

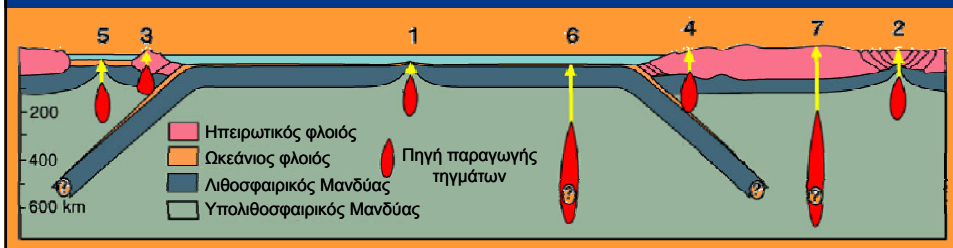
**Πετρολογία Μαγματικών &
Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων
Μέρος 1^ο: Μαγματικά Πετρώματα**

Ιωάννης Ηλιόπουλος
Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών
Απρίλιος 2020

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ
ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 4. Ηπειρωτικό τόξο (Ενεργό Ηπειρωτικό Περιθώριο)
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων Νησιών
- 7. Διάφορες ενδοηπειρωτικές δράσεις



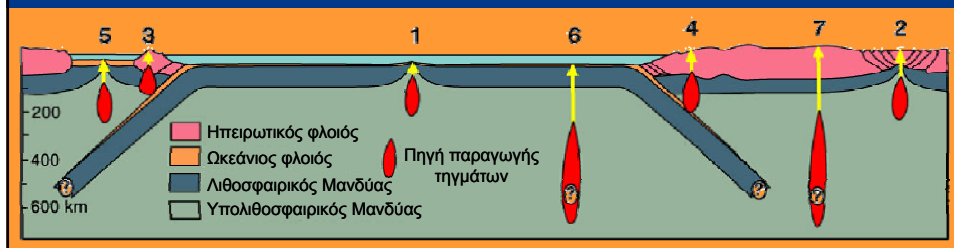
DIVERGENT SEA BOUNDARY- MID OCEAN RIDGE

The Mid Atlantic Ridge between the Americas and Europe and Africa.



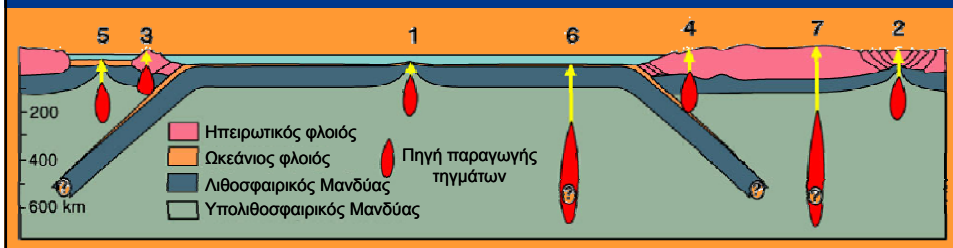
Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 4. Ηπειρωτικό τόξο (Ενεργό Ηπειρωτικό Περιθώριο)
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων Νησιών
- 7. Διάφορες ενδοηπειρωτικές δράσεις



Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 4. Ηπειρωτικό τόξο (Ενεργό Ηπειρωτικό Περιθώριο)
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων Νησιών
- 7. Διάφορες ενδοηπειρωτικές δράσεις

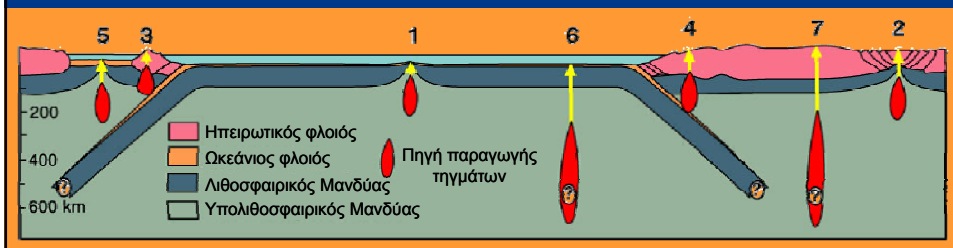


WHEN OCEAN AND OCEAN CRUST CONVERGE THEY FORM AN ISLAND ARC.
THE JAPAN ISLANDS IS AN EXAMPLE.



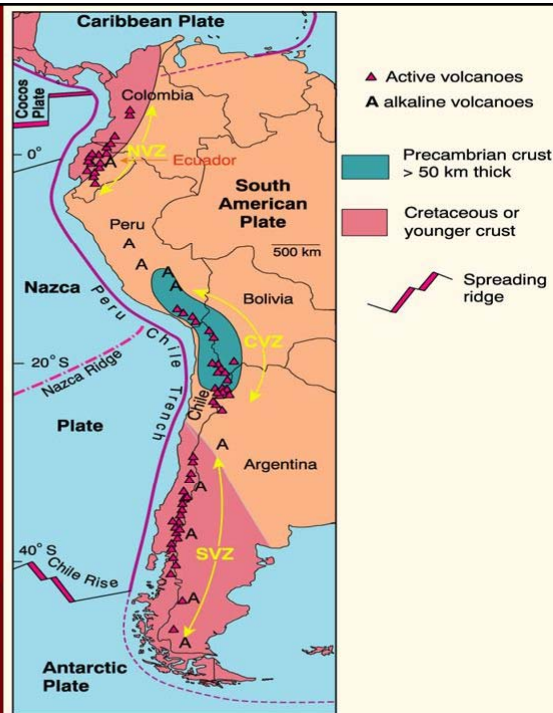
Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων Νησιών
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 7. Διάφορες ενδοηπειρωτικές δράσεις
- 4. Ηπειρωτικό τόξο (Ενεργό Ηπειρωτικό Περιθώριο)



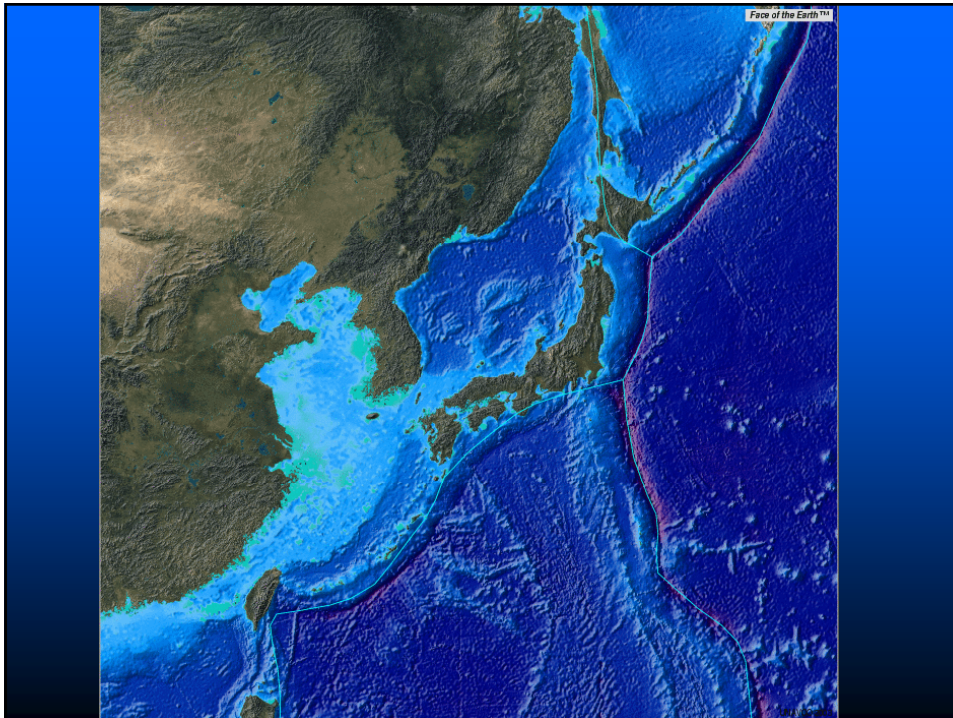
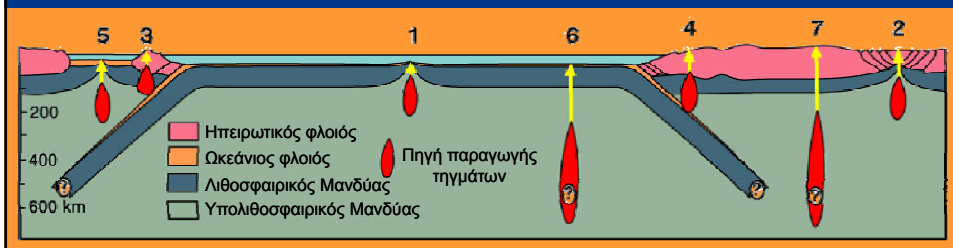
Continental Arc Magmatism

Figure 17-1. NVZ, CVZ, and SVZ are the northern, central, and southern volcanic zones.



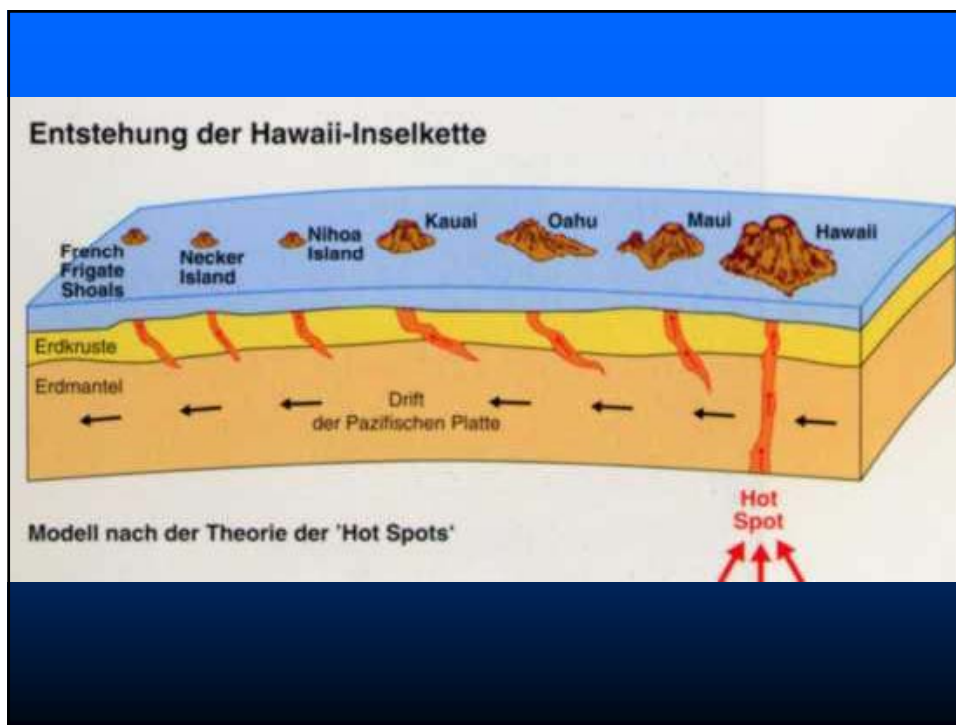
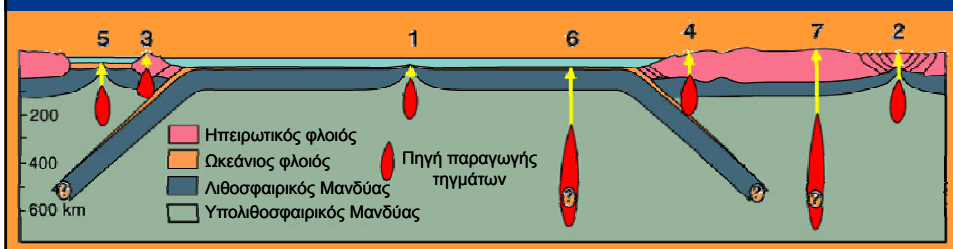
Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 4. Ηπειρωτικό τόξο (Ενεργό Ηπειρωτικό Περιθώριο)
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων Νησιών
- 7. Διάφορες ενδοηπειρωτικές δράσεις



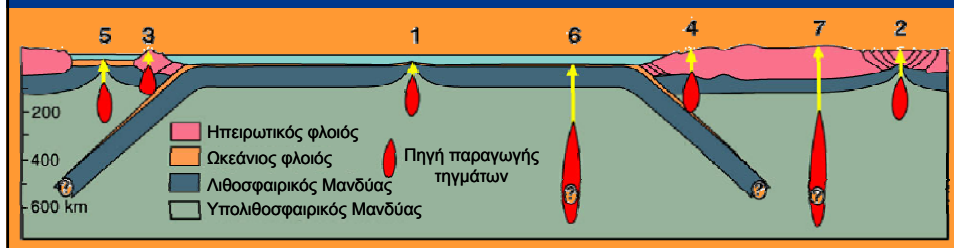
Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 4. Ηπειρωτικό τόξο (Ενεργό Ηπειρωτικό Περιθώριο)
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων Νησιών
- 7. Διάφορες ενδοηπειρωτικές δράσεις



Τεκτονική των Πλακών και Πετρογένεση

- 1. Μεσσοκεάνια ράχη
- 2. Ενδοηπειρωτική τάφρος
- 3. Νησιωτικό τόξο
- 4. Ηπειρωτικό τόξο
(Ενεργό Ηπειρωτικό
Περιθώριο)
- 5. Λεκάνη οπισθοτόξου
- 6. Βασάλτης Ωκεάνιων
Νησιών
- 7. Διάφορες
ενδοηπειρωτικές δράσεις



Μαγματισμός σε Αποκλίνοντα Περιθώρια (MORB) (Κρεμμύδια και Πράσα...!)

Into the crater of an extinct volcano . . . then down, down, down—to the center of the earth! Here are boiling seas . . . weird, serpentlike monsters . . . prehistoric apes . . . an eerie otherworld from which no man has ever escaped!

Another thrilling science fiction story by the author of *20,000 Leagues Under the Sea*, *Around the World in 80 Days*, and *The Mysterious Island*.

SBS SCHOLASTIC BOOK SERVICES
New York • London • Richmond Hill, Ontario

JULES VERNE
A JOURNEY TO THE CENTER OF THE EARTH

<http://www.sffaudio.com/the-sffaudio-podcast-376-readalong-journey-to-the-center-of-the-earth-by-jules-verne>

Deep Sea Drilling Project Reports and Publications

JOIDES RESOLUTION
Science in search of Earth's secrets

HOME | MEET US | EXPEDITIONS | RESOURCES | BLOG

EXPLORING BENEATH THE OCEAN FLOOR

NOW AT SEA

Expedition 351: South African Drifters

Ερευνητικές προσπάθειες προσέγγισης της Moho

- ☞ **1960s:** 'Project Mohole', Guadalupe Island, Mexico. Φτάνει τα 183 m και διακόπτεται λόγω υπέρογκων εξόδων.
- ☞ **2002 – 2011:** 4 διανοίξεις στον Α. Ειρηνικό φτάνουν σε λεπτόκοκκα εύθραυστα πετρώματα τα οποία οι γεωλόγοι πιστεύουν ότι είναι ψυγμένο μάγμα που κάθεται επάνω ακριβώς από τη Moho. Η γεώτρηση ωστόσο αποτυγχάνει να τα διαπεράσει.
- ☞ **2013:** γεωτρήσεις στο Hess Deep συναντούν επίσης σκληρά πετρώματα (K. M. Gillis et al. Nature 505, 204–207; 2014).

Η ερευνητική προσπάθεια SloMo

- ☞ **Atlantis Bank:** ο μανδύας ανέρχεται 2.5 km πάνω από τη Moho, άρα πιθανόν να είναι πιο εύκολη η προσέγγιση της
 - ☞ **Joides Resolution:** ο Henry Dick προτιμά την Ινδική ωκεάνια τάφρο αντί του Α. Ειρηνικού λόγω των πολύ μικρότερων ποσοτήτων τροφοδοσίας λάβας και άρα λιγότερων σκληρών πετρωμάτων να διατρήσουν. Ο πυθμένας εκεί είναι στα μόλις 700 m λόγω τεκτονικών κινήσεων
- ☞ <http://joidesresolution.org>

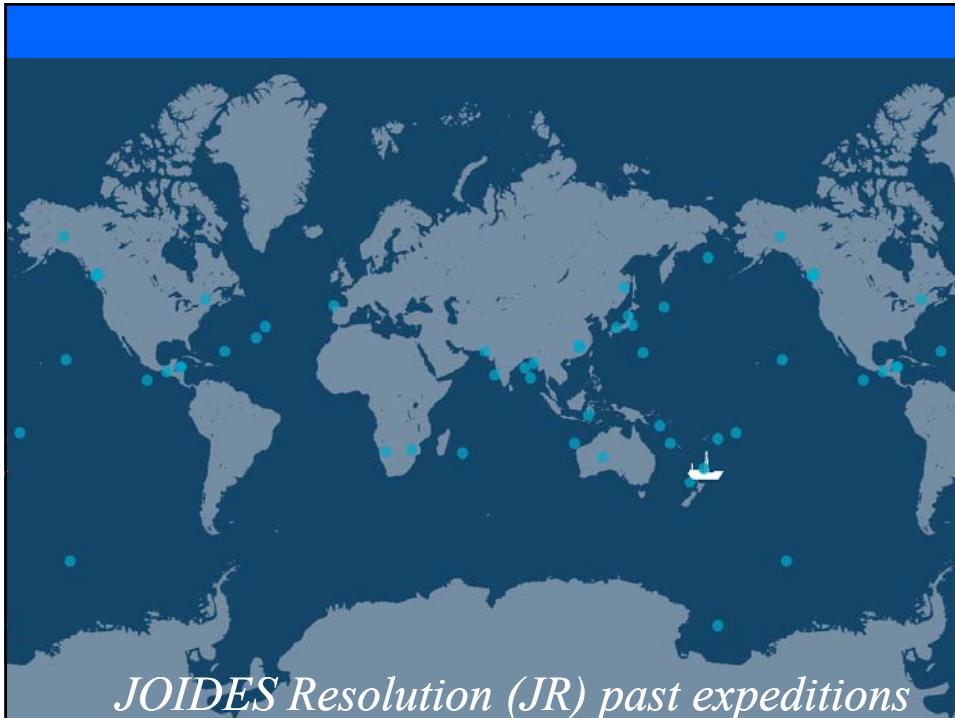
DEEP UNDERSTANDING

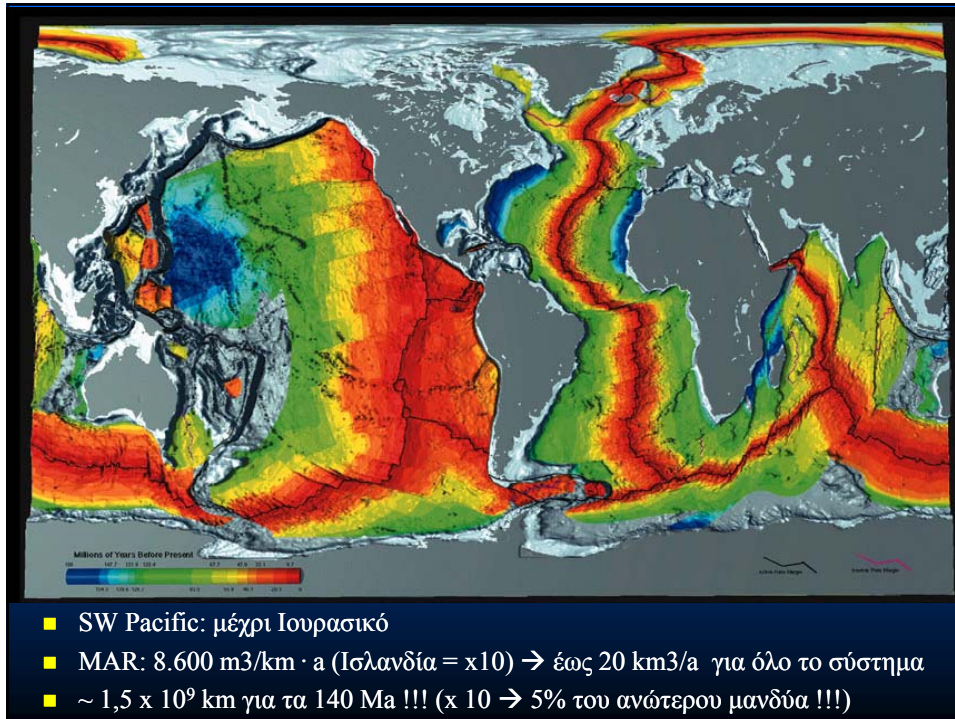
The SloMo Project in the Indian Ocean aims to drill three times deeper than an attempt in 1997 managed, to penetrate Earth's mantle and possibly reach a geophysical transition called the Moho.



Nature **528**, 16–17 (December 2015)

<http://www.nature.com/news/quest-to-drill-into-earth-s-mantle-restarts-1.18921>





Δομή Ωκεάνιου Φλοιού και Ανώτερου Μανδύα

- Τι άλλο; ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ!
- Τέσσερα Στρώματα
- 1. Ιζήματα βαθιάς θάλασσας
- 2. Βασαλτικό Στρώμα
- 3. Γαββρικό Στρώμα
- 4. Υπερβασικό Στρώμα

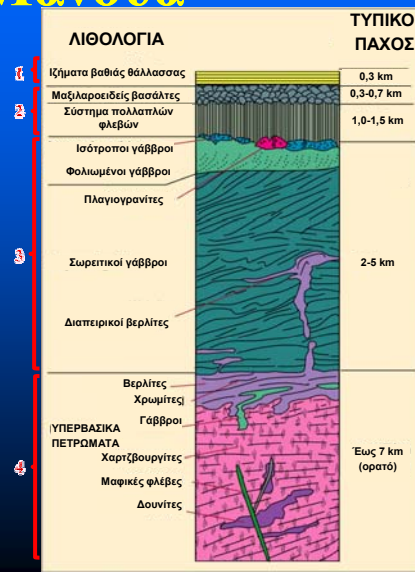


TABLE 2 Average Analyses and CIPW Norms of MORBs

Oxide (wt. %)	All	MAR	EPR	IOR
SiO ₂	50.5	50.7	50.2	50.9
TiO ₂	1.56	1.49	1.77	1.19
Al ₂ O ₃	15.3	15.6	14.9	15.2
FeO*	10.5	9.85	11.3	10.3
MgO	7.47	7.69	7.10	7.69
CaO	11.5	11.4	11.4	11.8
Na ₂ O	2.62	2.66	2.66	2.32
K ₂ O	0.16	0.17	0.16	0.14
P ₂ O ₅	0.13	0.12	0.14	0.10
Total	99.74	99.68	99.63	99.64
Norm				
q	0.94	0.76	0.93	1.60
or	0.95	1.00	0.95	0.83
ab	22.17	22.51	22.51	19.64
an	29.44	30.13	28.14	30.53
di	21.62	20.84	22.50	22.38
hy	17.19	17.32	16.53	18.62
ol	0.0	0.0	0.0	0.0
mt	4.44	4.34	4.74	3.90
il	2.96	2.83	3.36	2.26
ap	0.30	0.28	0.32	0.23

All: Average of glasses from Atlantic, Pacific, and Indian Ocean ridges.
 MAR: Average of MAR glasses.
 EPR: Average of EPR glasses.
 IOR: Average of Indian Ocean ridge glasses.
 Basaltic Volcanism Study Project. (1981). *Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets*. Pergamon, New York. Table 1.2.5.2

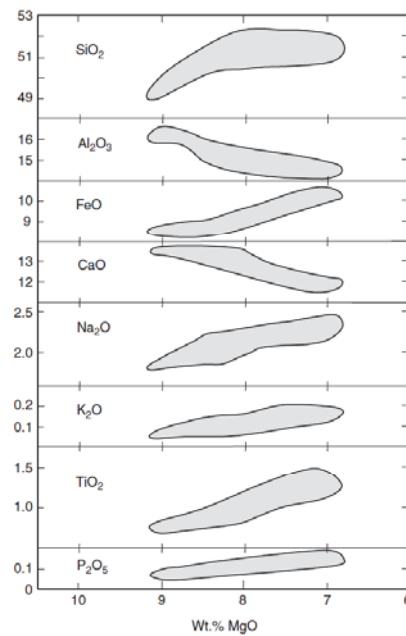


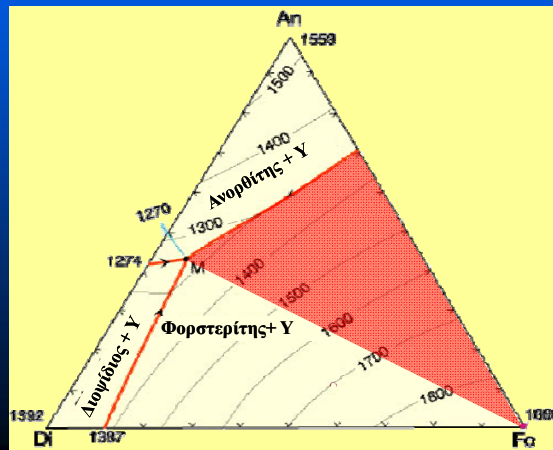
FIGURE 6 Fenner-type variation diagrams for basaltic glasses from the Afar region of the Mid-Atlantic Ridge. Note different ordinate scales. From Stakes et al. (1984). © American Geophysical Union with permission.

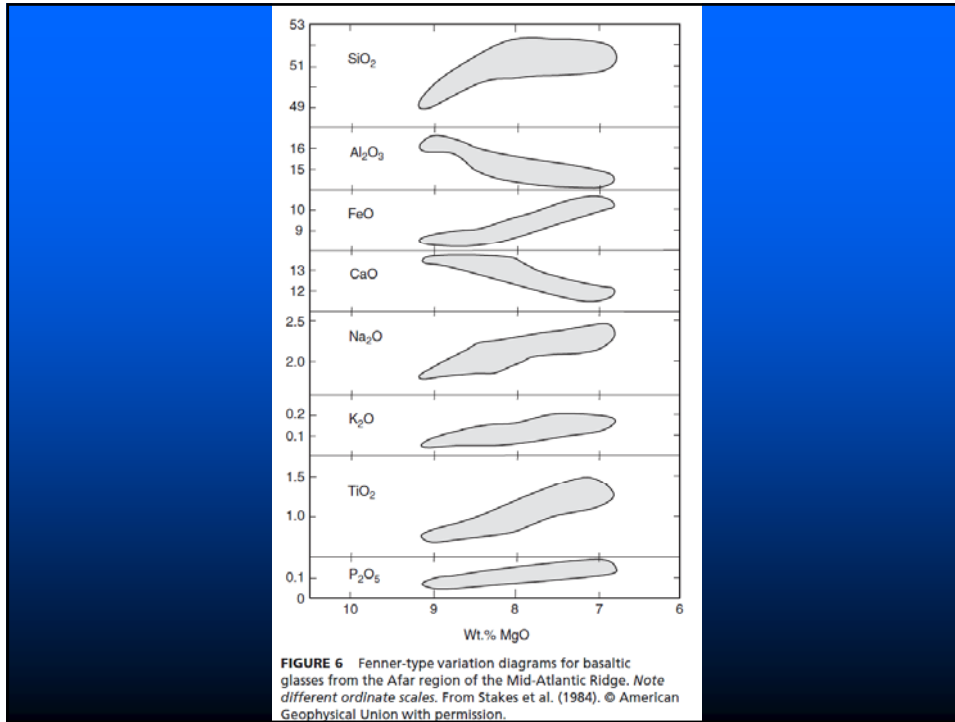
Δομή-Πετρογένεση MORB

- Η συνήθης σειρά κρυστάλλωσης είναι:

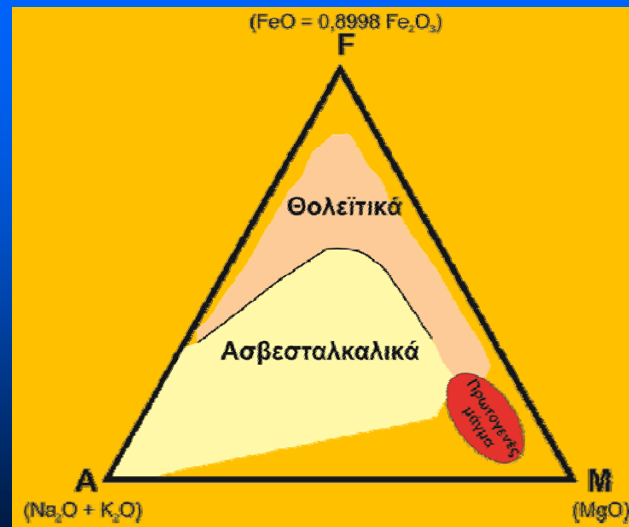
Ol → Plg → Cpx

(ΓΙΑΤΙ;)





Δομή-Πετρογένεση MORB



Διάγραμμα AFM ταξινόμησης υπαλκαλικών μαγματικών πετρωμάτων (από Irvine & Baragar 1971)

Δομή-Πετρογένεση MORB

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη μανδύα:

- **N-MORB**: Τροφοδοτείται από τον εκχυμωμένο μανδύα (αποπλυμένο σε ασύμβατα στοιχεία) → $K_2O < 0.10$ και $TiO_2 < 1.0$ (για $Mg\# > 65$)
- **E-MORB** (ή P-MORB): Τροφοδοτείται από έναν πιο εμπλουτισμένο σε ασύμβατα στοιχεία μανδύα → $K_2O > 0.10$ και $TiO_2 > 1.0$ (για $Mg\# > 65$)

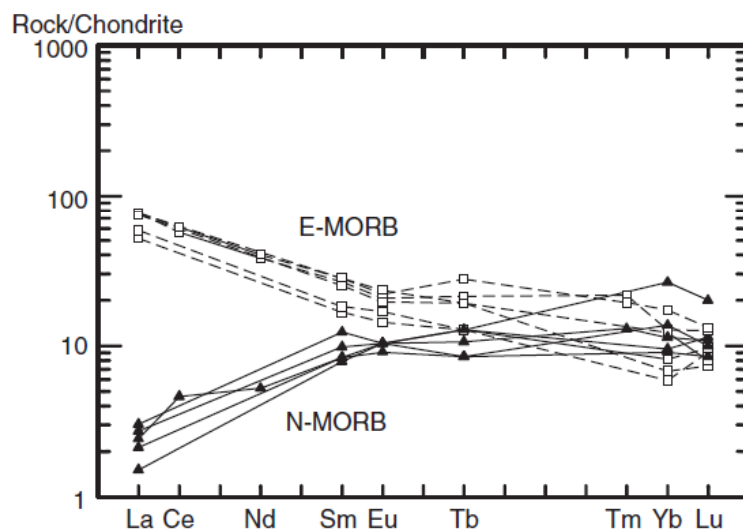


FIGURE 11 Chondrite-normalized REE patterns for selected samples from the Mid-Atlantic Ridge. Squares are E-type MORBs, and triangles are N-type MORBs. Data from Schilling et al. (1983).

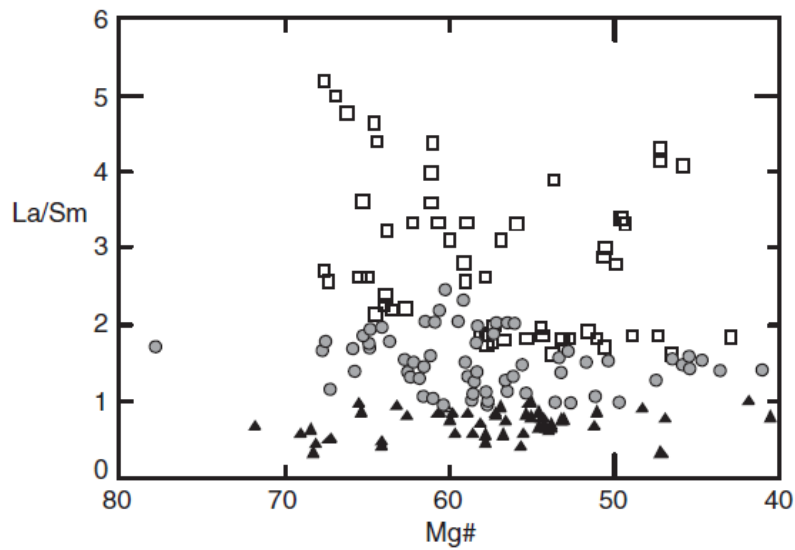
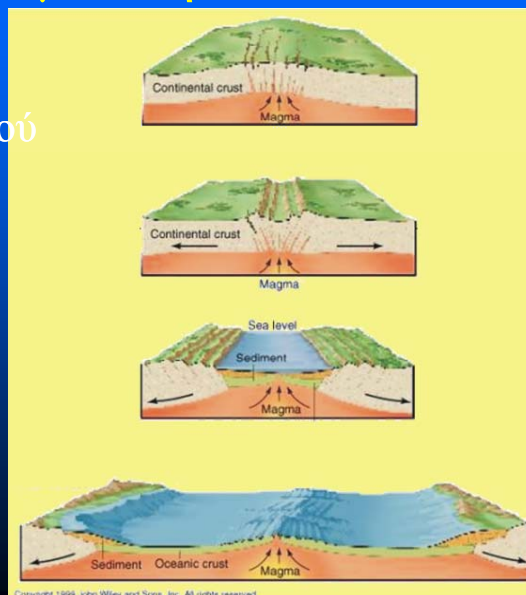


FIGURE 12 La/Sm versus Mg# for MORBs from the Mid-Atlantic Ridge. Open squares are E-type MORBs, and solid triangles are N-type MORBs. Gray circles are T-type MORBs. Data from Schilling et al. (1983).

Δομή-Πετρογένεση MORB

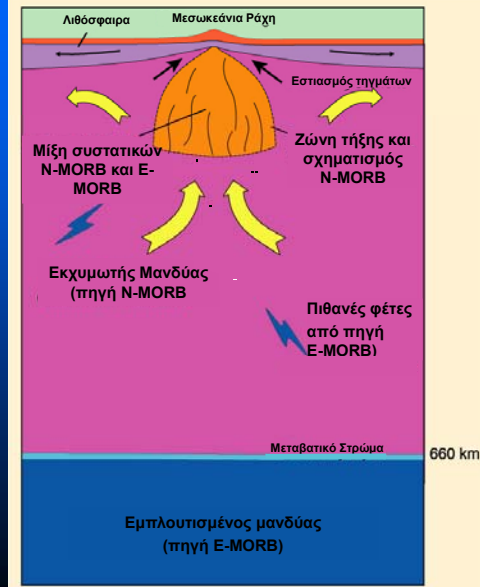
- Διάρρηξη και λέπτυνση του φλοιού λόγω διαστολής
- Δημιουργία και επέκταση του ωκεάνιου πυθμένα
- Σχηματισμός Μεσωκεάνιας ράχης



Δομή-Πετρογένεση MORB

- Άνοδος του μανδύα κάτω από τις αποκλίνουσες πλάκες
- Μερική τήξη λόγω αδιαβατικής εκτόνωσης σε μια ζώνη του μανδύα
- Τήξη και παραγωγή N-MORB περίπου στο βάθος των 60-80 km μέσα στον εκχυμωτή μανδύα

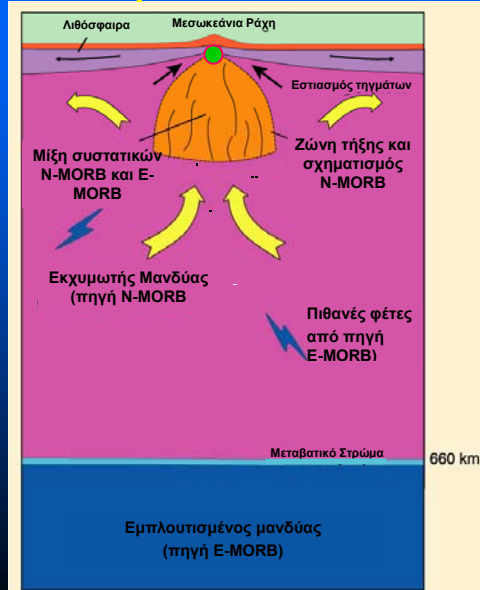
Από Zindler et al. (1984) Earth Planetary Science Letters, 70, 175-195 και Wilson (1989) Igneous Petrogenesis, Kluwer.



Δομή-Πετρογένεση MORB

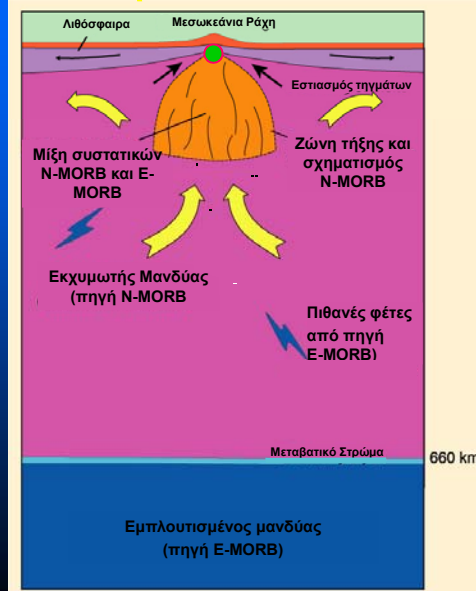
- Έτσι ο γεωχημικός χαρακτήρας των MORB είναι αποπλυμένος σε ασύμβατα ιχνοστοιχεία
- Φυσαλίδες τήγματος αποχωρίζονται γύρω στα 25-35 km (θέση τελευταίας ισορροπίας με το χαρτζβουργίτη)

Από Zindler et al. (1984) Earth Planetary Science Letters, 70, 175-195 και Wilson (1989) Igneous Petrogenesis, Kluwer.



Δομή-Πετρογένεση MORB

- Στη συνέχεια το τήγμα ανέρχεται σε βάθος 1-2 km ακριβώς κάτω από τη ράχη
- Σχηματισμός του **ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΜΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ**



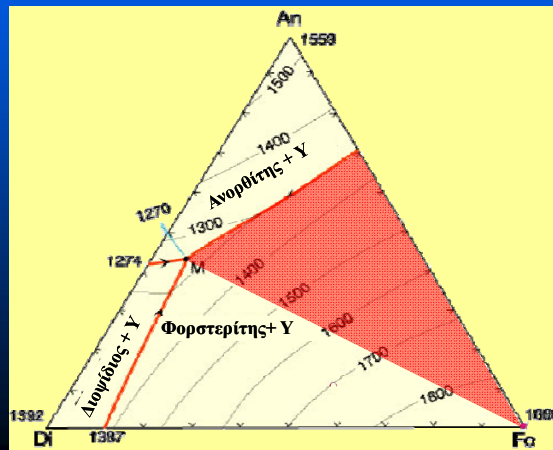
Από Zindler et al. (1984) Earth Planetary Science Letters, 70, 175-195 και Wilson (1989) Igneous Petrogenesis, Kluwer.

Δομή-Πετρογένεση MORB

- Η συνήθης σειρά κρυστάλλωσης είναι:

O1 → Plg → Cpx

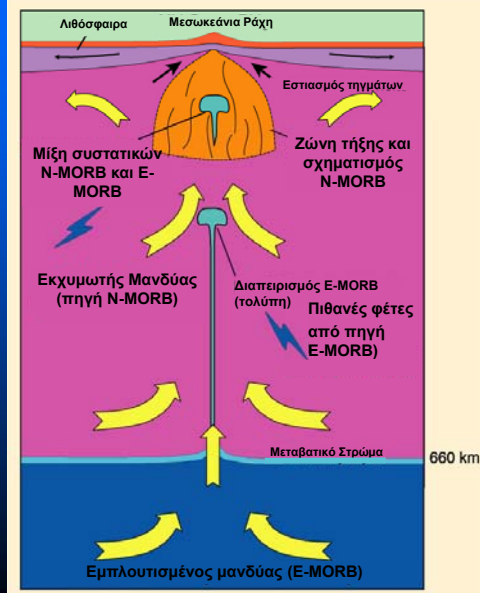
(ΓΙΑΤΙ;)



Δομή-Πετρογένεση MORB

- Τα ρεύματα μεταγωγής που προκάλεσαν τη διάρρηξη και απομάκρυνση των πλακών, όταν φτάσουν στο κατώτερο τμήμα του ανώτερου Μανδύα (στρώμα μετάβασης) έλκουν το ανώτερο μέρος του κατώτερου μανδύα

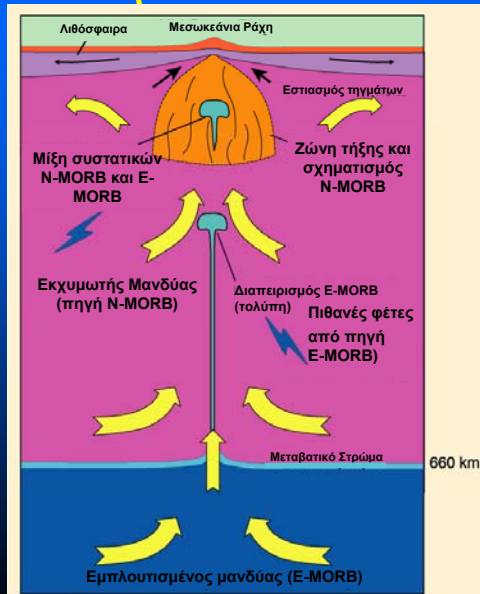
Από Zindler et al. (1984) Earth Planetary Science Letters, 70, 175-195 και Wilson (1989) Igneous Petrogenesis, Kluwer.



Δομή-Πετρογένεση MORB

- Με τον τρόπο αυτό το ανώτερο τμήμα του κατώτερου μανδύα ανέρχεται και δημιουργείται μια τολύπη σύστασης E-MORB (εμπλουτισμένος μανδύας)

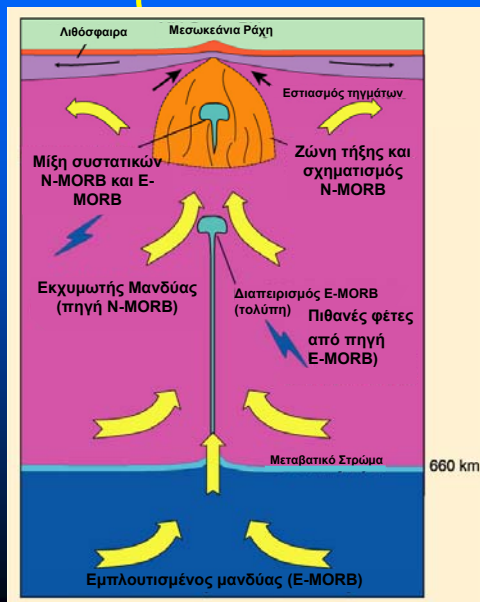
Από Zindler et al. (1984) Earth Planetary Science Letters, 70, 175-195 και Wilson (1989) Igneous Petrogenesis, Kluwer.





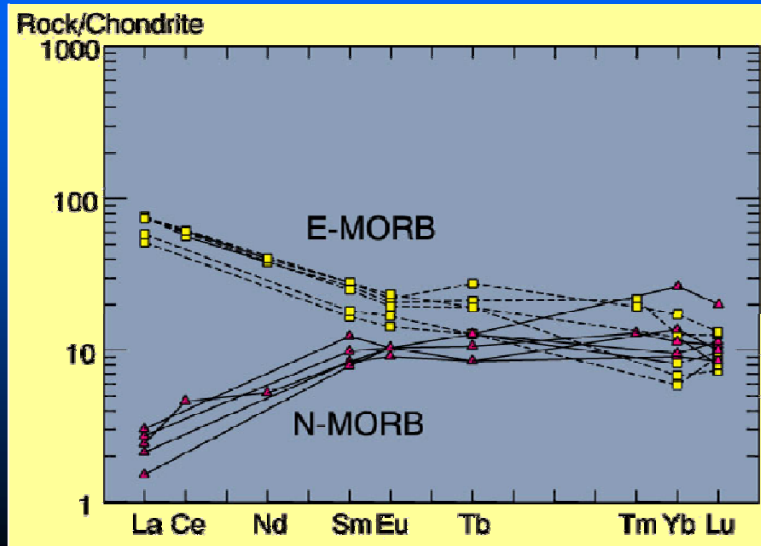
Δομή-Πετρογένεση MORB

- Λόγω αδιαβατικής εκτόνωσης υφίσταται και αυτή μερική τήξη και αποδίδει μάγμα σύστασης E-MORB στα πιο αβαθή τμήματα
- Τα N-MORB και E-MORB τήγματα μπορούν έτσι να αναμιχθούν σε ποικίλα ποσοστά (T-MORB)



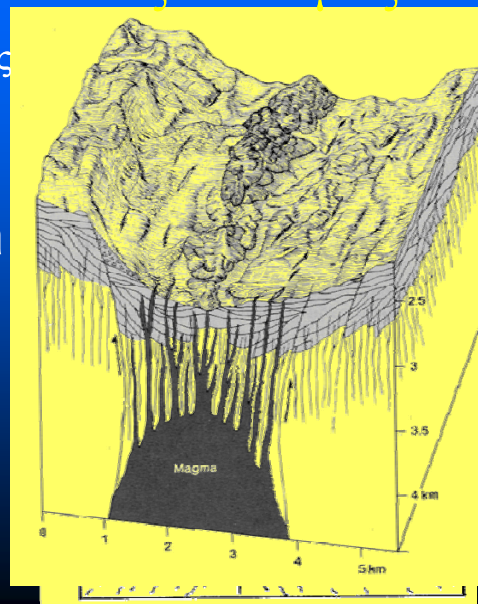
Από Zindler et al. (1984) Earth Planetary Science Letters, 70, 175-195 και Wilson (1989) Igneous Petrogenesis, Kluwer.

Δομή-Πετρογένεση MORB



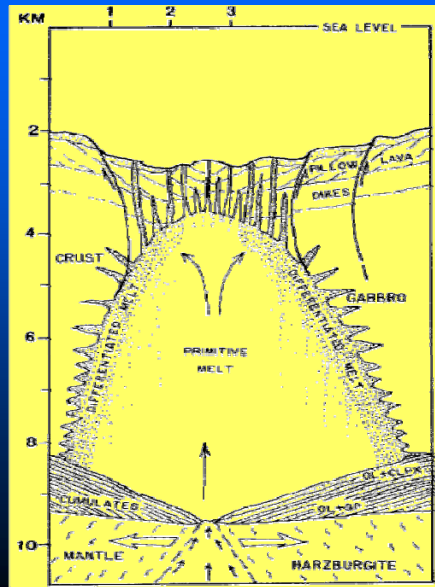
Αξονικός Μαγματικός Θάλαμος

- Ημιμόνιμος και μεγάλος
- Κλασματική κρυστάλλωση δίνει παράγωγα MORB
- Περιοδική επανείσδυση φρέσκου, πρωτογενούς μάγματος MORB
- Φλέβες στο ανώτερο τμήμα του ρηγματωμένου φλοιού (Στρώμα 2)



Αξονικός Μαγματικός Θάλαμος

- Διαφοροποιημένα τήγματα στα περιθώρια του θαλάμου κρυσταλλώνουν γαββρικά πετρώματα (Στρώμα 3)
- **ΤΟ ΑΤΕΛΕΙΩΤΟ ΚΡΕΜΜΥΔΙ** (Cann, 1970)
- Ολιβίνης και Πυρόξενος με μεγάλη πυκνότητα δημιουργούν τους υπερβασικούς σωρείτες (Στρώμα 4)



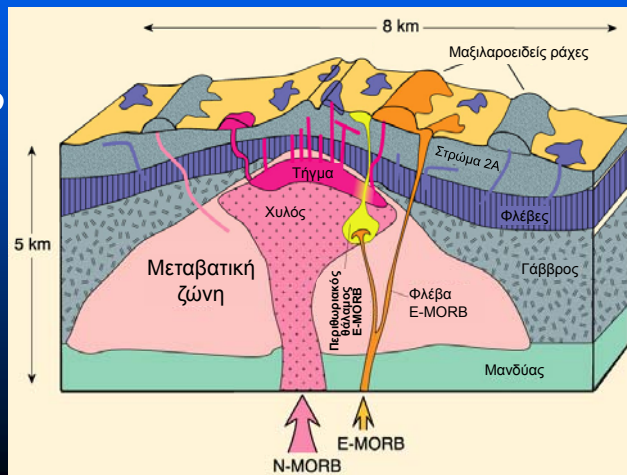
Δομή-Πετρογένεση MORB

- Αργότερα προτάθηκε ότι κάτω από αργά διανοιγόμενες ράχες υπάρχουν πολυάριθμα, εφήμερα, μαγματικά σώματα
- **ΤΟ ΑΤΕΛΕΙΩΤΟ ΠΡΑΣΟ** (Nisbet & Fowler 1978)
- Αυτές οι ράχες είναι γενικά λιγότερο διαφοροποιημένες σε σχέση με τις ταχέως διανοιγόμενες, γιατί δεν υπάρχουν μεγάλοι, συνεχείς φακοί υγρού και το μάγμα εξέρχεται αμέσως στο θαλάσσιο πυθμένα

Δομή-Πετρογένεση MORB

- Στις ταχέως διανοιγόμενες ράχες (EPR), πλήρως τηγμένο υλικό υπάρχει σε ένα λεπτό (δεκάδες έως εκατοντάδες μέτρα πάχους) και στενό (< 2 km πλάτους) φακό με μορφή κοίτης κάτω από το θαλάσσιο πυθμένα
- Η επιφάνειά του αποτελεί ανακλαστήρα των σεισμικών κυμάτων

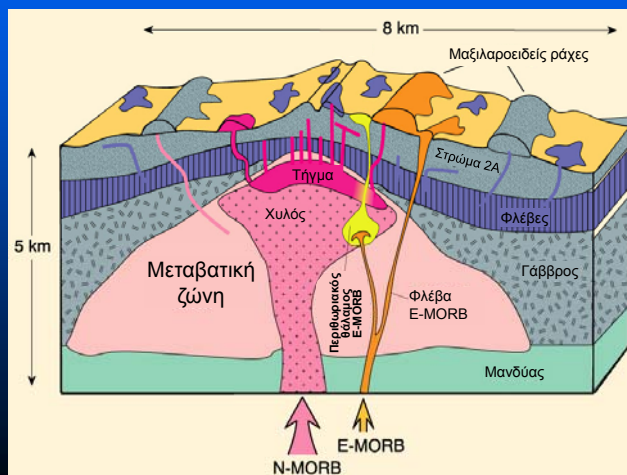
Από Perfit et al. (1994),
Geology, 22, 375-379.



Δομή-Πετρογένεση MORB

- Το τήγμα περιβάλλεται από μια ευρύτερη περιοχή με «χυλό» και μια μεταβατική ζώνη (χαμηλών σεισμικών ταχυτήτων)
- Ο μαγματικός θάλαμος αποτελείται από το τήγμα και τη ζώνη του «χυλού» (το υγρό είναι συνεχές μεταξύ τους)

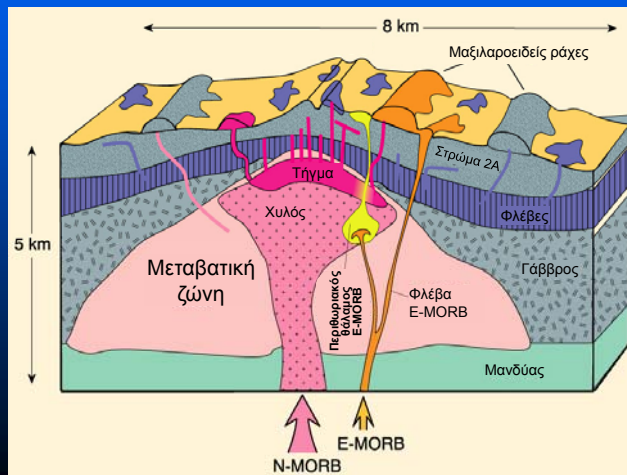
Από Perfit et al. (1994),
Geology, 22, 375-379.



Δομή-Πετρογένεση MORB

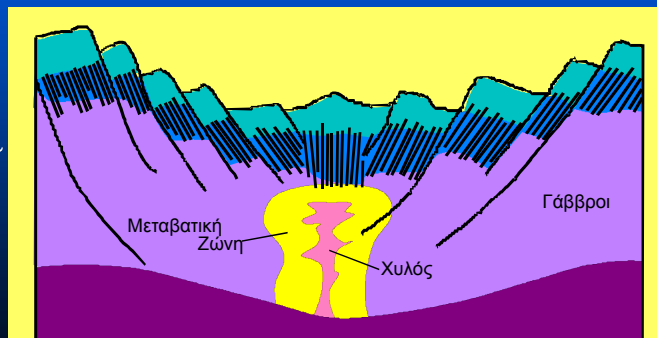
- Με την ψύξη το υγρό μετατρέπεται σε «χυλό» και το όριο του μετακινείται προς το υγρό
- Η φακοειδής μορφή διατηρείται λόγω επαναισχύσεων μάγματος

Από Perfit et al. (1994),
Geology, 22, 375-379.



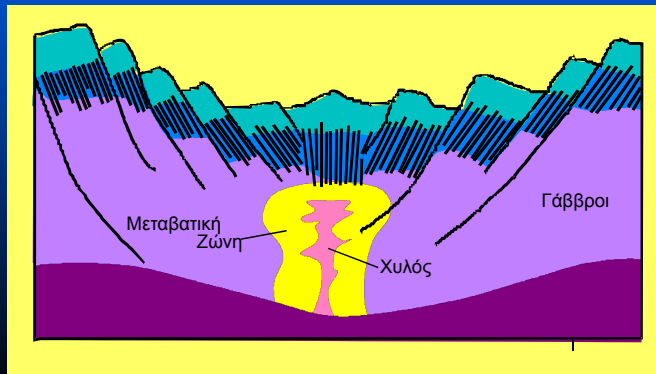
Δομή-Πετρογένεση MORB

- Στις αργά διανοιγόμενες ράχες (MAR) υπάρχει χαμηλότερη θερμότητα και προσφορά μάγματος
- Έτσι απουσιάζει μια σταθερή περιοχή με τήγμα όπως στην EPR
- Αντίθετα, κάτω από τη ράχη, υπάρχει μια ζώνη «χυλού» με τη μορφή φλέβας που περιβάλλεται από μια μεταβατική ζώνη



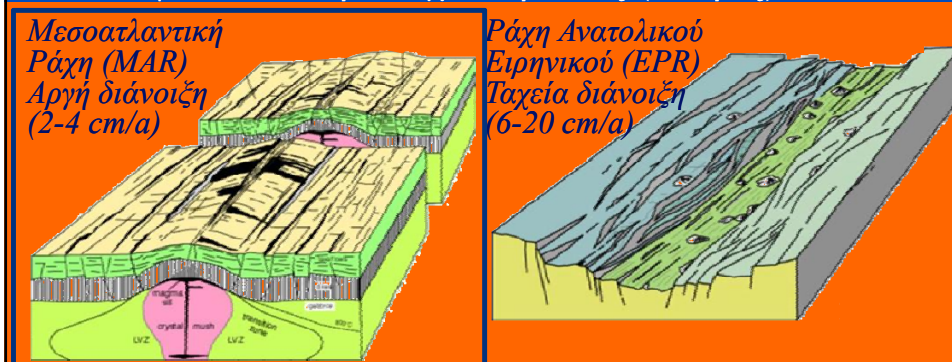
Δομή-Πετρογένεση MORB

- Η θερμοκρασία του θαλάμου είναι σαφώς κάτω από τη θερμοκρασία liquidus
- Στην κατάσταση αυτή η μεταγωγή θερμότητας και η μίξη είναι λιγότερο πιθανή σε σχέση με τις ταχέως διανοιγόμενες ράχες (μοντέλο των Sinton & Detrick, 1992)



Ταχεία ή Αργή Διάνοιξη;

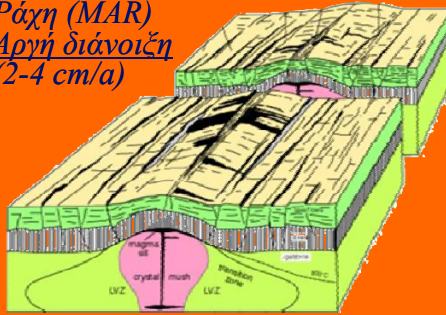
- Απουσία αξονικής κοιλάδας
- Σημαντική ποσότητα μάγματος
- Σχηματισμός πλήρους ακολουθίας (περιδοτίτες-γάββροι-βασάλτες)
- Οφιολιθικό παράδειγμα: Τρόδος (Κύπρος)



Ταχεία ή Αργή Διάνοιξη;

- Παρουσία βαθιάς αξονικής κοιλάδας
- Μέτρια παραγωγή μάγματος
- Πετρώματα με μεγαλύτερο εύρος διαφοροποίησης
- Σχηματισμός ημιτελούς ακολουθίας
- Οφιολιθικό παράδειγμα: Semail (Oman)

Μεσοατλαντική
Ράχη (MAR)
Αργή διάνοιξη
(2-4 cm/a)



Ράχη Ανατολικού
Ειρηνικού (EPR)
Ταχεία διάνοιξη
(6-20 cm/a)



Ισλανδία

- Η Μεσο-Ατλαντική Ράχη στην ξηρά (περισσότερο εξελιγμένα πετρώματα, ανδεσίτες – ρυόλιθοι, και εμπλουτισμένα σε αλκάλια)



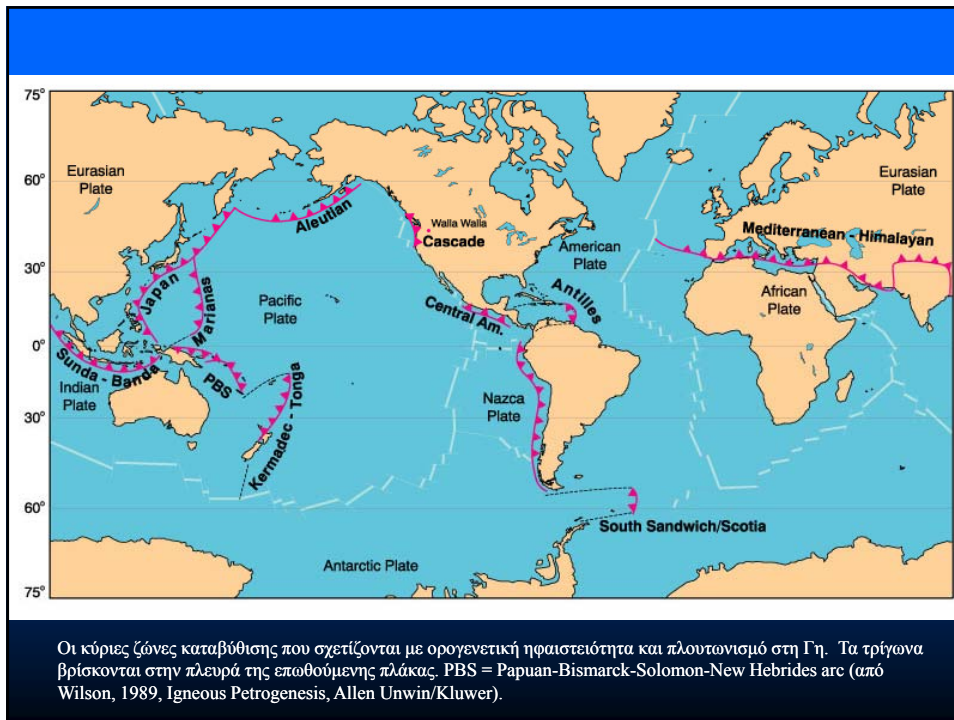
Laki eruption

- "It is the only basaltic flood lava eruption witnessed and reported in detail by man" (Thordarson, 2003)





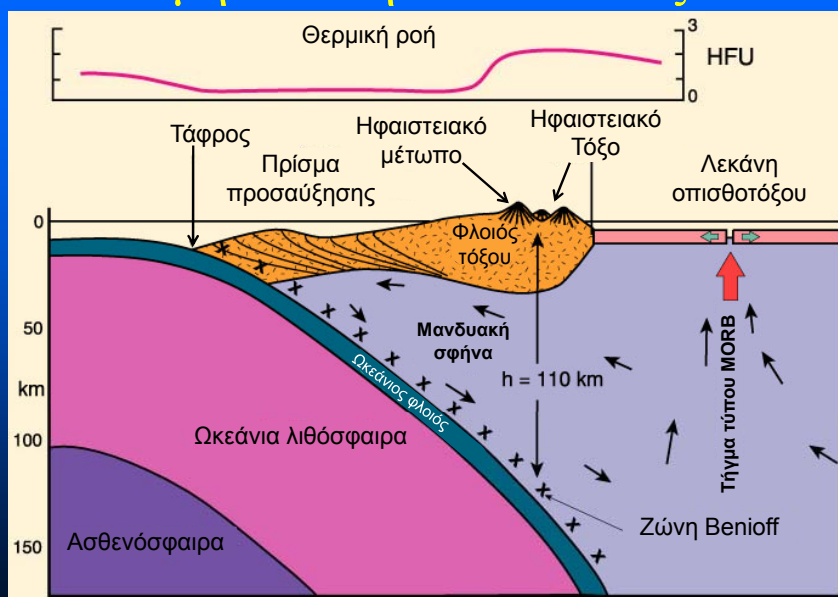
**Μαγματισμός σε Συγκλίνοντα
Περιθώρια**



Συγκλίνοντα Περιθώρια

- Μαγματισμός ως αποτέλεσμα της καταβύθισης μιας ωκεάνιας λιθосφαιρικής πλάκας
- Ο ωκεάνιος φλοιός υφίσταται μερική τήξη (και τι παράγει;)
- Το τήγμα ανέρχεται μέσω της επωθούμενης πλάκας σχηματίζοντας ηφαίστεια λίγο πιο πίσω από το μέτωπο αυτής
- Υπάρχει απεριόριστη παροχή φλοιού προς τήξη

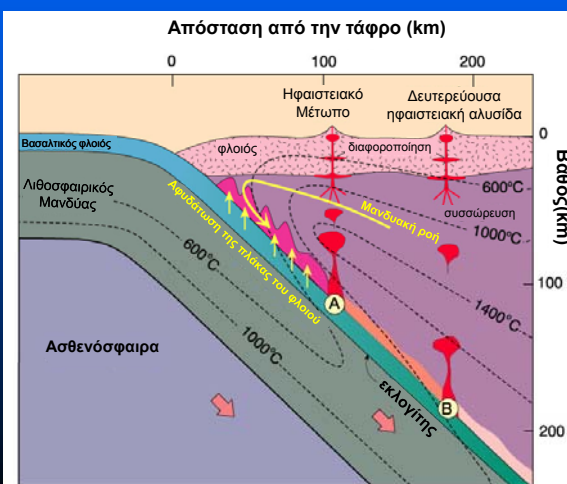
Δομή του Νησιωτικού Τόξου



Σχηματική τομή ενός τυπικού νησιωτικού τόξου από Gill, 1981, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag. HFU= heat flow unit (4.2×10^{-6} joules/cm²/sec)

Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Ο εξαλλοιωμένος ωκεάνιος φλοιός, έπειτα από τη βύθιση του αρχίζει να αφυδατώνεται σε βάθος ~50 km λόγω της αποσύνθεσης των ένυδρων ορυκτών (χλωρίτης, φεγγίτης)

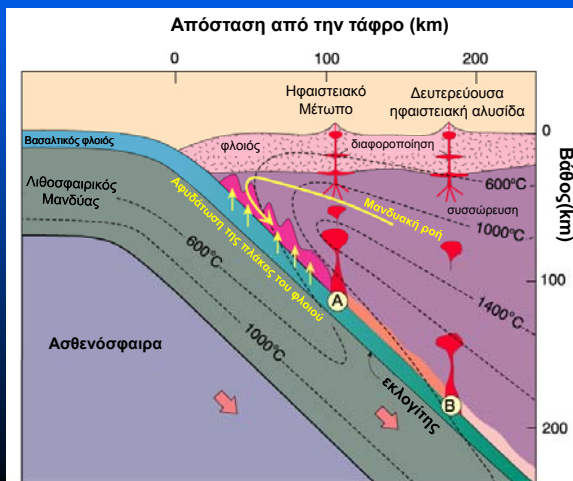


Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.

Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Ακόμα περισσότερη αφυδάτωση λαμβάνει χώρα σε μεγαλύτερο βάθος λόγω αποσύνθεσης περισσότερων ένυδρων ορυκτών (αμφίβολος) σε πιέσεις $\sim 3\text{GPa}$

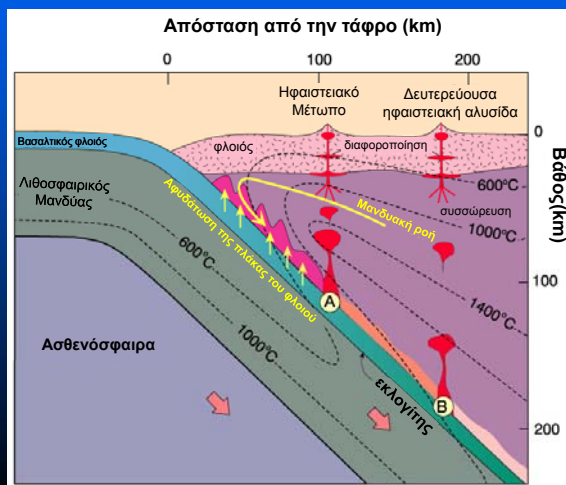
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Η καταβυθιζόμενη πλάκα στη συνέχεια μεταμορφώνεται στην κυανοσχιστολιθική φάση, μετέπειτα στην αμφιβολιτική και τέλος στην εκλογιτική (τελείως άνυδρη) σε βάθος $\sim 80-100\text{ km}$

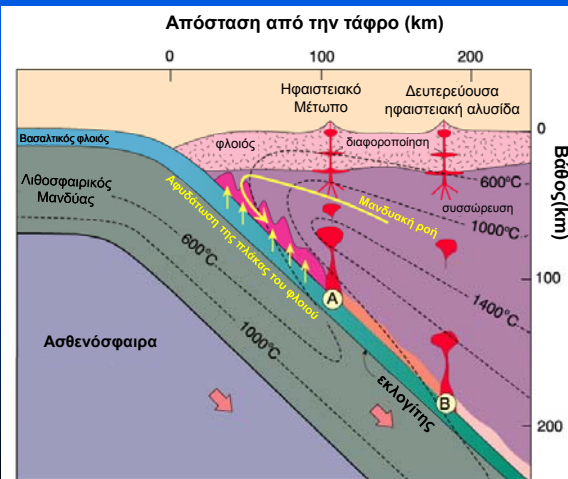
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Στα πιο πολλά τόξα, η θερμοκρασία του καταβυθιζόμενου φλοιού είναι κάτω από την ένυδρη solidus του βασάλτη, επομένως δεν υπάρχει τήξη

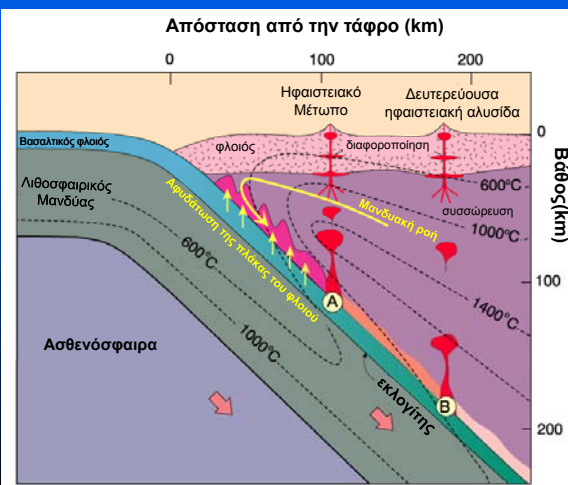
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

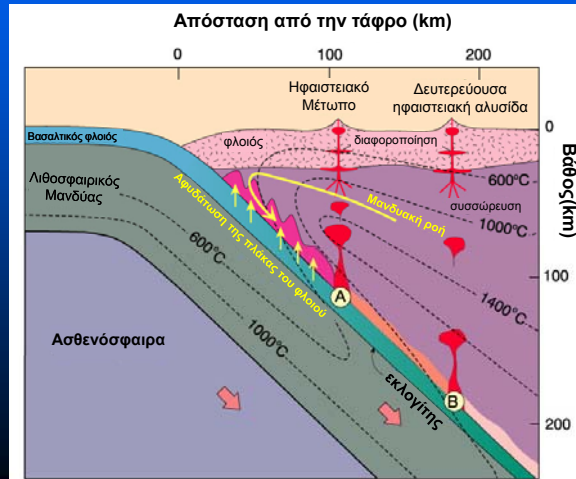
- Έτσι το νερό που απελευθερώνεται (καθώς και το νερό που είχε παγιδευτεί στα καταβυθιζόμενα ιζήματα) πιστεύεται ότι ανέρχεται στην υπερκείμενη μανδρακή σφήνα

Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Στο σημείο αυτό το νερό αντιδρά με το λερζόλιθο σχηματίζοντας ένυδρα ορυκτά: αμφίβολο και φλογοπίτη (μετασωμάτωση)

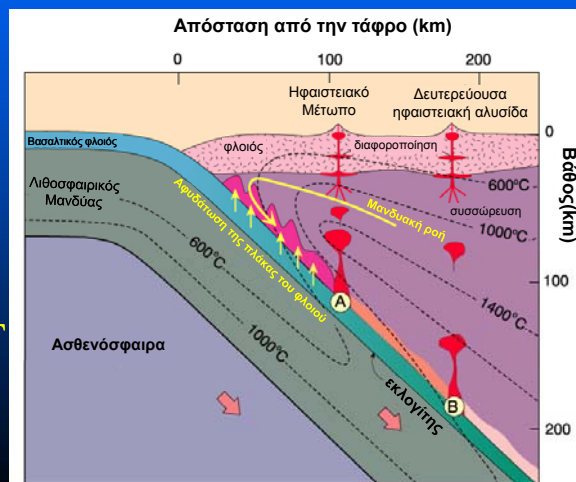


Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.

Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Ο ένυδρος αυτός μανδύας ανακυκλώνεται προς τα κάτω μέσω των ρευμάτων μεταγωγής, όπου θερμαίνεται, αφυδατώνεται και τήκεται στο βάθος των ~120 km (σημείο A)

- Σχηματισμός IAT



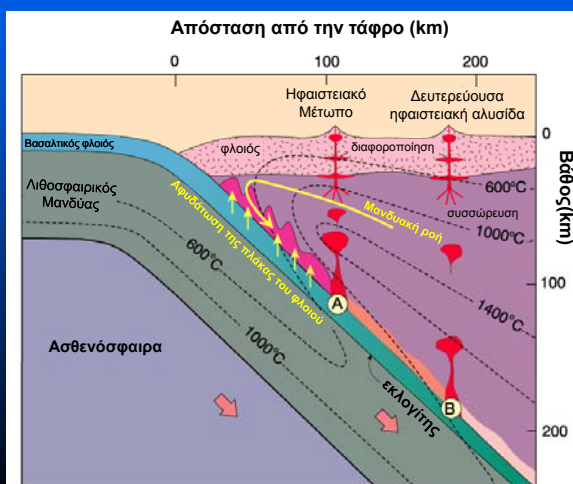
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.

Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Ο φλογοπίτης είναι ακόμα σταθερός σε αυτό το βάθος και αποσυντίθεται σε βάθος ~200 km (σημείο B)

- Εκεί η θερμοκρασία βρίσκεται οριακά πάνω ή κάτω από τη solidus

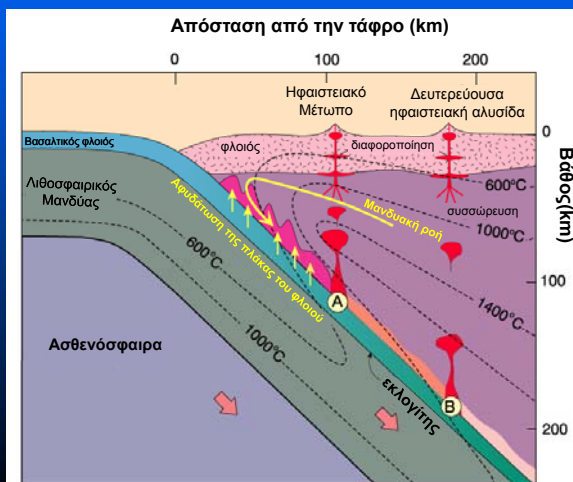
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Έτσι ανάλογα με τη θερμική ροή μπορεί να πραγματοποιείται περαιτέρω τήξη της μανδρακής σφήνας τροφοδοτώντας ένα δεύτερο ηφαιστειακό τόξο

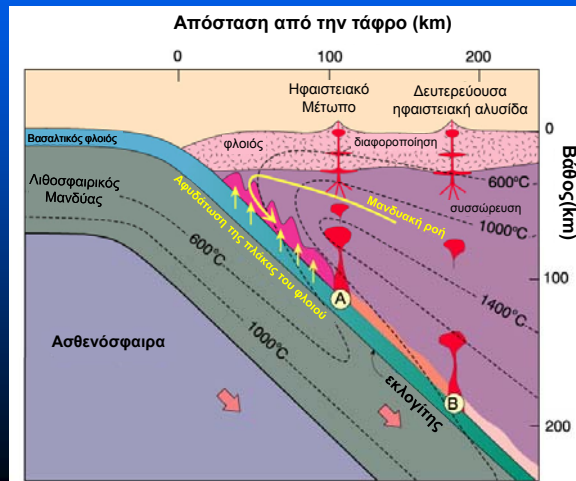
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Αυτό (αν σχηματιστεί) θα βρίσκεται σε μια ζώνη παράλληλη και πίσω από το κυρίως ηφαιστειακό μέτωπο
- Στην περίπτωση αυτή θα παραχθούν πιο παραχθούν πιο Κ-ούχα μάγματα (αλκαλικά)

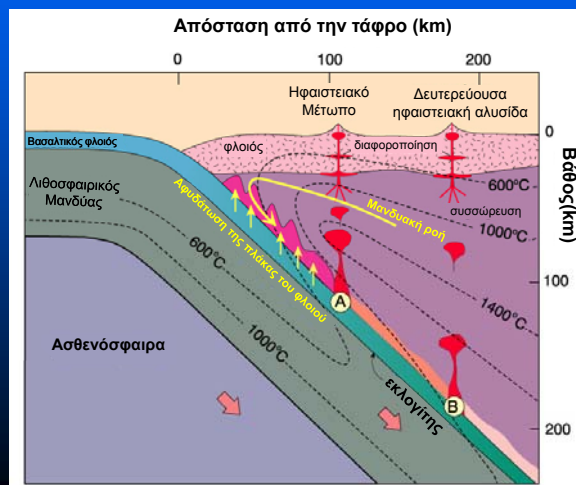
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Σε μικρά βάθη εμφανίζονται ασβεσταλκαλικά πετρώματα με κρυστάλλωση μαγνητίτη (απορροφά όλο τον Fe), κερροστίλβης και ανορθιτικού πλαγιόκλαστου

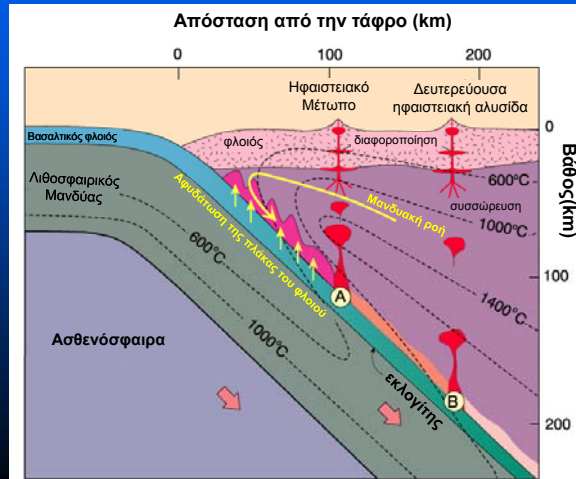
Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.



Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Η πάχυνση του φλοιού σε αυτό το σημείο επιτρέπει στα θολεϊτικά μάγματα να λιμνάσουν και να υποστούν εκτεταμένη διαφοροποίηση προς ασβεσταλκαλικά

Από Tatsumi (1989), *J. Geophysical Research*, 94, 4697-4707 και Tatsumi & Eggins (1995). *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell. Oxford.

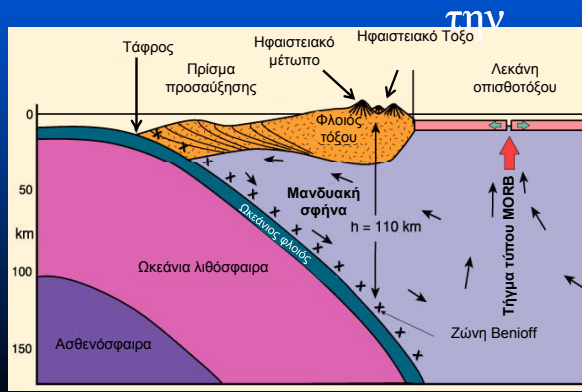


Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

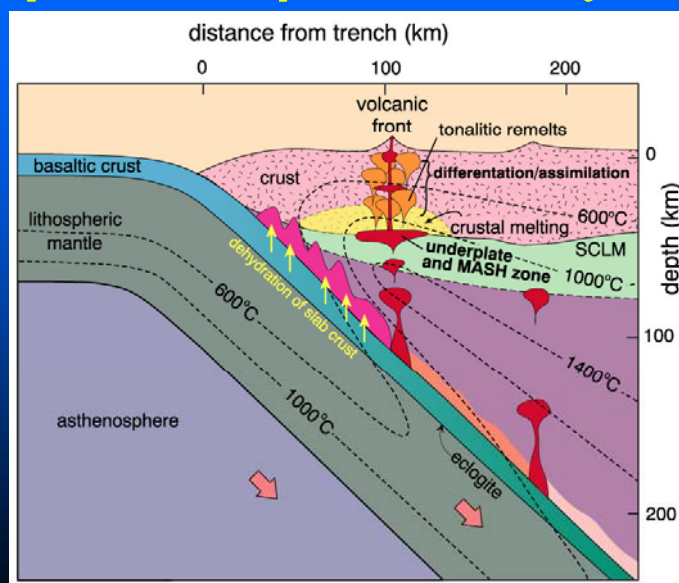
- Ο γεωχημικός χαρακτήρας των ΙΑΤ υποδεικνύει ότι στη γένεση τους συμμετείχαν τόσο ο καταβυθιζόμενος φλοιός όσο και η μανδυακή σφήνα
- Παρουσιάζουν υψηλές τιμές του λόγου **LILE/HFSE** (τα LILE προέρχονται από τα ρευστά που ενυδάτωσαν τη μανδυακή σφήνα)
- Λόγω του περιορισμένου βάθους των διεργασιών αυτών δεν συμμετέχουν γρανατούχες πηγές στο σχηματισμό τους

Δομή-Πετρογένεση στο Νησιωτικό Τόξο

- Στις λεκάνες οπισθοτόξου (περιθωριακές λεκάνες) παρατηρούνται συνήθως μικτοί χαρακτήρες MORB και IAT
- Με την εξέλιξη της λεκάνης αυτής και όσο διαφεύγει από επήρεια της καταβύθισης αναπτύσσονται όλο και περισσότερο χαρακτήρες MORB

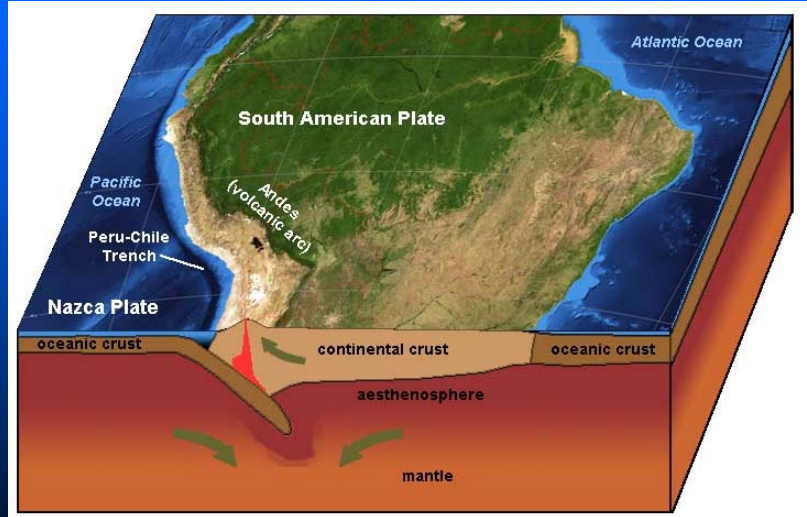


Δομή του Ηπειρωτικού Τόξου

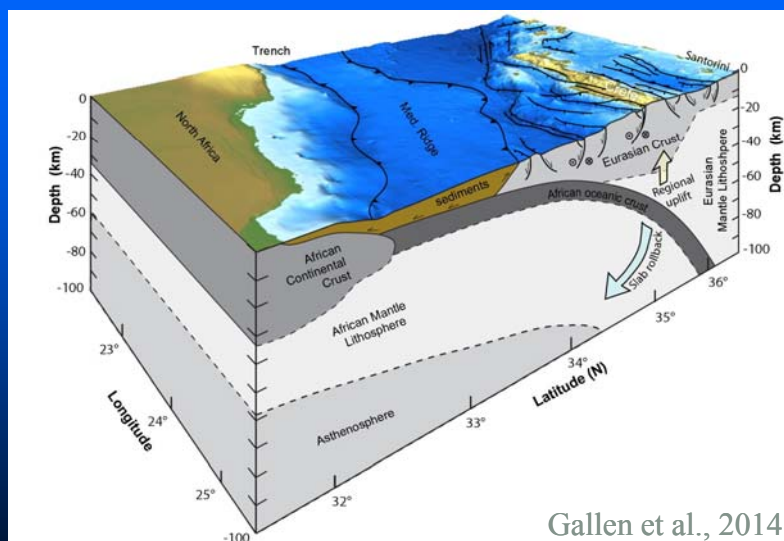


Από Winter (2001)

Παραδείγματα Ηπειρ. Τόξου



Παραδείγματα Ηπειρ. Τόξου

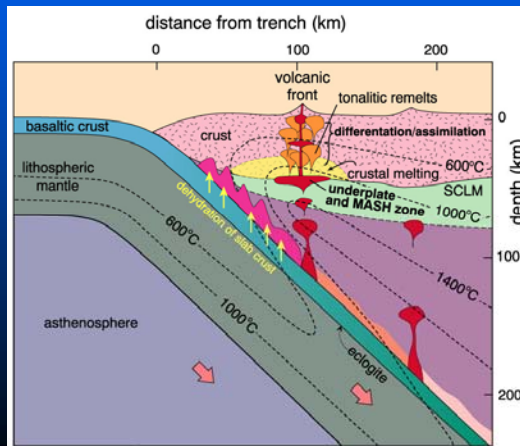


Gallen et al., 2014

<https://sites.google.com/site/theseanswebsite/current-research/crete-greece>

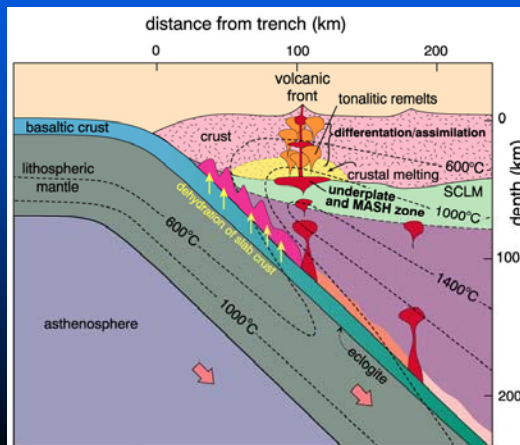
Δομή-Πετρογένεση Ηπειρωτικού Τόξου

- Με διαδικασία παρόμοια με αυτήν του νησιωτικού τόξου (αφυδάτωση-τήξη) παράγονται πλουτωνίτες στο κατώτερο τμήμα του φλοιού της επωθούμενης λιθόσφαιρας



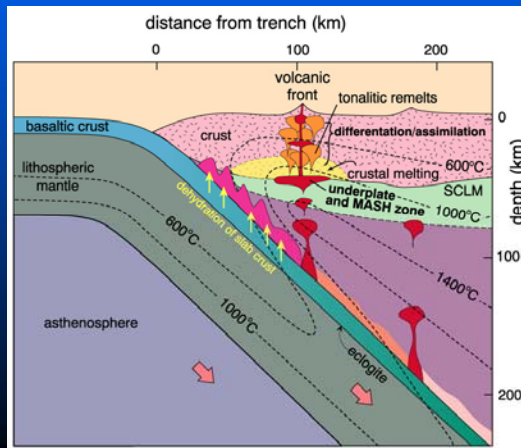
Δομή-Πετρογένεση Ηπειρωτικού Τόξου

- Επακόλουθα πραγματοποιείται ανάτηξη αυτών και σχηματισμός τοναλιτικών τηγμάτων
- Λόγω χαμηλού Σ.Τ. του ηπειρωτικού φλοιού παρατηρούνται φαινόμενα μερικής τήξης του και παραγωγή τηγμάτων από φλοιικά συστατικά



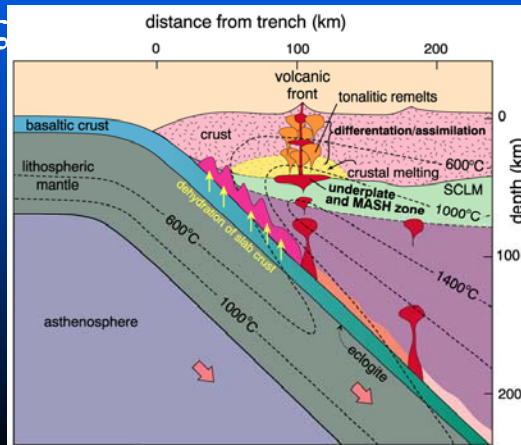
Δομή-Πετρογένεση Ηπειρωτικού Τόξου

- Συχνά παρατηρούνται φαινόμενα μίξης του μανδρακού τήγματος με το φλοιικό τήγμα
- Η μικρή πυκνότητα του ηπειρωτικού φλοιού μπορεί να επιβραδύνει την άνοδο του μάγματος και να δώσει χρόνο για περισσότερη διαφοροποίηση



Δομή-Πετρογένεση Ηπειρωτικού Τόξου

- Λόγω διείδυσης στον παχύ ηπειρωτικό φλοιό παρατηρούνται συχνότερα και πιο έντονα φαινόμενα μόλυνσης του μάγματος από αφομοίωση
- Επικρατούν ασβεσταλκαλικά πετρώματα



Διαφορές Νησιωτικού-Ηπειρωτικού Τόξου

Νησιωτικό Τόξο

- Σύγκρουση ωκεάνιας με ωκεάνια πλάκα
- Βασάλτες – Ρυόλιθοι, με κυριαρχία βασαλτών
- Κυριαρχία ΙΑΤ
- Πιθανή μίξη μανδουακών μαγμάτων

Ηπειρωτικό Τόξο

- Σύγκρουση ωκεάνιας με ηπειρωτική πλάκα
- Βασάλτες – Ρυόλιθοι, με κυριαρχία ρυολίθων, δακιδίων
- Κυριαρχία CAB
- Πιθανή μίξη μανδουακού με φλοιικό μάγμα

Μαγματισμός στο Εσωτερικό των Λιθοσφαιρικών Πλακών

Εσωτερικό των Πλακών

- Θερμοκηλίδες (Hotspots)
- Ζώνες διάρρηξης (Rift zones, που συχνά σχετίζονται με θερμοκηλίδες)



Δορυφορική εικόνα της
East African Rift

Ενδοκεάνιος Μαγματισμός

- Θολεϊτικές (OIT: Oceanic Island Tholeiite) έως αλκαλικές σειρές
- Κυρίως βασάλτες OIB (Oceanic Island Basalts)
- Τόσο τα LILE όσο και τα HFSE είναι ασύμβατα και επομένως εμπλουτισμένα σε σχέση με τους MORB
- Μικρότερη συμμετοχή αλκαλικών πετρωμάτων OIA (Oceanic Island Alkaline)

Ενδοηπειρωτικός Μαγματισμός

- Τεράστιες εκτάσεις θολεϊτικών βασαλτών (συχνά σχετιζόμενων με ρυόλιθους) CFB (Continental Flood Basalts)
- Αλκαλικές υπεραλκαλικές σειρές (σηηίτες, φωνόλιθοι, ανθρακίτες, κίπερλίτες κ.λ.π)

Και Σχεδόν Πάντα ο
«Ένοχος» είναι...

Μια τολύπη!

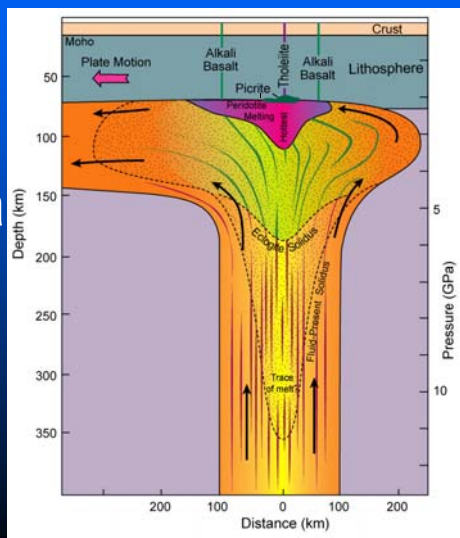
Φωτογραφία μιας εργαστηριακά παρασκευασμένης θερμικής τολύπης από χρωματισμένο ρευστό που ανέρχεται σε άγρομο ρευστό (από Campbell, 1998 και Griffiths & Campbell, 1990)



Μερική τήξη στην Τολύπη

- Το υλικό της τολύπης είναι θερμότερο στον άξονα της.
- Μερική τήξη λερζόλιθου ~350 km
- Όμως είναι ασήμαντη
- Τήξη φλοιικών προσμίξεων παρέχει πιο εκτεταμένα τήγματα

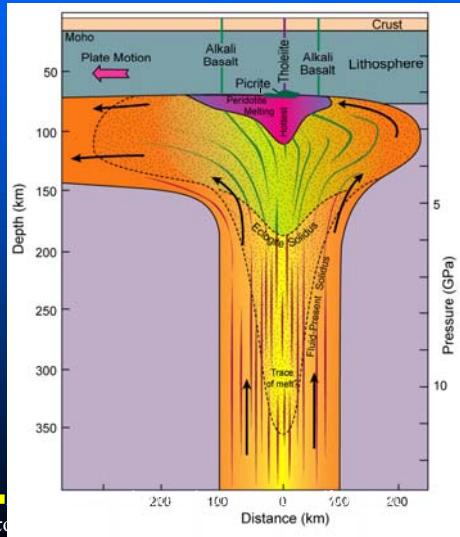
Διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου μιας τολύπης (από Wyllie, 1988)



Μερική τήξη στην Τολύπη

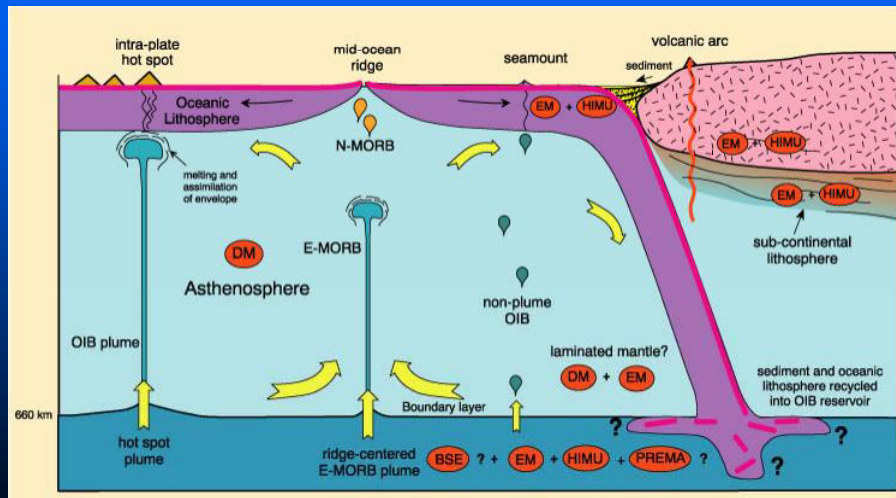
- Σημαντική τήξη λερζόλιθου ~ 100 km
- Το κλάσμα του τήγματος είναι μεγαλύτερο κοντά στον άξονα της τολύπης και παράγει πικρίτες και θολεΐτες
- Πιο εκτεταμένη τήξη στην κεφαλή της τολύπης

Διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου μιας τολύπης (από Wyllie, 1988)



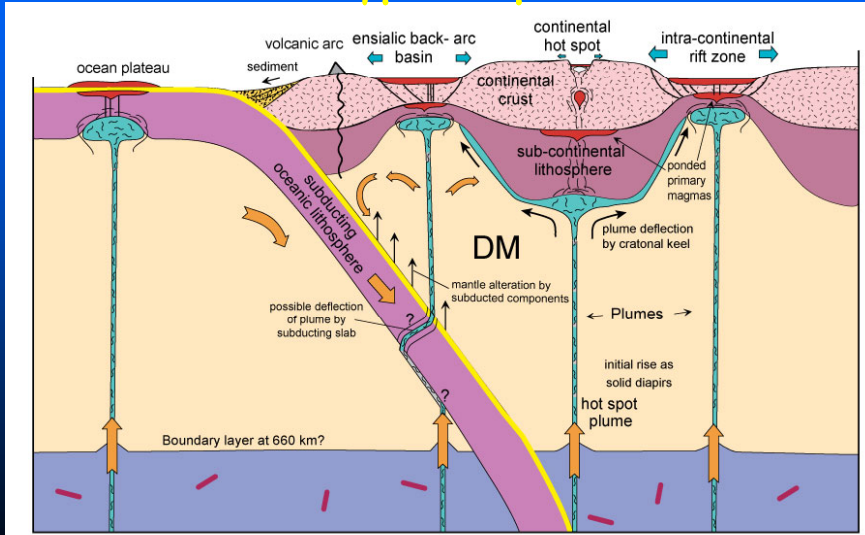
Μοντέλο Ενδωκεάνιου Μαγματισμού

Από Winter (2001)



Μοντέλο Ενδοηπειρωτικού Μαγματισμού

Από Winter (2001)



Γρανιτικά Πετρώματα

Γρανιτικά Πετρώματα

- Εκτός από τα ηπειρωτικά τόξα εμφανίζονται επίσης σε περιοχές σύγκρουσης και σε ζώνες διάρρηξης (μη ορογενετικές περιοχές)
- Εμφανίζονται σε περιοχές πάχυνσης του φλοιού και απαιτείται θερμική διαταραχή (π.χ. θερμοκηλίδα ή αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα)
- Μεγάλος όγκος γρανιτικών πετρωμάτων ΔΕΝ μπορεί να παραχθεί από διαφοροποίηση βασालτικών τηγμάτων

Γρανιτικά Πετρώματα

- Η πλειοψηφία προκύπτει από ανάτηξη του φλοιού
- Αυτή σπάνια μπορεί να είναι άνυδρη (μικρή ποσότητα τήγματος, μεγάλη παροχή θερμότητας) ή πιο συνηθισμένα ένυδρη
- Ο μανδύας μπορεί να συμμετέχει είτε ως πάροχος της θερμότητας τήξης είτε και με συνεισφορά υλικού
- Συχνά το όξινο τήγμα συγκεντρώνεται και καθοδηγείται από τεκτονικά επεισόδια

