

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

Δ. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ<sup>1</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Το Ελληνικό ορογενές είναι σύνθετο από τρεις ορογενετικές λωρίδες: 1) Την Κιμμερική ορογενετική λωρίδα που είναι η εσωτερικότερη και διαμορφώθηκε πριν το Άνω Ιουρασικό από τις κινήσεις των Κιμμερικών μικροπλάκων και τη συγκόλλησή τους στην Ευρασία, 2) Την Αλπική ορογενετική λωρίδα που διαμορφώθηκε την περίοδο Κρητιδικού-Παλαιογενούς από την κίνηση της Απουλίας μικροπλάκας, τη σύνθλιψη του ωκεανού της Νέο-Τηθύος και την ενσωμάτωσή της στην ενιαία πλάκα Κιμμερικής-Ευρασίας, 3) την Μεσογειακή ορογενετική λωρίδα που διαμορφώθηκε το Μειόκαινο-Πλειόκαινο από τη συνεχιζόμενη υποβύθιση της Μεσογειακής πλάκας κάτω από την εννιαία Αλπική-Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα και εντοπίζεται στο Εξωτερικό Τμήμα του Ελληνικού Ορογενετικού τόξου με τα μεγάλα τεκτονικά παράθυρα της Κρήτης και της Νότιας Πελοποννήσου. Η τεκτονική ανάλυση και οι μελέτες της γεωμετρίας και της κινηματικής των παραμορφώσεων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια συνεχής μετανάστευση του τεκτονισμού προς τα Εξωτερικά του Ελληνικού Τόξου με τις διαδοχικές φάσεις συμπίεσης-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 pre-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, Κιμμερική, Αλπική, Μεσογειακή Ορογενετικές ζώνες. Γεωμετρία, Κινηματική, συμπίεσιση, εφελκυστική τεκτονική.

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

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Ελληνικό Ορογενές τμήμα το μεγάλο Αλπικού Ορογενούς όπως αυτό αναφέρεται ιστορικά (Brunn 1956, Aubouin 1959, Dercourt 1964, Mercier 1968, Godfriaux 1968, Kockel & Mollat 1976) από την εποχή του Αλπικού γεωσυγκλίνο και αποτελούμενο 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 συγκρότηση ολοκληρώθηκε με αλληπάλληλες τεκτονικές διεργασίες στις περιόδους αυτές.

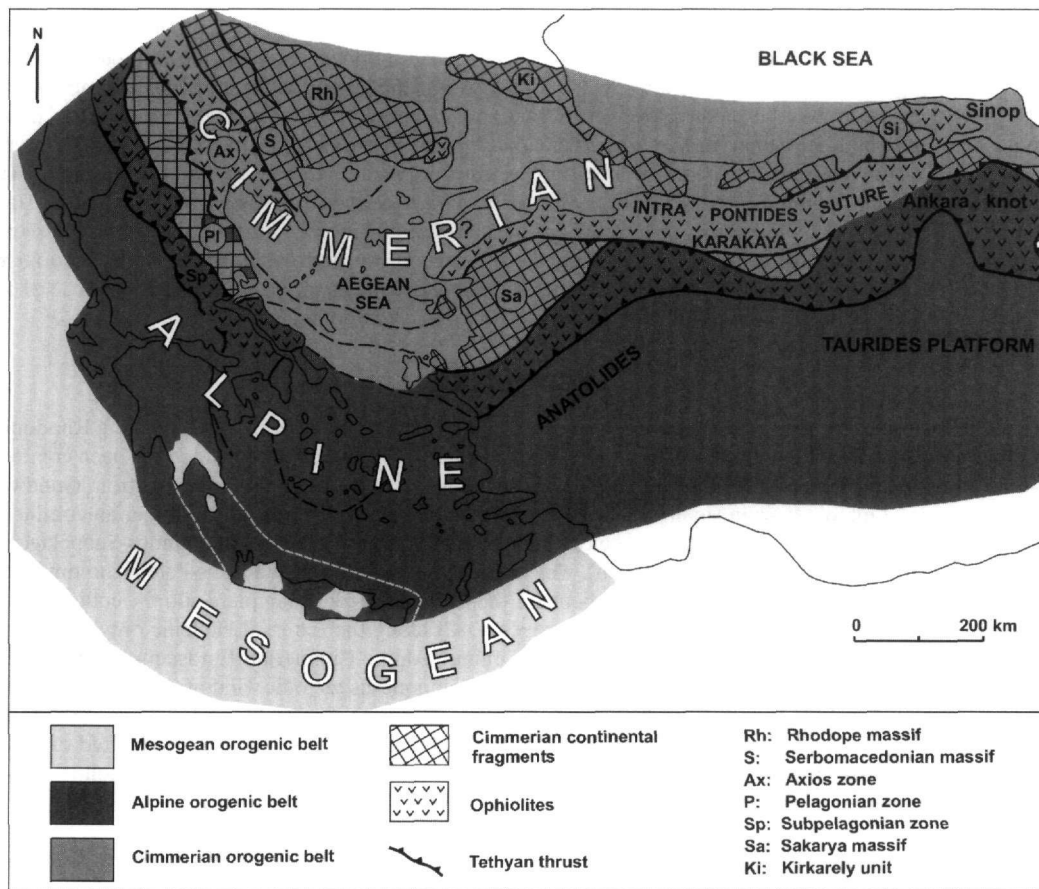
\* TECTONIC EVOLUTION OF THE HELLENIC OROGEN. GEOMETRY AND KINEMATICS OF THE DEFORMATION

<sup>1</sup> Καθηγητής Α.Π.Θ.. 54006 - Θεσσαλονίκη

Στη συνέχεια θα αναλυθεί το σύνθετο Ελληνικό ορογενές με βάση τη γενικότερα επικρατούσα σήμερα επιστημονική άποψη, αλλά λαμβάνοντας υπόψη 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, Sengör et al 1984, Godfriaux & Ricou 1991, Bebiën et al 1994, Ferrière & Stais 1995, Vavasis et al 2000, Vergely and Mercier 2000).

## 2. ΤΟ ΣΥΝΘΕΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ

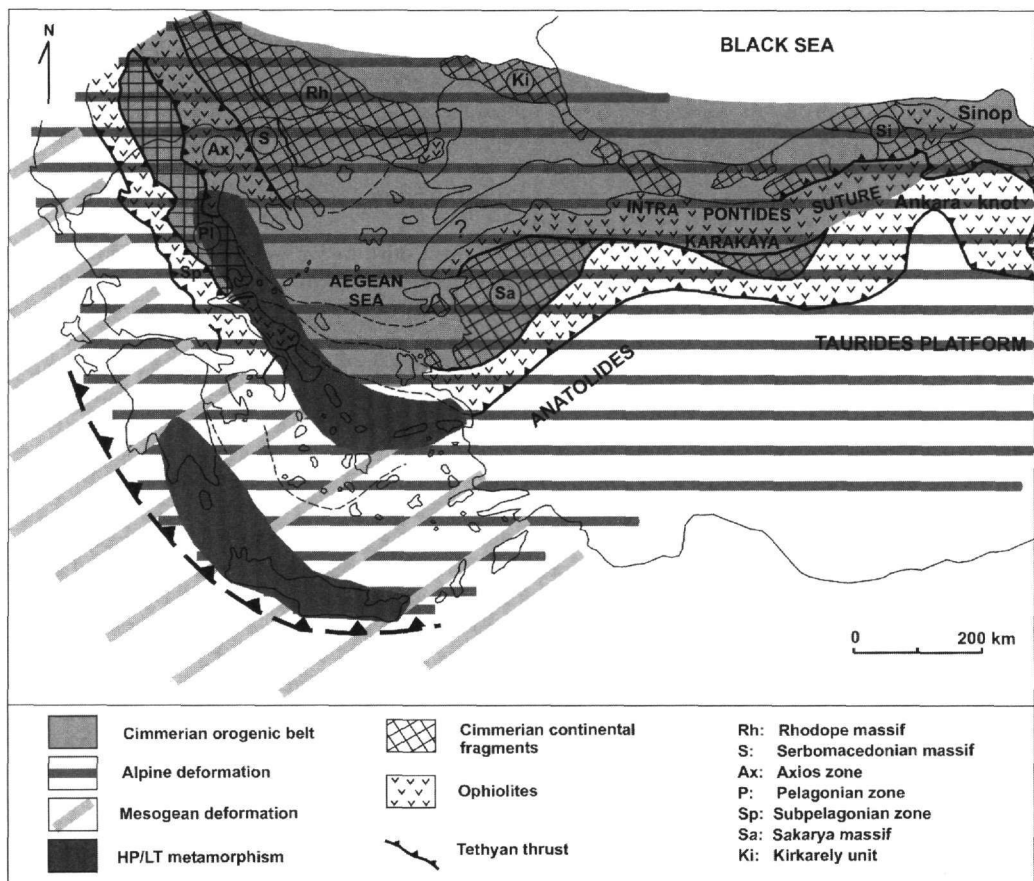
Σήμερα γίνεται γενικότερα αποδεκτό ότι το Ελληνικό Ορογενές συγκροτείται από την Κιμμερική Ορογενετική Λωρίδα στα εσωτερικά του τόξου, την Αλπική Ορογενετική Λωρίδα και την πιο εξωτερική Μεσογειακή Ορογενετική Λωρίδα. (σχ. 1).



Σχ. 1. Χάρτης που δείχνει τις τρεις ορογενετικές λωρίδες του Ελληνικού Ορογενούς και την επέκτασή τους στο χώρο της Μικράς Ασίας. Η κατανομή των Κιμμερικών ηπειρωτικών τεμαχίων και των οφειολιθικών συρραφών βασίζεται στις εργασίες 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 Κιμμερική Ορογενετική Λωρίδα διαμορφώθηκε πριν το Άνω Ιουραϊκό από τις κινήσεις της Κιμμερικής ηπειρωτικής πλάκας (ή των επιμέρους Κιμμερικών μικροπλακών), τη σύγκλιση και την ενσωμάτωσή τους στην Ευρασιατική πλάκα (Μουντράκης 1994), την σύνθλιψη και καταστροφή του ωκεάνιου φλοιού των λεκανών του παλιού ωκεανού της Τηθύς, διεργασίες που οδήγησαν στον πρώτο εμφανή έντονο τεκτονισμό των πετρωμάτων. Οριστικοποιήθηκε επομένως η ηπειρωτική σύγκρουση και συγκόλληση των Κιμμερικών ηπειρωτικών τεμαχίων σε μια ενιαία πλέον Κιμμερική-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα (Mountrakis 1983, 1986, 1994,



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, Sengfr 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 παλιά ηπειρωτικά τεμάχια των ζωνών Πελαγονικής, Ροδόπης, Σερβομακεδονικής και τα αντίστοιχα ιζηματογενή καλύματα αυτών και βέβαια αντίστοιχα ηπειρωτικά τμήματα στην Μ. Ασία (Ποντίδες, Sakarya, Kircarli κ.ά.), καθώς και τις ενδιάμεσες ζώνες των ωκεανίων πετρωμάτων ή ηπειρωτικών περιθωρίων (ζώνες Αξιού, Περιοδοπικής, Intrapontides κ.ά.).

Η Αλπική Ορογενετική Λωρίδα διαμορφώθηκε γενικά την περίοδο Κρητιδικού-Παλαιογενούς από την κίνηση της Απουλίας ηπειρωτικής μικροπλάκας και την ενσωμάτωσή 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 Απουλίας-Κιμμερικής, την καταστροφή του ενδιάμεσου ωκεανού της Νεοτηθύς, την τοποθέτηση των οφειολίθων και την τελική ηπειρωτική σύγκρουση των πλακών συνιστούν την Αλπική Ορογενετική διεργασία που κατέληξε στη συγκόλληση της Απουλίας στην ενιαία πλέον Αλπική-Κιμμερική-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα. Δημιουργήθηκε έτσι στην Ελλάδα μια νέα Ορογενετική Λωρίδα η Αλπική, η οποία περιλαμβάνει τα ωκεάνια πετρώματα της Νέο-Τηθύς (ζώνες Πίνδου-Υποπελαγονικής) που διέφυγαν την υποβύθισή τους κάτω από την Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα, καθώς και τα ανθρακικά πετρώματα ηπειρωτικής πλατφόρμας της Απουλίας ή ηπειρωτικού περιθωρίου ηλικίας Μεσοζωϊκού-Παλαιογενούς (Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες Γαβρόβου-Ιονίου-Προαπουλίας).

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

ρογενετικού Τόξου, στις περιοχές Νότιας Πελοποννήσου και Κρήτης, διαμορφώθηκε την περίοδο Μειοκαίου-Πλειοκαίου από τη συνεχιζόμενη υποβύθιση της Μεσογειακής-Αφρικανικής πλάκας κάτω από την ενιαία Αλπική-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 εκπατή 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 γλαυκοφαντικούς σχιστόλιθους που παρατηρούνται στα τεκτονικά παράθυρα κάτω από την Πελαγονική ζώνη (παράθυρα Ολύμπου, Ριζομάτων, Κρασιάς, Όσσας, Πηλίου), στη Νότια Εύβοια, τις Κυκλάδες και τη Σάμο σχηματίζοντας ένα σαφές τόξο υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας μεταμόρφωσης (Durr et al 1978, Blake et al 1981, Altherr et al 1982, Schertner 1990). Η 2<sup>η</sup> ηλικίας 25 Ma (Ανω Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου) 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 λιθοσφαιρικών πλακών και υποβύθισης.

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

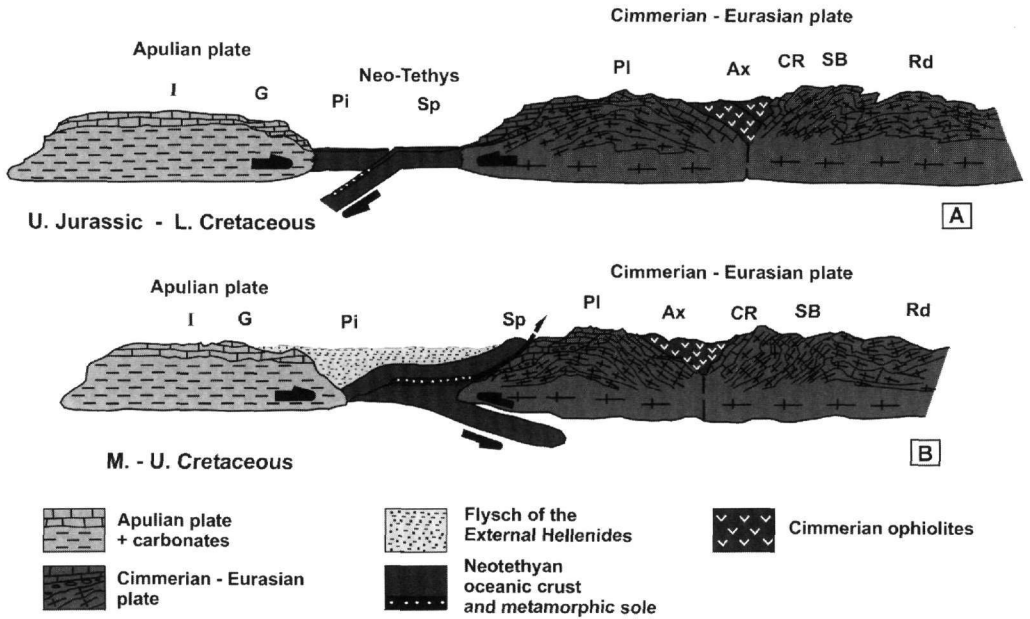
Θα εξετάσουμε στη συνέχεια αναλυτικά τις γεωδυναμικές κινήσεις που οδήγησαν στον τεκτονισμό κάθε μιας ορογενετικής λωρίδας χωριστά.

### 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 Αλπικές παραμορφώσεις οι οποίες εκτός από την Αλπική Ελλάδα έχουν επιδράσει και στον Κιμμερικό χώρο (Εσωτερικές Ελληνίδες και Ενδοχώρα) όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Αυτές οι Αλπικές 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 κληρονομούμενες παλιές (παλαιοζωϊκές) παραμορφώσεις που είχαν τα ηπειρωτικά τεμάχια τα οποία συνθέτουν σήμερα τον Κιμμερικό χώρο. Παλιές συμμεταμορφικές ισοκλινείς πτυχές των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων και ειδικότερα αυτές που εντοπίστηκαν μέσα σε σχιστολιθικά πετρώματα που αφομοιώθηκαν και βρίσκονται εγκλωβισμένα μέσα σε Άνω Παλαιοζωϊκούς γρανίτες (Μουντράκης 1983).
- 2) Τις παραμορφώσεις που προκλήθηκαν κατά τη σύγκλιση των Κιμμερικών τεμαχίων με την Ευρασία στη διάρκεια Τριαδικού-Ιουρασικού 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 κινητική 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 ωκεάνιου φλοιού της ζώνης Αξίου, την τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στα τότε Κιμμερικά ηπειρωτικά περιθώρια και την τελική Ιουρασική σύγκρουση. Διαπιστώθηκαν πτυχές ισοκλινείς με άξονες ΒΔ-ΝΑ και απόκλιση προς ΝΔ, κυρίως στο χώρο της Πελαγονικής, συνδεδεμένες με την παλιά τοποθέτηση των οφειολίθων της ζώνης Αξίου πάνω στην Πελαγονική. Διαπιστώθηκε η συμμεταμορφική ανάπτυξη αυτών των πτυχών με μια προ-αλπική (προ Κρητιδική) μεταμόρφωση αμφιβολιτικής έως κάτω πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Vergely 1984, Mountrakis 1986, Michard et al 1994, 1998).
- 3) Τις Αλπικές παραμορφώσεις, κυρίως εφελκυστικές πλαστικές δομές που προκλήθηκαν αργότερα στον Κιμμερικό χώρο από την επίδραση της σύγκλισης της Απουλίας μικροπλάκας με την Εννιαία Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα και τη διαδικασία υποβύθισης του ωκεανού της Νέο-Τηθύος κάτω 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 Κιμμερική-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 Κιμμερική Ελλάδα και είναι αυτές σήμερα που δεσποζουν αφού υπερκάλυψαν τις παλιότερες (Papanikolaou and Panagopoulos 1981, Kiliyas 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 Κιμμερικής παραμόρφωσης δεν κατέληξαν σε σαφείς και πειστικές απαντήσεις για την κινηματική εξέλιξη των Κιμμερικών τεμαχών και του τελικού Κιμμερικού ορογενούς. Υπάρχει βέβαια ένας επίμονος προσανατολισμός των Ιουρασιακών πτυχών στη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση αξόνων γενικά στις Εσωτερικές ζώνες (Πελαγονική, Αξίου, Περιροδοπική) δεν μπορεί όμως να διαπιστωθεί αν αυτό είναι το πρωτογενές αποτέλεσμα της τότε παραμόρφωσης ή είναι η επανατοποθέτηση των δομών από τις μεταγενέστερες Αλπικές επιδράσεις.

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

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

Αντίθετα αρκετά σαφείς 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 Απουλιάς μικροπλάκας με την ενιαία πλέον Κιμμερική-Ευρασιατική Πλάκα, τη συμπίεση του ενδιάμεσου ωκεάνου της Νέας Τηθύος, την ωκεάνια διάρρηξη και ενδοωκεάνια υποβύθιση (subduction) που εξελίχθηκε στη συνέχεια σε υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από την Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα και την τελική τοποθέτηση των οφειολίθων (Pe-Piper & Piper 1990, Jones and Robertson 1991, Robertson et al 1991).

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

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

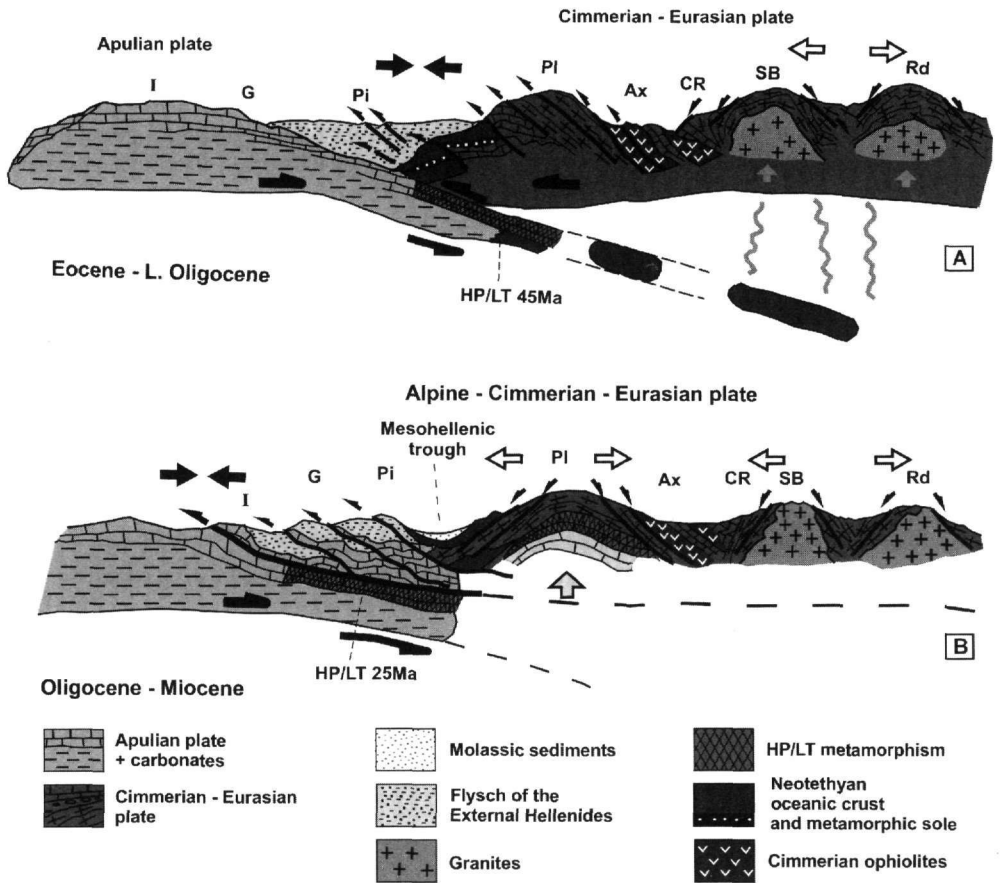
Στη συνέχεια οι συνθήκες σύνθλιψης του ωκεανού της Νέο-Τηθύος μεταβλήθηκαν με αποτέλεσμα στο Κάτω Κρητιδικό η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού να πραγματοποιηθεί κάτω από την Κιμμερική-Ευρασία και να εξελιχθεί σε τεκτονική τοποθέτηση (obduction) του ωκεάνιου φλοιού (οφειολίθων) πάνω στο Κιμμερικό παραμορφώσιμο 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 Τριαδικο-Ιουρασικών ασβεστολίθων του περιθωρίου και των ιζημάτων του Κάτω Κρητιδικού που παρατηρούνται στο Βούρειο συμπτυχωμένα με τους οφειολίθους είναι τα αποτελέσματα αυτής της πρώτης αλπικής περιόδου. Γεωμετρία και νίνηση πτυχών έχει καταγραφεί προς τα ανατολικά από πολλούς ερευνητές στις περιοχές Καστοριάς, Βούρινου, Θεσσαλίας, Όθρους (Mountrakis 1982, Vergely 1984, Robertson et al 1991). Ταυτόχρονη ανάπτυξη της πρώτης αλπικής μεταμόρφωσης, πρασινοσχιστολιθικής-αμφιβολιτικής φάσης και της κύριας σχιστότητας στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης και στους Τριαδικο-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους.

(Β) Περίοδος Αλπικής Ορογένεσης (σχ. 4). Στο Ηώκαινο συντελέστηκε η τελική ηπειρωτική σύγκρουση μεταξύ Απουλίας μικροπλάκας και Κιμμερικού 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 Φλύσχη της Πίνδου. Ακολούθησε στο τέλος Ηωκαίνου-Ολιγόκαινο η λεπίωσή 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 θερμό αποκομμένο βυθιζόμενο τμήμα της ωκεάνιας πλάκας (slab), ενώ συνεχιζόταν η ιζηματογένεση του φλύσχη της Πίνδου μεταξύ τελικού Κρητιδικού-Ηωκαίνου στο υπόλειμμα της θάλασσας της Νέο-Τηθύος.

Καθώς η ισχυρότερη Κιμμερική-Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα συγκρούεται με την ασθενέστερη Απουλία μικροπλάκα την υπερκαλύπτει και την ωθεί σε υποβύθισή της. Η ισχυρή συμπίεση στο χώρο της σύγκλισης των πλακών δημιούργησε την παραμόρφωση, πτύχωση και λεπίωση των πετρωμάτων των Εσωτερικών ζωνών και του φλύσχη Πίνδου. Έτσι προκλήθηκε αναστροφή των σχηματισμών στην Πελαγονική ζώνη (ιδίως στο Δυτικό περιθώριό της) όσο και στη ζώνη Αξίου καθώς και εντυπωσιακή απόκλιση των λεπίων όλων των ζωνών προς τα Δυτικά (Μουντράκης 1983, Kiliias and Mountrakis 1984, 1987). Αυτή η συμπίεστική τεκτονική προκάλεσε τη συσσώρευση των τεκτονικών καλυμμάτων και λεπίων στο εξωτερικό τόξο της Κιμμερικής-Ευρασιατικής πλάκας (Πελαγονική) κι έτσι την πάχυνση του φλοιού από την επαύξηση λόγω συσσώρευσης. Αυτή η διάγκωση του φλοιού θα οδηγήσει αργότερα στην κατάρρευση.

Η υποβύθιση (underplate) της Απουλίας κάτω από το Κιμμερικό περιθώριο προκάλεσε τη μεταμόρφωση HP/LT των υπολειμματικών ιζημάτων του ωκεανού και των ιζημάτων της Απουλίας που βρισκόνταν στο τμήμα της που συμπαρασύρθηκε στην υποβύθιση κάτω από την προωθούμενη προς τα έξω Κιμμερική-Ευρασιατική πλάκα. Η μεταμόρφωση HP/LT που συνοδεύεται και από πτύχωση ισοκλίνη, θα εκταφεί αργότερα κατά την εφελκυστική τεκτονική και θα αποκαλυφθεί ως η ζώνη HP/LT των 45 Ma στις περιοχές Όλυμπος, Όσσας, Πηλίου, Κυκλάδων (Schermer 1990, Kiliias et al 1991, 1995).

Ταυτόχρονα πιο εσωτερικά στην Ενδοχώρα (Ροδόπη και Σερβομακεδονική) λόγω της συνεχιζόμενης σε βάθος ύπαρξης των συνθηκών υποβύθισης, με το αποκομμένο τμήμα της ωκεάνιας πλάκας που απόμεινε να προκαλεί θέρμανση και την προς τα έξω επέκταση της επάνω πλάκας Κιμμερικής-Ευρασιατικής, δημιουργήθηκαν συνθήκες εφελκυσμού και λέπτυνσης του φλοιού που έλαβε χώρα σε συνθήκες πλαστικές σε βάθος και θραυστικές στην επιφάνεια. Λόγω του εφελκυσμού προκλήθηκε ανύψωση (uplifting) και αναθώλωση του φλοιού με ταυτόχρονη μαγματική άνοδο που δημιούργησε θαλάμους μάγματος στα κατώτερα στρώματα του φλοιού Σερβομακεδονικής και Ροδόπης και στη συνέχεια ανήλθαν ακόμη υψηλότερα δημιουργώντας τα μεγάλα και μικρά γρανιτικά σώματα ηλικίας Ηωκαίνου και νεότερης, μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα (Dinter 1998, Kiliias & Mountrakis 1998, Kiliias 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 λέπτυνση 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 των υπολειμμάτων του ωκεανού της Νέο-Τηθύος στο Ηώκαινο και την τελική ηπειρωτική σύγκρουση, συνεχίστηκε στο Ολιγόκαινο-Κατώτερο Μειόκαινο (σχ. 4B) η επέκταση της ενιαίας Κιμμερικής Ευρασιατικής πλάκας, μαζί με τα ενσωματωμένα λείψα των ιζημάτων του ωκεανού που διέφυγαν την υποβύθιση, και τα λείψα του φλύσχη της Πίνδου, πάνω στην υποβυθιζόμενη ηπειρωτική πλάκα, με υπολείμματα 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 πρόγραμμα επαύξησης μια νέα ορογενετική ζώνη με συσσώρευση νέων τεκτονικών καλυμμάτων και λεπίων, πάχυνση του φλοιού και δημιουργία πολλών συμπιεστικών μικροδομών ηλικίας Ολιγοκαινού – Κατώτερου Μειοκαινού.

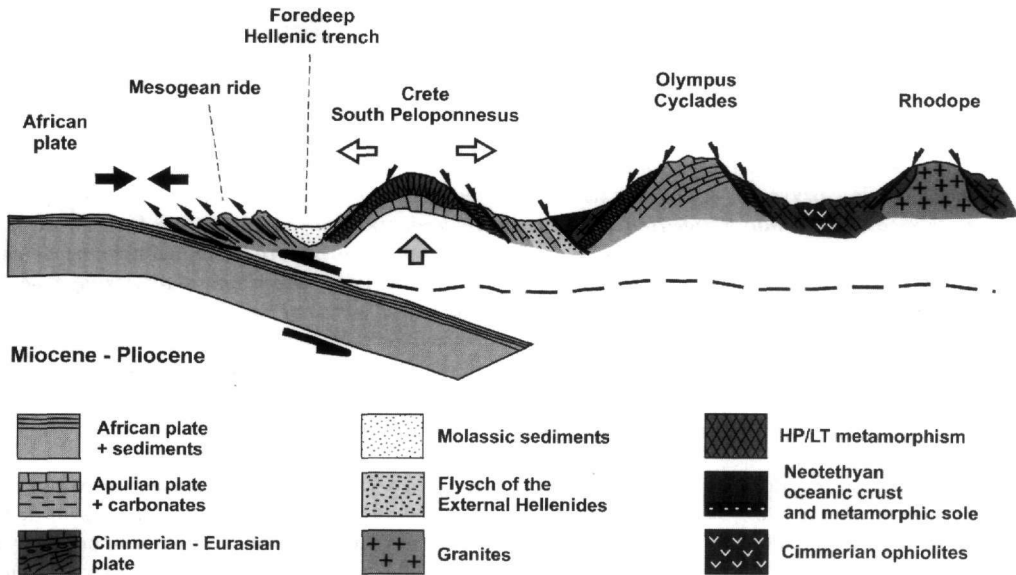
Ταυτόχρονα πιο εσωτερικά στον παλιό χώρο σύγκλισης-συμπίεσης-επαύξησης του φλοιού κατά το Ηώκαινο, δηλαδή στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, αναπτύσσονται πλέον εφελκυστικές τάσεις από την επέκταση του ηπειρωτικού φλοιού και συνθήκες κατάρρευσης με ρήγματα αποκόλλησης κανονικά μικρής γωνίας κλίσης που απορρίπτουν τα συσσωρευμένα τεκτονικά καλύμματα, δημιουργούν συνθήκες ανύψωσης - αναθό-

λώσης της παλιάς Απουλιάς πλάκας που ήταν θαμμένη κάτω από τα κιμμερικά - 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-Όσσα-Πήλιο-Κυκλάδες) και των υποκείμενων 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 Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου η σύγκλιση των λιθосφαιρικών 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 πρίσμα επαύξησης-πάχυνσης του φλοιού (σχ. 5).

Ταυτόχρονα στο Μειόκαινο-Πλειόκαινο η περιοχή του προηγούμενου πρίσματος επαύξησης (Κρήτη και Νότια Πελοπόννησος) που είχε δημιουργηθεί από τη συμπίεση του Ολιγοκαίνου, υφίσταται πλέον την εφελκυστική τεκτονική, την ανύψωση - αναθόλωση και την κατάρρευση του παχυμένου ηπειρωτικού φλοιού. Τα αποτελέσματα αυτά της εφελκυστικής τεκτονικής Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου 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 Πάργων και ο Ταΰγετος είναι τα δυο μεγάλα τεκτονικά παράθυρα της Πελοποννήσου ενώ στην Κρήτη ο Ψηλορείτης και τα Λευκά 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 ημιπαράθυρα 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 μετανάσταση της συμπίεσης 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 Mesogean orogenic process, showing the migration of the compressional deformation to the Mesogean ridge, the extensional tectonics in the Hellenides causing the uplift and exhumation of the tectonic windows.



Η εφελκυστική αυτή τεκτονική Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, που θεωρείται ότι συνεχίζεται μέχρι σήμερα, αποτέλεσμα της υποβύθισης 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, συνιστούν 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 Κιμμερική, 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 λιθοσφαιρικών πλακών συνεχώς μετατοπίζεται προς τα έξω. Επομένως μετατοπίζεται προς τα έξω η συμπιεστική τεκτονική ενώ εσωτερικά ασκείται εφελκυστική τεκτονική που οδηγεί σε εκταφή τμήματος της Κάτω πλάκας. Δηλαδή η μετανάστευση προς τα έξω της εκταφής ακολούθησε τη μετανάστευση της συμπίεσης που εκφράζεται με τις δύο ζώνες HP/LT. Κάθε φορά η συμπίεση ακολουθείτο από τον εφελκυσμό. Τα βαθύτερα τμήματα φλοιού εκθάβονταν και παραμορφώνονταν εφελκυστικά, ενώ ταυτόχρονα μπροστά στο μέτωπο της σύγκλισης των πλακών άλλα τμήματα του φλοιού συμπιέζονταν και συσσωρευόνταν ως τεκτονικά λέπια, παχύνοντας το φλοιό στο πρίσμα επαύξησης για να ακολουθήσει η κατάρρευση 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 Ηώκαινο μέχρι σήμερα.

## 7. Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

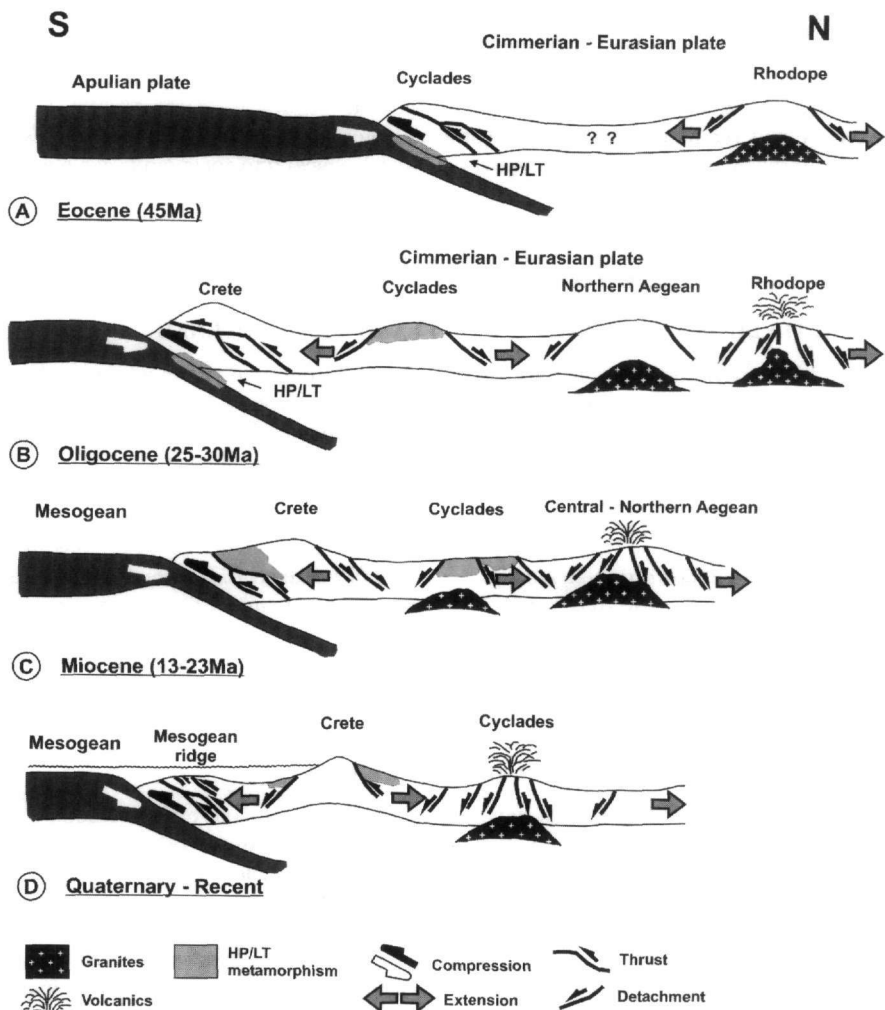
Η γεωμετρία και ορισμένα δεδομένα της κινηματικής της παραμόρφωσης στην Κιμμερική ορογένεση αναφέρθηκαν ήδη προηγουμένως και χαρακτηρίστηκαν ως ανεπαρκή για τον καθορισμό των κινήσεων των πλακών. Για την Αλπική ορογένεση τα δεδομένα που υπάρχουν από τις μέχρι τώρα έρευνες είναι πλήρη για ορισμένες περιοχές 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 Σεβρομακεδονικής της Κιμμερικής Ελλάδας διαπιστώθηκε ότι σε όλη τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης, δηλαδή Κρητιδικό-Ηώκαινο-Ολιγόκαινο-Μειόκαινο, βρισκόταν υπό την επίδραση εφελκυστικών τάσεων και το μεταμορφωμένο οικοδόμημα τους υφίστατο συνεχείς εφελκυστικές αναθλώσεις και εκταφές των βαθύτερων οριζώντων (Sokoutis et al 1993, Wawzenitz et al 1995, Kiliias & Mountrakis 1998, Warzenitz and Krohe 1998).

Η εκταφή άρχισε το Ηώκαινο στη Σεβρομακεδονική και την ενότητα Σιδηρόνερου της Ροδόπης συνεχίστηκε στο Ολιγόκαινο-Μειόκαινο στην Ενότητα Παγγαίου ενώ ακόμη αργότερα συνεχίστηκε στο χώρο της Πελαγονικής (παράθυρα Ολύμπου-Όσσας) και των Κυκλάδων και στο Μ. Μειόκαινο στην Κρήτη.

Στη Σεβρομακεδονική διαπιστώθηκαν (Kiliias et al 1999) δύο αλπικά εφελκυστικά γεγονότα: το 1<sup>ο</sup> ηλικίας Κρητιδικού, συμμεταμορφικό ως προς την αμφιβολιτική μεταμόρφωση, με εφελκυσμό διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ, διατημητική κίνηση συνήθως προς Α και σπανιότερα προς Δ, δημιουργία πλαστικών δομών και γράμμωση έκτασης ίδιας διεύθυνσης, το 2<sup>ο</sup> ηλικίας Ηώκαινου, 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 αναθλωση. Ο τεκτονισμός είναι συμμεταμορφικός με την πρασινοσχιστολιθική ανάδρομη μεταμόρφωση.

Στη Ροδόπη η διεύθυνση του εφελκυσμού είναι σταθερά ΒΑ-ΝΔ με κίνηση σαφή προς ΝΔ, γεγονός που διαπιστώθηκε από πλήθος κριτηρίων διάτμησης, όπως ορυκτολογική γράμμωση έκτασης, διατημητικές 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 Ηώκαινο μέχρι το Μειόκαινο. Η εκταφή της ενότητας Σιδηρόνερου έγινε το Ηώκαινο, ενώ η ενότητα Παγγαίου ήταν μέχρι το Μειόκαινο σε ανυψωτική διαδικασία αλλά θαμμένη κάτω από το Σιδηρόνερο και τη Σεβρο-



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 υφίστατο την πρασινοσχιστολική μεταμόρφωση Ολιγοκαίνου (Mposkos & Wawrzenitz 1995, Liati and Gebauer 1999) συνοδευόμενη από τη διατημητική πλαστική εφελκυστική του παραμόρφωση προς τα ΝΔ και ταυτόχρονη αναθόλωση για να αποκαλυφθεί αργότερα (Μ. Μειόκαινο) ως τεκτονικό παράθυρο (core complex) με συνθήκες θραυστικές.

Οι γρανίτες διείσδυσαν το Ηώκαινο-Ολιγόκαινο-Μειόκαινο στη Σερβομακεδονική και Ροδόπη ως αποτέλεσμα της θέρμανσης του φλοιού από την υποβύθιση της Νέο-Τηθύος κάτω από την Κιμμερική - Ευρασιατική πλάκα. Κατά τη διείσδυση τους σχημάτισαν συντεκτονικά διαπυρρικά 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 μυλονιτική υφή με κίνηση προς ΝΔ. Αντίθετα οι γρανίτες στην ενότητα του Σιδηρόνερου είναι τελικές διεισδύσεις χωρίς πλαστική παραμόρφωση γιατί η ενότητα αυτή είχε ανυψωθεί και εκταφεί χωρίς το Ηώκαινο. (Kilias & Mountrakis 1998, Kilias et al 1999).

Η εφελκυστική κίνηση προς τα ΝΔ την αλπική περίοδο Ηώκαινου-Ολιγοκαίνου 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 (Kiliyas & Mountrakis 1990, Sokoutis et al 1993, Dinter 1998, Burg et al 1995, Wawrzenitz et al 1995) όπως προαναφέρθηκε. Διαπιστώνεται στην ευρύτερη ζώνη Αξίου από έρευνες που βρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη. Διαπιστώθηκαν στο χώρο των τεκτονικών παράθυρων και των λεπίων της Πελαγονικής επίσης από πλήθος εργασιών (Kiliyas et al 1991, 1995, 1999, Sfeikos et al 1991, Godfriaux & Ricou 1991, Doutsos et al 1993, Schremer et al 1993) καθώς και στους οφειδόμενους Βουρίνου-Πίνδου όπου η εφελκυστική αυτή τεκτονική Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου καθορίστηκε ως η υπεύθνη για τη δημιουργία της Μεσοελληνικής αύλακας (Mountrakis et al 1993, Doutsos et al 1994).

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

Αυτή η σταδιακή μεταβολή στη διεύθυνση εφελκυσμού από ΒΑ-ΝΔ στην ηπειρωτική Ελλάδα σε Β-Ν στην Κρήτη ακολουθώντας την εξέλιξη Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου 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 Μειόκαινο η ηπειρωτική περιοχή της Μικράς Ασίας.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

Σε όλη τη διάρκεια της Αλπικής και Μεσογειακής ορογένεσης, δηλαδή από το Κρητιδικό μέχρι το Πλειόκαινο αλλά και μέχρι σήμερα, παρατηρείται μια συνεχής μεταναστεύση 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 αποκάλυψη τεκτονικών παράθυρων των βαθύτερων τμημάτων του φλοιού.

Η μελέτη αυτής της συνεχόμενης και εναλασσόμενης 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 αναθόλωση με ιδιαίτερη ένταση τη δεύτερη Αλπική περίοδο (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο). Η συμπίεστική τεκτονική που την περίοδο Ηωκαίνου κυριαρχούσε στο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων (Περιροδοπική, Αξίου, Πελαγονική, Υποπελαγονική) αντικαθίσταται στις ζώνες αυτές σταδιακά το Ολιγόκαινο-Μέσο Μειόκαινο από εφελκυσμό, ενώ η συμπίεση μεταναστεύει στις Εξωτερικές Ελληνίδες για να αντικατασταθεί στο Μειόκαινο-Πλειόκαινο και εκεί από εφελκυσμό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AUBOUIN, J. (1959): Contribution a l' étude géologique de la Grece septentri-onal: les confines 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.

- 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.
- DOUSOS, T., KOUKOUVELAS, I. ZELILIDIS, A. & KONTOPOULOS, N. 1994. Intracontinental wedging and post-orogenic collapse in the Mesohellenic Trough. *Geologische Rundschau* 83, 275-75.
- DOUSOS, 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). *Geodynamica Acta*. 7, 57-85.
- GODFRIAUX, I. (1968). Étude géologique de la region 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 associes au charriage synmetamorphique 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 nordostlichen 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 Vulcanologica*, 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 Circum 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. *Πραγματεία για Υψηγεία, 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 Pindos-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. Pindos 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 Pindos ocean: Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 25, 55-64.
- ROBERTSON A.H.F., DIXON J.E., BROWN S., Col. Ins A., MORRIS A., PICKETT E., SHARP I. 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., SUNGURLU O. (1984). Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Paleo-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, Grece); un nouveau modele structural. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 330, 555-561.
- WAWRENITZ, 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.
- WAWRENITZ, N. & KROHE, A., (1998). Exhumation and doming of the Thasos metamorphic core complex (S. Rhodope, Greece): Structural and geochronological constraints. *Tectonophysics*, 285, 301-332.