



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Γεωχημεία

Ενότητα 1: Γεωχημικές διεργασίες στο εσωτερικό
της γης

Χριστίνα Στουραϊτη

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Γεωχημικές διεργασίες στο εσωτερικό της γης

ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Μέρος II

Περιεχόμενα

- Κλασμάτωση ιχνοστοιχείων κατά τη μερική τήξη (Trace element fractionation).
- Κανονικοποιημένα διαγράμματα.



Μερική τήξη

Πως κατανέμονται τα ιχνοστοιχεία μεταξύ τήγματος & ορυκτών, όταν μεταβάλεται ο βαθμός μερικής τήξης?

Δεδομένα

- Μαγματικό πέτρωμα (πολυφασικό & πολυκρυσταλλικό σύστημα)
- Χρησιμοποιούμε το **D** (Ολικό Συντελεστή Κατανομής) ιχνοστοιχείου

Μοντέλα Μερικής Τήξης

1) Μερική Τήξη σε συνθήκες ισορροπίας (batch melting)

α) Ευτηκτική τήξη (Απλή περίπτωση)

β) Μη ευτηκτική τήξη (περίπλοκη περίπτωση)

2) Μερική Τήξη κατά κλάσματα (Fractional melting)

α) Ευτηκτική τήξη (Απλή περίπτωση)

β) Μη ευτηκτική τήξη (περίπλοκη περίπτωση)



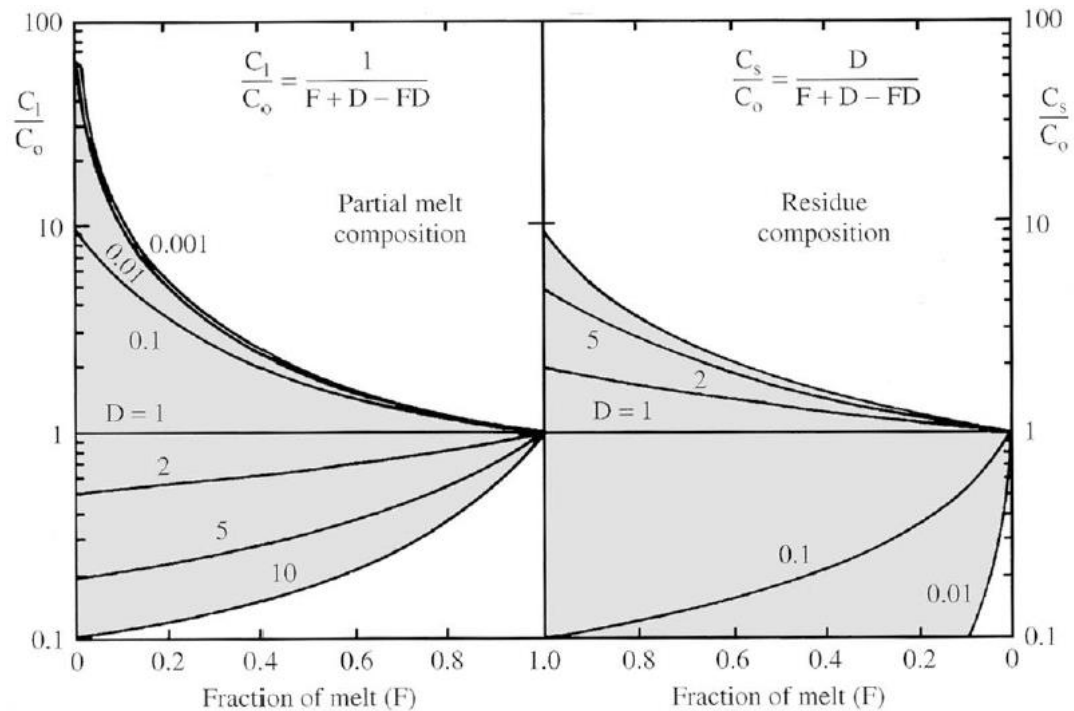
Μερική τήξη

α) Ευτηκτική τήξη

Η σχετική αναλογία των ορυκτών στο αρχικό στερεό (αρχικό πέτρωμα=πηγή μάγματος) και στο τήγμα (liquid), παραμένει ίδια κατά τη διάρκεια της τήξης.

D , (Ολικό Συντελεστή Κατανομής) ιχνοστοιχείου = σταθερό, κατά τη διάρκεια της τήξης.

- Ο λόγος C_l/C_o , μας δείχνει τη μεταβολή στη συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου στο τήγμα.
- Fraction of melt (F): ο βαθμός μερικής τήξης (πχ. 0.4 ή 40%).
- Αλλαγή στο D , σημαίνει \rightarrow μεταβολή στην ανταγωνιστικότητα του ιχνοστοιχείου.



Κρυστάλλωση

Κρυστάλλωση <-> Μερικής τήξης

A) Κρυστάλλωση σε συνθήκες ισορροπίας (Equilibrium crystallization): κρύσταλλοι & τήγμα σε θερμοδυναμική ισορροπία (αργή κρυστάλλωση) → δεν δημιουργείται ζώνωση στους κρυστάλλους

$$C_i^{\text{res. magma}} / C_{(i)0}^{\text{magma}} = 1 / D_i^{\text{cryst}} + F (1 - D_i^{\text{cryst}}), \quad (\text{Wood \& Fraser, 1976, Allegre \& Minster, 1978})$$

όπου, i είναι το ιχνοστοιχείο

$C_i^{\text{res. Magma}}$: συγκέντρωση του i στο υπόλοιπο μάγμα

$C_{(i)0}^{\text{magma}}$: συγκέντρωση του i στο αρχικό μάγμα

D_i^{cryst} : Ολικός Συντ. Κατανομής των κρυστάλλων που σχηματίστηκαν

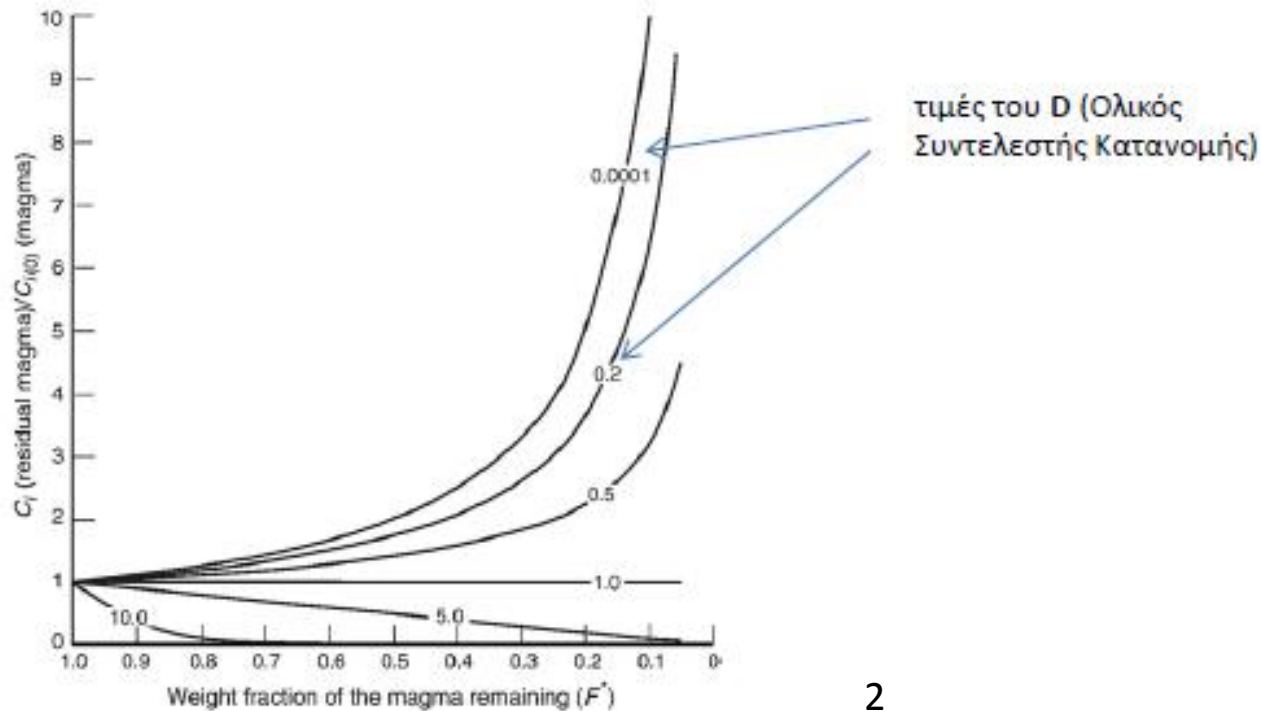
F : το κλάσμα του μάγματος που δεν έχει κρυσταλλωθεί (που παραμένει)

B) Κλασματική κρυστάλλωση (Fractional Crystallization ή Rayleigh fractionation): κρύσταλλοι αποχωρίζονται συνεχώς από το υπόλοιπο τήγμα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ισορροπία μεταξύ κρυστάλλων και υπόλοιπου τήγματος → ζώνωση κρυστάλλων

$$C_i^{\text{res. magma}} / C_{(i)0}^{\text{magma}} = F^{(D-1)}$$



Κλασματική Κρυστάλλωση



Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kala C. Miska
© 2012 Kala C. Miska. Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.

Σχ. 2 Μεταβολή της συγκέντρωσης ($C_{res.magma}/C_{(0) magma}$) ενός μη-ανταγωνιστικού ιχνοστοιχείου (i) σε σχέση με τη συσκέντρωση του αρχικού μάγματος, κατά την κλασματική κρυστάλλωση.



Τι ξέρουμε για τη συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων:

Γενικά, στα ορυκτά του μανδύα (πηγή των πρωταρχικών μαγμάτων)

Μη Ανταγωνιστικά στοιχεία είναι:

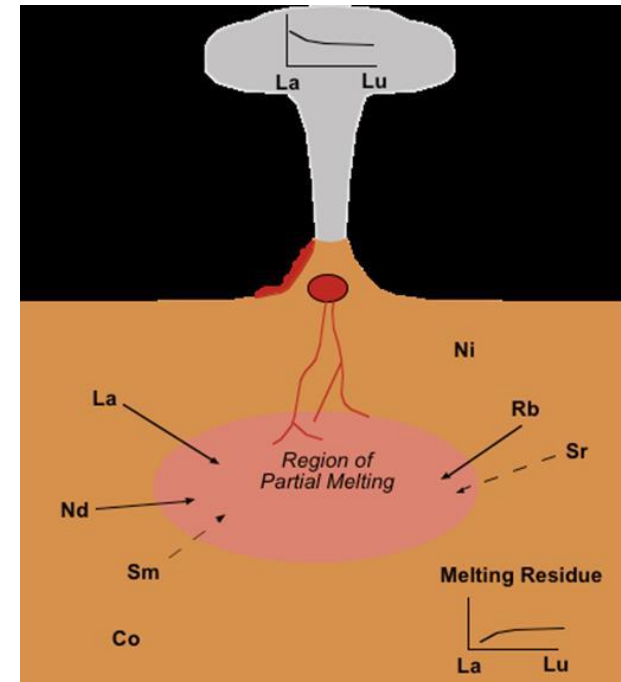
- K, Rb, Cs, Ta, Nb, U, Th, Y, Hf, Zr, και
- Σπάνιες Γαίες [REE: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, & Lu].

Τα περισσότερα από τα παραπάνω στοιχεία έχουν μεγάλη ιοντική ακτίνα, συγκριτικά με τις διαστάσεις των θέσεων στο κρύσταλλο των κοινών ορυκτών του μανδύα: -ολιβίνης, πυρόξενος, σπινέλιος και γρανάτης

Ανταγωνιστικά στοιχεία είναι:

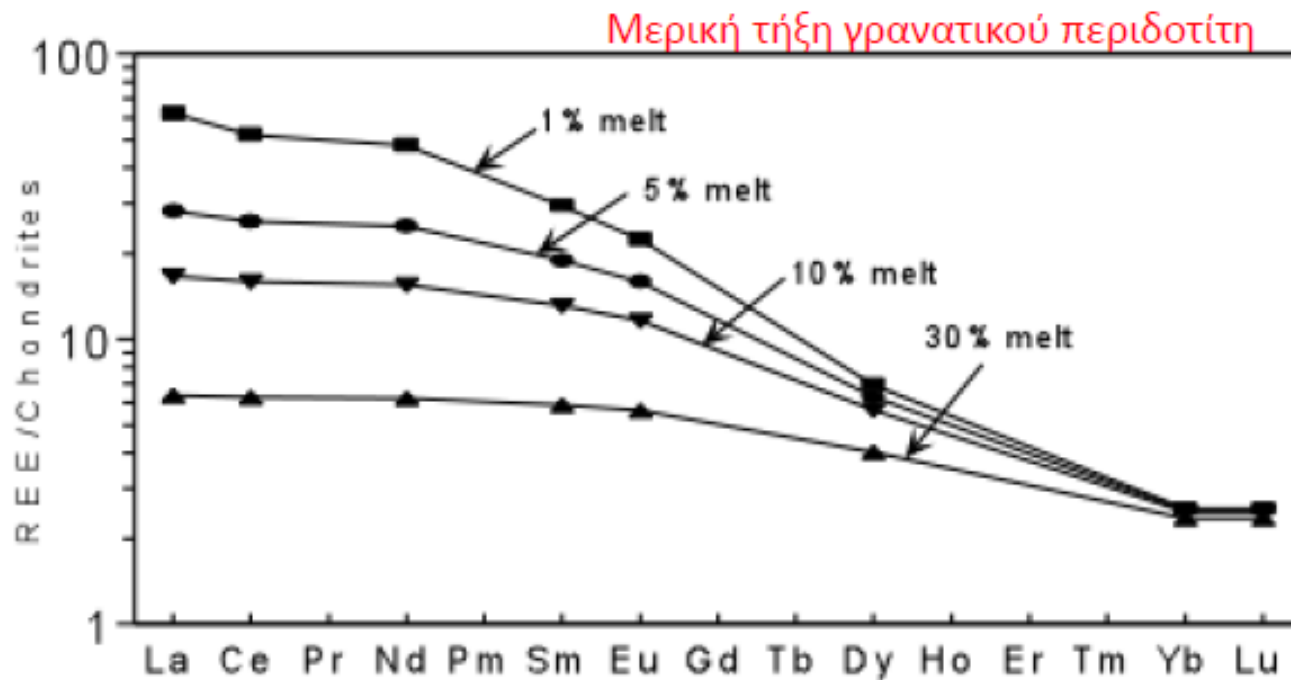
- Ni, Cr, Co, V, και Sc,

Τα οποία έχουν ιοντική ακτίνα μικρότερη και ταιριάζουν ευκολότερα στις κρυσταλλογραφικές θέσεις του Mg Fe.



Παράδειγμα μερικής τήξης ανώτερου μανδύα....

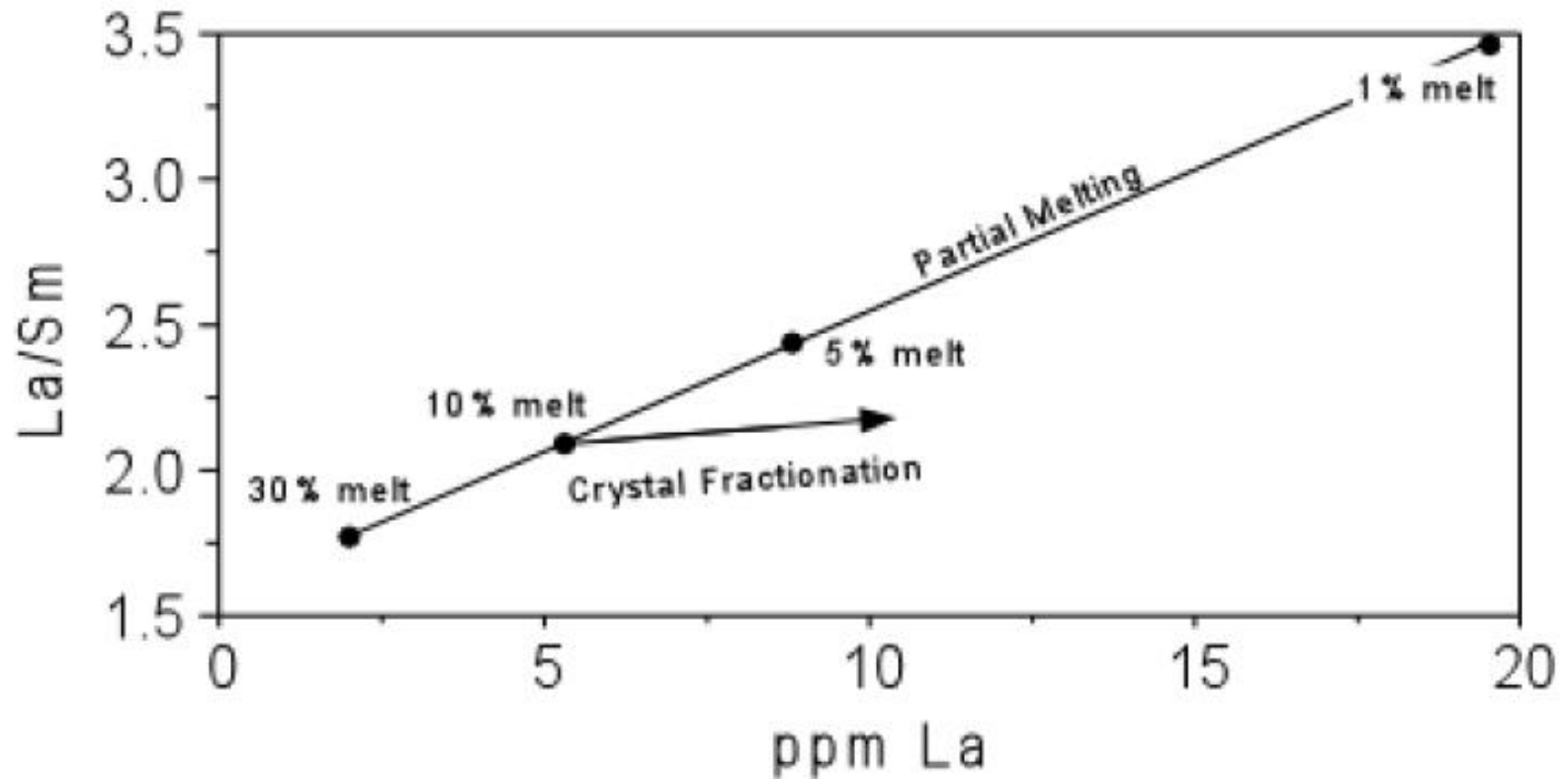
Μη ανταγωνιστικά στοιχεία: ό λες οι REE, και ειδικότερα οι ελαφριές (LREE) περισσότερο μη-ανταγωνιστικές από τις βαριές (HREE)



4



Λόγος δύο ιχνοστοιχείων με διαφορετική ανταγωνιστικότητα

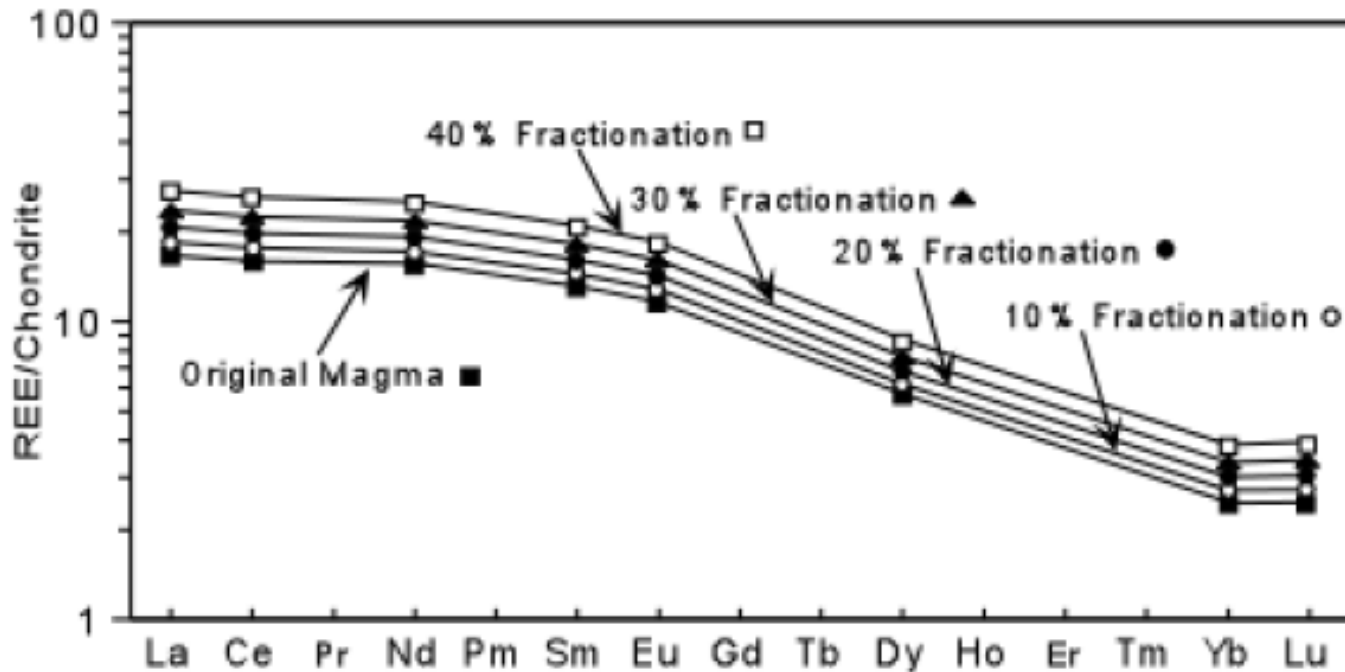


5



Κλασματική Κρυστάλλωση

Ο λόγος στοιχείων διαφορετικής ανταγωνιστικότητας (LREE/HREE) δεν διαφέρει πολύ στην κλασματική κρυστάλλωση → σταθερό “pattern” με παράλληλη μετατόπιση (εμπλουτισμό REE, όσο αυξάνει ο βαθμός Κλ. Κρυστάλλωσης (Fractionation %)).



6



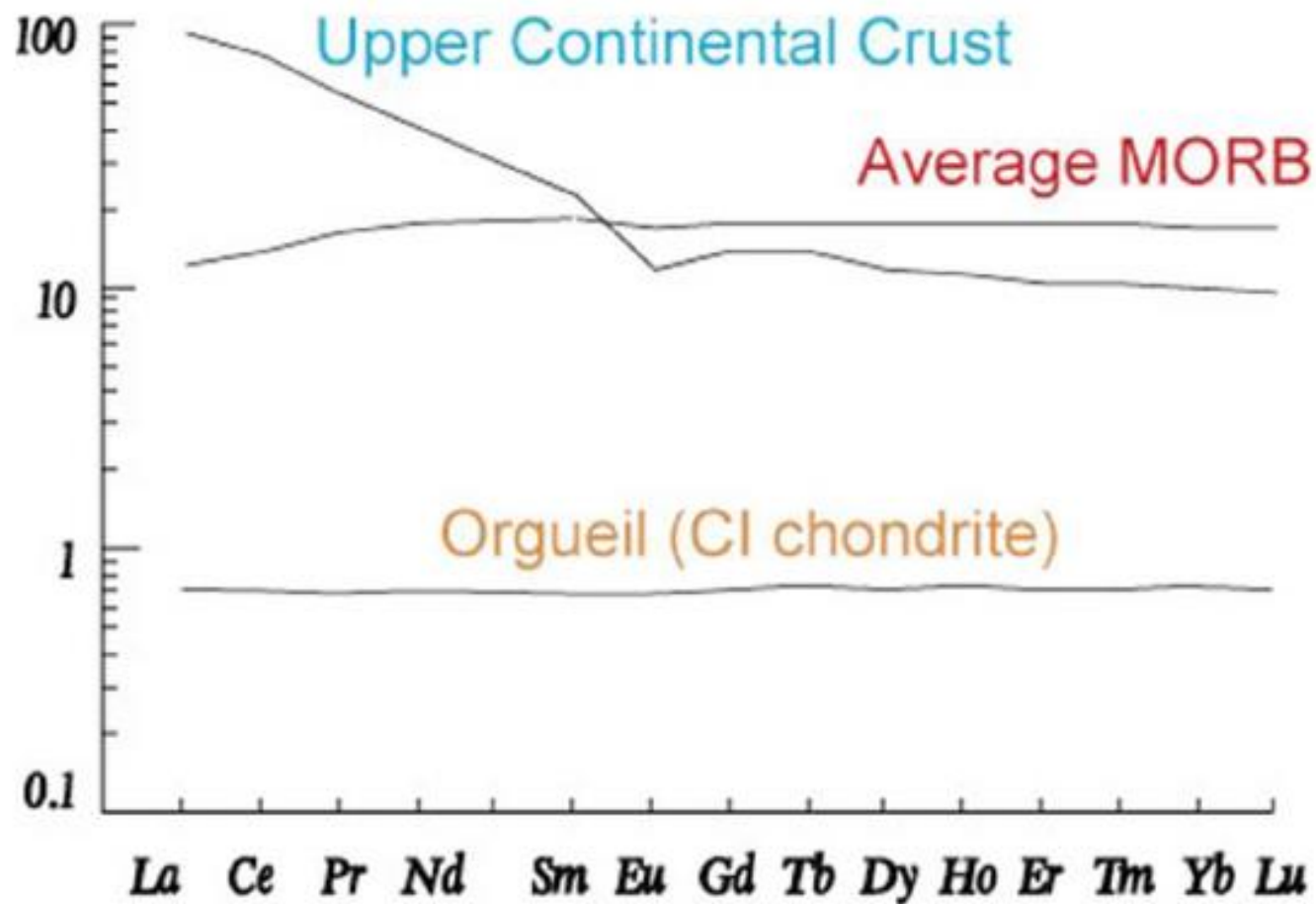
Συνοψίζοντας...

Χρησιμοποιούμε τα **διαγράμματα REE** (κανονικοποιημένα ως προς τη σύσταση του C1 Χονδρίτη μετωρίτη) για να:

- 1) Προσδιορίσουμε την **προέλευση** των μαγμάτων, υποθέτοντας ότι τα πρωταρχικά μάγματα σχηματίζονται στον ανώτερο μανδύα.
- 2) Για να διακρίνουμε **διεργασίες μερικής τήξης** ή κλασματικής **κρυστάλλωση**.
- 3) Να **συγκρίνουμε** πετρώματα διαφορετικών συστάσεων και να προσδιορίσουμε την προέλευση τους.



Το “Pattern” του κανονικοποιημένου διαγράμματος REE ... ταυτότητα ενός πετρώματος

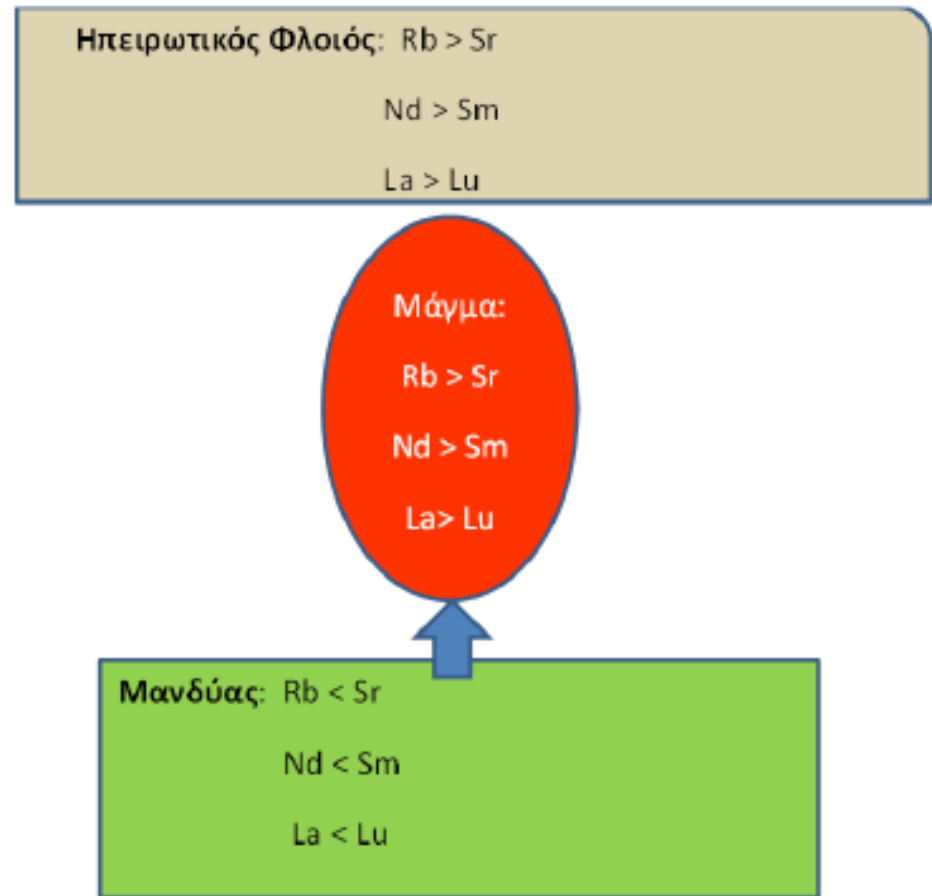


7

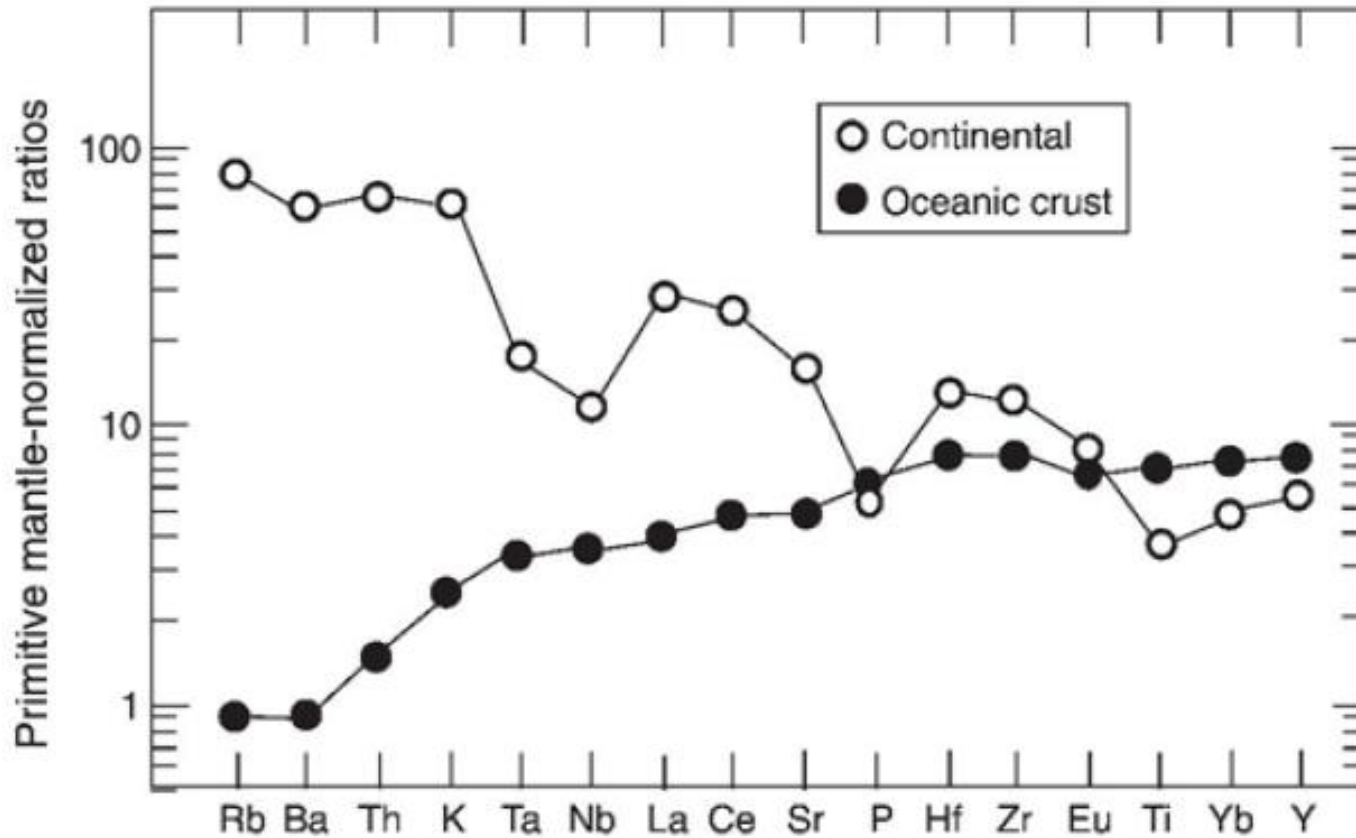


Διαφοροποίηση στη σύσταση φλοιού και μανδύα

- Ο φλοιός σχηματίστηκε από τήγματα που προήρθαν από το μανδύα, μεταφέροντας το χαρακτηριστικό του εμπλουτισμού (στο “pattern”):
- – **Ηπειρωτικός φλοιός:** έγινε εμπλουτισμένος σε **μη-ανταγωνιστικά** στοιχεία
- – **Μανδύας:** έγινε απεμπλουτισμένος σε **μη-ανταγωνιστικά** στοιχεία.



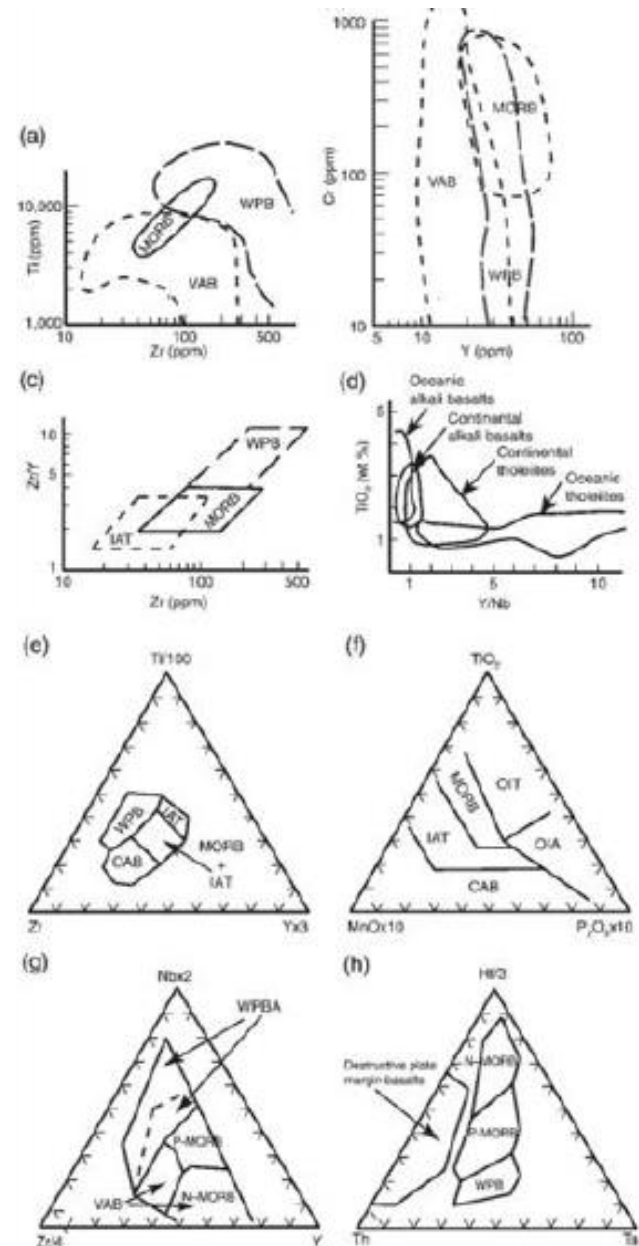
Αντικατοπτρική σχέση σύστασης ηπειρωτικού – ωκεάνειου φλοιού



Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition. Kula C. Misra.
© 2012 Kula C. Misra. Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.

8

Χρήση των Ιχνοστοιχείων στα διαγράμματα ταξινόμησης με βάση το τεκτονικό καθεστώς



9



Χρήση των Ιχνοστοιχείων

Χρησιμοποιούμε τα ιχνοστοιχεία:

1) Κανονικοποιημένα διαγράμματα

A) REE

B) Spidergramms



Πρόλευση μάγματος

2) Ταξινόμηση πετρωμάτων μιας μαγματικής σειράς με βάση το τεκτονικό καθεστώς



Συμπεράσματα

- Ο πρώτος φλοιός είχε πιθανόν τη σύσταση ενός βασάλτη. Ο πρώτος **ηπειρωτικός φλοιός** σχηματίστηκε από μερική τήξη του πρωταρχικού μανδύα (primitive mantle), όπου τα μη-ανταγωνιστικά (K,Rb, Cs, U, Th, La..) στοιχεία εμπλουτίστηκαν στα μερικά τήγματα.
- Τα **πρωταρχικά μάγματα** (primary magmas) σχηματίστηκαν από μερική τήξη του **ανώτερου μανδύα**, λόγω συνθηκών αποσυμπίεσης (decompression) και συνιστούν τις 3 κύριες μαγματικές σειρές: **θολειίτες – ασβεσταλκαλικές & αλκαλικές**. Κάθε μια σειρά έχει ένα εύρος συστάσεων από μαφικές έως πυριτικές συστάσεις.
- Τα χαρακτηριστικά **των ιχνοστοιχείων** στα **πρωταρχικά μάγματα** καθορίζονται κυρία, από τη σύσταση του πρωταρχικού υλικού, το βαθμό μερικής τήξης του, τους συντελεστές κατανομής των ιχνοστοιχείων και από το μοντέλο μερικής τήξης (ευτηκτική ή με ευτηκτική).
- Σε μια συγγενετική ομάδα δειγμάτων ηφαιστειακών πετρωμάτων, οι χημικές μεταβολές των ιχνοστοιχείων μας βοηθούν να διακρίνουμε, **ποιά διεργασία κλασμάτωσης** κρυστάλλου-τήγματος είναι «υπεύθυνη», η μερική τήξη ή κλασματική κρυστάλλωσή?
- Η μελέτη των **μη-ανταγωνιστικών** και **μη-ευκίνητων** στοιχείων (π.χ, REE) σε μια συγγενετική ομάδα ηφαιστειακών πετρωμάτων, μας βοηθά να προσδιορίσουμε το παλαιο-τεκτονικό καθεστώς σχηματισμού τους.



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.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Χριστίνα Στουραϊτή 2015. Χριστίνα Στουραϊτή. «Γεωχημεία. Γεωχημικές διεργασίες στο εσωτερικό της γης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL2/>.



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 (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Partial melt composition, Residue composition. Copyrighted.

Εικόνα 2: Μεταβολή συγκέντρωσης μη-ανταγωνιστικού ιχνοστοιχείου σε σχέση με τη συσκέκντρωση του αρχικού μάγματος, κατά την κλασματική κρυστάλλωση.

Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

Εικόνα 3: Copyrighted.

Εικόνα 4: Μερική τήξη γρανατικού περιδοτίτη. Copyrighted.

Εικόνα 5: Λόγος δύο ιχνοστοιχείων με διαφορετική ανταγωνιστικότητα. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Εικόνα 6: Κλασματική Κρυστάλλωση. Copyrighted.

Εικόνα 7: Copyrighted.

Εικόνα 8: Αντικατοπτρική σχέση σύστασης ηπειρωτικού – ωκεάνειου φλοιού.
Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

Εικόνα 9: Χρήση των Ιχνοστοιχείων στα διαγράμματα ταξινόμησης με βάση το τεκτονικό καθεστώς. Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

