

## Πετρολογία Μαγματικών και Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων

### Διάλεξη 9η:

- ✓ **Ζώνες – Ισόβαθμοι – Φάσεις Μεταμόρφωσης**
- ✓ **Διαγραμματική απεικόνιση ορυκτολογικών παραγενέσεων (AFM, ACF διαγράμματα)**

Ακαδημαϊκό Έτος 2019-2020

Διδάσκων: I. Ηλιόπουλος

### Η προοδευτική «φύση» της μεταμόρφωσης

- Οι **παραγενέσεις** στα μεταμορφωμένα πετρώματα διατηρούν την ισορροπία καθώς ο βαθμός μεταμόρφωσης αυξάνει
- Ένα μεταμορφωμένο πέτρωμα υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης πέρασε διαμέσου όλων των ορυκτολογικών αλλαγών που απαιτούνταν ώστε κάθε φορά να διατηρείται η ισορροπία καθώς αυξανόταν ο βαθμός μεταμόρφωσης, και όχι με απότομη μετάβαση από την αρχική κατάσταση στην τελική.
- Ισχυρή ένδειξη της προοδευτικότητας: η εύρεση μετασταθών υπολειμματικών ορυκτών που αντιδρούν μερικώς προς την ορυκτή φάση υψηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης.

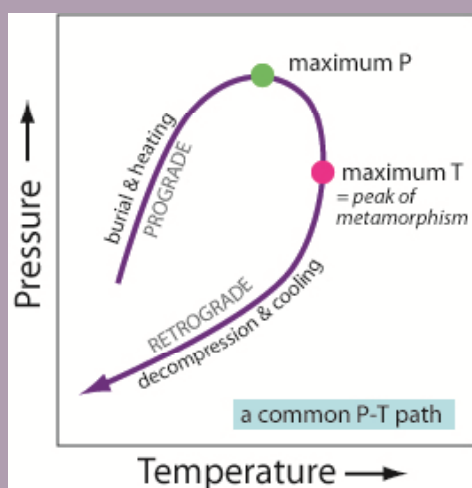
## Η προοδευτική «φύση» της μεταμόρφωσης

- Όλα τα πετρώματα που βρίσκουμε σήμερα, σίγουρα έχουν ψυχθεί στην θερμοκρασία της επιφάνειας της γης
- Ένα μεταμορφωμένο πέτρωμα που ακολούθησε έναν κύκλο προοδευτικής μεταμόρφωσης και στην συνέχεια δέχθηκε και μια μείωση του βαθμού μεταμόρφωσης, σε ποιο σημείο αυτής της κυκλικής διαδρομής P-T-t εξισορρόπησε τελικά η τωρινή του παραγένεση ;

23/4/2020

3

## Συνήθης διαδρομή P-T-t μεταμορφωμένων

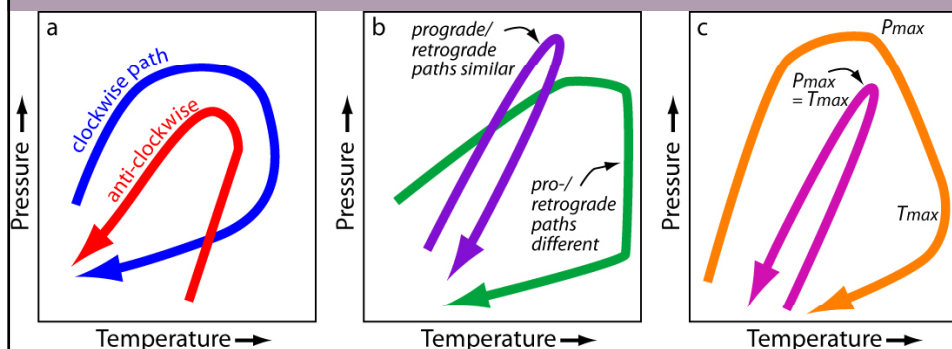


(από: [http://serc.carleton.edu/research\\_education/equilibria/PTtPaths.html](http://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/PTtPaths.html))

23/4/2020

4

## Είδη διαδρομών P-T-t στη μεταμόρφωση



(από: [http://serc.carleton.edu/research\\_education/equilibria/PTtPaths.html](http://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/PTtPaths.html))

23/4/2020

5

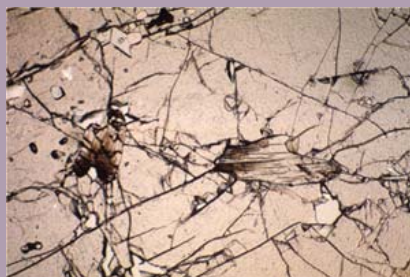
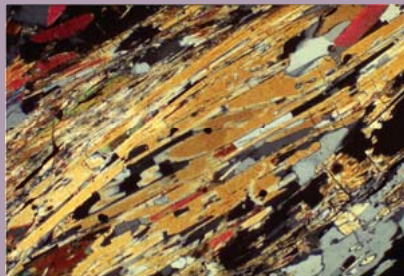
## Πως προσδιορίζουμε μια P-T-t ιστορία

- Συχνά το μόνο κομμάτι της ιστορίας P-T που αποτυπώθηκε στην παραγένεση του αφορά την κορύφωση της μεταμόρφωσης (δηλ. την μέγιστη T και την μέγιστη P σε αυτήν την T).
- Αν το πέτρωμα είχε έναν ιζηματογενή ή ηφαιστειογενή πρωτόλιθο, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το πέτρωμα ξεκίνησε στην επιφάνεια, έφτασε τις μέγιστες συνθήκες σε κάποια T και σε ένα βάθος μέσα στη γη, και επέστρεψε στην επιφάνεια (όπου και το συλλέξαμε).
- Κατά την κορύφωση της μεταμόρφωσης η παραγένεση ισορρόπησε, και καμία άλλη αντίδραση δε συνέβη κατά την ψύξη και αποσυμπίεση στην πορεία του προς την επιφάνεια της γης.

23/4/2020

6

## Εγκλείσματα σε πορφυροβλάστες

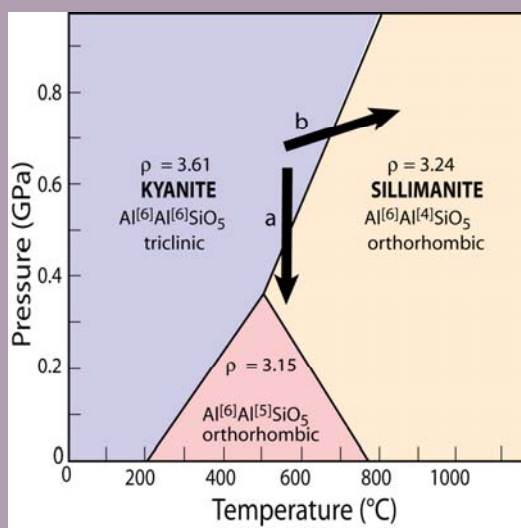


(από:  
[http://serc.carleton.edu/research\\_education/eq\\_uilibria/PTtPaths.html](http://serc.carleton.edu/research_education/eq_uilibria/PTtPaths.html))

23/4/2020

7

## Εγκλείσματα σε πορφυροβλάστες

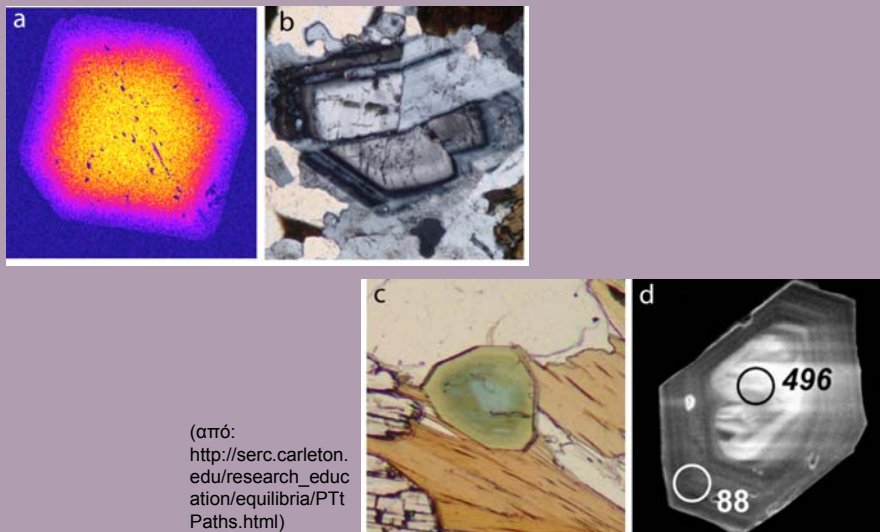


(από: [http://serc.carleton.edu/research\\_education/eq\\_uilibria/PTtPaths.html](http://serc.carleton.edu/research_education/eq_uilibria/PTtPaths.html))

23/4/2020

8

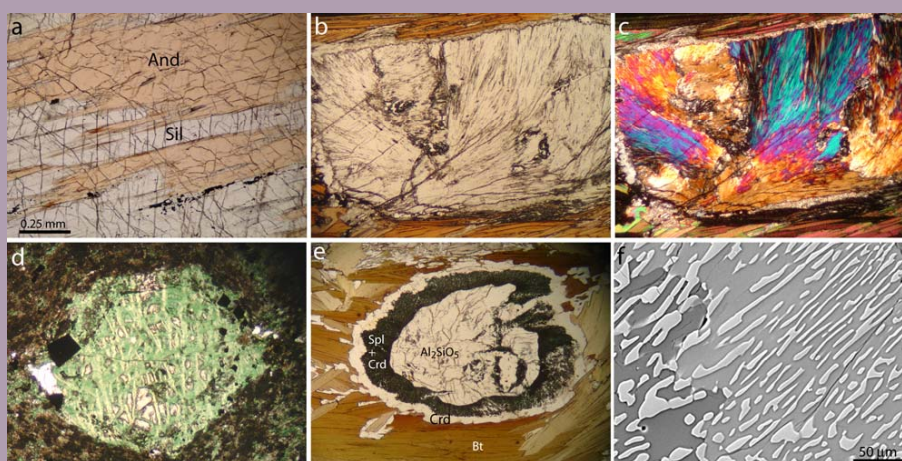
## Ζώνωση πορφυροβλάστων



23/4/2020

9

## Ιστοί αντίδρασης



23/4/2020

10

## Πως ερμηνεύουμε μια P-T-t ιστορία

- Θα πρέπει να συνδυάζουμε τις συνθήκες P-T, σχήμα πορείας καθώς και τη διάρκεια και τον ρυθμό των τμημάτων P-T με τα αίτια που προκαλούν τη μεταμόρφωση.
- Δεν αρκεί από μόνο του το σχήμα της πορείας για μια μονοσήμαντη ερμηνεία των τεκτονικών διεργασιών.
- Στην ιδανική περίπτωση P-T-t πορείας σε κάθε στάδιο της επιτυγχάνονται συνθήκες ισορροπίας έως ότου «κλειδώσει» η τελική παραγένεση στις συνθήκες κορύφωσης. Αυτό όμως αγνοεί τους κινητικούς παράγοντες των αντιδράσεων που συχνά εμπλέκονται.
- Είναι επίσης σημαντική η καταλυτική επιρροή της παραμόρφωσης στις μεταμορφικές αντιδράσεις.

23/4/2020

11

## Η προοδευτική «φύση» της μεταμόρφωσης

- Η ζωνώδης κατανομή μεταμορφωμένων τύπων πετρωμάτων, η οποία διατηρείται σε γεωγραφικές ακολουθίες αυξανόμενου βαθμού μεταμόρφωσης υποδεικνύει ότι κάθε πέτρωμα διατηρεί τις συνθήκες του υψηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης (θερμοκρασίας).
- Η ανάδρομη μεταμόρφωση φαίνεται να είναι πολύ πιο περιορισμένης σημασίας

23/4/2020

12

## Η προοδευτική «φύση» της μεταμόρφωσης

- Οι προοδευτικού τύπου μεταμορφικές αντιδράσεις είναι κυρίως **ενδοθερμικού χαρακτήρα** (καταναλώνουν θερμότητα).
- Έτσι η θερμότητα που παρέχεται στα προοδευτικά μεταμορφωμένα πετρώματα θα **επιταχύνει τις μεταμορφικές αντιδράσεις**, και ιδιαίτερα τις αφυδατωτικές και εκείνες που απελευθερώνουν  $\text{CO}_2$ , οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλες αλλαγές όγκου και ενθαλπίας.

23/4/2020

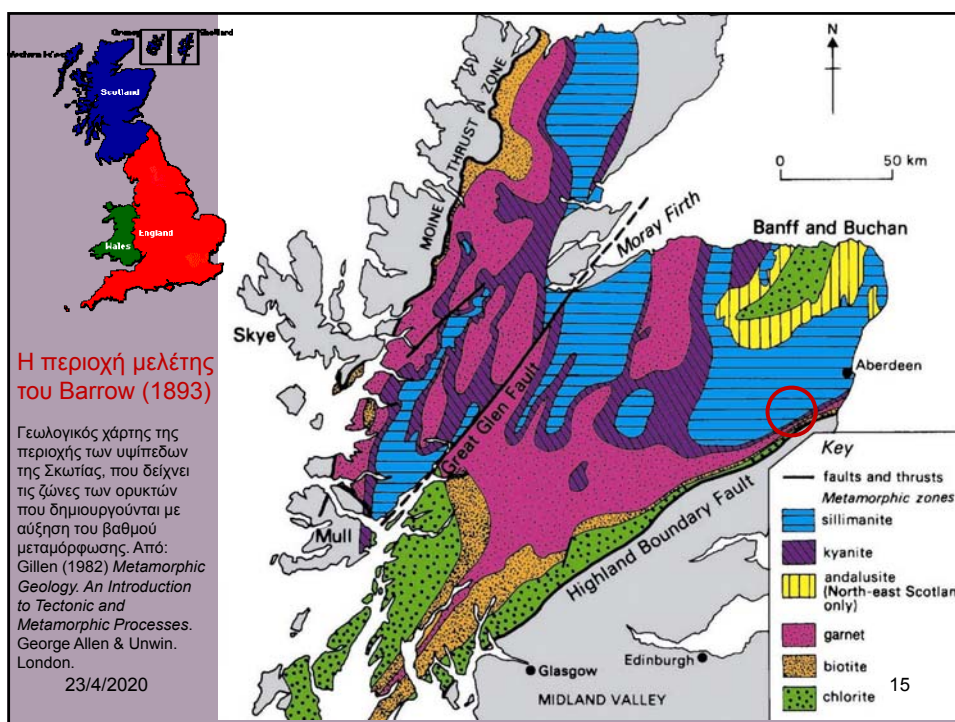
13

## Η προοδευτική «φύση» της μεταμόρφωσης

- Οι ανάδρομες αντιδράσεις είναι γενικά **εξώθερμες**
- Έτσι δεν υπάρχει η απαραίτητη δύναμη για να τις ενεργοποιήσει καθώς ένα πέτρωμα ψύχεται.
- Η επανενυδάτωση και η εκ νέου ενανθράκωση των πετρωμάτων θα απαιτούσε την επανείσοδο των μεταμορφικών ρευστών πίσω στα πετρώματα από τα οποία απελευθερώθηκαν. Αλλα αυτό δεν είναι τόσο εύκολο όσο ήταν η απομάκρυνσή τους.

23/4/2020

14



## Ισόβαθμες

- Τα όρια των ζωνών ονομάζονται **ισόβαθμες (isograds)** και παριστάνουν επιφάνειες πάνω στις οποίες ο βαθμός μεταμόρφωσης είναι ~σταθερός.
- Παράδειγμα: η ισόβαθμος του γρανάτη είναι η επιφάνεια που διαχωρίζει πετρώματα της ζώνης του γρανάτη από εκείνα της ζώνης του βιοτίτη.

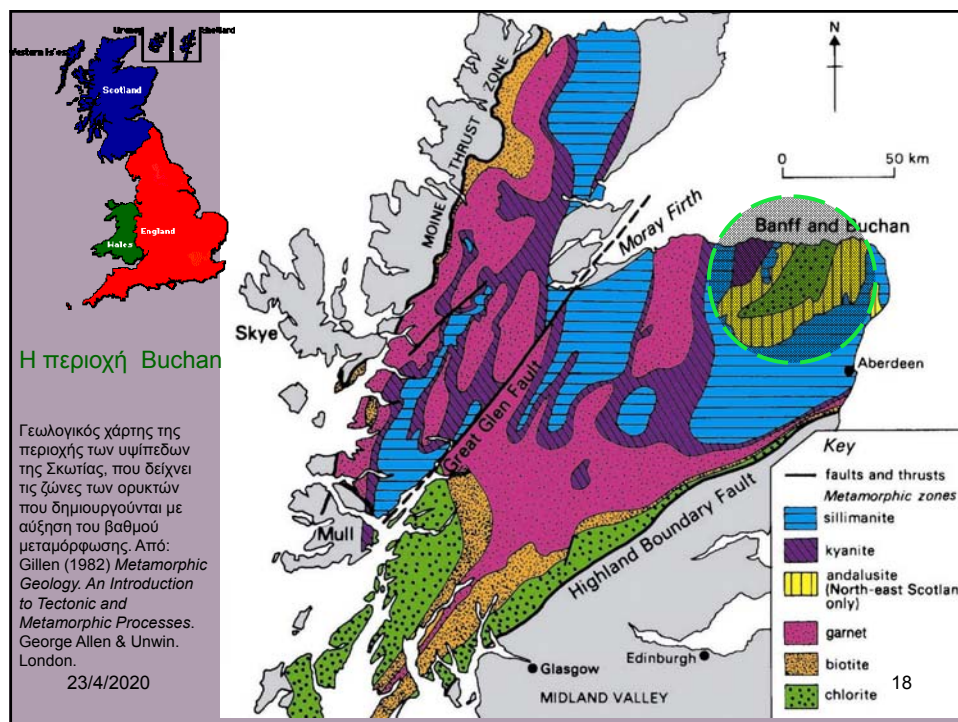


## Ζώνες Barrow

ΖΩΝΗ	ΠΑΡΑΓΕΝΕΣΕΙΣ
χλωρίτη	χαλαζίας-μοσχοβίτης- <b>χλωρίτης</b> -αλβίτης
βιοτίτη	χαλαζίας-μοσχοβίτης-χλωρίτης- <b>βιοτίτης</b> -αλβίτης
γρανάτη	χαλαζίας-μοσχοβίτης-βιοτίτης- <b>γρανάτης</b> -αλβίτης ή ολιγόκλαστο
σταυρόλιθου	χαλαζίας-μοσχοβίτης-βιοτίτης-γρανάτης- <b>σταυρόλιθος</b> -ολιγόκλαστο
κυανίτη	χαλαζίας-μοσχοβίτης-βιοτίτης-γρανάτης- <b>κυανίτης</b> -ολιγόκλαστο
σιλλιμανίτη	χαλαζίας-μοσχοβίτης-βιοτίτης-γρανάτης-ολιγόκλαστο- <b>σιλλιμανίτης</b>

23/4/2020

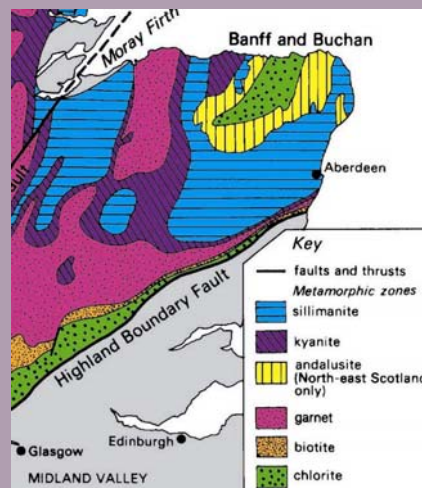
17



## Ζώνες Buchan

- Ίδια σύσταση (πηλιτική), όμως η ακολουθία των ισόβαθμων μεταβάλλεται:

- χλωρίτης
- βιοτίτης
- κορδιερίτης
- ανδαλουσίτης
- σιλλιμανίτης



## Ζώνες Buchan

### Ζώνες Barrow

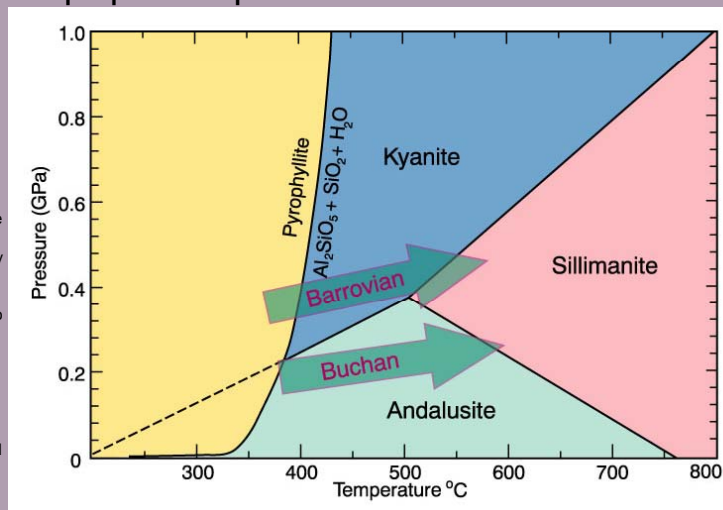
- γρανάτη, σταυρόλιθο και κυανίτη

### Ζώνες Buchan

- ανδαλουσίτη και κορδιερίτη

Το πεδίο σταθερότητας του ανδαλουσίτη βρίσκεται σε πιέσεις χαμηλότερες από 0.37 GPa (~ 10 km), ενώ kyanite → sillimanite στη ισόβαθμη του σιλλιμανίτη μόνο πάνω από αυτή την πίεση

**Figure 21.9.** The P-T phase diagram for the system  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  showing the stability fields for the three polymorphs andalusite, kyanite, and sillimanite. Also shown is the hydration of  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  to pyrophyllite, which limits the occurrence of an  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  polymorph at low grades in the presence of excess silica and water. The diagram was calculated using the program TWQ (Berman, 1988, 1990, 1991).



## Το πρόβλημα

- Τα αντίστοιχα μεταβασικά πετρώματα στην περιοχή Dalradian έχουν την παραγένεση: κερροσίλβη + πλαγιόκλαστο
- Τι θα γινόταν λοιπόν στην περίπτωση που δεν υπήρχαν πετρώματα ηηλιτικής σύστασης;

**ΦΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

(Escola, 1915)

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

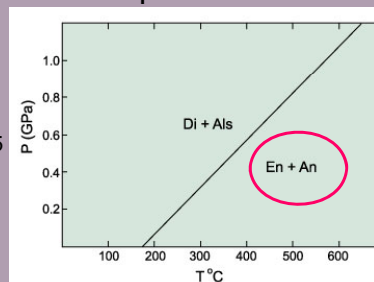
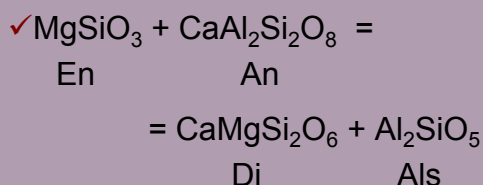
- Ο V.M. Goldschmidt (1911, 1912a), μελετά πηλιτικά και ανθρακικά πετρώματα επαφής και ψαμμιτικούς κερατίτες στην περιοχή του Oslo
- Παρατηρεί σχετικά απλές ορυκτολογικές παραγενέσεις (< 6 κύρια ορυκτά) στις εσωτερικές ζώνες των άλω επαφής γύρω από γρανιτοειδείς διεισδύσεις
- **Σύνδεση παραγενέσεων ισοροπίας με την  $X_{\text{bulk}}$**
- Al-ουχοι πηλίτες: περιέχουν πλούσια σε Al ορυκτά: κορδιερίτη, πλαγιόκλαστο, γρανάτη και/ή ένα  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$
- Ca-ούχα πετρώματα: περιέχουν πλούσια σε Ca ορυκτά: Di, Wo, and/or amphibole

23/4/2020

23

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

- ✓ Ορισμένα ζεύγη ορυκτών (π.χ. ανορθίτης + υπερσθενής) ήταν συνεχώς παρόντα σε πετρώματα με κατάλληλη σύσταση, ενώ το **συστασιακά ισοδύναμο** ζεύγος (διοψίδιος + ανδαλουσίτης) δεν εμφανιζόταν
- ✓ Αν δύο παραγενέσεις είναι  $X_{\text{bulk}}$ -ισοδύναμες, πρέπει να μπορούμε να τις συσχετίσουμε με μια αντίδραση
- ✓ Στην περίπτωση μας η αντίδραση είναι απλή:



23/4/2020

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

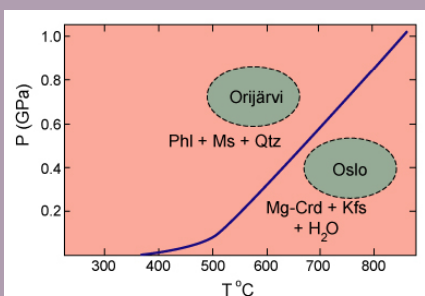
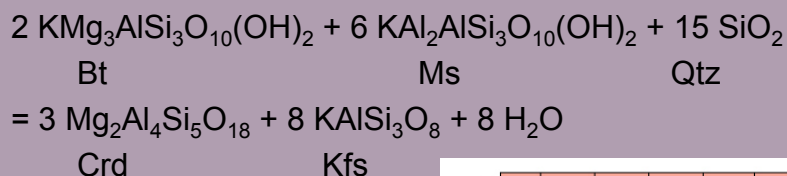
- Pentti Eskola (1914, 1915) Orijärvi, S. Finland
- Πετρώματα που στο Όσλο περιείχαν  
**K-feldspar + cordierite**,  
στο Orijärvi εμφάνιζαν το συστασιακά ισοδύναμο  
ζεύγος **biotite + muscovite**
- **Eskola**: η διαφοροποίηση πρέπει να αντανακλά  
διαφορετικές φυσικές συνθήκες
- Τα πετρώματα της Φινλανδίας (πιο ένυδρη και πιο  
μικρού όγκου παραγένεση) εξισορρόπησαν σε  
χαμηλότερες T και υψηλότερες P σε σχέση με  
εκείνα της Νορβηγίας.

23/4/2020

25

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

- Oslo: Ksp + Cord
- Orijärvi: Bi + Mu
- αντίδραση:



23/4/2020

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

- Βάσει των σχέσεων μεταξύ σύστασης πετρωμάτων και ορυκτολογικών παραγενέσεων, αλλά και την αναγνώριση των ίδιων παραγενέσεων σε όλο τον κόσμο, Ο Eskola (1915) αναπτύσσει την έννοια των **μεταμορφικών φάσεων**:

*“Σε κάθε πέτρωμα ή μεταμορφικό σχηματισμό που έχει φτάσει σε χημική ισορροπία μέσω της μεταμόρφωσής του σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, η σύσταση των ορυκτών ελέγχεται από τη χημική σύσταση”*

Οδηγούμαστε έτσι σε μια γενική έννοια που ο συγγραφέας προτείνει να ονομάζουμε **μεταμορφική φάση**.

23/4/2020

27

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

- Οι **ζώνες του Βαγιου** περιορίζονται σε **πηλιτικές συστάσεις** και ήταν πολύ στενές ώστε να επιτρέψουν την άμεση συσχέτισή τους με άλλες περιοχές
- Οι **μεταμορφικές φάσεις** του Eskola, βασίστηκαν σε μεταμορφωμένα **βασικά πετρώματα**
- Βασαλτικά πετρώματα υπάρχουν σε όλες τις ορογενετικές ζώνες, και οι ορυκτολογικές αλλαγές σε αυτά προσδιορίζουν πιο ευρείες περιοχές συνθηκών P-T από ότι στα αντίστοιχα πηλιτικά πετρώματα
- Έτσι οι μεταμορφικές φάσεις παρέχουν έναν πολύ βολικό τρόπο για να συγκρίνουμε μεταμορφικές περιοχές από όλο τον κόσμο.

23/4/2020

28

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

- Διπτός ο ρόλος της έννοιας των φάσεων μεταμόρφωσης:

### 1. Περιγραφικός: σχέσεις μεταξύ $X_{\text{bulk}}$ & ορυκτολογίας

- Θεμελιώδες χαρακτηριστικό της έννοιας που πρότεινε ο Eskola
- Μια μεταμορφική φάση περιλαμβάνει μια ομάδα διάφορων πετρολογικών τύπων ή παραγενέσεων που επανειλημμένα έχει παρατηρηθεί ότι συνυπάρχουν τοπικά και χρονικά και έχουν σχηματισθεί κάτω από παρόμοιες συνθήκες P-T
- Αν εντοπίσουμε στην ύπαιθρο μια συγκεκριμένη ορυκτολογική παραγένεση (ή ακόμη καλύτερα, μια ομάδα συμβατών μεταξύ τους παραγενέσεων που καλύπτουν ένα εύρος  $X_{\text{bulk}}$ ), τότε μια συγκεκριμένη φάση θα μπορεί να αντιστοιχηθεί στη περιοχή

23/4/2020

29

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

### 2. Ερμηνευτικός: το εύρος συνθηκών P και T που αντιπροσωπεύεται από κάθε μεταμορφική φάση

- Ο Eskola είχε αναγνωρίσει τις επιπτώσεις των P-T και προσδιόρισε τις σχετικές θερμοκρασίες και πιέσεις των φάσεων που πρότεινε
- Τώρα πια μπορούμε να αντιστοιχίσουμε με ακρίβεια τα όρια θερμοκρασίας και πίεσης της κάθε μία φάσης, λόγω της σημαντικής προόδου της πειραματικής πετρολογίας και των θερμοδυναμικών δεδομένων.

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

---

Ο Eskola (1920) πρότεινε αρχικά 5 φάσεις:

- Πρασινοσχιστολιθική
- Αμφιβολιτική
- Κερατιτική
- Σανιδινική
- Εκλογιτική

Εύκολα προσδιορίσιμες βάση των ορυκτολογικών παραγενέσεων που αναπτύσσονται σε **μαφικά** πετρώματα

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

---

Το 1939 ο Eskola προσέθεσε:

- Γρανουλιτική
- Επιδοτο-αμφιβολιτική
- Γλαυκοφανιτική (ή πιο συχνά κυανοσχιστολιθική)

... και άλλαξε το όνομα της κερατιτικής φάσης σε πυροξενιτική κερατιτική φάση



## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

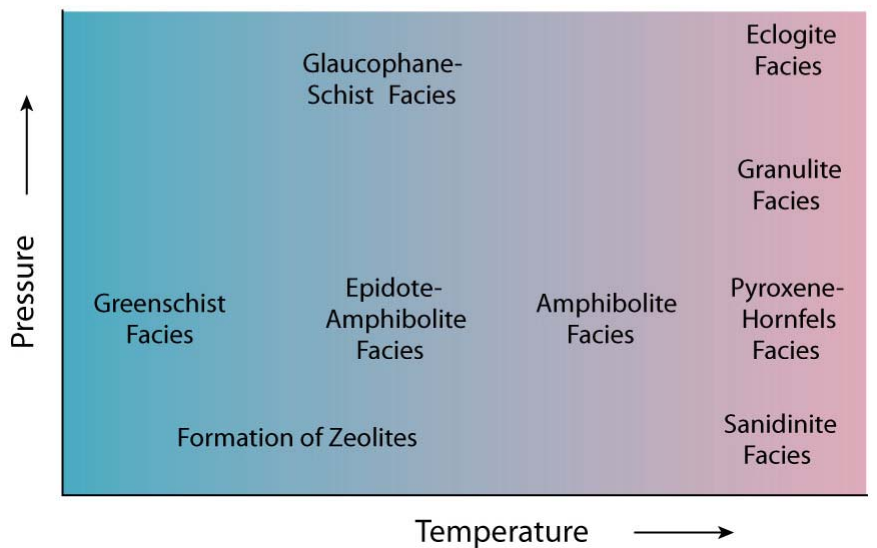


Fig. 25.1 The metamorphic facies proposed by Eskola and their relative temperature-pressure relationships. After Eskola (1939) *Die Entstehung der Gesteine*. Julius Springer, Berlin.

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

Προστέθηκαν τελικά και πολλές άλλες φάσεις:

- Ζεολιθική
- Πρενιτική-Πουμπελλυϊτική

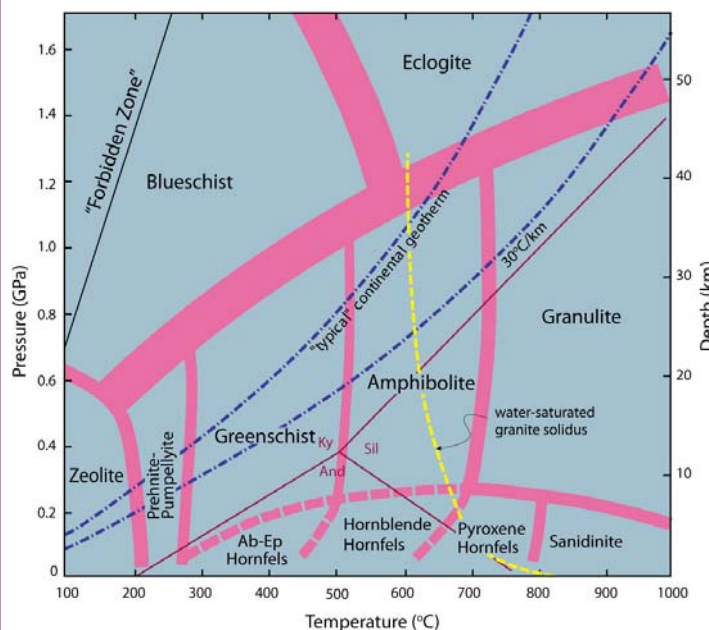
...από τον Coombs για τα πεδία «μεταμόρφωσης ενταφιασμού» στην Νέα Ζηλανδία

Fyfe *et al.* (1958) :

- Αλβιτο-επιδοτιτική κερατιτική
- Κεροστιλβική κερατιτική

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

**Fig. 25.2.** Temperature-pressure diagram showing the generally accepted limits of the various facies used in this text. Boundaries are approximate and gradational. The "typical" or average continental geotherm is from Brown and Mussett (1993). Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.



## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

Οι οριστικές ορυκτολογικές παραγενέσεις που χαρακτηρίζουν κάθε φάση (για μαφικά πετρώματα).

**Table 25-1.** Definitive Mineral Assemblages of Metamorphic Facies

Facies	Definitive Mineral Assemblage in Mafic Rocks
Zeolite	zeolites: especially laumontite, wairakite, analcime
Prehnite-Pumpellyite	prehnite + pumpellyite (+ chlorite + albite)
Greenschist	chlorite + albite + epidote (or zoisite) + quartz ± actinolite
Amphibolite	hornblende + plagioclase (oligoclase-andesine) ± garnet
Granulite	orthopyroxene (+ clinopyroxene + plagioclase ± garnet ± hornblende)
Blueschist	glaucophane + lawsonite or epidote (+albite ± chlorite)
Eclogite	pyrope garnet + omphacitic pyroxene (± kyanite)
Contact Facies	Mineral assemblages in mafic rocks of the facies of contact metamorphism do not differ substantially from that of the corresponding regional facies at higher pressure.

After Spear (1993)

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

Είναι βολικό να θεωρούμε τις μεταμορφικές φάσεις σε 4 ομάδες:

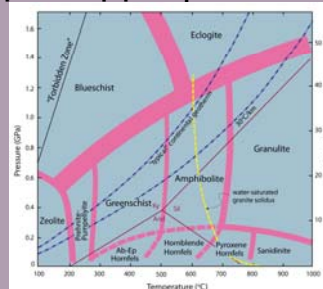
### 1) Φάσεις υψηλών πιέσεων

- Η **κυανοσχιστολιθική** και η **εκλογιτική** φάση: ορυκτά χαμηλού μοριακού όγκου σε συνθήκες υψηλών P
- Οι **περιοχές κυανοσχιστολικής φάσης** είναι περιοχές χαμηλών γεωθερμικών βαθμίδων: **ζώνες υποβύθισης**
- **Εκλογίτες**: σταθεροί σε κανονικές γεωθερμικές συνθήκες  
Βαθιοί φλοιϊκοί θάλαμοι ή φλέβες, υποβυθιζόμενοι φλοιός που επανακατανέμεται εντός του μανδύα

## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

### 2) Φάσεις μετρίων πιέσεων

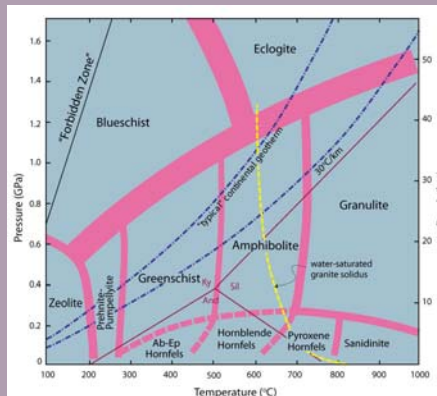
- Τα περισσότερα από τα μεταμορφωμένα πετρώματα που εκτίθενται στην επιφάνεια της γής ανήκουν στην **πρασινοσχιστολιθική**, **αμφιβολιτική** και **γρανουλιτική** φάση
- Η **πρασινοσχιστολιθική** και η **αμφιβολιτική** συμβαδίζουν με την «τυπική» γεωθερμική βαθμίδα



## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

### 3) Φάσεις χαμηλών πιέσεων

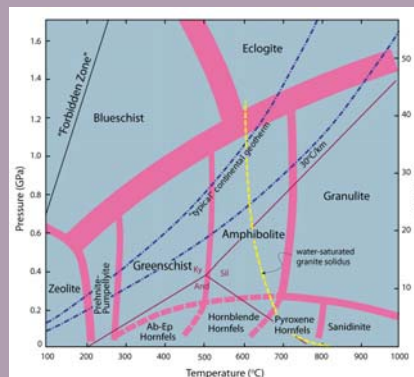
- Αλβιτο-επιδοτο κερατιτική, κερροστιλβο-κερατιτική, και πυροξενο-κερατιτική φάση: περιοχές μεταμόρφωσης επαφής και καθολικής μεταμόρφωσης με πολύ υψηλή γεωθερμική βαθμίδα.
- Σανιδινική φάση: σπανίζει (περιορίζεται σε ξενόλιθους βασικών μαγμάτων και στα πλέον εσωτερικά μέρη κάποιων άλλω επαφής)



## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

### 4) Φάσεις πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης

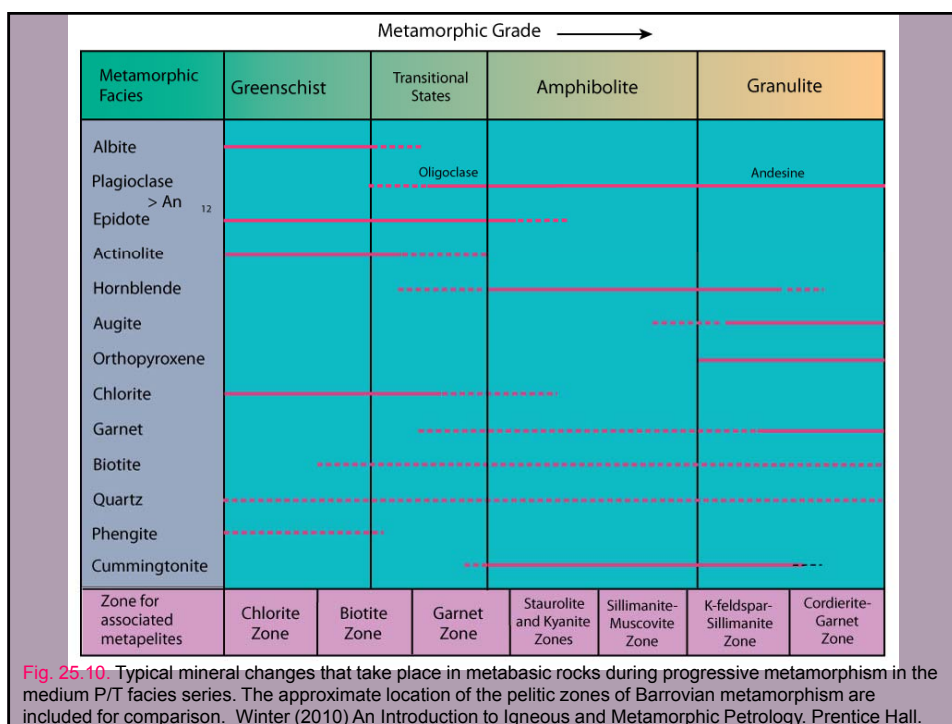
- Τα πετρώματα αδυνατούν να ανακρυσταλλωθούν εξολοκλήρου και δεν επιτυγχάνεται πάντα η ισορροπία
- Ζεολιθική και πρενιτική-πουμελλιτική δεν εμφανίζονται πάντα, και η πρασινοσχιστολιθική μπορεί να αποτελεί την χαμηλότερου βαθμού μεταμορφική φάση που έχει αναπτυχθεί σε πολλές μεταμορφικές περιοχές



## Οι φάσεις μεταμόρφωσης

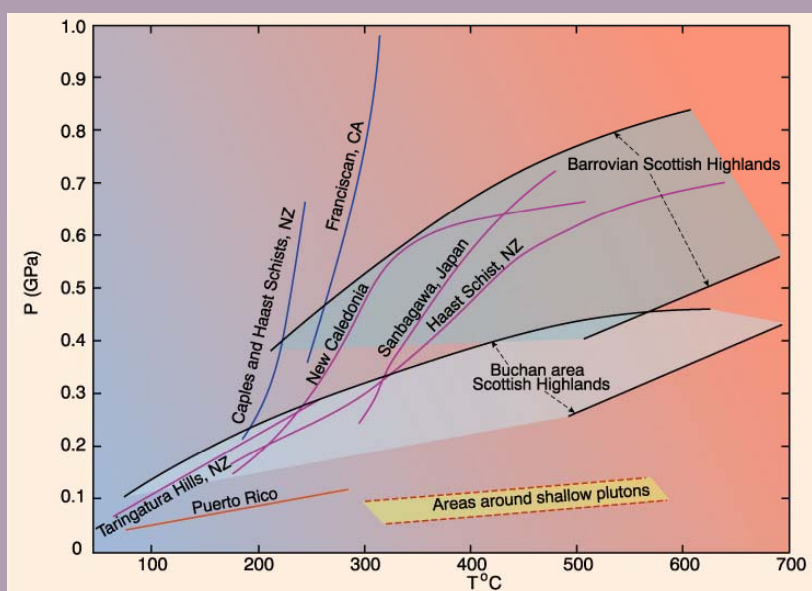
Οι έννοιες ισόβαθμος, ζώνη και φάση μεταμόρφωσης είναι αλληλένδετες:

- Π.χ.: “ζώνη του χλωρίτη της πρασινοσχιστολιθικής φάσης”, “ζώνη του σταυρολίθου της αμφιβολιτικής φάσης” ή “ζώνη κορδιερίτη της κεροστιλβο-κερατιτικής φάσης” κτλ.
- Οι μεταμορφικοί χάρτες συνήθως περιέχουν ισόβαθμες που προσδιορίζουν ζώνες και άλλες που προσδιορίζουν όρια των φάσεων μεταμόρφωσης
- Ο προσδιορισμός μιας μεταμορφικής φάσης ή μιας ζώνης είναι πιο αξιόπιστος όταν είναι διαθέσιμα πετρώματα με ποικιλία χημική και ορυκτολογική



## Σειρές φάσεων μεταμόρφωσης

Η μετακίνηση με την έννοια του αυξανόμενου βαθμού μεταμόρφωσης σε μια μεταμορφική περιοχή θα πρέπει να ακολουθεί μια από τις κλίσεις μεταμορφικών πεδίων που έχουν προσδιορισθεί, και εάν είναι αρκετά εκτεταμένη μπορεί να διασχίζει μια σειρά (ακολουθία) από φάσεις (**Miyashiro, 1961**)

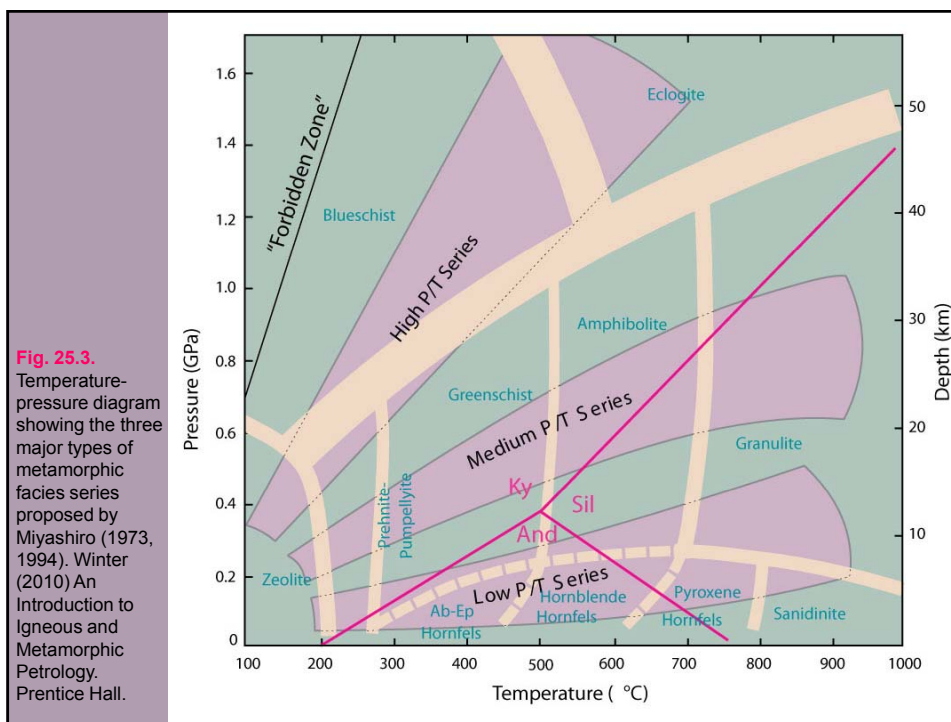


**Figure 21.1.** Metamorphic field gradients (estimated P-T conditions along surface traverses directly up metamorphic grade) for several metamorphic areas. After Turner (1981). *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field, and Tectonic Aspects*. McGraw-Hill.

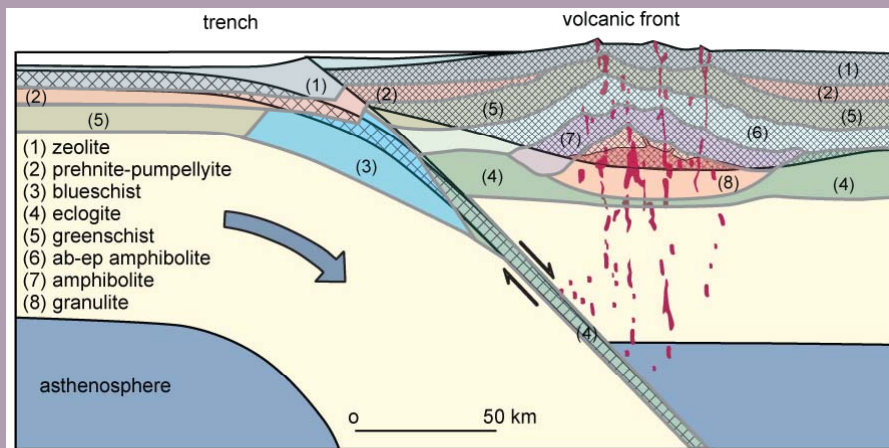
## Σειρές φάσεων μεταμόρφωσης

Ο Miyashiro (1961) πρότεινε 5 σειρές φάσεων, οι περισσότερες από τις ονομάστηκαν από την αντιπροσωπευτικότερη «τυπική περιοχή» εμφάνισης. Αυτές οι σειρές ήταν:

1. Σειρά φάσεων επαφής (πολύ χαμηλών- $P$ )
2. Η σειρά φάσεων Buchan or Abukuma (χαμηλών- $P$  καθολική)
3. Barrovia Σειρά φάσεων (μετρίων- $P$  καθολική)
4. Σειρά φάσεων Sanbagawa (υψηλών- $P$ , μετρίων  $T$ )
5. Σειρά φάσεων Franciscan (υψηλών- $P$ , χαμηλών  $T$ )



## Metamorphic Facies



**Figure 25.4.** Schematic cross-section of an island arc illustrating isotherm depression along the outer belt and elevation along the inner axis of the volcanic arc. The high P/T facies series typically develops along the outer paired belt and the medium or low P/T series develop along the inner belt, depending on subduction rate, age of arc and subducted lithosphere, etc. From Ernst (1976).