

Σερβομακεδονική μάζα

Ιωάννης Ηλιόπουλος
Πάτρα 2020

1

Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 05671, 2003
© European Geophysical Society 2003




THE SERBO-MACEDONIAN MASSIF, THE OLDEST CRUSTAL SEGMENT OF THE INTERNAL HELLENIDES, IDENTIFIED BY ZIRCON AGES

Felix Himmerkus^{1, 2}, Thomas Reischmann^{1, 2} and Dimitris Kostopoulos³

¹:Johannes Gutenberg-Universität Mainz Germany himmerku@mail.uni-mainz.de,
²:Max-Planck-Institut für Chemie, Dept. of Geochemistry Mainz, Germany, ³:Aristotle University of Thessaloniki, Greece

The Serbo-Macedonian Massif (SMM) is situated between the Axios River and the Strimon River in northern Greece. It is a structurally complex basement inlier between the relatively homogeneous basement complexes of the Pelagonian Zone in the west and the Rhodope in the east. The boundary to the Pelagonian Zone is by the ophiolites of the Vardar Zone; the border to the Rhodope is still a matter of debate. Both massifs consist of arc related granitoids of Permo-Carboniferous age (270 Ma - 300 Ma, Turpaud & Reischmann, this volume). In this study we investigated the granitoid gneisses of the SMM and dated them using the single zircon evaporation method in order to unravel its geological evolution and its relation to the neighbouring massifs.

2


Universität Basel

RESEARCH DATABASE / FORSCHUNGSDATENBANK PRINT DOC

Project 1380149 | Archived

Serbo-Macedonian massif, an enigmatic terrain within the Eastern Mediterranean Alpine orogen

Third-party funded project

as email **Project title** Serbo-Macedonian massif, an enigmatic terrain within the Eastern Mediterranean Alpine orogen
without **Principal Investigator(s)** **Witzel, Andreas**
Organization / Research unit Department Umweltwissenschaften / Sedimentologie (Witzel)
Project start 01.10.2012
Probable end 30.06.2014
Status Completed

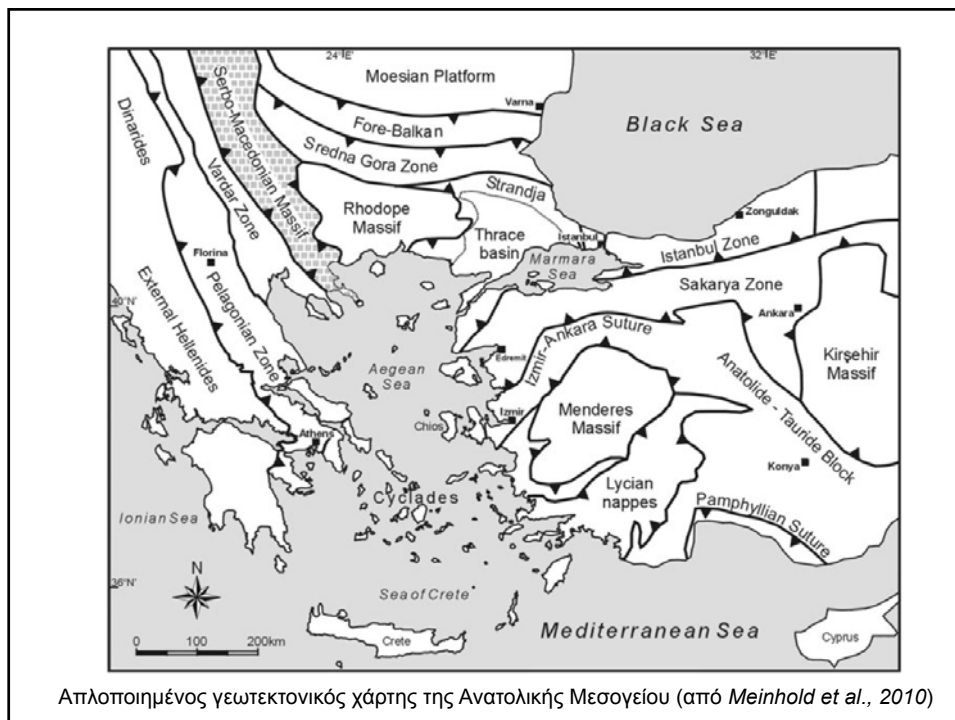
Abstract

The studies along the Serbo-Macedonian Massif allow establishing of a completely new model of the tectonic evolution of that area. Field and structural analyses provide evidences for at least three major deformational phases, which have taken place probably in the Variscan and the Early Alpine orogenic cycles. Field observations together with the new geochronological data suggest that the amalgamation of the so-called lower (high-grade) and upper (low-grade) complexes of the Serbo-Macedonian Massif have taken place during the Variscan orogeny when they have, most probably, occupied different structural levels and therefore experienced different degrees of metamorphism. This is perhaps also true for the Alpine deformation overprint, which exhibit structures which are concordant in both units together with clear southward decreasing of the temperature conditions. The new laser ablation ICP-MS U/Pb zircon dating have changed completely the previously existing time frame for the magmatic activities along the Serbo-Macedonian Massif in Serbia and Macedonia. Five major magmatic pulses have been recognized and distinguished, respectively, as Cadomian (Ediacaran - early Cambrian), Ordovician, Permian-Triassic and late Eocene - early Oligocene. Additionally, the geochemical analyses allowed to distinguish different magma sources and tectonic settings for these magmatic events.

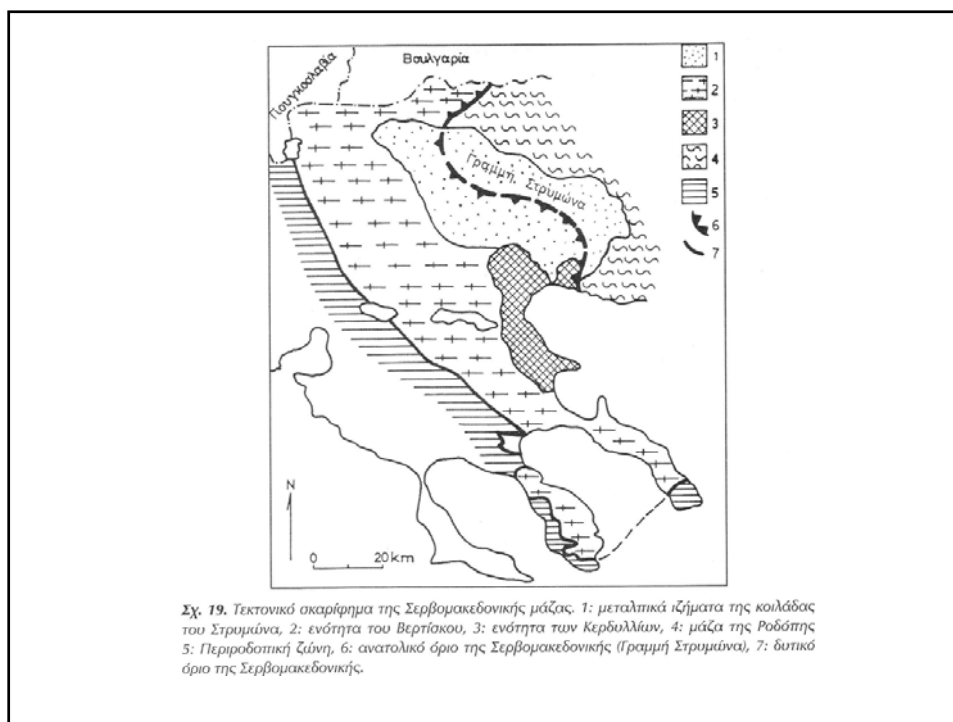
These initial results give some answers to the main questions that are addressed but help to elucidate the enigmatic and highly complicated geological history of the Serbo-Macedonian Massif. One aim is to determine the age of the protolith of the crystalline basement of the Serbo-Macedonian Massif when concentrating of the detrital zircon dating from metasedimentary rock series that are paleogeographically undatable due to their relatively high degree of metamorphism. Furthermore, detailed structural studies combined with ⁴⁰Ar/³⁹Ar and additional fission-track analyses on deformed rocks will constrain the age of the previously documented deformational phases. Additional low-temperature apatite fission-track analysis will provide information about the rates of exhumation of the crystalline rocks throughout the upper 4-8 km of the earth crust. Most importantly the last method will be of use to decipher the main mechanisms responsible for the final exhumation of the Serbo-Macedonian Massif.

The research team will continue working in close cooperation with its formal partners in Bulgaria, Serbia and Macedonia. The Swiss collaborators will profit from their foreign partners through their extensive knowledge of the regional geology and from access to the local geological literature and maps.

3



4



5

ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ

- Παλιότερα πιστεύονταν ότι η μάζα της Ροδόπης εκτείνονταν προς Δυσμάς μέχρι τη Ζώνη Αξιού.
- Νεώτερες όμως έρευνες, που έγιναν αρχικά στη Γιουγκοσλαβία και στη Βουλγαρία διαχώρισαν το δυτικό τμήμα που περιλαμβάνεται μεταξύ της ζώνης Αξιού και του ποταμού Στριμόνα και το ονόμασαν «**Σερβομακεδονική μάζα**» (Jaranov 1960, D:Tiitrievic & Ciric 1967).

6

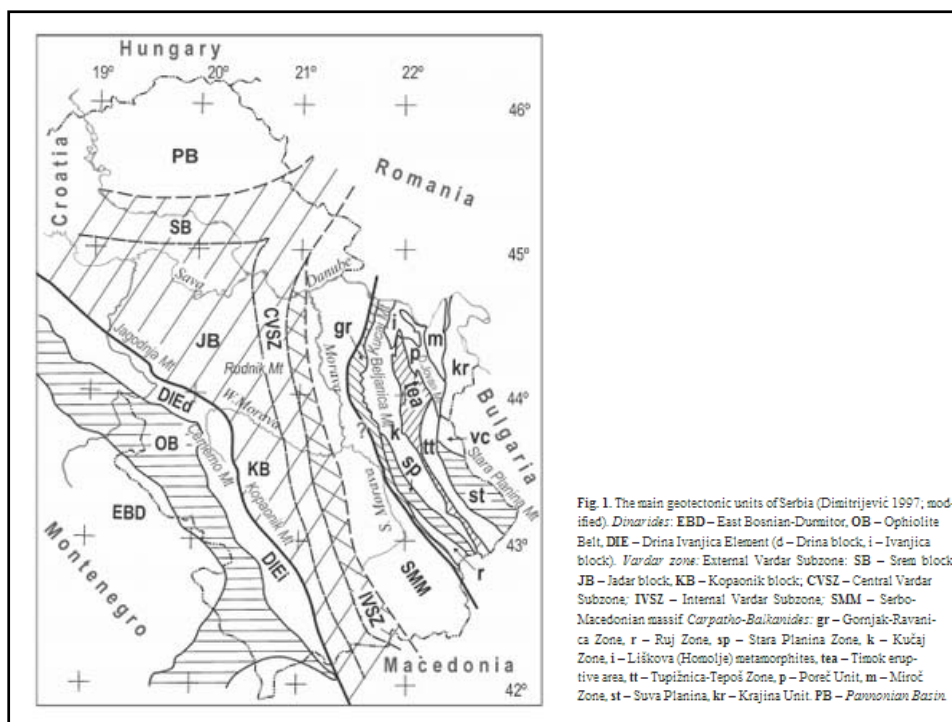


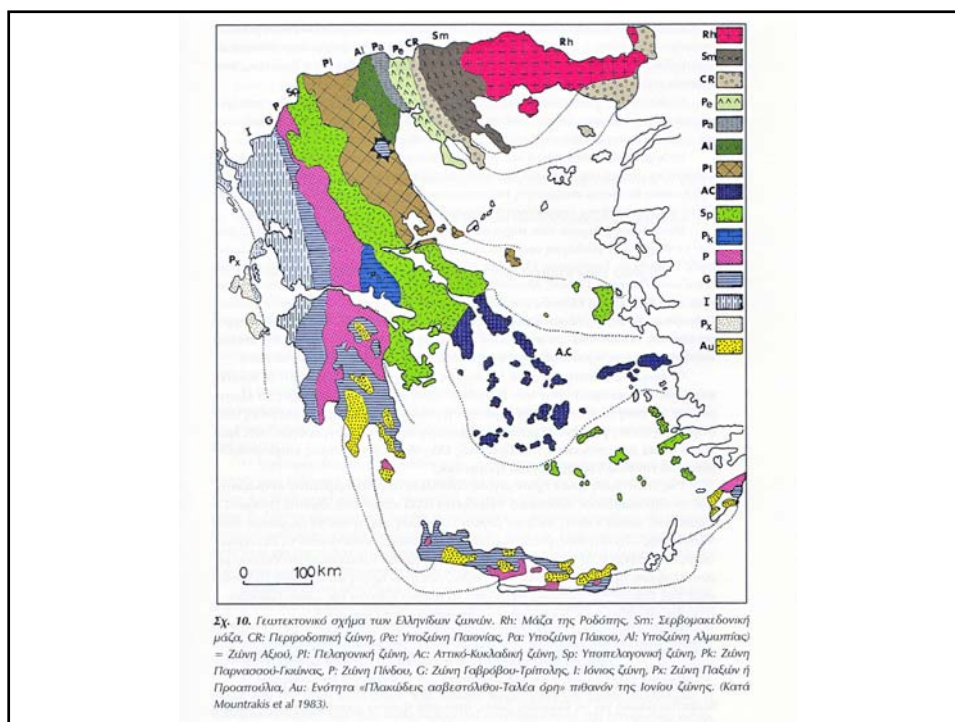
Fig. 1. The main geotectonic units of Serbia (Dimitrijević 1997; modified). *Dinarides*: EBD – East Bosnian-Dumitor, OB – Ophiolite Belt, DIE – Drina Ivanjica Element (d – Drina block, i – Ivanjica block). *Vardar zone*: External Vardar Subzone: SB – Srem block, JB – Jadar block, KB – Kopaonik block; CYSZ – Central Vardar Subzone; IVSZ – Internal Vardar Subzone; SMM – Serbo-Macedonian massif. *Carpatho-Balkanides*: gr – Gornjak-Ravanica Zone, r – Ruj Zone, sp – Stara Planina Zone, k – Kučaj Zone, i – Lišikova (Homoljs) metamorphites, tea – Timok eruptive area, tt – Tupižnica-Tepeš Zone, p – Poreč Unit, m – Miroč Zone, st – Suva Planina, kr – Krajina Unit. PB – Pannonian Basin.

7

ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ

- Αργότερα με έρευνες των Kockel & Walther (1965, 1968) και Mercier (1966) διαχωρίστηκε το αντίστοιχο τμήμα στον Ελληνικό χώρο, δηλαδή η περιοχή δυτικά του Στρυμόνα από τα σύνορα μέχρι και τη Χαλκιδική, και τοποθετήθηκε στη Σερβομακεδονική μάζα.
- Οι σημερινές όμως έρευνες στην τεκτονική και μεταμόρφωση επαναφέρουν την άποψη ότι αποτελεί **μια ενιαία μάζα με τη Ροδόπη** και **ο διαχωρισμός τους είναι πολύ νέος**, έγινε δηλαδή με την εφελκυστική τεκτονική του Τριτογενούς, κυρίως το Μειόκαινο, η οποία δημιούργησε τη Νεογενή λεκάνη του Στρυμόνα ανάμεσά τους.
- Άλλες μεταγενέστερες έρευνες διαχώρισαν μια επιπλέον ζώνη ανάμεσα στη Σερβομακεδονική και την Αξιού η οποία ονομάστηκε **Περιοδοτική**.

8



9

ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ

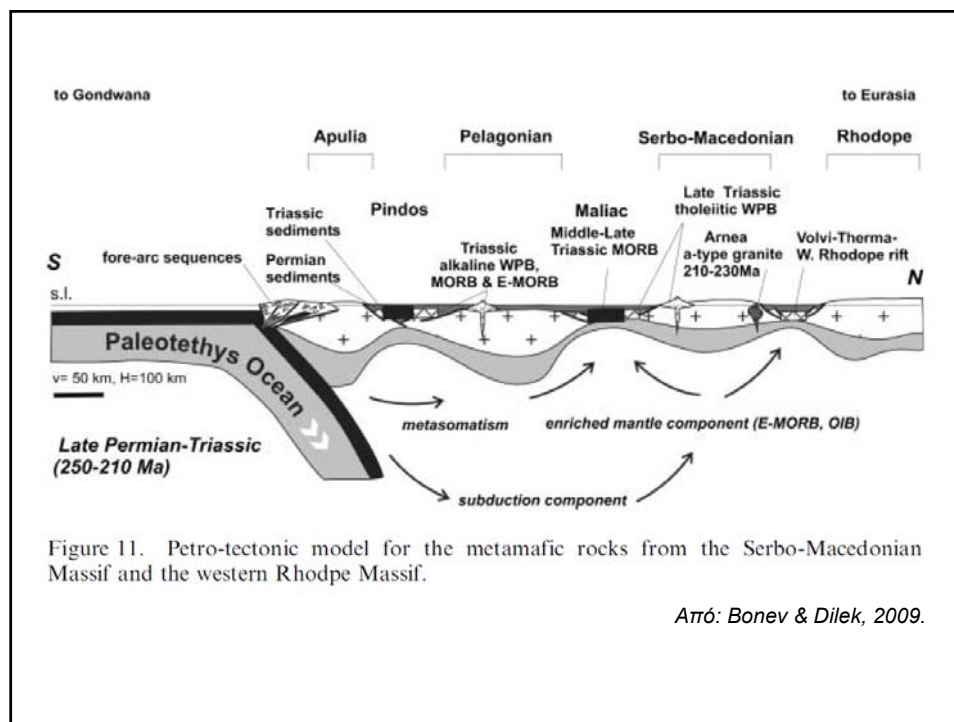
- Σύμφωνα με τα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών που έχουν προταθεί μέχρι τώρα, η **Σερβομακεδονική θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό**, πιθανόν τμήμα της Ευρασίας μαζί με τη μάζα της Ροδόπης.
- Η κοινή γεωτεκτονική τοποθέτηση των δυο μαζών στο περιθώριο της Ευρασιατικής πλάκας δεν έχει επιβεβαιωθεί δεδομένου ότι θεωρείται επίσης **πολύ πιθανόν να αντιπροσωπεύουν μαζί με την Πελαγονική ζώνη τμήματα του παλιού ηπειρωτικού φλοιού της Κιμμερικής ηπείρου**

10

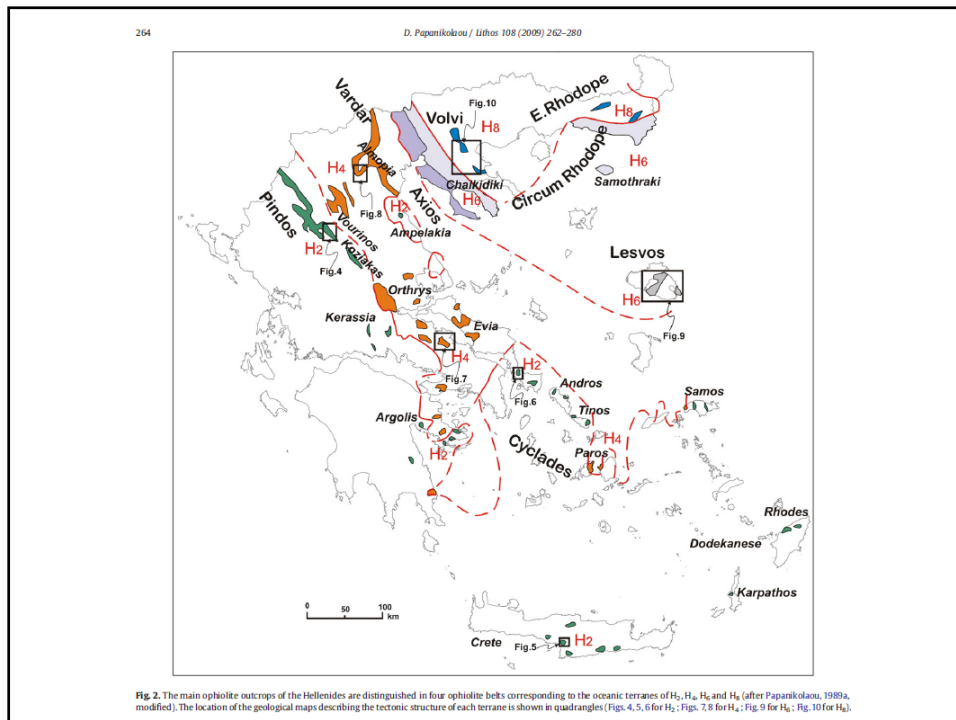
Προέλευση των πετρωμάτων

- **Paradopoulos (1982):**
 - θεωρεί ότι οι *αμφιβολίτες* της σειράς Βερτίσκου βόρεια από τη λίμνη Βόλβη είναι πυριγενούς προέλευσης και προέρχονται από θολεΐτικής σύστασης μάγμα.
- **Dimitriadis and Dixon (1982) και Dixon and Dimitriadis (1984, 1989)** υποστηρίζουν για τα *βασικά πετρώματα* του συμπλέγματος της Βόλβης:
 - ότι δείχνουν εμπλουτισμό σε λιθόφιλα στοιχεία και
 - ότι παρουσιάζουν χαρακτήρες μεταξύ "αλκαλικών" και "επάνω από ζώνη υποβύθισης" πετρωμάτων.
 - ότι το οφιολιτικό σύμπλεγμα της Βόλβης σχετίζεται με κάποια Μεσοζωικής ηλικίας ανοίγματα λεκανών και αποκλείουν την περίπτωση να είναι κάποιο υπόλειμμα της Παλαιοθηθύος (**Bonev & Dilek, 2009**).

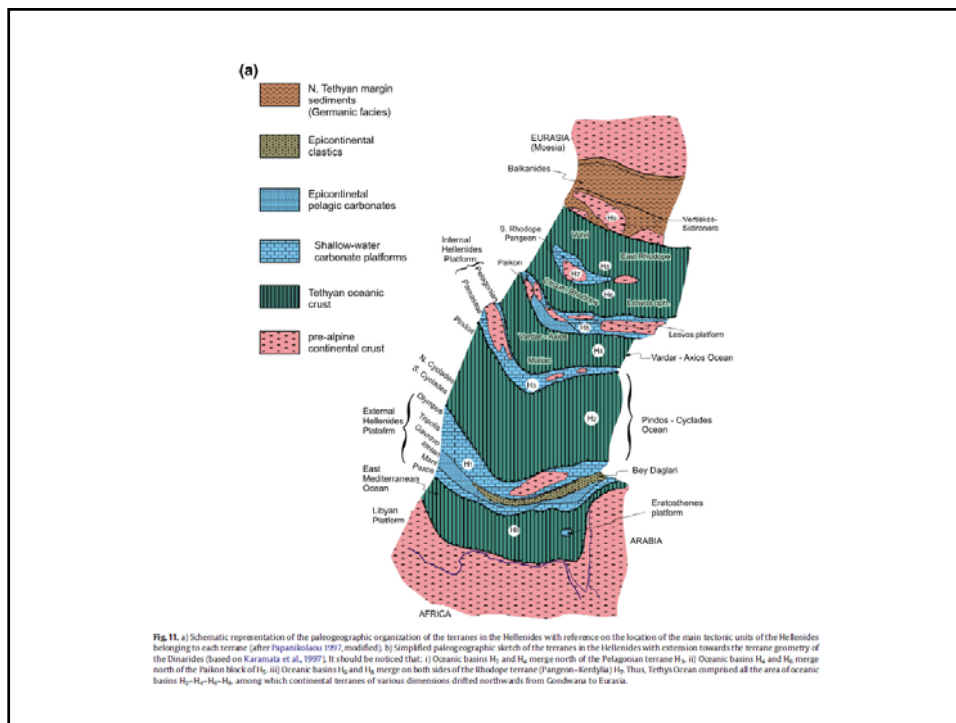
13



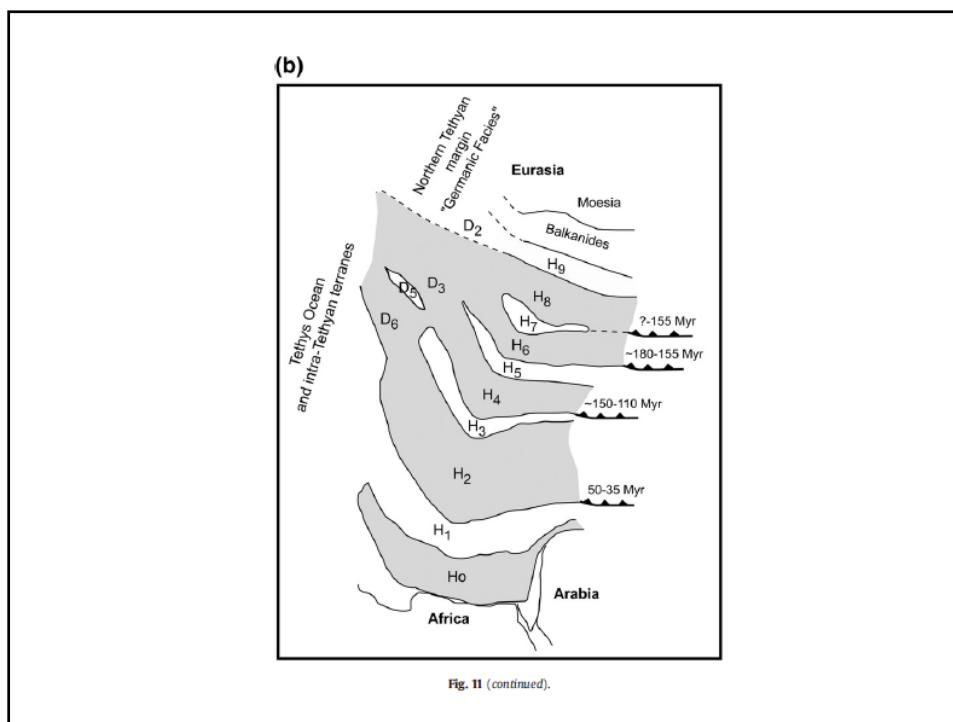
14



15



16



17

Προέλευση των πετρωμάτων

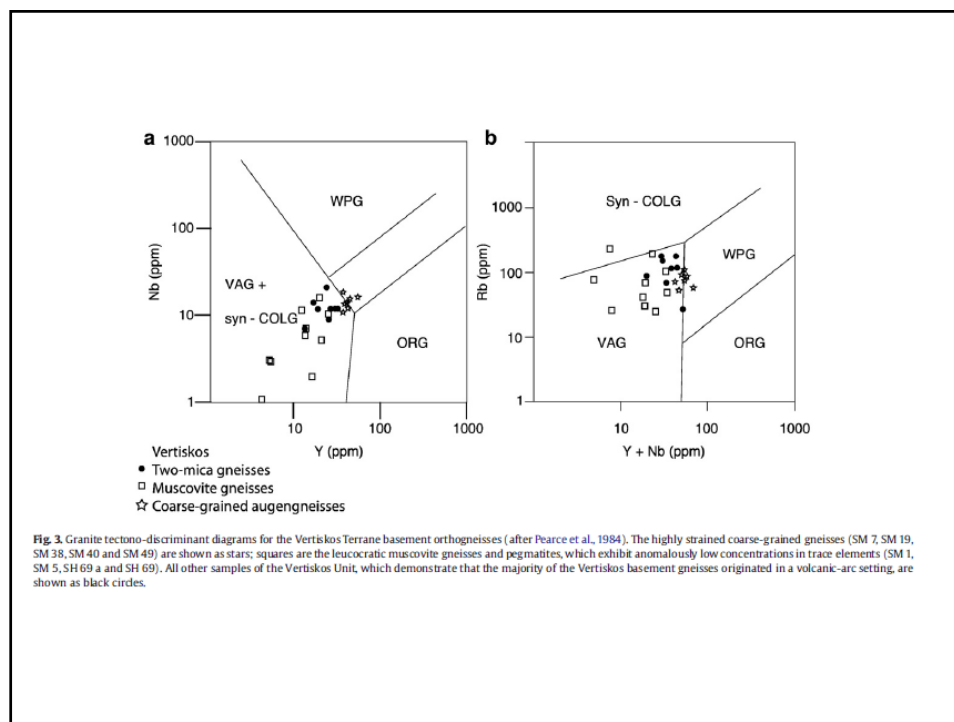
- **Sapountzis et al (1990)** για τους αμφιβολίτες των Κερδυλλίων και του Βερτίσκου υποστηρίζουν:
 - ότι είναι πυριγενούς προέλευσης,
 - ότι το μητρικό τους πέτρωμα ήταν θολεϊτικού τύπου και
 - ότι αντιπροσωπεύουν μια διαφοροποιημένη θολεϊτική σειρά στην οποία συμμετέχουν πολύ πιθανό και μέλη ανδεσιτικής σύστασης.
 - Ακόμη επισημαίνουν ότι η τεκτονική τοποθέτηση των αμφιβολιτών έγινε σε περιβάλλον ωκεάνιου φλοιού.

18

Προέλευση των πετρωμάτων

- Himmerkus **et al (1990)** για τους ορθογνευσίους του Βερτίσκου υποστηρίζουν:
 - ότι προέρχονται από γρανίτες και γρανοδιορίτες,
 - Η πλειονότητα των γνευσίων προβάλλεται στο πεδίο των γρανιτοειδών ηφαιστειακού τόξου (volcanic-arc granitoids)
 - κάποιιοι από τους γρανίτες ήταν Ι-τύπου και κάποιιοι S-τύπου
 - υποδεικνύοντας επηρεασμό τόσο από το μανδύα όσο και από το φλοιό
 - κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία των ορθογνευσίων υποδεικνύουν προέλευση από ηπειρωτικό μαγματικό τόξο, με ορισμένα να έχουν εξελιχθεί και περισσότερο.

19

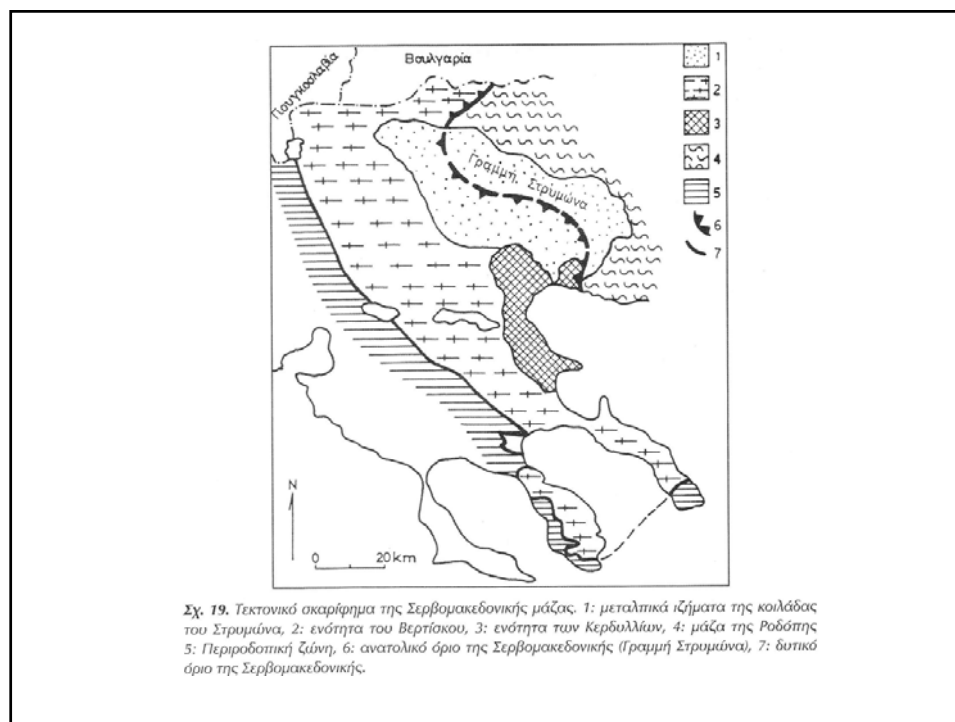


20

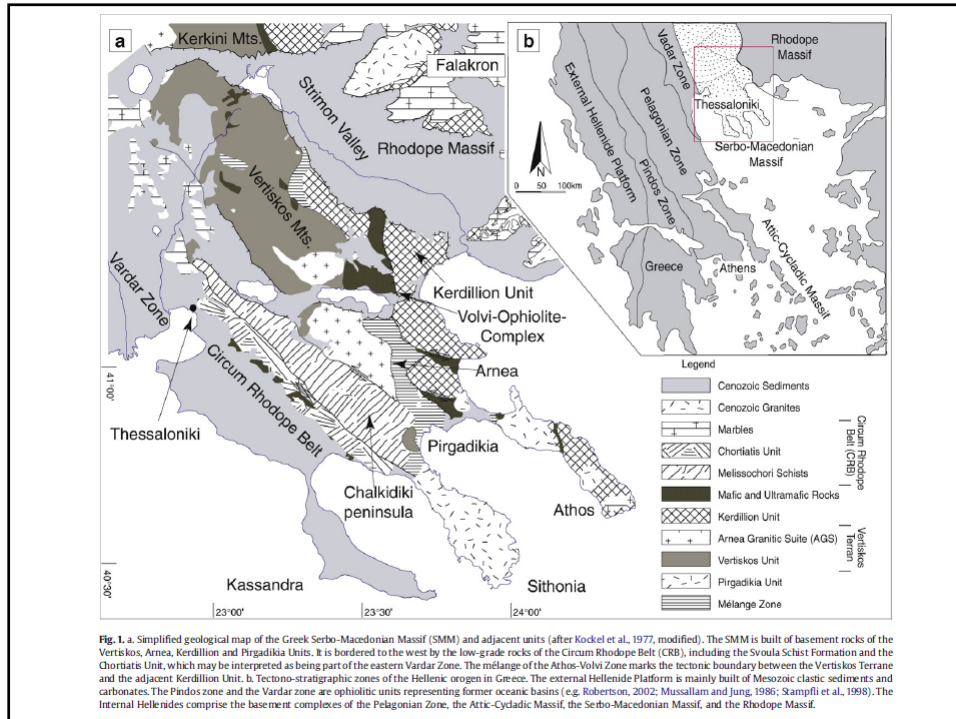
Λιθοστρωματογραφία του κρυσταλλοσχιστώδους

- Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής διαιρείται σε δυο μεγάλες ενότητες πετρωμάτων:
 - την κατώτερη και αρχαιότερη **ενότητα των Κερδυλλίων** και
 - την ανώτερη (νεώτερη) **ενότητα του Βερτίσκου** (σχ. 19).
- Μεταξύ των δυο ενότητων, σύμφωνα με τους ερευνητές που έκαναν την αρχική διαίρεση (Kockel & Walther 1968), υπάρχει συμφωνία και ομαλή μετάβαση της κατώτερης προς την ανώτερη.
- Όμως ανάμεσα στις δυο σειρές - ενότητες υπάρχει μια σαφής τεκτονική επαφή, η φύση και η σημασία της οποίας δεν έχει ακόμη διευκρινισθεί.

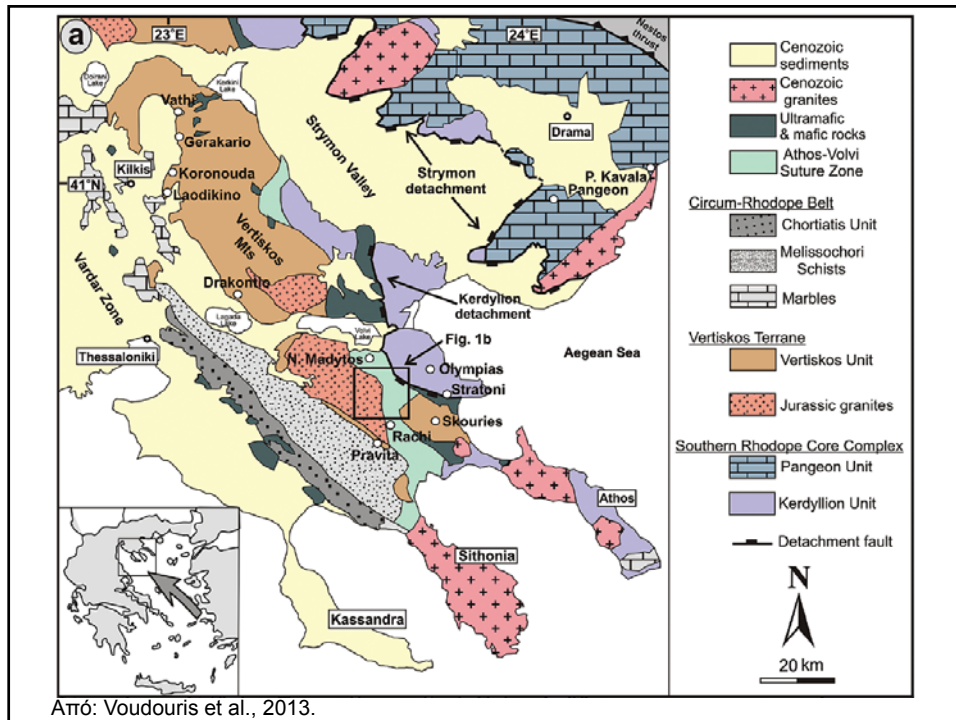
21



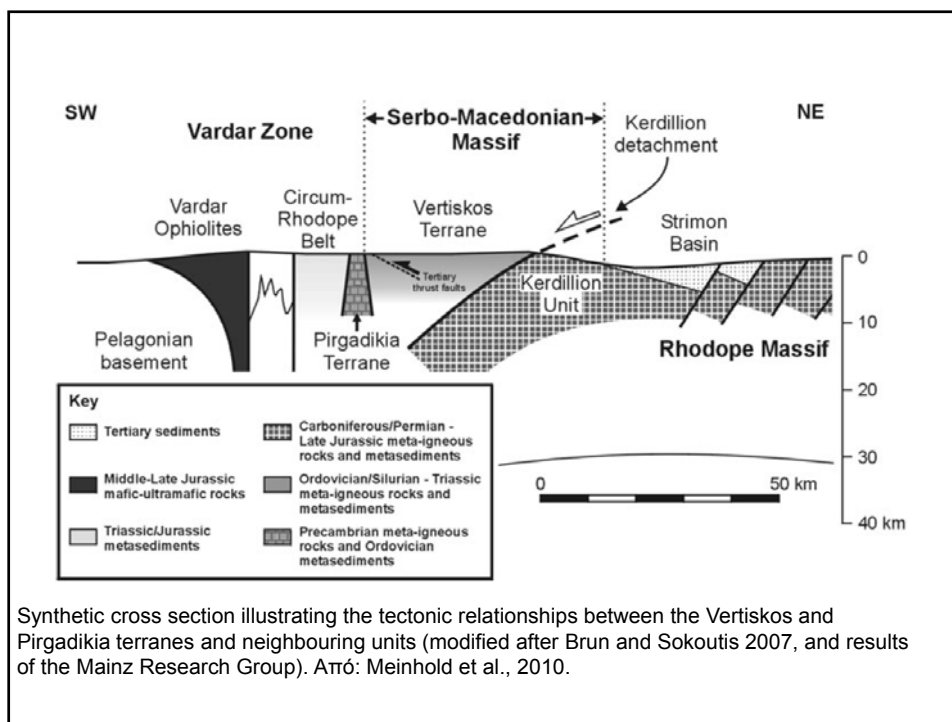
22



23



24



25

A. Η Ενότητα των Κερδυλλίων

- Καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμώνα και του Στρατωνίου,
- έχει συνολικό πάχος περίπου 3000 μέτρα
- τα πετρώματα της συνιστούν τους βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας και ίσως τους βαθύτερους ορίζοντες πετρωμάτων σ' όλη την Ελλάδα.
- Τα πετρώματα που κυρίως συγκροτούν την Ενότητα Κερδυλλίων είναι:
 - μιγματιτικοί βιοτικοί γνεύσιοι,
 - γραντούχοι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι,
 - αμφιβολίτες,
 - αμφιβολιτωμένοι εκλογίτες και
 - μάρμαρα.

26

Λιθολογία της Ενότητας των Κερδυλλίων

- Οι λιθολογικές εναλλαγές της ενότητας από τους ανώτερους ορίζοντες προς τους κατώτερους διατάσσονται ως εξής:
 1. Ορίζοντας Ανώτερου μάρμαρου πάχους 30 έως 300 m, με παρεμβολές βιοτιτικών γνευσίων, βιοτιτικών - κερροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοτιτικών-ακτινολιθικών σχιστολίθων, και αμφιβολιτών.
 2. Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων πάχους 700-1000 m, με παρεμβολές βιοτιτικών - κερροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων
 3. Ορίζοντας Ενδιάμεσου μάρμαρου πάχους 10-200 m, με παρεμβολές αμφιβολιτών και γνευσίων.
 4. Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων, πάχους περίπου 1000 m, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπυριτικών πετρωμάτων.
 5. Ορίζοντας Κατώτερου μάρμαρου πάχους μέχρι 150 m.
 6. Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων, πάχους περίπου 700 m, αποτελούμενος από μιγματιτικούς γνευσίους και ορθοαμφιβολίτες.

27

Β. Η Ενότητα του Βερτίσκου

- Βρίσκεται δυτικά της προηγούμενης ενότητας, κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται προς Βορρά μέχρι τα σύνορα.
- Συνίσταται από μια ακολουθία:
 - μιγματιτικών, οφθαλμοειδών ορθογενευσίων,
 - μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και
 - λεπτών στρωμάτων μαρμάρων,
- Ενώ στους ανώτερους ιδίως ορίζοντές της συμμετέχουν:
 - μεταγάββροι-μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών και βρίσκονται ως ενδιαστρώσεις και φακοειδή σώματα μέσα στους γνευσίους. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα και σερπεντινικά σώματα.

28

Συσχέτιση της ηλικίας των δύο ενοτήτων

- Η διάκριση των δυο ενοτήτων στηρίχθηκε αρχικά σε ορισμένες λιθολογικές διαφορές αυτών οι οποίες εντοπίζονται στα εξής:
 - Ο βαθμός μεταμόρφωσης των πετρωμάτων θεωρήθηκε χαμηλότερος στην Ενότητα του Βερτίσκου κυρίως διότι παρατηρήθηκαν θέσεις με επίδραση πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.
 - Στη Ενότητα των Κερδυλλίων μεγάλη είναι η παρουσία μαρμάρων συχνά σε οριζοντες μεγάλου πάχους, σε αντίθεση με την Ενότητα Βερτίσκου όπου η παρουσία των μαρμάρων είναι σπάνια και υπό μορφή λεπτών ενστρώσεων.
 - Μέσα στα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου παρεμβάλλονται τεκτονικά σχιστοποιημένα σερπεντινικά σώματα που απουσιάζουν από την Ενότητα Κερδυλλίων.

29

Συσχέτιση της ηλικίας των δύο ενοτήτων

- Σήμερα πιστεύεται ότι **δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στην ηλικία** και τις συνθήκες μεταμόρφωσης των δύο ενοτήτων.
- Αναμφισβήτητα όμως **υπάρχει μια σημαντική τεκτονική επαφή** ανάμεσά τους, η οποία δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί και η οποία έφερε τις δύο ενότητες σε επαφή, χωρίς όμως να αποδεικνύεται ότι η μία είναι παλιότερη από την άλλη.
- Πρόκειται επομένως μάλλον για δύο **τεκτονικές ενότητες της ίδιας κρυσταλλοσχιστώδους μάζας**.

30

Ηλικία της Σερβομακεδονικής Μάζας

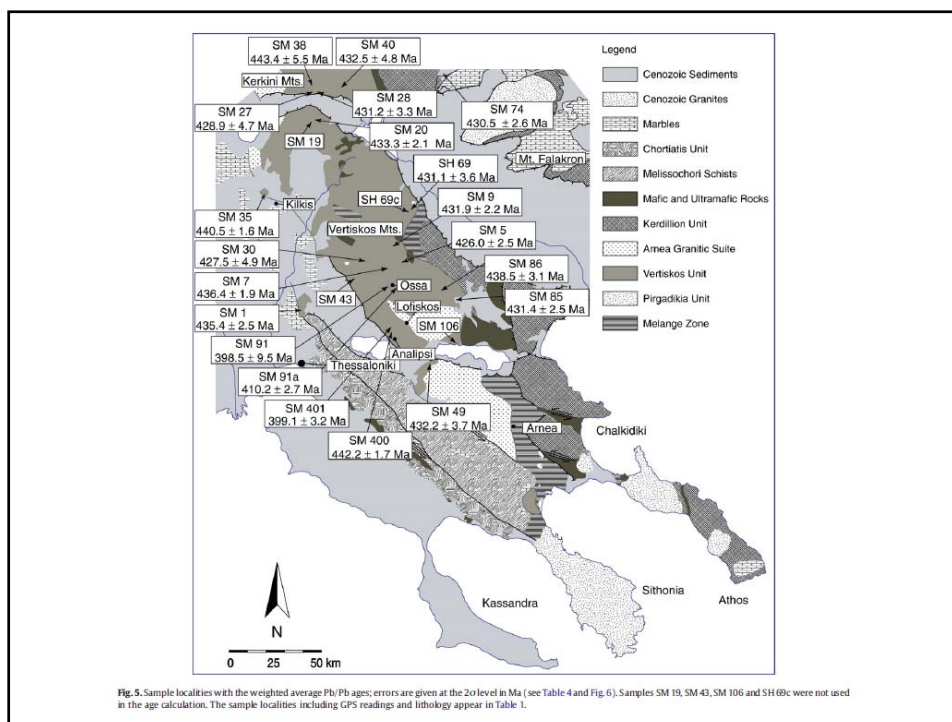
- Η ηλικία του ενιαίου κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής θεωρείται πολύ παλιά. Γενικά τα πετρώματά της θεωρούνται **τα παλαιότερα στον Ελληνικό χώρο**.
- Την ίδια άποψη δέχονται και οι ερευνητές στη Βουλγαρία και Γιουγκοσλαβία, όπου προεκτείνεται η Σερβομακεδονική, και της αποδίδουν **ηλικία Προκάμβριο με ραδιοχρονολογήσεις 540-635 Ma**. Για την **ηλικία μεταμόρφωσης και μαγματισμού** δίδουν ραδιοχρονολογήσεις **300-350 Ma**.
- Στην Ελλάδα οι αντίστοιχες έρευνες θεωρούν γενικά την ηλικία του κρυσταλλοσχιστώδους Παλαιοζωική (Kockel et al 1971) και την **ηλικία μεταμόρφωσης του Ερκυνια (275-337 Ma)** με ραδιοχρονολογήσεις σε μαρμαρυγίες των πηγματιτών.

31

Ηλικία της Σερβομακεδονικής Μάζας

- Νεότερες μετρήσεις υπολογίζουν την **ηλικία του κρυσταλλοσχιστώδους Προκάμβριο (555-587 Ma)** και τις διεισδύσεις **των γρανιτών-ορθογνευσίων ως Σιλούριο (428-433 Ma)** (Himmerkus et al 2006, 2009).
- Υπάρχουν βέβαια και ραδιοχρονολογήσεις που δίνουν πολύ νεότερες ηλικίες μεταμόρφωσης όπως Ιουρασικού - Κρητιδικού.

32



33

Συνθήκες μεταμόρφωσης

- Σε μεταβασικά πετρώματα (ορθοαμφιβολίτες) του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής εντοπίσθηκαν υπολειμματικοί κρύσταλλοι ενδεικτικοί μιας εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης που επέδρασε σε παλιά βασικά πυριγενή πετρώματα σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (T=700-1000 °C , P=13-14 kbars).
- Οι εκλογίτες αυτοί αλλοιώθηκαν αργότερα, όπως και στη Ροδόπη, από μια μεταγενέστερη αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης και εμφανίζονται ως «αμφιβολιτωμένοι εκλογίτες».
- Η εκλογιτική φάση μεταμόρφωσης τοποθετείται στο Παλαιοζωϊκό προ-Ερκύνια αν και δεν υπάρχουν επ' αυτού αποδείξεις.

34

Συνθήκες μεταμόρφωσης (συνέχ.)

- Η **αμφιβολιτική φάση** ήταν η κύρια μεταμόρφωση στη Σερβομακεδονική και έλαβε χώρα σε συνθήκες μέσης πίεσης και θερμοκρασίας ($T=650^{\circ}-750^{\circ}$, $P=3,5-8,5$ kbars).
- Συνοδεύτηκε από παραμόρφωση και ανάπτυξη της κύριας σχιστότητας των πετρωμάτων.
- Συνοδεύτηκε επίσης από **μερική ανάτηξη** των υπαρχόντων πετρωμάτων με σχηματισμό μιγματιτικών πετρωμάτων, και γρανιτών συγγενετικών με τους μιγματίτες.
- Τοποθετείται κατ' άλλους μεν στο Ανω Παλαιοζωϊκό κατά την Ερκύνια ορογένεση, κατ' άλλους δε στο Ιουρασικό.
- Είναι πιθανόν ότι η αμφιβολιτική μεταμόρφωση εξελίχθηκε συνεχόμενη από το Ανω Παλαιοζωϊκό μέχρι το Ιουρασικό, γιατί και λαμβάνονται πολλές ενδιάμεσες τιμές στις ραδιοχρονολογήσεις.

35

Συνθήκες μεταμόρφωσης (συνέχ.)

- Τέλος κατά θέσεις στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής παρατηρείται επίδραση μιας ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.
- Αυτή τοποθετείται κατ' άλλους μεν στο Κρητιδικό, από ορισμένες ραδιοχρονολογήσεις μεταμορφικών ορυκτών, κατ' άλλους δε στο Τριτογενές.
- Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η μεταμορφική εξέλιξη της Σερβομακεδονικής είναι **ανάλογη με αυτή της Ροδόπης**.
- Αναφέρονται όμως μεγάλες διαφορές στις ηλικίες εξέλιξης των δύο μαζών.

36

Διαφορές Ροδόπης-Σερβομακεδονικής

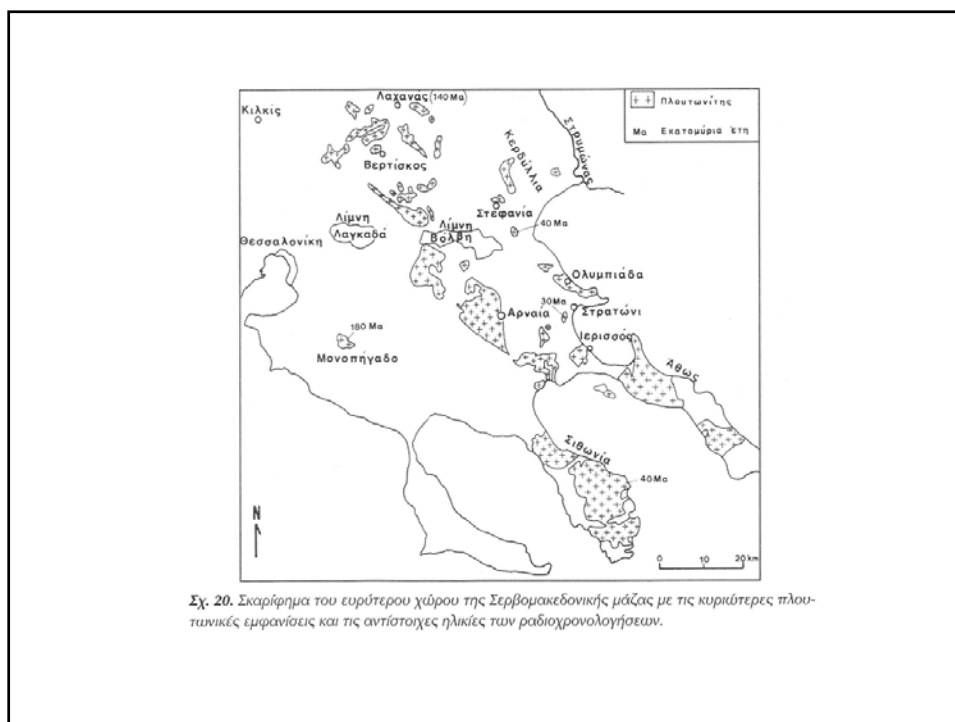
- Συγκεκριμένα η εκλογιτική μεταμόρφωση στη Ροδόπη τοποθετείται στο Ιουρασικό-Κρητιδικό, ενώ στη Σερβομακεδονική μέχρι στιγμής θεωρείται Παλαιοζωϊκή (προ-Ερκύνια) έως Ιουρασική.
- Επίσης η κύρια αμφιβολιτική μεταμόρφωση τοποθετείται για τη Ροδόπη στο Ηώκαινο, ενώ για τη Σερβομακεδονική θεωρείται ως Άνω Παλαιοζωϊκή (Ερκύνια).
- Ακόμη η ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης για τη Ροδόπη τοποθετείται στο Ολιγόκαινο, ενώ στη Σερβομακεδονική πιθανολογείται μεταξύ Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού και Τριτογενούς ελλείψει γεωχρονολογικών δεδομένων.
- Οι διαφορές αυτές στις ηλικίες δεν έχουν ακόμη ερμηνευθεί ικανοποιητικά.

37

Μαγματισμός: Πλουτώνια και Ηφαιστειακά πετρώματα

- Μεγάλοι όγκοι πυριγενών πετρωμάτων διακόπτουν τη συνέχεια των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής
- Τα πυριγενή πετρώματα προέρχονται από διάφορες μαγματικές εκδηλώσεις στη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας, που κατατάσσονται συμβατικά σε διάφορες φάσεις μαγματισμού.

38

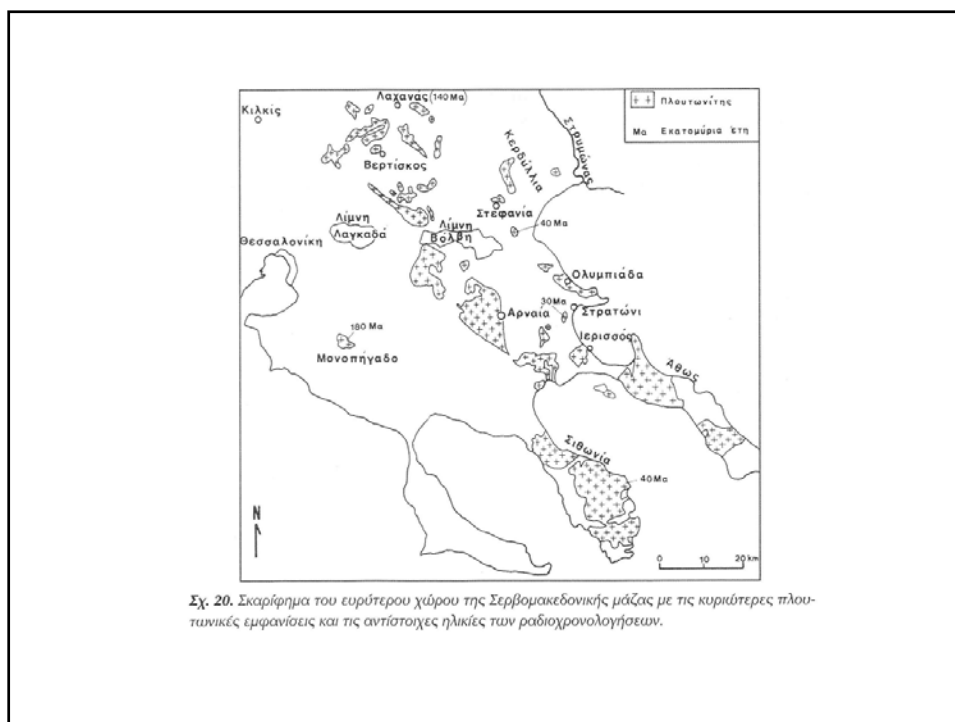


39

1^η φάση μαγματισμού

- Τα μεταβασικά πετρώματα (ορθο-αμφιβολίτες, μεταγάββροι, μεταδιάβασες), που βρίσκονται μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα των Ενοτήτων Κερδυλλίων και Βερτίσκου και περιέχουν τα υπολείματα των εκλογιτών, θεωρήθηκαν ότι ανήκουν σε μια πρώτη φάση μαγματισμού βασικής - υπερβασικής σύστασης προαλπικής ηλικίας.
- Νεώτερες έρευνες ξεχώρισαν ορισμένα μετα - οφιολιθικά πετρώματα πιθανής προέλευσης από την ωκεάνια περιοχή της ζώνης Αξιού από όπου προήλθαν με τις τεκτονικές διεργασίες κλεισίματος του ωκεανού στο Ιουρασικό και βρίσκονται κυρίως στο χώρο επαφής των δύο Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων βόρεια της λίμνης Βόλβης.

40

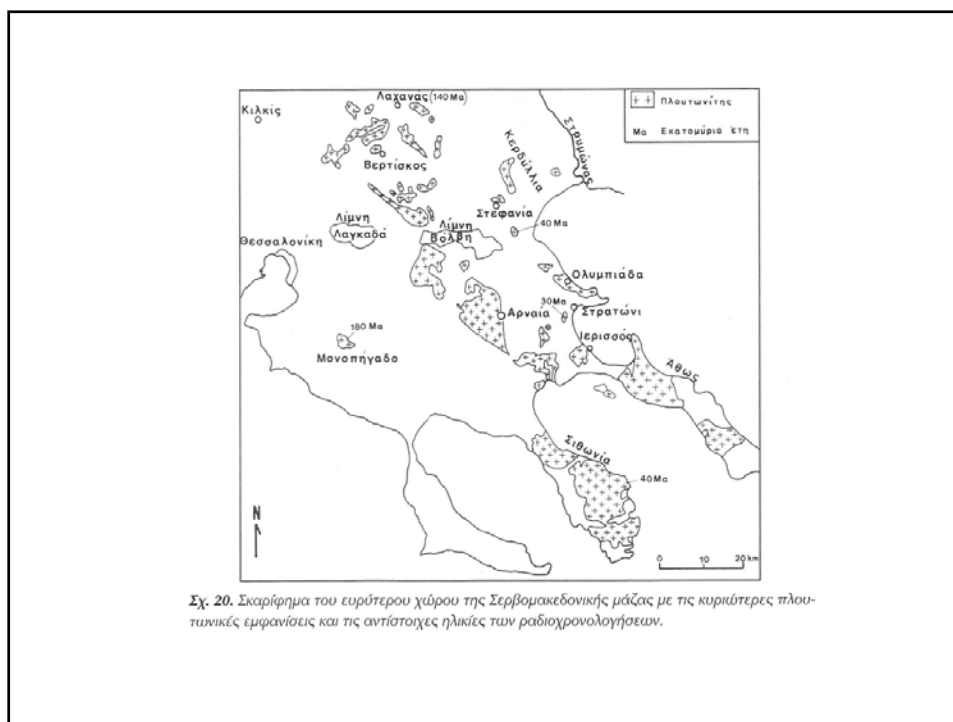


41

2^η φάση μαγματισμού

- Μια μαγματική φάση γρανιτικής σύστασης αντιπροσωπεύουν οι πλαγιокλαστικοί-μικροκλινικοί γνεύσιοι των περιοχών Κερδυλλίων, Ολυμπιάδας, Βερτίσκου κ.ά., που ήταν παλιοί γρανίτες.
- Η φάση αυτή πιστεύεται ότι είναι Ανω-Παλαιοζωικής ηλικίας συνδεδεμένη με την Ερκύνια ορογένεση, αν και δεν αποκλείεται να πρόκειται για παλιότερες μαγματικές εκδηλώσεις (ραδιοχρονολογήσεις σε αντίστοιχα γρανιτικά-ορθογενυσιακά πετρώματα έδωσαν ηλικία Σιλουρίου).

42

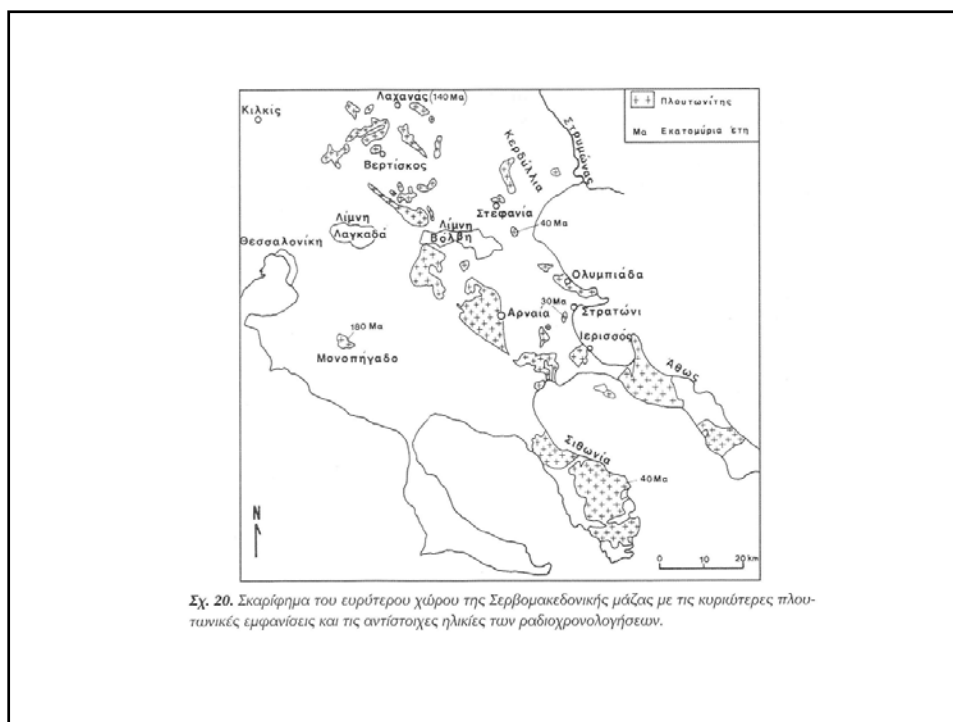


43

3^η φάση μαγματισμού

- Η επόμενη φάση μαγματισμού έλαβε χώρα στο Μεσοζωικό και δημιούργησε τους μεγάλους γρανιτικούς όγκους της Αρναίας (212-135 Ma), του Μονοπήγαδου, του Λαχανά, τον χαλαζιακό διορίτη του Φλαμουρίου στο όρος Βερτίσκος, και άλλους.
- Οι πλουτωνικοί αυτοί όγκοι ανάγονται στη βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού και θεωρούνται σύγχρονοι με την κύρια αλπική πτύχωση του Ιουρασικού καθώς εμφανίζονται ως προς αυτήν συν-κινητικοί.
- Ορισμένοι από αυτούς αποδίδονται σε φαινόμενα θερμικής ανάτηξης που συνόδευσε την αμφιβολιτική μεταμόρφωση όπως ο γρανίτης της Αρναίας και του Πολυδενδρίου.

44

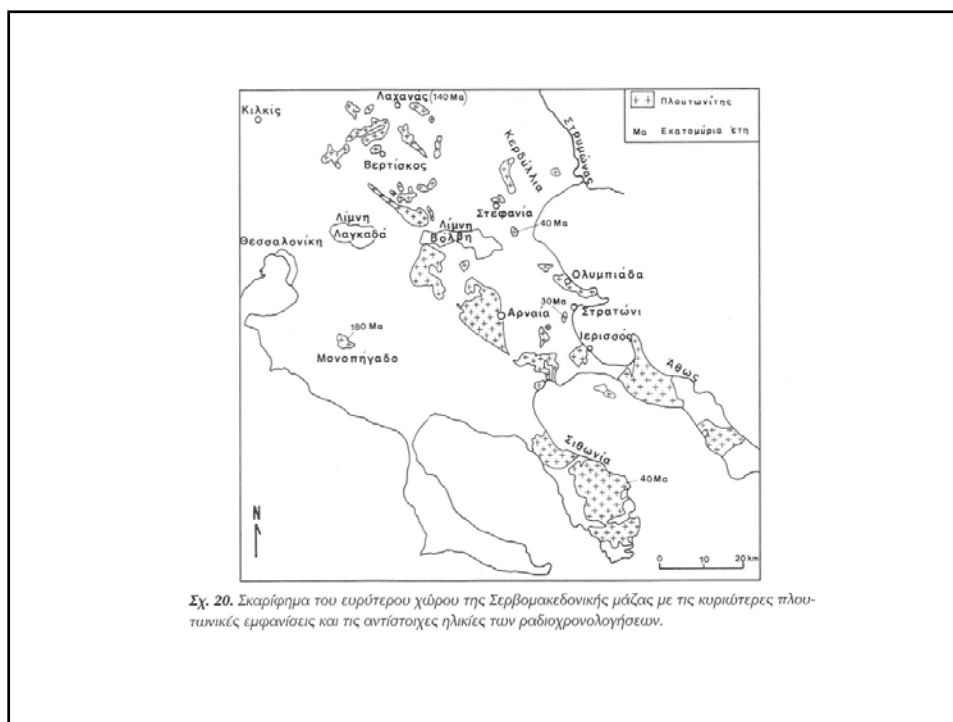


45

4^η φάση μαγματισμού

- Τέλος η τέταρτη μαγματική φάση ήταν του Τριτογενούς (Ηώκαινο- Ολιγοκαινο), μετά-ορογενετική, όξινη που δημιούργησε τον γρανίτη της Ιερισσού, τον γρανίτη της Σιθωνίας, τον γρανίτη της Μονής Γρηγορίου Αγίου Όρους, τον γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, τους χαλαζιακούς διορίτες Μεγάλης Παναγιάς, Στεφανιάς και Στρυμώνα.
- Με τη φάση αυτή συνδέονται και ορισμένες εμφανίσεις πορφύρων και πηγματιτικών και απλιτικών φλεβών με πλούσια μεταλλοφορία.
- Τέλος στο βόρειο χώρο της Σερβομακεδονικής έχουν εντοπισθεί μερικές μικρές εμφανίσεις (Ποντοκερασιας, Στρυμονικού κλπ) ρυολίθων, ανδεισιτών που οφείλονται στην ηφαιστειότητα που εκδηλώθηκε στα τελευταία στάδια (23-28 Ma) της μαγματικής φάσης του Τριτογενούς.

46



47

Μεταμόρφωση και Παραμόρφωση

Έξι κύρια παραμορφωτικά επεισόδια, με τα πέντε πρώτα από αυτά να συνδέονται με αντίστοιχα μεταμορφικά επεισόδια (Σακελλαρίου, 1989):

- **Παραμορφωτικό επεισόδιο (P1):**
 - ηλικίας νεώτερης του Νεοπαλαιοζωικού
 - από αυτό διασώζονται μόνο τα υπολείμματα μιας πρώτης μεταμορφικής στρωμάτωσης S1.
 - συνδέεται με μία **εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωση** με T: 700-1000° C και P: 13-14 kb.
- **Παραμορφωτικό επεισόδιο (P2):**
 - ηλικίας Κάτω- Μεσοζωικής
 - οδήγησε στη δημιουργία ισοκλινών πτυχών μέσης διεύθυνσης N120°. Ακόμη, η γένεση των πτυχών αυτών συνοδεύτηκε από τη δημιουργία της σχιστότητας S2 κατ' αξονικό επίπεδο, καθώς και της γράμμωσης L2.
 - συνδέεται με μεταμόρφωση μέσου **αμφιβολιτικού βαθμού**.

48

Μεταμόρφωση και Παραμόρφωση

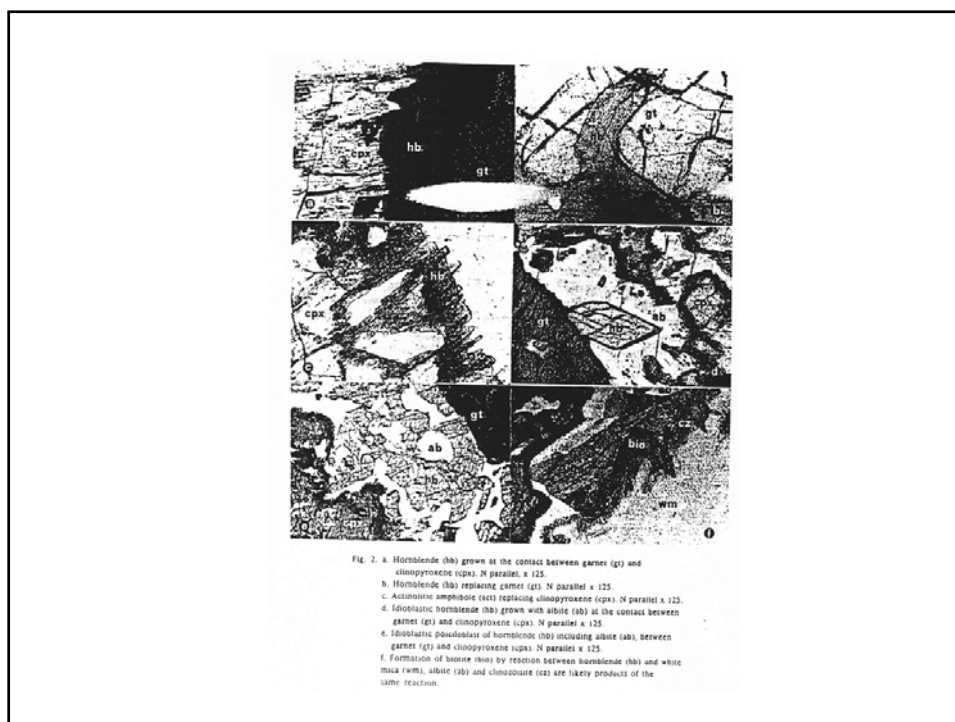
- **Παραμορφωτικό επεισόδιο (P3):**
 - έδρασε στο Μέσο έως Ανω Ιουρασικό
 - χαρακτηρίζεται από ισοκλινείς κυρίως πτυχές με διεύθυνση αξόνων περίπου N130°. Επίσης η δημιουργία των πτυχών αυτών συνοδεύεται από την ανάπτυξη έντονης σχιστότητας S3 κατ' αξονικό επίπεδο, όπως και έντονης γράμμωσης.
 - συνοδεύεται από μεταμόρφωση **κατώτερης αμφιβολιτικής φάσης.**
- **Παραμορφωτικό επεισόδιο (P4):**
 - ηλικίας Κάτω- Κρητιδικής
 - συνοδεύεται από πτυχές κυρίως κλειστές, με άξονες οι οποίοι έχουν διεύθυνση N180°-200. Οι πτυχές αυτές συνδέονται με την ανάπτυξη νέας σχιστότητας S4 κατά το αξονικό τους επίπεδο και με γράμμωση L4.
 - συνοδεύεται από συνθήκες **ανώτερης πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης.**

49

Μεταμόρφωση και Παραμόρφωση

- **Παραμορφωτικό επεισόδιο (P5):**
 - Ηωκαινικής ηλικίας
 - δημιούργησε κυρίως ανοιχτές έως κλειστές πτυχές που όμως μπορεί να είναι και ισοκλινείς. Έχουν μέση διεύθυνση αξόνων Α-Δ και συνοδεύονται από τη σχιστότητα S5 που εμφανίζεται τοπικά και ανάλογα με τη λιθολογία σαν ρηξισχιστότητα ή πτυχοσχιστότητα. Στα τελευταία στάδια του επεισοδίου αυτού δημιουργούνται kink πτυχές και μικροσκοπικές έως μακροσκοπικές ζώνες διάτμησης.
 - συνοδεύεται από μεταμόρφωση **κατώτερης πρασινοσχιστολιθικής φάσης.**
- **Παραμορφωτικό επεισόδιο (P6):**
 - συνοδεύεται από τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων.

50



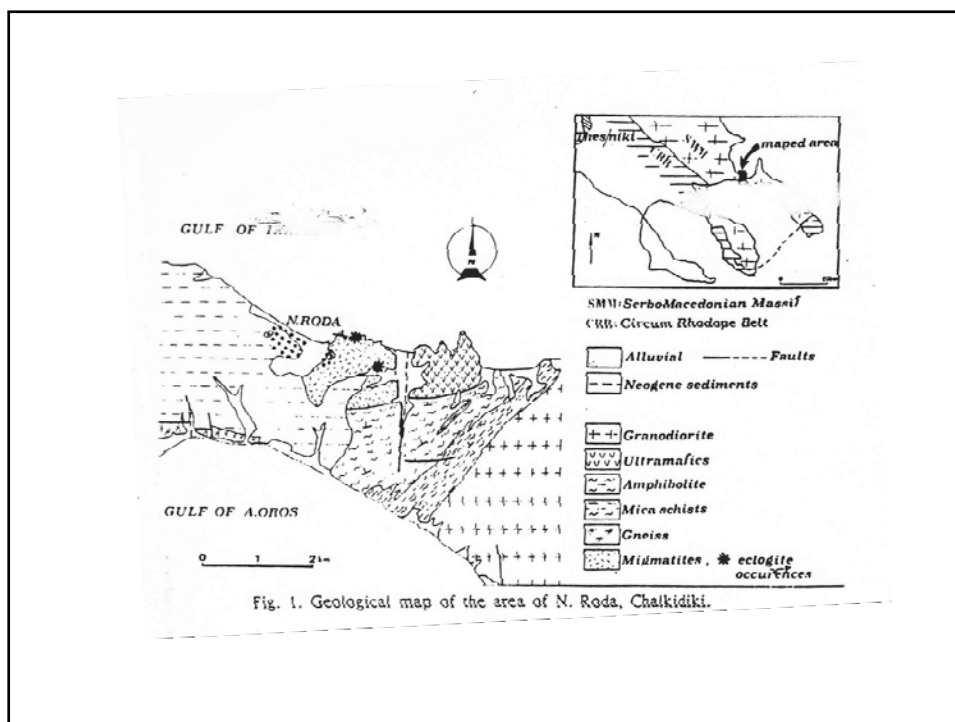
51

Μεταμορφική εξέλιξη

Οι Dimitriadis and Godelitsas (1991) μελετώντας ένα εκλογιτικό σώμα στα Ν. Ρόδα Χαλκιδικής προτείνουν τρία στάδια μεταμορφικής εξέλιξης του:

- Το εκλογιτικό στάδιο που έλαβε χώρα σε $T: 520-550^{\circ} C$ και σε P τουλάχιστον 12 kb.
- Το στάδιο της προϊούσας αμφιβολιτίωσης του εκλογίτη σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις.
- Το στάδιο της ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης του.

52



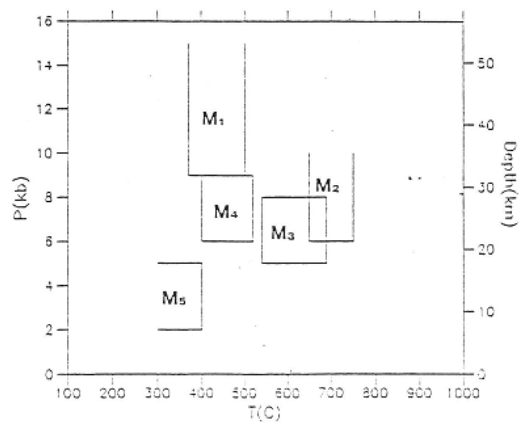
53

Μεταμορφική εξέλιξη

Ο Σιδηρόπουλος (1991), αναγνώρισε πέντε μεταμορφικά επεισόδια με βάση τη λιθολογία, την τεκτονική, την ορυκτοχημεία και τη γεωθερμοβαρομετρία :

- Το **M1** μεταμορφικό επεισόδιο.
 - Πρόκειται για ένα επεισόδιο υψηλής P και χαμηλής T,
 - στα όρια της εκλογιτικής με τη γλαυκοφανιτική φάση.
- Το **M2** μεταμορφικό επεισόδιο.
 - Πρόκειται για ένα επεισόδιο υψηλής P και υψηλής T,
 - στα όρια της αμφιβολιτικής, γρανουλιτικής και εκλογιτικής φάσης.

54



σχ. 8.16. Διάγραμμα P-T στο οποίο φαίνονται οι περιοχές συνθηκών των πέντε μεταμορφικών επεισοδίων που αναγνωρίστηκαν στην περιοχή μελέτης.

55

Μεταμορφική εξέλιξη

- Το **M3** μεταμορφικό επεισόδιο.
 - Πρόκειται για ένα επεισόδιο μέσης έως υψηλής P και μέσης T,
 - στη μέση με άνω αμφιβολιτική φάση.
- Το **M4** μεταμορφικό επεισόδιο.
 - Πρόκειται για ένα επεισόδιο μέσης έως υψηλής P και μέσης T,
 - στο όριο της αμφιβολιτικής με την πρασινοσχιστολιθική φάση.
- Το **M5** μεταμορφικό επεισόδιο.
 - Πρόκειται για ένα επεισόδιο χαμηλής P και χαμηλής T,
 - στην πρασινοσχιστολιθική φάση.

56

Σύμφωνα με Σιδηρόπουλο (1991)

Πίνακας 8.1. Συνοπτική παρουσίαση των μεταμορφωτικών επεισοδίων και συσχετισμούς τους με τα παραμορφωτικά επεισόδια.

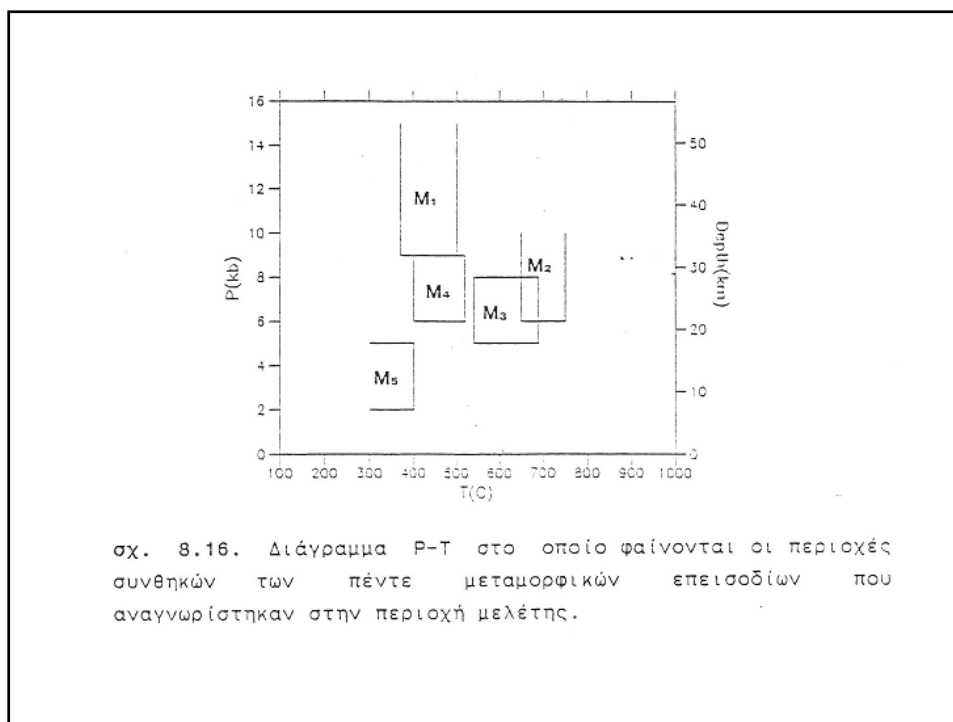
Μεταμορ. Επεισοδ.	Πηλίτες Ημιπηλίτ.	Μάρμαρα	Ασβεστο-πυριτικά	Μικρατί-τες	Αμφιβολ. μινερατίτ.	Μεταγραν. Θεοδώρ.	Αμφιθα-λίτες	Εκλο-γίτες	Μεταθασ. Παλατιαν.	Υπερθα-σικά	Γρανίτης Μυριόφυτ.	Παραμορ. Επεισοδ.
M1 <500°C >9-10kb								Gt, Crx, Rt	G1, Law; Pg;			;
M2 650°-700°C >8kb	Μερική τήξη Υπολειμ Βί(1), Mus(1) Ky		Di, Zo, Ca-anp, Qz, Pl, Cc	Ανορθη, και ένυ-θη τήξη του Mus.	Ενυθη τήξη ή διεύθυνση λευκοσμά-των	Γένεση του γρανίτη	Hbl(1) Pl	Αμφιθα-λιτίωση Εκλογιτ., συμπλεκτ. Di+Ab ή Hbl+Ab		Anth		D1
M3 540°-630°C 5-8kb	Gt(1), St, Ky, Si(2), Mus(2), Pl, Qz Προς το τέλος Mus(3), St(2)	Tr, Cc, Do1, Qz	Tr αντικα-θιστά Di	Μύλωνι-τίωση Αντακρυ-στάλλωση Qz	Βί αντικα-θιστά Hbl	Μύλωνι-τίωση Αντακρυ-στάλλωση Qz	Hbl(2) Pl, Si, St, Zz	Ευεχι-ζεται η αμφιθολι-τίωση		Tr O Anth αντικα-θιστάται από Tc		D2

57

Πίνακας 8.1. Συνοπτική παρουσίαση των μεταμορφωτικών επεισοδίων και συσχετισμούς τους με τα παραμορφωτικά επεισόδια.

Μεταμορ. Επεισοδ.	Πηλίτες Ημιπηλίτ.	Μάρμαρα	Ασβεστο-πυριτικά	Μικρατί-τες	Αμφιβολ. μινερατίτ.	Μεταγραν. Θεοδώρ.	Αμφιθα-λίτες	Εκλο-γίτες	Μεταθασ. Παλατιαν.	Υπερθα-σικά	Γρανίτης Μυριόφυτ.	Παραμορ. Επεισοδ.
M4 400°-520°C 8-9kb	St, Chl, Si(2), Si(3), Qz, Pl, Chl	Tc αντικα-θιστά Tr		Ανάπτυξη θιστίτη σερικίτη	St αντικα-θιστά Hbl	Ανάπτυξη θιστίτη	Act αντικα-θιστά Hbl	Act, Chl, Zo, Ep, Cc, Sph	Αντικατ. G1 από Chl, Ab και Pg από Zo, Ab	Εκτετα-μένα Σερπεντι-νίωση	Γένεση γρανίτη Μυριό-φυτου Παράμορ. Ανακρυσιτ.	D3
M5 χαμηλές συνθή-κες	Chl αντικα-θιστά Gt(1,2) Bi			Chl, Ep αντικα-θιστά Bi	Chl, Ep αντικα-θιστά Si						Chl, Ep αντικα-θιστά Bi	D4
												D5

58

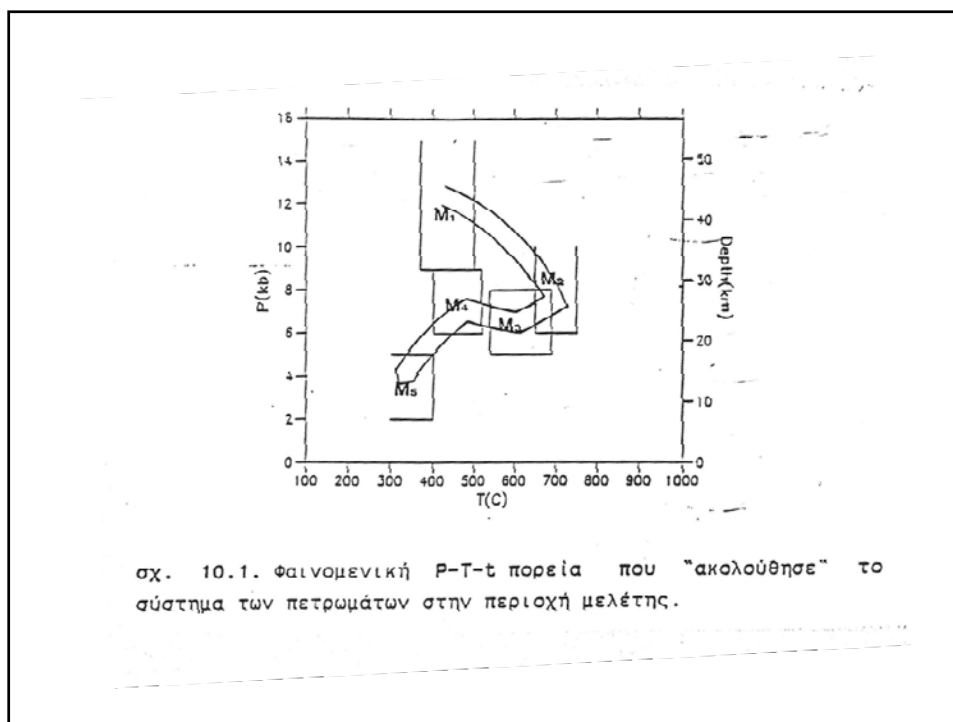


59

Προσπάθεια αναπαράστασης μιας P-T-t πορείας

- Αν στο διάγραμμα του σχήματος 8.16 συνδέσουμε τα πεδία φυσικών συνθηκών των πέντε μεταμορφικών επεισοδίων που αναγνωρίσαμε στην περιοχή μελέτης, θα έχουμε ένα φαινομενικά τυπικό P-T-t διάγραμμα.
- Η καμπύλη που συνδέει μεταξύ τους τα πεδία των πέντε επεισοδίων θα αντιστοιχούσε σε μία P-T-t πορεία (σχήμα 10.1).
- Η συνεχής P-T-t πορεία σε ένα τέτοιο διάγραμμα υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύει την πορεία που ακολουθεί ένα πέτρωμα ή ένα σύστημα πετρωμάτων στο πεδίο πίεσης και θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο.

60



61

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείες

- Οι πρώτες θεωρητικές μελέτες P-T-t πορειών αφορούσαν περιπτώσεις εξέλιξης παχυσμένου ηπειρωτικού φλοιού (England and Richardson, 1977, England and Thompson, 1384).
- Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας τέτοιας πορείας είναι μία περίοδος θερμικής επαναφοράς (thermal relaxation) που χαρακτηρίζεται από αύξηση της θερμοκρασίας.
- Αυτή ακολουθεί το στάδιο επίτευξης του μέγιστου της πίεσης κατά το γεγονός που προκάλεσε την πάχυνση του φλοιού.
- Το μέγιστο της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται κατά τη θερμική επαναφορά ακολουθείται από μία περίοδο ψύξης, καθώς το σύστημα επανέρχεται προς την επιφάνεια της γης.
- Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία **δεξιόστροφη P-T-t πορεία** κατά την οποία το μέγιστο της θερμοκρασίας έπεται σημαντικά από άποψη χρόνου σε σχέση με την επίτευξη του μέγιστου της πίεσης.

62

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

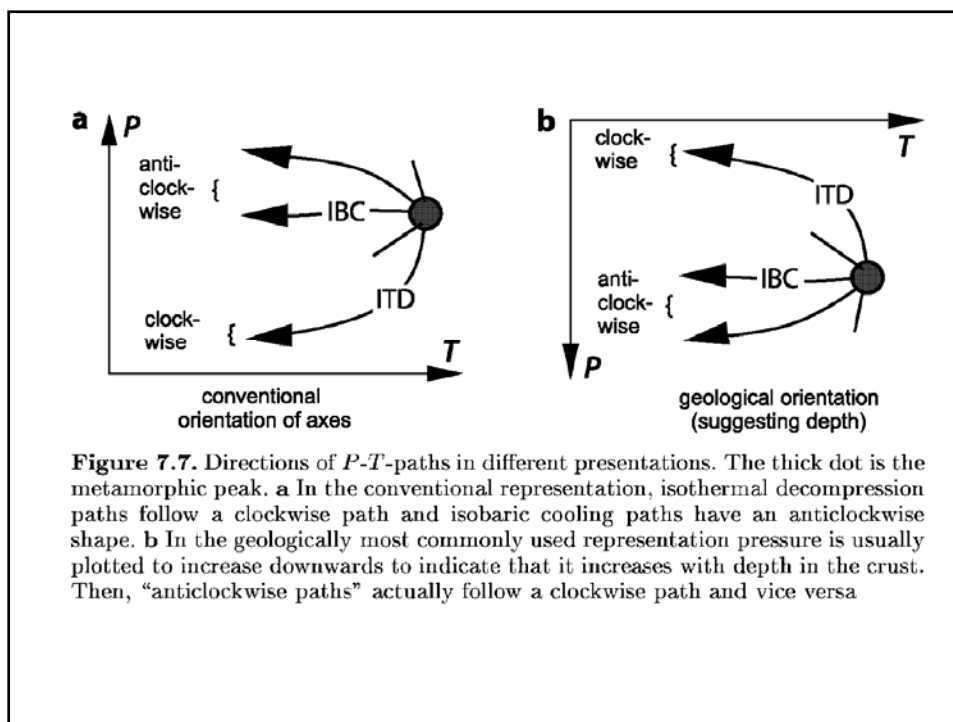
- Μία διαφορετική P-T-t πορεία μπορεί να προκύψει όταν έχουμε θέρμανση των πετρωμάτων και ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης που ακολουθείται από μία περίοδο ψύξης, η οποία όμως δε συνοδεύεται από σημαντική άνοδο του συστήματος ώστε να έχουμε πτώση της πίεσης.
- Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία **αριστερόστροφη P-T-t πορεία**.
- Πρέπει να σημειωθεί ότι **είναι σχεδόν αδύνατο να διατηρηθούν στα πετρώματα όλα τα στοιχεία εκείνα που μας αποκαλύπτουν μία ολοκληρωμένη P-T-t πορεία**.
- Έτσι, αυτό που μπορούμε να αναπαραστήσουμε κάθε φορά είναι ένα περισσότερα τμήματα μιας τέτοιας πορείας, και συνήθως από το ανάδρομο κομμάτι της διαδρομής.

63

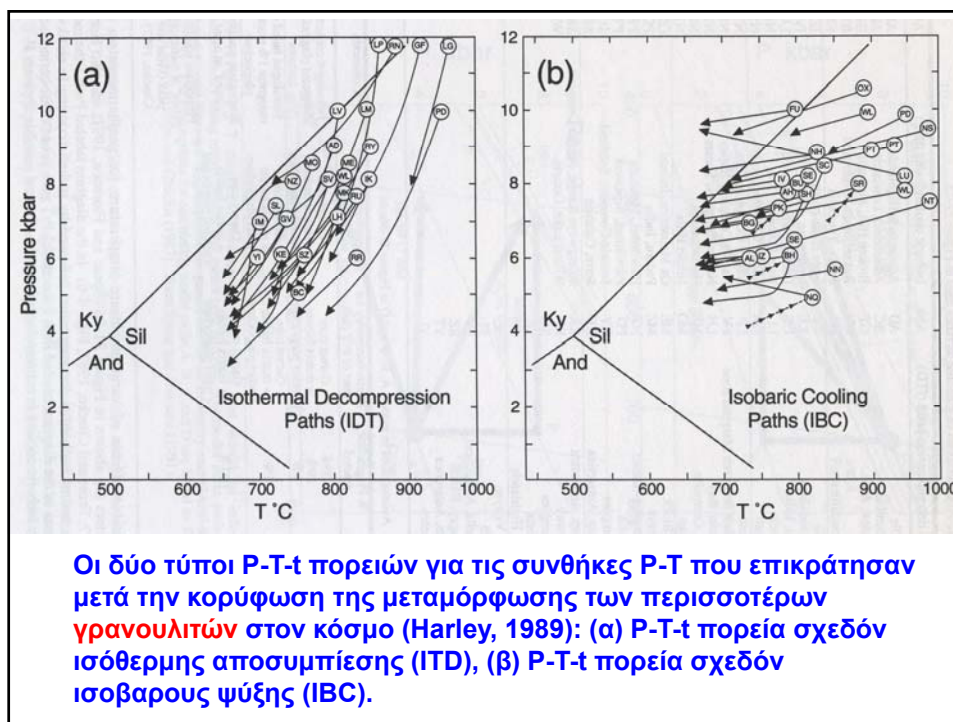
Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

- Σύμφωνα με τον Harley (1939) υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων αποσπασματικών P-T-t πορειών, που χαρακτηρίζουν κυρίως ανάδρομες μεταμορφικές ιστορίες:
 - α. Αυτοί που δείχνουν **ισοβαρή ψύξη** (isobaric cooling, **IBC**), και
 - β. Αυτοί που δείχνουν **ισόθερμη αποσυμπίεση** (isothermal decompression, **ITD**).

64



65



66

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

- Οι γεωτεκτονικές συνθήκες που ευνοούν την IBC πορεία είναι αυτές της πάχυνσης του φλοιού ή της μαγματικής προσθήκης (magmatic accretion) (Ellis, 1987, Bohlen, 1987, Bohlen and Mezger, 1989, Harley, 1989), ενώ οι Santiford and Powell (1986) προτείνουν ακόμα και τη λιθοσφαιρική έκταση ως υπαίτιο για IBC πορείες.
- Μία IBC πορεία μπορεί να είναι η ανάδρομη συνέχεια μιας δεξιόστροφης ή αριστερόστροφης προϊούσας πορείας.
- Άλλοι υποστηρίζουν ότι η IBC πορεία είναι πάντοτε κλάδος μίας πλήρους αριστερόστροφης πορείας.

67

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

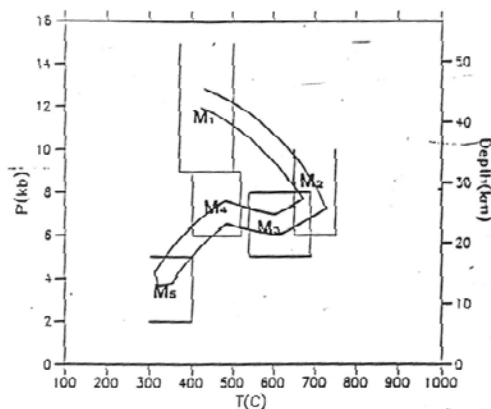
- Αντίθετα, μια **ITD πορεία** είναι κλάδος μιας πλήρους δεξιόστροφης πορείας (Hoi lister, 1982, Brown and Earle, 1982, Droop and Bucher-Nurminen, 1984., Harris and Holland, 1984) που έχει όμως πιο απότομες κλίσεις από τη δεξιόστροφη P-T-t πορεία του προτύπου των England and Richardson (1977) και England and Thompson (1984) για την περίπτωση ανόδου του φλοιού εξαιτίας της επιφανειακής διάβρωσης.
- Σύμφωνα με τον Harley (1989) μία τέτοια γρήγορη άνοδος του συστήματος, όπως υποδεικνύεται από μια ITD πορεία, μπορεί να γίνει με απότομες ανοδικές κινήσεις του φλοιού.
- Κάτι τέτοιο μπορεί να είναι αποτέλεσμα **διαπυρικής ανοδικής κίνησης του πυρήνα μιας μιγματιτικής ζώνης** (Jones and Brown, 1990), ή **μιας παραμόρφωσης που συνοδεύει τήξη** (Hoi lister and Crawford, 1985), ή τέλος **μιας τεκτονικής λέπτυνσης εξαιτίας έκτασης του ήδη παχυσμένου φλοιού** (Sender et al, 1987).

68

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

- Όλα τα προηγούμενα όμως αφορούν την περίπτωση κατά την οποία μία P-T-t πορεία εξελίσσεται στη διάρκεια ενός μόνο ορογενετικού κύκλου.
- Αν υποθέσουμε ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει και στην περιοχή της Σερβομακεδονικής, τότε το διάγραμμα του σχήματος 10.1 πλησιάζει μεν περισσότερο σε μια δεξιόστροφη πορεία, δεν μπορεί όμως να θεωρηθεί ως μια τυπική IBC ή ITD πορεία.
- Παρόλα αυτά διακρίνονται τμήματα στην πορεία αυτή που το καθένα έχει αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά ενός από τους δύο τύπους.

69



σχ. 10.1. Φαινομενική P-T-t πορεία που "ακολούθησε" το σύστημα των πετρωμάτων στην περιοχή μελέτης.

70

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

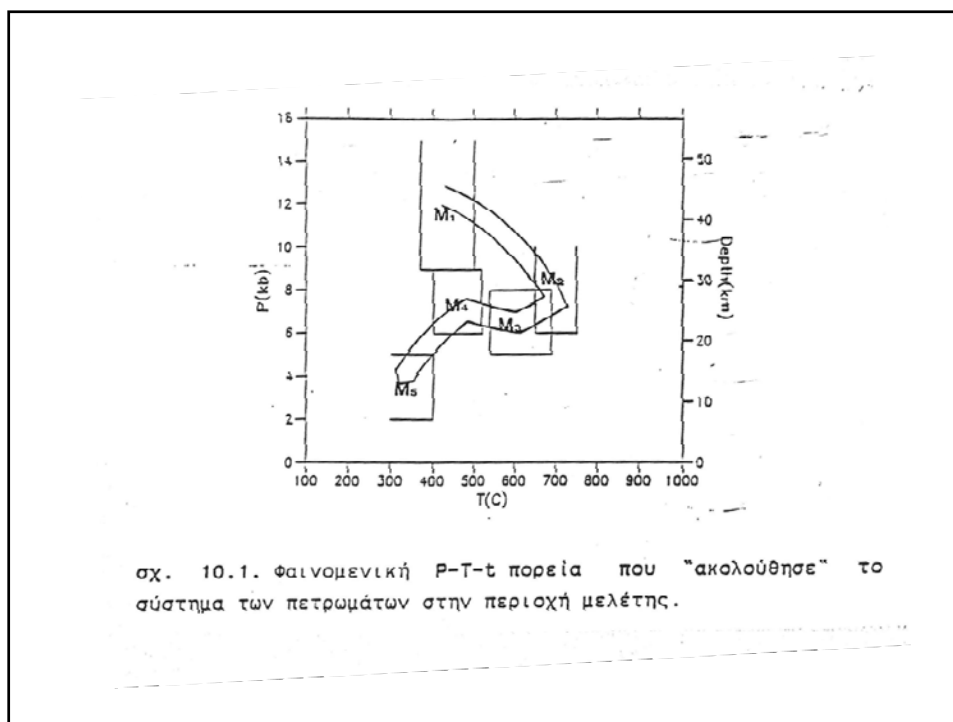
- Όπως έχει συνειδητοποιηθεί τα τελευταία χρόνια οι πραγματικές P-T-t πορείες που ακολουθούν τμήματα του φλοιού μπορεί να είναι εξαιρετικά πολύπλοκες, εξαιτίας:
 - είτε των θερμικών επιπλοκών που εισάγουν οι πτυχώσεις μεγάλης κλίμακας,
 - είτε της δυνατότητας πλευρικής θερμικής μεταφοράς σε συνδυασμό με κατακόρυφες κινήσεις,
 - είτε της παρεμβολής μαγματικών γεγονότων.
- Οι πορείες αυτές μπορεί να απέχουν σημαντικά από τα εντελώς θεωρητικά και απλουστευμένα μοντέλα που έγιναν πολύ δημοφιλή τα τελευταία χρόνια.

71

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

- Η Φαινομενική λοιπόν P-T-t "πορεία" που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 10.1 μπορεί να μην αντιπροσωπεύει ακριβώς κάποια πραγματική τέτοια πορεία, αφού τα μεταμορφικά επεισόδια που συνδέει είναι "στιγμές" μιας μακράς εξελικτικής διαδρομής, της οποίας οι πολλές άλλες "στιγμές" μας είναι άγνωστες.
- Εξάλλου, η φαινομενική αυτή πορεία μπορεί να είναι τεχνητή σύνθεση τμημάτων διαφορετικών μεταξύ τους επιμέρους πορειών, που ανήκουν σε διαφορετικούς ορογενετικούς κύκλους.

72



73

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείες

- Η παράμετρος t στην P-T-t πορεία του διαγράμματος του σχήματος 10.1 δεν έχει απόλυτη αριθμητική έκφραση αλλά μόνο συγκριτική.
- Δεν γνωρίζουμε δηλ. την απόλυτη ηλικία του κάθε μεταμορφικού επεισοδίου, αλλά μόνο τη χρονική σειρά που αυτά έλαβαν χώρα (πρώτα το M1, στη συνέχεια το M2 κ.λ.π).
- Είναι δυνατό λοιπόν η χρονική απόσταση ορισμένων από αυτά τα επεισόδια να είναι τόσο μεγάλη ώστε να αποκλείει τη συμμετοχή όλων στον ίδιο ορογενετικό κύκλο ή σε μια συνεχόμενη αλληλουχία γεωτεκτονικών συμβάντων.

74

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

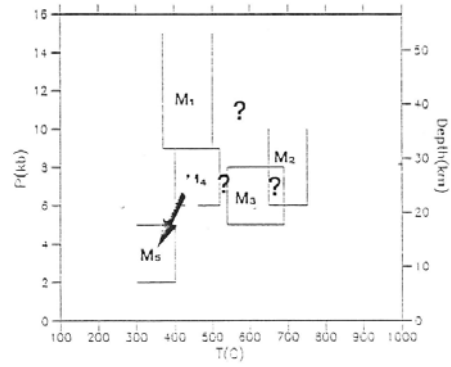
- Για τα μεταμορφικά επεισόδια M3 και M4 υπάρχουν ενδείξεις ότι πρόκειται για επεισόδια προϊούσας και όχι ανάδρομης μεταμόρφωσης.
- Αυτό σημαίνει ότι πιθανότατα είναι λανθασμένη μία απ' ευθείας σύνδεση τους στον κλάδο μιας ανάδρομης πορείας P-T-t, όπως αυτή που υποδηλώνεται στο σχήμα 10.1.
- Τέλος, υπάρχουν στοιχεία, που μαρτυρούν ότι ένα τμήμα της γεωτεκτονικής εξέλιξης της ευρύτερης Σερβομακεδονικής μάζας πραγματοποιήθηκε στο Μεσοζωικό, ενώ η μάζα αυτή σχετίζεται επίσης με ορογενετικούς κύκλους Παλαιοζωικής ηλικίας.

75

Μερικά στοιχεία για τις P-T-t πορείας

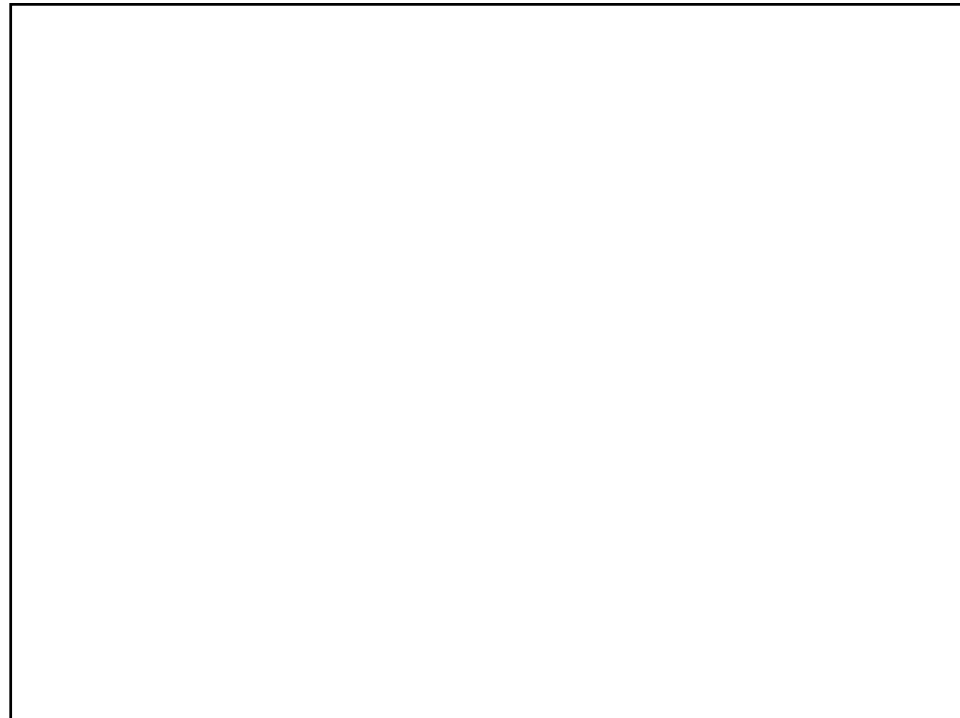
- Θα ήταν πιθανότατα λάθος να συνδεθούν μεταξύ τους τα πέντε μεταμορφικά επεισόδια που διακρίθηκαν με μία απλή δεξιόστροφη P-T-t πορεία, όπως αυτή του σχήματος 10.1.
- Το πιθανότερο είναι ότι αυτά αντιπροσωπεύουν τμήματα περισσότερων ορογενετικών κύκλων και κατ' επέκταση μιας πολύ περισσότερο πολύπλοκης πραγματικής πορείας.
- Πιο ρεαλιστικό ίσως θα ήταν το, γεμάτο αβεβαιότητες "διάγραμμα" του σχήματος 10.2.

76



σχ. 10.2. P-T-t διάγραμμα όπου φαίνονται οι περιοχές φυσικών συνθηκών των διαδοχικών μεταμορφικών επεισοδίων και όπου σημειώνονται οι αβεβαιότητες της μεταξύ τους σύνδεσης.

77



78