



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Δυναμική Γεωλογία

Ενότητα 1: Περιθώρια Σύγκλισης  
Λιθοσφαιρικών Πλακών

Στυλιανός Λόζιος

Σχολή Θετικών Επιστημών

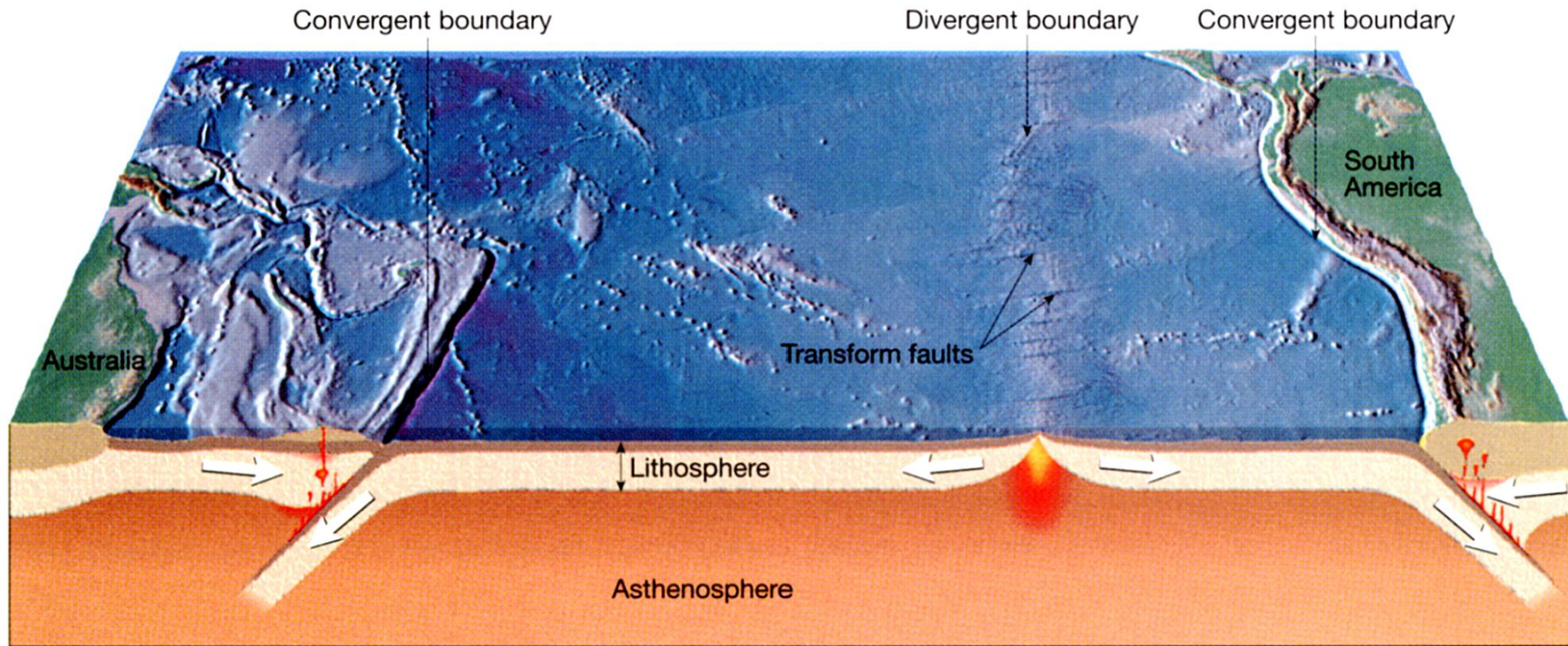
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος



# **Περιθώρια Σύγκλισης Λιθοσφαιρικών Πλακών**

# ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ – Convergent Margins ΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ – Consuming Margins

## Ζώνες Υποβύθισης – Subduction Zones (ωκεάνιες κ. υπο-ηπειρωτικές)

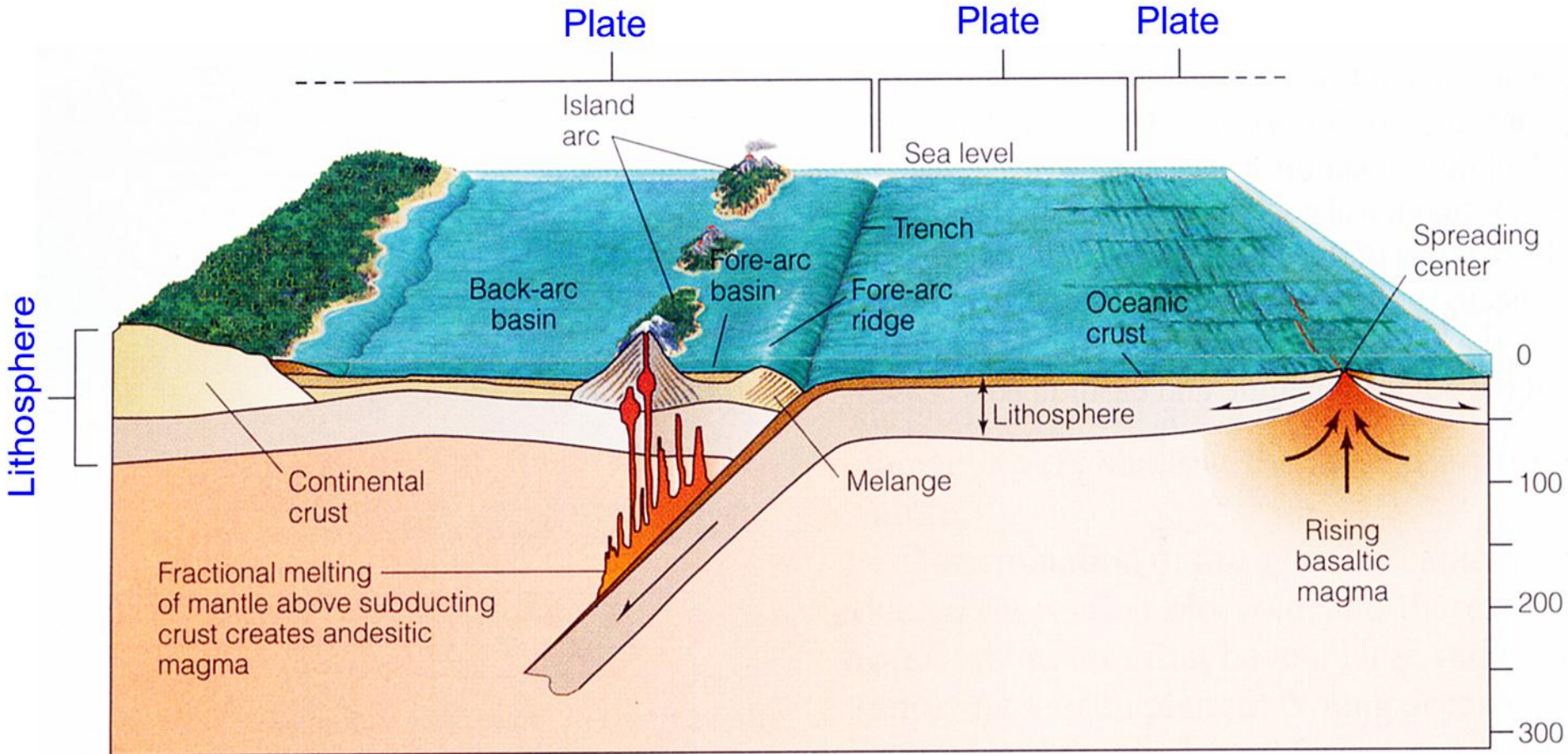


- Αύξηση όγκου και επιφάνειας Γης ?
- Γιατί γίνεται η σύγκλιση ?
- Ο ηπειρωτικός φλοιός καταβυθίζεται?

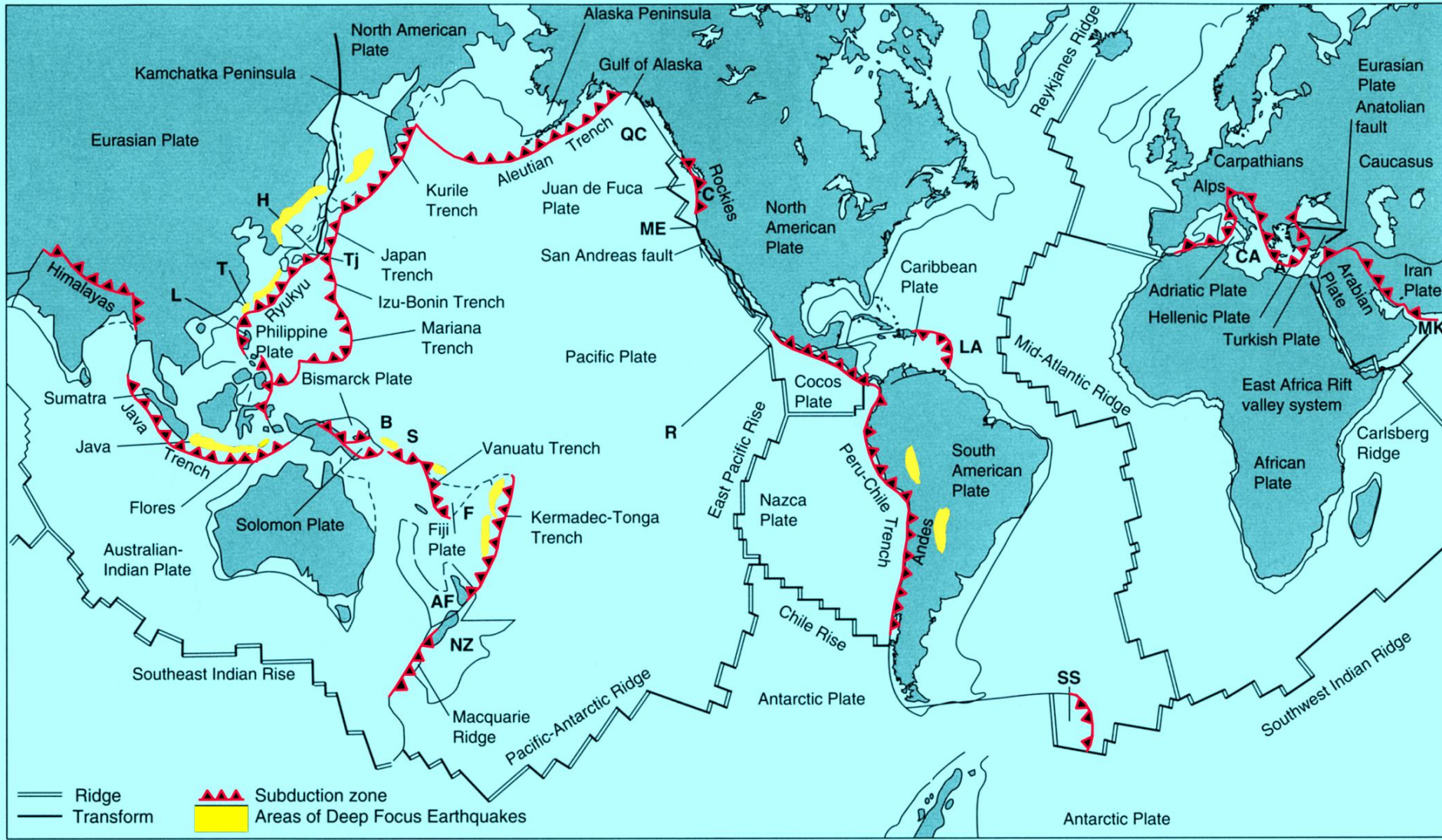
- Σύγκρουση – Collision.
- Καταβύθιση ωκεανού κάτω από ήπειρο.
- Καταβύθιση ωκεανού κάτω από ωκεανό. Δημιουργία τόξου.

- Τάφρος, Ηφαιστειακό τόξο, Νησιωτικό τόξο, Ηπειρωτικό τόξο
- Η διαφορά στη σεισμικότητα. Ζώνη Wadati-Benioff.

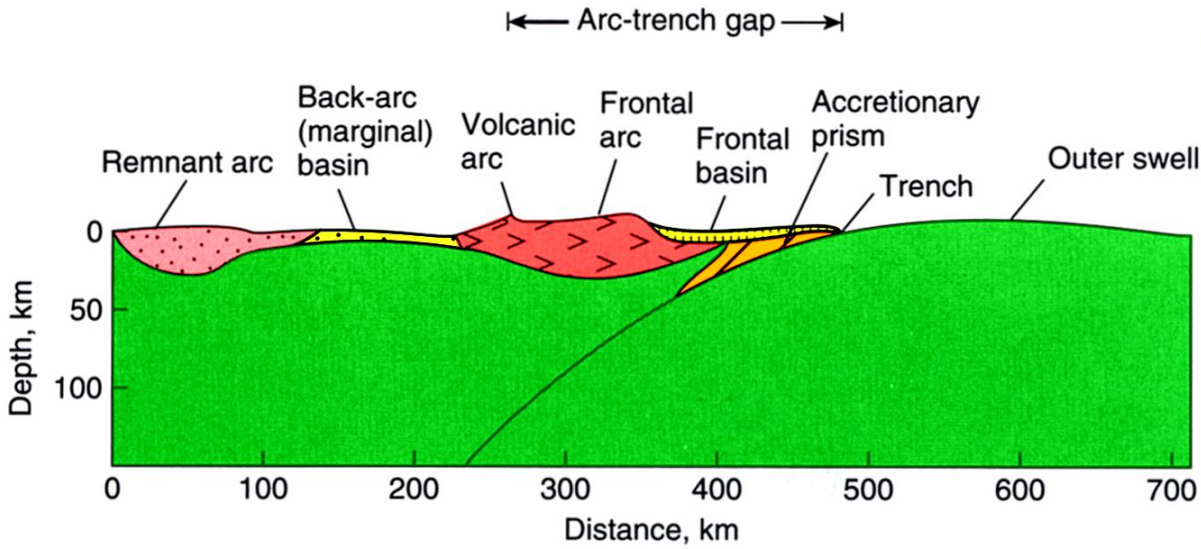
# Τάφρος & Ηφαιστειακό ή Νησιωτικό Τόξο



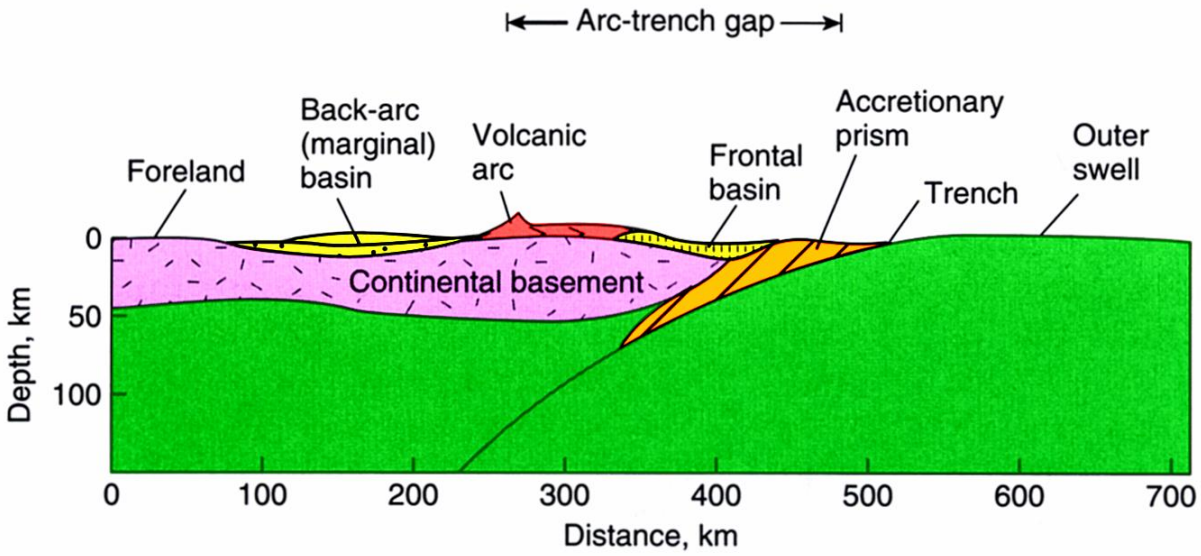
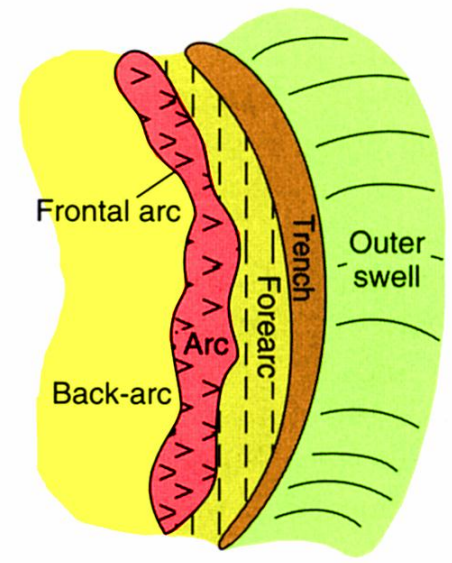
# Γεωγραφία Αναλίσκόμενων Περιθωρίων (το περι-Ειρηνικό Σύστημα – "Δακτυλίδι της φωτιάς")



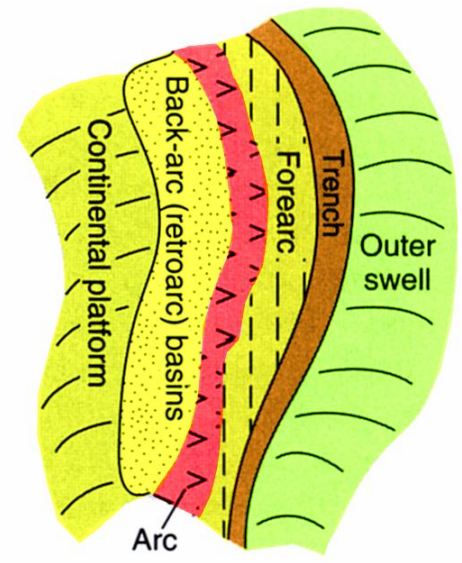
# Φυσιογραφία Ζωνών Υποβύθισης

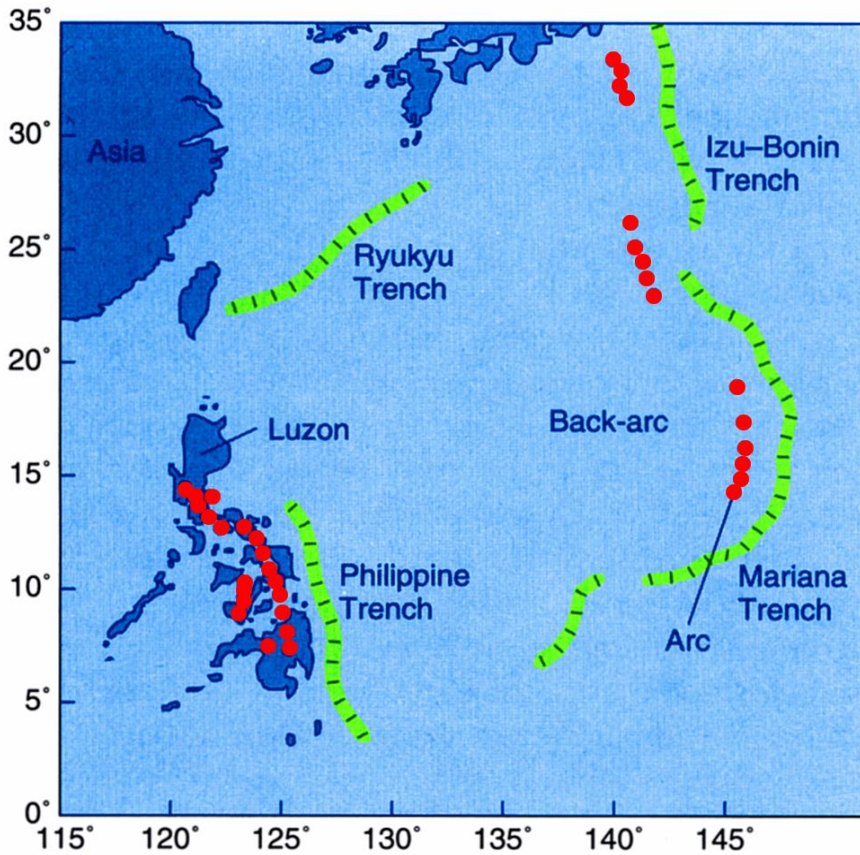


**A.**



**B.**

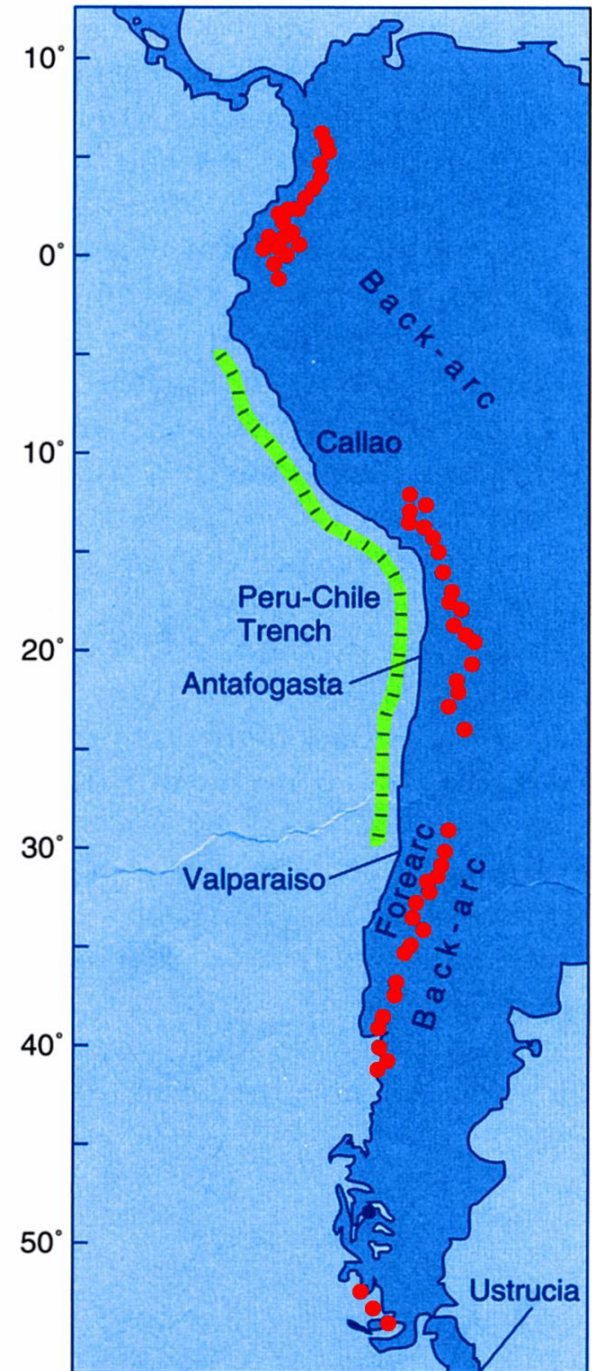




- Active volcano
- Trench

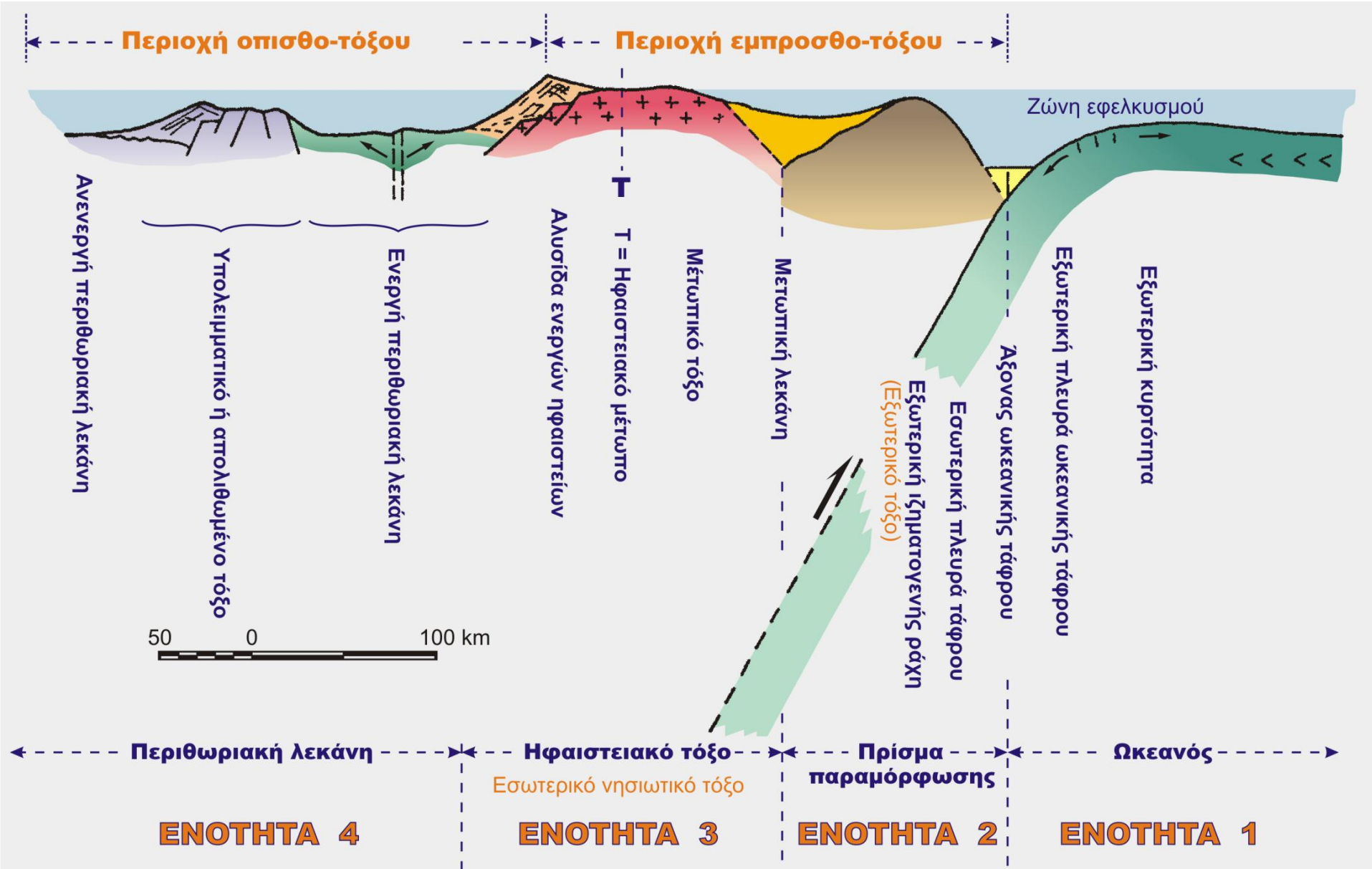
**C.**

## Φυσιογραφία Ζωνών Υποβύθισης



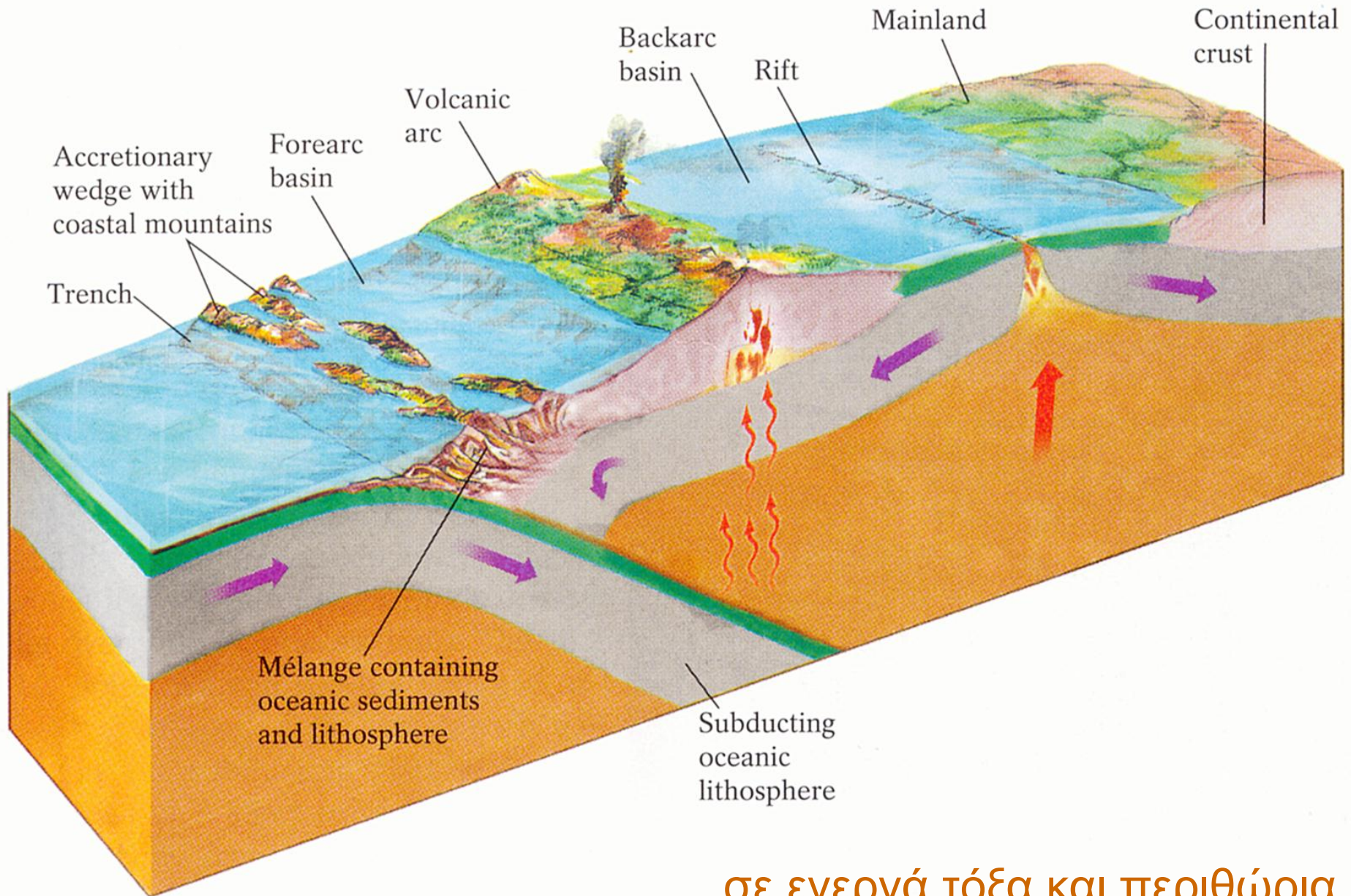
**D.**

# Φυσιογραφία Ζωνών Υποβύθισης



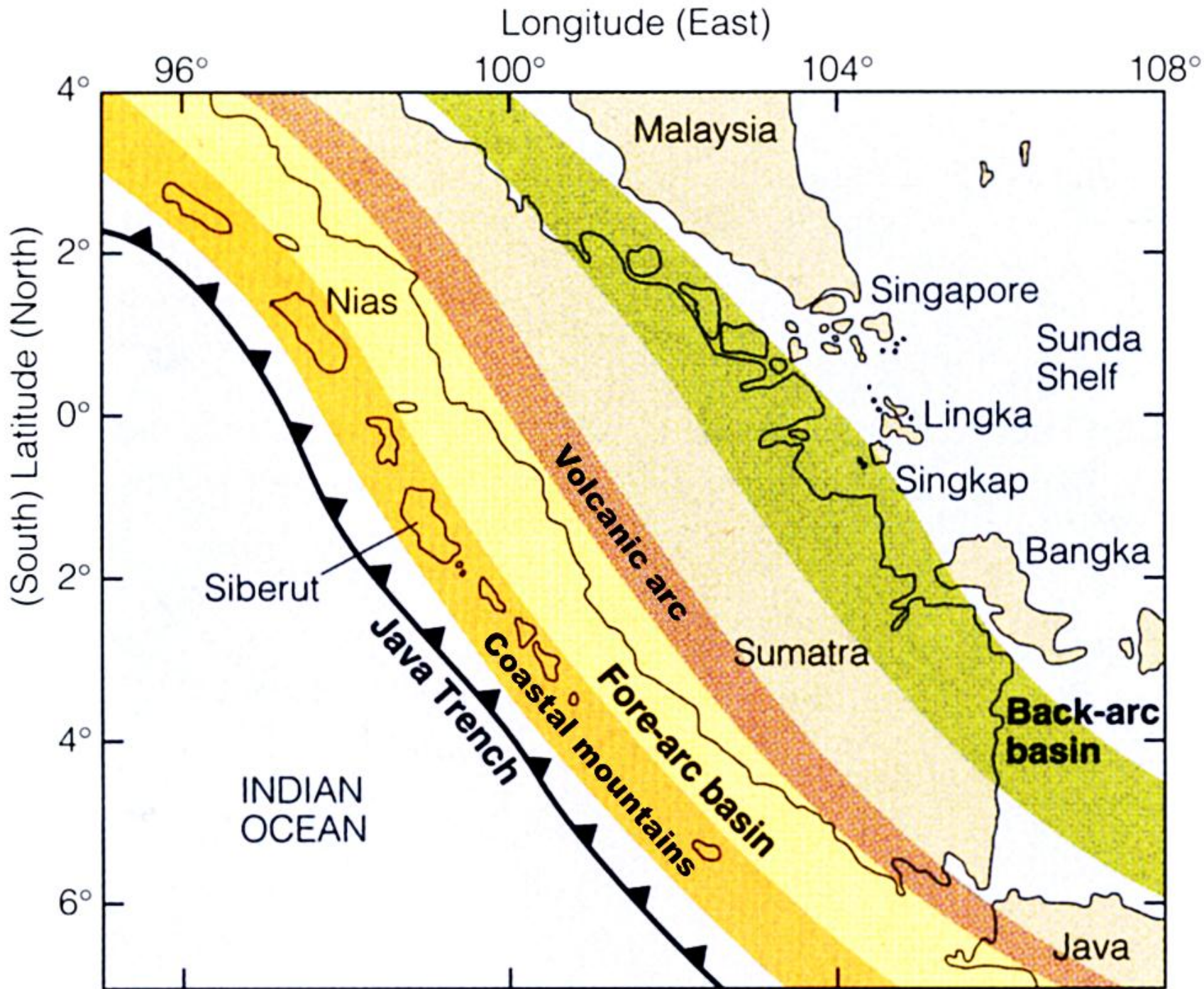


# Μορφοτεκτονικές δομές ...

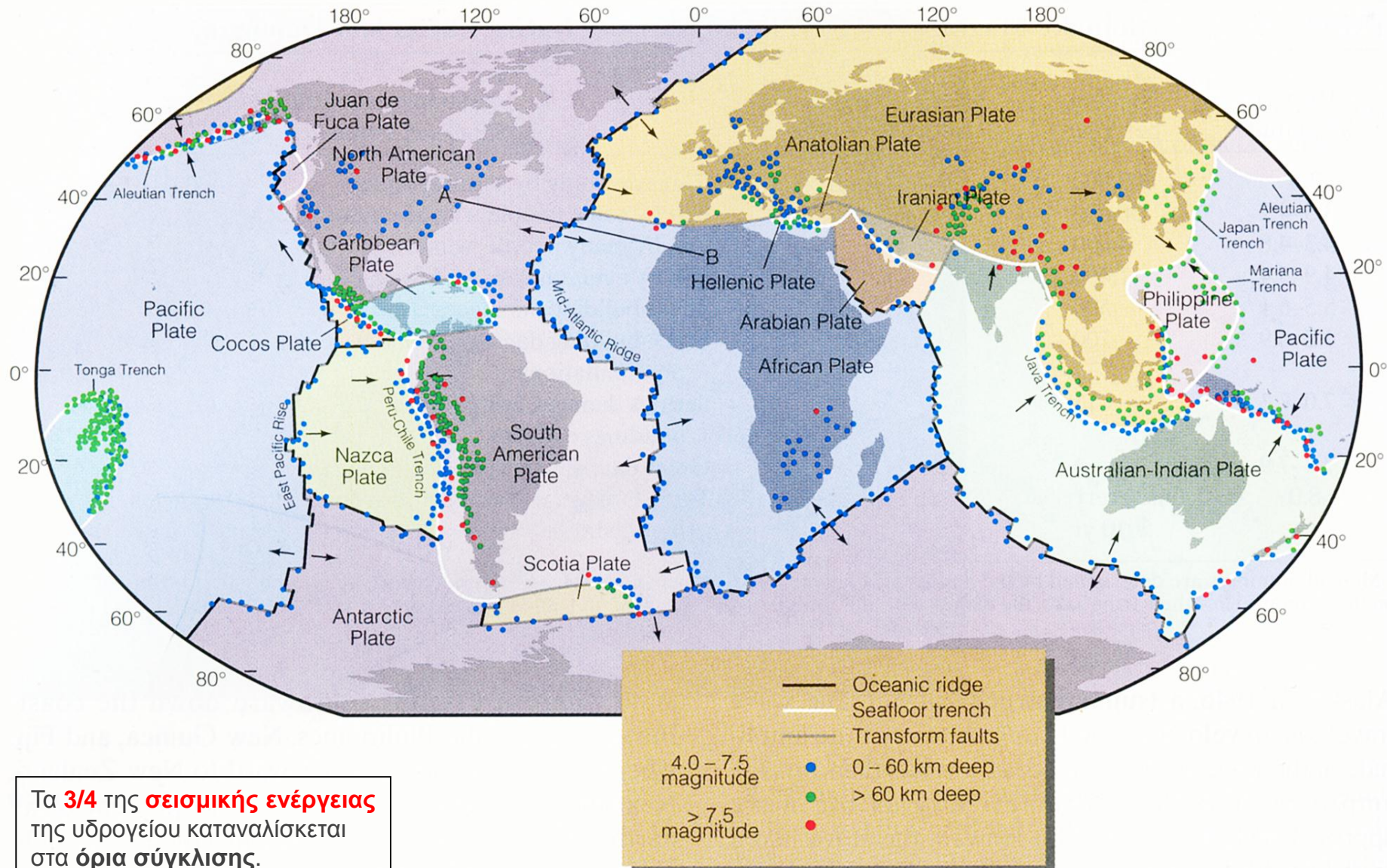


...σε ενεργά τόξα και περιθώρια

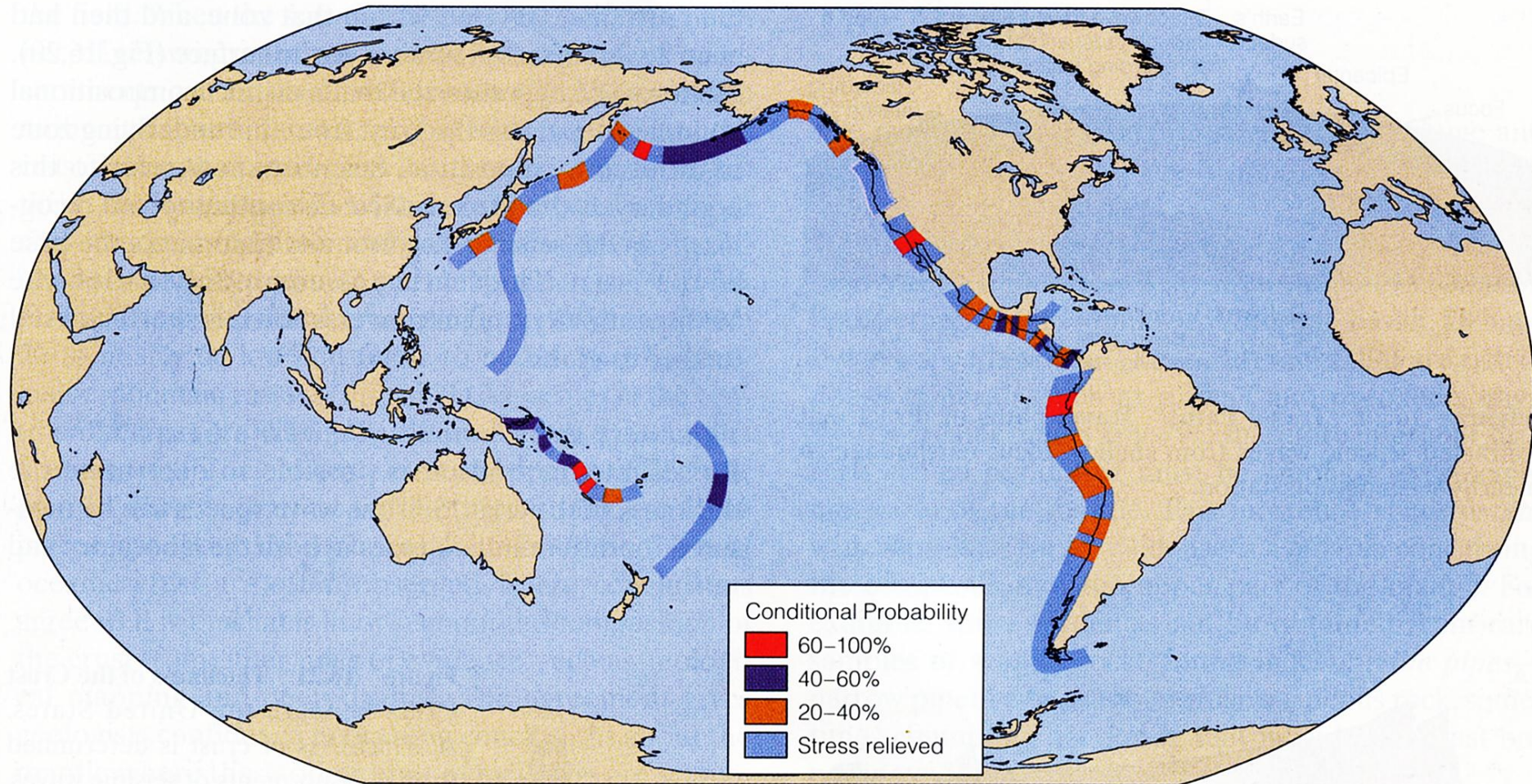
Μορφοτεκτονικές δομές σε  
ενεργά τόξα και περιθώρια



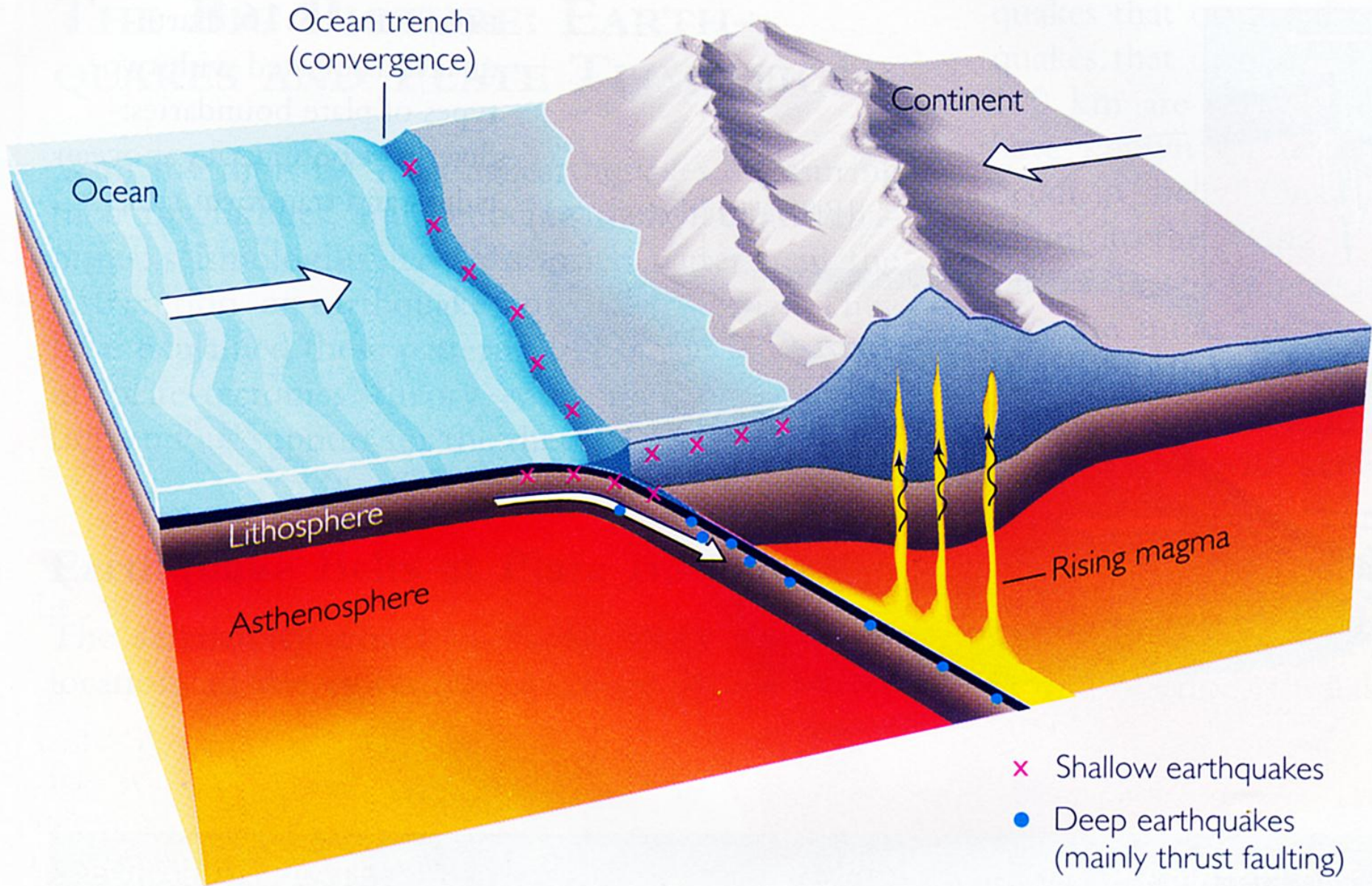
# Σεισμικά δεδομένα & δομή ζωνών σύγκλισης



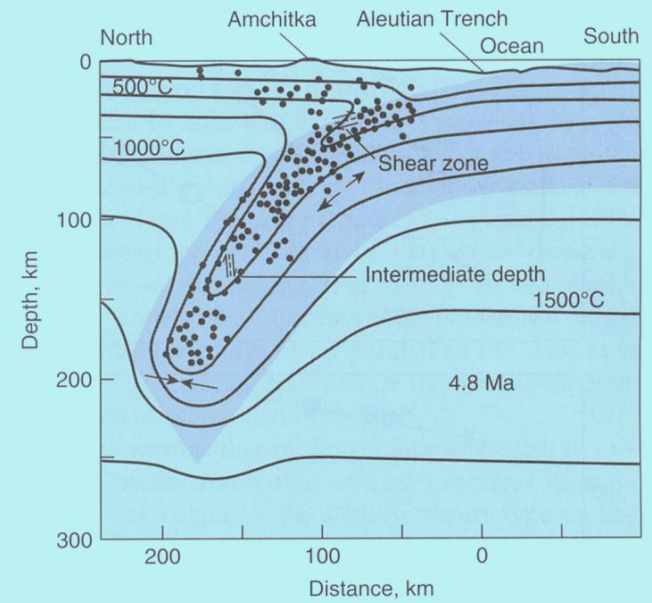
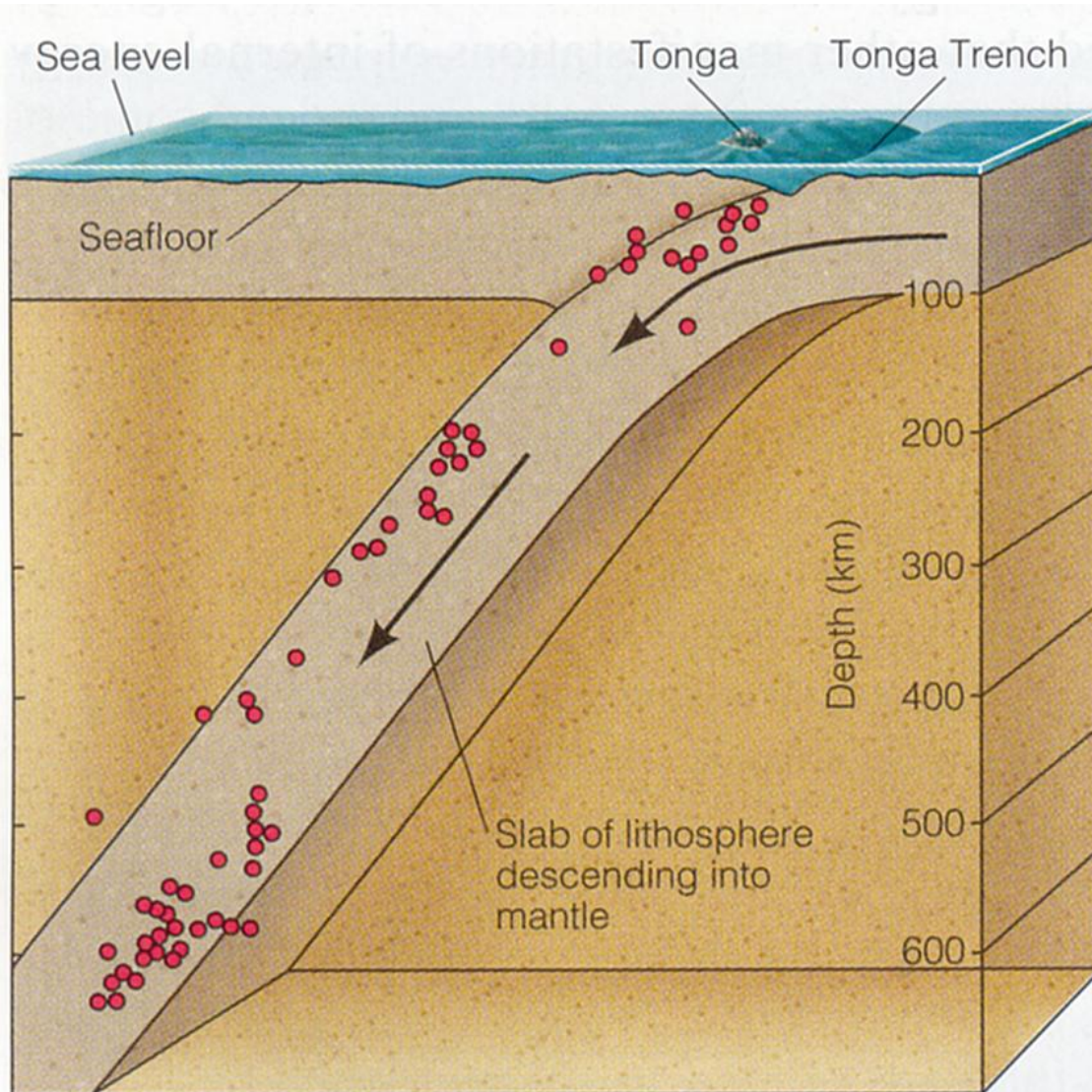
# Σεισμικά δεδομένα & δομή ζωνών σύγκλισης



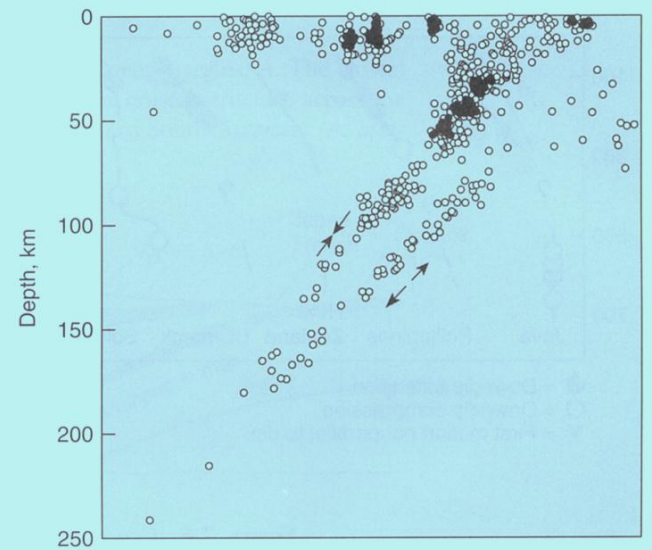
# Η σεισμικότητα σε μια ζώνη υποβύθισης



# Σεισμικά δεδομένα & δομή ζωνών σύγκλισης



A.



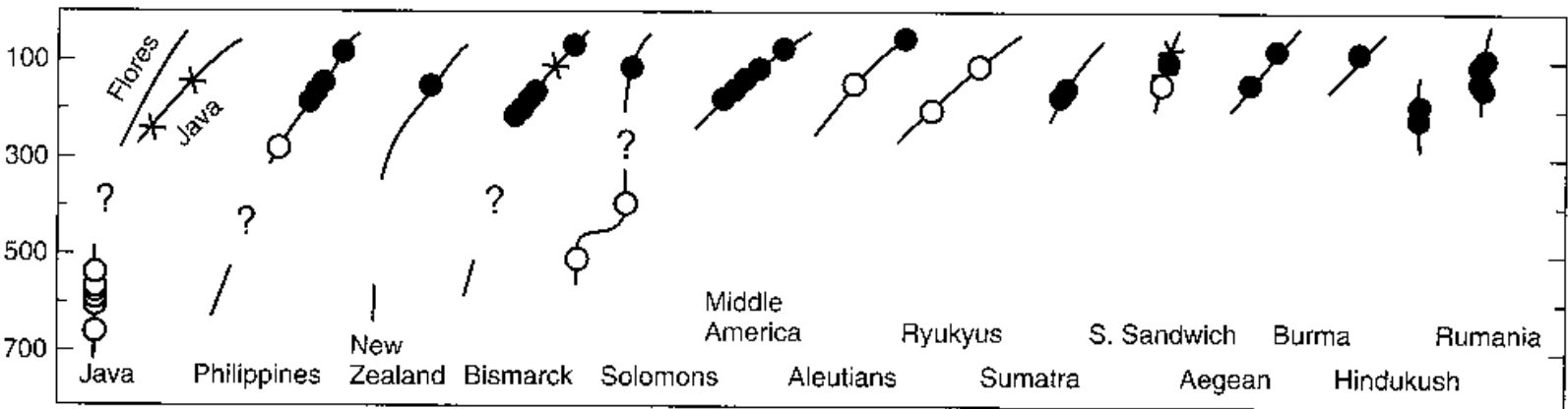
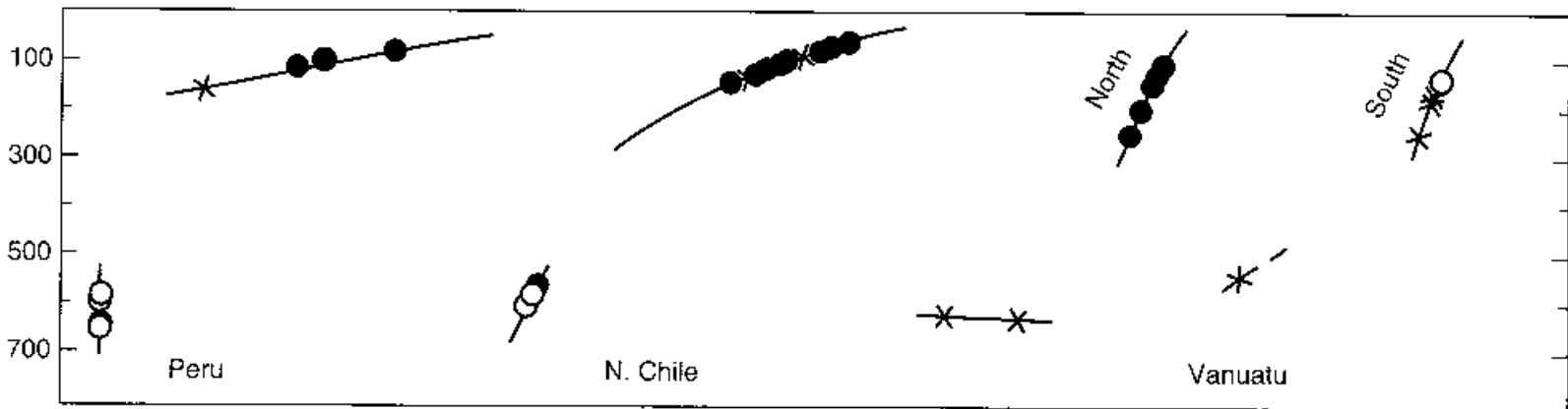
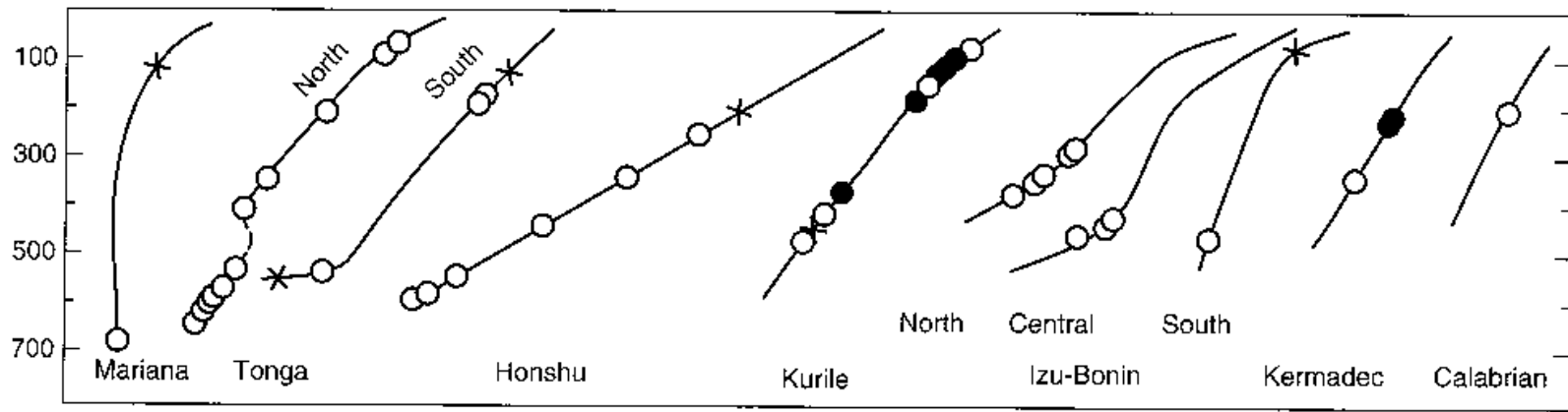
Focal mechanisms (first motion)

→ ← Compression

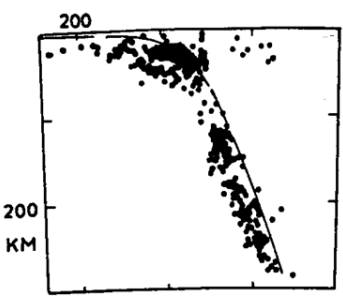
← → Extension

↔ Shear couple and fault

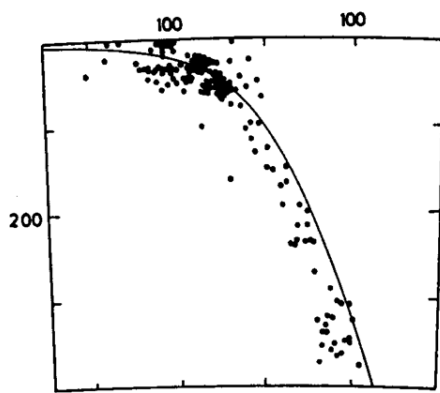
# Η γεωμετρία της ζώνης σύγκλισης



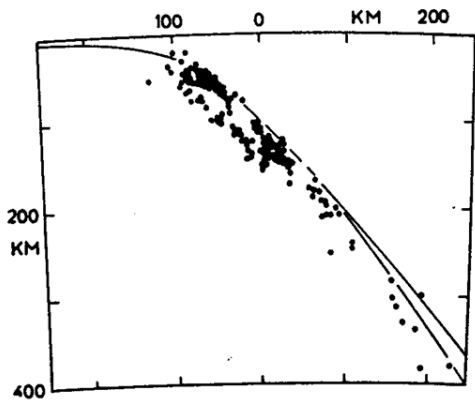
- = Downdip extension
- = Downdip compression
- X = First motion not parallel to dip



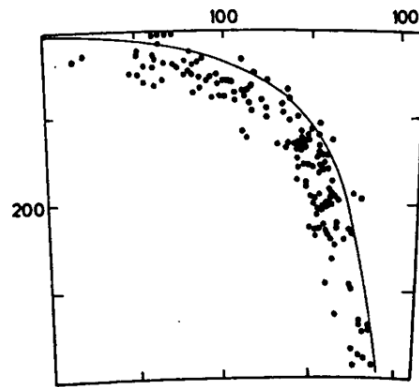
New Hebrides



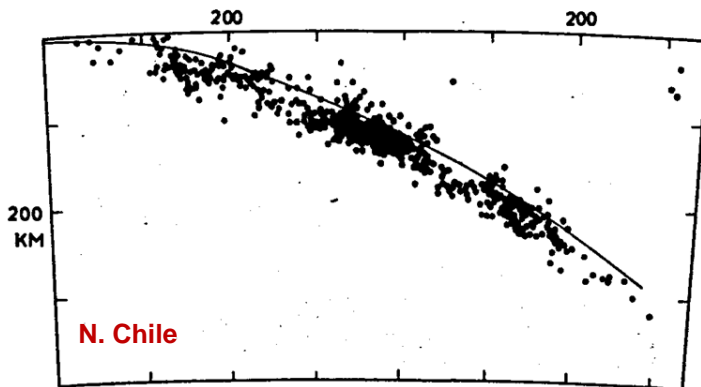
Kermadec



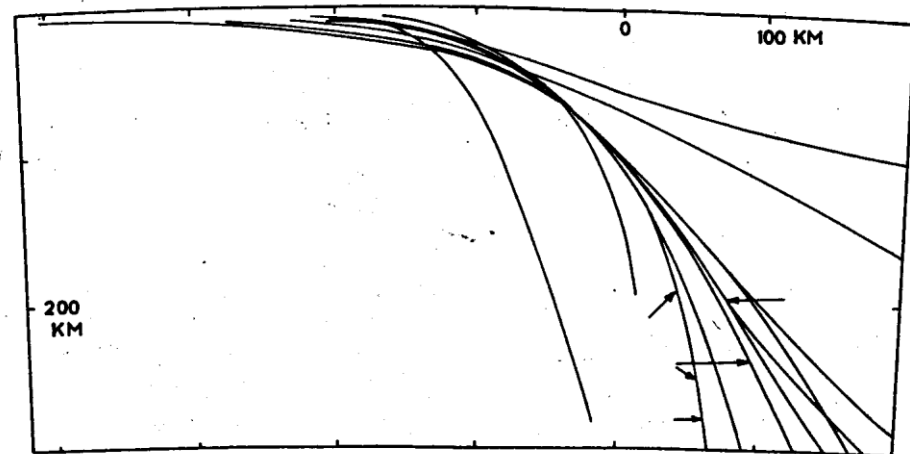
N. Kuril-Kamtchatka



Marianas



N. Chile



Η γεωμετρία της ζώνης σύγκλισης



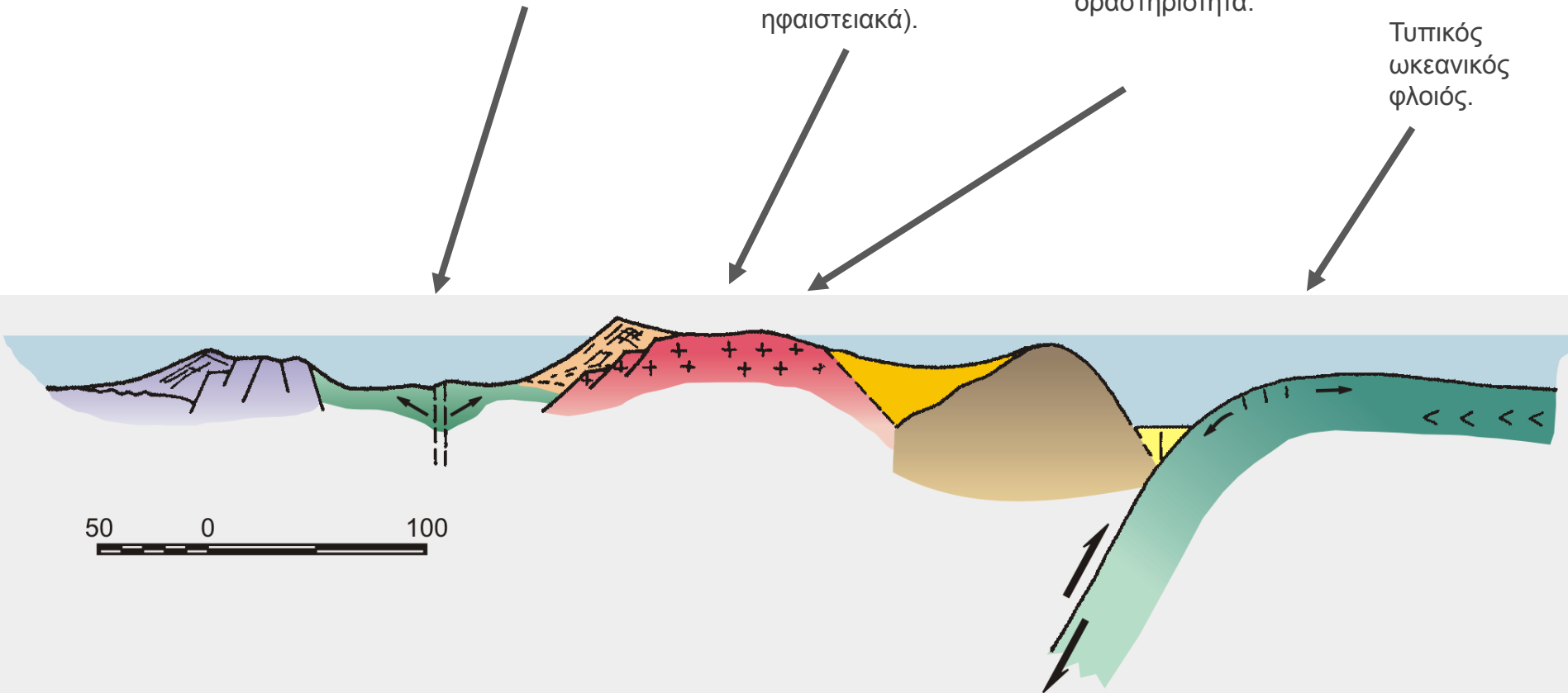
# Φύση και δομή του φλοιού

Μεγάλες λεκάνες  
→ ωκεανικός φλοιός.  
Ενδείξεις για ηπειρωτικό ή ενδιάμεσο.

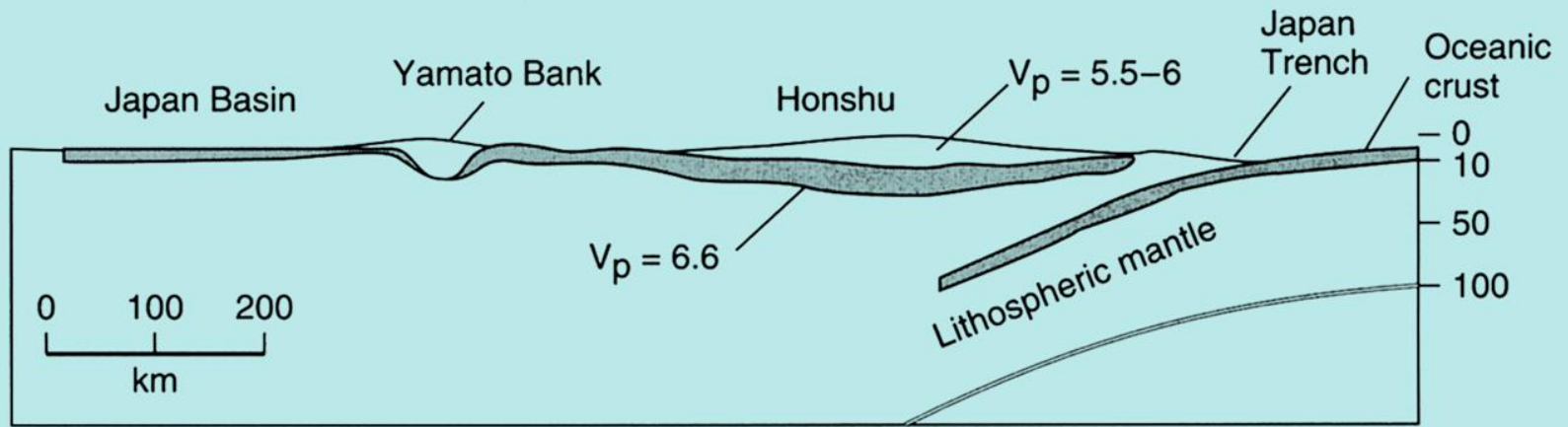
Συγκλίνουσες πλάκες από ωκεανικό φλοιό (νέας ηλικίας τόξα, π.χ. Εβρίδες) → Ενδιάμεσος φλοιός (ωκεανικός + πλουτωνο-ηφαιστειακά).

Ηφαιστειακά τόξα στην άκρη μιας ηπείρου (π.χ. τύπου Κορδιλλιέρας) ή σε αποχωρισθέν κομμάτι ηπ. φλοιού (π.χ. Ιαπωνία) → Τυπικός ηπειρωτικός φλοιός που γίνεται παχύτερος από πλουτωνο-ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Τυπικός ωκεανικός φλοιός.

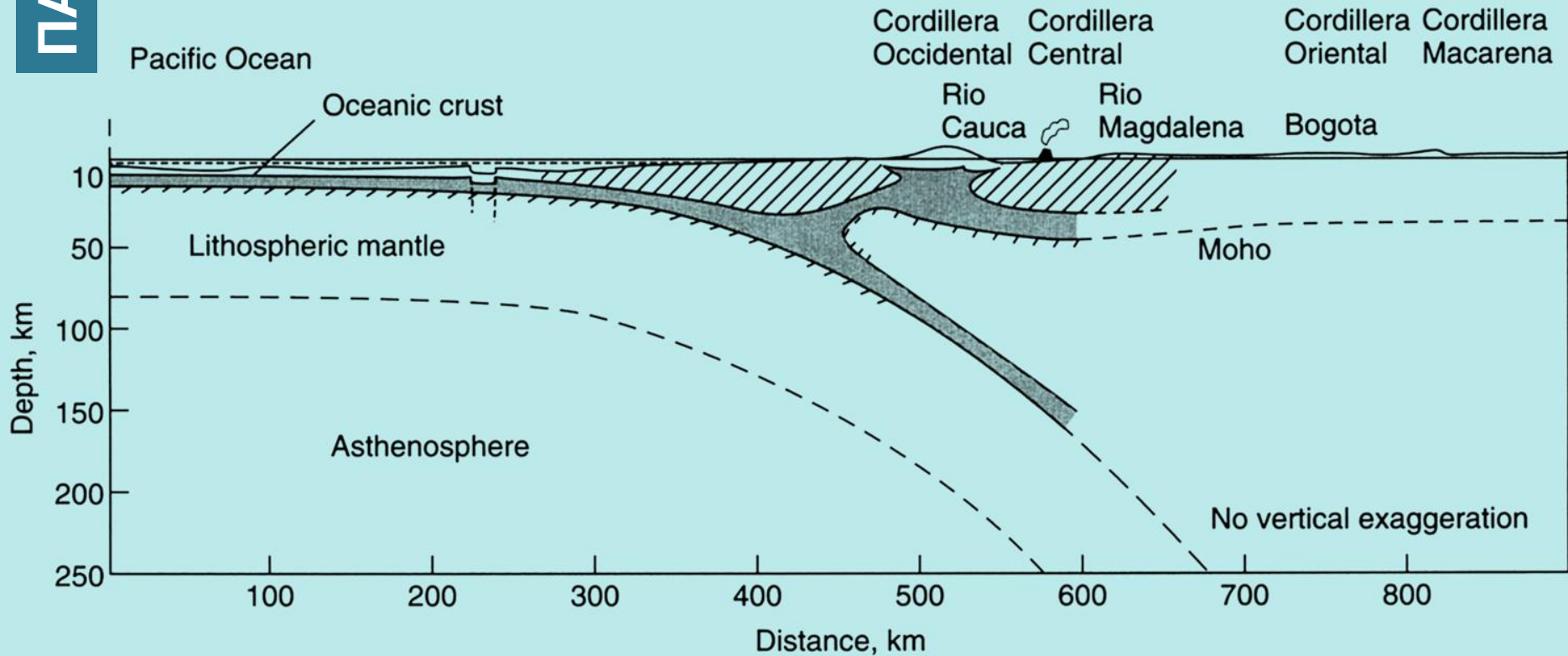


--- Περιθωριακή λεκάνη --- ➔ ➜ --- Ηφαιστειακό τόξο --- ➔ ➜ --- Πρίσμα --- ➔ ➜ --- Ωκεανός --- ➔ ➜ ---  
παράμορφωση



A.

Ωριμα ωκεανικά νησιωτικά τόξα → 20-30 km.



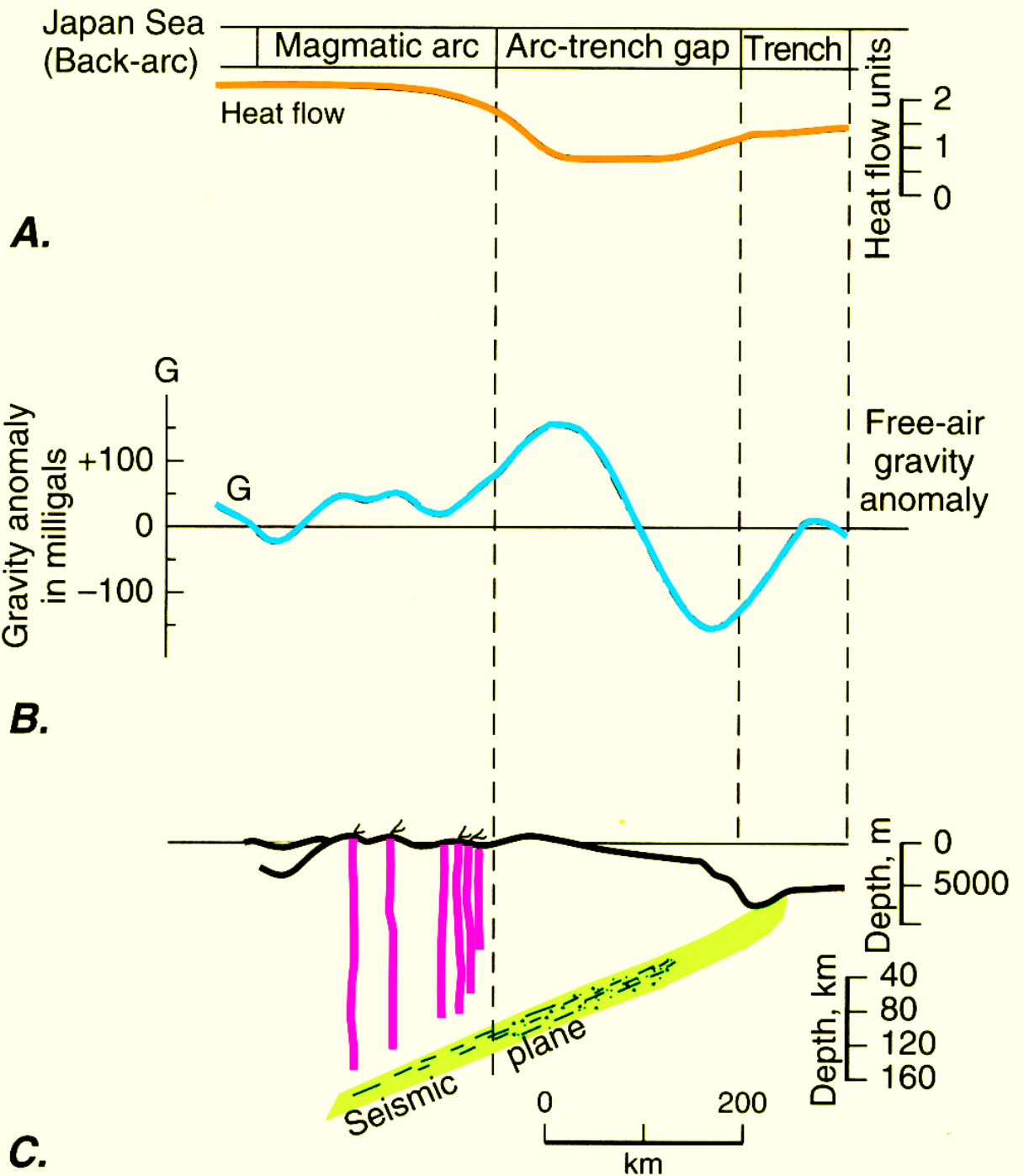
B.

Ηπειρωτικά τόξα → 25-40 km, αλλά και 50-70 km.

Θερμική Ροή

Βαρυτικές  
Ανωμαλίες

Ισοστατικές  
Επανορθώσεις



# Ισοστατικές επανορθώσεις

## ΖΩΝΕΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ:

- Μεγάλη ισοστατική ανισοροπία.
- Ανακατατάξεις παγκόσμιας κινηματικής πλακών.

+ 200 mgals

Τοποθέτηση πλουτωνιτών και ηφαιστειακών.

Επιβράδυνση ή σταμάτημα σύγκλισης → βύθιση του τόξου.

- 200 mgals

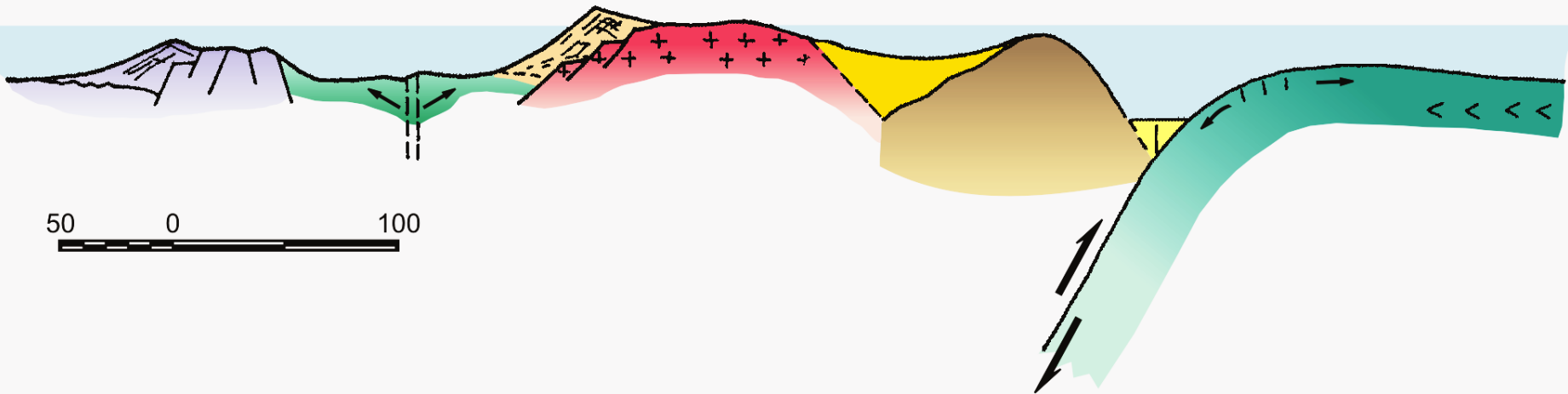
Τοπική απομάκρυνση Moho και μανδύα. Μεγάλο πάχος νερού και ιζημάτων.

Επιβράδυνση βύθισης → κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις.

Σταμάτημα σύγκλισης → ανάδυση πρίσματος και αποχωρισμός από ηφ. τόξο.

+ 50 mgals

Τοπική άνοδος θαλασσίου πυθμένα και Moho από λιθοσφαιρική καμπυλότητα.



50 0 100

--- Περιθωριακή λεκάνη --- < > --- Ηφαιστειακό τόξο --- < > --- Πρίσμα --- < > --- Ωκεανός --- < > --- παραμόρφωσης

# Τεκτονική δομή & παραμόρφωση

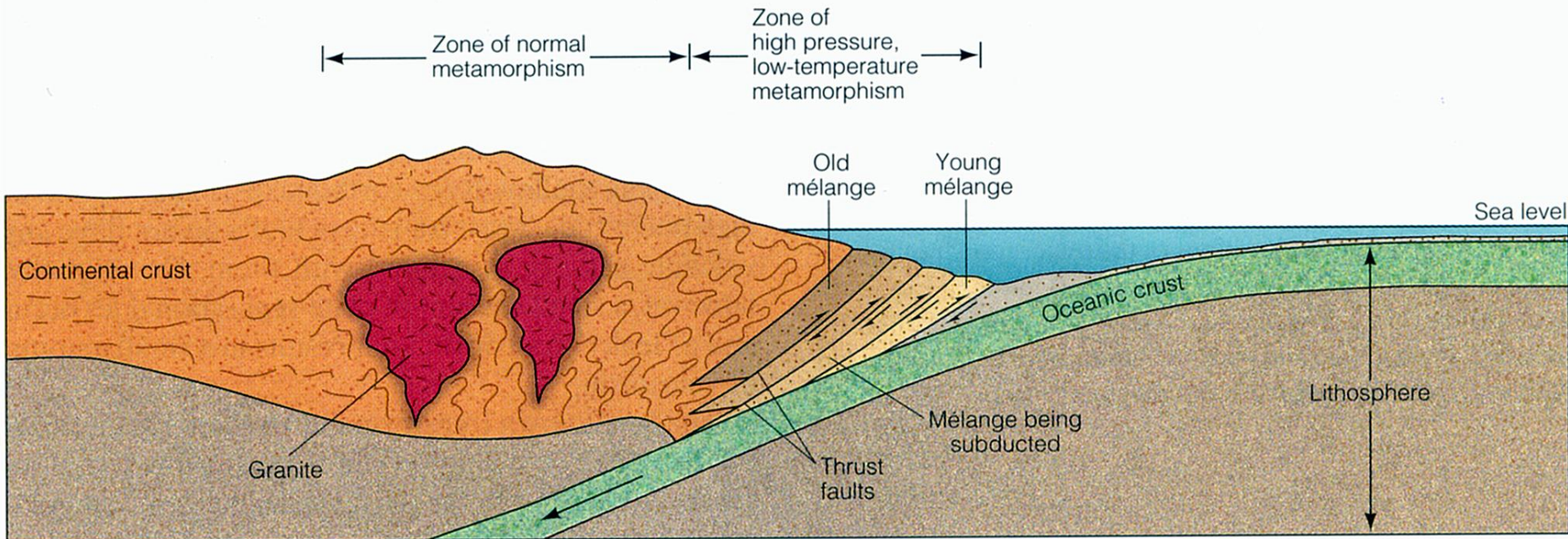
Παραμόρφωση  
εξωτερικής  
κυρτότητας και  
τάφρου.

Πολύπλοκη  
τεκτονική δομή  
με διαδοχικά  
λέπτη.  
Αντιθετικές  
δομές.  
Αρχή από την  
εσωτερική  
πλευρά της  
τάφρου

Σεισμικότητα με  
ανάστροφα  
ρήγματα.  
Συμμετοχή  
οριζόντιας  
συνιστώσας.

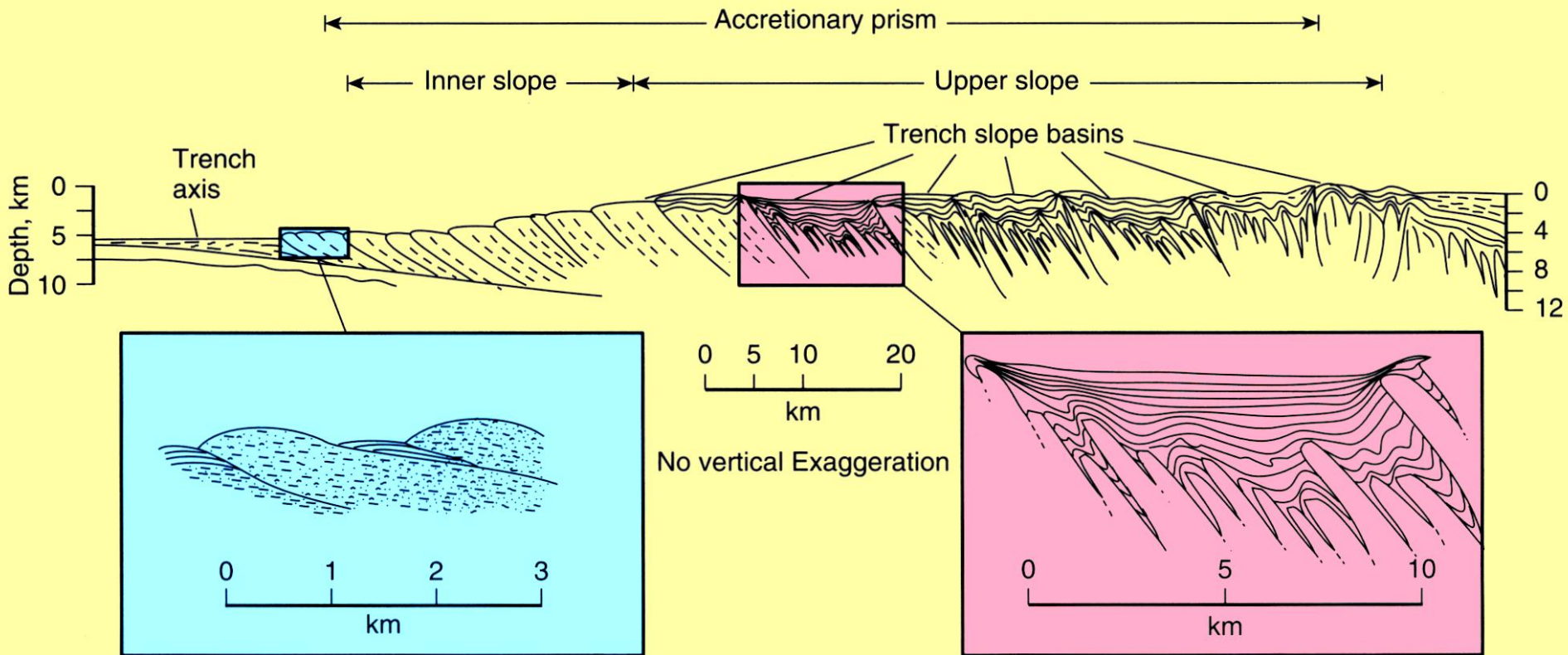
Σχήμα πρίσματος.  
Αντιστοιχία με fold  
and thrust belt.

Ιζήματα από  
εφιππεύουσα  
και κατερχόμενη  
πλάκα.  
**Απόξηση** →  
**Offscraping**.



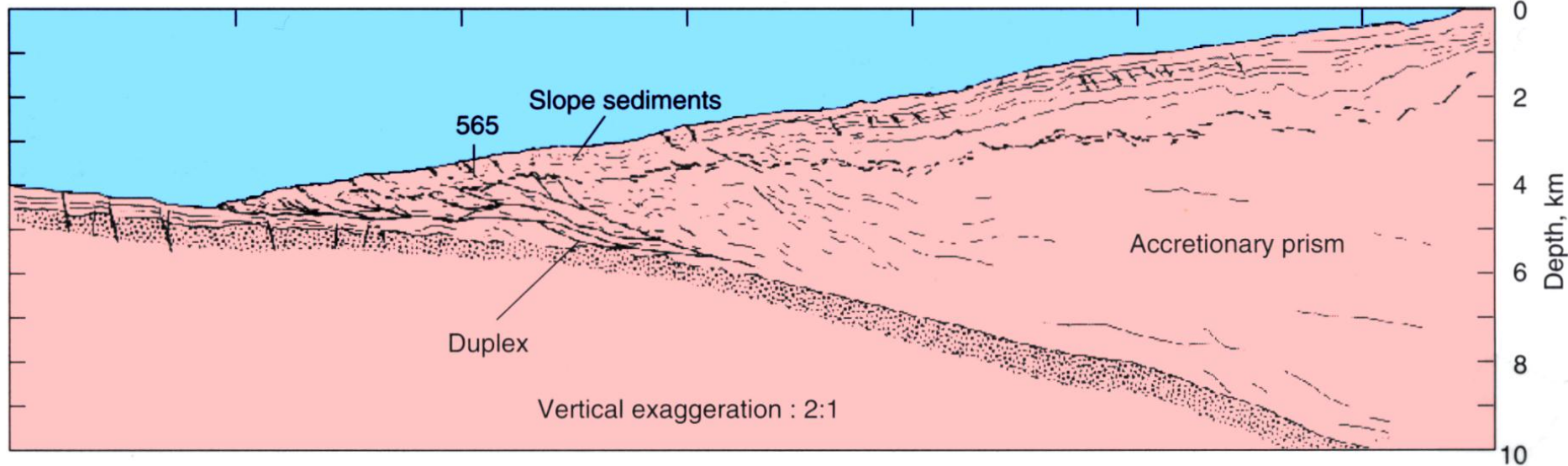
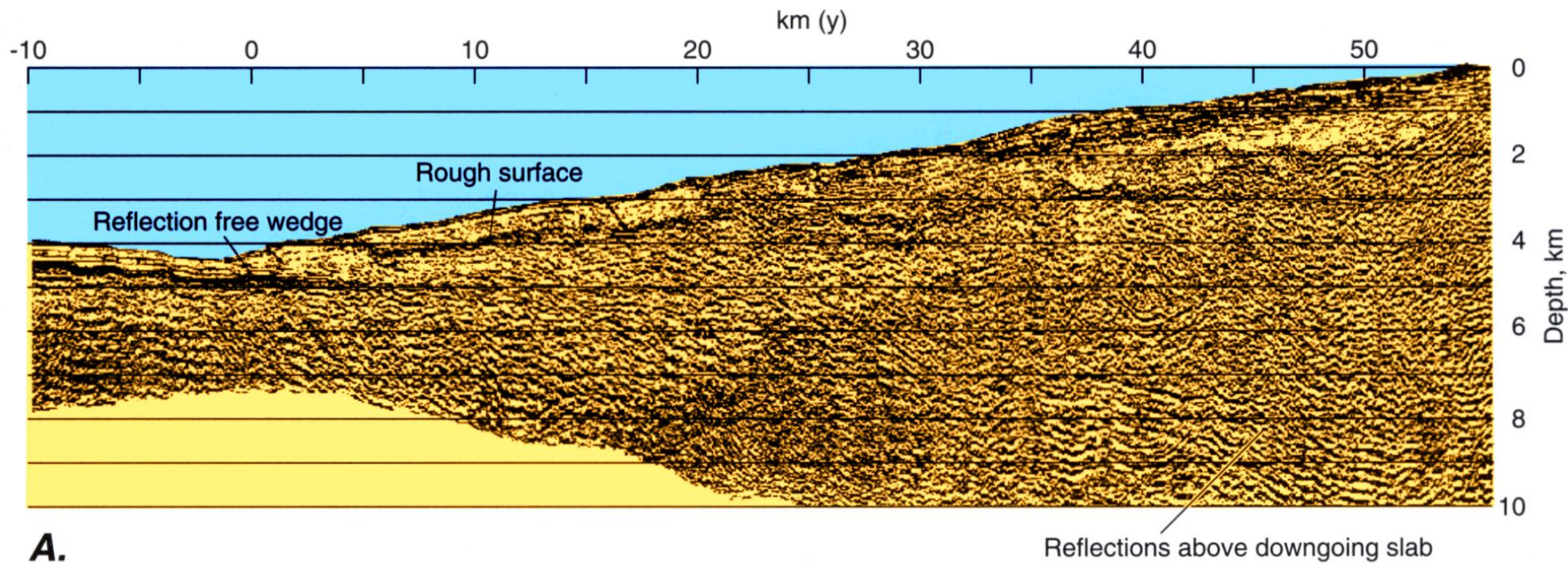
# Πρίσμα συσσώρευσης

- Ιζήματα από επιππεύουσα και κατερχόμενη πλάκα.
- Απόξεση → Offscraping.

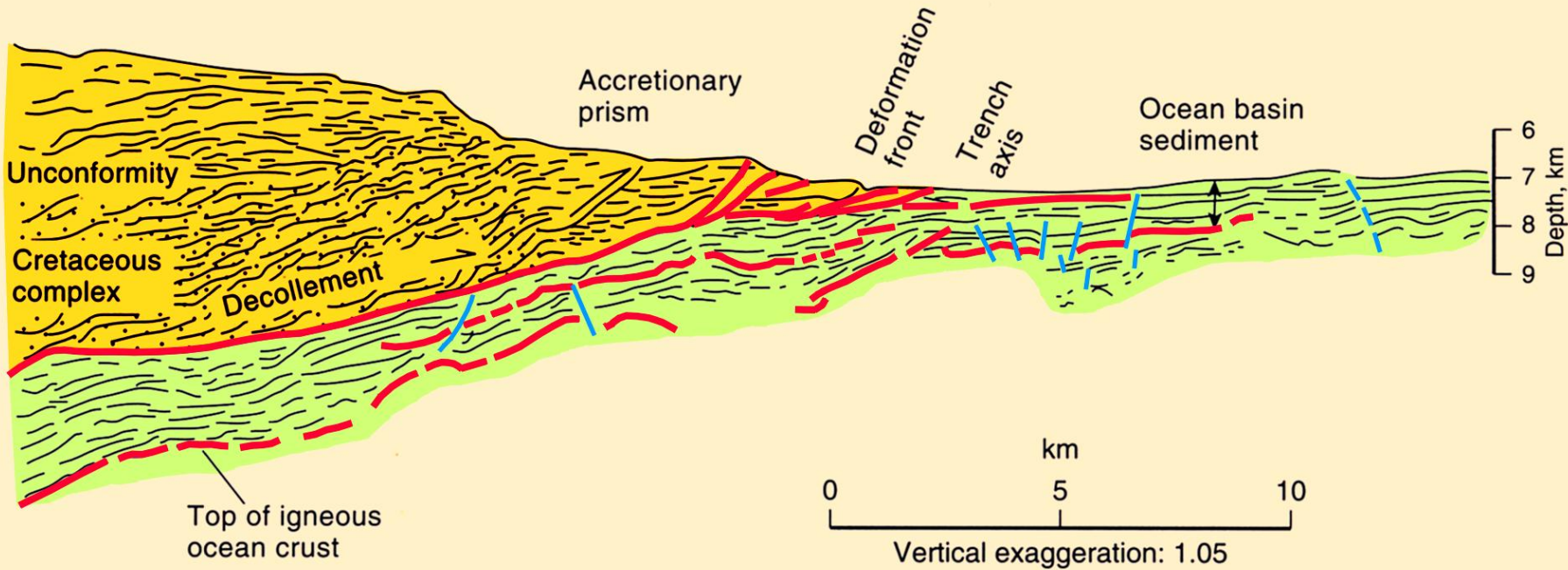


Δομή του πρίσματος συσσώρευσης (accretionary prism), του τόξου Sunda. Κάτω από την εσωτερική πλευρά της τάφρου και την περιοχή της εμπροσθο-λεκάνης αναπτύσσεται το πρίσμα συσσώρευσης με τεκτονικά λέπτη και τεκτονικές σφήνες. Τα ιζήματα του πρίσματος επωθούνται πάνω στα ιζήματα της εμπροσθο-λεκάνης. Σε σύγκριση με την περιοχή της εσωτερικής πλευράς της τάφρου, οι επωθήσεις των λεπών είναι πιο κεκλιμένες κάτω από την εμπροσθο-λεκάνη και επηρεάζουν παλαιότερα ιζήματα.

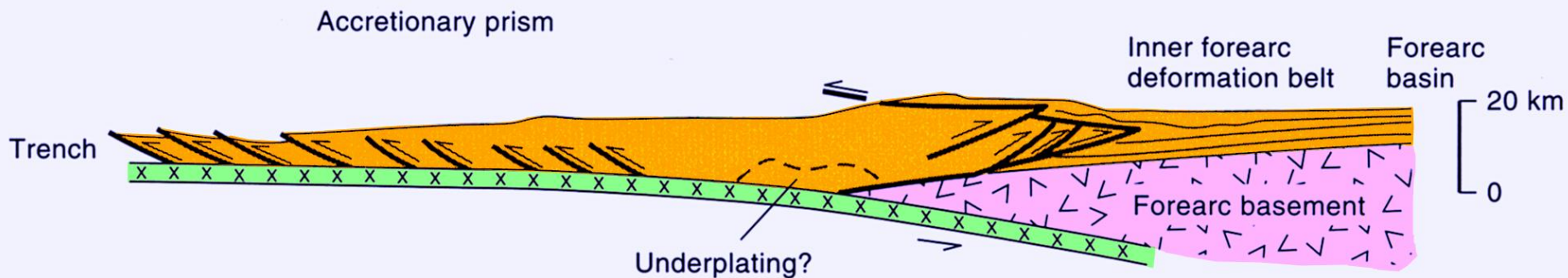
# Πρίσμα συσσώρευσης



**B.** Τα ιζήματα της κατερχόμενης πλάκας προστίθενται στη βάση του πρίσματος συσσώρευσης με την ανάπτυξη δίδυμων επωθητικών δομών (duplex structures), διαδικασία γνωστή ως **underplating**.



**A.**



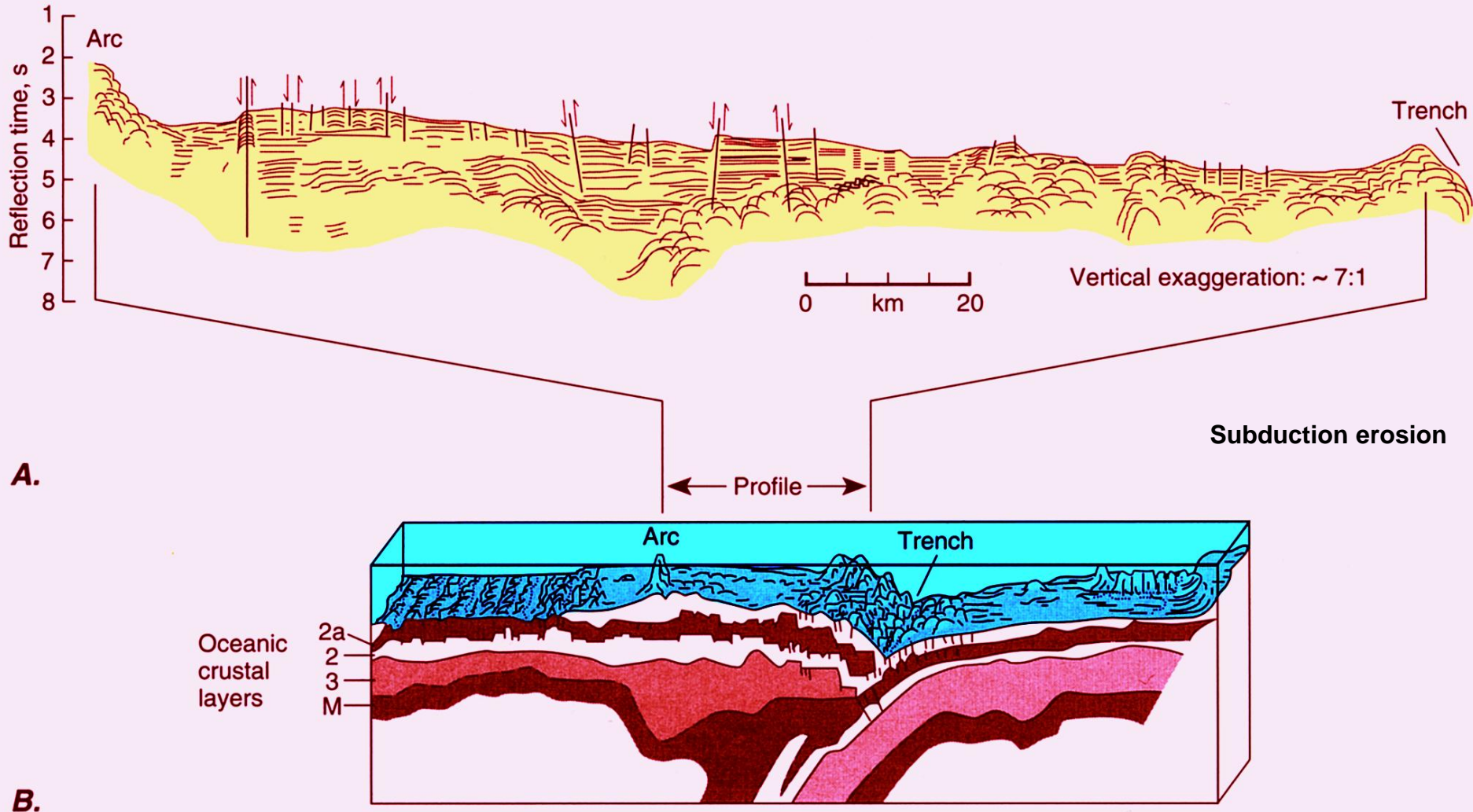
**B.**

No vertical exaggeration

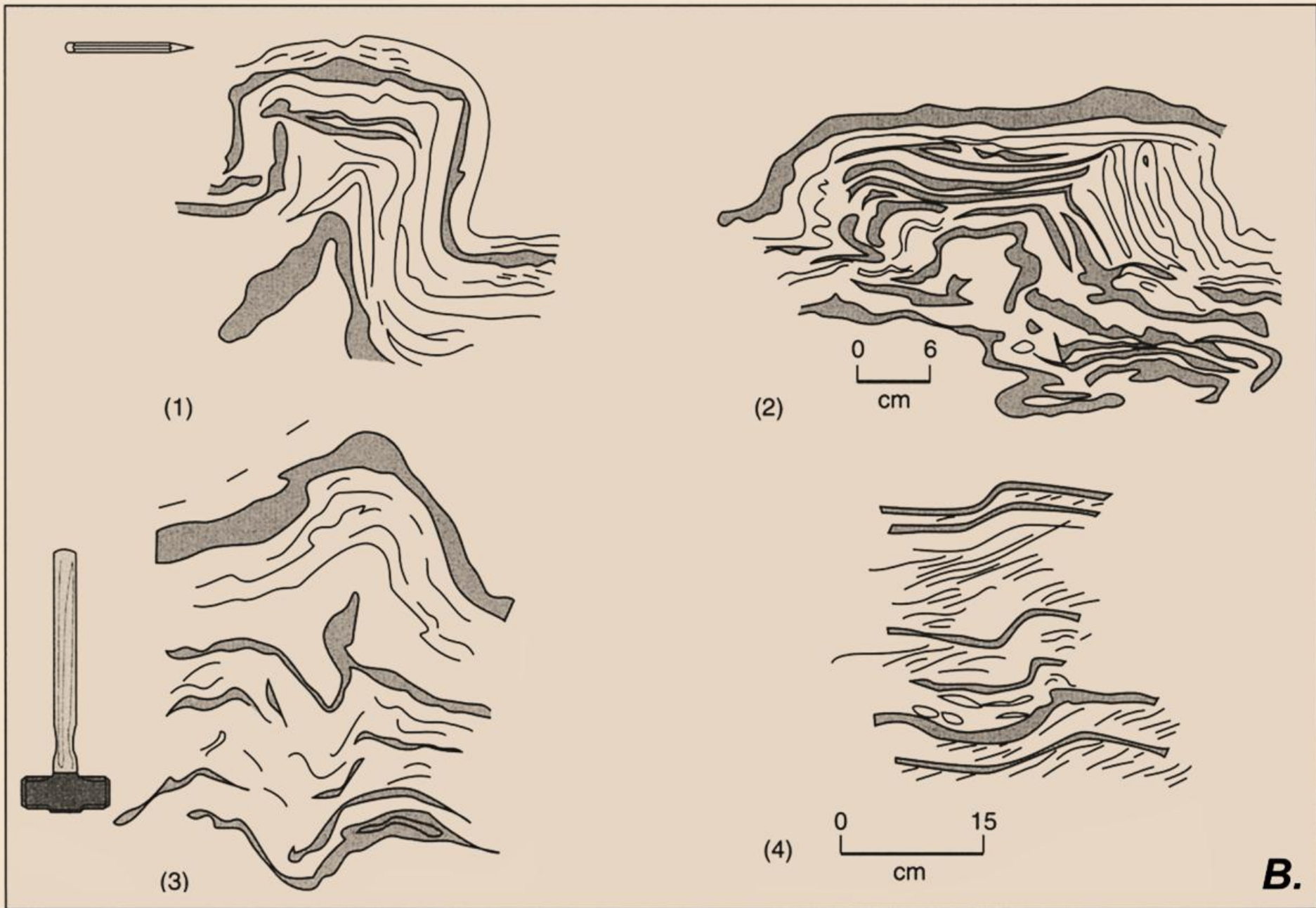
**A.** Διακρίνονται χαρακτηριστικά τα अपαραμόρφωτα ιζήματα κάτω από την κύρια ζώνη αποκόλλησης (decollement). **B.** Σχηματική τομή πρίσματος συσσώρευσης με δύο τμήματα. Η σφήνα του πρίσματος έχει αποκολληθεί τόσο από την κατερχόμενη πλάκα, όσο και από τον φλοιό (υπόβαθρο), του εμπροσθο-τόξου.



# Πρίσμα συσσώρευσης

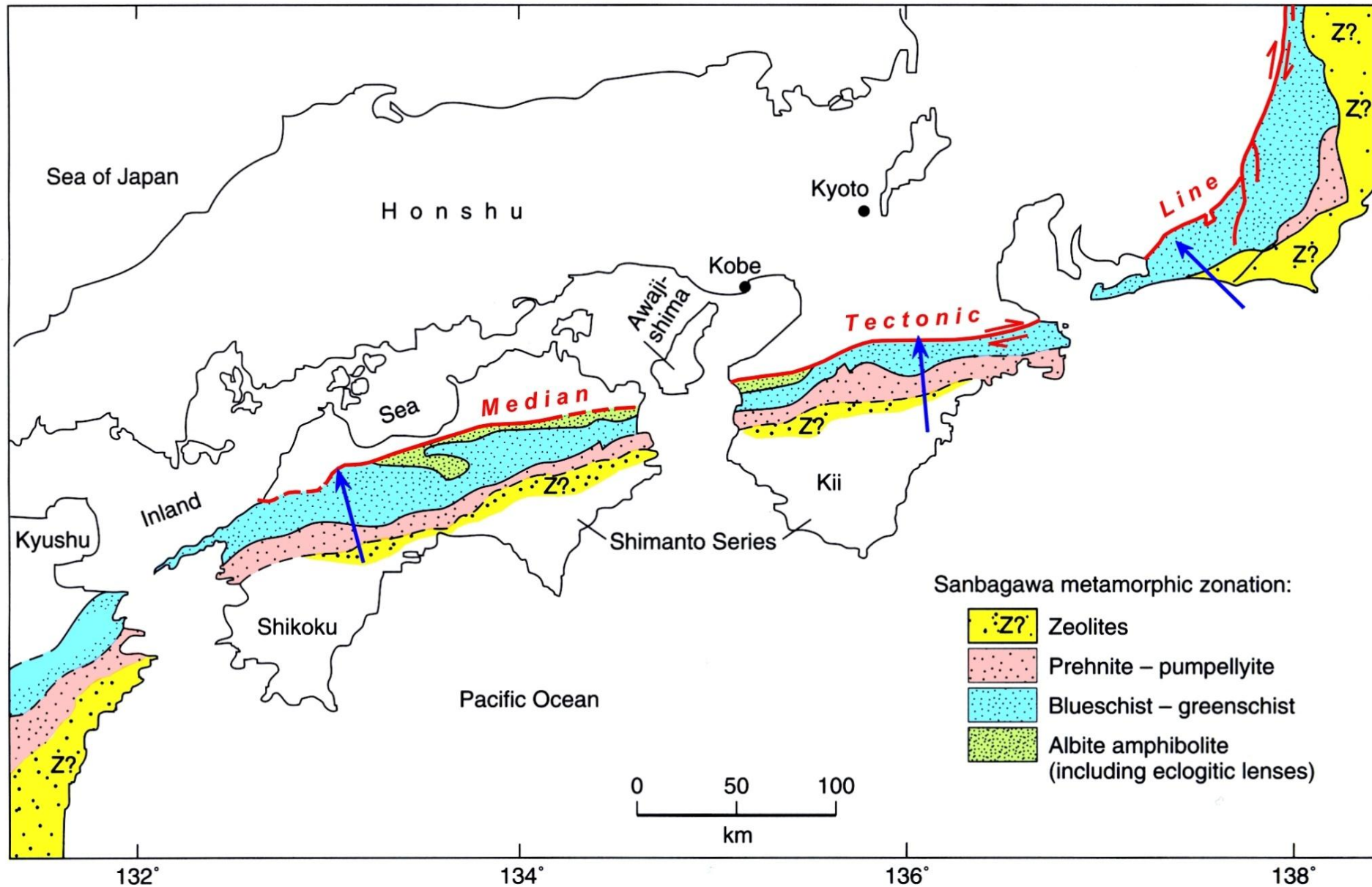


Δομή του τόξου των νήσων Μαριάνα. Κάτω από την εσωτερική πλευρά της τάφρου και την περιοχή της εμπροσθο-λεκάνης αναπτύσσονται τα παραμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου του τόξου. Τα ιζήματα της τάφρου είναι ελάχιστα, ενώ δεν αναπτύσσεται (ή αναπτύσσεται ελάχιστα) και πρίσμα συσσώρευσης. **A.** Απόδοση του σεισμικού προφίλ για ένα τμήμα της περιοχής του εμπροσθο-τόξου. **B.** Οι φυσιογραφικές περιοχές και μοντέλο του φλοιού για τη ζώνη υποβύθισης και το τόξο.

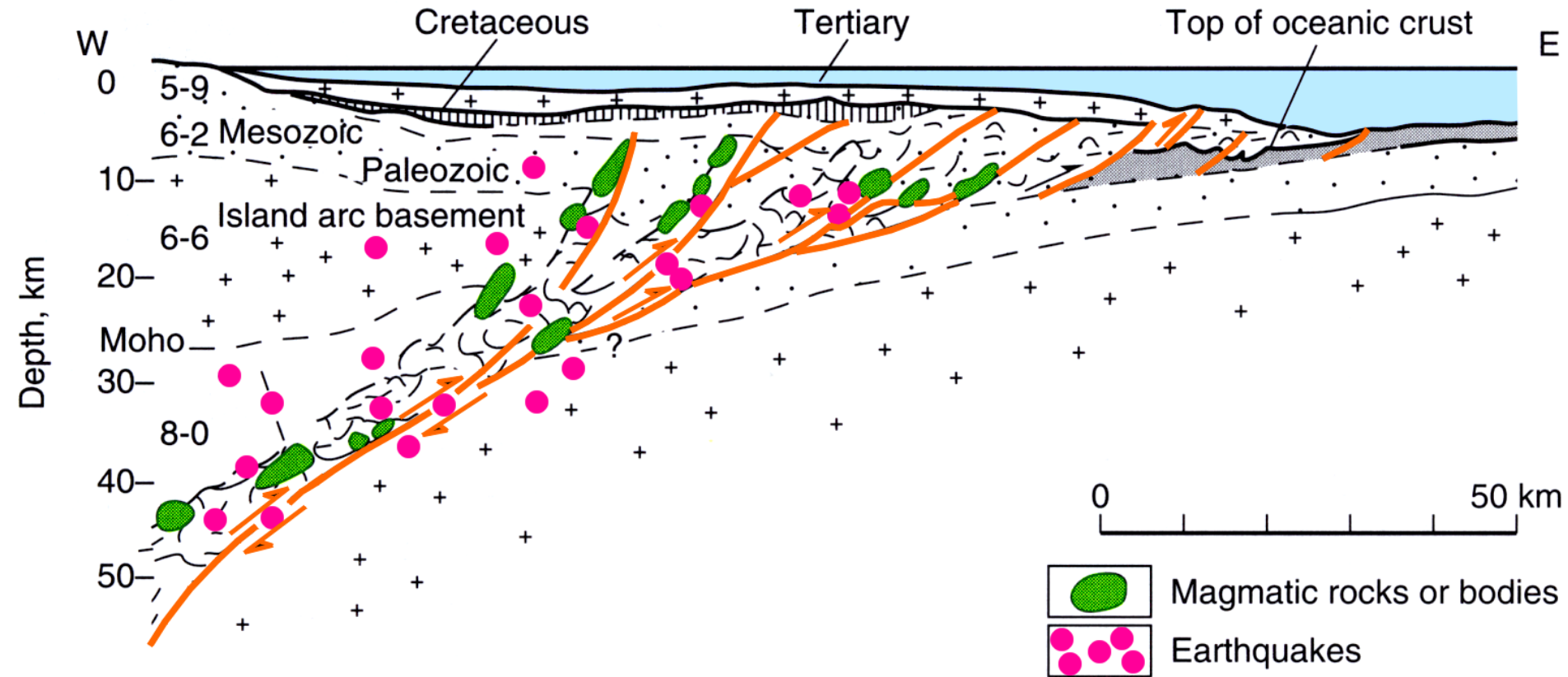


Χαρακτηριστικοί τύποι μικροπτυχών σε ψαμμιτο-πηλιτικά πετρώματα. Στο διάγραμμα (4) φαίνεται ένας σχισμός κατά διαστήματα (*spaced cleavage*), που τέμνει παλαιότερες πτυχώσεις.

# Μεταμορφική ζώνωση στις ζώνες υποβύθισης



# Ηφαιστειότητα στο πρίσμα συσσώρευσης



- Το μάγμα από τη θέση που δημιουργείται ακολουθεί επωθητικά ρήγματα ?

- Υποβύθιση κέντρου διάνοιξης, δηλαδή θερμού ωκεάνιου φλοιού ?

# Υπόβαθρο Τόξου – Ηφαιστειακό Τόξο

Υπόβαθρο τόξου → παλιότερα παραμορφωμένα και μεταμορφωμένα ωκεανικά ή ηπειρωτικά πετρώματα.

Λαμβάνουν χώρα μικρές πυριγενείς και μεταμορφικές διαδικασίες που δεν σχετίζονται με τεκτονικά γεγονότα.

## ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ

Κανονικά ρήγματα, εφελκυσμός, τεκτονικές λεκάνες → volcanic depressions.

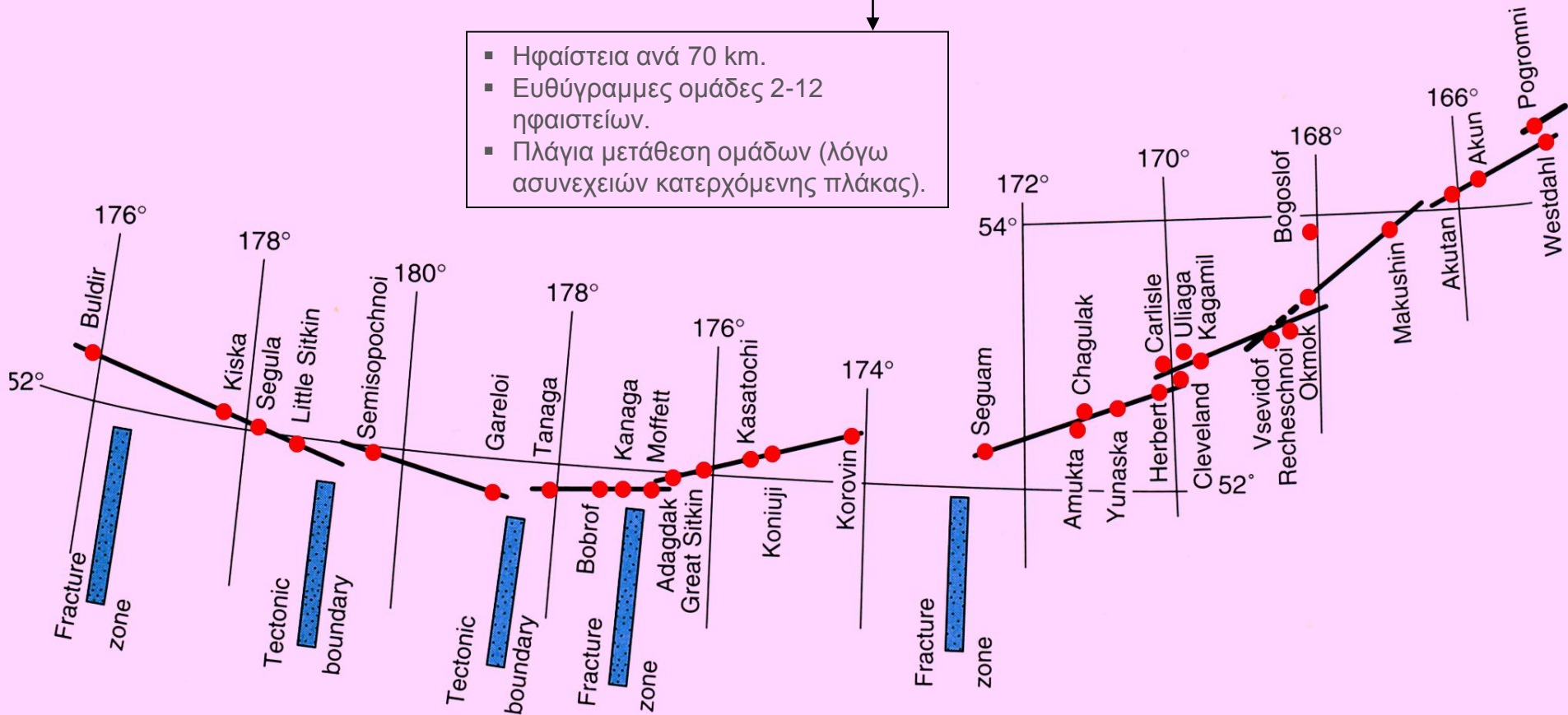
Εξαιρέση → Άνδεις

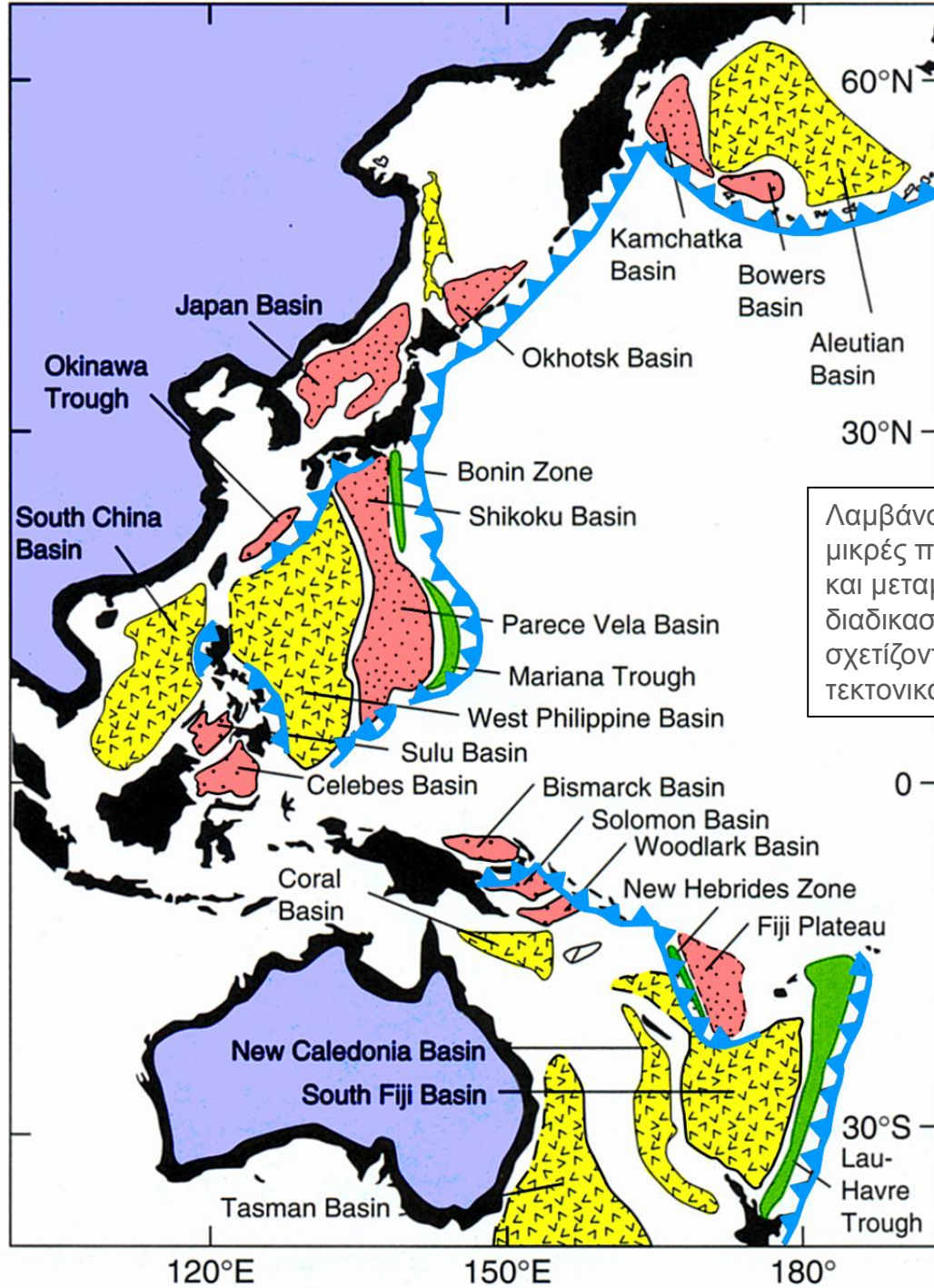
Βαθόλιθοι – Πλουτωνίτες

Paired Metamorphic Belts

Σύσταση (Al, K, Na) → Βάθος ζώνης Benioff

- Ηφαίστεια ανά 70 km.
- Ευθύγραμμες ομάδες 2-12 ηφαιστειών.
- Πλάγια μετάθεση ομάδων (λόγω ασυνεχειών κατερχόμενης πλάκας).





Λαμβάνουν χώρα μικρές πυριγενείς και μεταμορφικές διαδικασίες που δεν σχετίζονται με τεκτονικά γεγονότα.

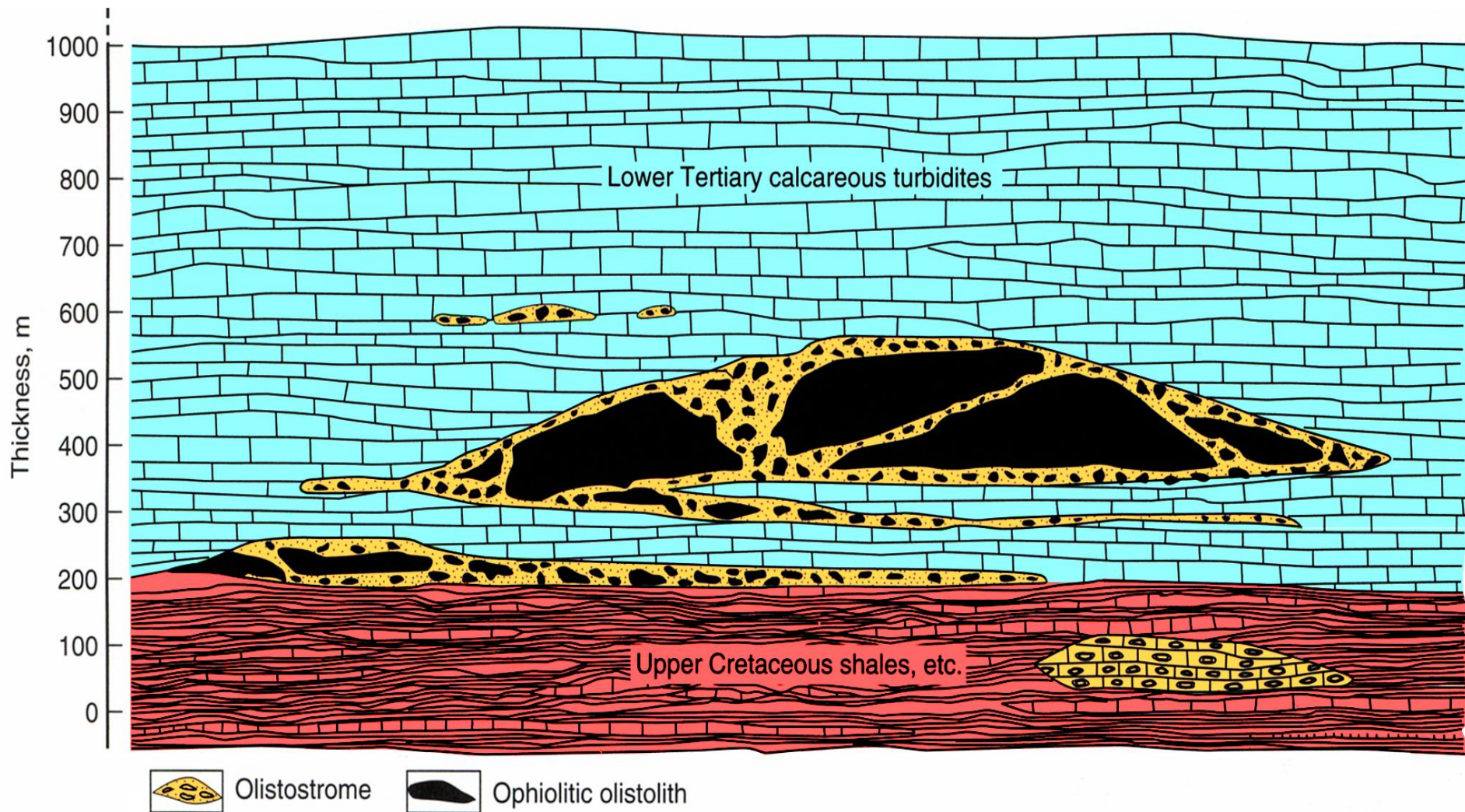
## Περιοχή Οπισθο-τόξου

Εφελκυσμός – καταβύθιση  
Εξαιρέση Άνδεις

Νησιωτικά τόξα → Back arc basins  
Ηπειρωτικά τόξα → foreland basins ή retro-arc basins

Σύσταση → απόσταση από ηφαιστειακό τόξο  
>>> απόσταση → σύσταση ανάλογη με μεσο-ωκεάνιες ράχεις  
<<< απόσταση → σύσταση ανάλογη με τόξο

# Χαοτικές αποθέσεις – Ολισθοστρώματα & Ολισθόλιθοι (ιζηματογενή mélange)

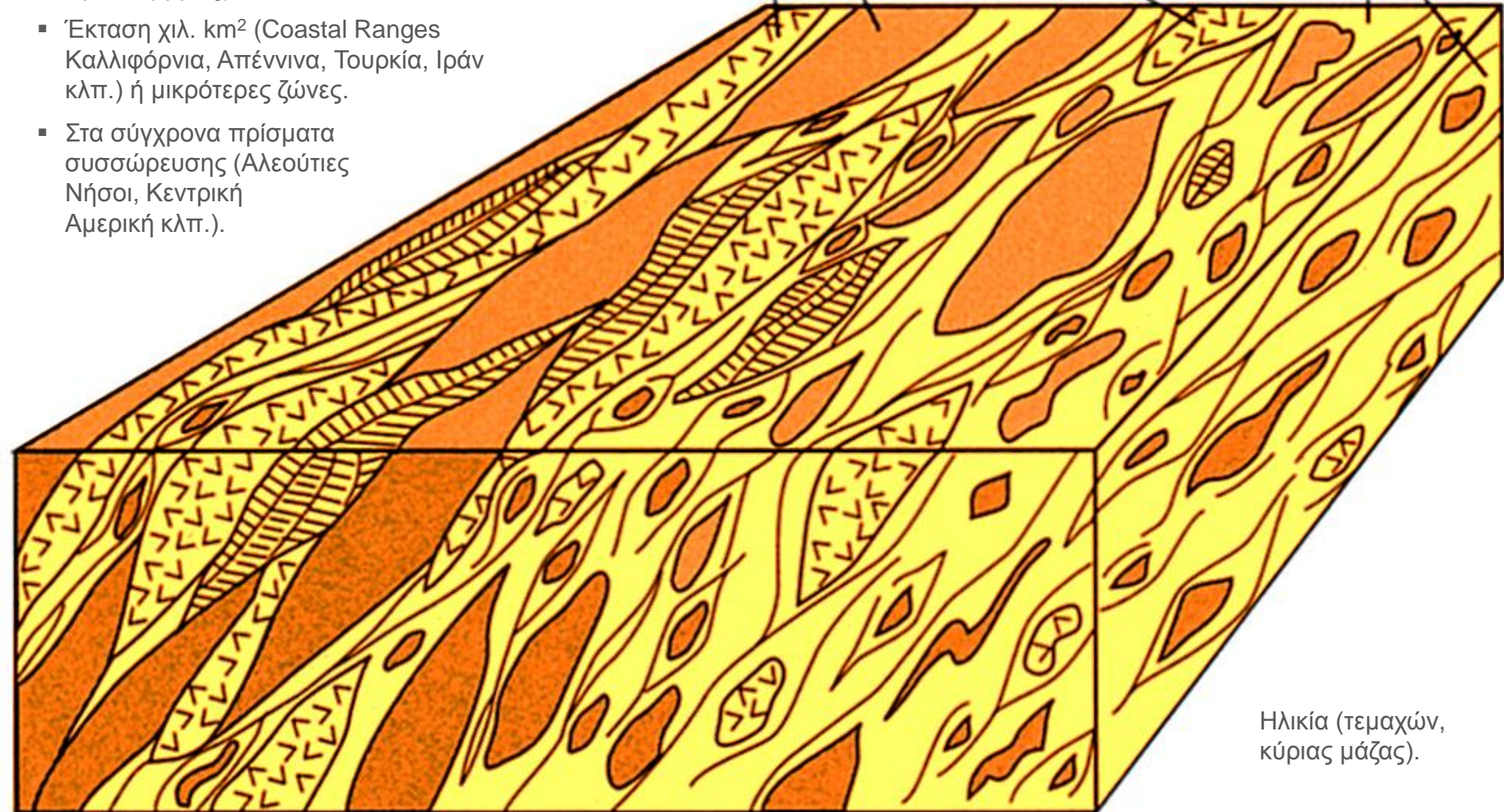


# Χαοτικές αποθέσεις – Melange (τεκτονικό μείγμα)

- Σε όλες τις ορογενετικές αλυσίδες (και προ-Κάμβριες).
- Έκταση χιλ. km<sup>2</sup> (Coastal Ranges Καλιφόρνια, Απέννινα, Τουρκία, Ιράν κλπ.) ή μικρότερες ζώνες.
- Στα σύγχρονα πρίσματα συσσώρευσης (Αλεούτιες Νήσοι, Κεντρική Αμερική κλπ.).

Blocks, inclusions,  
or 'phacoids'

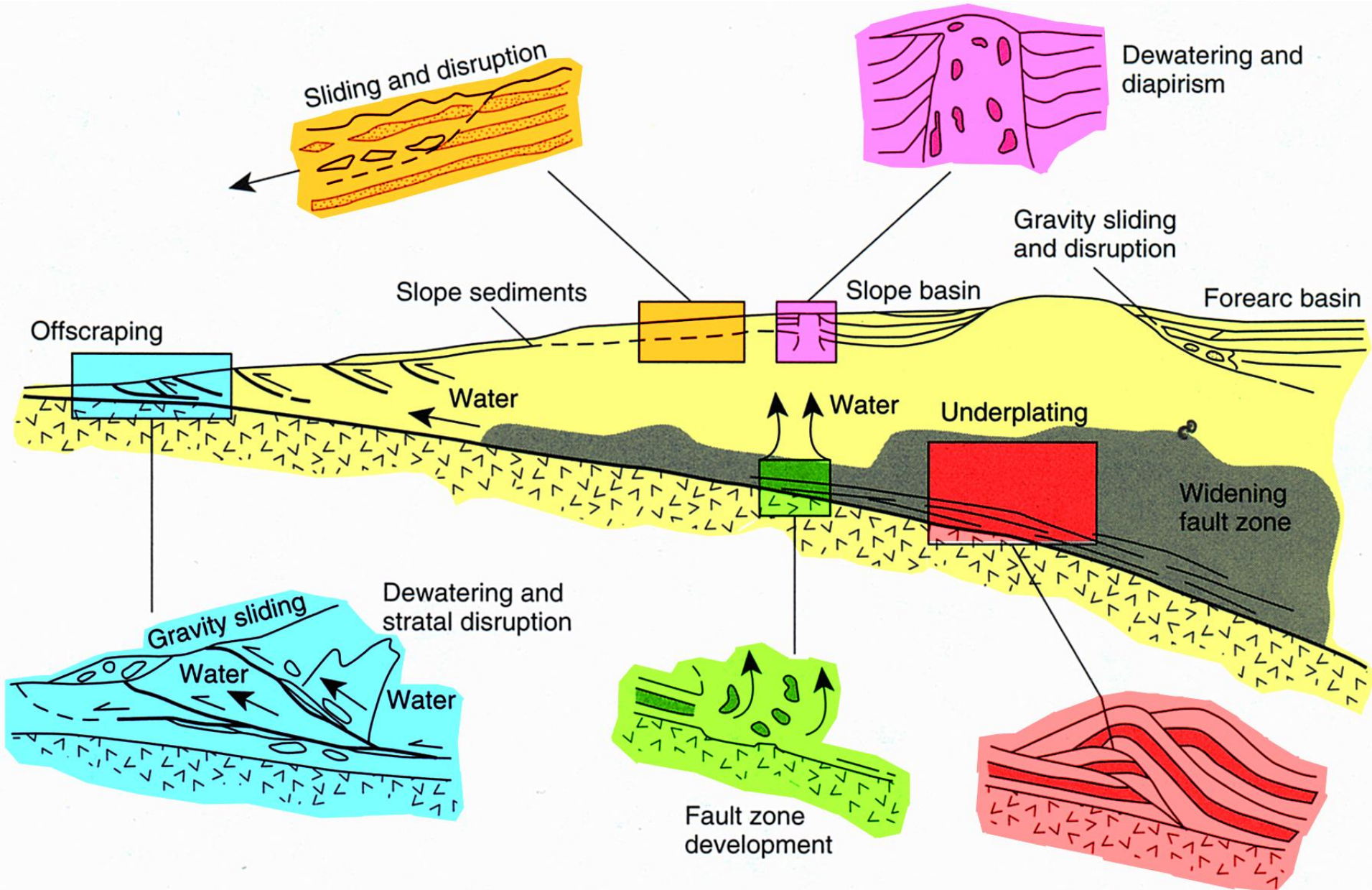
Sheared  
"scaly" matrix



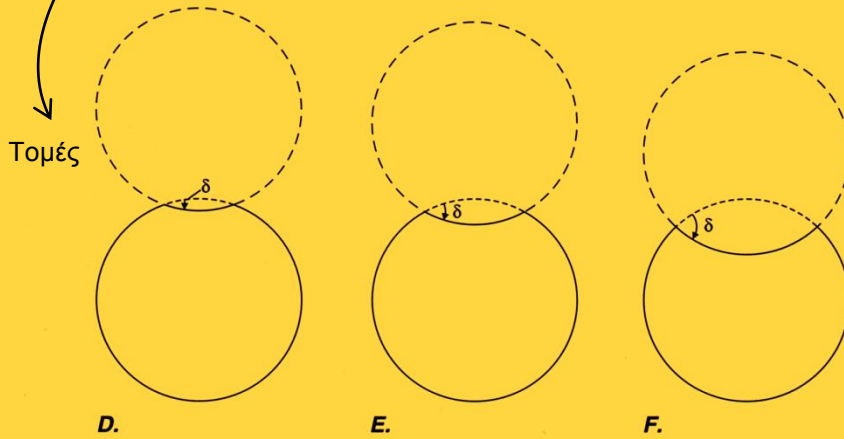
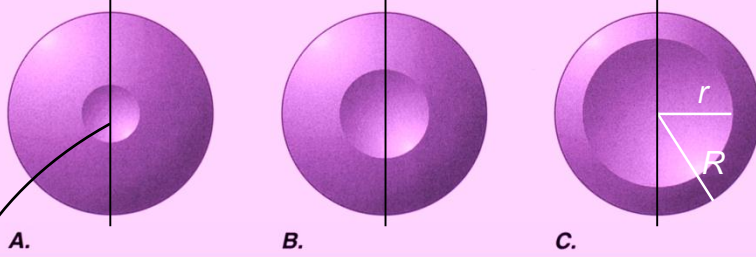
Ηλικία (τεμαχών,  
κύριας μάζας).



# Χαοτικές αποθέσεις – Melange



# Μοντέλα για τις διαδικασίες Στις Ζώνες Υποβύθισης



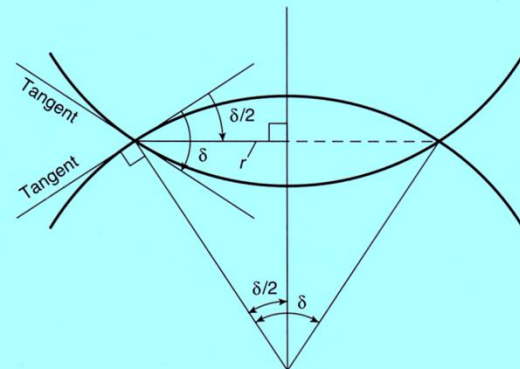
Μοντέλο ενός μη εκτατού σφαιρικού κελύφους που συμπιέζεται προς το κέντρο της σφαίρας (μοντέλο της μπάλας του ring-pong). **Στ επιφάνεια & σφαιρικό κοίλωμα αντίθετης γεωμετρίας.**

**A-C.** Κοιλώματα ("βαθουλώματα"), με αυξανόμενο μέγεθος σε ένα μη εκτατο σφαιρικό κέλυφος. Η ακτίνα του κύκλου που δημιουργεί το κορυφαίο τμήμα του βαθουλώματος αυξάνεται από το A στο C.

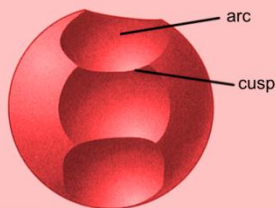
**D-F.** Εγκάρσιες τομές στα προηγούμενα κοιλώματα. Το κοίλο τμήμα αντιστοιχεί στη διατομή με μια νοητή σφαίρα ίδιας ακτίνας, και η γωνία  $\delta$  αυξάνεται με το μέγεθος του κοιλώματος.

**G.** Η σχέση που συνδέει την ακτίνα  $r$  του κορυφαίου κύκλου του κοιλώματος, τη γωνία  $\delta$  και την ακτίνα  $R$  της σφαίρας.

**H.** Αν και κοιλώματα με μεγάλη ακτίνα  $r$  χρειάζονται και μεγάλη γωνία  $\delta$ , η γωνία μπορεί να παραμείνει μικρή αν το ενιαίο κοίλωμα χωρισθεί σε επιμέρους κοιλώματα δημιουργώντας μια σειρά από εναλλαγές τοξοειδών και οξύληκτων τμημάτων ("series of arc and cusp").

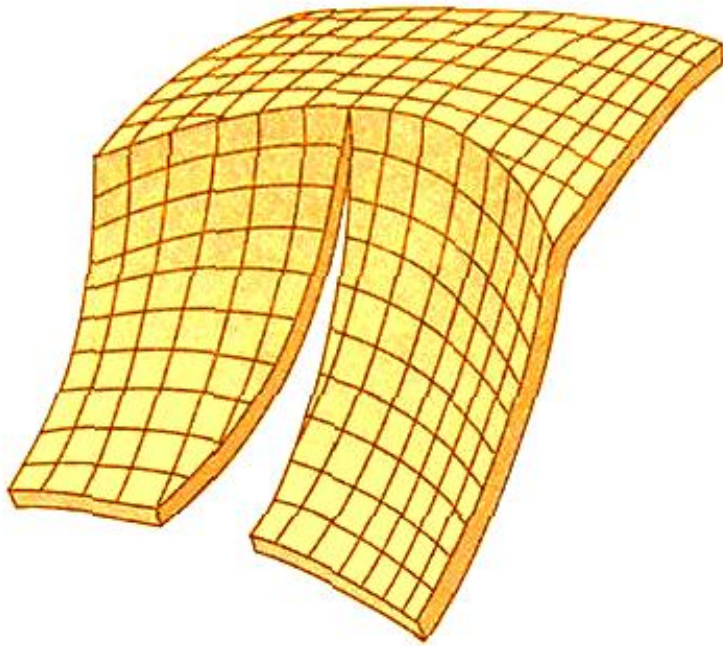


$$r = R \cdot \eta\mu \frac{\delta}{2}$$

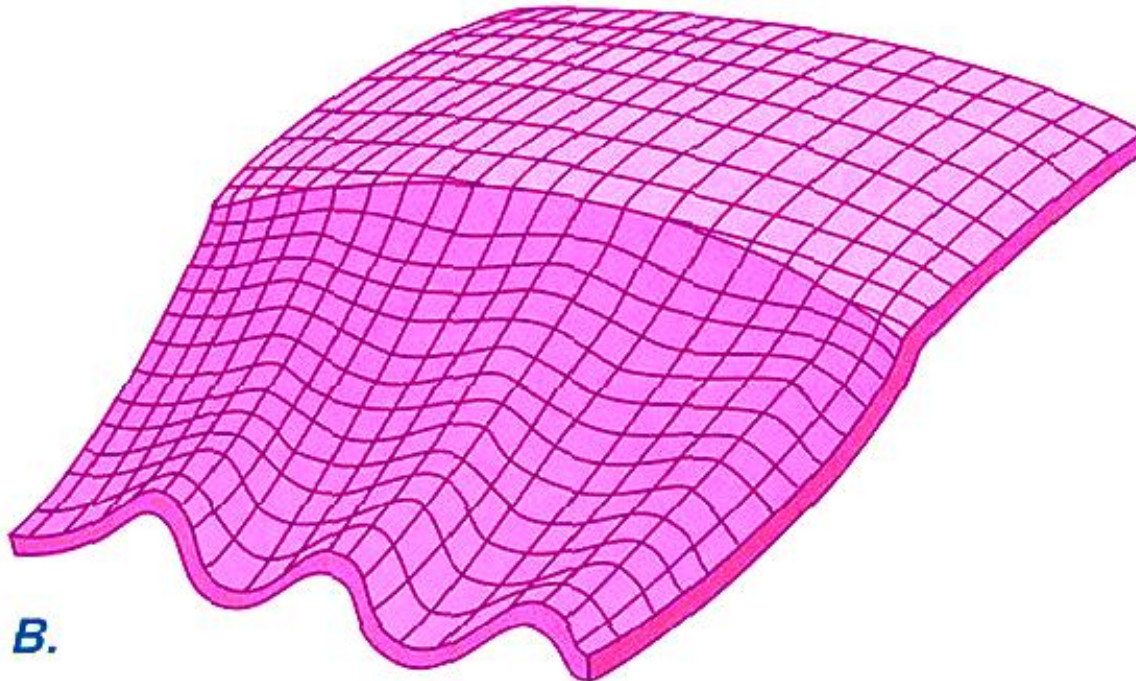


Στην αναγωγή σε επίπεδο γήινης σφαίρας, η ακτίνα  $R$  αντιστοιχεί στην **ακτίνα  $R_e$  της Γης**, η γωνία  $\delta$  στη **γωνία υποβύθισης** και το κοίλωμα στη **γεωμετρία της υποβυθιζόμενης πλάκας**. Σε μεγάλες πλάκες, όπως του Ειρηνικού, η γεωμετρία της ζώνης υποβύθισης χαρακτηρίζεται από διαδοχικές εναλλαγές τοξοειδών και οξύληκτων τμημάτων (arc and cusp).

H.



A.



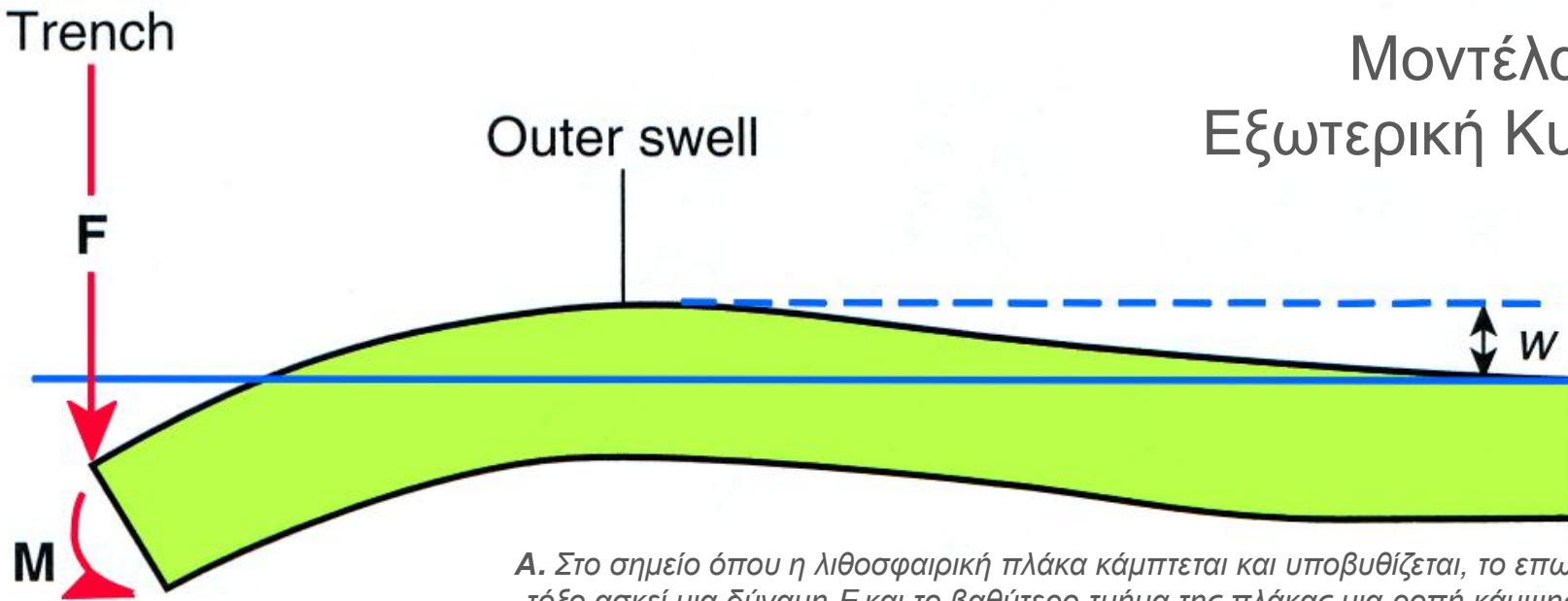
B.

Η παραμόρφωση στις ζώνες υποβύθισης όπου δεν ισχύει το κλασσικό μοντέλο του μη εκτατού σφαιρικού κελύφους και άρα και η σχέση που συνδέει τα μεγέθη  $r$ ,  $R$  και  $\delta$ .

**A.** Αν η γωνία βύθισης  $\delta$  είναι πολύ μεγαλύτερη, από αυτή που αντιστοιχεί στην ακτίνα  $r$ , τότε η παραμόρφωση χαρακτηρίζεται από **εφελκυσμό** και **διάρρηξη** (*tearing*).

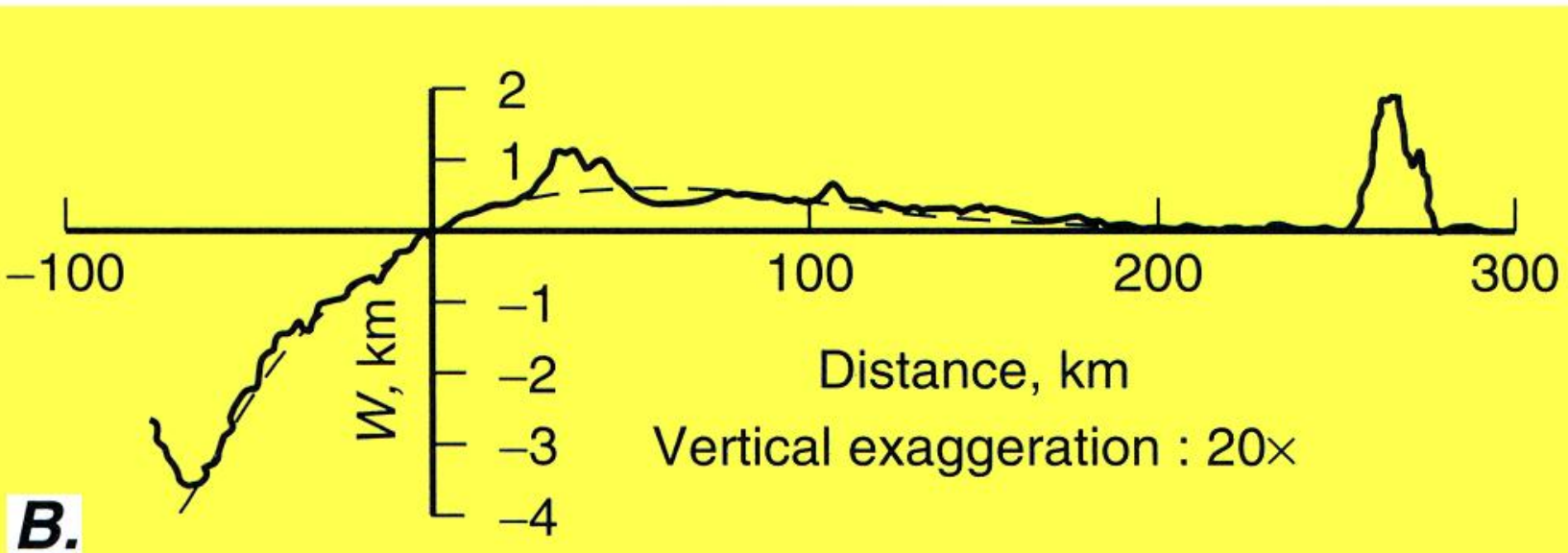
**B.** Αν η γωνία είναι πολύ μικρότερη, τότε η παραμόρφωση χαρακτηρίζεται από **συμπίεση** και **πτύχωση** (*buckling*).

# Μοντέλα για την Εξωτερική Κυρτότητα



**A.**

A. Στο σημείο όπου η λιθσφαιρική πλάκα κάμπτεται και υποβυθίζεται, το επωθούμενο νησιωτικό τόξο ασκεί μια δύναμη  $F$  και το βαθύτερο τμήμα της πλάκας μια ροπή κάμψης  $M$ . Η επίλυση των εξισώσεων για την κάμψη μιας **ελαστικής** πλάκας κάτω από αυτές τις συνθήκες, δείχνει ότι αναπτύσσεται ένα εξόγκωμα (κύρτωμα), που αντιστοιχεί στην εξωτερική κυρτότητα της πλάκας. Προϋποθέτει όμως πολύ υψηλές τάσεις στο εσωτερικό της πλάκας (900 Mpa). Εναλλακτικές λύσεις: **μοντέλα ελαστικο-ιξώδους ή ελαστικο-πλαστικού μέσου** που απαιτούν μικρότερες τάσεις.

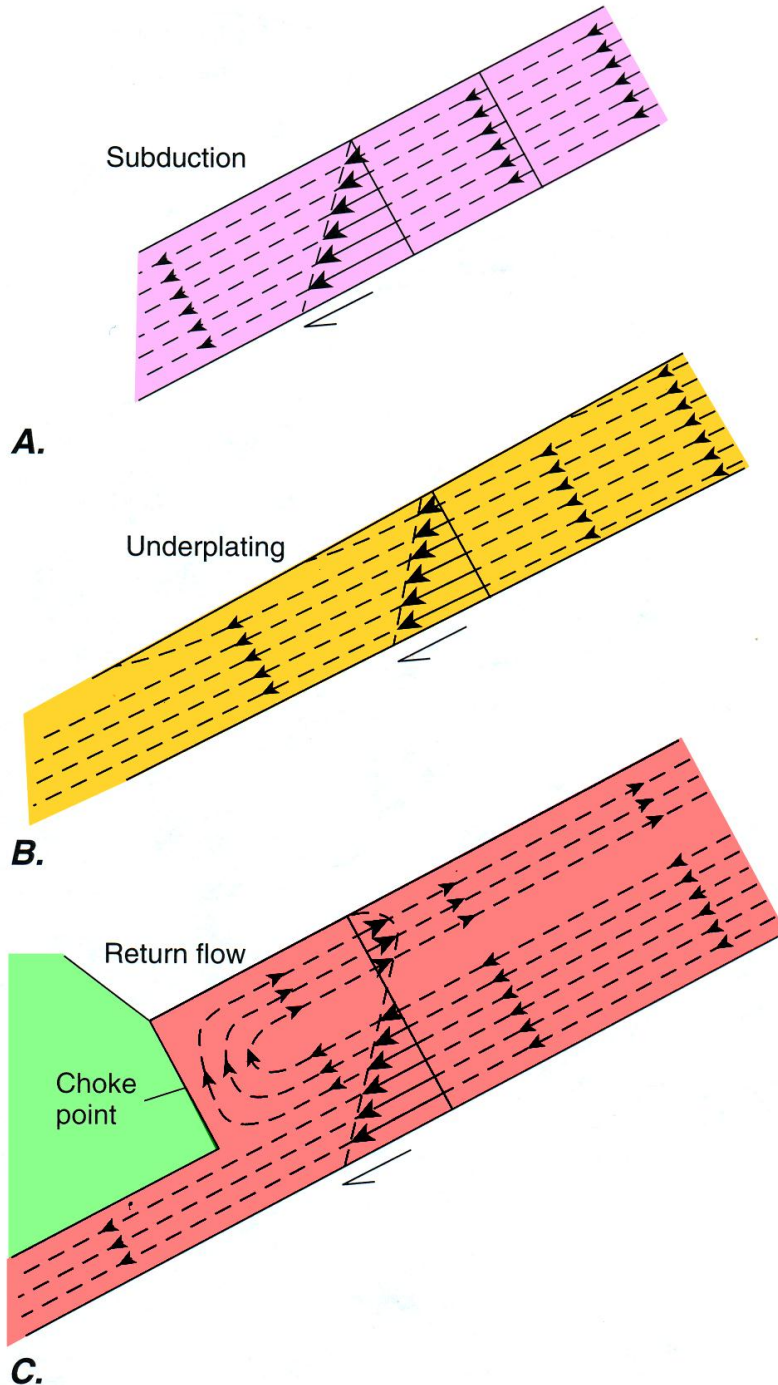


**B.**

B. Επίλυση για την ελαστική κάμψη μιας πλάκας (διακεκομμένη γραμμή), που αντιστοιχεί στην τοπογραφία της ζώνης υποβύθισης των Μαριάνων νήσων.

# Πρότυπο ροής των ιζημάτων σε μια ζώνη υποβύθισης

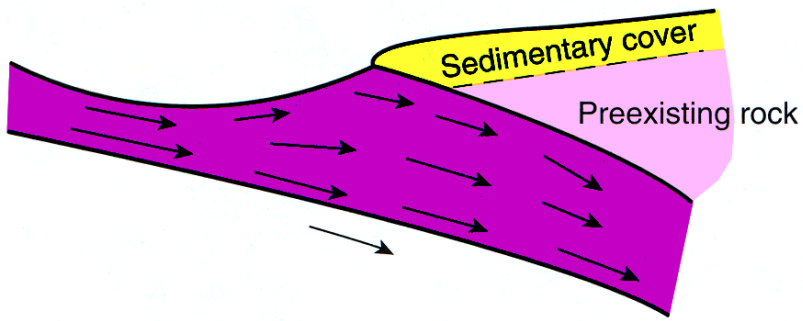
Μοντέλα για τη ροή των ιζημάτων σε μια ζώνη υποβύθισης. Οι διακεκομμένες γραμμές με τα βέλη αντιπροσωπεύουν τις γραμμές ροής (streamlines) και οι συνεχείς γραμμές με τα βέλη το προφίλ των ταχυτήτων.



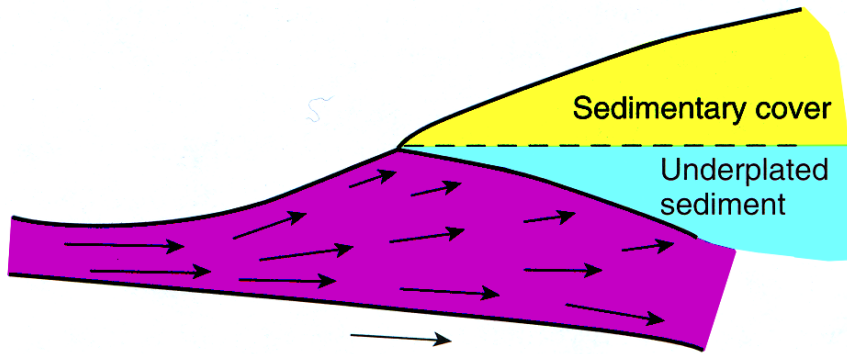
**A.** Ροή σταθερής κατάστασης (steady-state flow), όπου η τροφοδοσία με ιζήματα είναι μικρότερη ή ίση με τη χωρητικότητα της ζώνης υποβύθισης.

**B.** Προσάρτηση ιζημάτων στη βάση της επωθούμενης πλάκας (underplating), όπου τα ιζήματα που απομακρύνονται από τη ζώνη υποβύθισης προσαρτώνται στο υπερκείμενο πρίσμα συσσώρευσης και οδηγούν στην πάχυνσή του. Αυτό συμβαίνει όταν η διατμητική τάση στο επικρεμάμενο τοίχωμα είναι σχετικά μικρή. Αν είναι μεγάλη έχουμε διάβρωση και μείωση του πάχους της σφήνας.

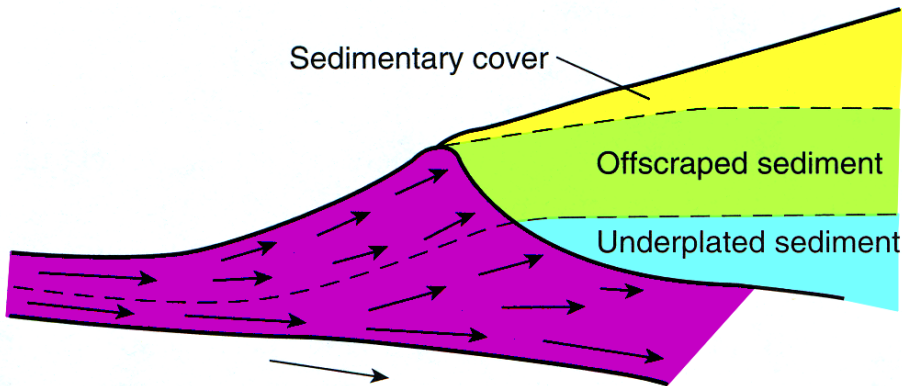
**C.** Αντίθετη ροή παρατηρείται όταν η τροφοδοσία με ιζήματα, π.χ. σε κάποια στένωση της ζώνης λόγω ενός δοντιού (choke point), είναι μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα της ζώνης. Αποκάλυψη στην επιφάνεια πετρωμάτων υψηλών πιέσεων ή δημιουργία mélange.



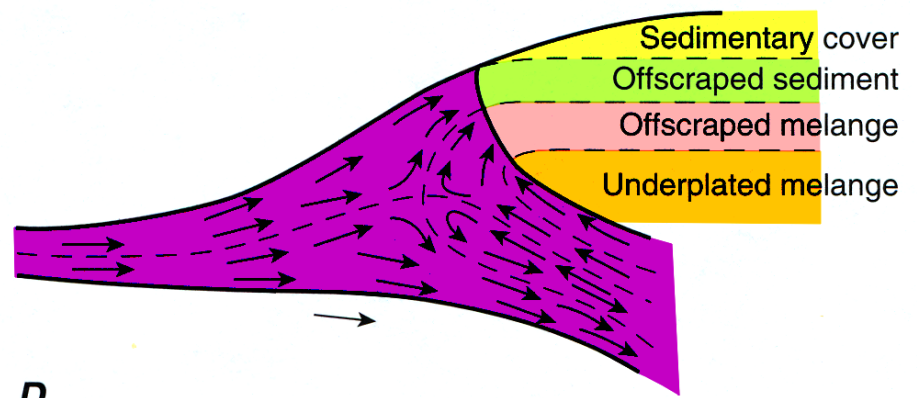
**A.**



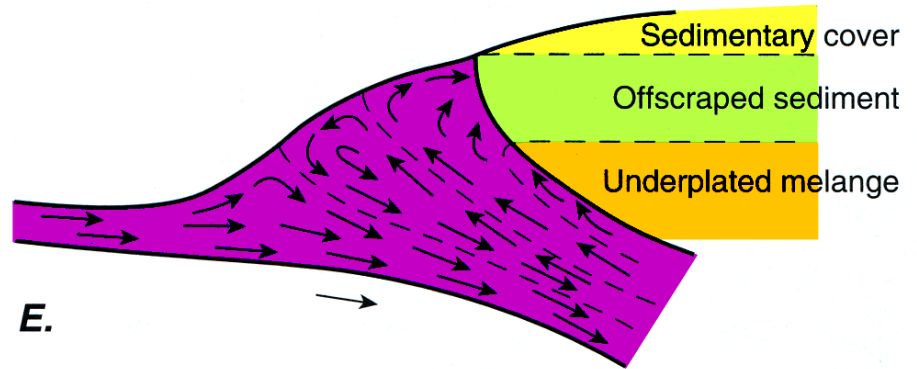
**B.**



**C.**



**D.**



**E.**

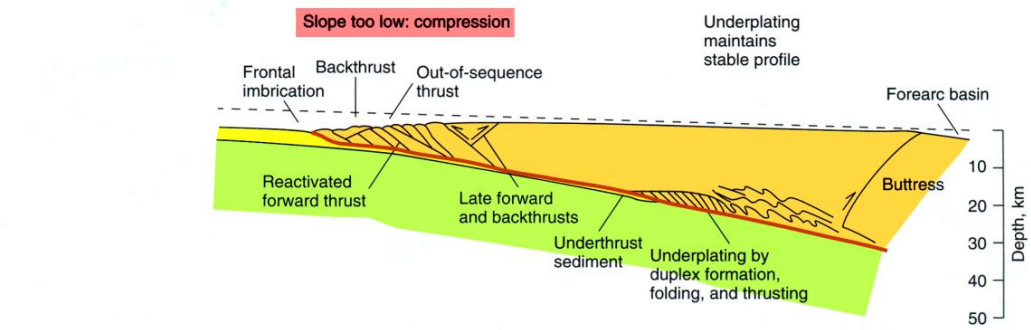
**A.** Υποβύθιση του συνόλου των ιζημάτων.

**B.** Μερική υποβύθιση και μερική προσάρτηση στη βάση της επωθούμενης πλάκας (*underplating*).

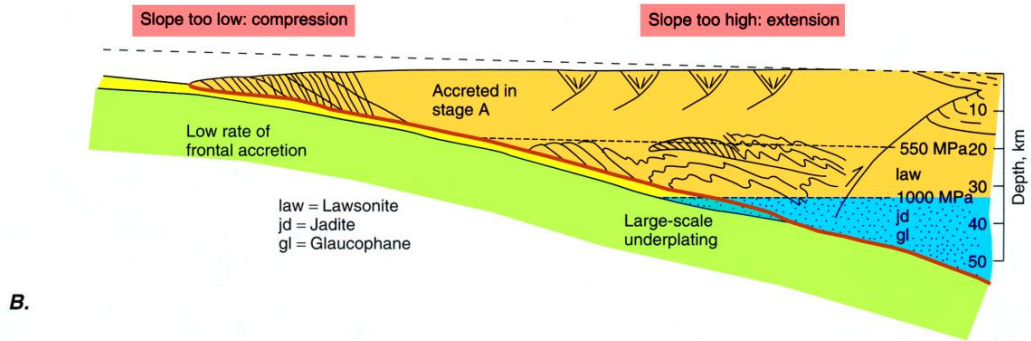
**C.** Μερική προσάρτηση με απόξεση (*offscraping*), μερική προσάρτηση με *underplating* και μερική υποβύθιση.

**D.** Τα εισερχόμενα στη ζώνη ιζήματα ή υποβυθίζονται ή προσαρτώνται με απόξεση. Η αντίθετη ροή φέρνει στην είσοδο της ζώνης ένα *mélange*, το οποίο προσαρτάται με απόξεση ή *underplating*, αλλά μπορεί μερικώς να υποβυθίζεται ξανά.

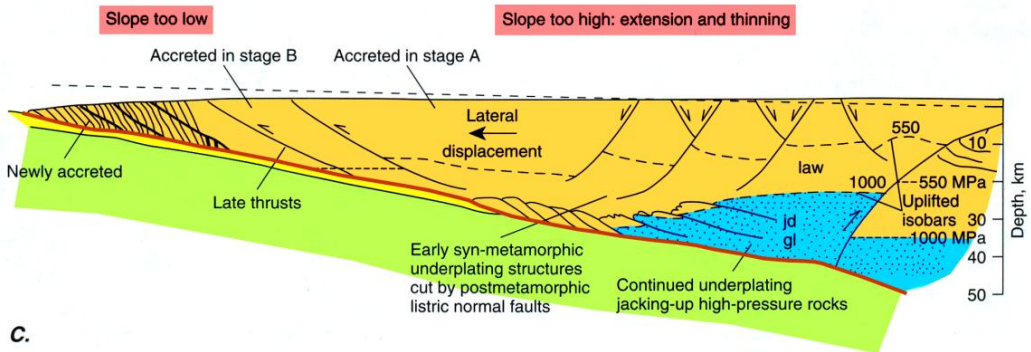
**E.** Τα εισερχόμενα στη ζώνη ιζήματα υποβυθίζονται. Το *mélange* που επιστρέφει από την αντίθετη ροή προσαρτάται με απόξεση ή *underplating*, ή μερικώς υποβυθίζεται ξανά.



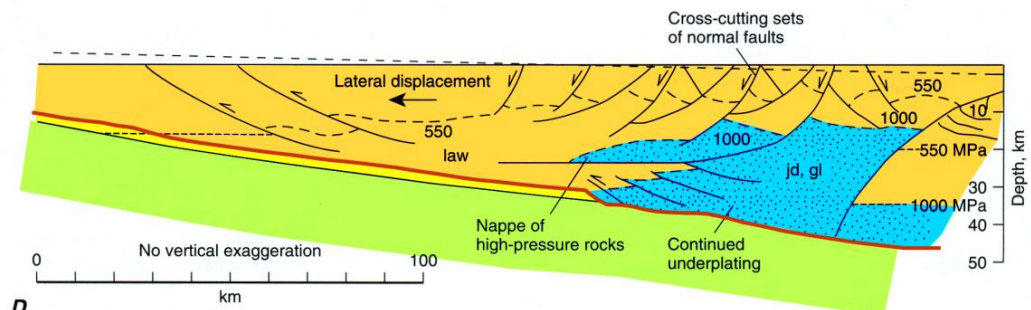
**A.** Στη μύτη της σφήνας του πρίσματος συσσώρευσης, αν η κλίση είναι πολύ μικρή, λαμβάνει χώρα βράχυνση και πάχυνση με το σχηματισμό διαδοχικών επιπτεύσεων και λεπιώσεων, συνθετικών ως προς τη ζώνη υποβύθισης, αλλά και μερικών αντιθετικών. Διαδικασίες προσάρτησης στη βάση της επιπτεύουσας πλάκας (*underplating*), λαμβάνουν επίσης χώρα, μέσα από το σχηματισμό διπλών (ή δίδυμων) επωθητικών δομών (*duplex formation*) και πτυχώσεων σε βαθύτερους τεκτονικούς ορόφους.



**B.** Η διαδικασία της προσάρτησης στη βάση της επωθούμενης πλάκας (*underplating*), συνεχίζει να προκαλεί άνοδο των παλαιότερων πετρωμάτων και αύξηση της κλίσης στο πίσω τμήμα της σφήνας. Αν η αύξηση αυτή είναι πολύ μεγάλη, τότε εκδηλώνεται βαρυτική κατάρρευση (*gravitational collapse*), με το σχηματισμό λιστρικών κανονικών ρηγμάτων. Το κυανό χρώμα στη διπλανή εικόνα καταδεικνύει τα πετρώματα που έχουν υποστεί πιέσεις μεγαλύτερες από 1000 MPa.

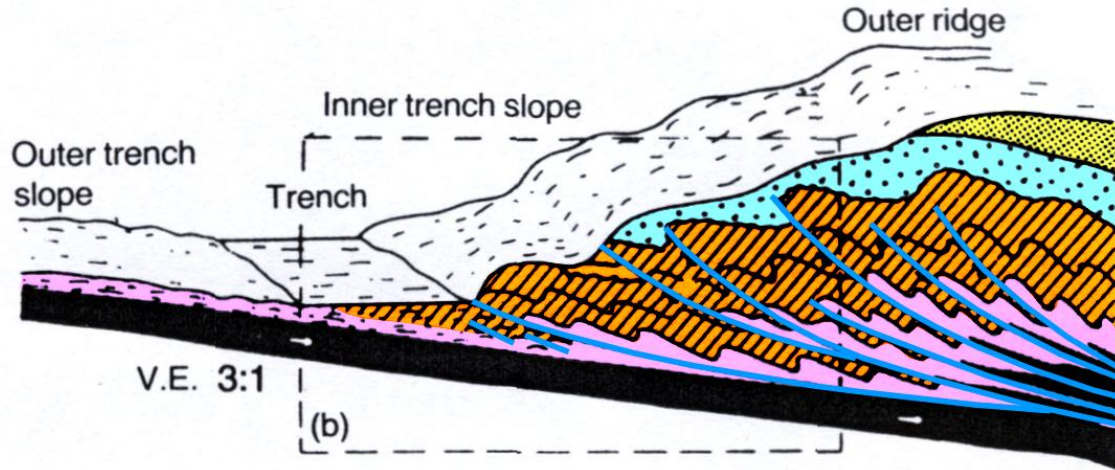


**C.** Ανάπτυξη του πρίσματος συσσώρευσης μέσα από τη συνεχιζόμενη άνοδο λόγω του *underplating* στα βαθύτερα τμήματα, που εξισορροπείται από βαρυτική κατάρρευση με λιστρικά ρήγματα στα ανώτερα τμήματα. Τα βαθύτερα πετρώματα ανέρχονται προς τα πάνω και το πρίσμα συσσώρευσης υπεραυξάνεται πάνω από τη ζώνη υποβύθισης.

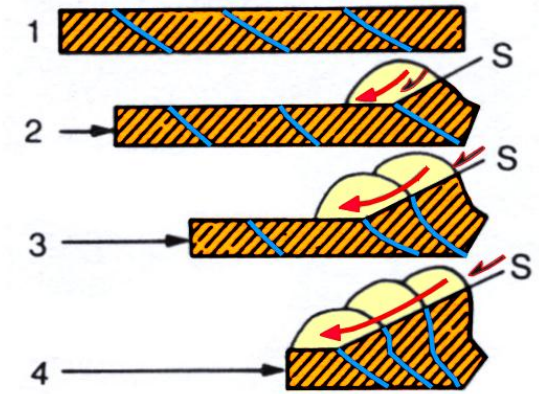


**D.** Η συνέχιση όλων αυτών των διαδικασιών δημιουργεί μια πολύπλοκη γεωμετρία από κανονικά ρήγματα κοντά στην επιφάνεια, καλύμματα από πετρώματα υψηλών πιέσεων με ολίσηση σε λιστρικά κανονικά ρήγματα στο βάθος, και έκταση της μύτης του πρίσματος συσσώρευσης με νεότερα επωθητικά ρήγματα.

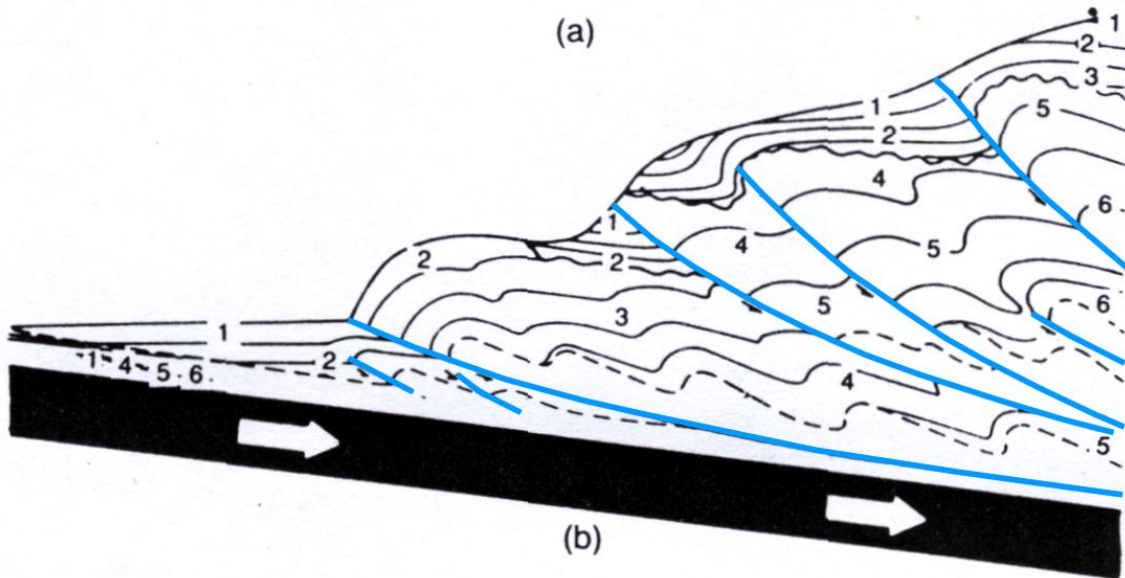
# Μηχανισμός δημιουργίας πρίσματος παραμόρφωσης



(a)



(c)



(b)



Continental shelf



Trench



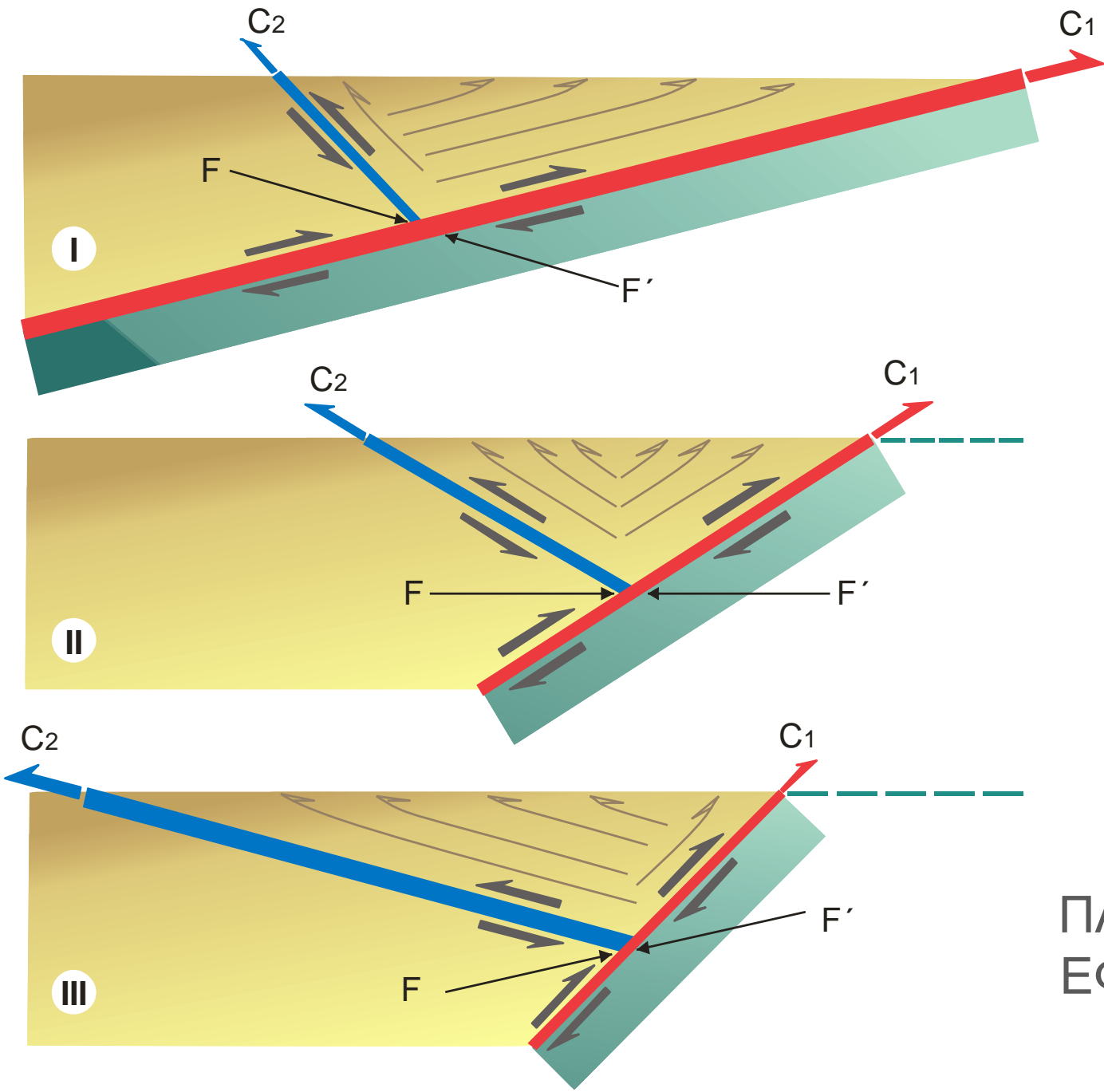
Continental slope



Abyssal plain

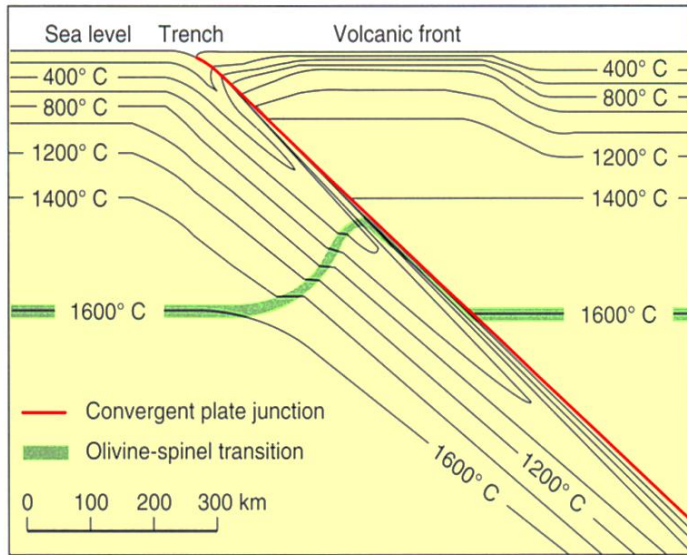
- Γεωλογικές δομές – απολιθωμένα πρίσματα παραμόρφωσης.
- Πελαγικές αποθέσεις ωκεανικής πλάκας + τουρβιδίτες του ίδιου του πρίσματος.
- Διαδοχικά λέπτη. Τα νεότερα στη βάση και οριζόντια, τα παλαιότερα υψηλότερα και ανορθωμένα.
- Ασύμφωνη απόθεση ιζημάτων με μικρή παραμόρφωση λόγω επαναδραστηριοποίησης των λεπτών.
- Ασύμφωνα ιζήματα (ηφαιστειο-κλαστικά) μετωπικής λεκάνης.
- «Ασυμφωνία» γεωφυσικών και γεωτρήσεων.





ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ  
ΕΦΙΠΠΕΥΟΥΣΑΣ  
ΠΛΑΚΑΣ

# Θερμική Δομή & Διαδικασίες Τήξης



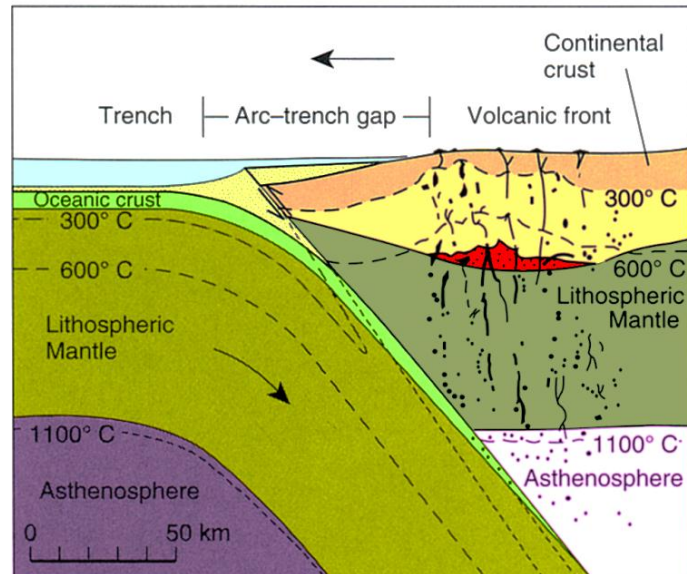
A.

• Είναι αρκετά υψηλές οι θερμοκρασίες για την τήξη του μάγματος ?

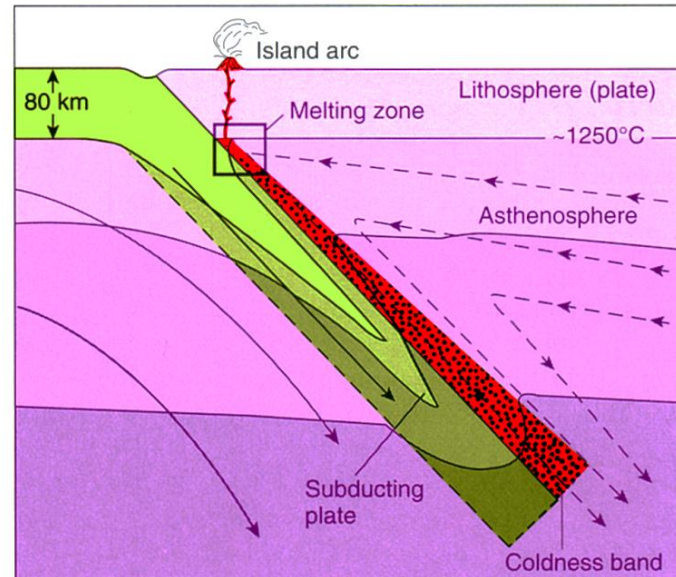
• Αύξηση θερμοκρασίας από διάτμηση. Ποσότητα μάγματος ανάλογα με ποσοστό και ταχύτητα διάτμησης.

• Η παρουσία του νερού μειώνει σημείο τήξης αλλά προϋποθέτει πιο πυριτικά μάγματα.

• Η ροή ζεστού μανδύα.



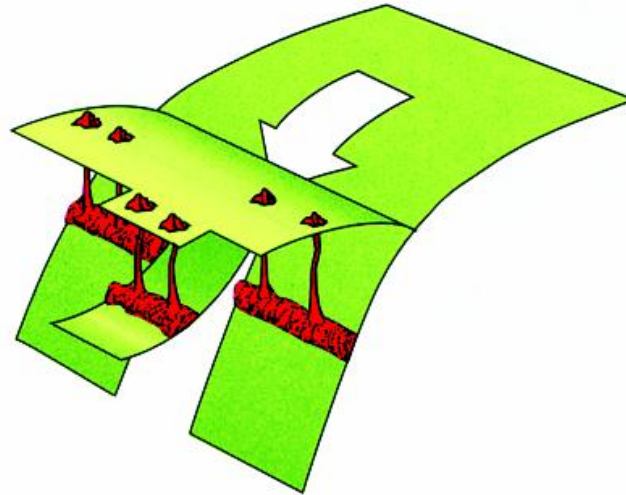
B.



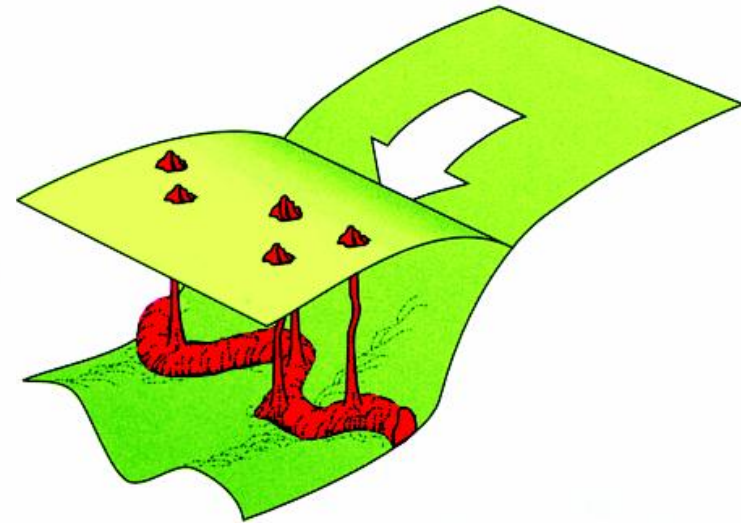
C.

# Η γεωμετρία των ηφαιστείων

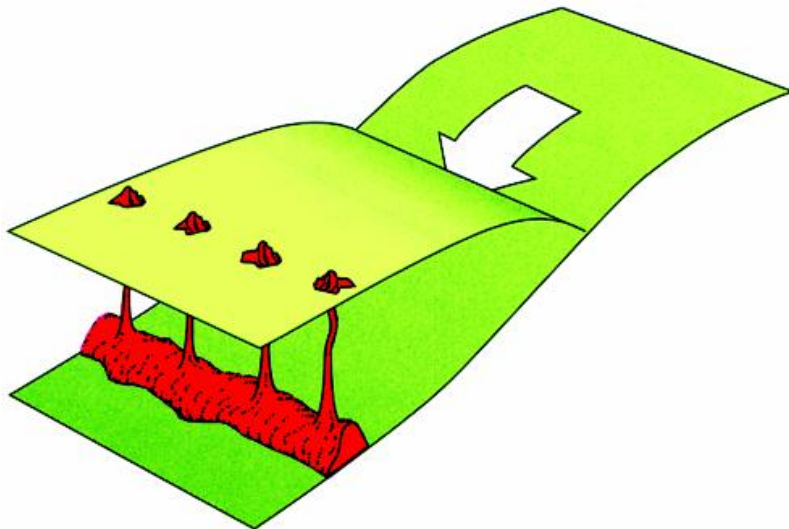
- Απόσταση ηφαιστείων → α) λόγος ρευστότητας μάγματος / ρευστότητα μανδύα, β) πάχος τηγμένου στρώματος.
- Ανωμαλίες στη γεωμετρία των ηφαιστείων → ανωμαλίες στη γεωμετρία της βυθιζόμενης λιθόσφαιρας.
- Επεισοδιακός και εκρηκτικός χαρακτήρας



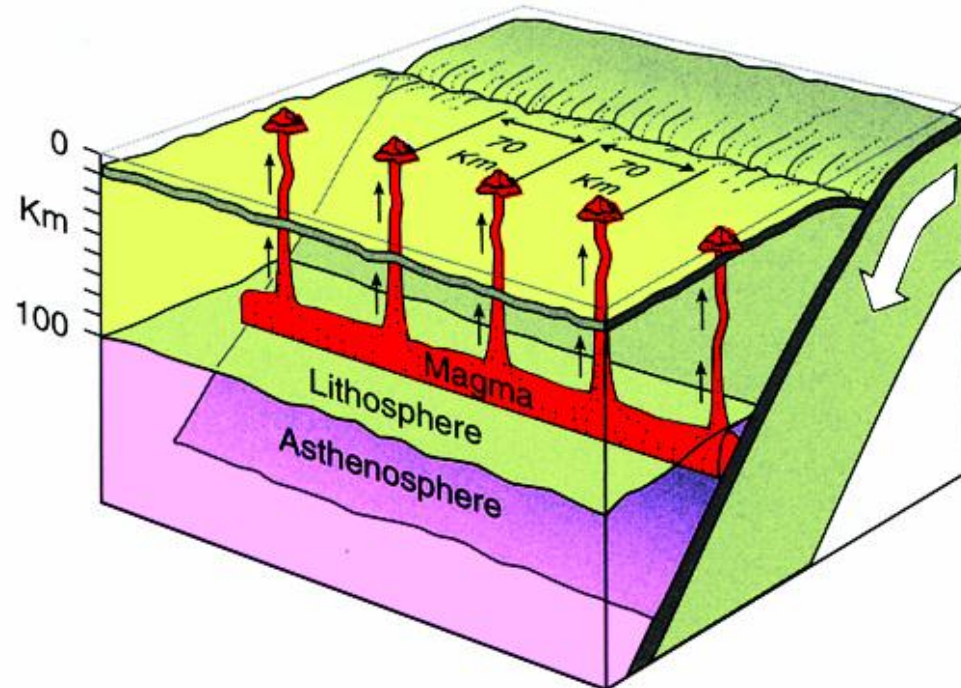
A faulted surface



An undulating surface

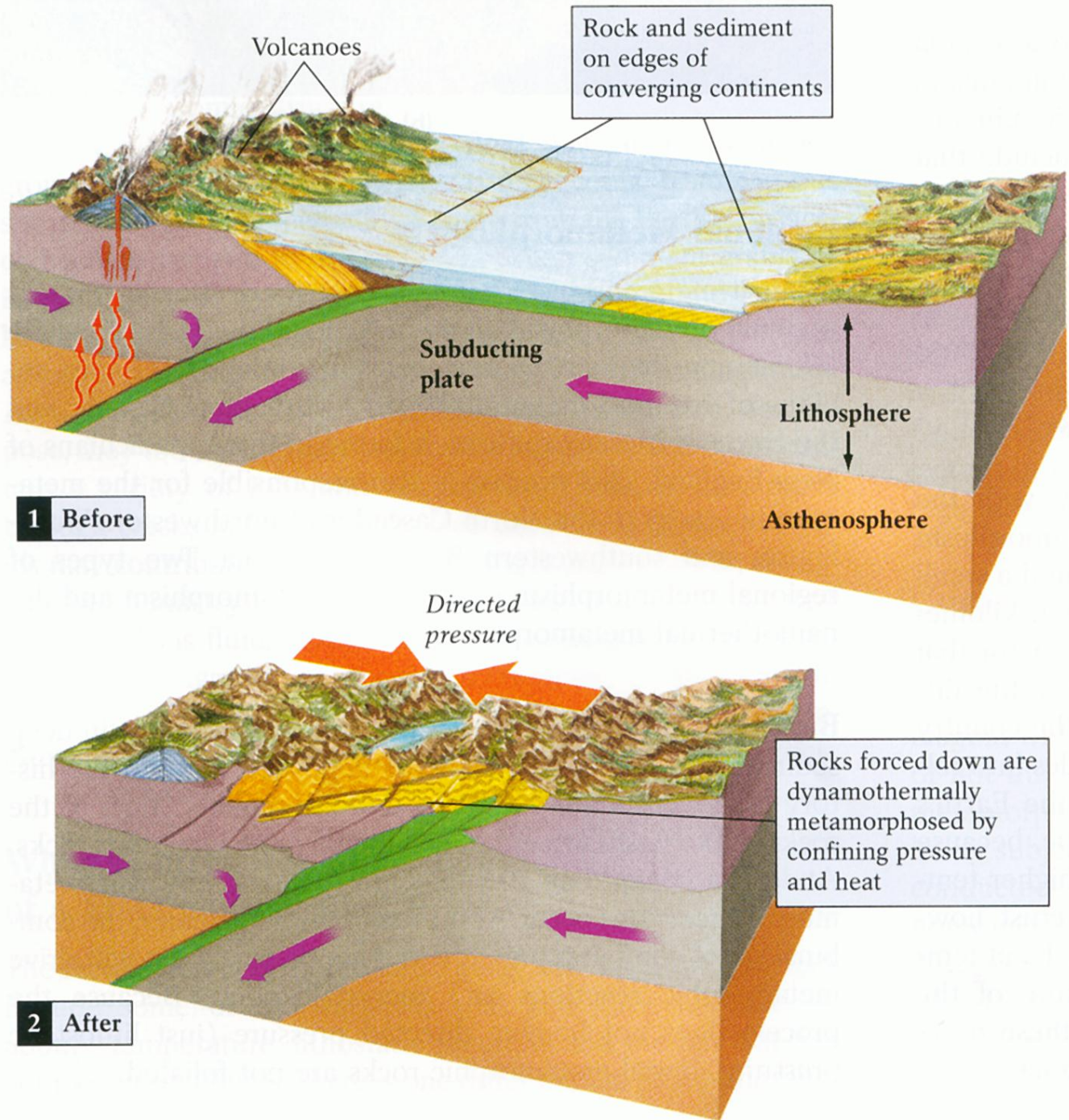


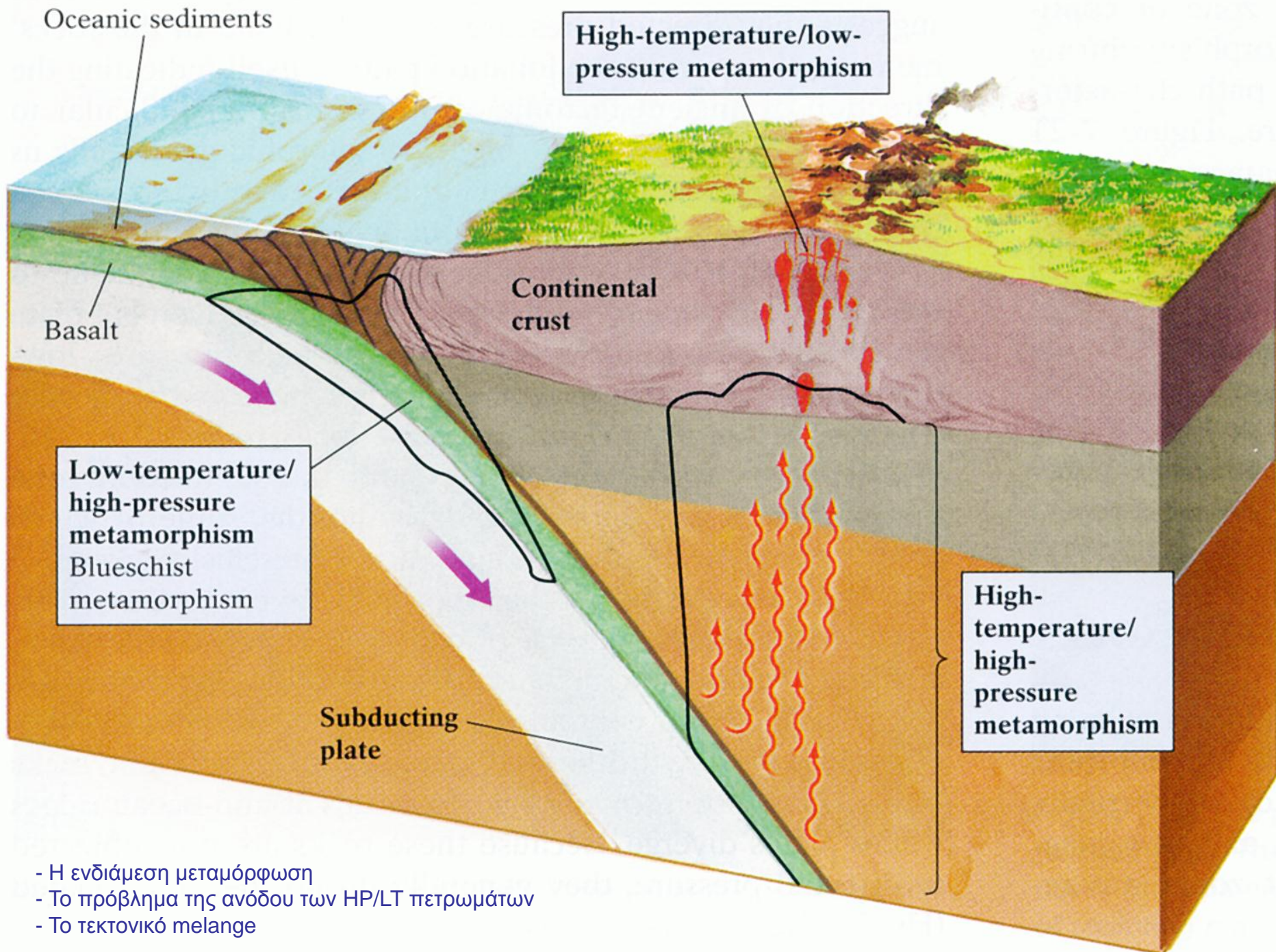
A low-angle surface



# ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΙΣ ΖΩΝΕΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ

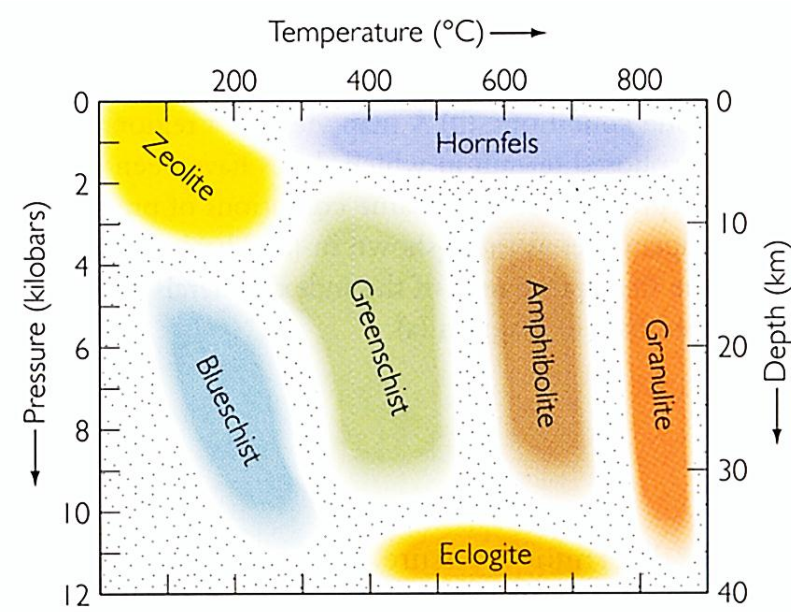
ΔΥΝΑΜΟΘΕΡΜΙΚΗ (Dynamothermal) & ΠΕΡΙΟΧΙΚΗ (Regional) ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ



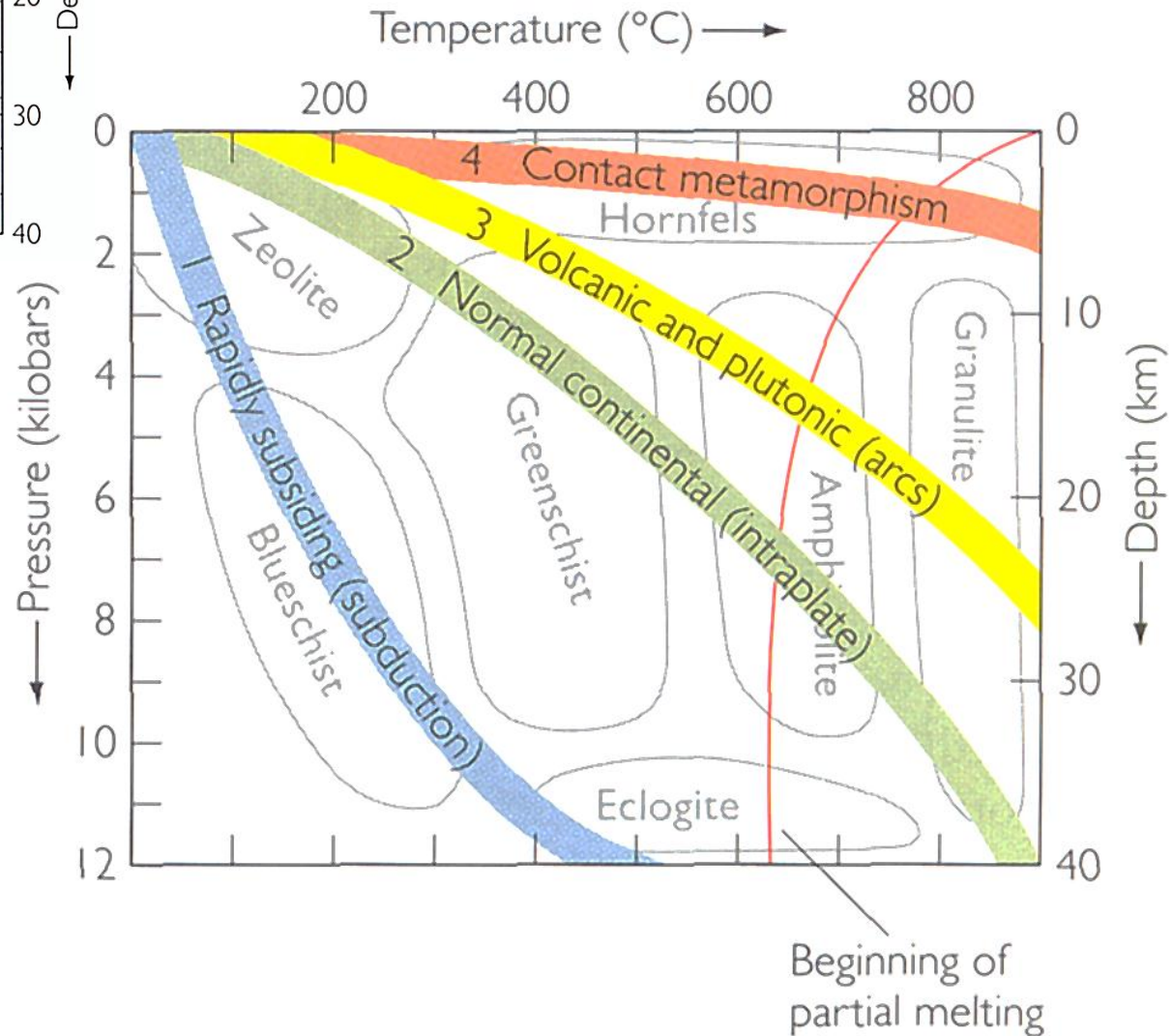


- Η ενδιάμεση μεταμόρφωση
- Το πρόβλημα της ανόδου των HP/LT πετρωμάτων
- Το τεκτονικό melange

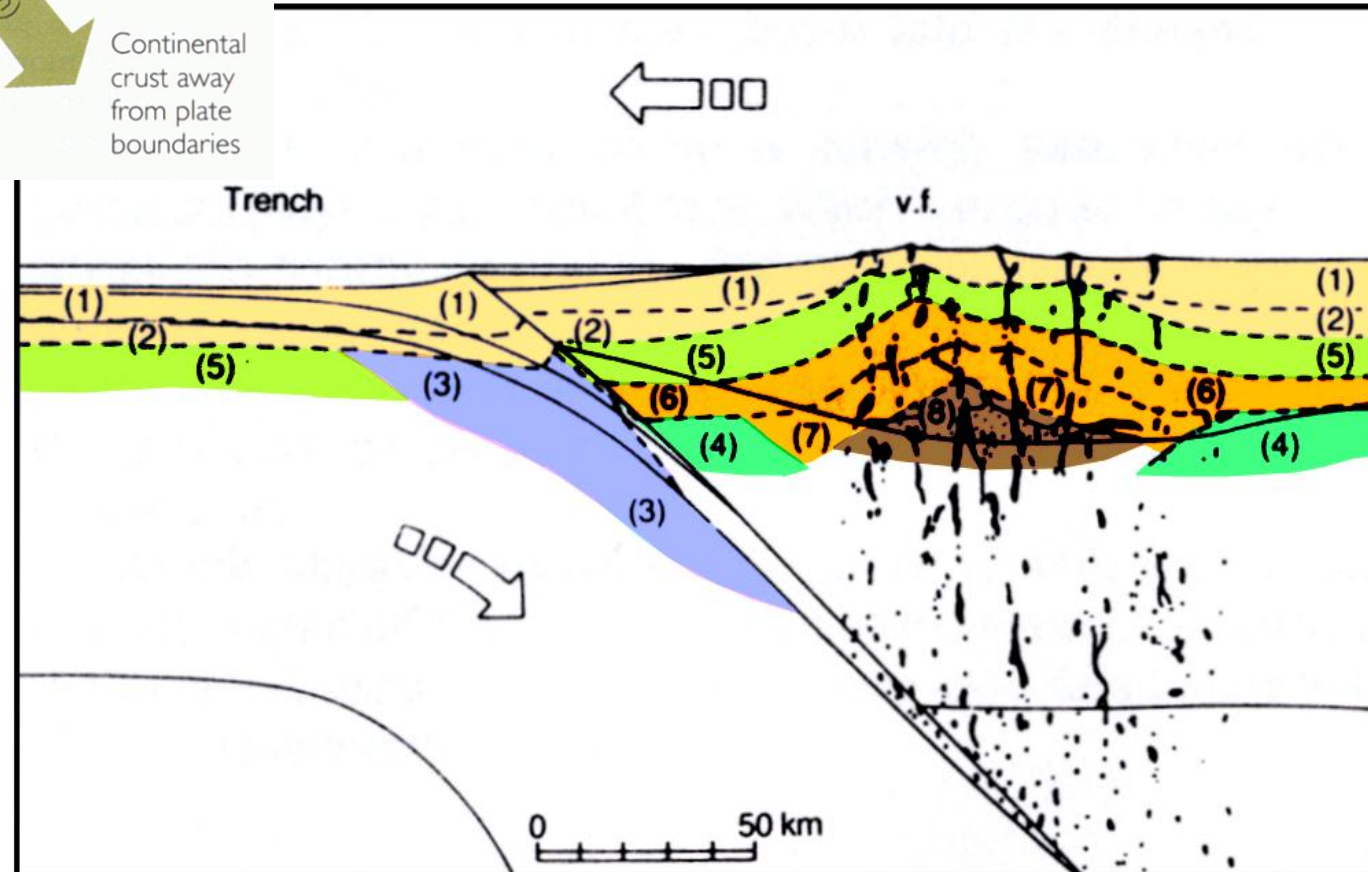
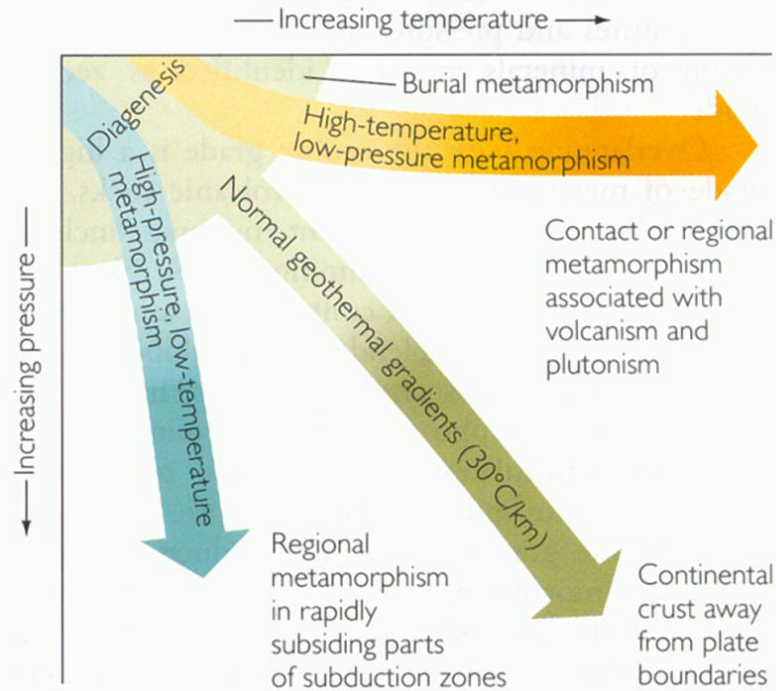
# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΑ ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ



- HT/LP (ανδαλουσίτης, Γ.Β. > 25°C/Km)
- HP/LT (γλαυκοφανής + ιαδείτης, Γ.Β. = 10°C/Km)
- ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ (κυανίτης, Γ.Β. = 25°C/Km)

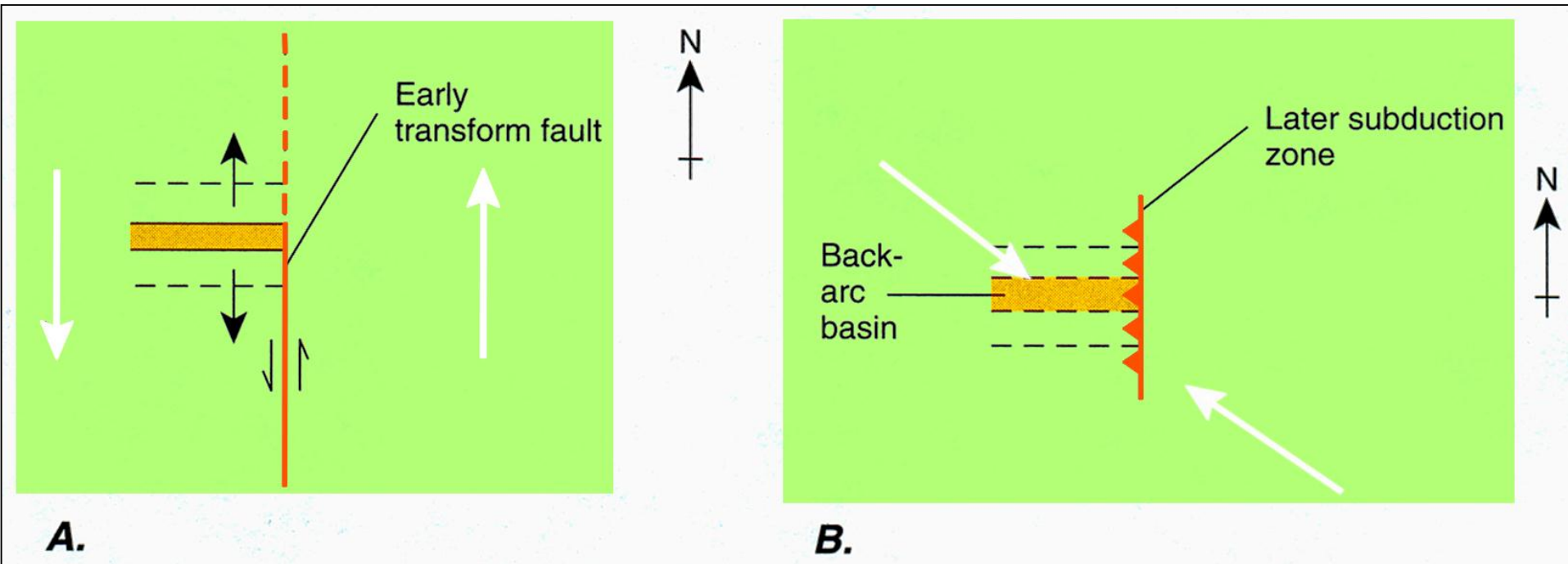


# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΖΩΝΕΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ



1. Ζεολιθική
2. Πρενοπουμπελιτική
3. Κυανοσχιστολιθική
4. Εκλογιτική
5. Πρασινοσχιστολιθική
6. Αμφιβολιτική
7. Αμφιβολιτική
8. Γρανουλιτική

# ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΟΠΙΣΘΟ-ΤΟΞΟΥ



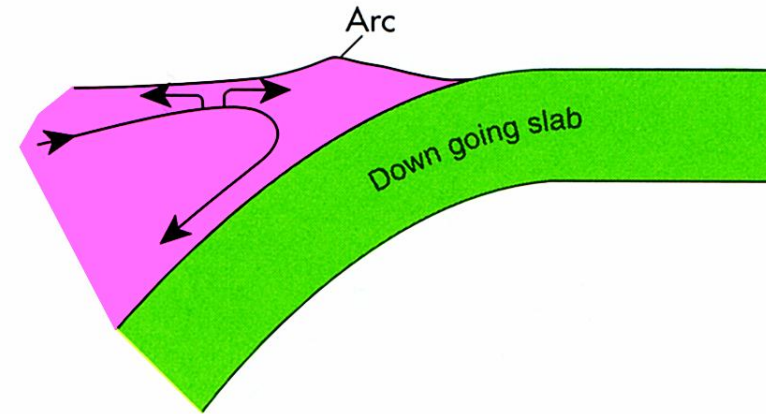
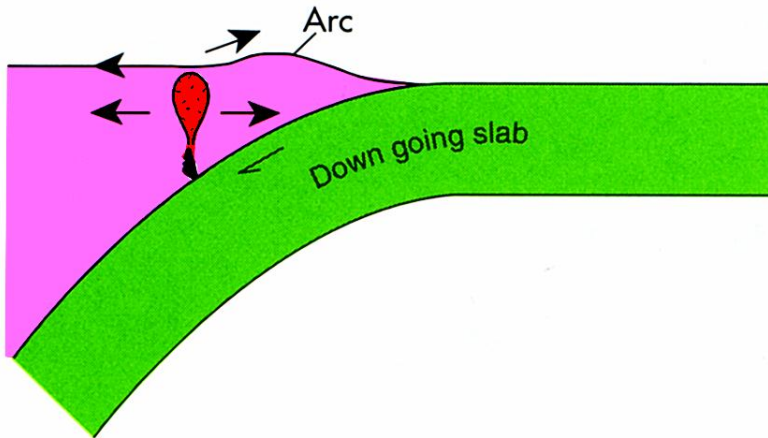
Ένα μοντέλο για το σχηματισμό μιας περιθωριακής λεκάνης από την παγίδευση ωκεάνιου φλοιού λόγω της αλλαγής στη σχετική κίνηση των πλακών.

**A.** Διατομή ράχης και ρήγματος μετασχηματισμού με σχετική κίνηση στη διεύθυνση B-N.

**B.** Μετατροπή του ρήγματος μετασχηματισμού σε ζώνη υποβύθισης μετά την αλλαγή της σχετικής κίνησης των πλακών στη διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τις μαγνητικές ανωμαλίες εκατέρωθεν του, ανενεργού πια, κέντρου διάνοιξης.



# ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ



**A.**

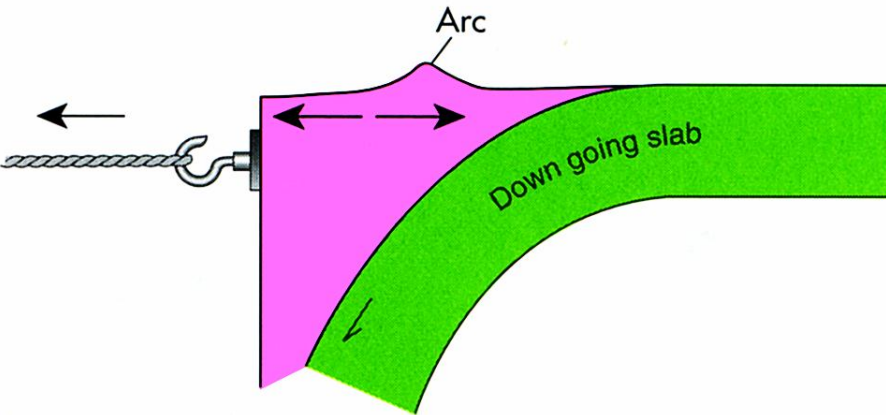
**B.**

Μοντέλα για το σχηματισμό των οπισθο-τοξικών λεκανών.

**A.** Η διάνοιξη πραγματοποιείται από τη δυναμική άνοδο ενός διάπριου από την κατερχόμενη πλάκα.

**B.** Η κίνηση της κατερχόμενης πλάκας δημιουργεί μια κυκλοειδή ροή στη σφήνα του μανδύα πάνω από αυτή, που με τη σειρά της προκαλεί τη διάνοιξη.

**C.** Η διάνοιξη προκαλείται από τη σχετική μετακίνηση της επιππεύουσας πλάκας μακριά από την κατερχόμενη πλάκα, της οποίας η θέση είναι καθορισμένη στο χώρο σε σχέση με τον βαθύτερα ευρισκόμενο μανδύα.



**C.**

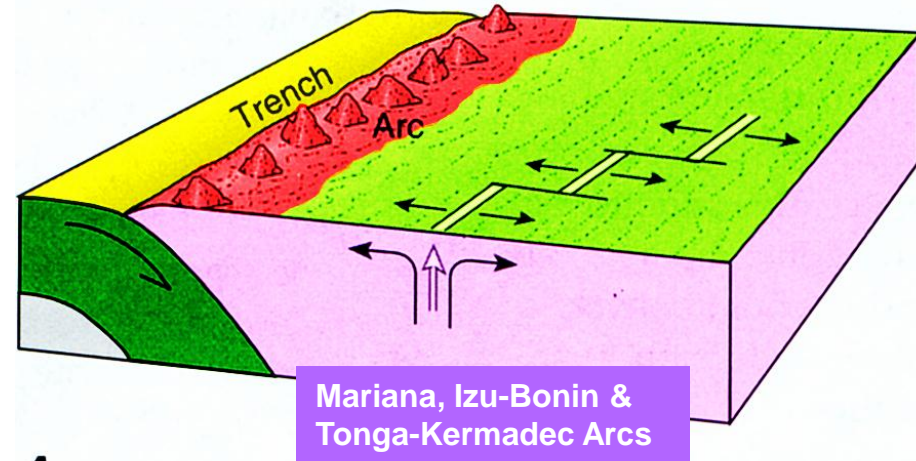
# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ

Μπλοκ-διαγράμματα που παρουσιάζουν τους πιθανούς μηχανισμούς διάνοιξης στις οπισθο-τοξικές λεκάνες.

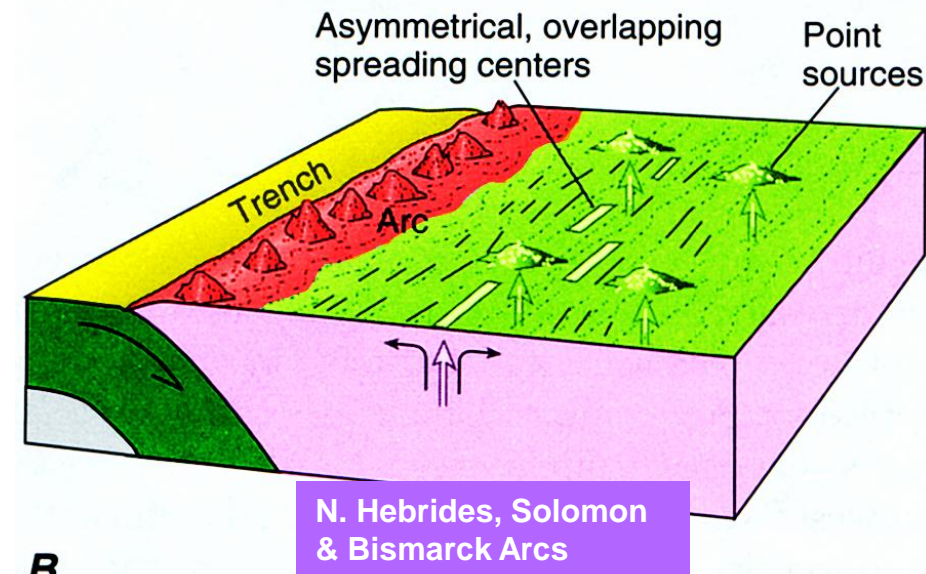
**A.** Συμμετρική διάνοιξη όμοια με αυτή που παρατηρείται στις μεσο-ωκεάνιες ράχεις, με πιθανά παραδείγματα τις περιοχές πίσω από τα τόξα των Μαριάνων, του Izu-Bonin και των Tonga-Kermadec.

**B.** Ακανόνιστη διάνοιξη που χαρακτηρίζεται από μη συμμετρικά και συγκεχυμένα πρότυπα μαγνητικών ανωμαλιών, όπως πιθανά συμβαίνει στα τόξα των Νέων Εβρίδων, του Σολομώντα και του Bismarck.

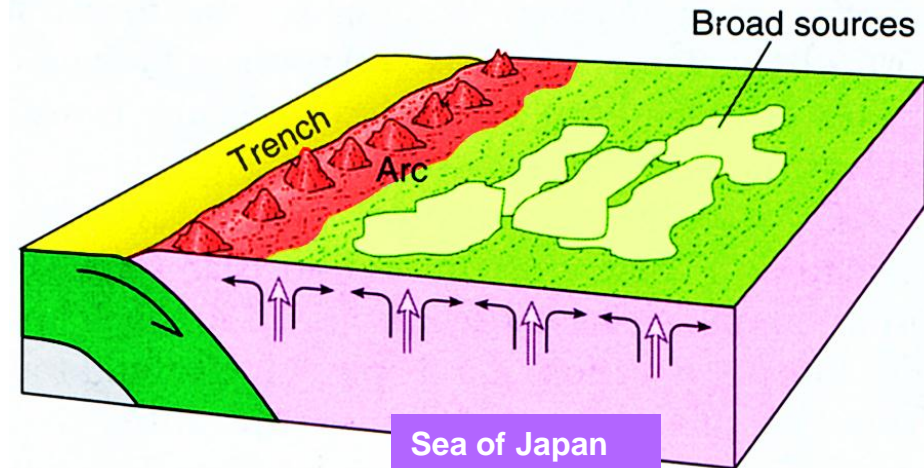
**C.** Διάχυτη διάνοιξη από πολλές πηγές, σημειακές ή μη, που δεν συνοδεύονται από ευδιάκριτες μαγνητικές ανωμαλίες, όπως πιθανά συμβαίνει στην Θάλασσα της Ιαπωνίας.



**A.**



**B.**



**C.**

Τέλος

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη εδώ <http://eclass.uoa.gr/courses/GEOL170/>



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Στυλιανός Λόζιος, Μανώλης Σκούρτσος 2015, Στυλιανός Λόζιος, Μανώλης Σκούρτσος. «Δυναμική Γεωλογία. Ενότητα 1: Περιθώρια Σύγκλισης Λιθοσφαιρικών Πλακών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL101/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.





# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/10)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## **Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

Εικόνα 1, Διαφάνεια 3: Divergent and Convergent Plate Margins. Copyrighted.  
<http://web.arc.losrios.edu/~borougt/DivergentConvergentMargins.jpg>

Εικόνα 2, Διαφάνεια 4: Τάφρος και ηφαιστειακό ή νησιωτικό τόξο. Copyrighted.

Εικόνα 3, Διαφάνεια 5: Γενικευμένος χάρτης που παρουσιάζει τα όρια των πλακών σε παγκόσμια κλίμακα, με έμφαση στις ζώνες υποβύθισης. Copyrighted.

Εικόνες 4-5-6, Διαφάνειες 6-7: Φυσιογραφία συγκλινόντων περιθωρίων. Copyrighted.

Εικόνα 7, Διαφάνεια 9: Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά των ζωνών υποβύθισης. Copyrighted. <http://elearning.pelatihan-osn.com/riddar/kebumian/geomorfologi1.pdf>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/10)

Εικόνα 8, Διαφάνεια 10: Χάρτης ενός τμήματος της Σουμάτρα όπου διακρίνονται τα κύρια φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπου σήμερα λαμβάνει χώρα σύγκλιση των πλακών. Copyrighted.

Εικόνα 9, Διαφάνεια 11: Η κατανομή των σεισμών στα όρια σύγκλισης και απόκλισης των πλακών. Copyrighted.

[http://paos.colorado.edu/~toohey/fig\\_63.jpg](http://paos.colorado.edu/~toohey/fig_63.jpg)

Εικόνα 10, Διαφάνεια 12: Σεισμικά κενά στις ζώνες υποβύθισης που περιβάλλουν τον Ειρηνικό Ωκεανό. Copyrighted.

Εικόνα 11, Διαφάνεια 13: Γενικό σχήμα με την κατανομή των σεισμών, όπου διακρίνεται ότι οι σεισμοί είναι τόσο επιφανειακοί όσο και ενδιάμεσου ή μεγάλου βάθους. Copyrighted.

<http://www.lastradaweb.it/images/imgarticoli/Montagne1.jpg>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/10)

Εικόνα 12, Διαφάνεια 14: Κατανομή των σεισμών του έτους 1965 στη ζώνη υποβύθισης των νήσων Tonga στον Ειρηνικό Ωκεανό, που προσδιορίζουν τη ζώνη Wadati-Benioff. Copyrighted.

Εικόνα 13, Διαφάνεια 14: Διάγραμμα του τόξου των Αλεούτιων νήσων σε πραγματική κλίμακα και τομή της σεισμικής ζώνης της ΒΑ Ιαπωνίας, όπου φαίνεται η κατανομή των εστιών σε δύο επίπεδα μέσα στην κατερχόμενη πλάκα. Copyrighted.

Εικόνες 14-15, Διαφάνειες 15-16: Χαρακτηριστικές τομές των σεισμικών ζωνών στα αναλίσκόμενα περιθώρια των πλακών (ενεργά περιθώρια και νησιωτικά τόξα). Copyrighted.

Εικόνα 16, Διαφάνεια 18: Δομή των σεισμικών ταχυτήτων στα συγκλίνοντα περιθώρια. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/10)

Εικόνα 17, Διαφάνεια 19: Θερμική ροή και βαρυτικές ανωμαλίες εγκάρσια στο νησιωτικό τόξο της Ιαπωνίας, σε σύγκριση με τη θέση του σεισμικού επιπέδου και τις φυσιογραφικές υποδιαιρέσεις της ζώνης υποβύθισης. Copyrighted.

Εικόνα 18, Διαφάνεια 21: Τεκτονική δομή και παραμόρφωση. Copyrighted.

Εικόνα 19, Διαφάνεια 22: Δομή του πρίσματος συσσώρευσης (accretionary prism), του τόξου Sunda. Copyrighted.

Εικόνα 20, Διαφάνεια 23: Σεισμική τομή (A) και η απόδοσή της (B), για το πρίσμα συσσώρευσης της Costa Rica. Copyrighted.

Εικόνα 21, Διαφάνεια 24: Τύποι παραμόρφωσης στα πρίσματα συσσώρευσης. Copyrighted.

Εικόνα 22, Διαφάνεια 25: Δομή του τόξου των νήσων Μαριάνα. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/10)

Εικόνα 23, Διαφάνεια 26: Χαρακτηριστικοί τύποι μικροπτυχών σε ψαμμιτοπηλιτικά πετρώματα. Copyrighted.

Εικόνα 24, Διαφάνεια 27: Παράδειγμα από την εξωτερική μεταμορφική ζώνη της ΝΔ Ιαπωνίας. Copyrighted.

Εικόνα 25, Διαφάνεια 28: Σχηματική τομή της περιοχής του εμπροσθο-τόξου της Ιαπωνίας, όπου διακρίνονται τα κρητιδικά και τριτογενή ιζήματα, τα τεκτονικά λήπη, τα πυριγενή πετρώματα του εμπροσθο-τόξου και οι θέσεις των επικέντρων των σεισμών. Copyrighted.

Εικόνα 26, Διαφάνεια 29: Η κατανομή των ηφαιστείων στο τόξο των Αλεούτιων νήσων. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/10)

Εικόνα 27, Διαφάνεια 30: Περιθωριακές λεκάνες του δυτικού Ειρηνικού, όπου διακρίνονται λεκάνες που είναι ενεργές, λεκάνες που είναι ανενεργές με υψηλή θερμική ροή και λεκάνες που είναι ανενεργές αλλά με κανονική θερμική ροή. Copyrighted.

Εικόνα 28, Διαφάνεια 31: Σχηματική τομή όπου παρουσιάζονται ολισθοστρώματα στα βόρεια Απέννινα στην Ιταλία. Copyrighted.

Εικόνα 29, Διαφάνεια 32: Μπλόκ-διάγραμμα ενός τυπικού τεκτονικού μίγματος, όπου παρουσιάζονται τα διάφορα επιμηκυσμένα τεμάχια και η κύρια μάζα με την ακανόνιστη φύλλωση. Copyrighted.

Εικόνα 30, Διαφάνεια 33: Σχηματική τομή όπου παρουσιάζονται οι πιθανές θέσεις προέλευσης χαοτικών ιζημάτων, στο γεωτεκτονικό περιβάλλον μιας ζώνης υποβύθισης. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/10)

Εικόνα 31, Διαφάνεια 34: Η γεωμετρία ενός μη εκτατού σφαιρικού κελύφους που συμπιέζεται προς το κέντρο της σφαίρας. Copyrighted.

Εικόνα 32, Διαφάνεια 35: Η παραμόρφωση στις ζώνες υποβύθισης όπου δεν ισχύει το κλασσικό μοντέλο του μη εκτατού σφαιρικού κελύφους και άρα και η σχέση που συνδέει τα μεγέθη  $r$ ,  $R$  και  $\delta$ . Copyrighted.

Εικόνα 33, Διαφάνεια 36: Ένα μοντέλο για την εξωτερική κυρτότητα αναφορικά με την κάμψη (ή κύρτωση) μιας ελαστικής πλάκας. Copyrighted.

Εικόνα 34, Διαφάνεια 37: Μοντέλα για τη ροή των ιζημάτων σε μια ζώνη υποβύθισης. Copyrighted.

Εικόνα 35, Διαφάνεια 38: Πρότυπα ροής ιζημάτων στην είσοδο μιας ζώνης υποβύθισης. Copyrighted.

Εικόνα 36, Διαφάνεια 39: Δυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά το σχηματισμό ενός πρίσματος συσσώρευσης. Copyrighted.





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (8/10)

Εικόνα 37, Διαφάνεια 40: Πρότυπο της τεκτονικής συσσώρευσης των ιζημάτων στο πρίσμα. Copyrighted.

Εικόνα 38, Διαφάνεια 41: Μοντέλο για τη δημιουργία των επωθήσεων στην εφιπλεύουσα πλάκα σε σχέση με τη γωνία κλίσης της ζώνης Wadati-Benioff. Copyrighted.

Εικόνα 39, Διαφάνεια 42: Μοντέλα για τη θερμική δομή των αναλίσκόμενων περιθωρίων. Copyrighted.

Εικόνες 40-41-42-43, Διαφάνεια 43: Η κατανομή των ηφαιστειακών κέντρων κατά μήκος του τόξου ενός αναλίσκομένου περιθωρίου. Copyrighted.

Εικόνα 44, Διαφάνεια 44: Δυναμοθερμική (Dynamothermal) και περιοχική (Regional) μεταμόρφωση. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (9/10)

Εικόνα 45, Διαφάνεια 45: Μεταμορφικές ζώνες κατά ζεύγη όπου κυανοσχιστολιθικού τύπου HP/LT μεταμόρφωση και Buchan type HT/LP μεταμόρφωση συμβαίνουν ταυτόχρονα. Copyrighted.

[http://images.slideplayer.it/17/5529321/slides/slide\\_2.jpg](http://images.slideplayer.it/17/5529321/slides/slide_2.jpg)

Εικόνες 46-47, Διαφάνεια 46: Κατανομή των μεταμορφικών φάσεων και η σχέση τους με τα συγκλίνοντα περιθώρια. Copyrighted.

Εικόνα 48, Διαφάνεια 47: Οι τύποι της μεταμόρφωσης στις ορογενετικές ζώνες. Copyrighted. <http://web.arc.losrios.edu/~boroug/TempPressureEnv.jpg>

Εικόνα 49, Διαφάνεια 47: Ένα μοντέλο όπου παρουσιάζεται η πιθανή κατανομή των μεταμορφικών φάσεων σε μια ζώνη σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (10/10)

Εικόνα 50, Διαφάνεια 48: Ένα μοντέλο για το σχηματισμό μιας περιθωριακής λεκάνης από την παγίδευση ωκεάνιου φλοιού λόγω της αλλαγής στη σχετική κίνηση των πλακών. Copyrighted.

Εικόνα 51, Διαφάνεια 49: Μοντέλα για το σχηματισμό των οπισθο-τοξικών λεκανών. Copyrighted.

Εικόνα 52, Διαφάνεια 50: Μπλοκ-διαγράμματα που παρουσιάζουν τους πιθανούς μηχανισμούς διάνοιξης στις οπισθο-τοξικές λεκάνες. Copyrighted.

