., RATSCHBACHER L. & SFEIKOS A. (1991): Structural evolution and P/T metamorphic conditions of blue schists of E. Thessaly (Greece)-*Bull. Geol. Soc. Greece*, 25, 81-99.
- KILIAS, A., FASSOULAS, C., & MOUNTRAKIS, D. (1994). Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic arc (Crete, Greece). *Geol. Rdsch.*, 83, 417-430.
- KILIAS A., FALALAKIS G., NASTOS G., & MOUNTRAKIS D. (1995): Tertiary extensional exhumation of the HP/LT Makrynitsa metamorphic core complexes in Pelion Mountain (Eastern Greece).- *XV Carpatho-Balkan Congress, Geol. Soc. Greece, Sp. Publ.* 4, 48-52.
- KILIAS A., & MOUNTRAKIS, D. (1998): Tertiary extension of the Rhodope massif associated with granite emplacement (Northern Greece). *Acta Vulcanologi-ca*, 10, 331-337.
- KILIAS, A., FALALAKIS, G. & MOUNTRAKIS, D. (1999): Cretaceous-Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic Hinterland (Macedonia, Greece). *Int. Journ. Earth Sciences*, 88, 513-531.
- KOCKEL, F. MOLAT, H. (1976). Untersuchungen an der Magnesitvererzungen in der westlichen Chalkidiki (N. Griechenland). *Geol. Jahrb.* 16, 29-57.
- LIATI, A. & GEBAUER, D., (1999): Constraining the prograde and retrograde P-T-t path of Eocene HP rocks by SHRIMP dating of different zircon domains: inferred rates of heating, burial, cooling and exhumation for central Rhodope, northern Greece. *Contrib. Mineral. Petrol.* 135, 340-354.

- MERCIER, J. (1968). Etude géologique des zones Internes des Hellénides en Macédoine centrale (Grèce). *Ann. Geol. Pays Hellén.*, 20, 1-792.
- MERCIER, J., VERGELY, P. & BEBIEN, J. (1975). Les ophiolites helléniques obductées au Jurassique supérieur sont-elles de vestiges d' un Océan téthysien ou d' une mer marginale péri-européenne ? *C.R. somm. Soc. Geol. France*, 4, 108-112.
- MICHARD, A., GOFFE, B., LIATI, A. & MOUNTRAKIS, D. (1994). Découverte du faciès schiste bleu dans les nappes du Círcum Rhodope: un élément d' une ceinture HP-BT éohellénique en Grèce septentrionale? *C.R. Acad. Sci. Paris*, 318, II, 1535-1542.
- MICHARD, A., FEINBERG, H. & MONTIGNY, R. (1998). Supra-ophiolitic formations from the Thessaloniki nappe (Greece), and associated magmatism: an intra-oceanic subduction predates the Vardar obduction. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 327, 493-499.
- MOUNTRAKIS, D. (1982). Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the Internal Hellenides. *Ophioliti*, 7, N. 2/3, 397-406.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Προαγωγή για Υψηλές, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 289 p.
- MOUNTRAKIS, D. (1984). Structural evolution of the Pelagonian zone in Northwestern Macedonia. *Journal of Geol. Society London*, 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 Eastern Mediterranean. *Journal of Geology*, 94, 335-347.
- MOUNTRAKIS, D., KILIAS, A., ZOUROS, N. (1993). Kinematic analysis and Tertiary evolution of the Píndos-Vourinos ophiolites (Epirus-Western Macedonia, Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28, 111-124.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1994). Εισαγωγή στη Γεωλογία της Μακεδονίας και της Θράκης. Απόψεις για τη γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελληνικής ενδοχώρας και των Εσωτερικών Ελληνίδων. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, 30, 31-46.
- MPOSKOS, E. & WAWRZENITZ, N., (1995). Metapegmatites and pegmatites bracketing the time of HP-metamorphism in polymetamorphic rocks of the E-Rhodope, N. Greece: Petrological and geochronological constraints. *Geol. Soc. Greece. Special Publ.* 4/2, 602-608.
- MPOSKOS, E. & KROHE, A., (2000). Petrological and structural evolution of continental high pressure (HP) metamorphic rocks in the Alpine Rhodope Domain (N. Greece). In: Panayides, I., Xenophontos, C. and Malpas, J., (eds), *Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Geol. E. Mediterranean*. Nicosia, Cyprus, 221-232.
- PAPANIKOLAOU, D. & PANAGOPOULOS, A. (1981). Observations on the structural style of Southern Rhodope. *Geol. Balkanica*, 11, 13-22.
- PAPANIKOLAOU, D. (1984). The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation. *Journal of Geol. Society London*, sp. Publ., 17, 551-561.
- PE-PIPER, G. & PIPER, D.W.J. (1990). Early oceanic subduction-related volcanic rock. Píndos Basin.- Greece. *Tectonophysics*, 192, 273-292.
- RICOU, L.E., BURG, J.P., GODFRIAUX, I. & IVANOV, Z., (1998). Rhodope and Vardari the metamorphic and the olistostromic paired belts related to the Cretaceous subduction under Europe. *Geodinamica Acta*, 11, 285-309.
- ROBERTSON A.H.F., & DIXON J. (1984). Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. *J. Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 17, 1-74.
- ROBERTSON, A.H.F., CLIFT, P.D., DEGNAN, P.J. & JONES, G. (1991). Tectonic evolution of the Mesozoic-Cenozoic Píndos ocean: Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 25, 55-64.
- ROBERTSON A.H.F., DIXON J.E., BROWN S., COLINS A., MORRIS A., PICKETT E., SHARPI, USTAOMER T. (1996). Alternative tectonic models for the Late Paleozoic-Early Tertiary development of Tethys in the Eastern Mediterranean region. *Geol. Soc. London Sp. Publ.* 105, 239-263.
- SCHERMER, E. (1990). Mechanisms of blueschist creation and preservation in an A-type subduction zone, Mount Olympos region, Greece. *Geology*, 18, 1130-1133.
- SCHERMER ER. (1993). Geometry and kinematics of continental basement deformation during the Alpine orogeny. Mt. Olympos region, Greece. *Struct. Geol.* 15:571-591.
- SEIDEL, E., KREUZER H., HARRE W. (1982). A Late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the External Hellenides. *Geol. Jahrb* E23: 165-206.
- SENGOR AMC, YILMAZ, Y., SENGÜRELÜ O. (1984). Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Palco-Tethys. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 17: 77-112.

- SFEIKOS, A., BOHRINGER, CH., FISCH W., KILIAS A., & RATSTHBAHER, L. (1991). Kinematics of Pelagonian Nappes in the Kranea area, North Thessaly, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 25, 101-115.
- SOKOUTIS, D., BRUN J., VAN DEN DRIESSCHE & PAVLIDES S. (1993). A major Oligo-Miocene detachment in southern Rhodope controlling north Aegean extension.- *J. Geol. Soc. London*, 150, 243-246.
- VAVASSIS, I. DE BONO, A., STAMPFLI, G. GIORGIS, D., VALLOTON, A. & AMELIN, Y. (2000) U-Pb and Ar-Ar geochronological data from the Pelagonian basement in Evia (Greece): geodynamic implications for the evolution of Paleotethys. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 80, 21-43.
- VERGELY, P. (1984). Tectonique des ophiolites dans les Hellenides internes. (deformations, metamorphismes et phenomenes sedimentaires). Consequences sur l' evolution des regions Tethysiennes Occidentales. *These Doct. D' Etat. Paris-sud.*, 661 p.
- VERGELY, P. & MERCIER, J. (2000). Donnees nouvelles sur les chevauchements d' age post-Cretace superieur dans le massif du Paikon (zone de L' Axios-Vardar, Macedoine, Greece); un nouveau modele structural. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 330, 555-561.
- WAWRENTZ, N., BAUMANN, A. & NOULLAU G. (1995): Miocene uplift of mid-crustal rocks in the Rhodope metamorphic core complex, caused by late Alpine extension of previously thickened crust (Thassos island, Pangeon complex, northern Greece).- *Bull. Geol. Soc. Greece*, 30: 147-157.
- WAWRENTZ, N. & KROHE, A., (1998). Exhumation and doming of the Thasos metamorphic core complex (S. Rhodope, Greece): Structural and geochronological constraints. *Tectonophysics*, 285, 301-332.