



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Περιβαλλοντική Γεωχημεία

Ενότητα 1: Βασικές αρχές και γνώσεις υποβάθρου

Αριάδνη Αργυράκη

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Βασικές αρχές και γνώσεις υποβάθρου

Κύκλος του Άνθρακα & αποθήκευση CO₂

Περιεχόμενα ενότητας

1. Βραχυπρόθεσμος & μακροπρόθεσμος κύκλος του C.
2. Μορφές C στη γεώσφαιρα.
3. CO₂ και κλιματική αλλαγή.
4. Αποθήκευση CO₂ σε γήινους ταμιευτήρες.



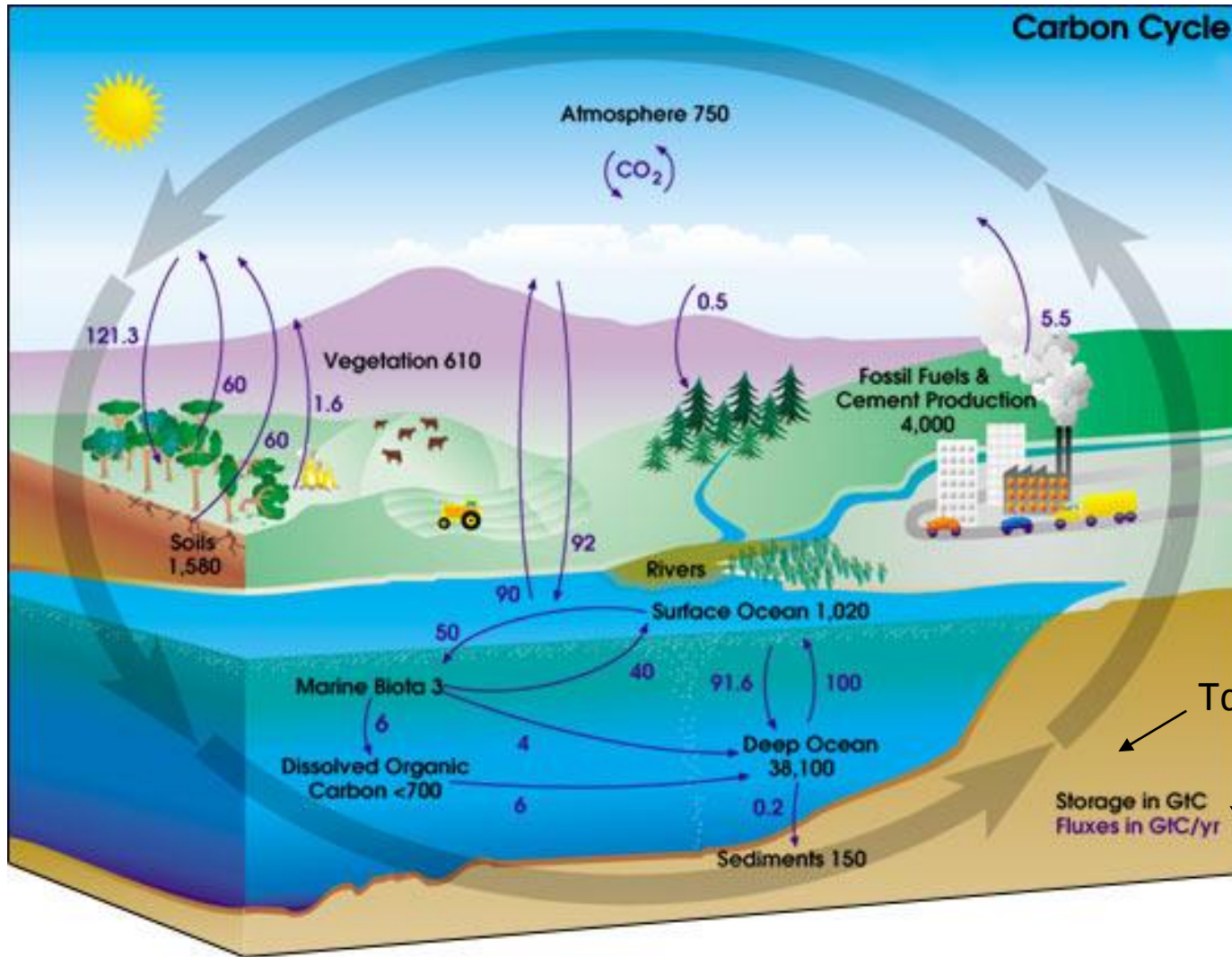
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ CO₂ ΣΕ ΠΛΑΝΗΤΙΚΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΕΣ

ΠΛΑΝΗΤΗΣ	Αφροδίτη	Γη	Άρης
P _{CO₂} (bar)	86,9	3,5 10 ⁻⁴	9,5 10 ⁻³
T (°C)	454	20	-63

Ρύθμιση θερμοκρασίας – Κύκλος του άνθρακα



Ο κύκλος του άνθρακα



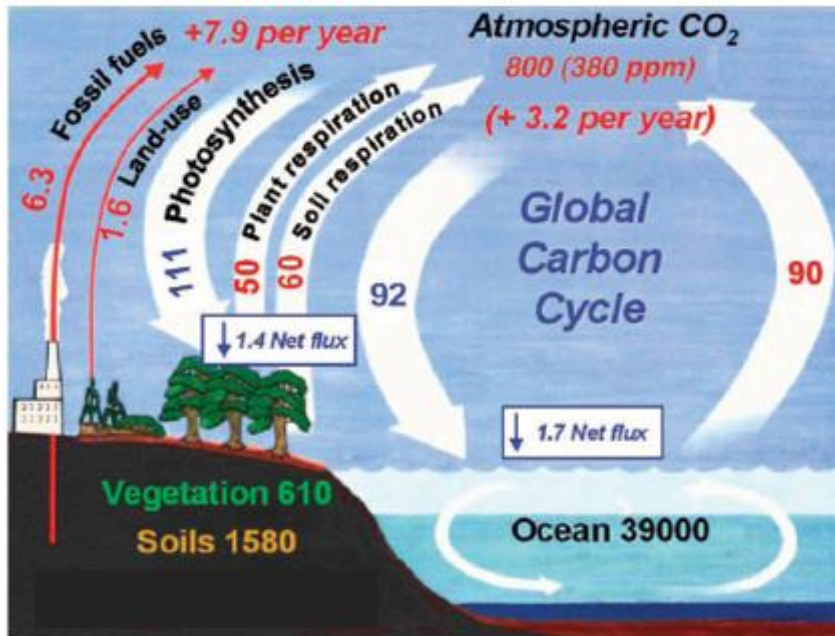
Ταμειυτήρας

Ροή

1



Ανταλλαγή CO₂ μεταξύ ατμόσφαιρας- υδρόσφαιρας- επιφανειακής λιθόσφαιρας

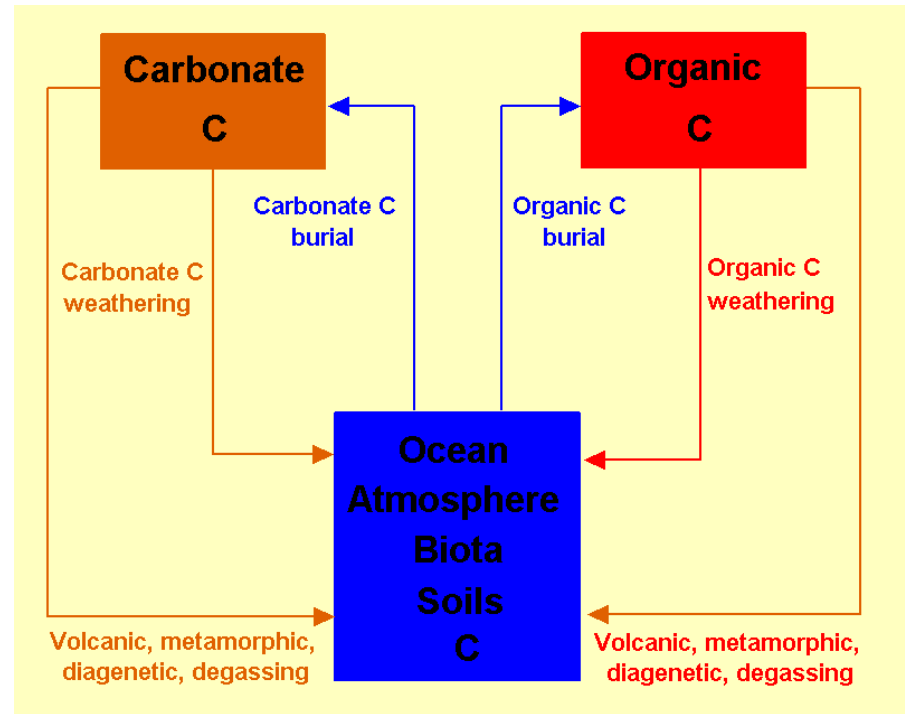
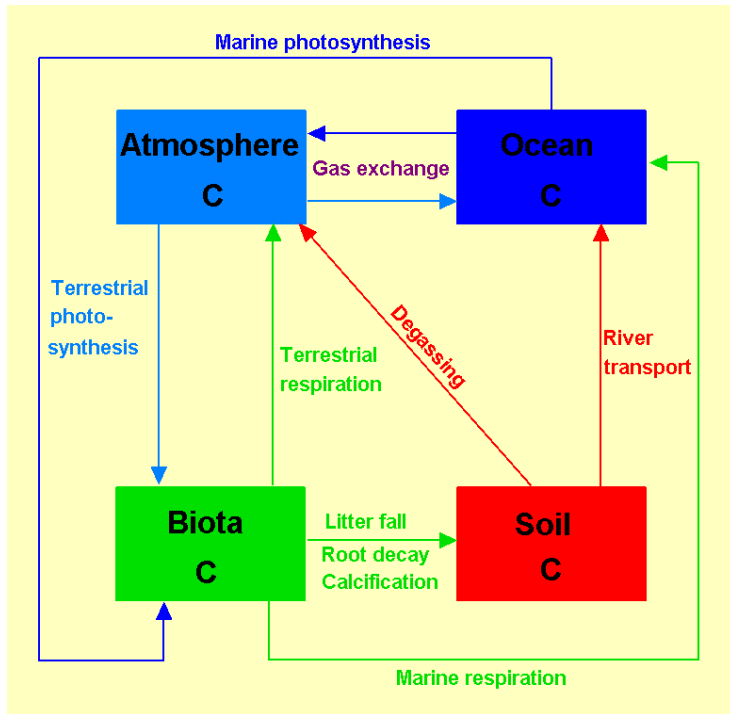


2 *Elements*, 4, 305-310 (2008)

- Περίπου το ½ του ανθρωπογενούς CO₂ διοχετεύεται στους ωκεανούς και τα εδάφη
- Βάση για τους υποστηρικτές της αποθήκευσης περίσσειας CO₂ σε γήινους ταμιευτήρες



Βραχυπρόθεσμος & μακροπρόθεσμος κύκλος του C

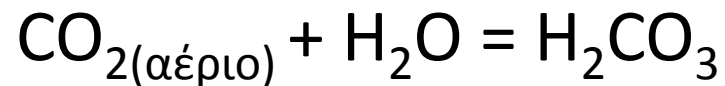


Βραχυπρόθεσμος → βιολογικές & ταχείες φυσικοχημικές διεργασίες
Εύκολα διαταράσσεται από ανθρώπινη δραστηριότητα

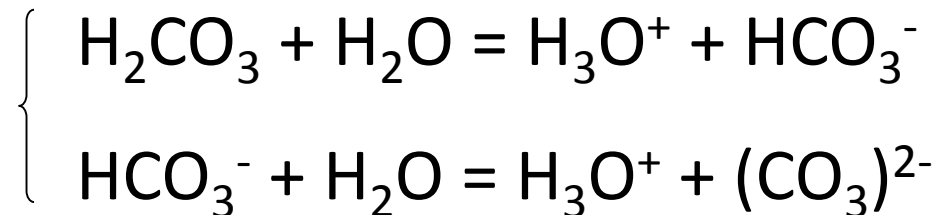
Μακροπρόθεσμος → γεωλογικές διεργασίες σε κλίμακα Ma

ΔΙΑΛΥΣΗ CO₂ – ΚΑΘΙΖΗΣΗ CaCO₃

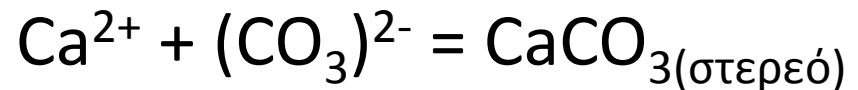
Ατμόσφαιρα



Υδρόσφαιρα

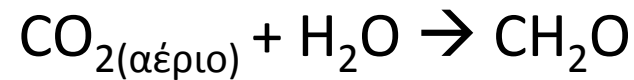


Λιθόσφαιρα

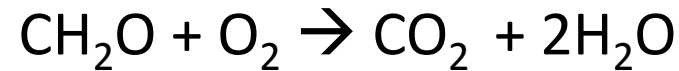


CO₂ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΙΟΣΦΑΙΡΑΣ

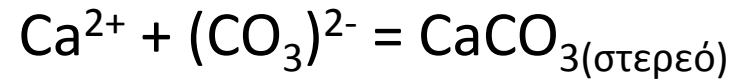
Φωτοσύνθεση



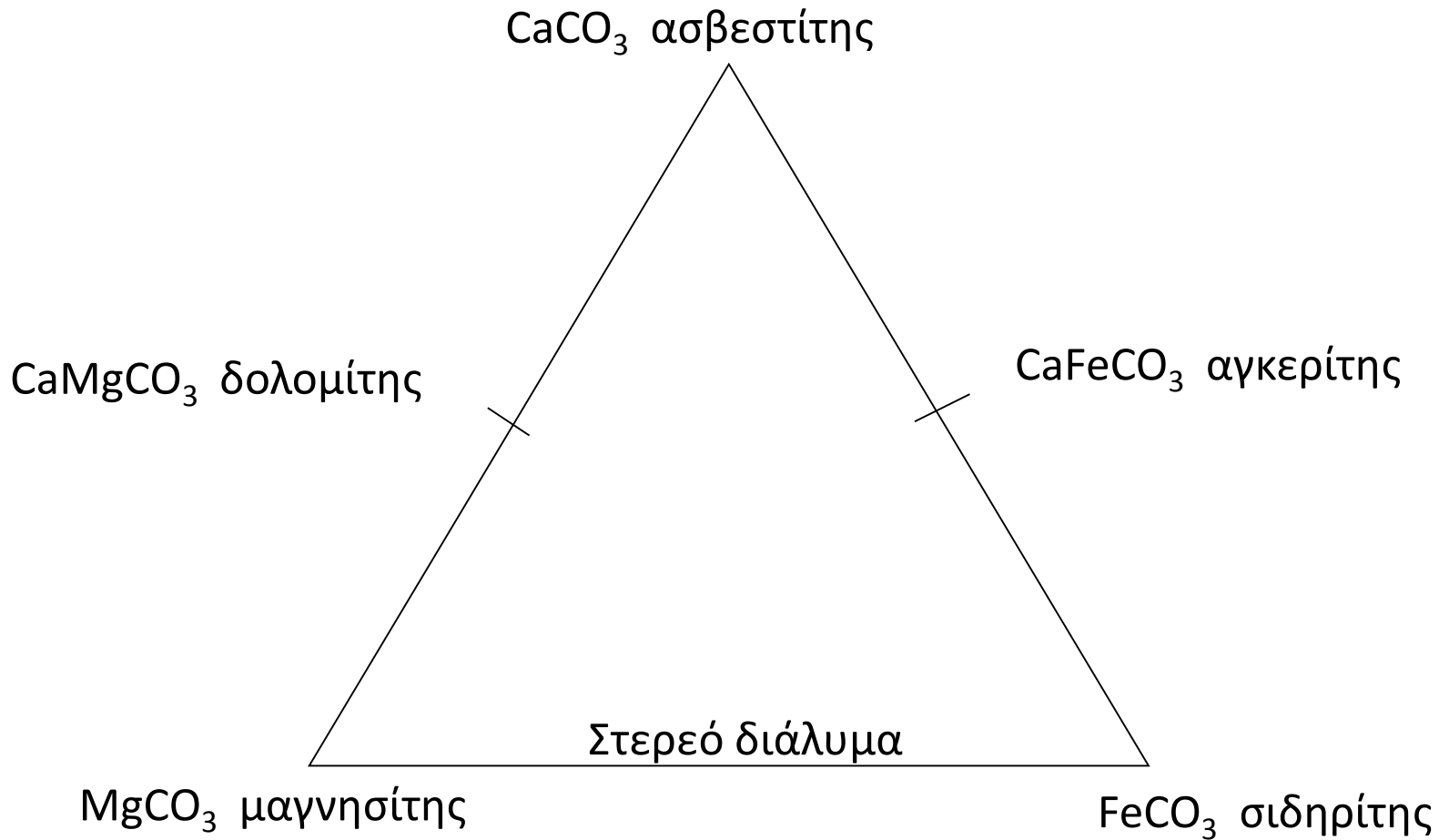
Διαπνοή



Βιο-ορυκτογένεση

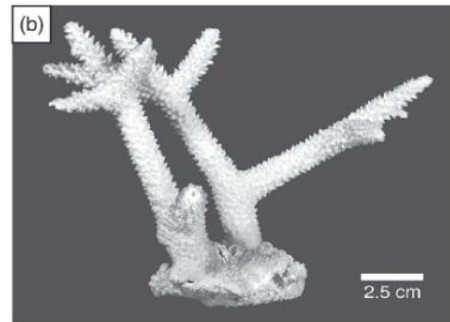
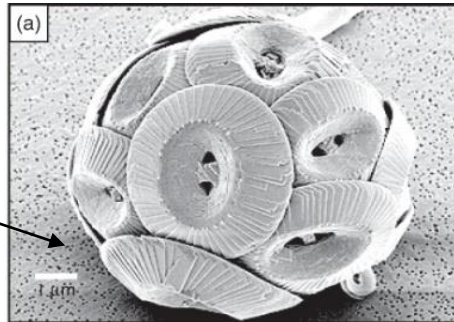


ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ



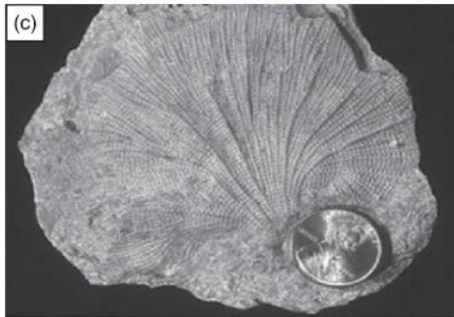
ΒΙΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΑΣΒΕΣΤΙΤΗ

Κοκκολιθοφόρα
(φυτοπλαγκτόν)

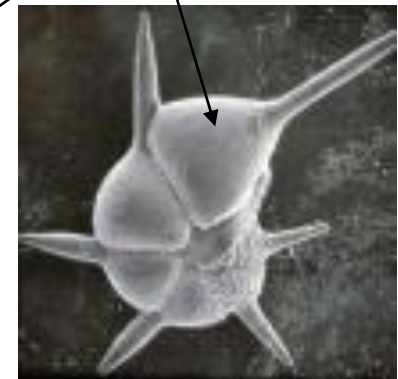
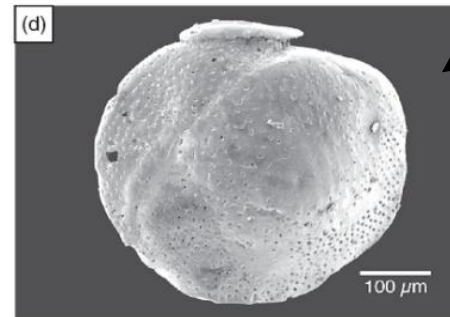


κοράλλια

Τρηματοφόρα
(ζωοπλαγκτόν)



βρυόζωα

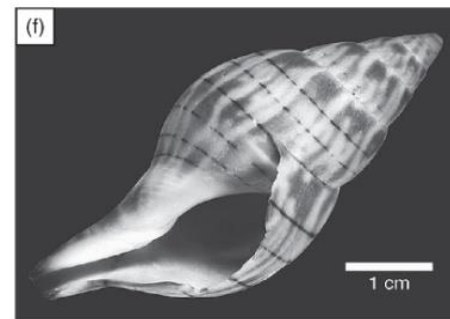


4

Γαστερόποδα



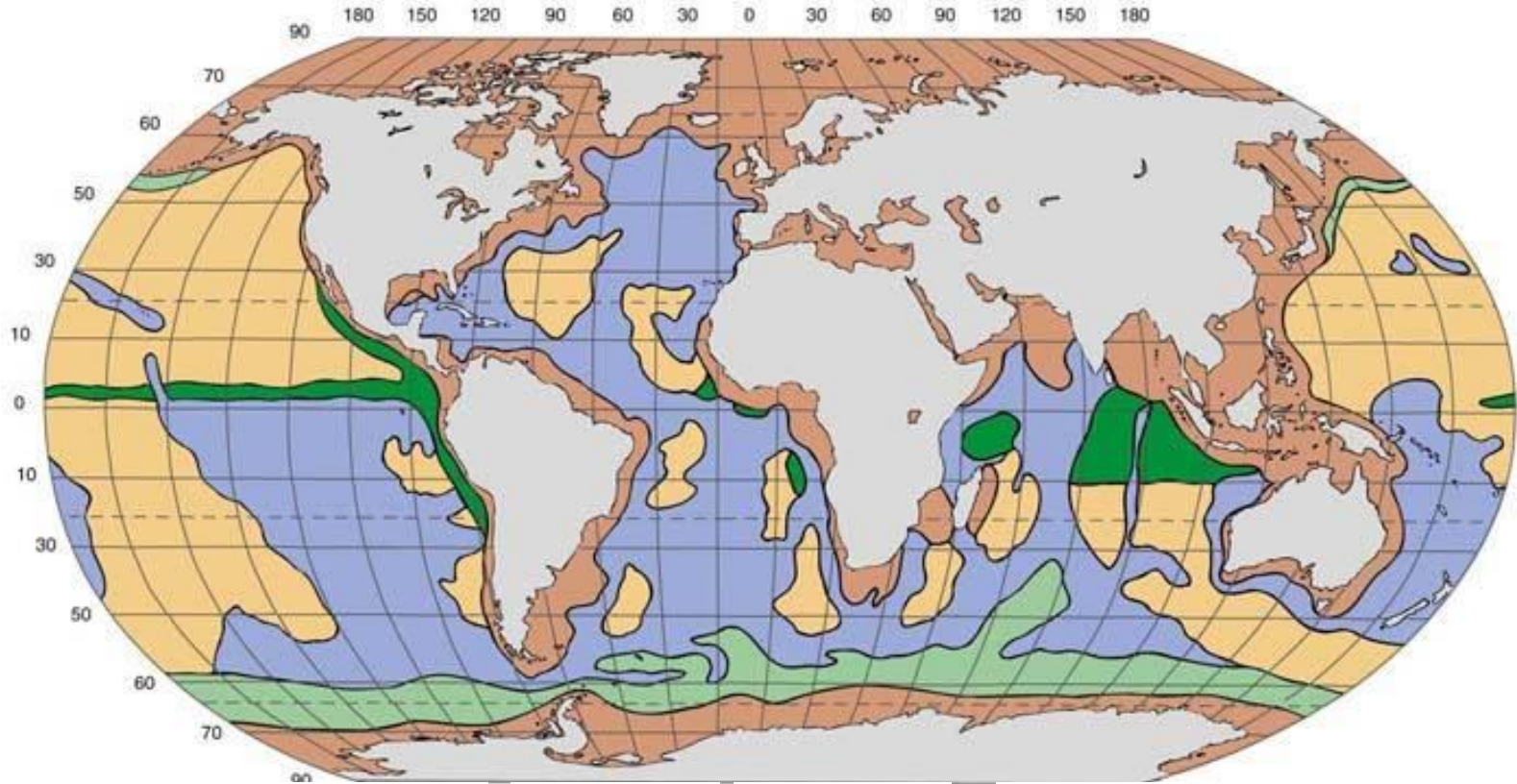
3



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



ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ



χερσογενή

αργιλικά

ανθρακικά

πυριτικά

5

neritic
Continental
(Lithogenous)



Abyssal
clay



Calcareous
ooze



Siliceous ooze
Diatom Radiolarian



Copyright © 2004 Pearson Prentice Hall, Inc.

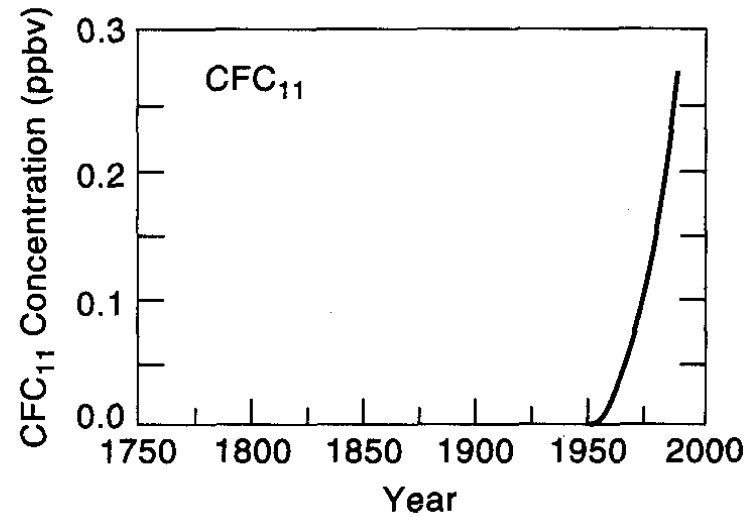
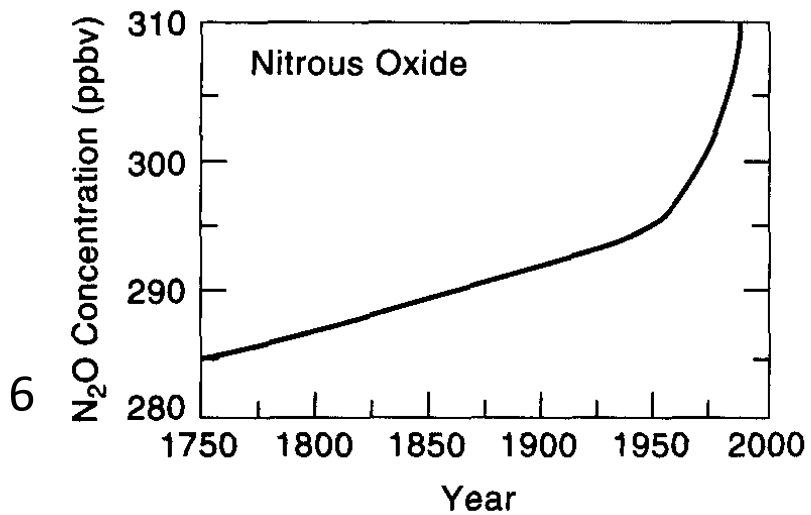
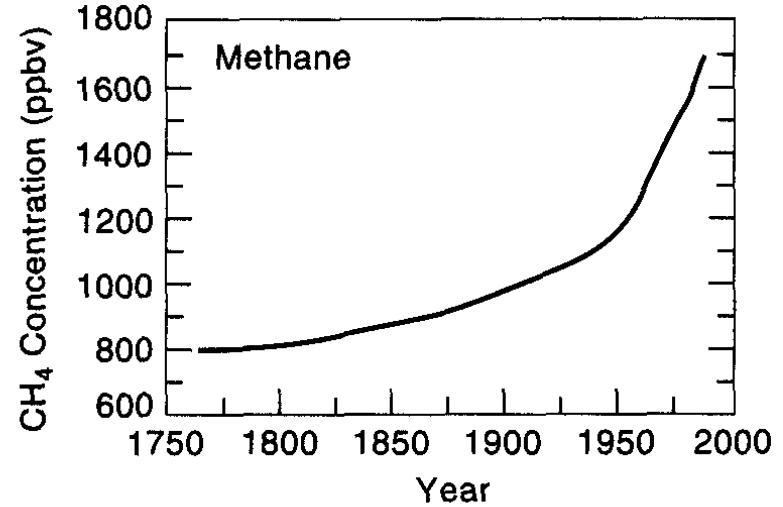
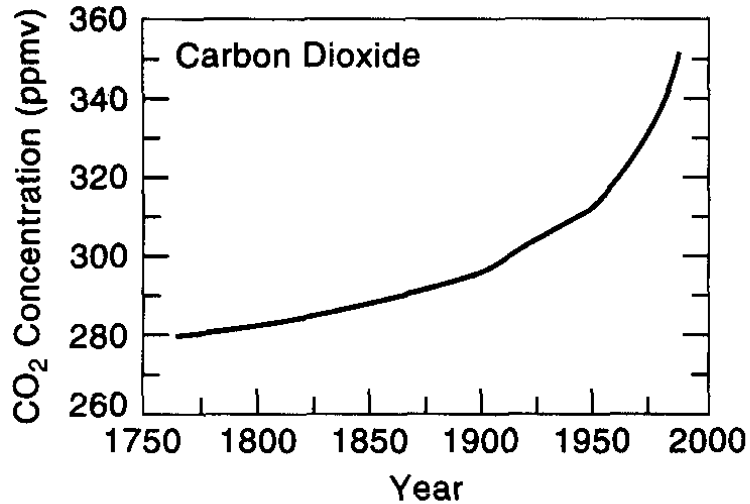


CO₂ και κλιματική αλλαγή

- Κλιματικά μοντέλα αποδίδουν την αύξηση θερμ/σίας στην ανθρωπογενή αύξηση ατμοσφαιρικού CO₂
- Αντιρρήσεις:
 - Τήξη πάγων → νέα παγετώδης περίοδος λόγω ελάττωσης θαλάσσιας αλατότητας και διαταραχή θερμών θαλασσίων ρευμάτων
 - Επίδραση αστρονομικών παραγόντων στο κλίμα π.χ. μεταβολές στην τροχιά της γης

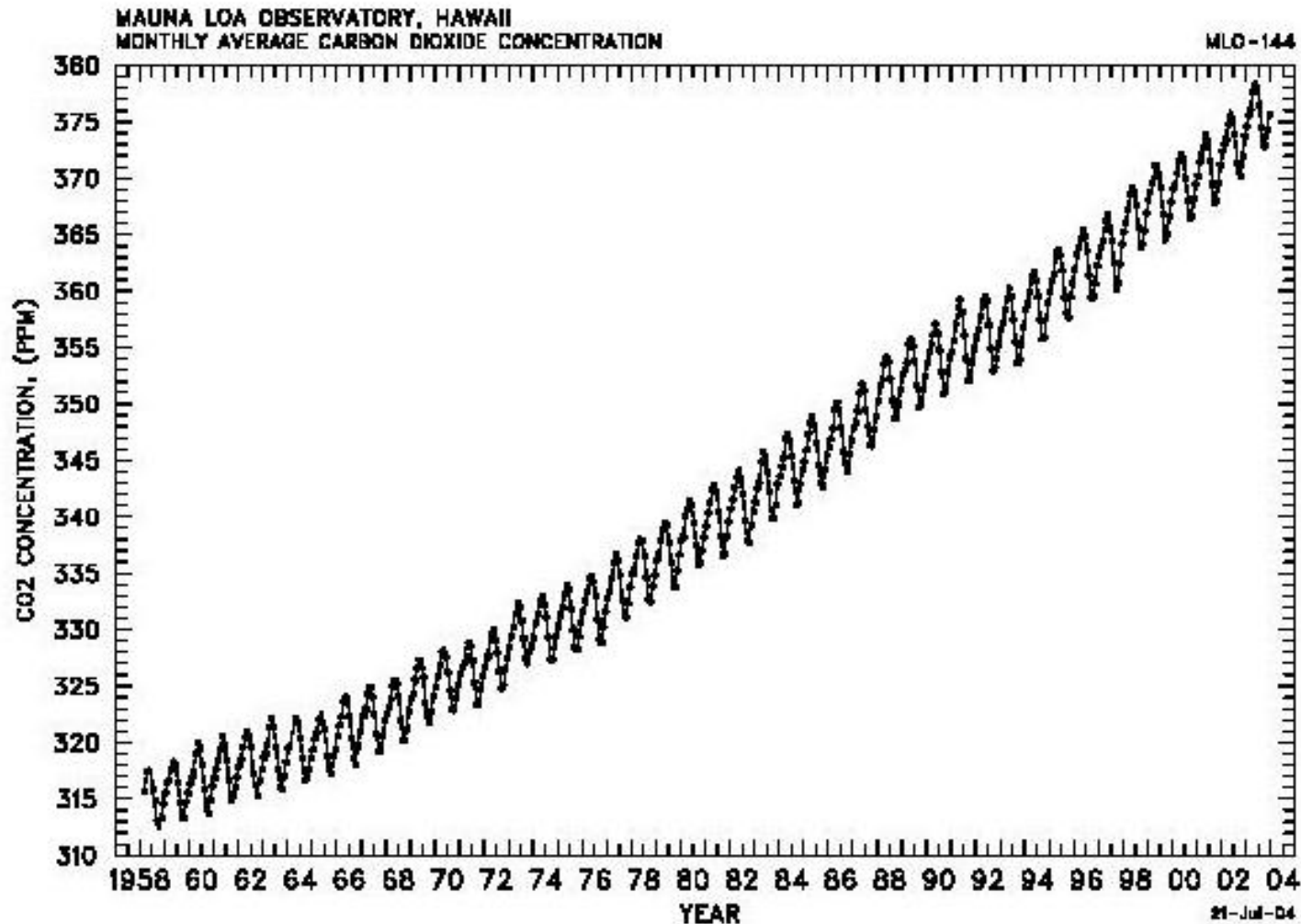


Αύξηση αερίων θερμοκηπίου από το 1750



6

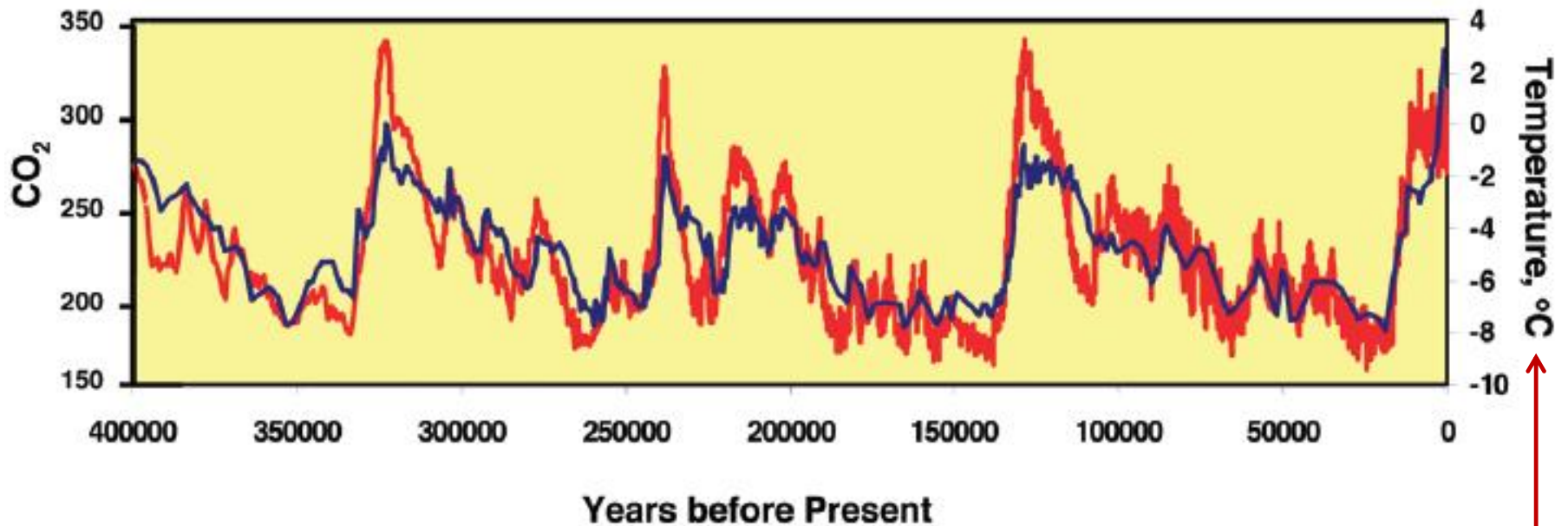
Εξέλιξη ατμοσφαιρικού CO₂ τα τελευταία 50 χρόνια



7

Εξέλιξη ατμοσφαιρικού CO₂ και γήινης θερμοκρασίας σε γεωλογική κλίμακα χρόνου

Δεδομένα από χρονολογημένους πυρήνες πάγου της Ανταρκτικής



8

Elements, 4, 305-310 (2008)

Από μετρήσεις σταθερών ισοτόπων



Εκπομπές CO₂

9

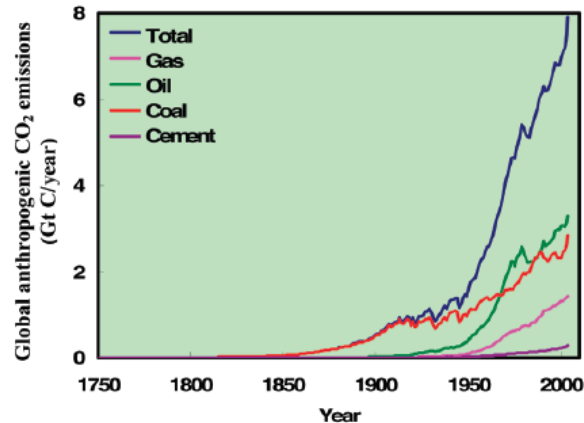


TABLE 1

TOP 10 CO₂-EMITTING COUNTRIES IN 2004
ON A PER CAPITA BASIS (MARLAND ET AL. 2007)

Rank	Country	Per capita carbon emissions (ton C/year)
1	Qatar	21.63
2	Kuwait	10.13
3	United Arab Emirates	9.32
4	Aruba	8.25
5	Luxembourg	6.81
6	Trinidad and Tobago	6.80
7	Brunei	6.56
8	Bahrain	6.53
9	United States	5.61
10	Canada	5.46

Π1

Elements, 4, 305-310 (2008)

10

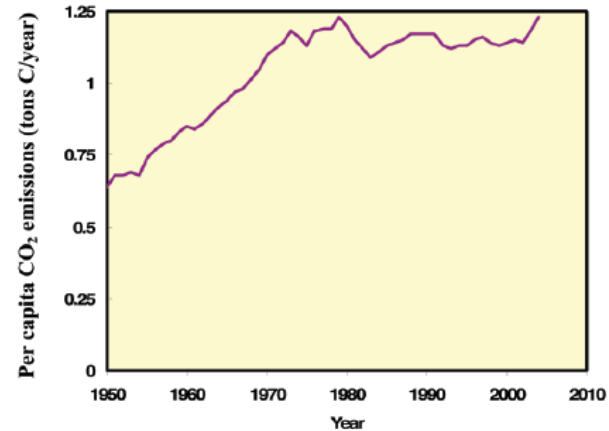


TABLE 2

TOP 20 CO₂-EMITTING COUNTRIES IN 2004
(MARLAND ET AL. 2007)

Rank	Country	CO ₂ emissions (gigatons C/year)
1	United States	1.65
2	China	1.37
3	Russian Federation	0.46
4	India	0.37
5	Japan	0.34
6	Germany	0.22
7	Canada	0.17
8	United Kingdom	0.16
9	South Korea	0.13
10	Italy	0.12
11	Mexico	0.12
12	South Africa	0.12
13	Iran	0.12
14	Indonesia	0.10
15	France	0.10
16	Brazil	0.09
17	Spain	0.09
18	Ukraine	0.09
19	Australia	0.09
20	Saudi Arabia	0.08

Π2

Πόσο CO₂ παράγει ο μέσος πολίτης “δυτικού” τρόπου ζωής; Elements, 4, 305-310 (2008)

- Γεμίζει το αυτοκίνητό του 2 φορές το μήνα → 2 x 50 L βενζίνη.
- Πυκνότητα βενζίνης → 730 g/ L → άρα 36.5 kg βενζίνη.
- Καύση βενζίνης: $\text{CH}_2 + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.
- Με υπολογισμούς με βάση τα μοριακά βάρη παράγονται 2.7 tn CO₂/ year.
- Υποθετική δέσμευση του παραγόμενου CO₂ προς δημιουργία ασβεστίτη: $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+$
- Παράγονται 6.2 tn ασβεστίτη όγκου 2.3 m³



Η λύση με τα βιοκαύσιμα

Ωραία ιδέα αλλά
θυμίζει λίγο το
ανέκδοτο της
εικόνας...



11



Προσπάθειες αποθήκευσης CO₂

- Σύλληψη- μεταφορά – αποθήκευση
- Ποικιλία πηγών → δυσκολία συγκέντρωσης
- 60% σταθερές πηγές – 40% κινούμενες
- Συνήθως απαιτείται διαχωρισμός από άλλους αέριους ρύπους
- Υποψήφιοι ταμιευτήρες:
 - Γεωλογικοί σχηματισμοί
 - Ωκεάνιοι
 - Παραγωγή ανθρακικών ορυκτών
 - Αύξηση βιομάζας στα εδάφη και τα δάση



Αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς

- Διοχέτευση CO₂ σε πορώδη πετρώματα
 - Ιζηματογενείς λεκάνες
 - Εξοφλημένοι πετρελαϊκοί ταμιευτήρες
 - Στρώματα γαιανθράκων μη οικονομικής σημασίας
- Απαιτείται αδιαπέρατο κάλυμμα για παρεμπόδιση διαφυγής
- >1 εκ. tn/ year διοχετεύονται σε πετρώματα
- < 0.01% της παγκόσμιας ανθρωπογενούς παραγωγής.



Διοχέτευση στον ωκεανό

- Σε βάθη > 1000 m \rightarrow διάλυση και ενσωμάτωση στον κύκλο του άνθρακα
- Δεν έχουν γίνει ακόμη δοκιμές



Σύνθεση ανθρακικών ορυκτών

- Δημιουργία σταθερών ανθρακικών ορυκτών
(ασβεστίτης, μαγνησίτης)
- Μίμηση φυσικής διεργασίας χημ. Αποσάθρωσης
- Αντίδραση CO_2 με πυριτικά ορυκτά
- Χρήση προϊόντων ως δομικά υλικά, εδαφοβελτιωτικά.



Δέσμευση από βιομάζα και έδαφος

- Βιομάζα → πηγή και ταμιευτήρας CO₂
- Διαχείριση δασών προς αύξηση της βιομάζας και τελική απόθεσή της στο έδαφος (λίπασμα)
- Περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης CO₂



Τέλος Ενότητας

Βασικές αρχές και γνώσεις υποβάθρου

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 2014. Αριάδνη Αργυράκη . «Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL1/>.



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 (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Carbon Cycle. Public Domain, created by NASA. Σύνδεσμος:
<http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Carbon>.

Πηγή:<http://www.newworldencyclopedia.org>

Εικόνα 2: Global Carbon Cycle. Copyright University of Michigan. Σύνδεσμος:
http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/carbon_cycle/carbon_cycle.html. Πηγή: www.globalchange.umich.edu

Εικόνα 3: Βιογενής καθίζηση ασβεστίτη. Copyright 2012 Kula C. Misra. Πηγή:
Introduction to Geochemistry: Principles and Applications, First Edition. Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 4: Γαστερόποδα. Copyright The Book of Barely Imagined Beings. Σύνδεσμος: http://www.barelyimaginedbeings.com/2009_12_01_archive.html. Πηγή: www.barelyimaginedbeings.com

Εικόνα 5: Θαλάσσια Ιζήματα. Copyright Pearson Prentice Hall, Inc. Σύνδεσμος: <http://www.iupui.edu/~g115/mod06/lecture07.html>. Πηγή: <http://www.iupui.edu>

Εικόνα 6: Αύξηση αερίων θερμοκηπίου από το 1750. Copyright Elements, 4, 305-310 (2008).

Εικόνα 7: Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory. Copyright NOAA Earth System Research Laboratory. Σύνδεσμος: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>. Πηγή: www.esrl.noaa.gov



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 8: Εξέλιξη ατμοσφαιρικού CO₂ και γήινης θερμοκρασίας σε γεωλογική κλίμακα χρόνου, Elements, 4, 305-310 (2008). Copyright Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, MIT. Σύνδεσμος: web.mit.edu/12.000/www/m2013/. Πηγή: web.mit.edu

Εικόνα 9: Global Anthropogenic CO₂ emissions. Copyright Elements, 4, 305-310 (2008).

Εικόνα 10: Per capita CO₂ emissions. Copyright Elements, 4, 305-310 (2008).

Εικόνα 11: Χιουμοριστικό σκίτσο. Copyright About.com. Σύνδεσμος: <http://politicalhumor.about.com/od/environment/ig/Environment-Cartoons/Green-Jobs.htm>. Πηγή: politicalhumor.about.com



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Πίνακας 1: Top 10 CO₂ – emitting countries in 2004 on a per capita basis (Marland et al. 2007). Copyright Elements, 4, 305-310 (2008).

Πίνακας 2: Top 20 CO₂ – emitting countries in 2004 on a per capita basis (Marland et al. 2007). Copyright Elements, 4, 305-310 (2008).

