



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Γεωχημεία

Ενότητα 2: Γεωχημικές διεργασίες στην επιφάνεια
της γης

Αριάδνη Αργυράκη

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Γεωχημικές διεργασίες στην επιφάνεια της γης

Θαλάσσια Γεωχημεία-
Γεωχημεία ιζημάτων

Περιεχόμενα

1. Σύσταση του θαλάσσιου νερού και παράγοντες ελέγχου συγκέντρωσης στοιχείων.
2. Συντηρητικά, ανακυκλώσιμα (θρεπτικά), προσροφημένα. χημικά στοιχεία στο θαλάσσιο περιβάλλον.
3. Ανθρακικά ιζήματα στο θαλάσσιο περιβάλλον.
4. Ρύθμιση του pH στο θαλασσινό νερό.



Θαλασσινό νερό στην υδρόσφαιρα

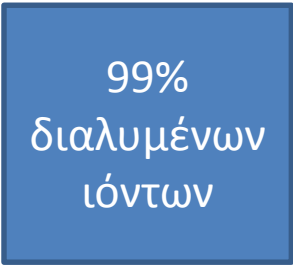
- Θαλασσινό νερό -> το μεγαλύτερο μέρος της υδρόσφαιρας (97% του συνολικού νερού στην επιφάνεια της γης).
- Καλύπτει το 71% της γήινης επιφάνειας.
- Μέσο βάθος 3800 m.
- $\sim 1370 \times 10^6 \text{ km}^3$ νερού.



ΣΥΣΤΑΣΗ ΠΟΤΑΜΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

- Σύσταση μέσου ποτάμιου και θαλάσσιου νερού (Bernier & Bernier, 1987; Broecker & Peng, 1982) σε mmol /l

Ιόν	Ποτάμιο νερό	Θάλασσα
Na ⁺	0.23	470
Mg ²⁺	0.14	53
K ⁺	0.03	10
Ca ²⁺	0.33	10
HCO ₃ ⁻	0.85	2
SO ₄ ²⁻	0.09	28
Cl ⁻	0.16	550
Si	0.16	0.1



- Μεγαλύτερη περιεκτικότητα θαλάσσιου νερού σε διαλυμένα στερεά
- Διαφορές στις αναλογίες ιόντων π.χ. Ca αναλογικά πιο άφθονο στο ποτάμιο νερό
- Ομοιογένεια σύστασης ωκεανών παγκοσμίως (μεταβλητότητα +/- 10%)
- Αμετάβλητη σύσταση με το χρόνο → γεωχημικοί κύκλοι μακράς διάρκειας



ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

- **ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗΣ (Eh)**
 - Ωκεάνιο νερό: πολύ οξειδωτικό διάλυμα -> άρα στοιχεία στις υψηλότερες καταστάσεις σθένους
 - Εξαίρεση: Παράκτιες περιοχές ή απομονωμένες λεκάνες -> πτώση Eh με δράση οργανισμών
- **ΠΑΡΟΧΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**
 - Διαλυμένα ιόντα και κόκκοι από την αποσάθρωση χερσαίων πετρωμάτων
 - Na, K, SiO₂ από πυριτικά ορυκτά
 - Ca, Mg κυρίως από ασβεστόλιθους, δολομίτες
 - S από θειούχα ορυκτά
 - Cl⁻ από έκπλυση αλάτων
 - ανθρωπογενείς πηγές



Μηχανισμοί απομάκρυνσης χημικών στοιχείων από το θαλασσινό νερό

1. Βιολογικές διεργασίες (σύνθεση μαλακών ιστών και σκελετικών στοιχείων) → έλεγχος συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων.
2. Χημικές αντιδράσεις σε περιοχές υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας (π.χ. σερπεντινίωση).
3. Χημικές αντιδράσεις με κόκκους χερσογενών ορυκτών φάσεων.
4. Μεταφορά θαλάσσιων αλάτων με τον άνεμο προς την ξηρά.
5. Χημική καθίζηση εβαποριτών και σουλφιδίων.
6. Ειδικές διεργασίες απομάκρυνσης συγκεκριμένων στοιχείων π.χ. νιτροποίηση, δημιουργία αυθυγενούς απατίτη κ.α.



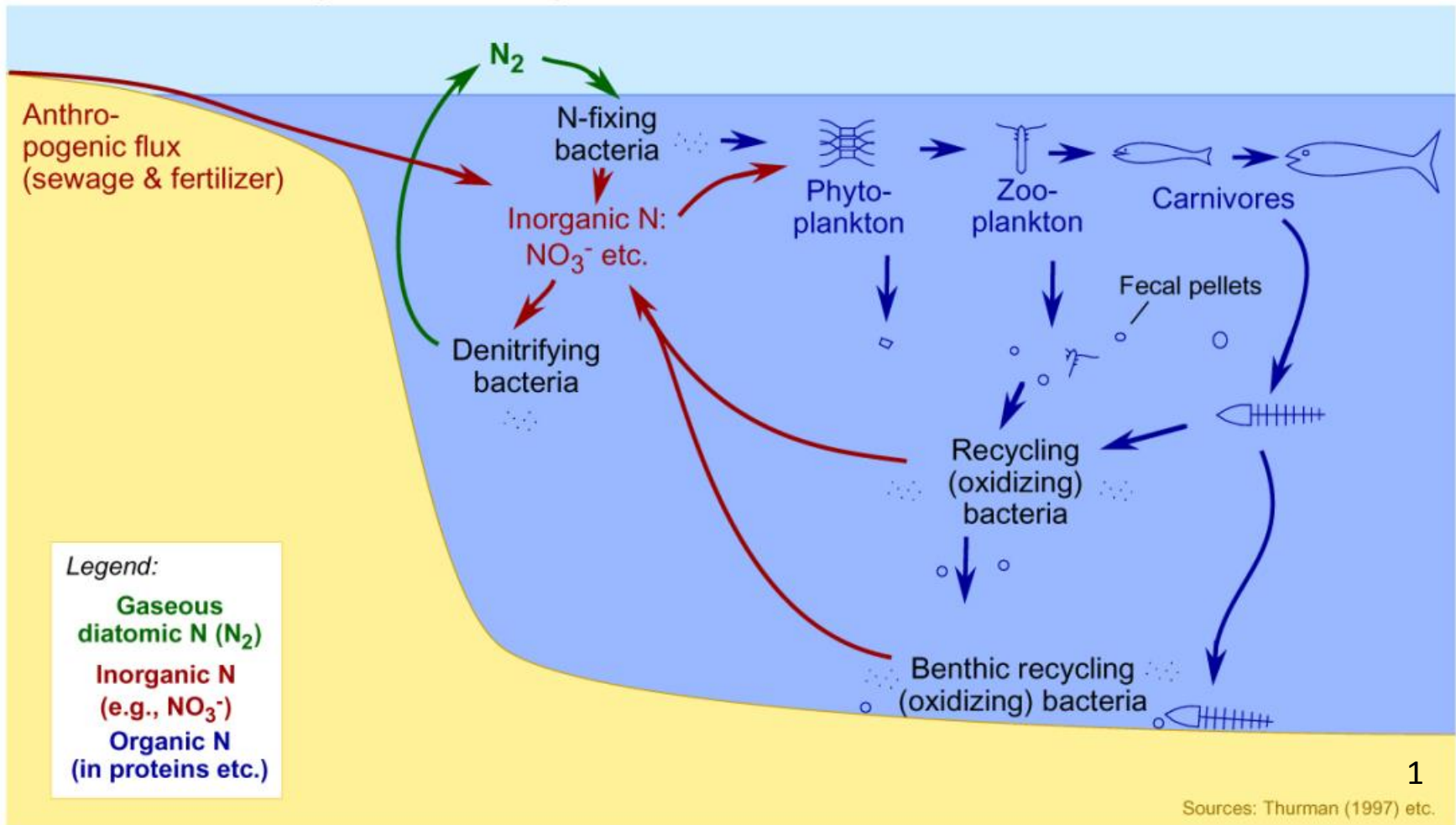
Συντηρητικά ιόντα (conservative solutes)

- Cl, Na, Mg, SO₄, Ca, K, HCO₃, Br, Sr, H₃BO₃, F, Li, Rb, MoO₄, Ba
- Αποτελούν αθροιστικά το 99% των περιεχομένων διαλυμένων στερεών του θαλάσσιου νερού.
- Σταθερή αναλογία συγκεντρώσεων στο θαλάσσιο νερό.
- Σταθερή συγκέντρωση με το βάθος.
- Δεν απομακρύνονται με καθίζηση στερεών.
- Δεν επηρεάζονται από βιογενείς διεργασίες.



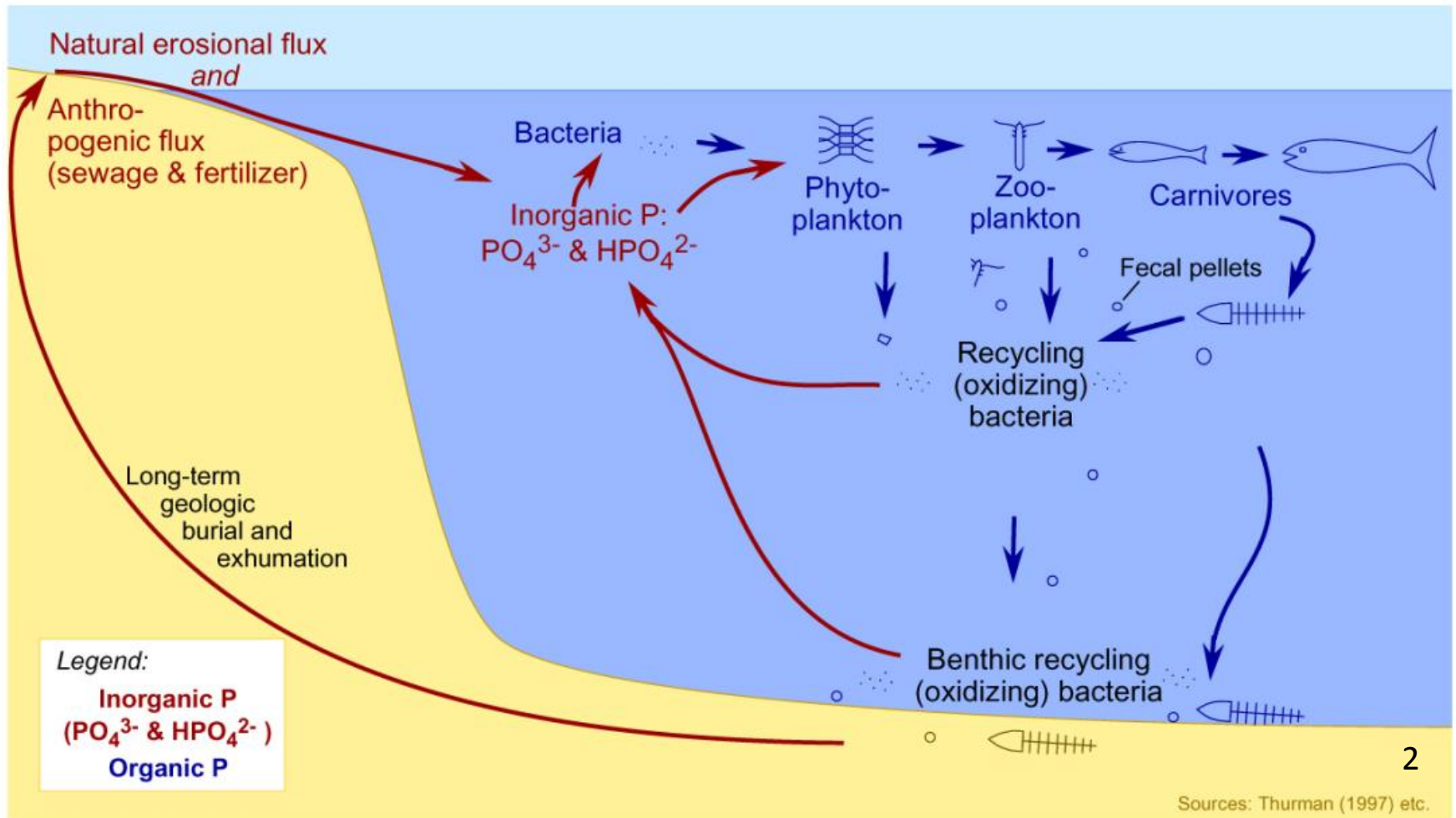
Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (N)

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>



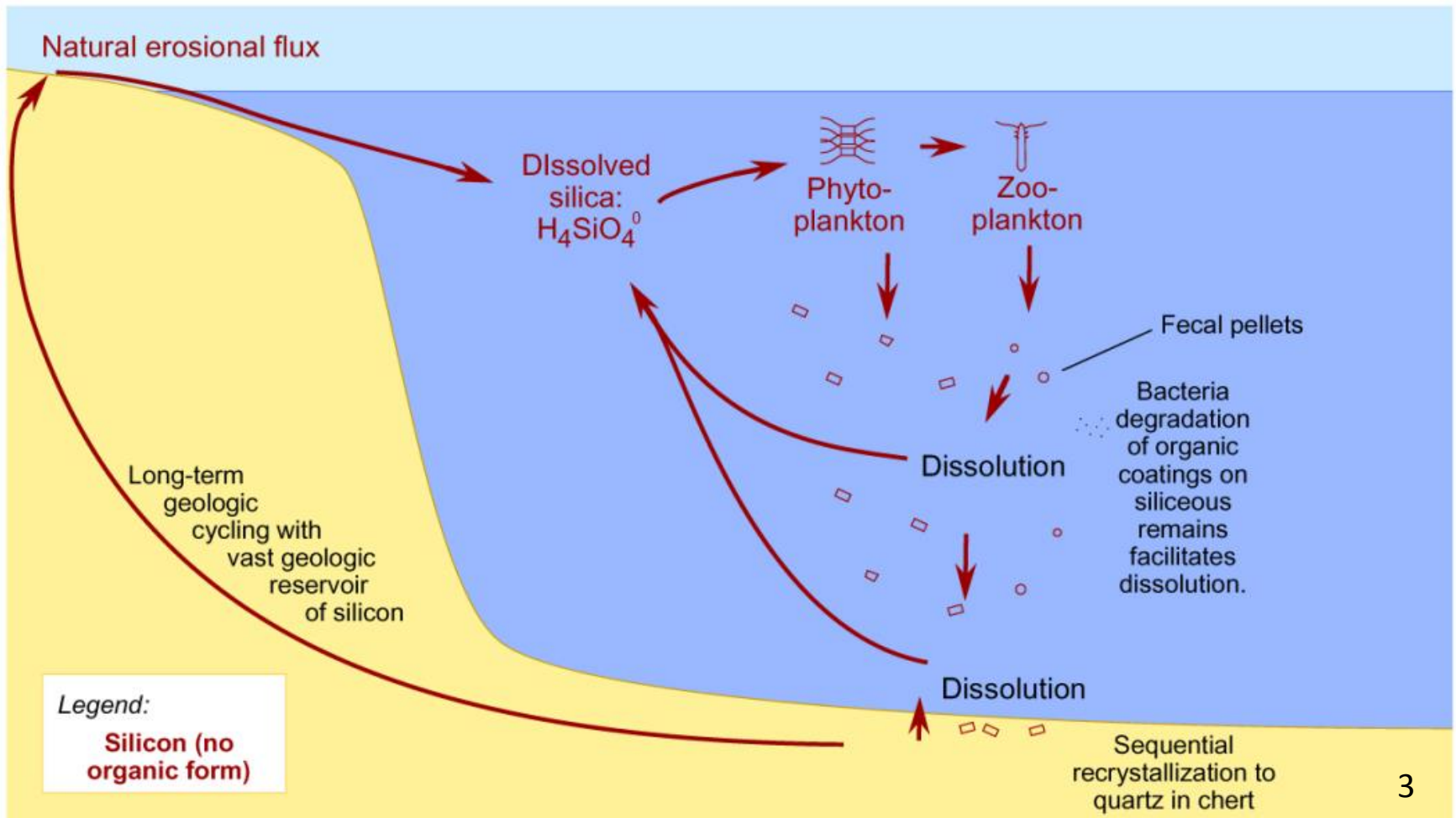
Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (P)

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>



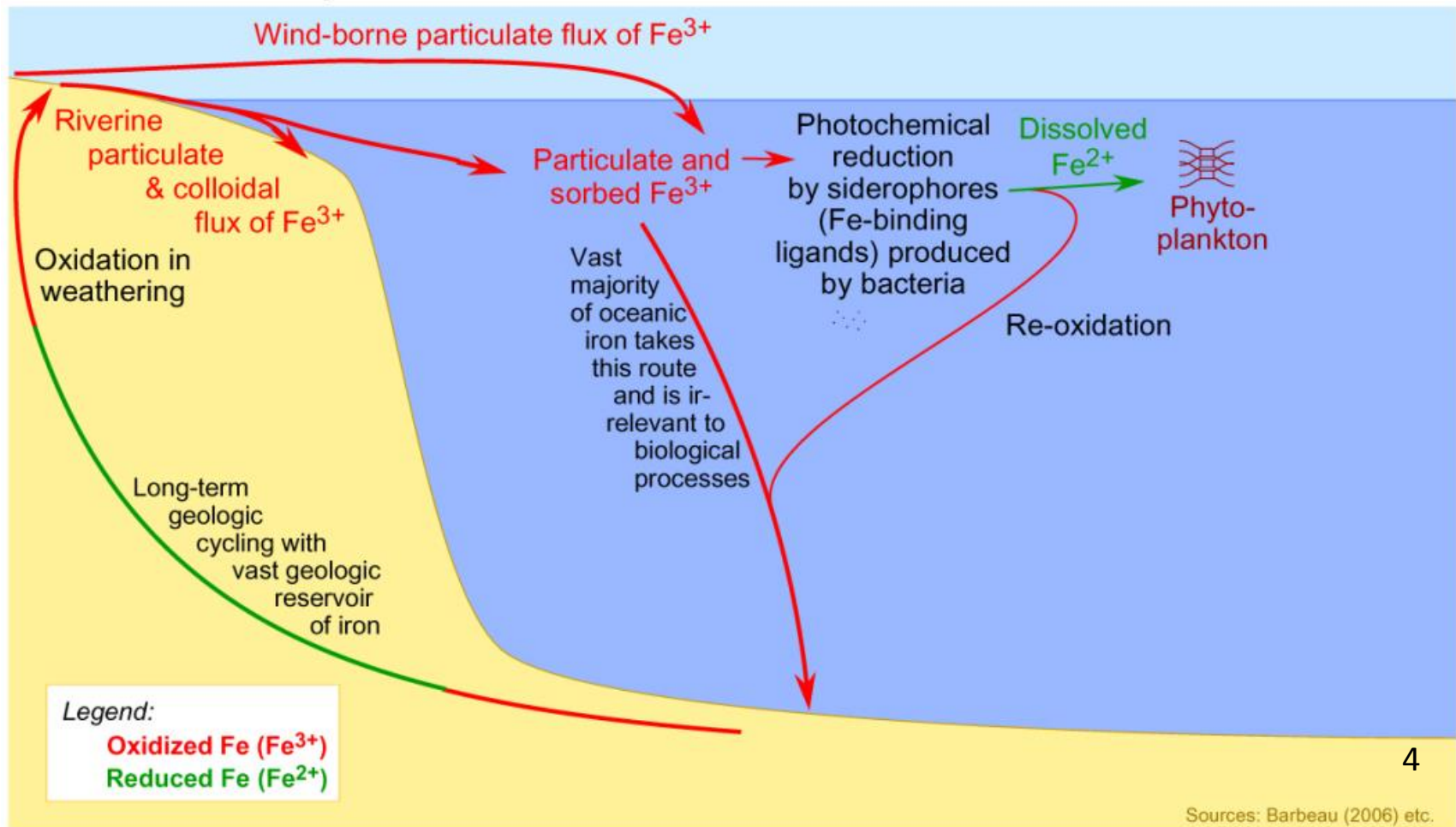
Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (Si)

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>

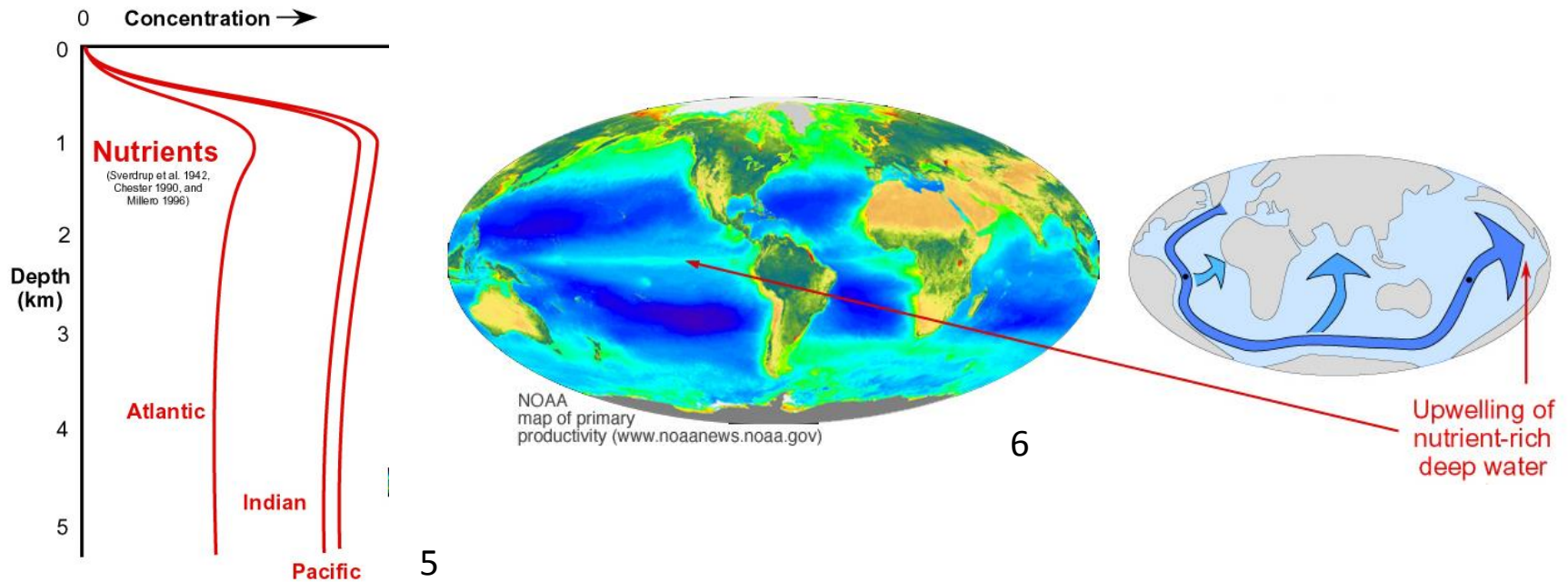


Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (Fe)

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>



Κατανομή θρεπτικών στοιχείων και βιολογική παραγωγικότητα στους ωκεανούς

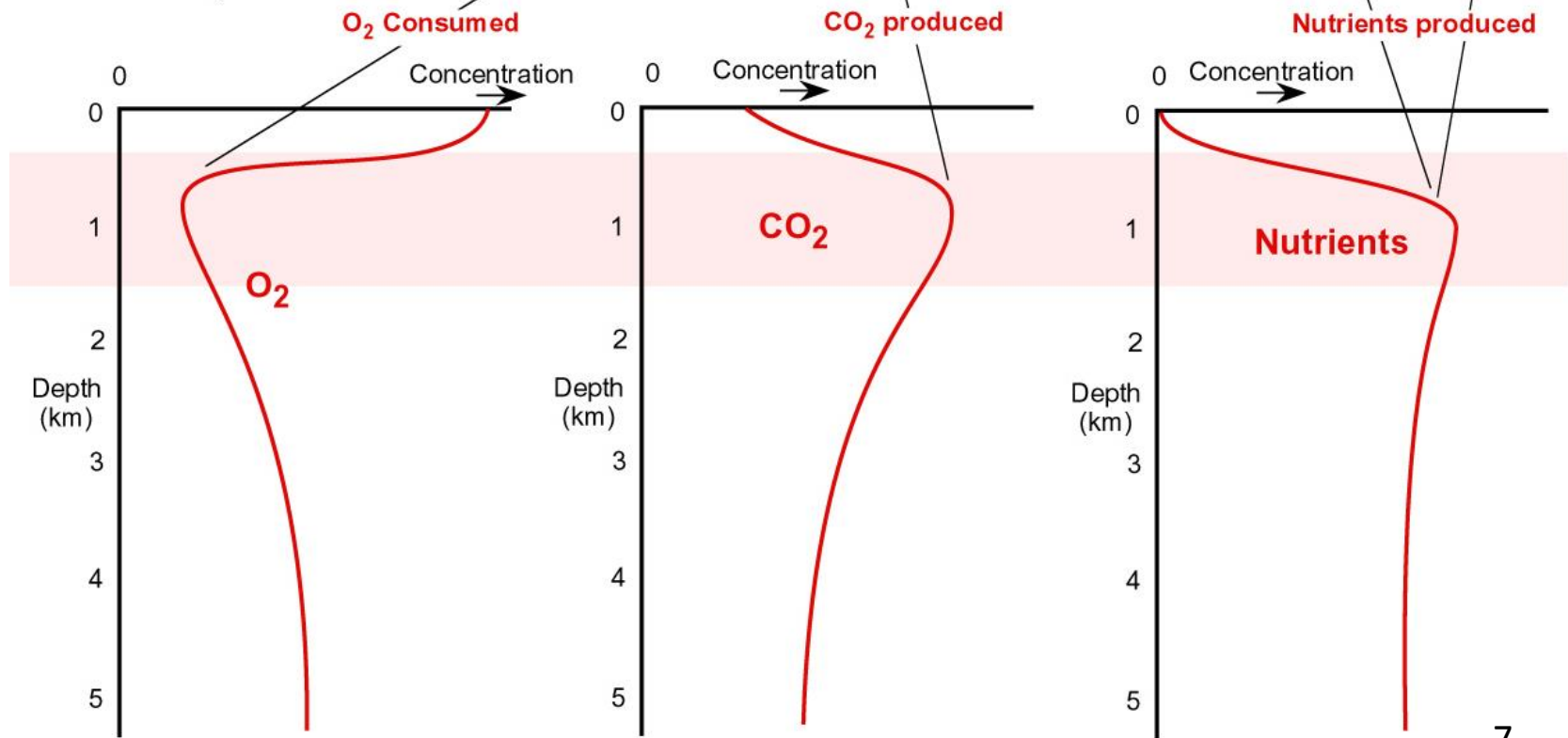
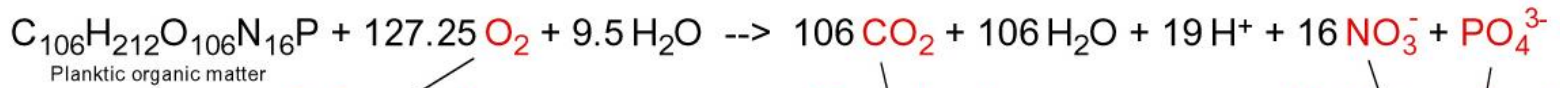


Ελάχιστη συγκέντρωση στο επιφανειακό νερό λόγω κατανάλωσης από φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (πλαγκτόν).

Αύξηση συγκέντρωσης με το βάθος – τροφοδοσία μέσω ανοδικών ωκεάνιων ρευμάτων.

Μαχ παραγωγικότητας στον ανατολικό Ειρηνικό Ωκεανό.

Διεργασία οξείδωσης (αποσύνθεσης) οργανικής ύλης στους ωκεανούς

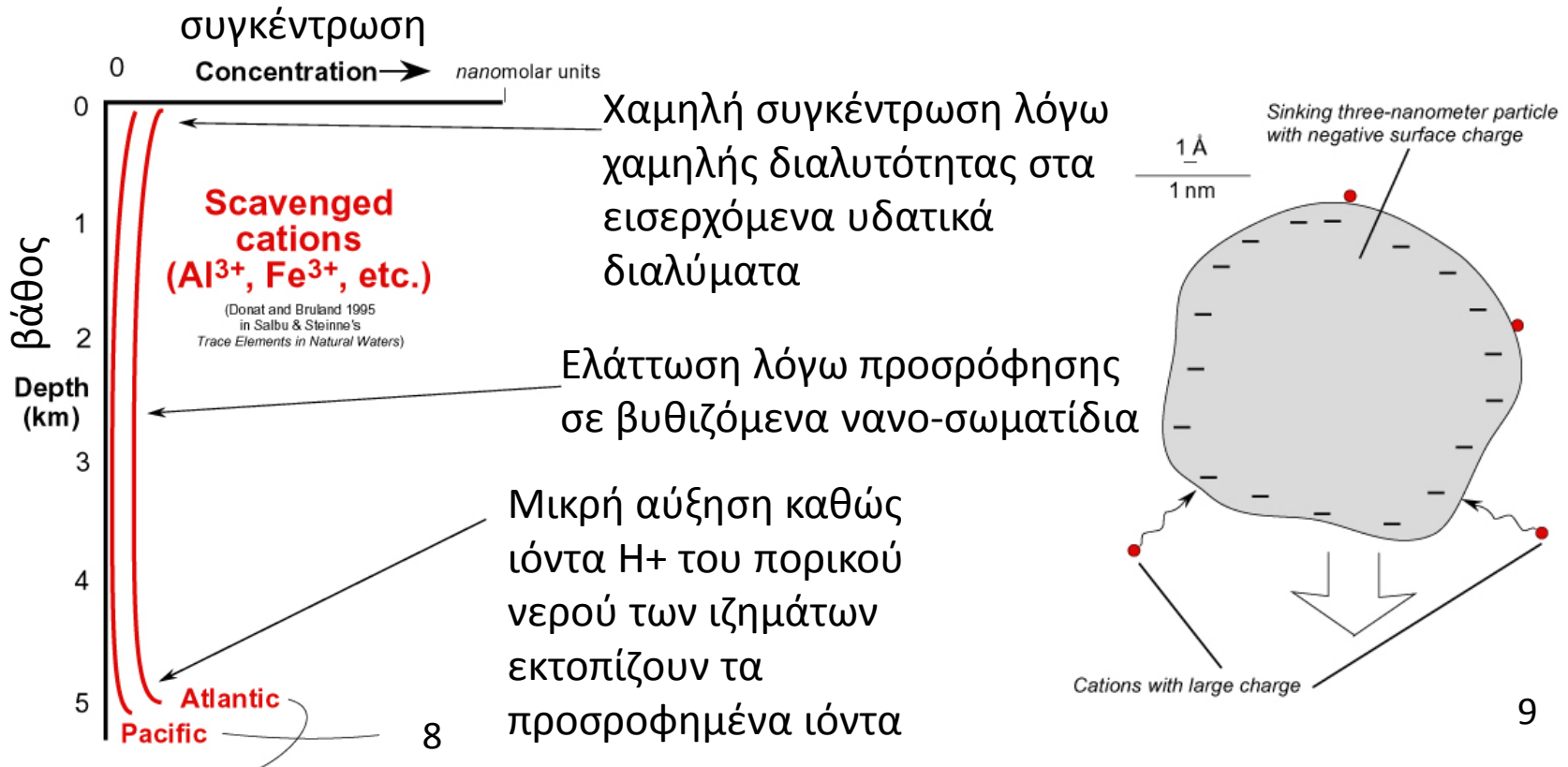


7

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/OceanSolutess18IV.jpg>

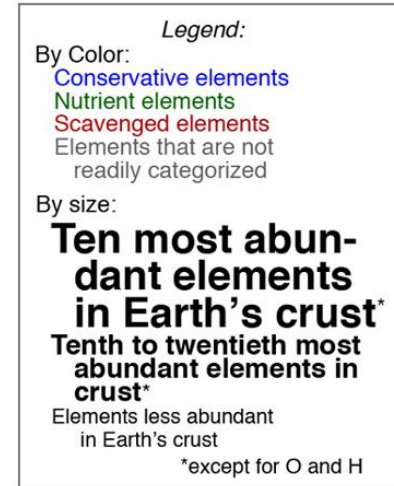
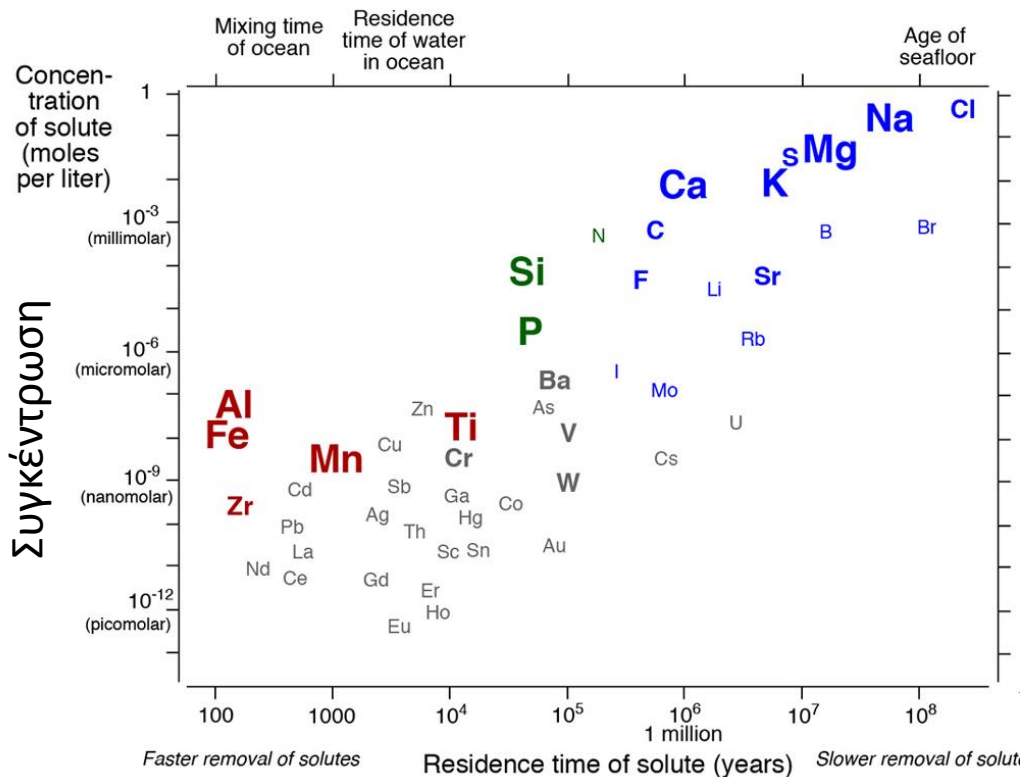


Προσροφημένα στοιχεία (ιόντα υψηλού σθένους)



<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/OceanSolutess18V.jpg>

Ρυθμός απομάκρυνσης ως παράγοντας ελέγχου συγκέντρωσης στοιχείων στο θαλασσινό νερό



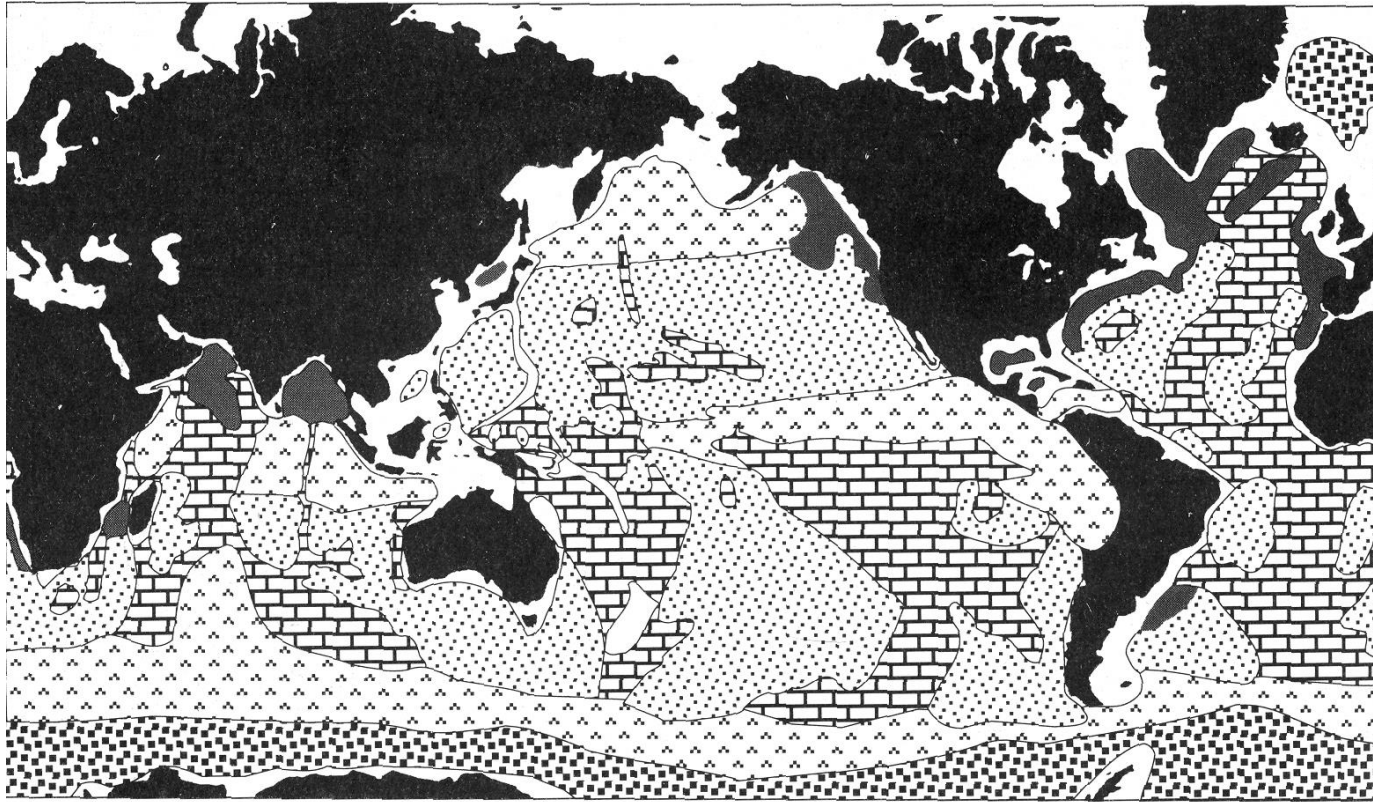
Τα λιγότερο άφθονα στοιχεία είναι αυτά που απομακρύνονται από το νερό εύκολα μέσω προσρόφησης σε αιωρούμενα στερεά και **όχι** τα λιγότερο άφθονα στη λιθόσφαιρα

Χρόνος παραμονής στοιχείων στο θαλ. νερό

10



ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ



ανθρακικά



αργιλικά



παγετώδη



πυριτικά



χερσογενή



Ηπειρωτικού
περιθωρίου

12



ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΟΚΚΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

- Σχηματισμός μέσα σε λεκάνες απόθεσης – κυρίως στη θάλασσα.
- Θαλάσσια ανθρακικά ιζήματα:
 1. Ωκεάνια ανθρακικά βιογενούς πελαγικής προέλευσης – μέσο-ωκεάνια ράχη, πηγές ανάβλυσης.
 2. Ανθρακικά υφάλων υποτροπικής και τροπικής προέλευσης – βιογενούς και τοπικά ανόργανης καθίζησης.
 3. Ανθρακικά υφάλων εύκρατης προέλευσης – εξολοκλήρου βιογενούς προέλευσης.



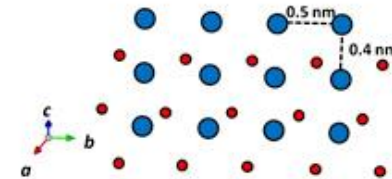
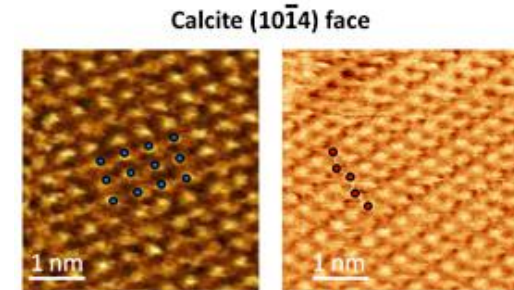
ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΣΕ ΙΖΗΜΑΤΑ

Ρομβικό σύστημα
κρυστάλλωσης

Ορθορομβικό
σύστημα
κρυστάλλωσης

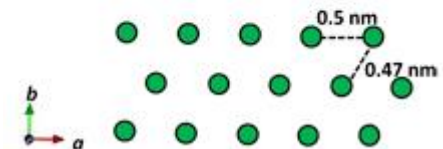
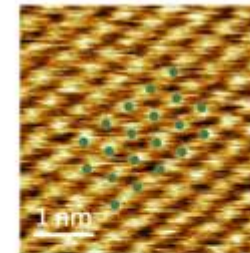
NiCO ₃	Gaspeite*
MgCO ₃	Magnesite
ZnCO ₃	Smithsonite
CoCO ₃	Spherochalcite†
FeCO ₃	Siderite
MnCO ₃	Rhodochrosite
CdCO ₃	Otavite
CaCO ₃	Calcite
SrCO ₃	
EuCO ₃	
PbCO ₃	
BaCO ₃	
<u>RaCO₃</u>	

Aragonite
Strontianite
(synthetic)
Cerussite
Witherite
(synthetic)



13

Aragonite (001) face



14

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGCaCO3Table1.jpg>



ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ



$$\gamma \text{Ca}^{2+} = 0.26$$

$$\gamma \text{CO}_3^{2-} = 0.20$$

$\Omega = 3 \rightarrow$ θαλάσσιο νερό 3 φορές υπέρκορο σε $\text{CaCO}_3 \rightarrow$ καθίζηση

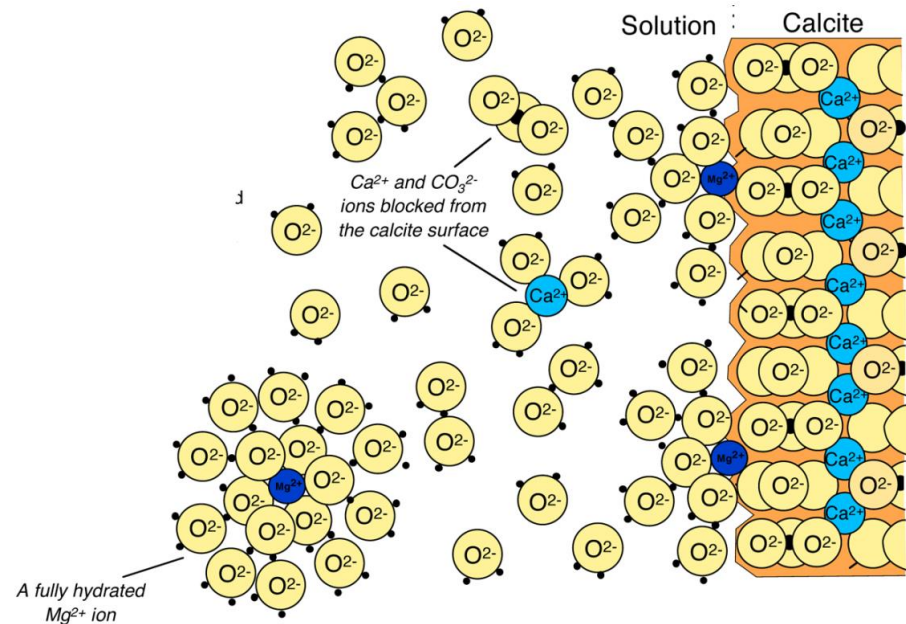
- Χημική καθίζηση μόνο για **αραγονίτη** σε ινώδης κρυστάλλους, σε συγκεκριμένες περιοχές (Μπαχάμες, Περσικός Κόλπος, Νεκρά Θάλασσα).
- Ενδείξεις επίδρασης Mg^{2+} και άλλων ιόντων στην παρεμπόδιση κρυστάλλωσης μη βιογενούς ασβεστίτη.



Παρεμπόδιση καθίζησης μη βιογενούς CaCO_3 στο θαλάσσιο περιβάλλον παρουσία Mg

Το Mg είναι πιο άφθονο στο θαλασσινό νερό και έχει σχετικά υψηλότερο ιοντικό δυναμικό από το Ca οπότε ενυδατώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό (έλκει περισσότερα μόρια νερού στο διάλυμα).

Καθώς το Mg μπορεί να αντικαταστήσει το Ca κατά τη κρυστάλλωση του ασβεστίτη (όχι όμως του αραγονίτη λόγω διαφοράς μεγέθους κυψελίδας) σταματά τη διαδικασία ανάπτυξης των κρυστάλλων ασβεστίτη

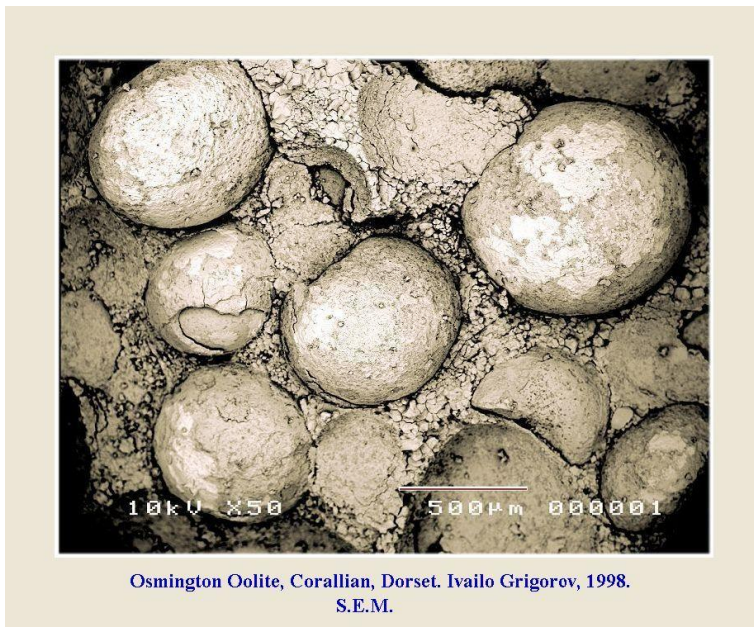


15

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/MgFeAdsorption05.jpg>

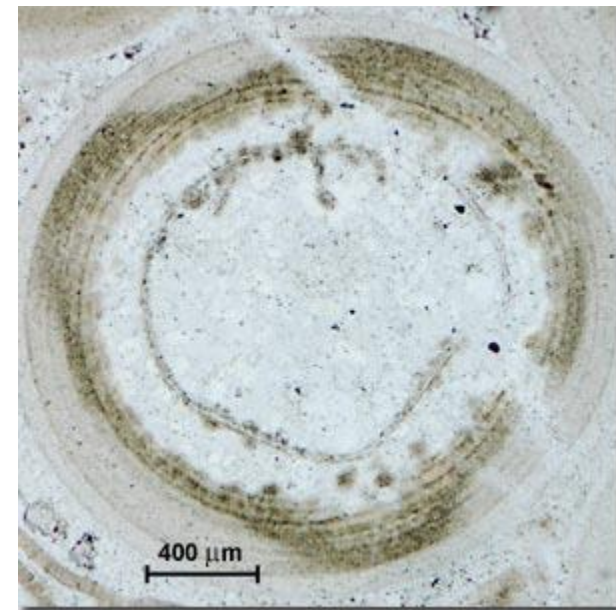
Ωόλιθοι αραγονίτη- χημικά ανθρακικά ιζήματα

ΩΟΛΙΘΟΙ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



16

ΛΕΠΤΗ ΤΟΜΗ ΩΟΛΙΘΟΥ ΣΤΟ ΠΟΛΩΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



17

- **Ωόλιθοι:** Σφαιρικά αραγονιτικά σωματίδια με πυρήνα (βιογενής?) και συγκεντρικό ή ακτινωτό φλοιό. Απαντούν σε περιοχές ισχυρών παλιρροιακών ρευμάτων → περιοδική αιώρηση των κόκκων και ανάπτυξη φλοιών



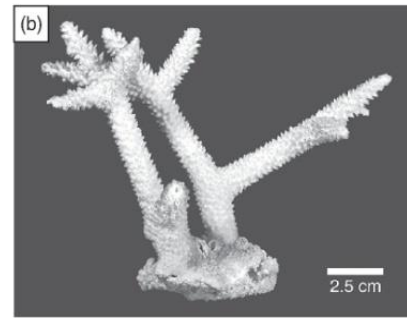
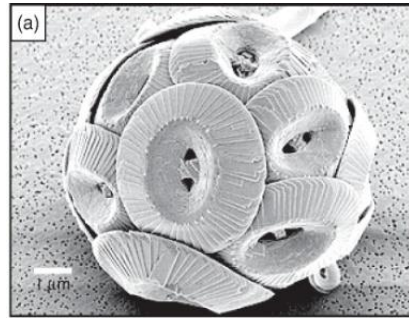
ΒΙΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ CaCO_3

- Κυρίως βιογενής προέλευση CaCO_3 των θαλασσίων ιζημάτων.
- Κατανάλωση Ca^{2+} , CO_3^{2-} από φυτοπλαγκτόν (κοκκολιθοφόρα) και ζωοπλαγκτόν (τρηματοφόρα) για σύνθεση σκελετού σε θερμές, αβαθείς λεκάνες (ανθρακικές πλατφόρμες π.χ.Μπαχάμες).
- Καθίζηση σκελετών μετά το θάνατο → Στρώματα CaCO_3 στον θαλάσσιο πυθμένα σε βάθη 1 - 4 km.
- Ελάττωση πάχους ιζημάτων CaCO_3 σε βάθη >4km → Αύξηση ρυθμού διάλυσης με το βάθος (lysocline).
- Όριο υπερκορεσμού θαλάσσιου νερού: CCD (calcite compensation depth) 4.5 - 6 km βάθος.
- Παράγοντες υποκορεσμού:
 - ελάττωση θερμοκρασίας
 - αύξηση πίεσης
 - αύξηση συγκέντρωσης CO_2 λόγω αποσύνθεσης οργανικής ύλης



ΒΙΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΑΣΒΕΣΤΙΤΗ

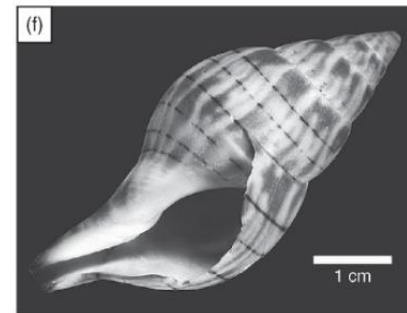
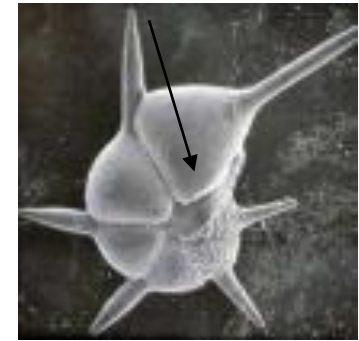
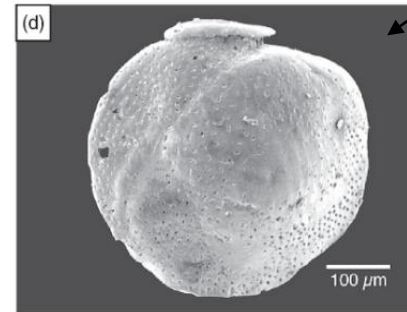
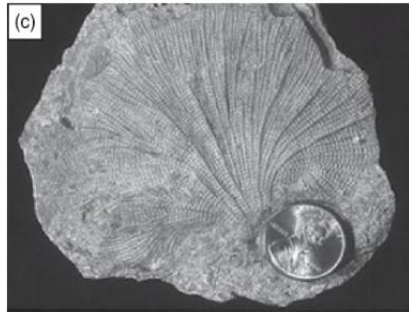
Κοκκολιθοφόρα
(φυτοπλαγκτόν)



κοράλλια

Τρηματοφόρα
(ζωοπλαγκτόν)

Βρυόζωα



Γαστερόποδα

18

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



Πώς ρυθμίζεται το pH του θαλασσινού νερού (SOS)

- $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$
- Ρύθμιση του θαλάσσιου pH από: CO_2 της ατμόσφαιρας, H_2CO_3 , CaCO_3 τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους και ρυθμίζουν το pH.



Προσφορά H^+ και ελάττωση pH:



Κατανάλωση H^+ και αύξηση pH:



- Τελικό pH θαλάσσιου νερού 8.1 – 8.3
- Κυρίαρχο ιόν – φορέας C $\rightarrow \text{HCO}_3^-$



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, Αριάδνη Αργυράκη 2015. Αριάδνη Αργυράκη. «Γεωχημεία. Γεωχημικές διεργασίες στην επιφάνεια 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 (1/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (N). Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>.

Πηγή: www.gly.uga.edu

Εικόνα 2: Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (P). Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>.

Πηγή: www.gly.uga.edu

Εικόνα 3: Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (Si). Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>.

Πηγή: www.gly.uga.edu



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/5)

Εικόνα 4: Βιογεωχημικοί κύκλοι Θρεπτικών στοιχείων (Fe). Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGNutrientCycles06-IV.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu

Εικόνα 5: Κατανομή θρεπτικών στοιχείων στους ωκεανούς. Copyrighted. Πηγή: Sverdrup et al. 1942, Chester 1990 and Millero 1996.

Εικόνα 6: Variation in concentration of solutes in the oceans Ia: Nutrients and biological productivity. Copyright L. Bruce Railsback, Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia 30602-2501 U.S.A.. Σύνδεσμος: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/OceanSolutess18Ia.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu

Εικόνα 7: Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/OceanSolutess18IV.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/5)

Εικόνα 8: Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/OceanSolutest18V.jpg>. Πηγή:
www.gly.uga.edu

Εικόνα 9: Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/OceanSolutest18V.jpg>. Πηγή:
www.gly.uga.edu

Εικόνα 10: Concentrations and residence times of solutes in seawater. Copyright L. Bruce Railsback, Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia 30602-2501 U.S.A. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGSWConcnandResidenceTime1.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/5)

Εικόνα 11: Concentrations and residence times of solutes in seawater. Copyright L. Bruce Railsback, Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia 30602-2501 U.S.A. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGSWConcnandResidenceTime2.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu

Εικόνα 12: Χάρτης θαλάσσιων ιζημάτων. Copyrighted.

Εικόνα 13: Calcite. Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGCaCO3Table1.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu

Εικόνα 14: Aragonite. Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/SFMGCaCO3Table1.jpg>. Πηγή: www.gly.uga.edu



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/5)

Εικόνα 15: Copyrighted. Σύνδεσμος:

<http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/MgFeAdsorption05.jpg>. Πηγή:
www.gly.uga.edu

Εικόνα 16: Ωόλιθοι. Copyright University of Southampton. Σύνδεσμος:

<http://www.southampton.ac.uk/~imw/jpg/grigor1.jpg>. Πηγή:
www.southampton.ac.uk

Εικόνα 17: Λεπτή τομή ωόλιθου στο πολωτικό μικροσκόπιο. Copyright
MicroscopyU. Σύνδεσμος:

<http://www.microscopyu.com/articles/polarized/oolite.html>. Πηγή:
<http://www.microscopyu.com/articles/polarized/oolite.html>

Εικόνα 18: Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή: Introduction to Geochemistry:
Principles and Applications, First Edition, Kula C. Misra.

