

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

ΣΥΛΑΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΠ

ΜΠΕΛΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΠ



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

LABORATORY OF ECOLOGICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ

Η Γεωλογία είναι η **επιστήμη** που μελετά τη **Γη**, και κυρίως το στερεό τμήμα της, δηλαδή τα **ορυκτά** και τα **πετρώματα** από τα οποία αποτελείται, τις ιδιότητες που αυτά έχουν και τις διεργασίες που τα σχηματίζουν.

Η Γεωλογία συστηματοποιεί την έρευνα για ορυκτά υψηλού οικονομικού ενδιαφέροντος, όπως τα αποθέματα υδρογονανθράκων, τα μεταλλεύματα, το νερό.

Η κατανόηση των γεωλογικών φαινομένων βοηθά στην πρόβλεψη και αντιμετώπιση διαφόρων φυσικών καταστροφών (σεισμοί, κατολισθήσεις, πλημμύρες).

1. Η εφαρμογή της γεωλογίας περιλαμβάνει τη μελέτη:

- **των γήινων υλικών**, όπως ορυκτά, πετρώματα και εδάφη
- **τον τρόπο σχηματισμού** τους,
- την **πιθανή χρήση τους ως πόρων** ή χώρων διάθεσης αποβλήτων
- **τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία**



2. Των **φυσικών κινδύνων**, όπως:

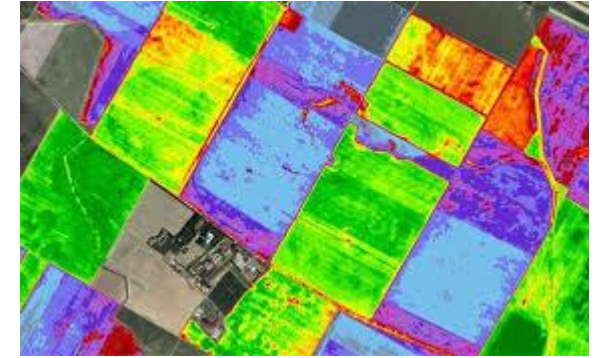
- **πλημμύρες,**
- **κατολισθήσεις,**
- **σεισμοί** και ηφαιστειακή δραστηριότητα

ελαχιστοποίηση τις απώλειες ζωών και περιουσιών



3. Αξιολόγηση των χρήσεων γης για:

- την **επιλογή θέσεων,**
- τον **σχεδιασμό των χρήσεων γης**
- την **ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων**



4. Υδρολογικών διαδικασιών υπόγειων και επιφανειακών νερών

- **αξιολόγηση των υδατικών πόρων**
- καθορισμός **προβλημάτων ρύπανσης των υδάτων**



5. Γεωλογικών διαδικασιών, όπως:

- η **απόθεση ιζημάτων** στον πυθμένα του ωκεανού,
- ο **σχηματισμός των βουνών,**
- η **κίνηση του νερού επάνω και κάτω από την επιφάνεια της Γης,** για να αξιολογήσουμε τοπικές, περιφερειακές, και παγκόσμιες αλλαγές



Σε επίπεδο εφαρμογής η γεωλογική επιστήμη εστιάζει στην:

- αναζήτηση και εκμετάλλευση των φυσικών πόρων
- πρόβλεψη και προστασία από φυσικές καταστροφές
- μελέτη περιοχών για την εγκατάσταση μεγάλων τεχνικών και αναπτυξιακών έργων.

Κύριες εξειδικεύσεις και κλάδοι της Γεωλογικής Επιστήμης είναι:

- ❖ η Ορυκτολογία και Πετρολογία
- ❖ η Παλαιοντολογία και Στρωματογραφία
- ❖ η Δομική Γεωλογία και η Τεκτονική
- ❖ η Γεωμορφολογία
- ❖ η Κοιτασματολογία
- ❖ η Ιζηματολογία
- ❖ η Υδρογεωλογία
- ❖ η Γεωφυσική και η Γεωχημεία
- ❖ η Τεχνική Γεωλογία
- ❖ η Περιβαλλοντική Γεωλογία

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ο Μηχανικός Περιβάλλοντος μελετά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανθρώπινων έργων και παρεμβάσεων. Τα έργα αυτά σχεδιάζονται, χωροθετούνται και εδράζονται πάνω σε ένα γεωλογικό υπόβαθρο και ανάγλυφο, αποτελούμενο από ορυκτά, πετρώματα, ρήγματα, σεισμική επικινδυνότητα, και πολλά άλλα.

Η γνώση της γεωλογικής ορολογίας και η κατανόηση των γεωλογικών φαινομένων:

- θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος όπου κατασκευάζεται και λειτουργεί ένα έργο,
- θα οδηγήσει στην καλύτερη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών φυσικών καταστροφών και στην εφαρμογή μεθόδων αποκατάστασης,
- θα διασυνδεθεί με την χωροθέτηση περιβαλλοντικών έργων, όπως ΧΥΤΑ, ΜΕΥΑ, συστημάτων ΑΠΕ.

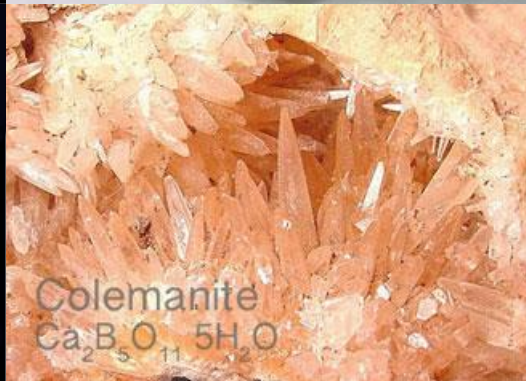
Εβδομάδα 1 – Περιβαλλοντική Γεωλογία - Εισαγωγή

- Τι είναι η **Γεωλογία** ?
- Τι είναι η **Περιβαλλοντική Γεωλογία** ?
- **Οι θεμελιώδεις έννοιες** της περιβαλλοντικής γεωλογίας
- **Γήινα Συστήματα και Κύκλοι**
- **Ο Πετρολογικός Κύκλος**
- **Δομή της Γης**
- Γήινες διαδικασίες
- Οι κινήσεις και τα όρια των **λιθοσφαιρικών πλακών**

Εβδομάδα 2 - Ορυκτά

Γίνεται εισαγωγή στην βασική ορολογία της γεωλογίας και των τεχνικών ιδιοτήτων των γήινων υλικών (ορυκτά, πυριγενή, μεταμορφωμένα και ιζηματογενή πετρώματα)

- **Ιστορικά στοιχεία** των ορυκτών
- **Ορισμός** του ορυκτού
- **Δομή** των ορυκτών
- **Σχηματισμός** των ορυκτών
- **Αναγνώριση** των ορυκτών
- **Ιδιότητες** των ορυκτών (χρώμα, λάμψη, σχισμός, σκληρότητα, κλπ)
- **Ονοματολογία και Ταξινόμηση** ορυκτών
- **Πυριτικά ορυκτά**



Εβδομάδα 3 – Πυριγενή Πετρώματα

- **Ορισμός των πετρωμάτων**
- **Σχηματισμός των πετρωμάτων**
- **Ορισμός των πυριγενών πετρωμάτων**
- **Σχηματισμός των πυριγενών πετρωμάτων**
- **Μορφολογία των ηφαιστειών**
- **Τύποι εκρήξεων**
- **Ηφαιστειακές αποθέσεις**
- **Πυριγενή διεισδυτικά πετρώματα**
- **Ταξινόμηση των πυριγενών πετρωμάτων (χημισμός, ιστός, υφή)**
- **Ορυκτολογία των πυριγενών πετρωμάτων**
- **Τεχνικές θεωρήσεις των πυριγενών πετρωμάτων**



Εβδομάδα 4 – Ιζηματογενή και Μεταμορφωμένα Πετρώματα

- Ορισμός Ιζημάτων και Ιζηματογενών Πετρωμάτων
- Σχηματισμός των Ιζηματογενών πετρωμάτων (Απόσπαθση → Διαγένεση)
- **Είδη Απόσπαθσης**
- **Μηχανισμοί Μεταφοράς**
- **Τρόποι Απόθεσης**
- Ορισμός Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων
- **Γιατί τα μελετάμε?**
- **Διαδικασίες της μεταμόρφωσης**
- **Παράγοντες μεταμόρφωσης**
- **Πορεία P-T-t**
- **Είδη μεταμορφώσεων**
- **Βαθμός μεταμόρφωσης**



Εβδομάδα 5 – Σεισμικότητα – Ρήγματα – Πτυχώσεις – Κατολισθήσεις

- Σεισμικές Διαδικασίες, Ρήγματα και κινήσεις και τύποι ρηγμάτων
- Ρηγματογενείς ζώνες , σεισμικό τμήμα, Ενεργοποίηση Ρηγμάτων, ρυθμός ολίσθησης
- Σεισμικά κύματα και δόνηση εδάφους, Εστία και Επίκεντρο, Τύποι σεισμικών κυμάτων
- Η επίδραση της συχνότητας των κυμάτων στη δόνηση, Μεγέθυνση Υλικού, Κατευθυντικότητα
- Συγκρίνοντας τους Σεισμούς
- *Μέγεθος- ένταση, Μέγεθος ροπής, κλίμακα έντασης Mercalli, κλίμακα μεγέθους ροπής*
- Επιτάχυνση εδάφους κατά τη διάρκεια σεισμών
- Σεισμικός κύκλος - Το μοντέλο διασταλτικότητας – διάχυσης
- Σεισμοί προκαλούμενοι από ανθρώπινες δραστηριότητες
- Ρήγματα και τύποι ρηγμάτων, πτυχώσεις – σύγκλινα και αντίκλινα
- Διαδικασίες και σταθερότητα κλιτύων (Ερπυσμός, κατολίσθηση, ολίσθηση, κατάπτωση, καθίζηση)



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

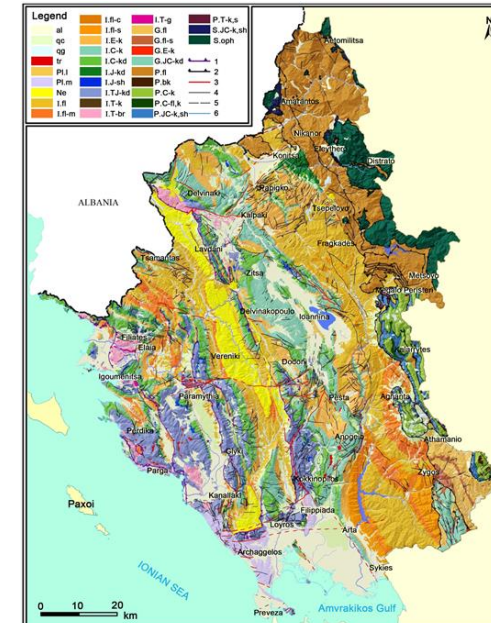
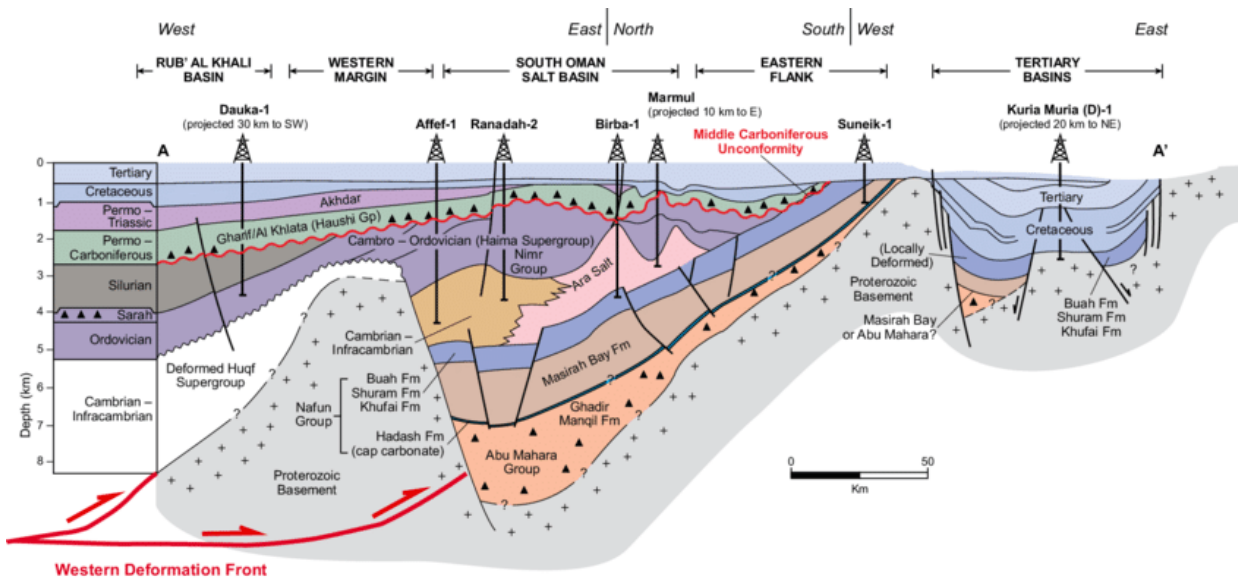
LABORATORY OF ECOLOGICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

Περιεχόμενα



Εβδομάδα 6 – Εργαστήριο Γεωλογικών Χαρτών και Γεωλογικών Τομών

- Είδη και μέθοδοι κατασκευής γεωλογικών χαρτών
- Ανάγνωση γεωλογικών χαρτών
- Κατασκευή Παρατάξεων και υπολογισμός κλίσης
- Συμπλήρωση της γεωλογικής γραμμής από στοιχεία της επιφανείας εδάφους
- Χάραξη γεωλογικής τομής με οριζόντια στρώματα ή και κεκλιμένα στρώματα



Εβδομάδα 7 – Διαχείριση Φυσικής Διακινδύνευσης

Εβδομάδα 8 - Πλημμύρες - Μετεο-τσουνάμια - Καιρικές καταστροφές

Εβδομάδα 9 - Κλιματικές Μεταβολές - Επιπτώσεις στον Υδρολογικό Κύκλο - Ξηρασία

Εβδομάδα 10 – Δασικές Πυρκαγιές

Εβδομάδα 11 – Τεχνολογικές καταστροφές (διαρροές, ατυχήματα)

Εβδομάδα 12 – Σχεδιασμός και αντιμετώπιση φυσικών/τεχνολογικών καταστροφών



Εβδομάδα 13 – Παρουσιάσεις εργασιών – Εξέταση

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Γιάννης Παπαδόπουλος (e-mail), Μαρία Κωνσταντινίδου, (e-mail),...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η περίληψη του γεγονότος πρέπει να είναι μέχρι 10 σειρές και να παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια σημεία της Τεχνικής Έκθεσης. Η όλη εργασία θα πρέπει να καταλαμβάνει 8-10 σελίδες. Γενικότερα, η δομή που προτείνεται με τα κεφάλαια και τα υποκεφάλαια θα πρέπει να ακολουθείται. Παρολαυτά, αν κρίνουν οι συγγραφείς ότι μία διαφορετική δομή αναδεικνύει καλύτερα την εργασία τους, μπορούν να την ακολουθήσουν.

1) Εισαγωγή

Στην εισαγωγή παρουσιάζεται το γεγονός, σε ποιον τύπο καταστροφή ανήκει καθώς και η δομή της εργασίας. Κάποια γενικά στοιχεία για τον τύπο της καταστροφής, η χρονική περίοδος που συνέβη το γεγονός, η γεωγραφική θέση, καθώς και διάφορα γενικότερα στοιχεία παρουσιάζονται εδώ. Η Εισαγωγή θα πρέπει να είναι περίπου 1-2 σελίδες.

2) Γεγονός

2.1) Επισκόπηση ελληνικού και διεθνούς τύπου

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφέρονται τα κυριότερα σημεία του γεγονότος και όσα στοιχεία αντλήθηκαν από ενδελεχή επισκόπηση στον Τύπο. Οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, ο αριθμός των νεκρών, το μέγεθος που γεγονότος (π.χ. ρίχτερ για σεισμούς ή παροχή/ύψος βροχόπτωσης για πλημμύρες), ειδικά σημεία που χρήζουν ενδιαφέροντος, αναφέρονται εδώ.

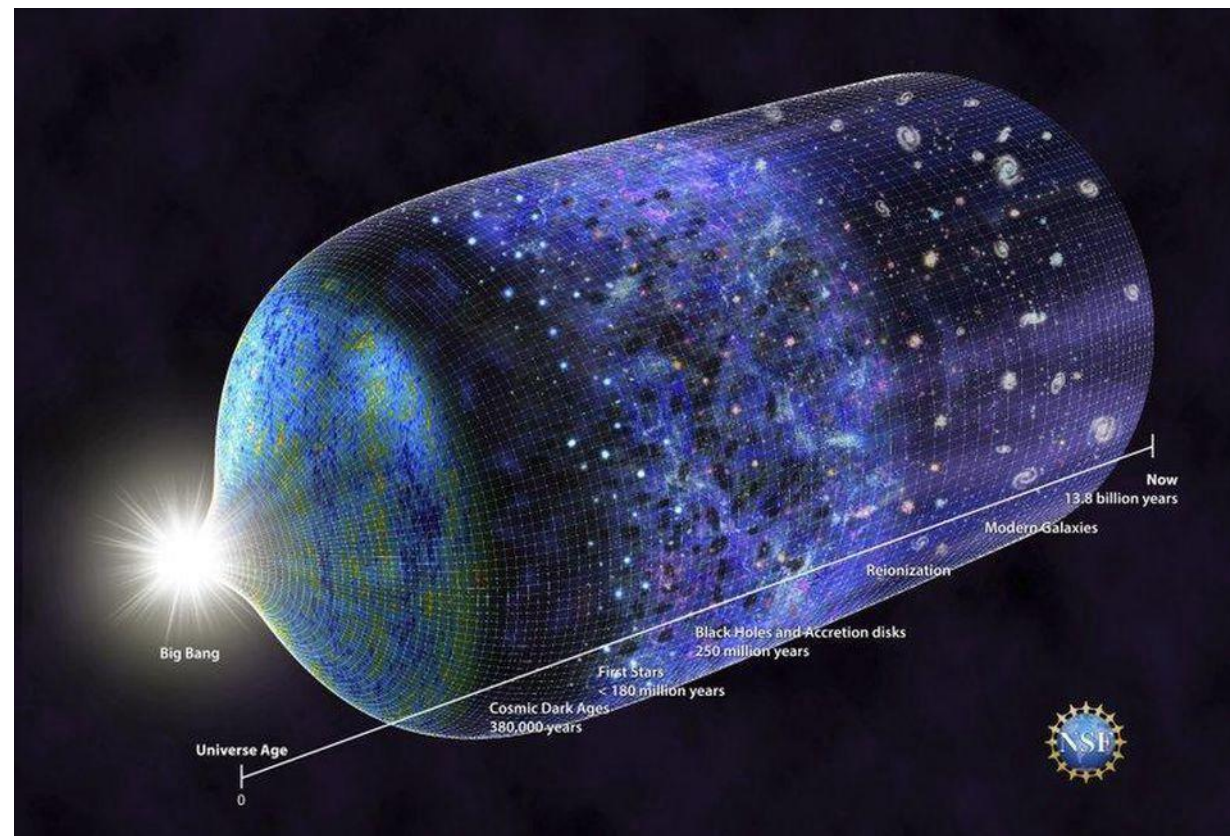
2.2) Βιβλιογραφική επισκόπηση επιστημονικών εργασιών

Εκπαιδευτικοί στόχοι:

- Η **βασική κατανόηση του γεωλογικού κύκλου**
- Η **εξοικείωση με μερικούς σημαντικούς τύπους ορυκτών** που απαντώνται στην χώρα
- Η **εξοικείωση με μερικούς τύπους πετρωμάτων** και η περιβαλλοντική τους σημασία
- Η κατανόηση της σεισμικής επικινδυνότητας και της σεισμικής κλίμακας
- Η επισκόπηση της **γεωλογίας Ελλάδας**

Προέλευση των στοιχείων στο σύμπαν και στη γη

- Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης (Big Bang, ~ 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια πριν)
- Η ύλη και η ενέργεια όλου του σύμπαντος **δημιουργήθηκε σχεδόν ακαριαία** σε κάποια εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου
- Η ιδέα ανήκει στον Hubble ο οποίος **βασίστηκε στην παρατήρηση της απομάκρυνσης κάποιων γαλαξιών** στον αστερισμό της Παρθένου (Θεωρία της Διαστολής του Σύμπαντος)
- Επιβεβαιώθηκε από τους Penzias και Wilson (Νόμπελ Φυσικής 1964)



Βασικά στάδια

- **~13,7 δις χρόνια πριν:** Σχηματισμός του Σύμπαντος. Η ύλη βρίσκεται σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία
- **~0,5 ώρες μετά:** Διαστολή του Σύμπαντος, ψύξη σε θερμοκρασίες της τάξης των μερικών δισεκατομμυρίων °C. Συνένωση υποατομικών σωματιδίων και σχηματισμός πυρήνων υδρογόνου (H) και ηλίου (He)
- **~750.000 χρόνια μετά:** Η θερμοκρασία πέφτει στους 3000 °C περίπου. Προσέγγιση των ηλεκτρονίων στους πυρήνες
- Οι **χαμηλότερες θερμοκρασίες επιτρέπουν το σχηματισμό αρχικών συσσωματωμάτων ύλης**, παρότι το Σύμπαν εξακολουθεί να διαστέλλεται
- **Σχηματισμός Αστέρων**, Γαλαξιακών Νεφελωμάτων και Γαλαξιών. Αύξηση μάζας τους και της βαρυτικής έλξης τους
- **Διατήρηση της θερμοκρασίας** σε επίπεδα ικανά να **διατηρήσουν πυρηνική θερμότητα**, που **ενισχύεται από σύντηξη υδρογόνου**
- **Πυρηνικές αντιδράσεις δημιούργησαν τα βαρύτερα στοιχεία**, σε διαφορετικές θερμοκρασίες
- Πολλοί Αστέρες **απόκτησαν Πλανήτες και άλλους Δορυφόρους (συσσωματώματα ύλης)**

Βασικά στάδια

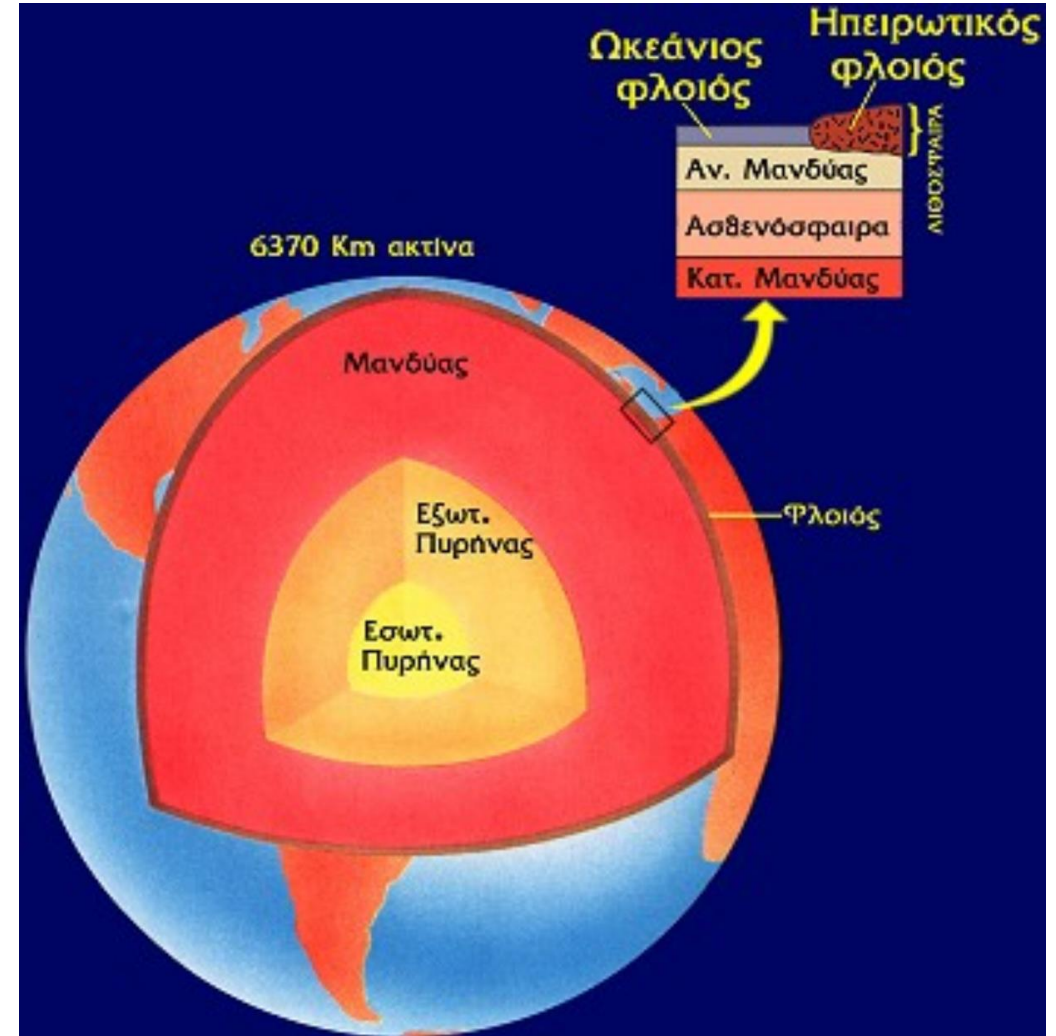
- **~5 δις χρόνια πριν:** Σχηματισμός του Ηλιακού μας Συστήματος από τη συμπύκνωση ενός Νεφελώματος αποτελούμενο κυρίως από πρωτογενές H και He. (μετράμε το φάσμα του νεφελώματος και τα αντιπαραβάλλουμε με τα φάσματα των πετρωμάτων)
- **στα πρώτα 100.000 χρόνια** ξεκίνησε η σύντηξη H στον Ήλιο (100.000-50 εκατ.: T-Tauri αστέρας).
- **Διαβάθμιση της θερμοκρασίας και της πίεσης οδήγησε στη διαφοροποίηση του Νεφελώματος.** Τα πιο πτητικά στοιχεία συγκεντρώθηκαν στο εξωτερικό, ψυχρότερο τμήμα ενώ τα πιο δύστηκτα συγκεντρώθηκαν στις θερμότερες περιοχές δημιουργώντας κράματα.
- **Συσσωματώματα μάζας** συμπυκνώθηκαν **σχηματίζοντας Πρωτοπλανήτες** (Πρωτοηλιακό Σύστημα)
- **Στο κέντρο του Πρωτοηλιακού Συστήματος** είχαμε **σχηματισμό ορυκτών** με οξειδία και κράματα Fe-Ni. Πυριτικά ορυκτά των Mg και Fe συγκεντρώθηκαν στα εξωτερικά τμήματα.
- Τα πτητικά συστατικά (H₂O, CH₄) συγκεντρώθηκαν στα πολύ εξωτερικά μέρη
- Σήμερα οι Πλανήτες και οι Αστεροειδείς περιέχουν υπολειμματικά βαριά στοιχεία

Φλοιώδης δομή της Γης

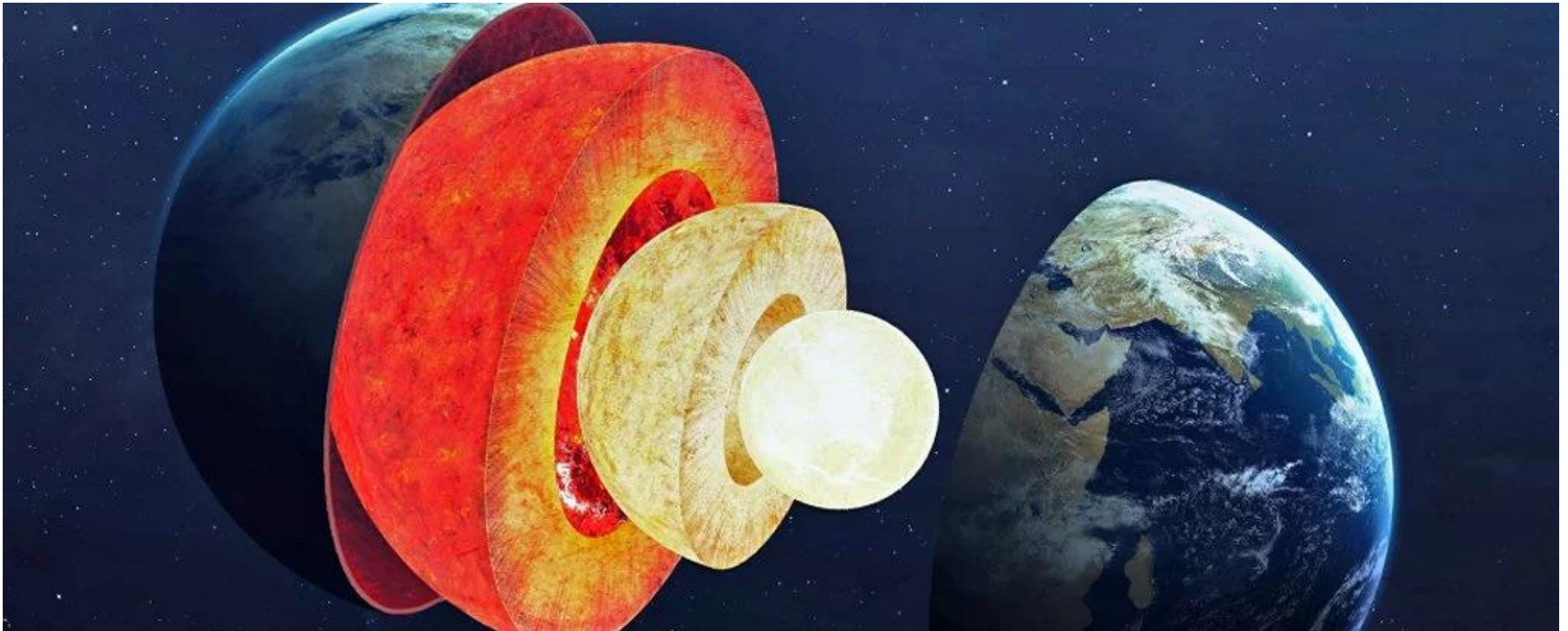
- Στη Γη έχουμε σχηματισμό ζωνών, που υποδεικνύει ότι αυτή συμπυκνώθηκε σε διάφορα στάδια
- Τα πρώτα τμήματα σχηματίστηκαν από **πλούσια σε Fe-Ni πρωτοπλανητικά υλικά**
- Στη συνέχεια πρωτοπλανητικά υλικά **πλουσιότερα σε Si προστέθηκαν στο εξωτερικό της, δημιουργώντας έτσι την απότομη μετάβαση από τον πυρήνα στο μανδύα.**
- Τέλος πρωτοπλανητικά υλικά **πλούσια σε πτητικά συστατικά προστέθηκαν δημιουργώντας την αρχέγονη ατμόσφαιρα**

Δομή της Γης

- Το σχήμα της Γης είναι **πεπλατυσμένο σφαιροειδές** που οφείλεται στην περιστροφή της.
- Η **μέση ακτίνα** της Γης είναι 6.370,0 km.
- Το **μεγαλύτερο μήκος** της γήινης ακτίνας (6.378,1 km) εντοπίζεται στον **Ισημερινό** και το **μικρότερο** (6.356,8 km) στους **Πόλους**.
- Το εσωτερικό της Γης χωρίζεται σε τρία μεγάλα τμήματα που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την **σύσταση και την πυκνότητα**:
 - τον φλοιό,
 - τον μανδύα και
 - τον πυρήνα



Δομή της Γης

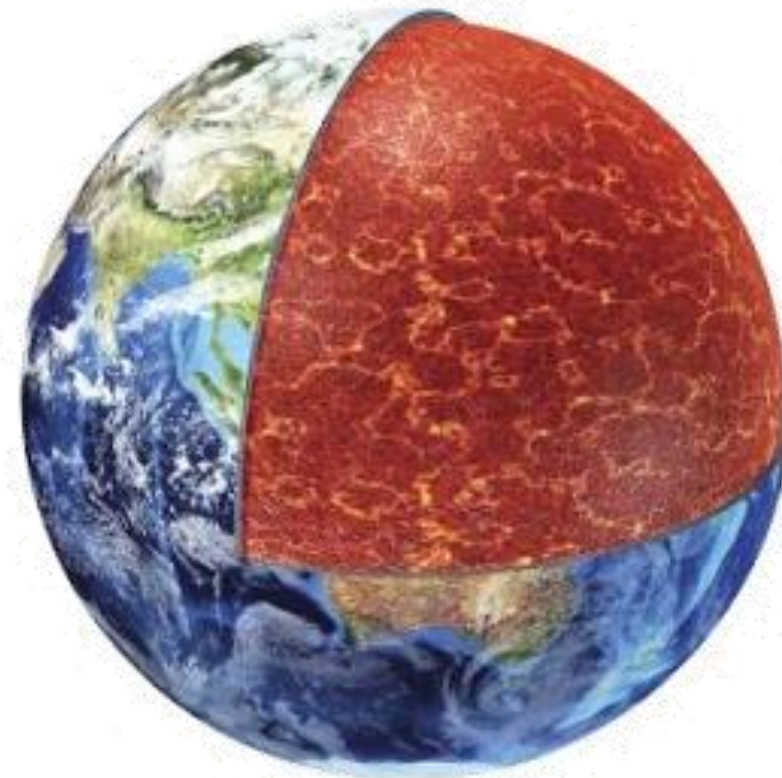


Φλοιώδης δομή της Γης

- Στα αρχικά της στάδια η Γη **ήταν πλήρως τετηγμένη** (ίσως υπήρχε μια μικρή κρούστα)
- Με την **προοδευτική ψύξη της** (κυρίως λόγω της ακτινοβολίας προς τα έξω) **δημιουργήθηκε ο Στερεός Φλοιός**

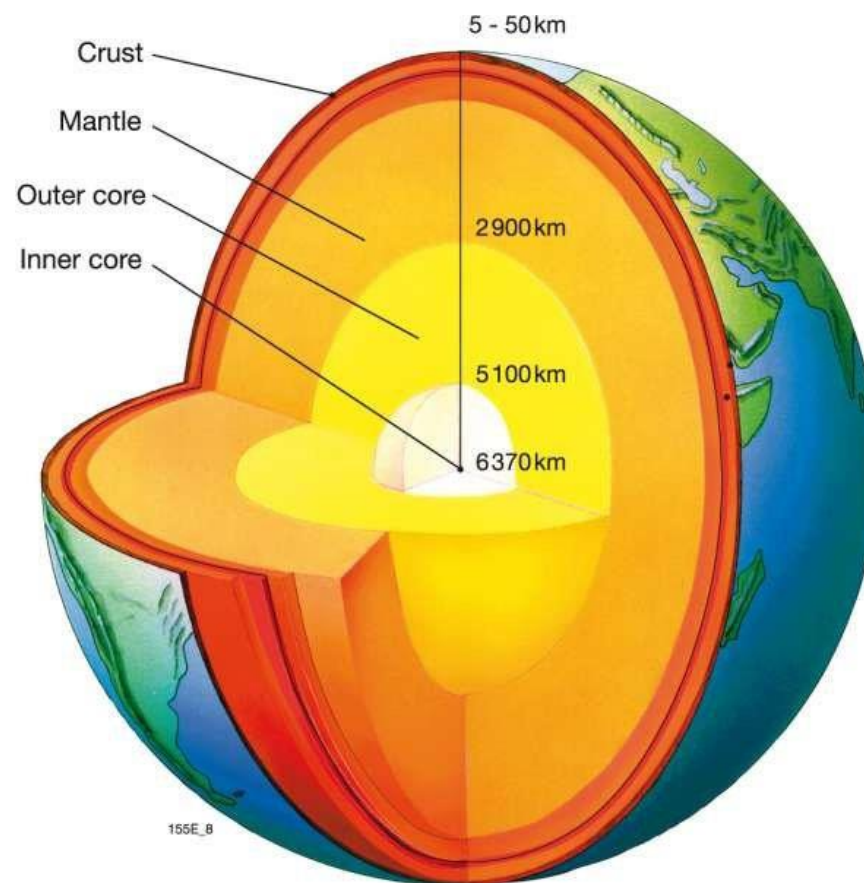
Χωρίζεται σε:

- **Ηπειρωτικός φλοιός,**
πάχος 25-70 km, μέση πυκνότητα $2,7\text{g/cm}^3$ και μεγάλη λιθολογική ανομοιογένεια.
- **Ωκεάνιος Φλοιός,**
Μέσο πάχος 7-10 km, μέση πυκνότητα $3,3\text{g/cm}^3$, σχετική ομοιομορφία.



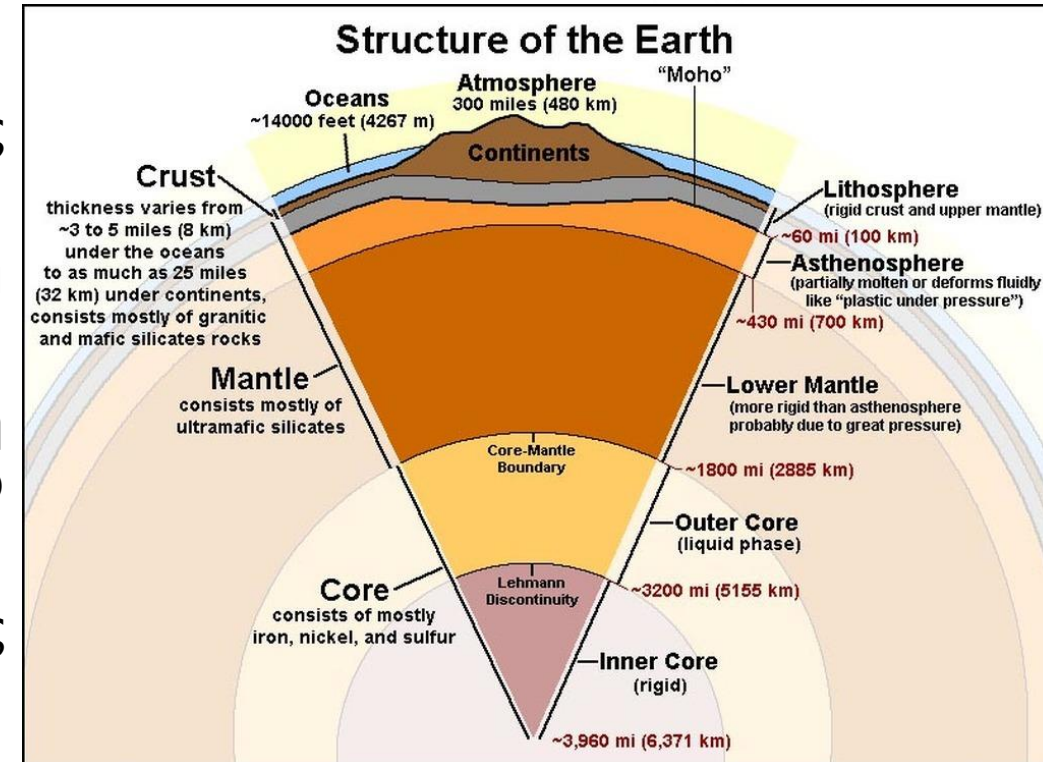
Φλοιώδης δομή της Γης

- Ο στερεός φλοιός της Γης είναι μία λεπτή φλούδα που αποτελεί το εξωτερικό κέλυφος του Πλανήτη.
- Χωρίζεται σε Ηπειρωτικό Φλοιό (γρανιτικής σύστασης) και σε Ωκεάνιο Φλοιό (Βασαλτικής σύστασης).
- Ο Ηπειρωτικός φλοιός είναι παχύς και μεγάλης ηλικίας. Το πάχος κυμαίνεται από 30 έως 50 χλμ.
- Ο Ωκεάνιος φλοιός είναι λεπτός και νεότερος. Το πάχος του κυμαίνεται από 5 έως 10 χλμ.
- Ο στερεός φλοιός χωρίζεται από τον μανδύα με την **ασυνέχεια Mohorovic (ή αλλιώς Moho)**. Η Moho βρίσκεται σε κατοπτρική σχέση με το ανάγλυφο της Γης (μεγάλο πάχος κάτω από οροσειρές – μικρό πάχος κάτω από ωκεανούς).
- Ο Ηπειρωτικός Φλοιός χωρίζεται σε δύο υποστρώματα: το ανώτερο, όπου επικρατούν υλικά πυριτικής και αργιλικής σύστασης (στρώμα SiAl) και το κατώτερο, όπου επικρατούν ενώσεις πυριτίου και μαγνησίου (στρώμα SiMa).



Φλοιώδης δομή της Γης

- Ο Μανδύας έχει πάχος 2.900 χλμ και αποτελεί το 84% του όγκου της Γης.
- Ο Ανώτερος Μανδύας έχει πάχος 410 χλμ και είναι στερεός αλλά εύθραυστος. Έχει μέση πυκνότητα $3,3 \text{ kg/m}^3$.
- Ο στερεός φλοιός και το στερεό τμήμα του ανώτερου μανδύα συνθέτουν την **Λιθόσφαιρα**.
- Η Λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική δραστηριότητα. Έχει μέσο πάχος 100 χλμ. (70-80 χλμ κάτω από τον Ωκεάνιο φλοιό και 120 χλμ κάτω από τον Ηπειρωτικό).
- Αποτελείται από πετρώματα ικανά να αντέξουν σε πίεση έως 1kbar χωρίς να ρέουν.
- Η Λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά έχει διαρραγεί. Διαχωρίζεται σε 15 μεγάλες τεκτονικές πλάκες, στα περιθώρια των οποίων έχουμε την πλέον έντονη τεκτονική δραστηριότητα.



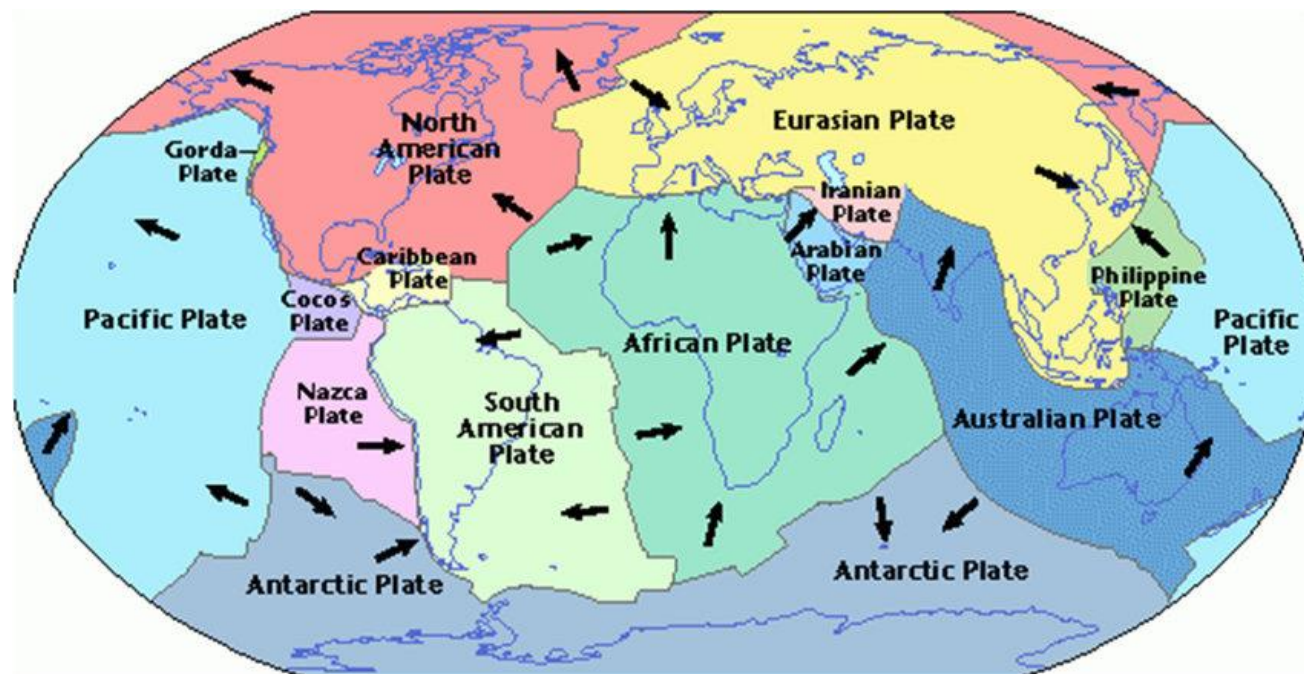
Λιθόσφαιρα

Ως λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται το **εξωτερικό δύσκαμπτο περίβλημα της Γης, με μεγάλη διατμητική αντοχή και περιλαμβάνει το φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα.**

Το πάχος της λιθόσφαιρας κυμαίνεται ανάλογα το πάχος του φλοιού. Στις **ωκεάνιες περιοχές** το πάχος της λιθόσφαιρας είναι περίπου **80 km**, ενώ στις **ηπειρωτικές** κυμαίνεται μεταξύ **100 και 150 km**.

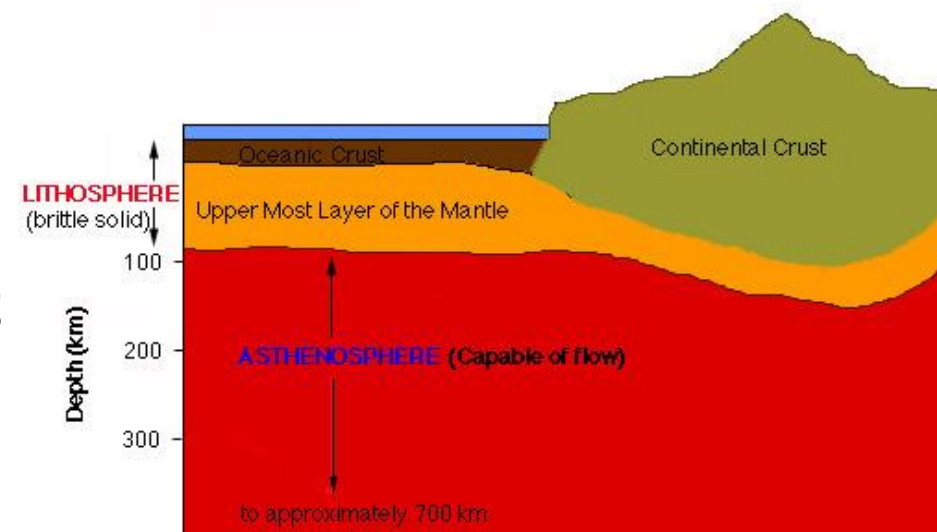
Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά **απαρτίζεται από 15 λιθοσφαιρικές πλάκες** που **ολισθαίνουν πάνω** στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδουακό υλικό την **ασθενόσφαιρα**, πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις (**λιθοσφαιρικές πλάκες**).

Η **ασθενόσφαιρα** βρίσκεται κάτω από τη λιθόσφαιρα, εκτείνεται μέχρι το βάθος των 700 km και **αποτελείται από υλικό αρκετά θερμό, ώστε να παραμορφώνεται εύκολα και επιτρέπει στις λιθοσφαιρικές πλάκες να κινούνται πάνω σ' αυτό** που λειτουργεί σαν λιπαντικό στρώμα.



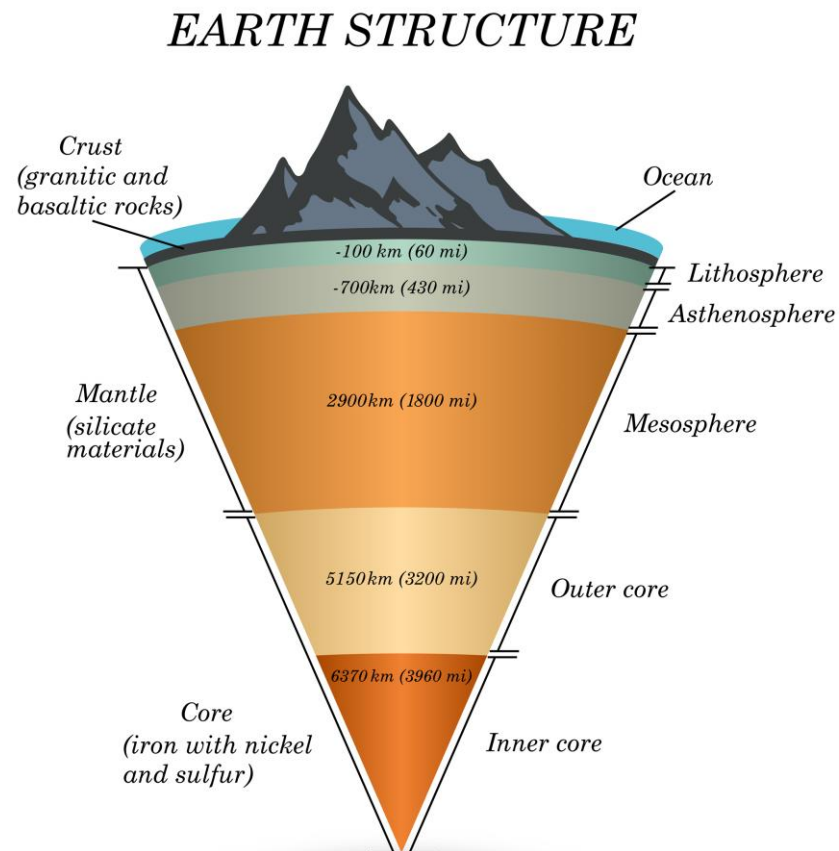
Φλοιώδης δομή της Γης

- Το κατώτερο τμήμα του Ανώτερου Μανδύα είναι ρευστό και αποτελεί την **Ασθενόσφαιρα**. Η Λιθόσφαιρα χωρίζεται από την Ασθενόσφαιρα με την **Ασυνέχεια Repetti**.
- Η ασθενόσφαιρα χαρακτηρίζεται ως πλαστικό υλικό, γιατί τα πετρώματά της παραμορφώνονται έντονα όταν ασκηθούν πιέσεις άνω του 1 kbar. Περιλαμβάνει μάζες τήγματος και έχει χαμηλό ιξώδες.
- Οι τεκτονικές λιθοσφαιρικές πλάκες «επιπλέουν» πάνω στην ασθενόσφαιρα. Η Ηπειρωτική Λιθόσφαιρα λόγω της μικρότερης πυκνότητάς της επιπλέει πιο εύκολα πάνω στην Ασθενόσφαιρα, αλλά λόγω του μεγάλου πάχους της εισχωρεί βαθύτερα (φαινόμενο παγόβουνου).
- **Ισοστατική Ισορροπία** – Προσθήκη μάζας (Ιζηματογέννεση, παγετώνες) → βύθιση λιθοσφαιρικής πλάκας, αφαίρεση μάζας (διάβρωση, λιώσιμο παγετώνων) → άνοδος λιθοσφαιρικής πλάκας.



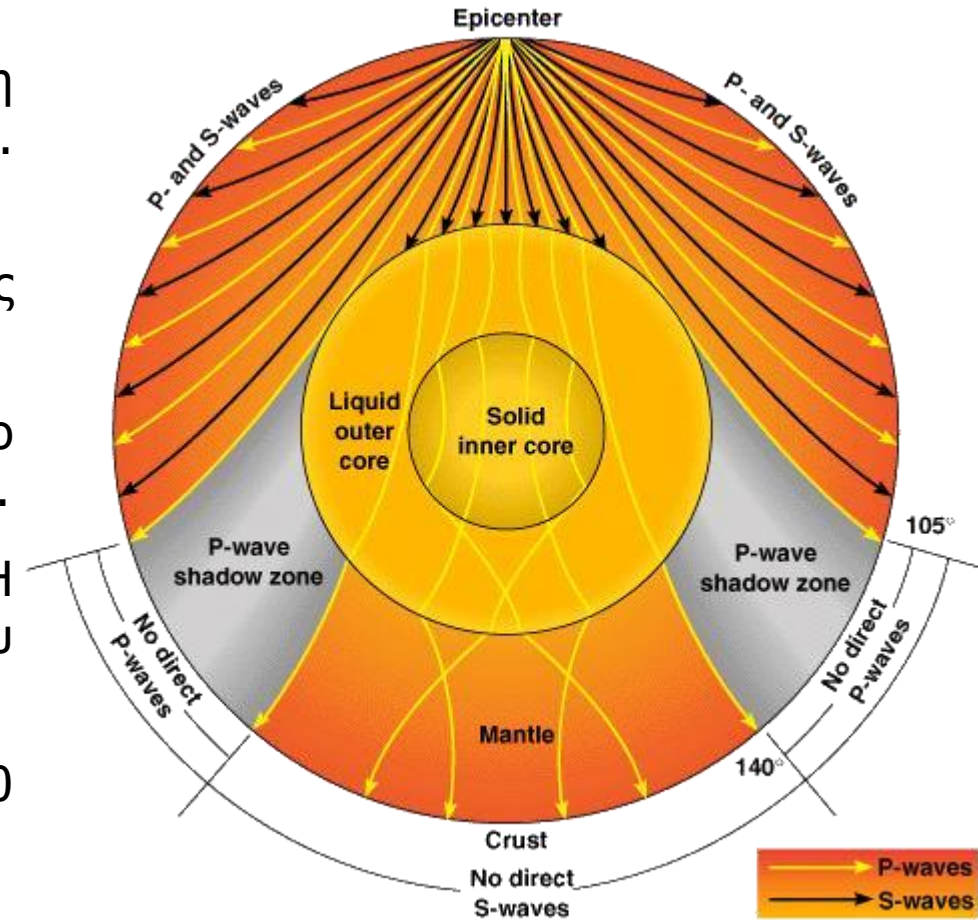
Φλοιώδης δομή της Γης

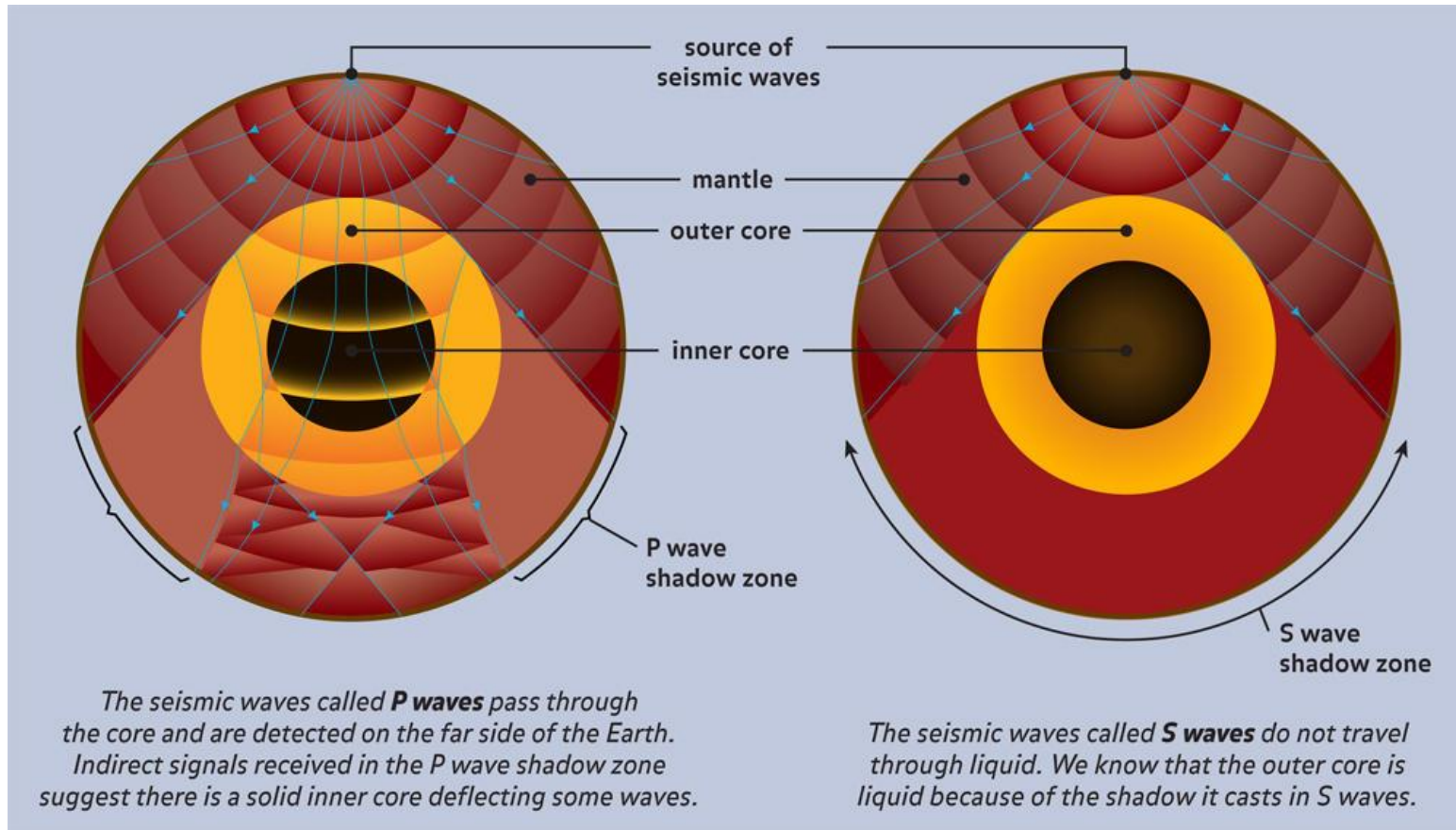
- Κάτω από την Ασθενόσφαιρα υπάρχει η **Μεσόσφαιρα**. Καλύπτει το κατώτερο τμήμα του Άνω Μανδύα και τον Κατώτερο Μανδύα.
- Ο Κατώτερος Μανδύας εκτείνεται από τα 660 χλμ έως τα 2900 χλμ. Αποτελεί 49,2% της μάζας της Γης και το 55% του όγκου της. Είναι πιο θερμός και πυκνός σε σχέση με τον Ανώτερο Μανδύα ($\rho = 5,5 \text{ kg/m}^3$). Ο Κατώτερος Μανδύας συγκροτείται από θειούχες και οξυγονούχες αλλά και πυριτικές ενώσεις του σιδήρου του μαγνησίου και άλλων βαρέων μετάλλων.
- Μεταξύ του **Κατώτερου Μανδύα** και του **Εξωτερικού Πυρήνα** σε βάθος 2900 χλμ υπάρχει η **Ασυνέχεια Gutenberg**.



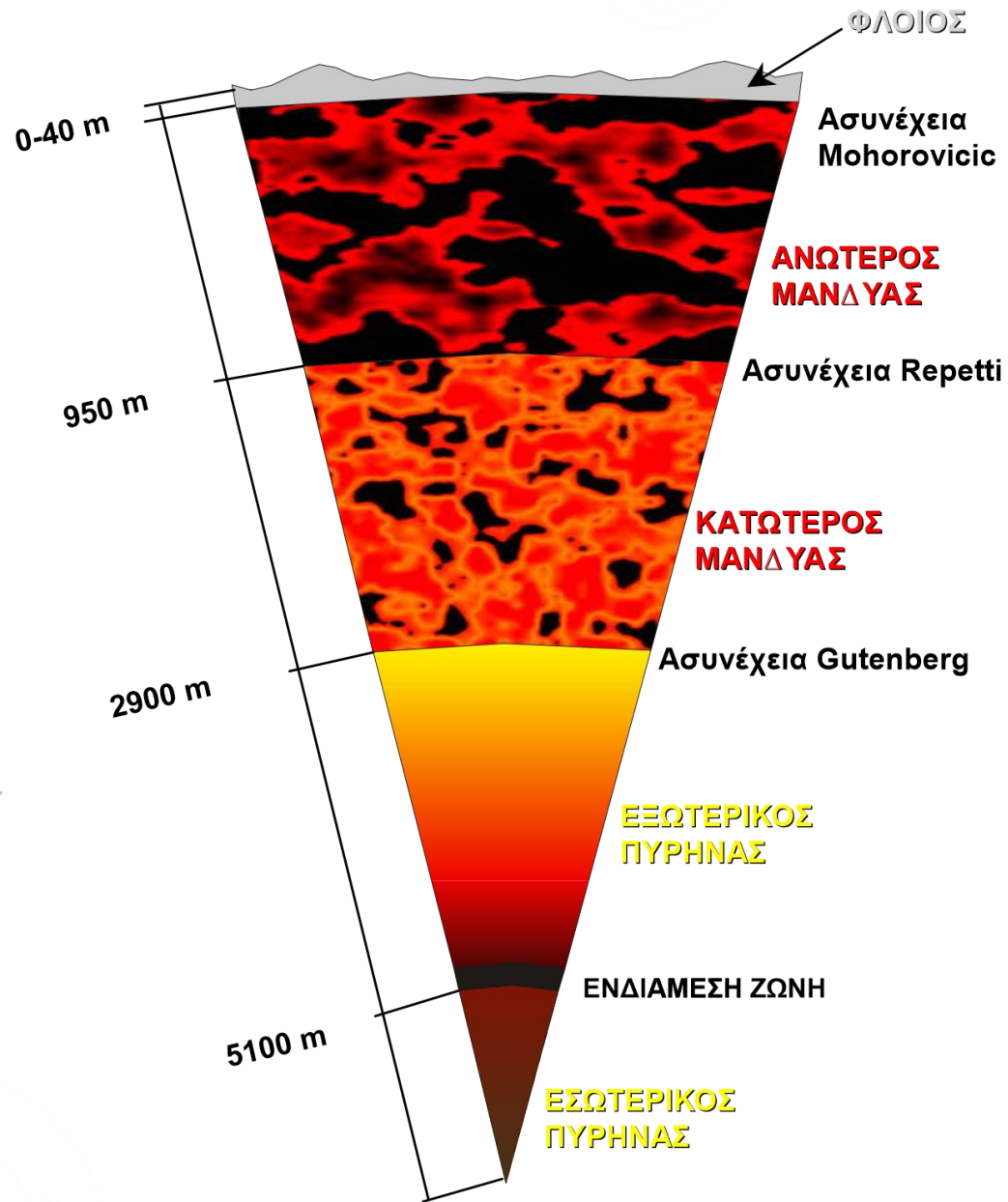
Φλοιώδης δομή της Γης

- Ο πυρήνας διακρίνεται σε **εξωτερικό** (υγρή/ρευστή κατάσταση κυρίως από σίδηρο) και σε **εσωτερικό** (στερεή κατάσταση). Χωρίζεται από τον μανδύα με την ασυνέχεια Gutenberg.
- Ο Πυρήνας καλύπτει το 16% του όγκου της Γης και το 33% της μάζας της.
- Ο Εξωτερικός πυρήνας αποτελείται από ρευστό υλικό (κυρίως σίδηρο και νικέλιο) και έχει πάχος 2400 χλμ. Έχει πυκνότητα 9,5-11,5 kg/m³.
- Ο Εσωτερικός πυρήνας είναι στερεός λόγω της πολύ υψηλής πίεσης. Η θερμοκρασία του είναι σχεδόν ίση με αυτήν στην επιφάνεια του Ήλιου (5430°C). Η πυκνότητά του φτάνει τα 12 kg/m³.
- Μεταξύ του Εξωτερικού και του Εσωτερικού Πυρήνα, σε βάθος 5100 χλμ, υπάρχει μία **Ζώνη Μετάβασης**.
- Η δομή της Γης μας είναι γνωστή έμμεσα, μέσω της συμπεριφοράς των σεισμικών κυμάτων που διατρέχουν την Γη. Κατά την διάρκεια ενός σεισμού παράγονται δύο τύποι κυμάτων: τα P-waves και τα S-waves.





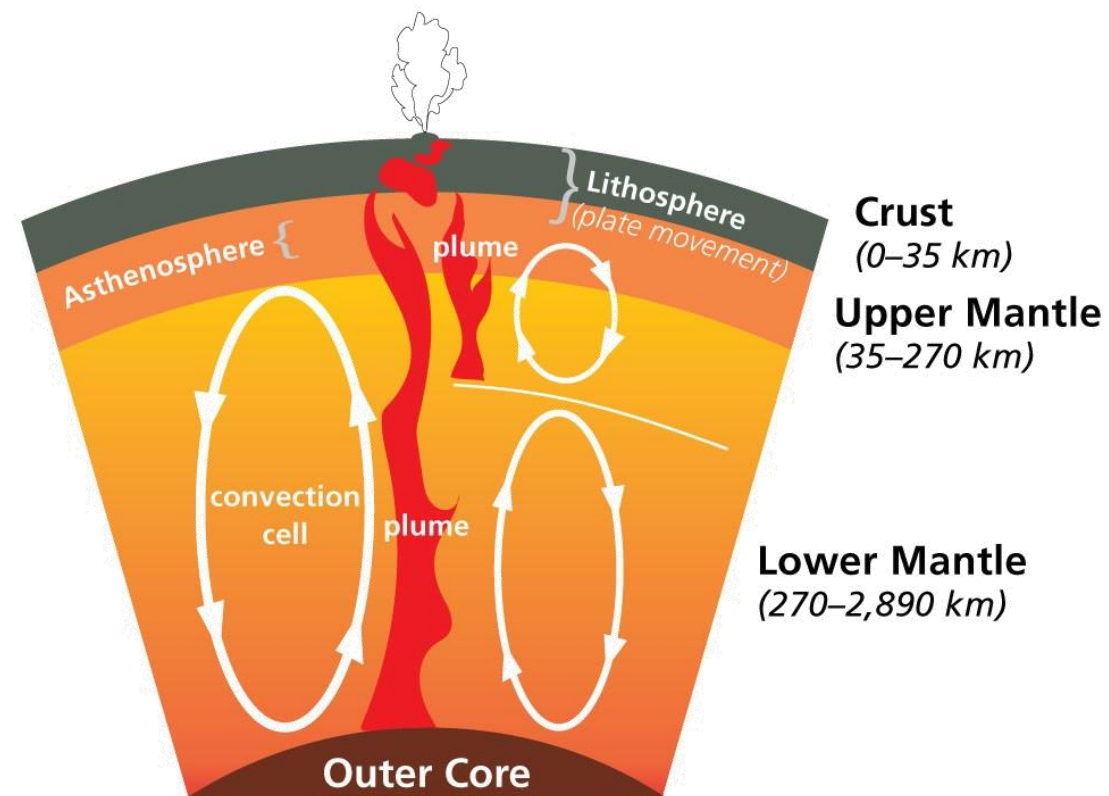
- Τα **P-waves** είναι κύματα συμπίεσης/αποσυμπίεσης προκαλώντας πυκνώματα και αραιώματα της ύλης. Τα μόρια της ύλης κινούνται κατά την δ/νση διάδοσης του σεισμικού κύματος, είναι ταχύτερα και διέρχονται μέσα από ρευστά.
- Τα **S-waves** είναι κύματα παραμόρφωσης όπου τα μόρια κινούνται κάθετα στην δ/νση διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Διαδίδονται μόνο σε στερεά σώματα και όχι σε ρευστά.



Δομή του Εσωτερικού της Γης με βάση τις επικρατούσες θεωρίες.

Το κύριο μοντέλο λειτουργίας του ρευστού υλικού της Μεσόσφαιρας προσομοιάζει στην λειτουργία μιας κατσαρόλας με νερό που βράζει:

1. Η μάζα που βρίσκεται κοντά στον πυρήνα θερμαίνεται, μειώνει ελαφρά την πυκνότητά της και ανέρχεται σε μικρότερα βάθη.
2. Όταν αυτά φθάσει στην διεπιφάνεια της Ασθενόσφαιρας ή στα όρια Άνω – Κάτω Μανδύα, τότε τα τεμάχια του θερμού ρευστού απελευθερώνουν τη θερμότητά τους, αυξάνουν την πυκνότητά τους και επιστρέφουν πίσω στον πυθμένα του δοχείου.
3. Δημιουργούνται έτσι ανοδικοί – καθοδικοί κύκλοι κίνησης του ρευστού υλικού που ονομάζονται **Convection Cells** (κελιά μεταγωγής).



Καθώς κινούμαστε από την επιφάνεια της Γης προς το εσωτερικό της, η θερμοκρασία αυξάνει.

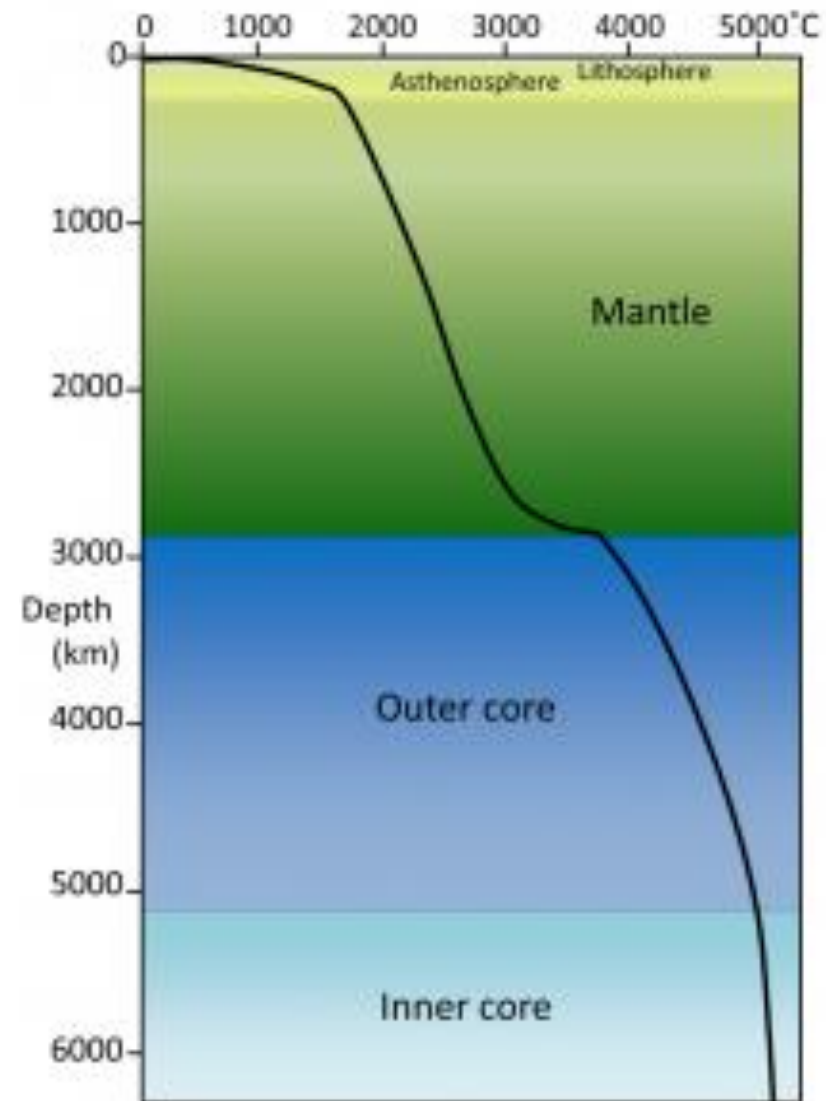
Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι περίπου 1°C ανά 33 μέτρα βάθος για τα πρώτα 100 χλμ.

Κατόπιν, η **θερμοβαθμίδα** μειώνεται σημαντικά στον μανδύα, αυξάνει στην βάση του μανδύα και αυξάνει ελαφρά έως τον πυρήνα.

Η θερμότητα στο εσωτερικό της Γης (**γηγενής θερμότητα**) προέρχεται από δύο διεργασίες, η καθεμία συμβάλει κατά 50% στο τελικό αποτέλεσμα:

1. Η εσωτερική θερμότητα που απέμεινε κατά το σχηματισμό του Πλανήτη (αστρική θερμότητα),
2. Η διάσπαση των ραδιενεργών συστατικών όπως ^{235}U , ^{238}U , ^{40}K , και ^{232}Th .

Θερμοβαθμίδα στο εσωτερικό της Γης



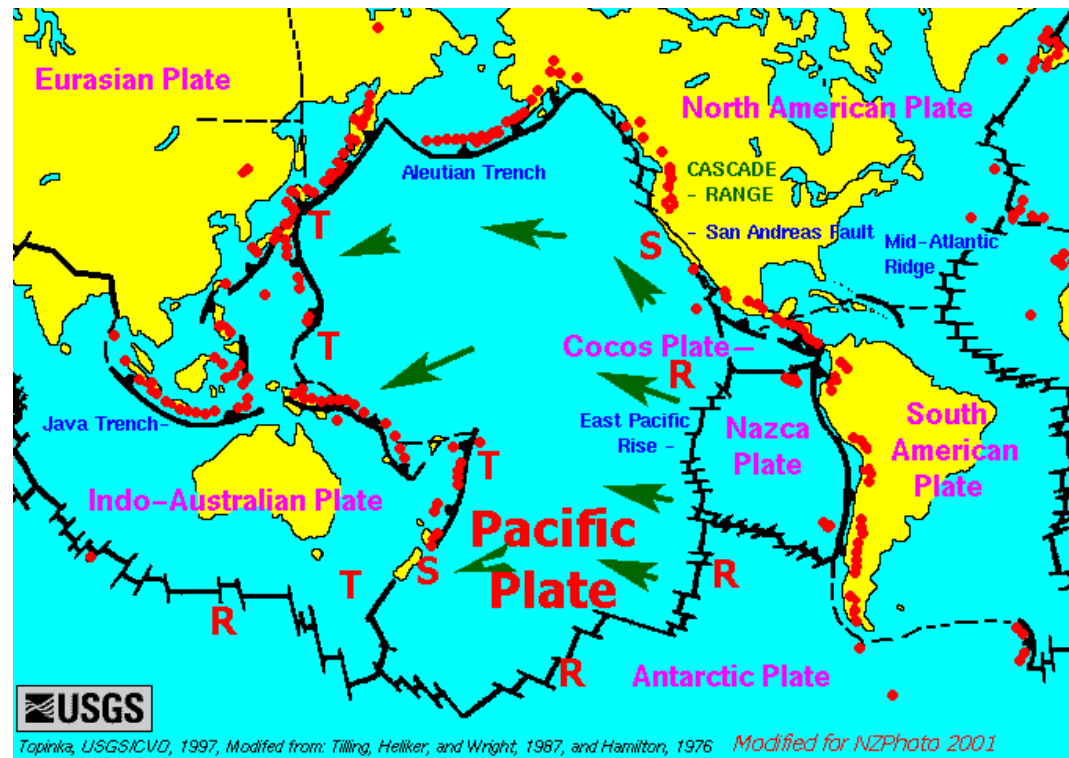
Λιθοσφαιρικές Διεργασίες

Οι κύριες Λιθοσφαιρικές Πλάκες στην επιφάνεια της Γης είναι:

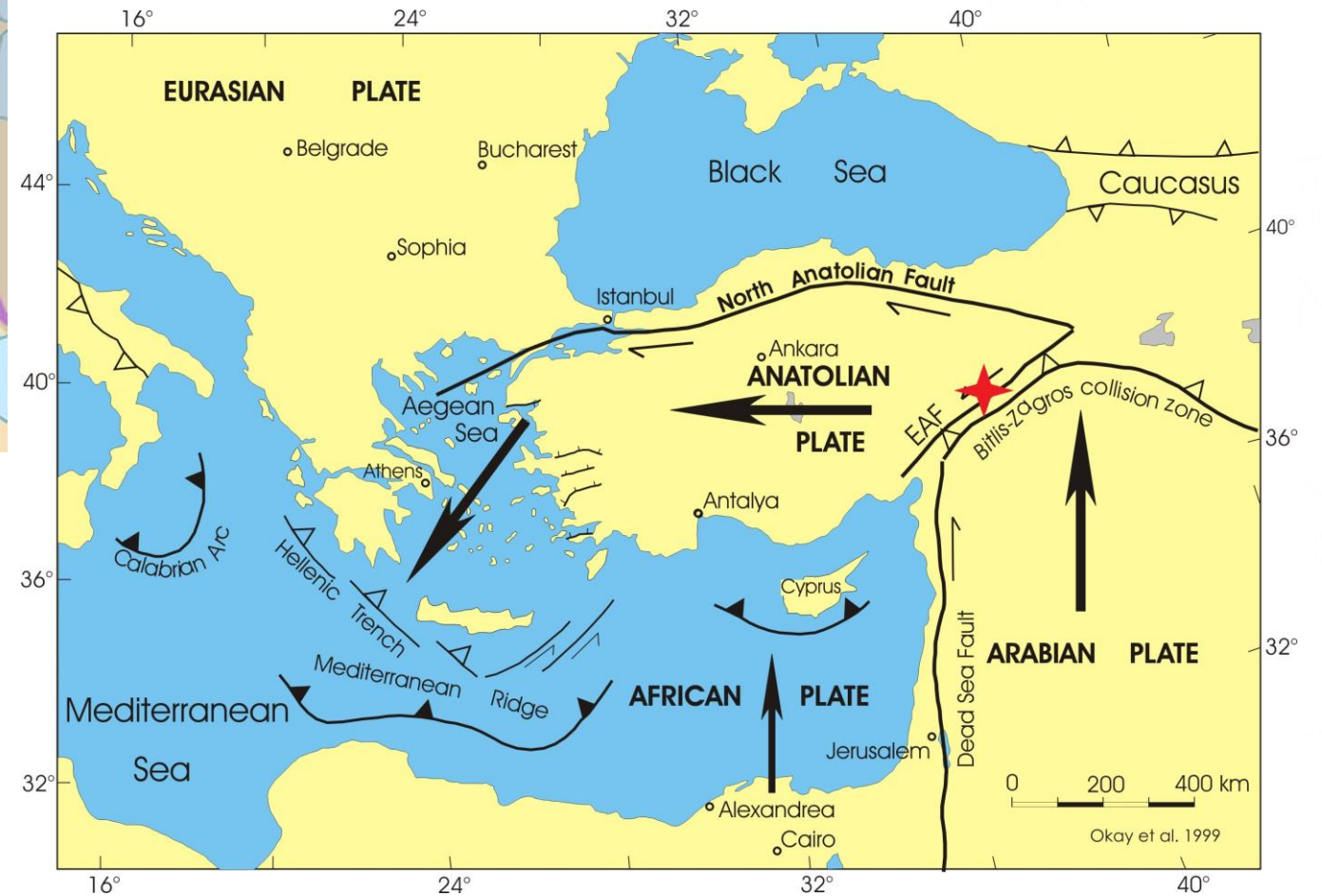
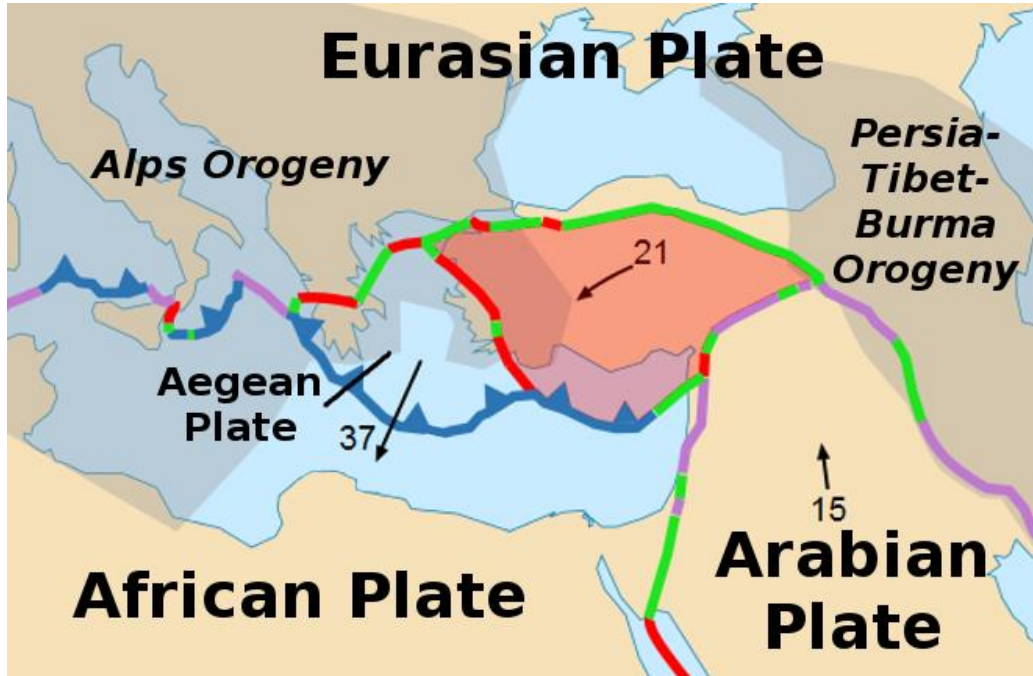
- Η Πλάκα Ανταρκτικής – 60,9 εκ. km²
- Η Αφρικανική Πλάκα – 61,3 εκ. km²
- Η Ευρασιατική Πλάκα – 67,8 εκ. km²
- Η Ινδο-Αυστραλιανή Πλάκα – 58,9 εκ. km²
- Η Πλάκα Βορείου Αμερικής – 75,9 εκ. km²
- Η Πλάκα Ειρηνικού Ωκεανού – 103 εκ. km²
- Η Πλάκα Νοτίου Αμερικής – 43 εκ. km²

Η Πλάκα Ειρηνικού Ωκεανού είναι μόνο ωκεάνια.

Η Νοτιο-Αμερικανική, η Βόρειο-Αμερικανική, η Αφρικανική και η Ευρασιατική είναι μεικτές (ωκεανοί και ήπειροι).



Λιθοσφαιρικές Διεργασίες

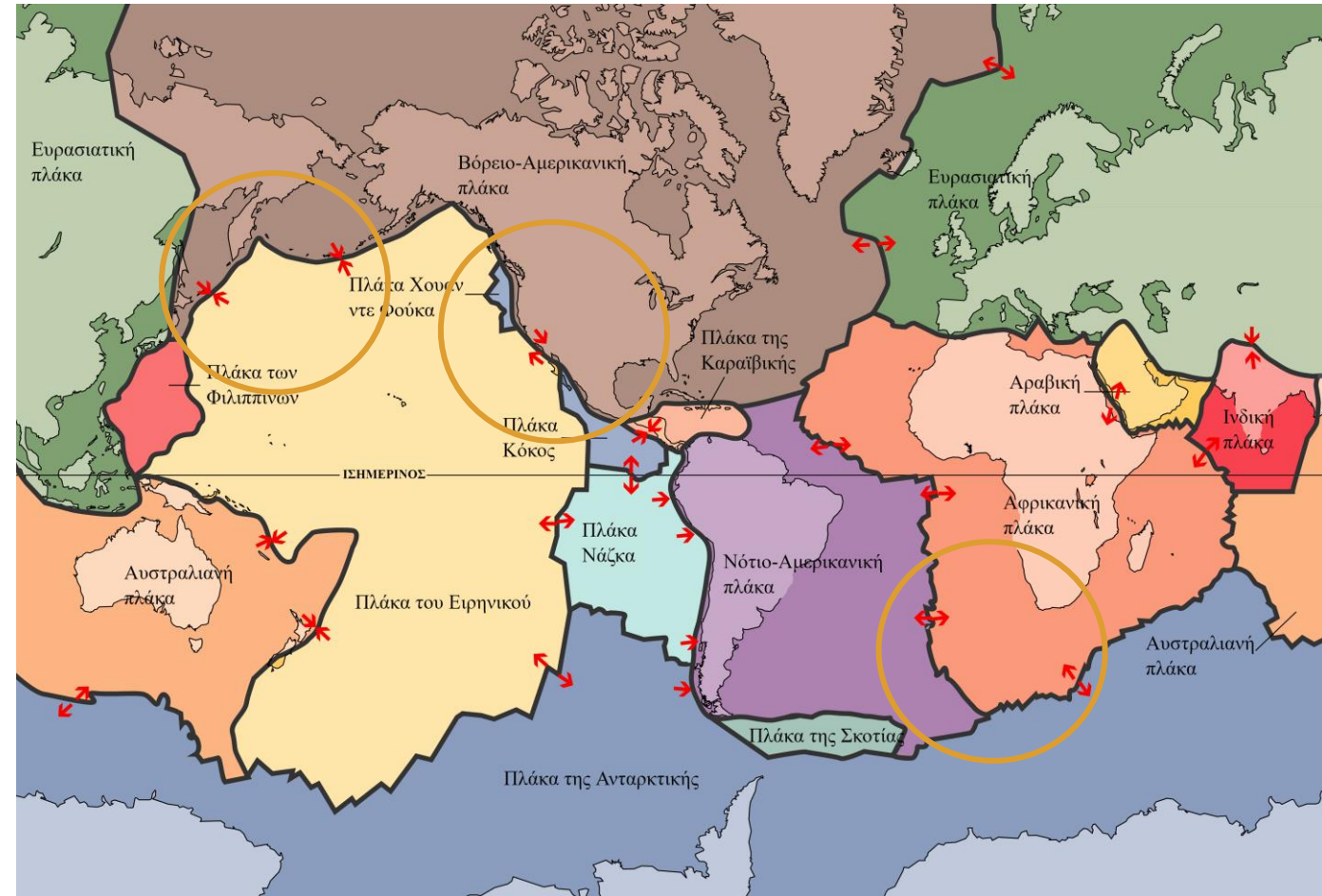


Λιθοσφαιρικές Πλάκες

Η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών διατυπώθηκε από τον Γερμανό A. Wegener (1914).

Επομένως τριών ειδών κινήσεις μπορούν να συμβούν στα όρια μεταξύ πλακών:

- να **αποκλίνουν**
- να **συγκλίνουν**
- να **κινείται παράλληλα** η μία σε σχέση με τη διπλανή της



Λιθοσφαιρικές Πλάκες

*Sliding Plate Over
Asthenosphere*



*a) Divergent
Plate Boundary*



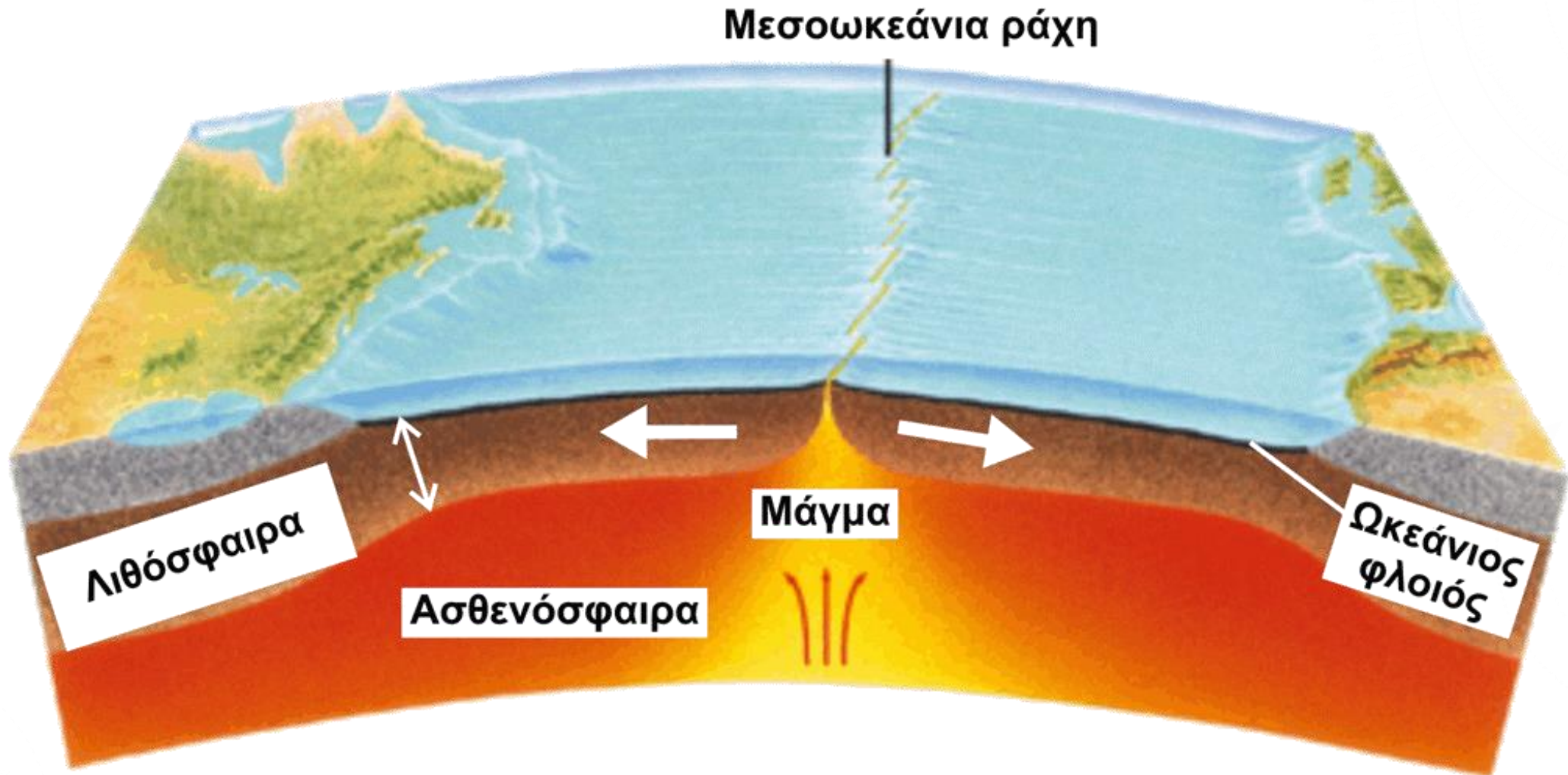
*b) Convergent
Plate Boundary*



*c) Transform
Plate Boundary*



Μοντέλο Λιθόσφαιρας – Ασθενόσφαιρας και η επίδρασή τους στην διαμόρφωση του ανάγλυφου της Γης

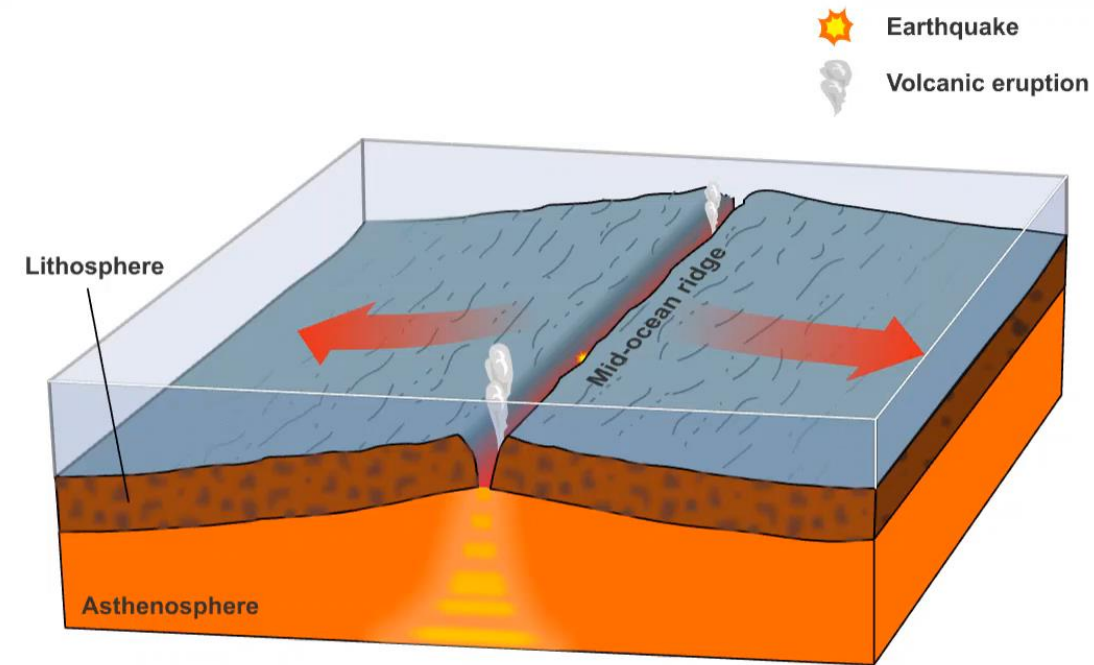


Ωκεάνιος Πυθμένας



Α. Περιοχές απόκλισης λιθοσφαιρικών πλακών

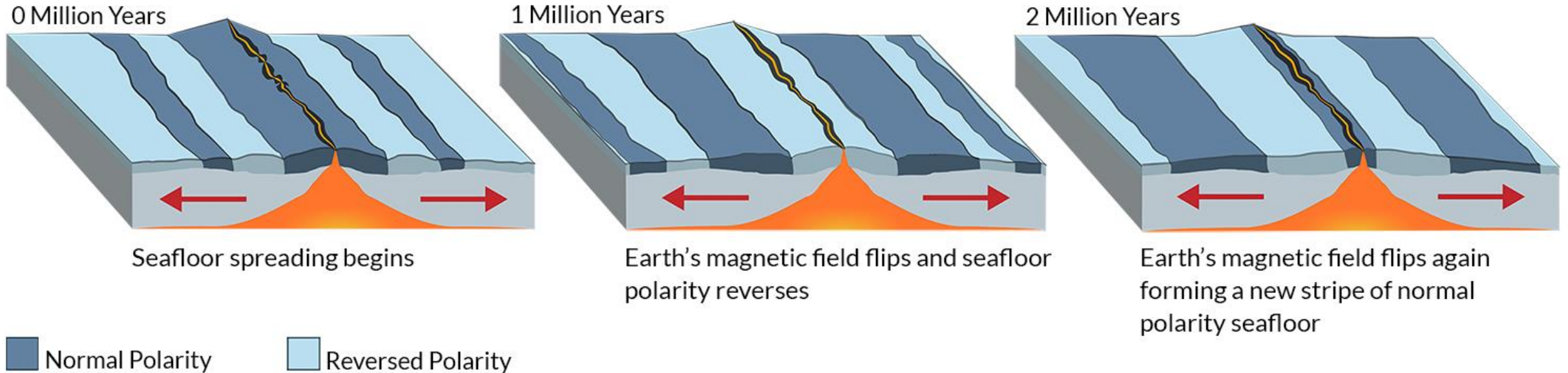
- Η διαδικασία αυτή συντελείται στις μεσοωκεάνιες ράχες των μεγάλων ωκεανών και οδηγεί σε **απομάκρυνση των πλακών κατά μερικά εκατοστά τον χρόνο και άνοδο μαγματικού υλικού**, το οποίο στη συνέχεια ψύχεται και δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα.
- Στο όριο αυτό δημιουργείται μια οροσειρά (**μεσοωκεάνια ράχη**), η οποία αποτελεί το τελευταίο αναδυόμενο πέτρωμα.
- **Καθώς ψύχεται το νέο πέτρωμα τα μαγνητικά του υλικά προσανατολίζονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου** την εποχή εκείνη.



Α. Περιοχές απόκλισης λιθοσφαιρικών πλακών

- Η διαδικασία αυτή συντελείται στις μεσοωκεάνιες ράχες των μεγάλων ωκεανών και οδηγεί σε **απομάκρυνση των πλακών κατά μερικά εκατοστά τον χρόνο και άνοδο μαγματικού υλικού**, το οποίο στη συνέχεια ψύχεται και δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα.
- Στο όριο αυτό δημιουργείται μια οροσειρά (**μεσοωκεάνια ράχη**), η οποία αποτελεί το τελευταίο αναδυόμενο πέτρωμα.
- **Καθώς ψύχεται** το νέο πέτρωμα **τα μαγνητικά του υλικά προσανατολίζονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου** την εποχή εκείνη.

Λιθοσφαιρικές Διεργασίες



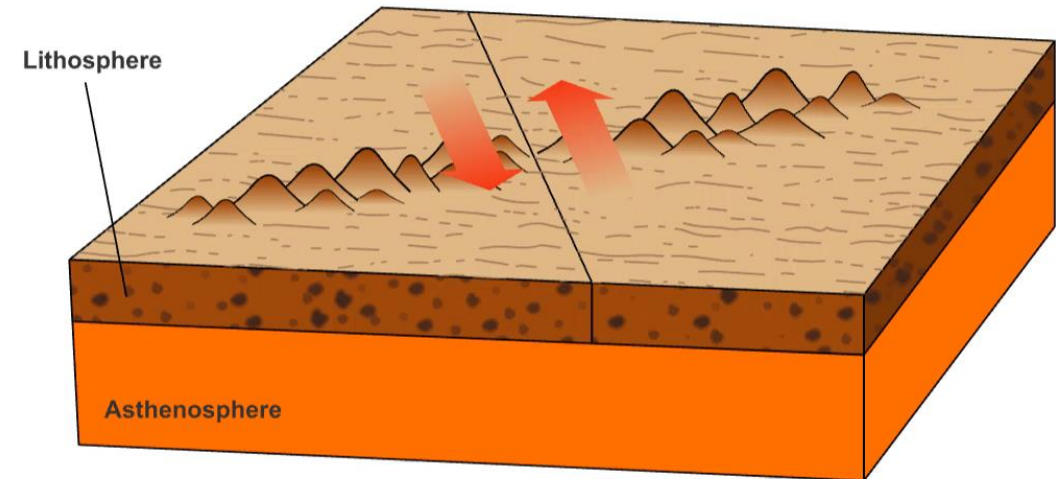
Κατά την στερεοποίηση του μάγματος τα σιδηρομαγνητικά συστατικά προσανατολίζουν τα μόριά τους με βάση το μαγνητικό πεδίο που επικρατούσε στην Γη την ώρα της ψύξης τους. Το κανονικό μαγνητικό πεδίο έχει τον Μαγνητικό Βορρά στην περιοχή του Γεωγραφικού Βόρειου Πόλου. Το ανάστροφο μαγνητικό πεδίο έχει τον Μαγνητικό Βορρά κοντά στον Γεωγραφικό Νότιο Πόλο.

Γ. Περιοχές παράλληλης ολίσθησης

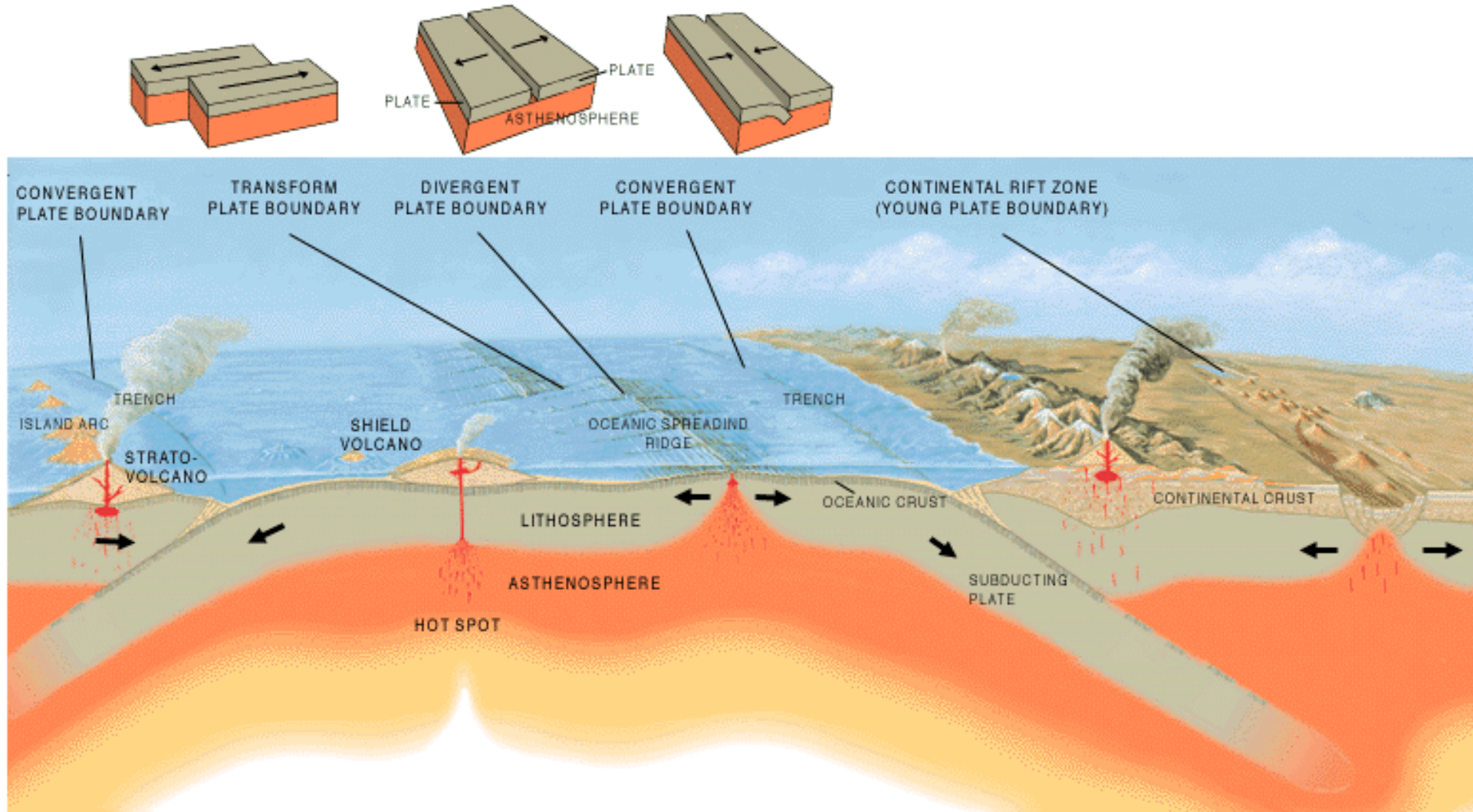
- Στις περιοχές που ολισθαίνουν οριζόντια η μία πλάκα σε σχέση με την άλλη χωρίς να συγκρούονται ή να αποχωρίζονται, η **κίνηση γίνεται κατά μήκος κατακόρυφων ρηγμάτων μετασχηματισμού**.
- Τα όρια αυτά όπου έχουμε μόνο οριζόντια κίνηση λέγονται **ζώνες θραύσης** (ή ρήγματα μετασχηματισμού).
- Εκεί οι σεισμοί είναι συχνό φαινόμενο λόγω της τριβής ανάμεσα στα όρια των πλακών.



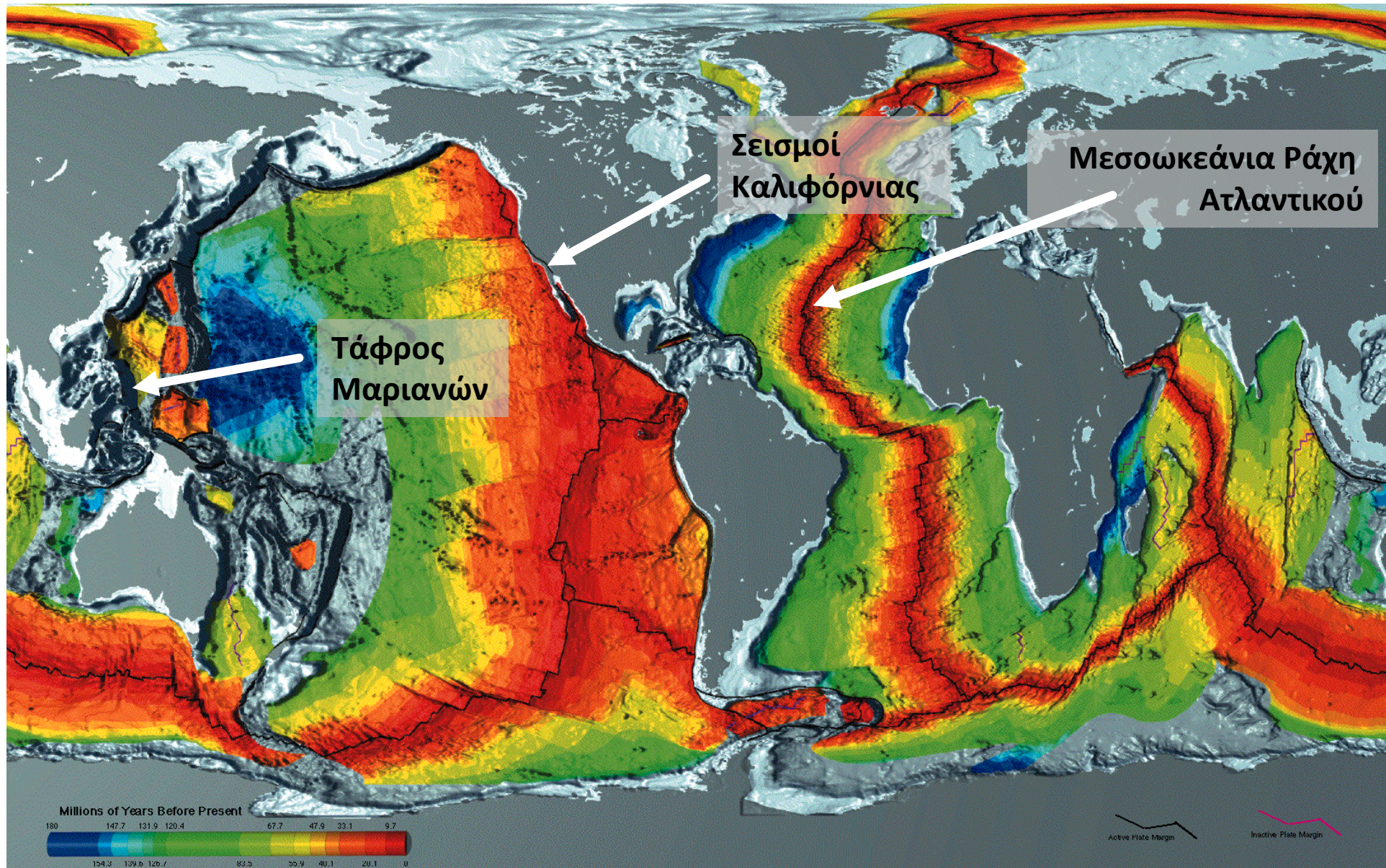
Earthquake



Ωκεάνιος Πυθμένας

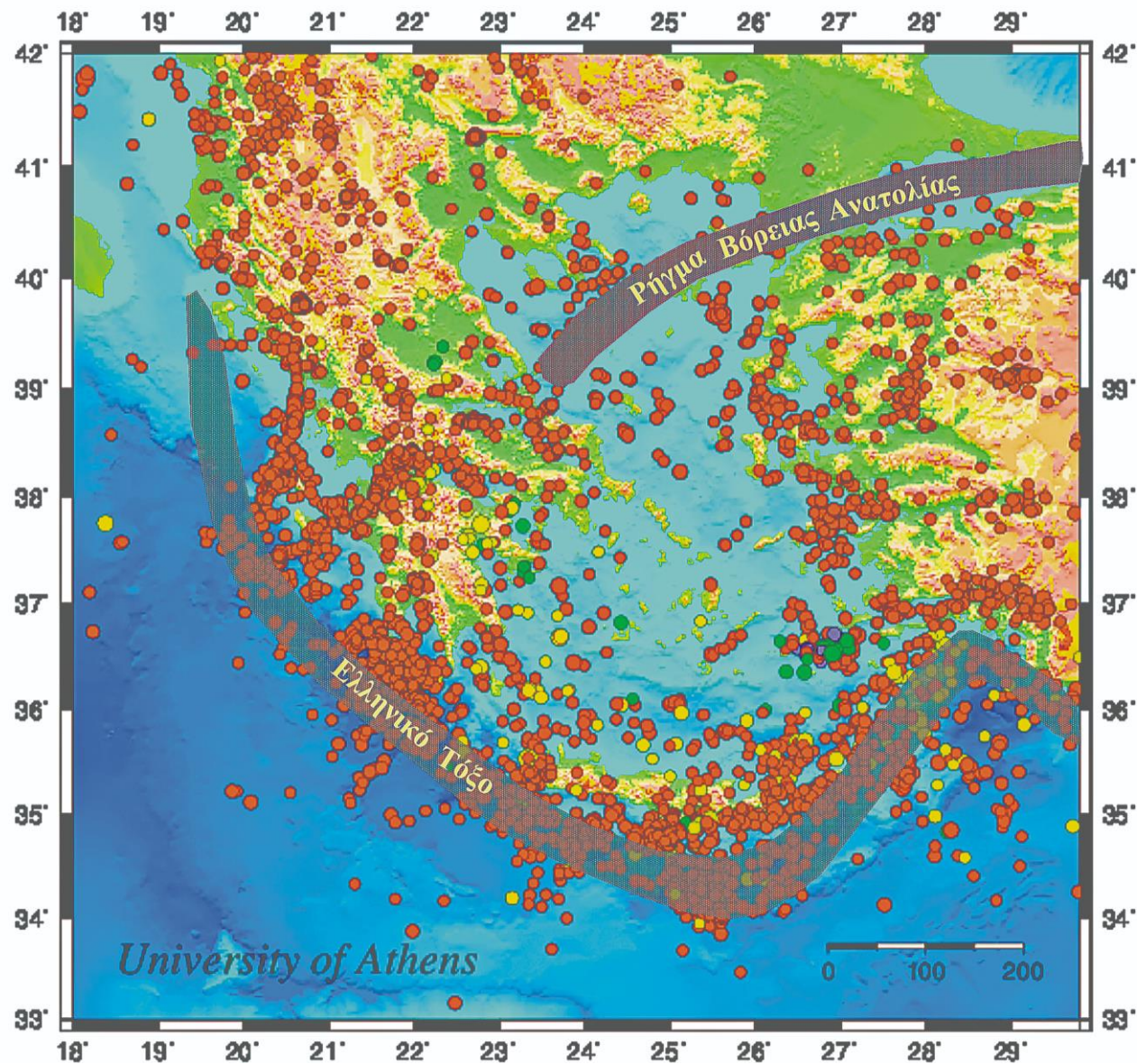
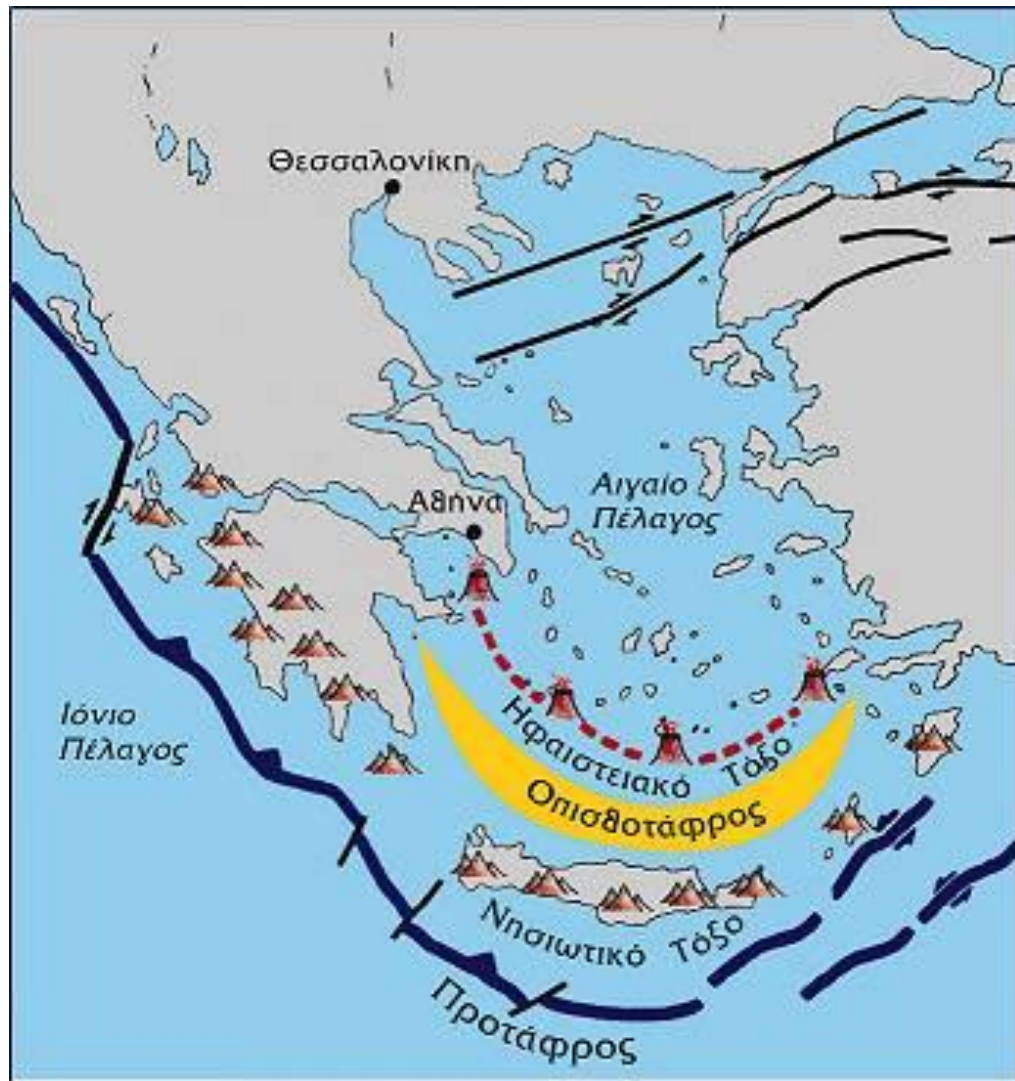


Λιθοσφαιρικές Διεργασίες

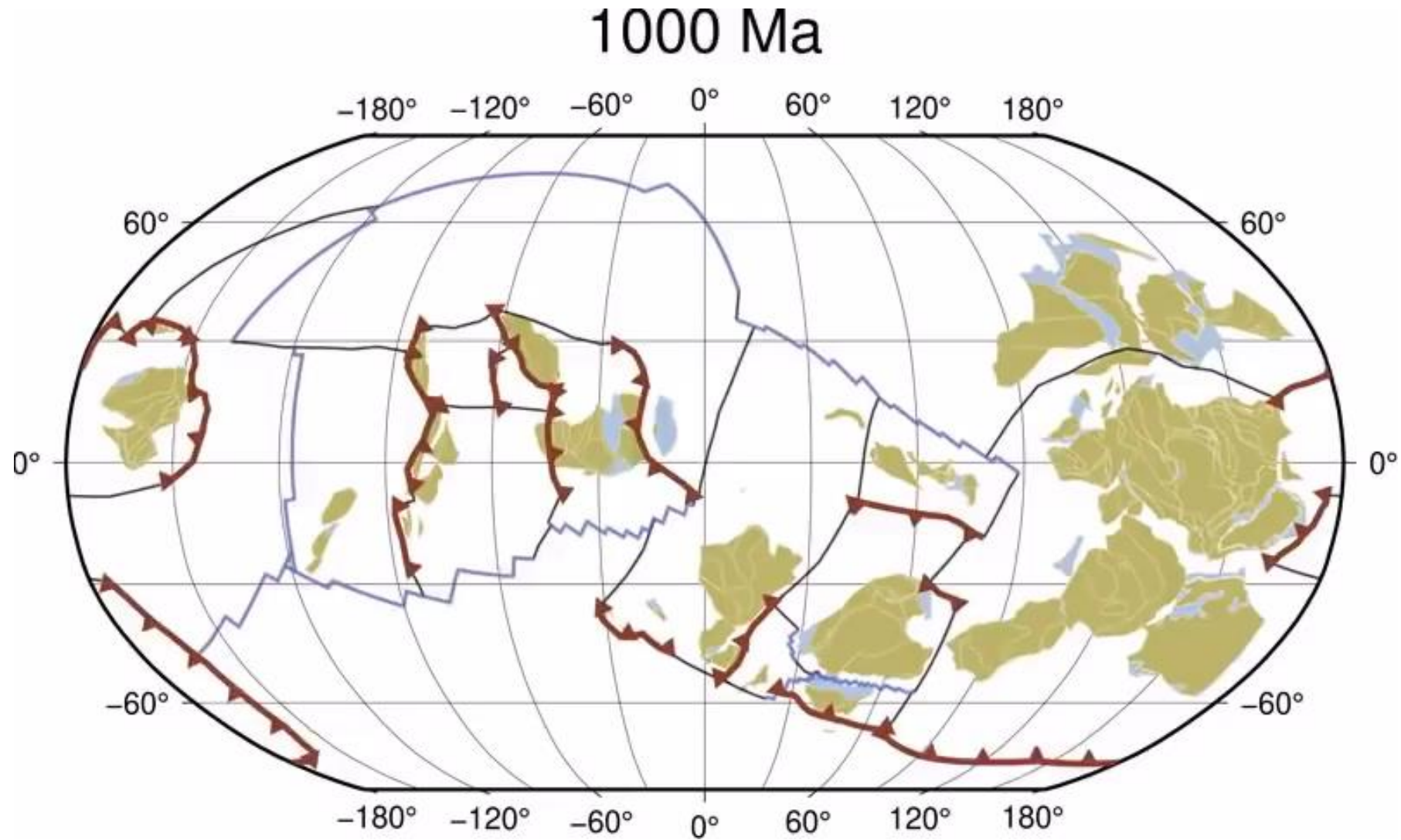




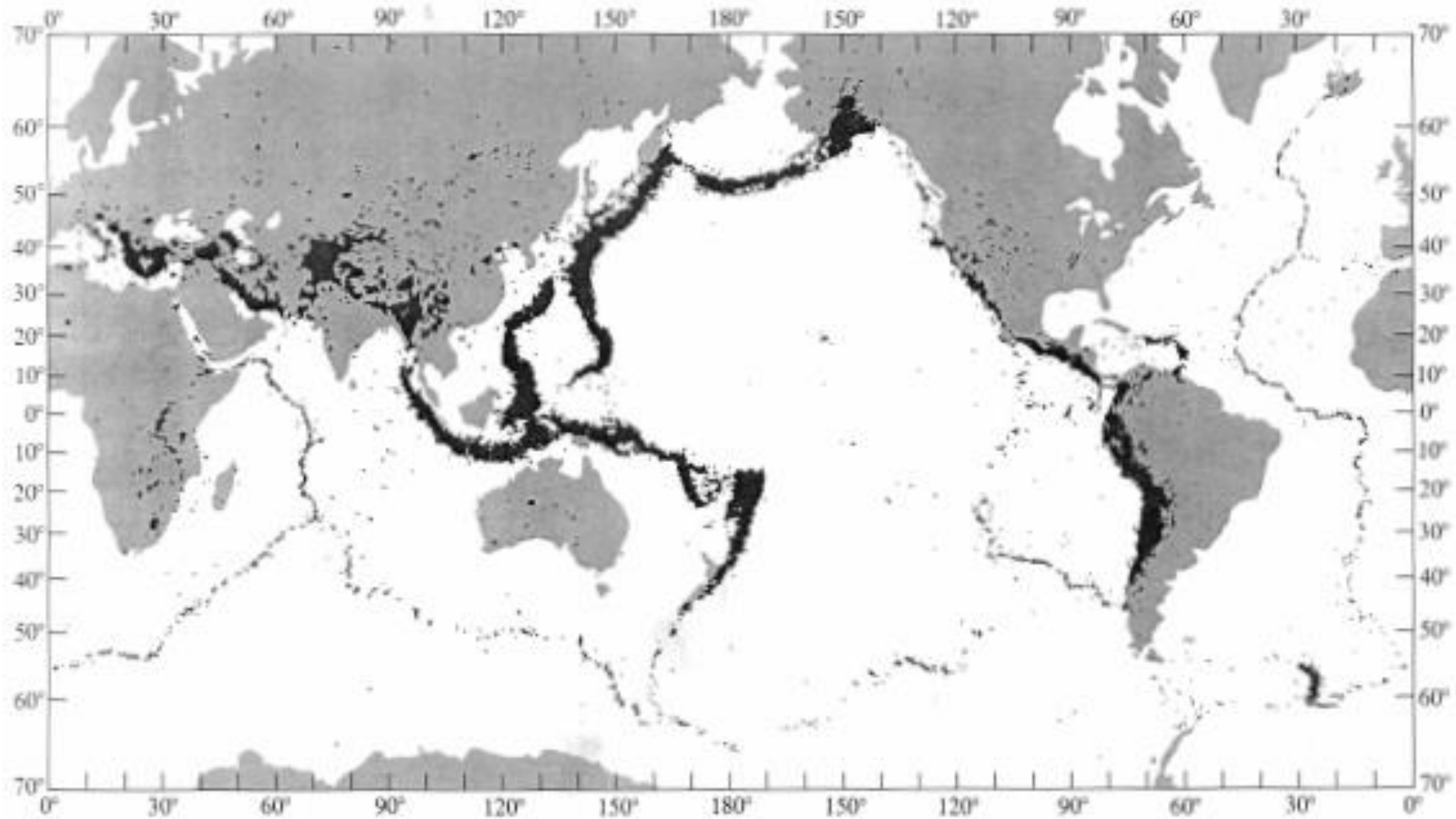
Λιθοσφαιρικές Διεργασίες



Γήινα συστήματα και κύκλοι - Πετρολογικός



Ωκεάνιος Πυθμένας



Ωκεάνιος Πυθμένας

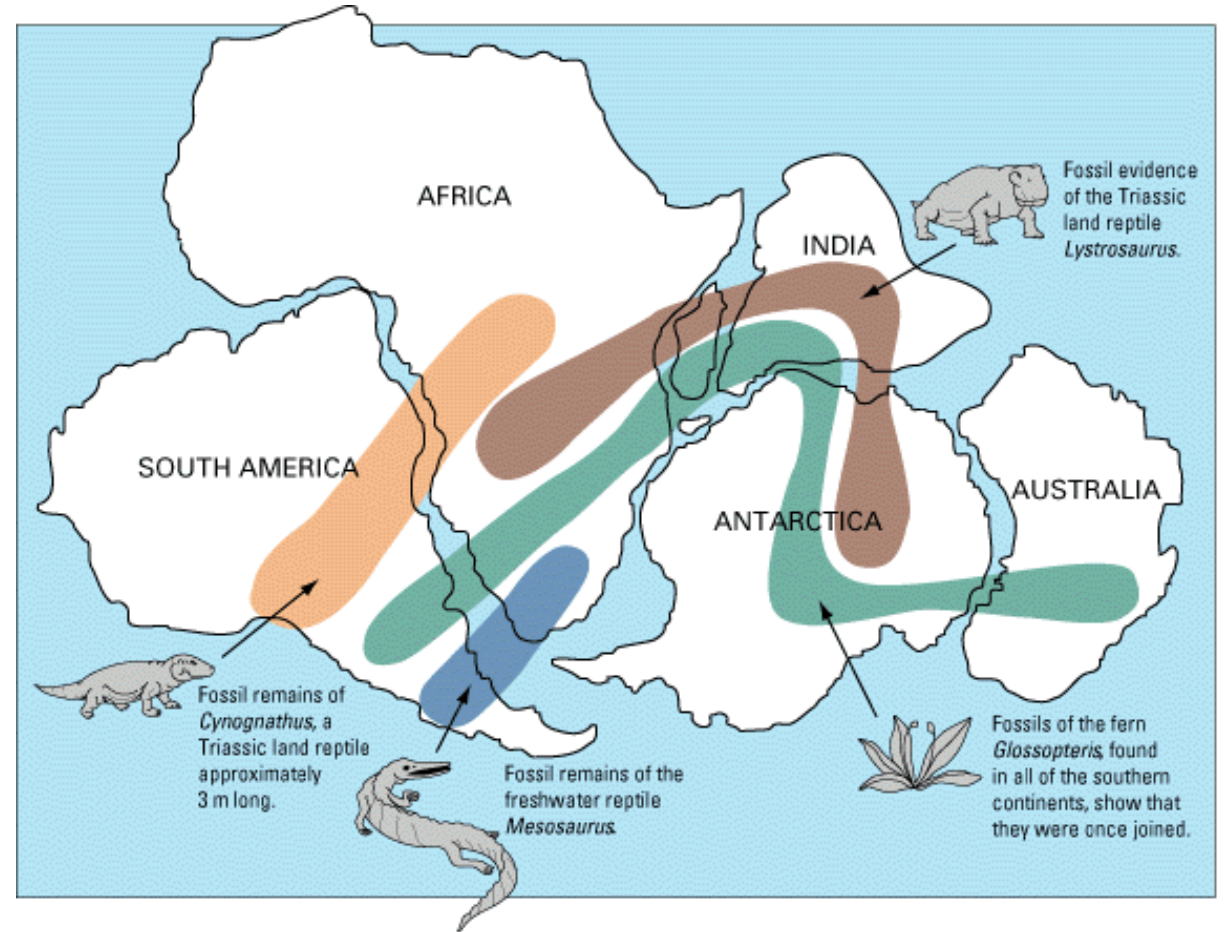
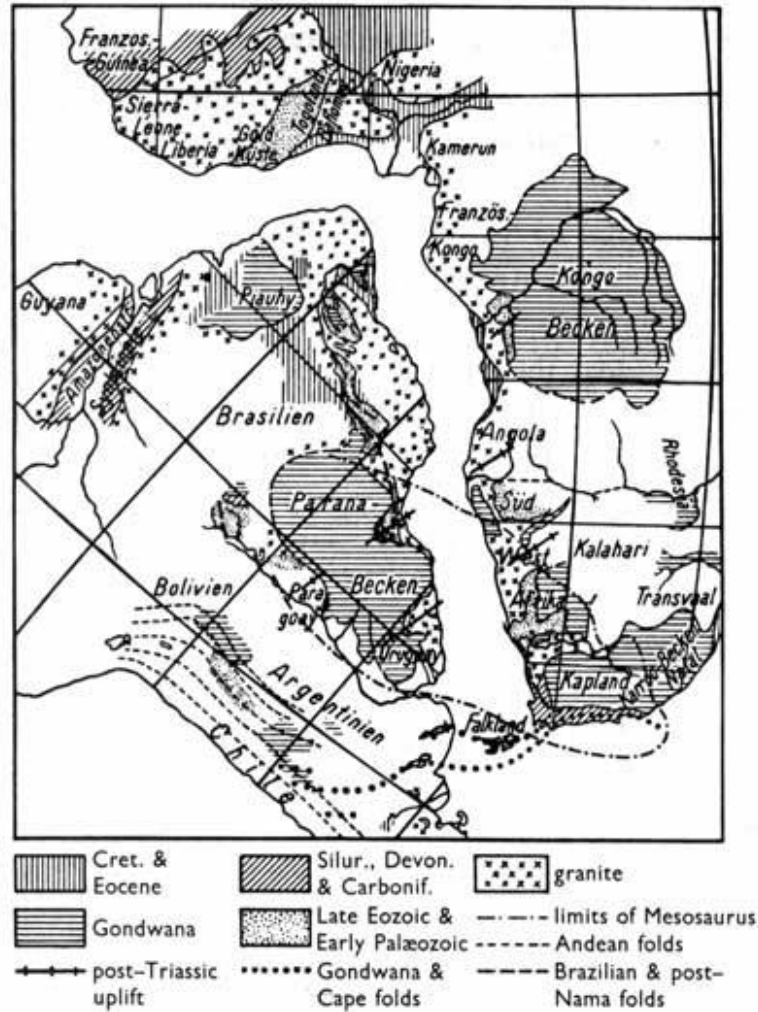


FIG. 18. Former relative position of South America and Africa, according to du Toit.

Γεωλογία είναι η **επιστήμη** που μελετά την **εξέλιξη** της **Γης** στη **διάρκεια** του **Γεωλογικού Χρόνου**

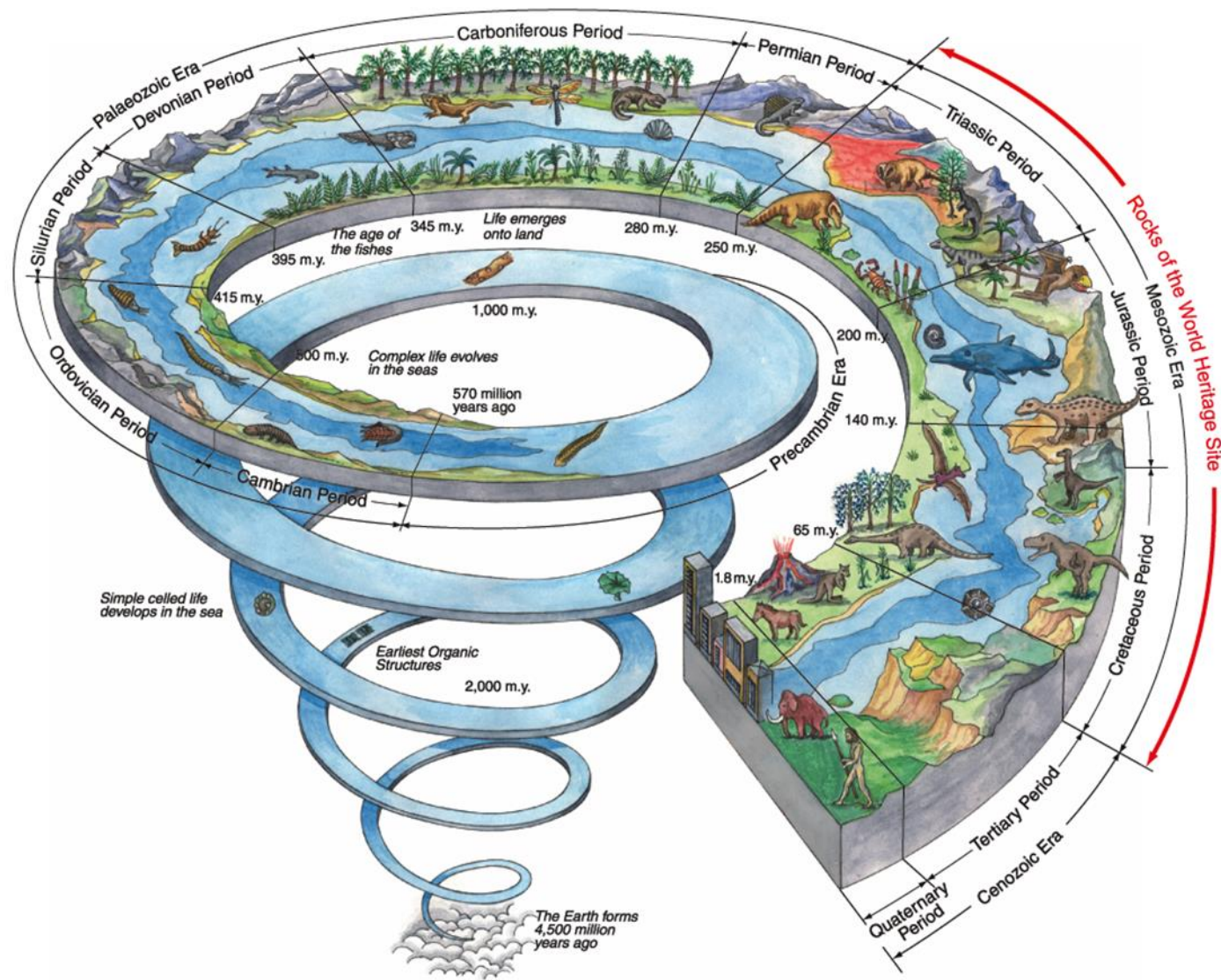
➤ Χρόνος και Χώρος

- Έχουν **μεγάλη διάρκεια**
- Τα **γεωλογικά φαινόμενα εξελίσσονται σε διαφορετικές διαστάσεις** (mm έως km)
- **Μελετώνται σε όλα τα μήκη και πλάτη** της γης

➤ Υπόθεση ομοιομορφισμού

Τα περισσότερα γεωλογικά φαινόμενα θα μπορούσαν να γίνουν κατανοητά μέσω προσεκτικών παρατηρήσεων των σύγχρονων διεργασιών και όλες οι γεωλογικές διεργασίες που δρούσαν στο παρελθόν δρουν επίσης και σήμερα

➤ Πειράματα και Παρατήρηση



Γεωλογικός Χρόνος

Αιώνας	Περίοδος	Εποχές	Κύρια Χαρακτηριστικά	Έτη πριν από Σήμερα
ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟΣ	Πέρμιο		Εξαφάνιση των περισσότερων ειδών θαλάσσιας ζωής, Νότια Παγετώδης περίοδος	280 εκατ. Έτη
	Λιθανθρακοφόρο	Πενσυλβάνιο	Μεγάλα δάση κωνοφόρων, εμφάνιση ερπετών	310 εκατ. Έτη
		Μισσισίπιο	Καρχαρίες και αμφίβια, μεγάλα δένδρα.	345 εκατ. Έτη
	Δεβόνιο		Πρώιμα αμφίβια, αμμωνίτες και ψάρια	405 εκατ. Έτη
	Σιλούριο		Πρώτα χερσαία φυτά και ζώα	425 εκατ. Έτη
	Ορδοβίσιο		Πρώιμα ψάρια και ασπόνδυλα	500 εκατ. Έτη
	Κάμβριο		Πρώιμη εμφάνιση θαλάσσιας ζωής, τριλοβίτες	600 εκατ. Έτη
	Πρόκαμβριο		Πολύ σπάνια απολιθώματα από πρωτόγονα θαλάσσια φυτά, παρουσία παγετώνων, παλαιότερη εμφάνιση άλγης	Έως 4,6 δισεκατ. Έτη



Γεωλογικός Χρόνος

Αιώνας	Περίοδος	Εποχές	Κύρια Χαρακτηριστικά	Έτη πριν από Σήμερα	
ΚΑΙΝΟΖΩΪΚΟΣ	Τεταρτογενές	Σύγχρονη	Σύγχρονος Άνθρωπος	11.000 έτη	
		Πλειστόκαινο	Πρωτόγονος Άνθρωπος, Παγετώδης περίοδος	2 εκατ. Έτη	
	Τριτογενές	Πλειόκαινο	Μεγάλα θηλαστικά	13 εκατ. Έτη	
		Μειόκαινο	Πρώτα σαρκοφάγα θηλαστικά	25 εκατ. Έτη	
		Ολιγόκαινο	Μεγάλα θηλαστικά με δυνατότητα κίνησης	36 εκατ. Έτη	
		Ιώκαινο	Εμφάνιση σύγχρονων θηλαστικών	58 εκατ. Έτη	
		Παλαιόκαινο	Πρώτα θηλαστικά στην Γη	63 εκατ. Έτη	
	ΜΕΣΟΖΩΪΚΟΣ	Κρητιδικό		Πρώιμα φυτά με ανθοφορία, σημαντική εξάπλωση δεινοσαύρων	135 εκατ. Έτη
		Ιουρασικό		Πρώιμα πουλιά, θηλαστικά, δεινόσαυροι και αμμωνίτες	180 εκατ. Έτη
		Τριαδικό		Πρώιμοι δεινόσαυροι, φοινικόθαμνοι και κωνοφόρα δένδρα	230 εκατ. Έτη



Γεωλογικός Χρόνος και Αλλαγές στην Λιθόσφαιρα



Ediacaran

www.science-wars.com

(animations courtesy of ARC Science Center)

Υπερπληθυσμός - Αύξηση ανθρώπινου πληθυσμού

Το υπ' αριθμόν ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα

- Για το μεγαλύτερο μέρος της ανθρώπινης ιστορίας, οι αριθμοί μας ήταν μικροί, όπως ήταν και οι επιπτώσεις μας στη Γη
- Με την έλευση:
 - της γεωργίας
 - της υγιεινής
 - της σύγχρονης ιατρικής
 - των φθηνών πηγών ενέργειας, (π.χ. πετρέλαιο),

έχουμε πολλαπλασιαστεί σε σημείο όπου οι αριθμοί μας είναι ένα πρόβλημα.

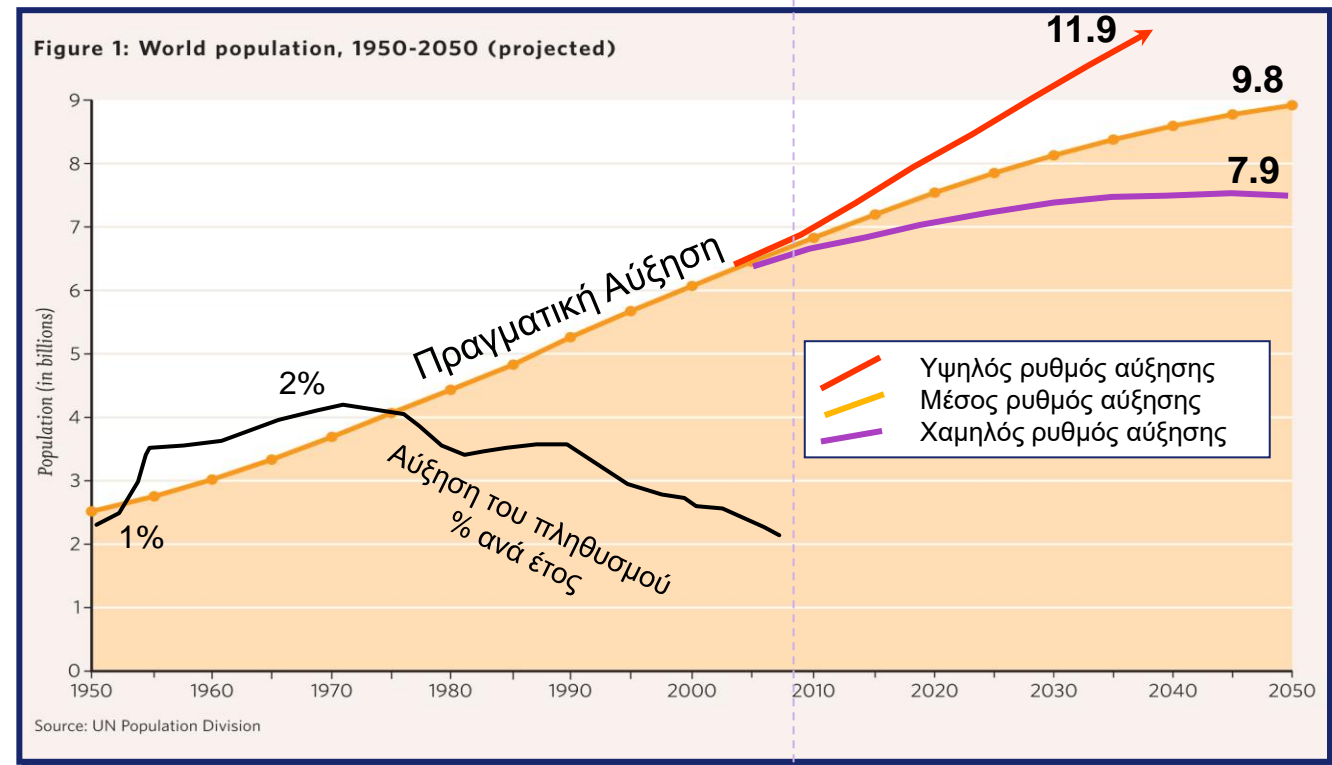
Υπερπληθυσμός

- 1830 - 1930, ο παγκόσμιος πληθυσμός διπλασιάστηκε (2 δισεκατομμύρια)
- Μέχρι το 1970 σχεδόν διπλασιάστηκε πάλι
- το έτος 2000, υπήρχαν στη γη 6 δισεκατομμύρια άνθρωποι

Εκθετική αύξηση των ανθρώπων σημαίνει ότι ένα σταθερό ποσοστό του σημερινού πληθυσμού προστίθεται κάθε χρόνο

Υπάρχουν δύο σημαντικές πτυχές της εκθετικής αύξησης:

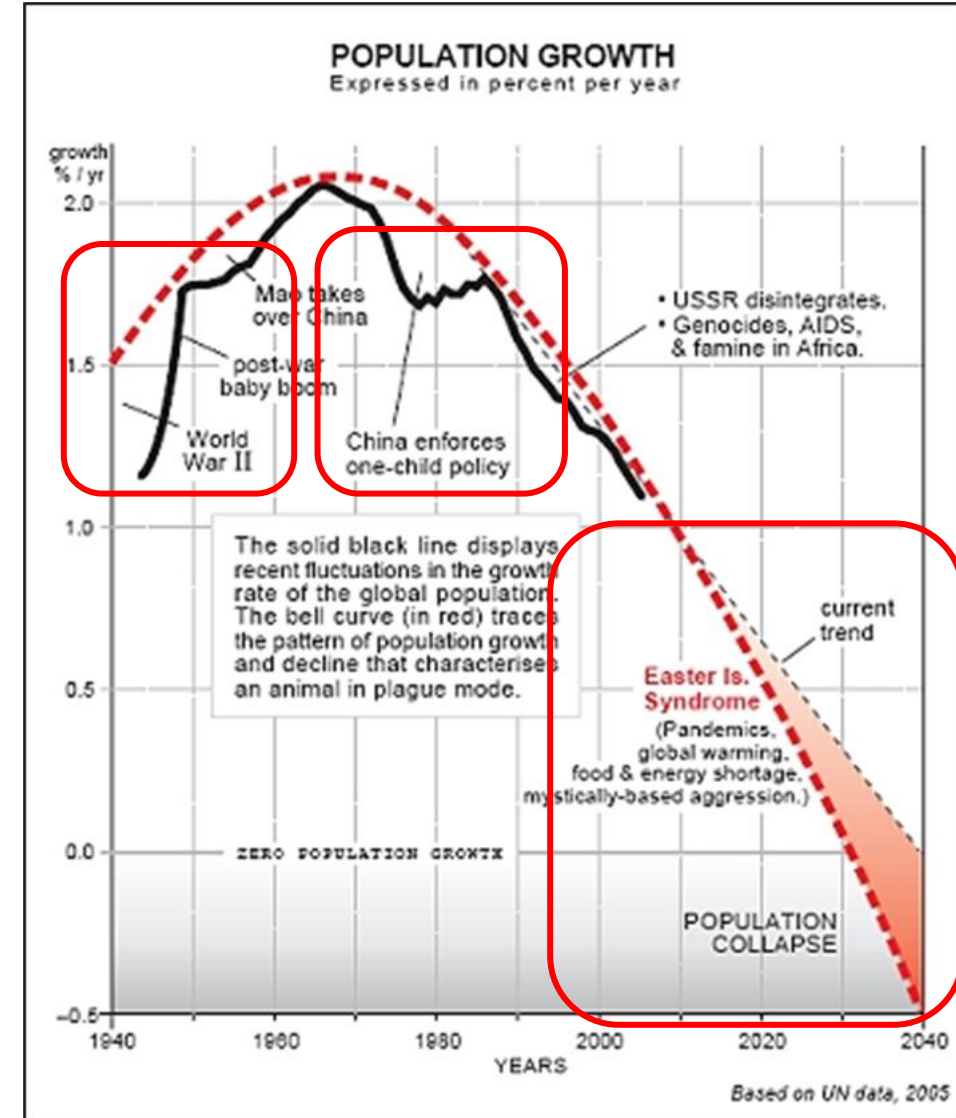
- Ο ρυθμός αύξησης, μετρούμενος ως ποσοστό
- Ο χρόνος διπλασιασμού του πληθυσμού



$$D = \frac{70}{G}$$

Υπερπληθυσμός

- Η **εφαρμογή πολιτικών** μείωσης του πληθυσμού, **οι πανδημίες**, η **έλλειψη τροφίμων**, η **μόλυνση** των υδάτων και της ατμόσφαιρας και η **υπερθέρμανση του πλανήτη** αρχίζουν να μειώνουν την αύξηση του πληθυσμού και μάλιστα
- Κάθε έτος **1.7 δις** μπαίνουν στην **“καταναλωτική τάξη”** με αποτέλεσμα το **περιβάλλον να μην αντέχει αυτό το είδος τρόπου ζωής**



Υπερπληθυσμός

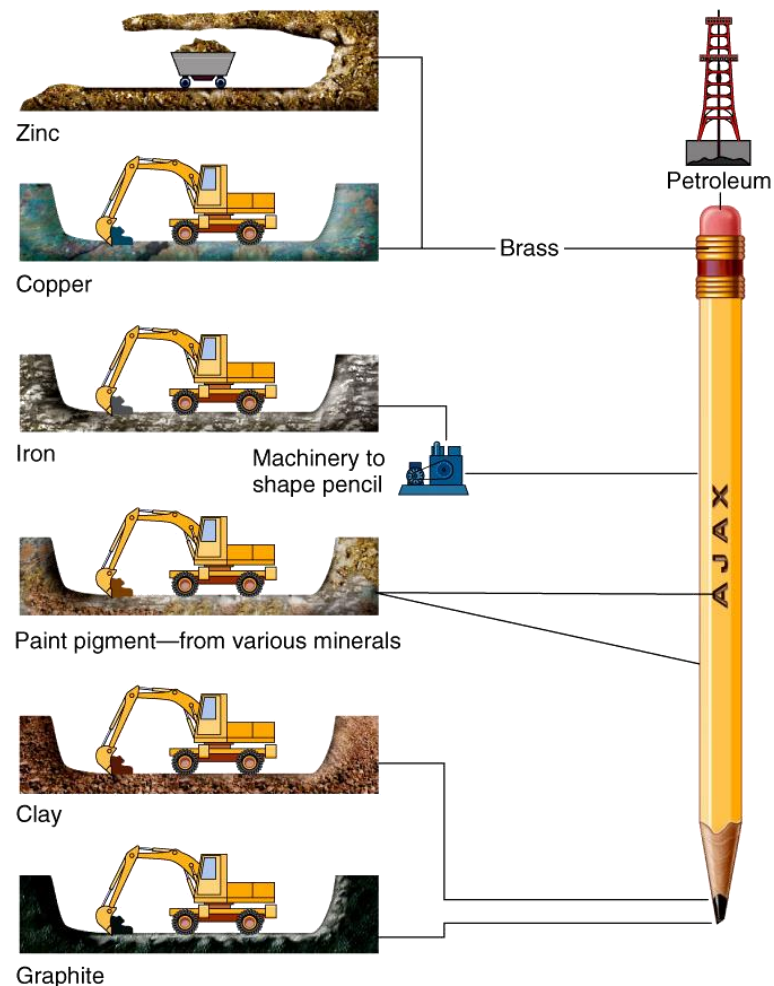
Ένα πλήθος πόρων χρειάζεται απλά για την κατασκευή ενός μολυβιού.

- πετρέλαιο
- ψευδάργυρος
- σίδηρος
- μπογιές
- πηλός
- γραφίτης
- νερό

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους ανθρώπους εκτιμώνται από την επίπτωση ανά άτομο επί τον συνολικό αριθμό των ανθρώπων

**αυξάνεται πληθυσμός → υπερκατανάλωση → μείωση των διαθέσιμων υλικών →
→ αυξάνονται και οι συνολικές επιπτώσεις**

Γεωλογία – Περιβαλλοντική Κρίση



Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

- ▶ Υπερ-εκμετάλλευση πρώτων υλών
- ▶ Ρύπανση περιβάλλοντος
- ▶ Αλλαγή φυσικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας
- ▶ Υπερ-εκμετάλλευση της επιφάνειας της γης
- ▶ Τροποποίηση του ανάγλυφου της γης



1^η Έννοια: η Γη ως σύστημα

"Η Γη είναι ένα κλειστό σύστημα. Η κατανόηση των ρυθμών αλλαγής και ανατροφοδότησης των συστημάτων έχει μεγάλη σημασία για την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων"

Σύστημα

είναι κάθε οριοθετημένο τμήμα του σύμπαντος που έχουμε επιλέξει για μελέτη ή παρατήρηση των αλλαγών που συμβαίνουν κάτω από διάφορες συνθήκες (π.χ. πλανήτης, ηφαίστειο, ωκεάνια λεκάνη, ποτάμι)

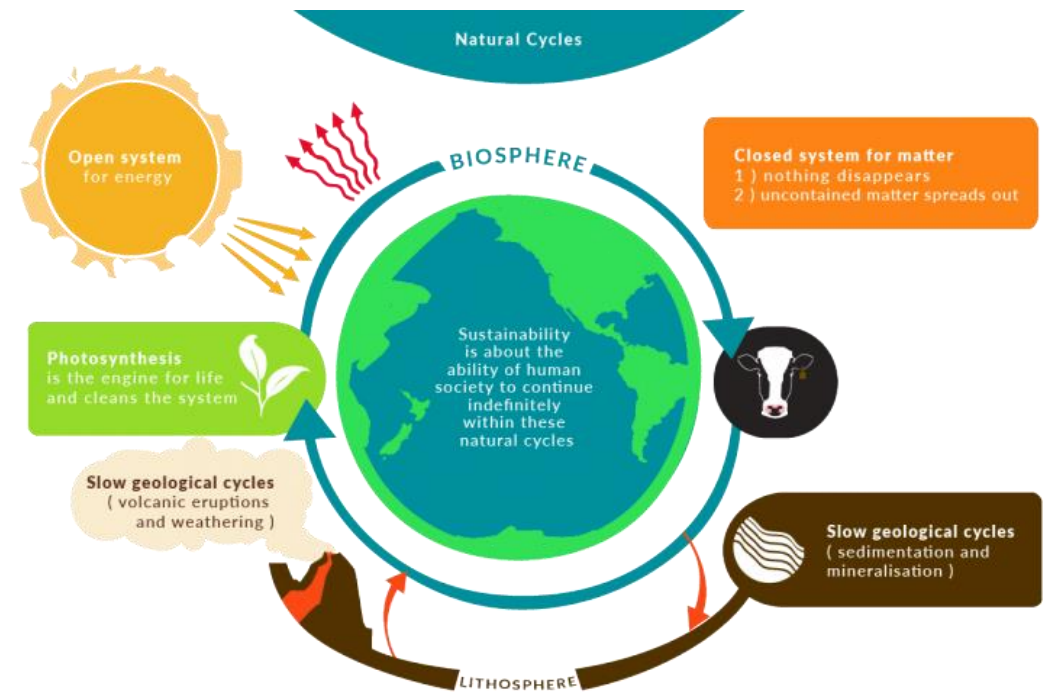
- τα περισσότερα **συστήματα περιέχουν** διάφορα **συστατικά μέρη** που **αμοιβαία διευθετούνται** για να **λειτουργήσουν ως ένα σύνολο**
- **αλλαγές σε ένα συστατικό μέρος να επιφέρουν μεταβολές σε άλλα συστατικά μέρη** (π.χ. νερό, γη, ατμόσφαιρα, ζωή διευθετούνται αμοιβαία, βοηθώντας να διατηρηθεί ολόκληρο το γήινο σύστημα σε λειτουργία)

Περιβαλλοντική Γεωλογία – Θεμελιώδεις Έννοιες

Είναι γνωστό, ότι η γη δεν είναι αμετάβλητη, αλλά είναι ένα δυναμικό και εξελισσόμενο σύστημα, μέσα στο οποίο ύλη και ενέργεια διαρκώς αλλάζουν.

Θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν ένα **ανοικτό σύστημα** χωρίς ενεργειακά και υλικά σύνορα, επειδή ο ήλιος μεταδίδει ενέργεια προς τη γη και η γη ακτινοβολεί ενέργεια πίσω στο διάστημα, οι μετεωρίτες πέφτουν στον πλανήτη και γήινα υλικά διαφεύγουν στο διάστημα.

Λόγω των **φυσικών κύκλων της γης**, όπως ο υδρολογικός και ο πετρολογικός, στους οποίους **υπάρχει συνεχής ανακύκλωση των υλικών** η γη μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα **κλειστό σύστημα**, ή στην πραγματικότητα, σαν μια συσσώρευση ενός μεγάλου αριθμού κλειστών συστημάτων.



Ανάλυση εισροών - εκροών: Σημαντική μέθοδος για την **ανάλυση της αλλαγής** στα συστήματα

1. Όταν οι **εισροές στο σύστημα είναι ίσες με τις εκροές** (εγκαθιδρύεται μια γενική σταθερή κατάσταση και καμία καθαρή αλλαγή δεν συμβαίνει)

Παράδειγμα:

- ένα πανεπιστήμιο στο οποίο οι φοιτητές εγγράφονται ως πρωτοετείς και παίρνουν πτυχίο πέντε χρόνια αργότερα με σταθερό ρυθμό η ομάδα των φοιτητών παραμένει σταθερή στον αριθμό
- Η γη είναι ένα σύστημα σχεδόν σταθερής κατάστασης σε σχέση με την ενέργεια: η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία εξισορροπείται κατά προσέγγιση από την εξερχόμενη από τη Γη ακτινοβολία

Ανάλυση εισροών - εκροών

2. οι **εισροές** στο σύστημα είναι **μικρότερες από τις εκροές**

Παράδειγμα:

- η χρήση ορυκτών καυσίμων ή υπόγειων υδάτων (χρησιμοποιούνται μέχρι εξάντλησης)
- η συγκομιδή ορισμένων φυτών ή ζώων (εξαφανίζονται)

3. οι **εισροές** στο σύστημα **υπερβαίνουν τις εκροές** (το απόθεμα για οτιδήποτε μετριέται θα αυξηθεί)

Παράδειγμα:

- η συσσώρευση βαρέων μετάλλων σε λίμνες από βιομηχανική ρύπανση ή
- η ρύπανση εδάφους και υδάτων

Πώς μπορούμε να αξιολογήσουμε την αλλαγή;

Για την αξιολόγηση του ρυθμού μεταβολής ή τις εισροές και εκροές ενός συγκεκριμένου υλικού προς/από ένα σύστημα, **μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο χρόνο παραμονής στο σύστημα**

$$T = \frac{S}{F}$$

όπου: **S** το συνολικό μέγεθος του αποθέματος του υλικού, **F** ο μέσος ρυθμός μεταφοράς εντός & εκτός του συστήματος

Παράδειγμα:

- ένας ταμιευτήρας περιέχει 100 εκατ. m³ νερού, οι μέσες εισροές από υδρορεύματα στον ταμιευτήρα και οι μέσες εκροές μέσω του υπερχειλιστή είναι 1 m³/sec, τότε ο μέσος χρόνος παραμονής για 1 m³ νερού στον ταμιευτήρα είναι 100 εκατ. δευτ. ή 3,2 χρόνια

Περιβαλλοντική Γεωλογία – Θεμελιώδεις Έννοιες

Η κατανόηση των μεταβολών των συστημάτων είναι πρωταρχικής σημασίας για πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα, επειδή πολύ μικροί ρυθμοί αύξησης ενδέχεται να αποδώσουν εντυπωσιακά μεγάλους αριθμούς σε μέτρια χρονικά διαστήματα.

Με τον υπολογισμό των ρυθμών μεταβολής και χρόνου παραμονής μπορούν να διατυπωθούν προγνώσεις σχετικά με τη διαχείριση πλουτοπαραγωγικών πηγών.

Γήινα Υλικά	Μερικοί Τυπικοί Χρόνοι Παραμονής
<i>Ατμόσφαιρα</i>	
Υδρατμοί	10 μέρες (κατώτερη ατμόσφαιρα)
Διοξείδιο του άνθρακα	5 - 10 μέρες
Μόρια αιωρούμενων ουσιών	
Στρατόσφαιρα (ανώτερη ατμόσφαιρα)	Μερικοί μήνες - έτη
Τροπόσφαιρα (κατώτερη ατμόσφαιρα)	Μία - μερικές εβδομάδες
<i>Υδρόσφαιρα</i>	
Επιφανειακό νερό Ατλαντικού	10 έτη
Βαθύ νερό Ατλαντικού	600 έτη
Επιφανειακό νερό Ειρηνικού	25 έτη
Βαθύ νερό Ειρηνικού	1300 έτη
Υπόγειο νερό	150 έτη (πάνω από βάθος 760 μέτρα)
<i>Βιοσφαιρική κυκλοφορία¹</i>	
Υδωρ	2×10^6 έτη
Οξυγόνο	2.000 έτη
Διοξείδιο του άνθρακα	300 έτη
<i>Συστατικά του θαλασσινού νερού¹</i>	
H ₂ O	44.000 έτη
Όλα τα άλατα	22×10^6 έτη
Ιόντα ασβεστίου	1.2×10^5 έτη
Ιόντα θείου	11×10^6 έτη
Ιόντα Νατρίου	260×10^6 έτη
Ιόντα χλωρίου	Απειρο

2^η Έννοια: Περιορισμένοι πόροι

"Η γη είναι το μόνο φυσικό περιβάλλον και οι πόροι της είναι περιορισμένοι"

Θα **χρειαστεί** μιας τεράστιας κλίμακας ανακύκλωση πολλών υλικών και ένα σημαντικό μέρος του προβλήματος διάθεσης των στερεών και υγρών αποβλήτων θα επιλυθεί, αν αυτά ανακυκλωθούν. Με άλλα λόγια, πολλά προϊόντα που τώρα θεωρούνται ρυπαντές, στο μέλλον θα θεωρούνται ως ανεκμετάλλευτοι πόροι.

Υπάρχουν δύο αντίθετες θεωρίες για τους φυσικούς πόρους.

1. Η πρώτη υποστηρίζει ότι **δεν είναι πρόβλημα η εύρεση φυσικών πόρων αλλά ο τρόπος χρήσης τους**. Με άλλα λόγια, η γη μαζί με τους ωκεανούς και την ατμόσφαιρα, έχει πρώτες ύλες που μπορούν να αξιοποιηθούν αν αναπτυχθεί η κατάλληλη τεχνολογία.
2. Η δεύτερη θεωρία υποστηρίζει ότι **η εκθετική αύξηση του πληθυσμού** και των ορυκτών προϊόντων **είναι αδύνατο να συνεχιστεί**, εξαιτίας μιας πεπερασμένης πλουτοπαραγωγικής βάσης.

3^η Έννοια: Θεωρία του Ομοιομορφισμού

"Οι φυσικές διεργασίες τροποποιούν το περιβάλλον και έχουν λειτουργήσει με τον ίδιο τρόπο κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Όμως η ένταση και η συχνότητα αυτών των διεργασιών υπόκεινται σε φυσικές ή τεχνητές αλλαγές"

Η ένταση και η συχνότητα των φυσικών διεργασιών παραμένει σταθερή στο χρόνο.

- **Δεν ισχύει για ολόκληρο το γεωλογικό χρόνο**, επειδή οι σημερινές διεργασίες είναι εντελώς διαφορετικές από αυτές που επικρατούσαν στο **χωρίς οξυγόνο περιβάλλον** των δύο πρώτων δισεκατομμυρίων ετών της ιστορίας του πλανήτη.
- Ισχύει όμως για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα.

Για παράδειγμα, αν κάποιος ερευνητής συναντήσει κροκάλες στην κορυφή ενός βουνού, σύμφωνα με τον ομοιομορφισμό, κάποιος παλιός χείμαρρος θα έπρεπε να ρέει στο σημείο αυτό κατά το παρελθόν.

4^η Έννοια: Πάντα υπήρχαν επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα

"Πάντα υπήρχαν φυσικά φαινόμενα επικίνδυνα για τον άνθρωπο. Οι φυσικές καταστροφές πρέπει να αναγνωρίζονται και όπου είναι δυνατό να αποφεύγονται, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις"

Ομοιομορφισμός → οι σημερινές διεργασίες λειτουργούσαν πολύ πριν το ανθρώπινο είδος εμφανιστεί στη γη.

Αύξηση του πληθυσμού → κατοικήθηκαν περιοχές που είναι πολύ πιθανό να πληγούν από φυσικές καταστροφές.

Πολλά φαινόμενα συνεχίζουν να προκαλούν ανθρώπινες απώλειες και υλικές καταστροφές, και η ένταση και συχνότητα αυτών των φαινομένων, εξαρτάται από κλιματικές, βιολογικές, γεωλογικές συνθήκες.

Η εξέταση αυτών των συνθηκών → **γεωεπιστήμονες** να γνωστοποιούν στους αρμόδιους για τον **χωροταξικό σχεδιασμό**, έτσι ώστε να τεθούν σε εφαρμογή εναλλακτικές **λύσεις για την προστασία της ανθρώπινης ζωής** και την αποφυγή υλικών ζημιών.

5^η Έννοια: Αισθητική του τοπίου

"Ο προγραμματισμός για τη χρήση γης και υδατικών πόρων θα πρέπει να εξασφαλίζει μια ισορροπία μεταξύ οικονομικών προτεραιοτήτων και άλλων μεταβλητών, όπως η αισθητική"

Το τοπίο σήμερα θεωρείται **φυσικός πλούτος** και έτσι η **αισθητική του εκτίμηση** πριν από οποιαδήποτε επέμβαση **αποτελεί σημαντικό τμήμα των περιβαλλοντικών μελετών.**

Οι παραδοσιακές αναλύσεις ωφελειών/δαπανών **δεν δίνουν σήμερα έμφαση στην αισθητική** (λιγότερο χειροπιαστή)

Εξισορρόπηση των οικονομικών και αισθητικών κριτηρίων:

- **Βαθμονομημένη κλίμακα για την αισθητική.**
- **Αξιόπιστη ποσοτική μέθοδος για την ανάλυση των στοιχείων και την πρόταση εναλλακτικών λύσεων**
- **Τεχνικών για τη χαρτογράφηση του φυσικού πλούτου.**

6^η Έννοια: Διασφάλιση του περιβάλλοντος

"Οι επιπτώσεις της χρήσης γης τείνουν να συσσωρεύονται και γι' αυτό ο καθένας έχει υποχρέωση στις γενεές που θα ακολουθήσουν, να διαφυλάξει το περιβάλλον"

- **Πρώτες χρήσεις της φωτιάς** (προστασία και κυνήγι) → μπορεί να είχαν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- **Γεωργία** (πρώτη τεχνητή χρήση γης) → προμήθευσε τα απαραίτητα τρόφιμα → ο αυξανόμενος πληθυσμός επέβαλλε την εκμετάλλευση περισσότερης γης → επηρέασε το οικολογικό ισοζύγιο των επιμέρους περιοχών καθώς μερικά είδη μετατράπηκαν σε κατοικίδια → άλλα εκδιώχθηκαν ως επιβλαβή (εξαφάνιση ειδών)

Αύξηση του αριθμού των πόλεων και αγροκτημάτων → αύξηση της ανάγκης διαφοροποίησης της χρήσης γης

Εξέταση των επιπτώσεων από τη χρήση γης από μια ιστορική σκοπιά → **Διασφάλιση ότι οι επόμενες γενεές θα επιζήσουν** στο περιβάλλον που θα κληρονομήσουν

7^η Έννοια: Ο γεωλογικός παράγοντας: Θεμελιώδη συνιστώσα του περιβάλλοντος

"Ο γεωλογικός παράγοντας αποτελεί μια θεμελιώδη συνιστώσα του περιβάλλοντος, αλλά παράλληλα απαιτείται ευρεία κατανόηση και αποδοχή της σημασίας των γεωεπιστημών"

Ολόκληρη η γεωλογία έχει σχέση με το περιβάλλον, αφού η ζωή βρίσκεται στην επιφάνεια του πλανήτη και επηρεάζεται άμεσα ή έμμεσα από τις γεωλογικές διεργασίες

Η κατανόηση των πολύπλοκων λειτουργιών του περιβάλλοντος προϋποθέτει γνώσεις επιστημονικών κλάδων:

- **Γεωμορφολογίας**, μελέτη των γεωμορφών και των επιφανειακών διεργασιών.
- **Πετρολογίας**, μελέτη των ορυκτών και πετρωμάτων.
- **Ιζηματολογίας**, μελέτη των περιβαλλόντων απόθεσης ιζημάτων.
- **Τεκτονικής**, μελέτη των διεργασιών που είναι υπεύθυνες για την ηπειρογένεση, ορογένεση
- **Υδρογεωλογίας**, μελέτη του επιφανειακού και υπόγειου νερού.
- **Εδαφολογίας**, μελέτη των εδαφών.
- **Οικονομικής γεωλογίας**, εφαρμογή της γεωλογίας στον εντοπισμό και εκτίμηση ορυκτών πόρων.
- **Τεχνικής γεωλογίας**, εφαρμογή των γεωλογικών πληροφοριών σε τεχνικά προβλήματα

Η Περιβαλλοντική Γεωλογία είναι ένα πεδίο με ισχυρό διεπιστημονικό ενδιαφέρον.

Τα περισσότερα προγράμματα ερευνών είναι πολύπλοκα και περιέχουν διαφορετικές όψεις που μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- **ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ**

περιλαμβάνουν την φυσική γεωγραφία, τις γεωλογικές και υδρολογικές διεργασίες, τα είδη πετρωμάτων και εδαφών και την κλιματολογία

- **ΤΙΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ**

περιλαμβάνουν τη φυτολογία, τη ζωολογία και την ανάλυση βιολογικών πληροφοριών

- **ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.**

περιλαμβάνει τη χρήση γης, τα οικονομικά, την αισθητική, την αλληλεπίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας με το φυσικό και ζωικό βασίλειο και το περιβαλλοντικό δίκαιο

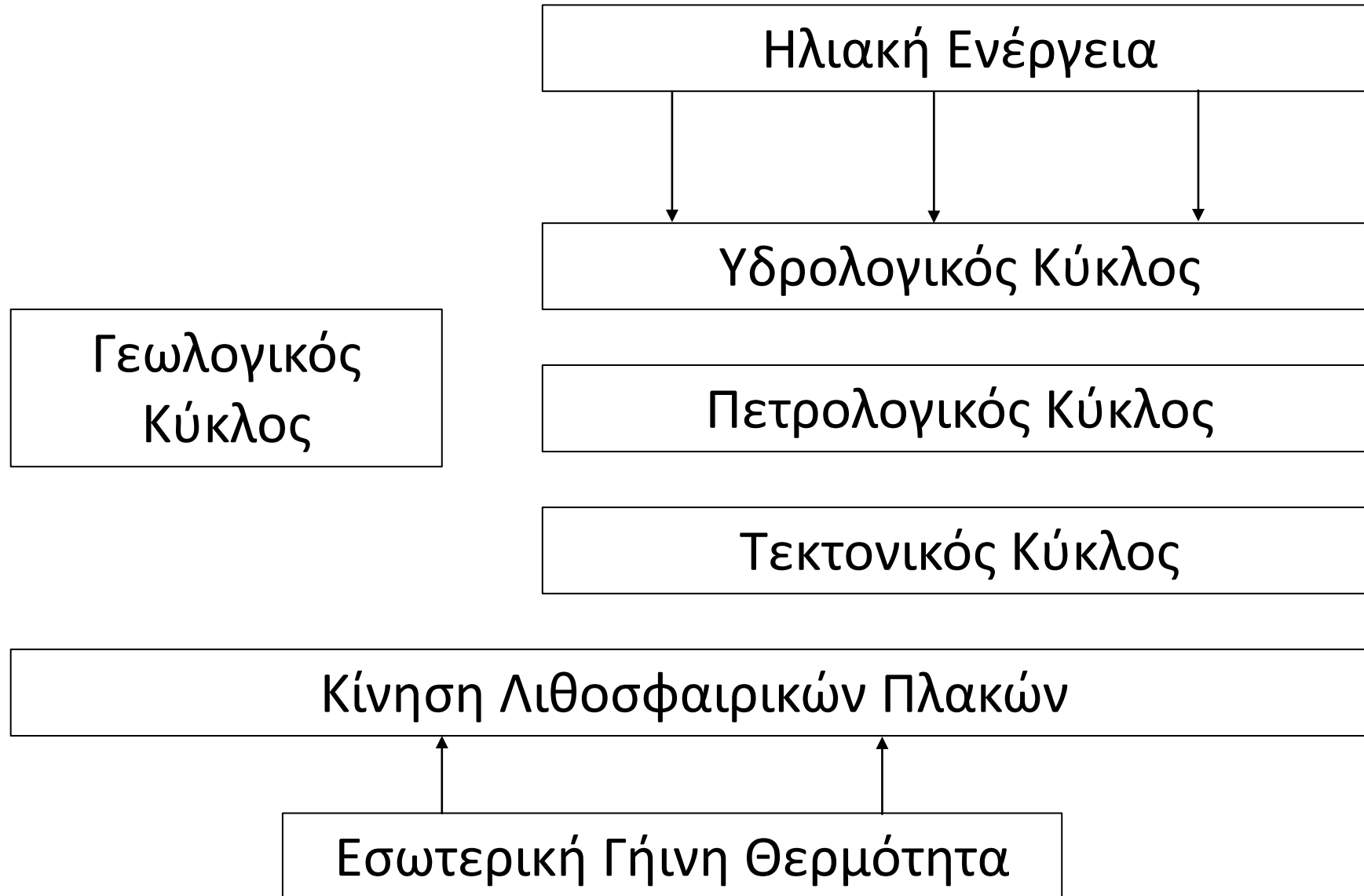
Κανένα πρόγραμμα δεν πρόκειται να ασχοληθεί με όλους τους παράγοντες σε κάθε μια από τις τρεις κατηγορίες, υπάρχει όμως, αξιοσημείωτη **αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των κατηγοριών.**



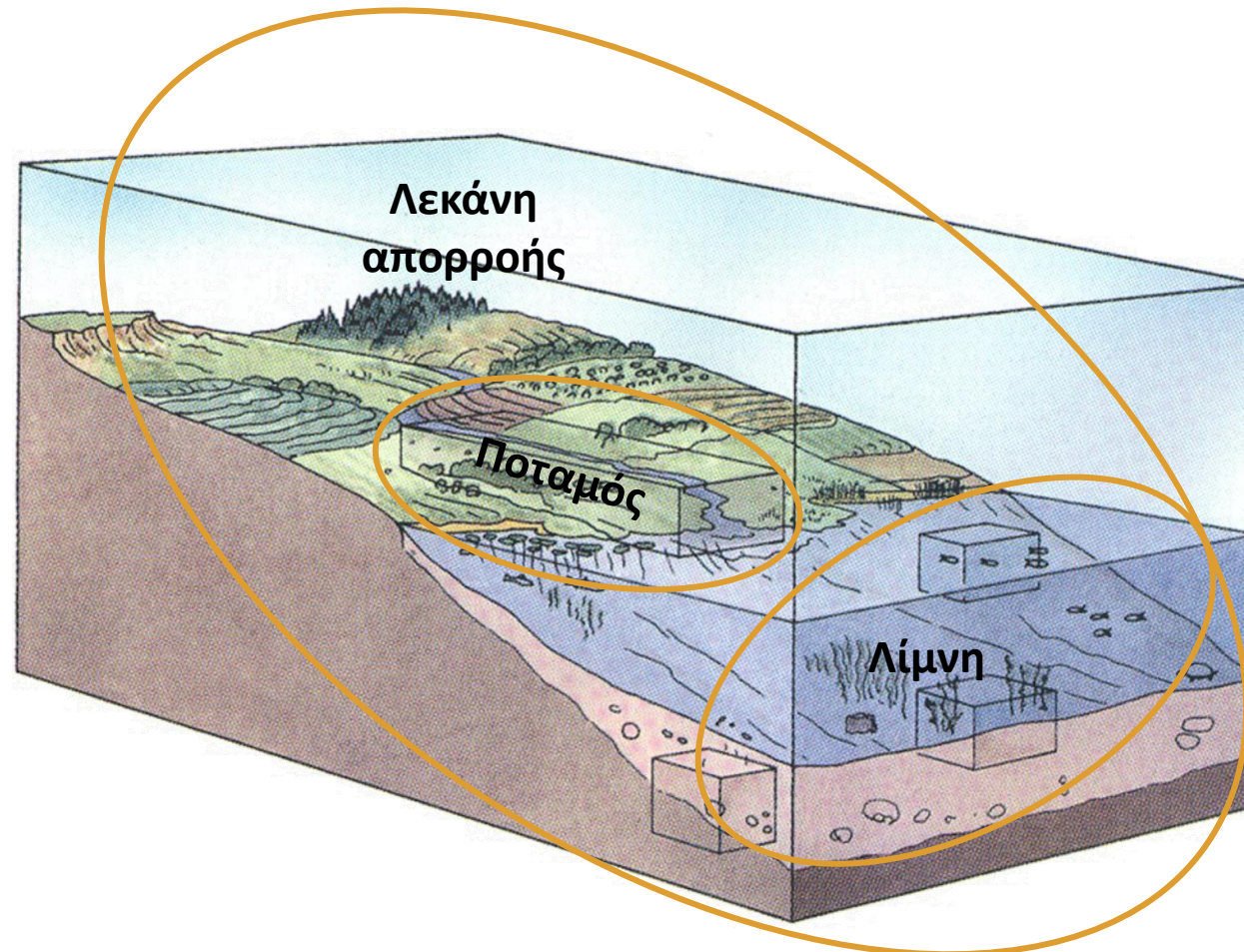
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

LABORATORY OF ECOLOGICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

Γήινα συστήματα και κύκλοι



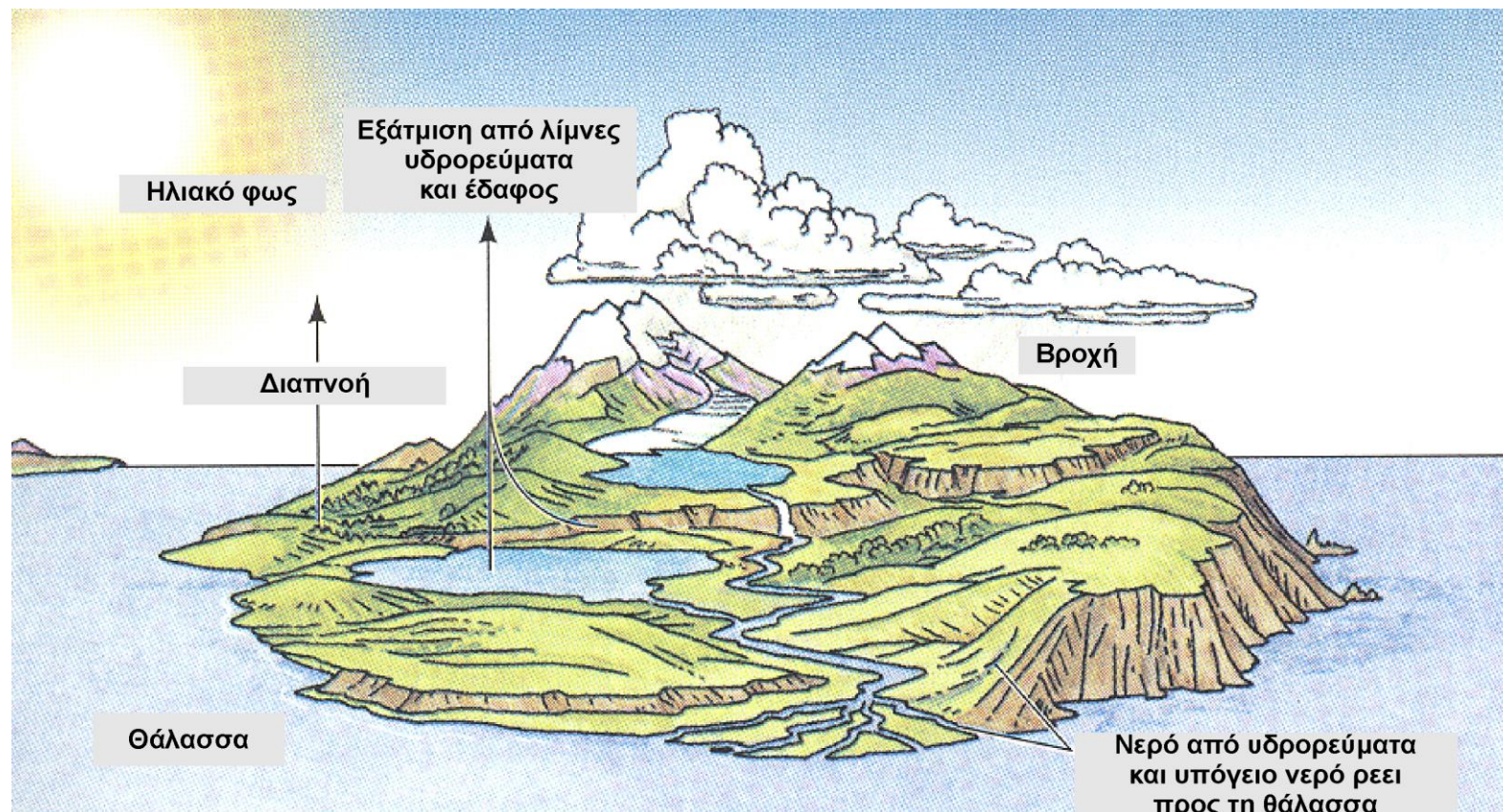
- Κάθε ένα από αυτά μπορεί να **υποδιαιρεθεί περαιτέρω σε μικρότερες και ευκολότερα διαχειριζόμενες ενότητες μελέτης**



Το **κύριο πλεονέκτημα** της μελέτης των συστημάτων ως box models **είναι η αναγνώριση και μέτρηση όλων των εισροών και εκροών** με σκοπό να γίνει κατανοητό το πώς το σύστημα φθάνει σε μια κατάσταση ισορροπίας.

Παράδειγμα ενός ανοικτού συστήματος

- Ενέργεια (ηλιακό φως) και νερό (βροχόπτωση) φθάνουν στο νησί από εξωτερικές πηγές.
- Η ενέργεια εγκαταλείπει το νησί ως ακτινοβολία μακρού μήκους κύματος, το νερό είτε εξατμίζεται είτε απορρέει προς τη θάλασσα



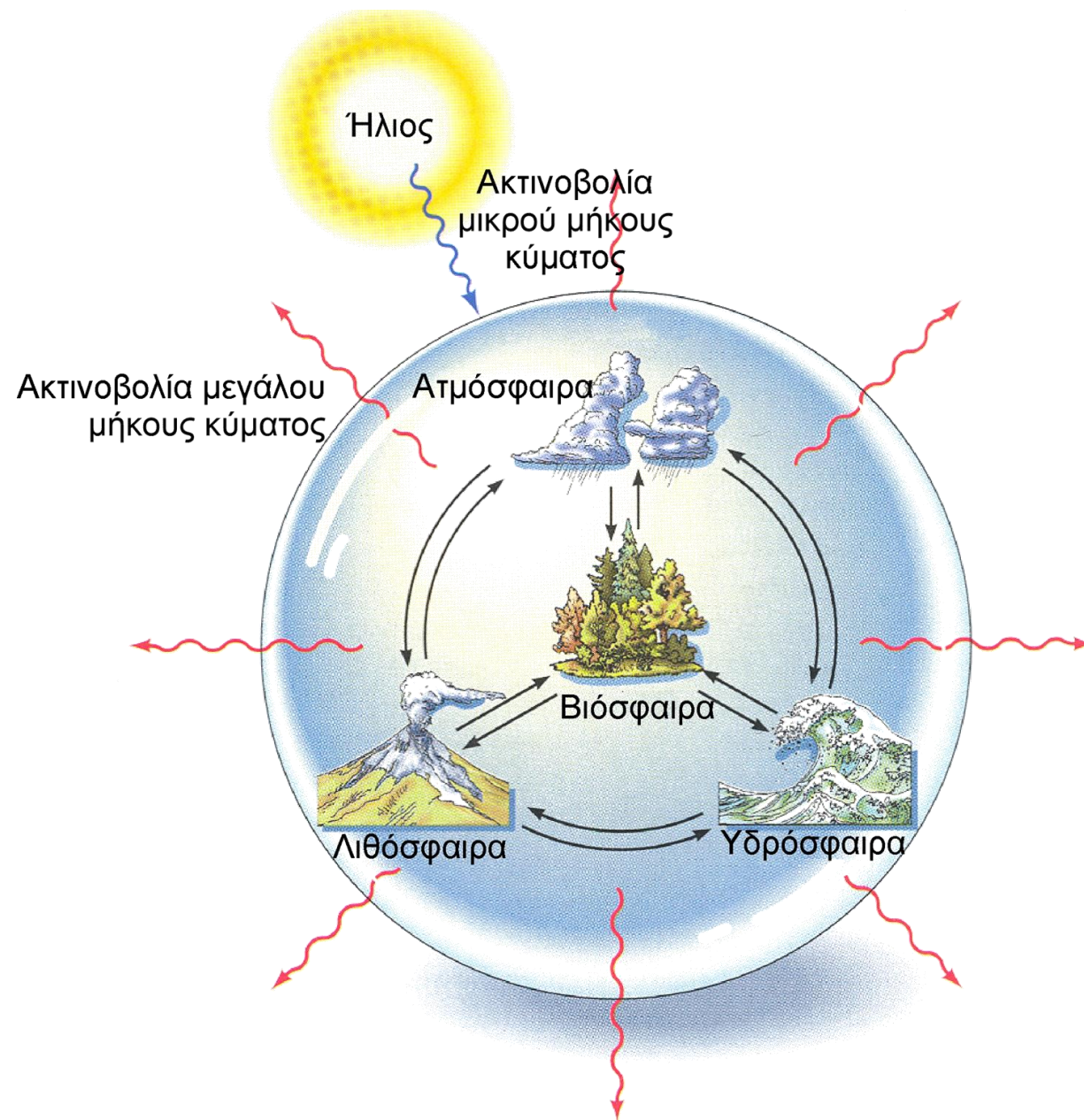
Η γη **δεν εξετάζεται με τη μορφή των μεμονωμένων ενοτήτων**, αλλά **σαν ένα σύνολο που θεωρείται κλειστό ενοποιημένο σύστημα** (διαχωρίσουμε ένα σύνθετο πρόβλημα σε μικρότερα προβλήματα).

Αναγνωρίζουμε 4 κύρια μικρότερα συστήματα:

- **ατμόσφαιρα** (Άζωτο, Οξυγόνο, CO₂, υδρατμοί),
- **υδρόσφαιρα** (λίμνες, ποτάμια, υπόγεια νερά, παγετώνες),
- **βιόσφαιρα** (έμβια όντα),
- **λιθόσφαιρα** (το εξωτερικό λεπτό εδαφικό στρώμα της Γης)

➤ Θεωρούνται ανοικτά συστήματα

Γήινα συστήματα και κύκλοι



Βασικές Αρχές

- **Οι φυσικές διαδικασίες της γης ακολουθούν κυκλικές διαδρομές** (τα υλικά ρέουν από το ένα σύστημα στο άλλο)
- **Τα συστήματα βρίσκονται σε ισορροπία** (οι ποσότητες που προστίθενται εξισορροπούνται από τις ποσότητες που απομακρύνονται)

Γήινοι Κύκλοι

Για την **απεικόνιση των γήινων διαδικασιών** που είναι σημαντικές στην περιβαλλοντική γεωλογία:

- ο **ενεργειακός** κύκλος,
- ο **υδρολογικός** κύκλος,
- οι **βιογεωχημικοί** κύκλοι (π.χ. κύκλος του άνθρακα) και
- ο κύκλος των **πετρωμάτων**

Ενεργειακός κύκλος

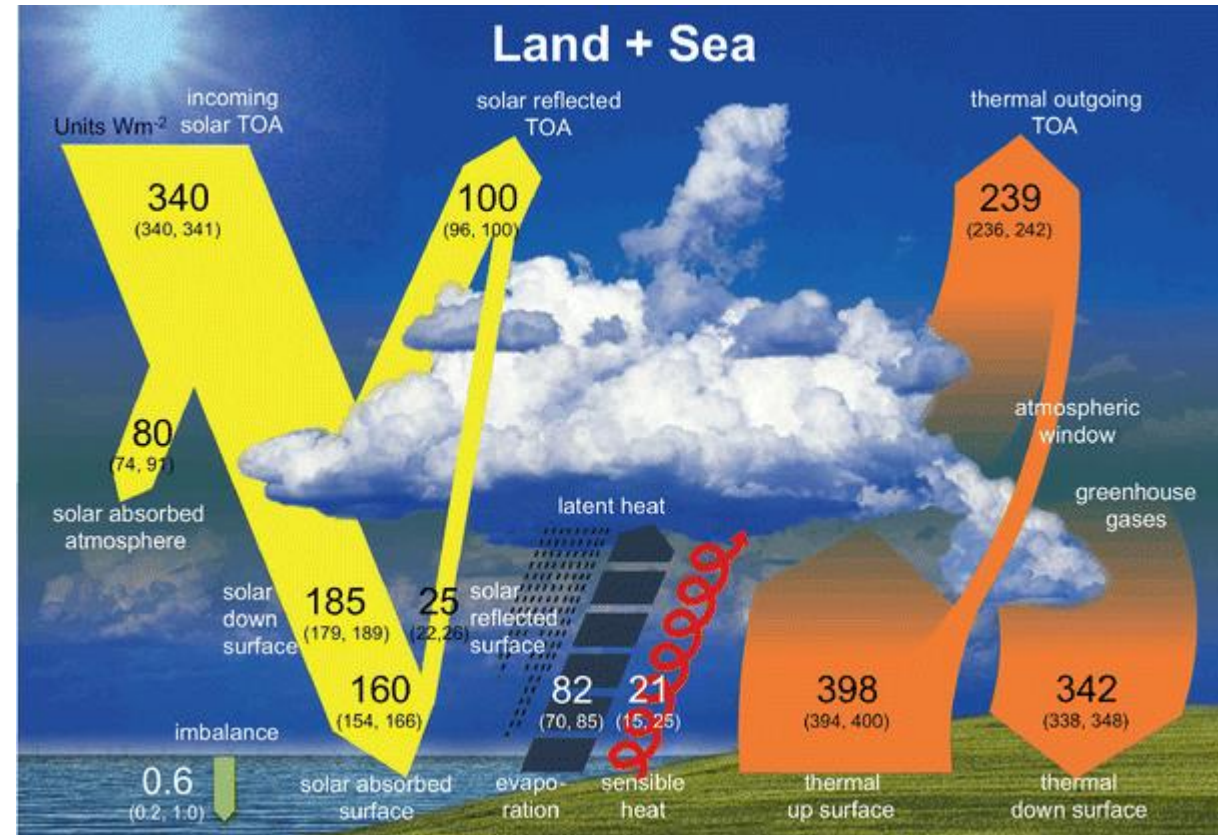
περιλαμβάνει τις **εξωτερικές** και **εσωτερικές πηγές ενέργειας** που **κινούν το γήινο σύστημα** και όλους τους κύκλους του

Μπορούμε να θεωρήσουμε τον κύκλο της γήινης ενέργειας ως ένα "**ισοζύγιο**" καθώς ενέργεια προστίθεται ή αφαιρείται και μεταφέρεται από μια θέση σε μια άλλη

Τρεις βασικές πηγές Ενέργειας στο Γήινο σύστημα:

1. **Ηλιακή** ενέργεια
2. **Γεωθερμική** ενέργεια
3. **Παλιρροιακή** ενέργεια

Γήινα συστήματα και κύκλοι - Ενεργειακός



Ηλιακή Ενέργεια

Εισροές ενέργειας

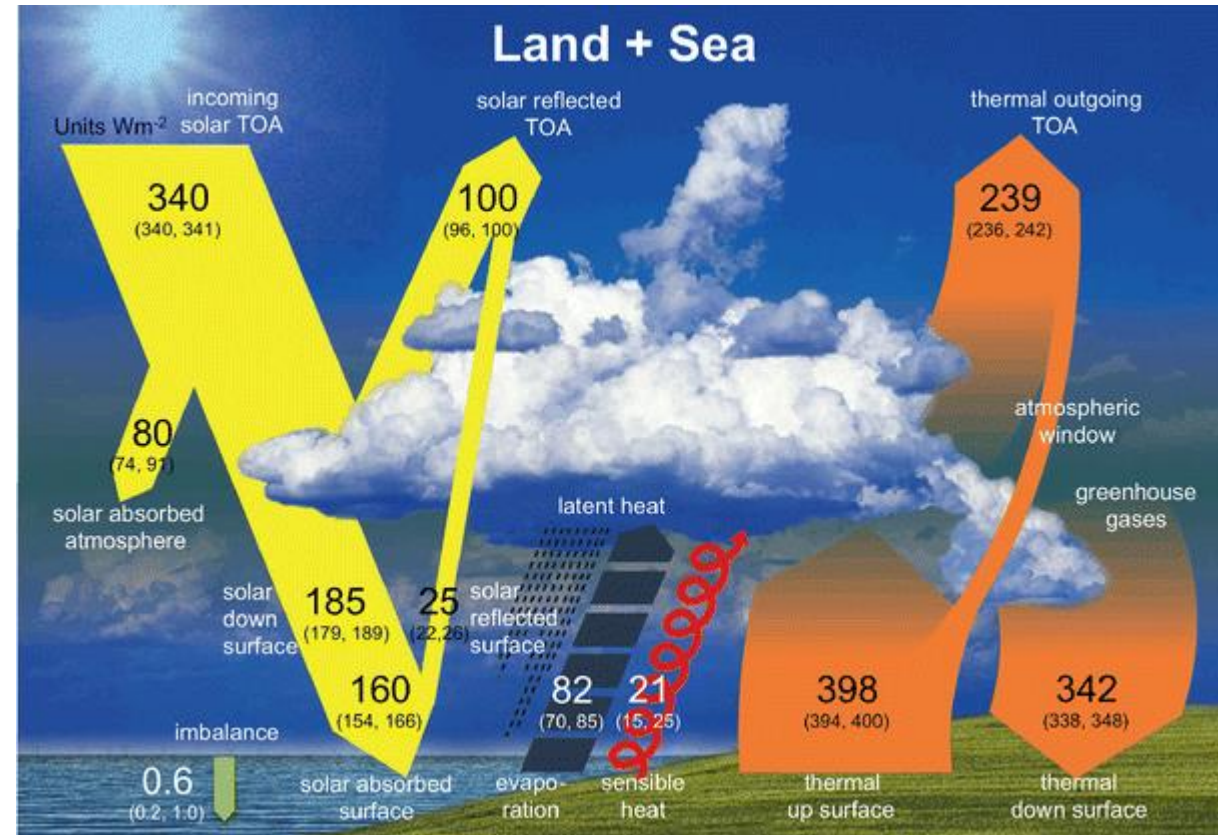
Η συνολική ποσότητα ενέργειας που ρέει στο γήινο ισοζύγιο της ενέργειας είναι 174.000 petawatts (174×10^{15} Watt).

Η εισερχόμενη μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί το 99.986% του συνόλου)

Οι εισροές αυτές παρέχουν ενέργεια:

- στους ανέμους,
- στις βροχοπτώσεις,
- στα ωκεάνια ρεύματα, στα κύματα
- σε άλλες διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου
- στη φωτοσύνθεση

Γήινα συστήματα και κύκλοι - Ενεργειακός

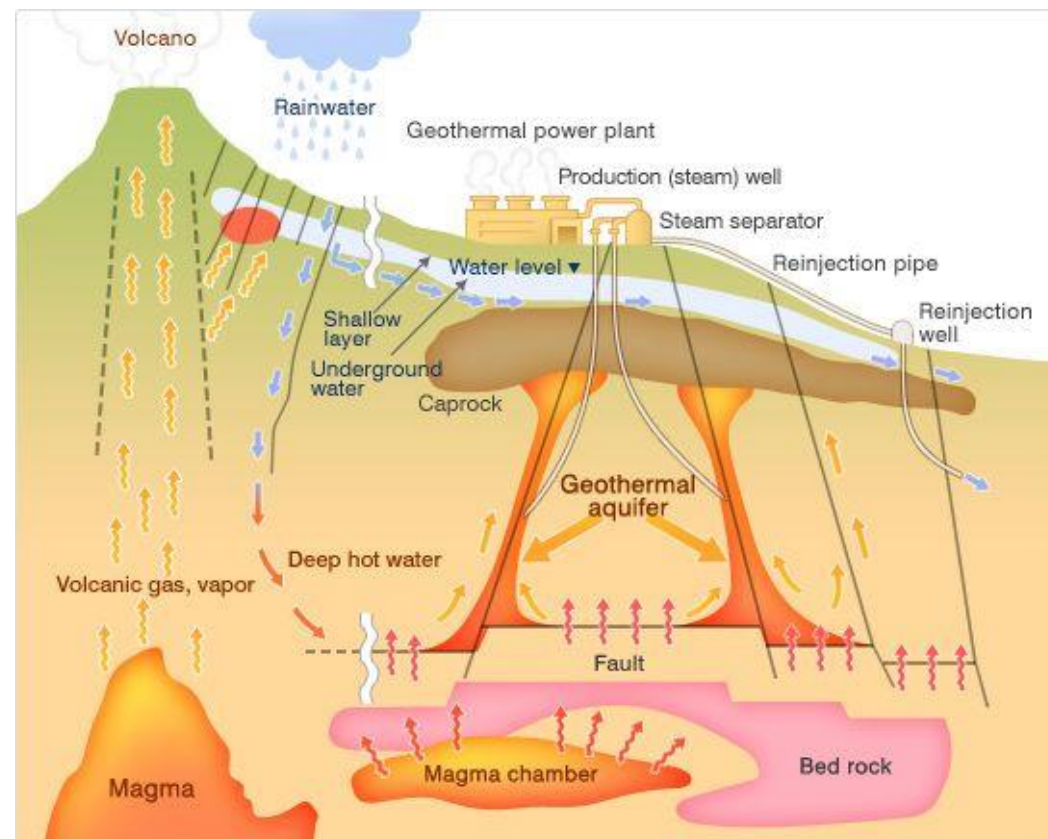


Γεωθερμική Ενέργεια ή ενέργεια θερμότητας του εσωτερικού της γης

Η 2^η ισχυρότερη πηγή ενέργειας, 23 terawatts ή 0.013% της συνολικής

- **βρίσκει δίοδο** προς την επιφάνεια **μέσω ηφαιστειακών διαδρομών**
- **κινεί τον κύκλο των πετρωμάτων**
- **αποτελεί πηγή ενέργειας** για ορογενέσεις, σεισμούς και ηφαιστειακές εκρήξεις)

Γήινα συστήματα και κύκλοι - Ενεργειακός

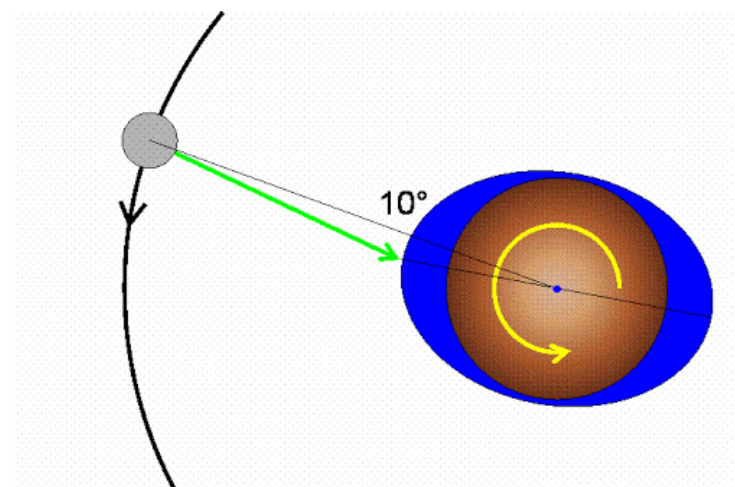
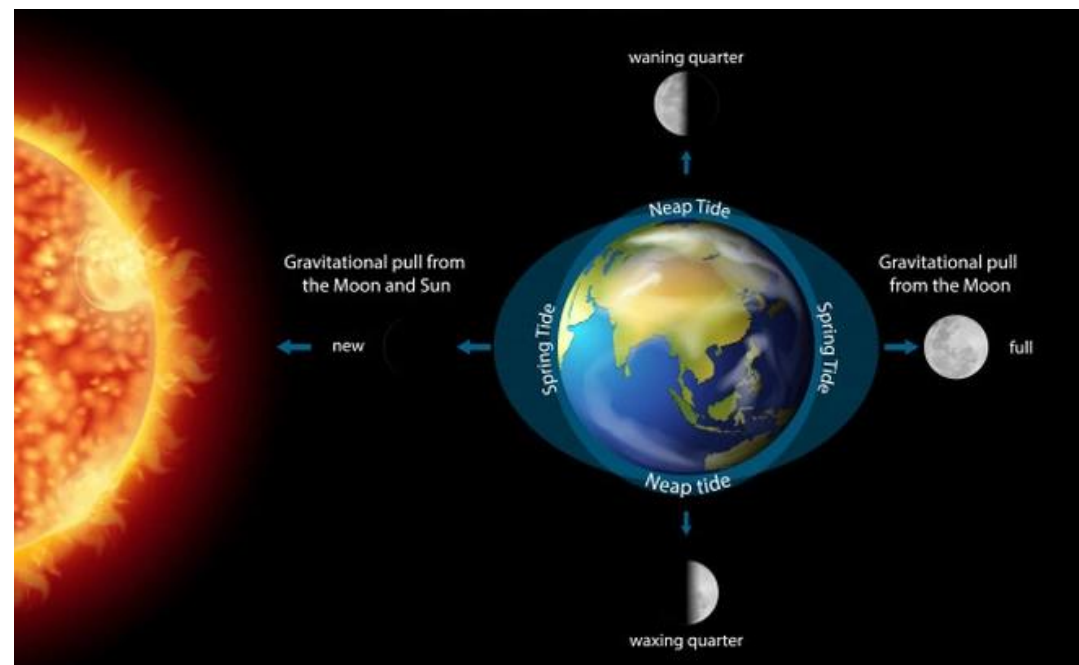


Παλιρροιακή Ενέργεια

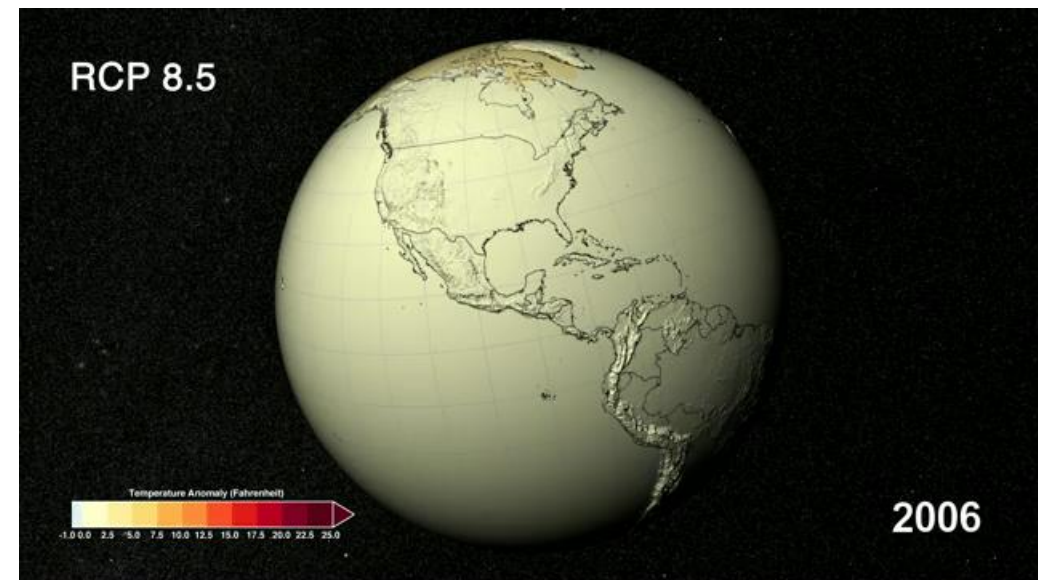
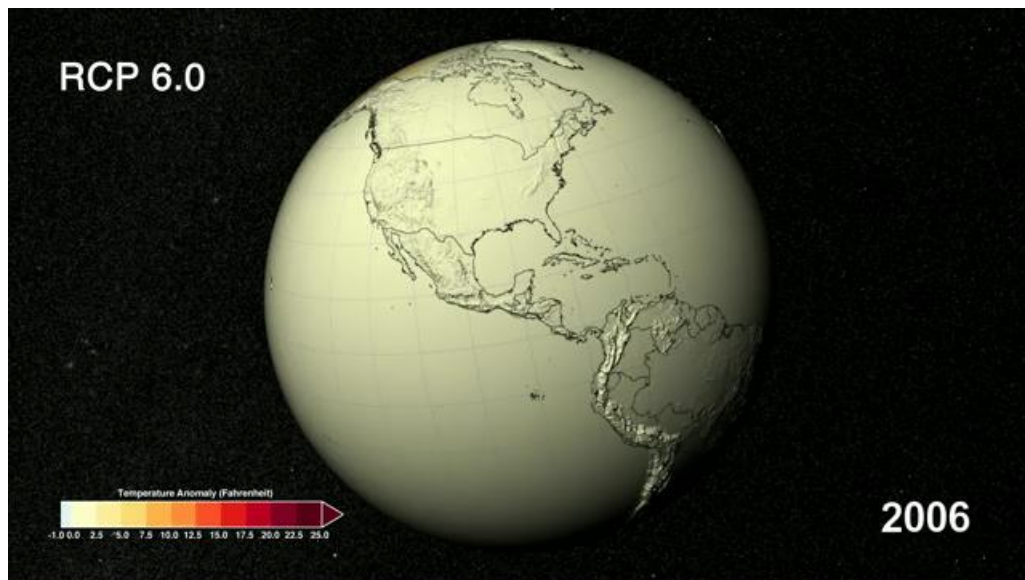
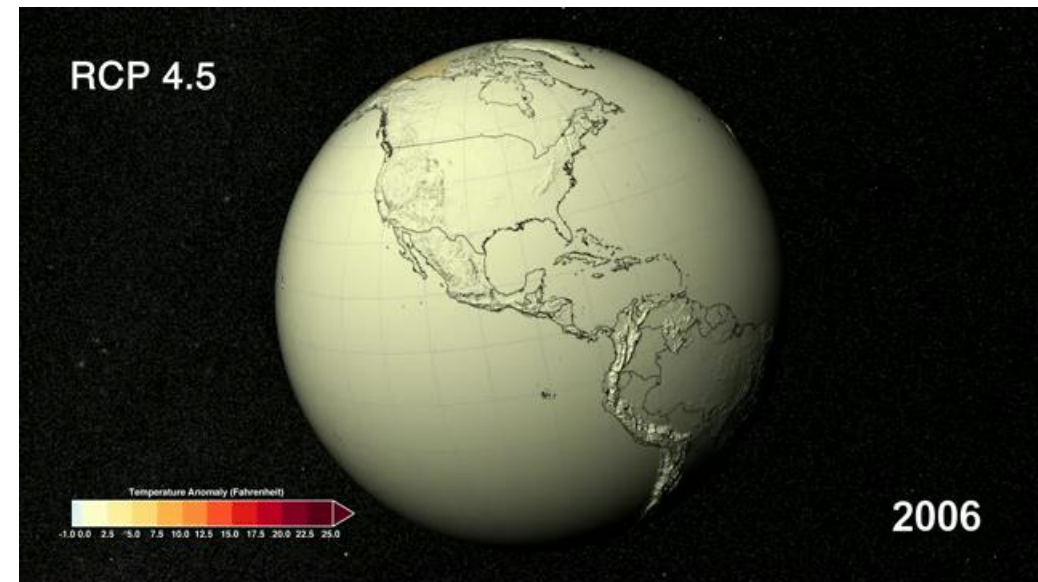
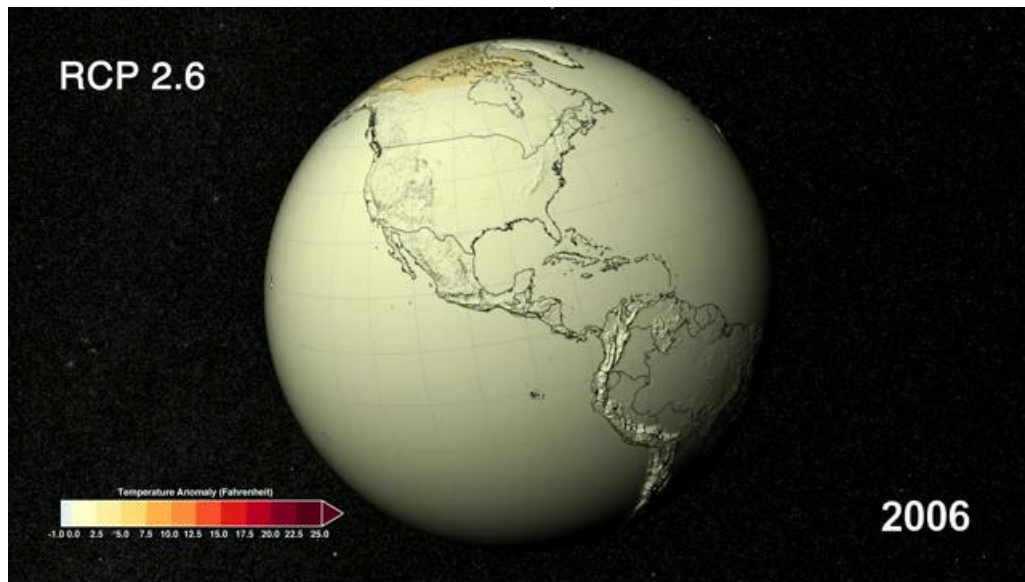
Η έλξη της βαρύτητας της σελήνης και του ηλίου προκαλεί μια παλιρροιακή διόγκωση στους ωκεανούς και ανέρχεται στα 3 terawatts, ή στο 0.002% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου

- Δεδομένου ότι η γη περιστρέφεται, η **παλιρροιακή διόγκωση κινείται προς τις ακτές** των ηπείρων και των νησιών, **προκαλώντας τις υψηλές παλίρροιες.**
- Η δύναμη της παλιρροιακής διόγκωσης **“συσσωρεύεται”** και ενεργούν σαν ένα πολύ αργό φρένο, αναγκάζοντας πραγματικά την ταχύτητα περιστροφής της γης να μειωθεί ελαφρώς.

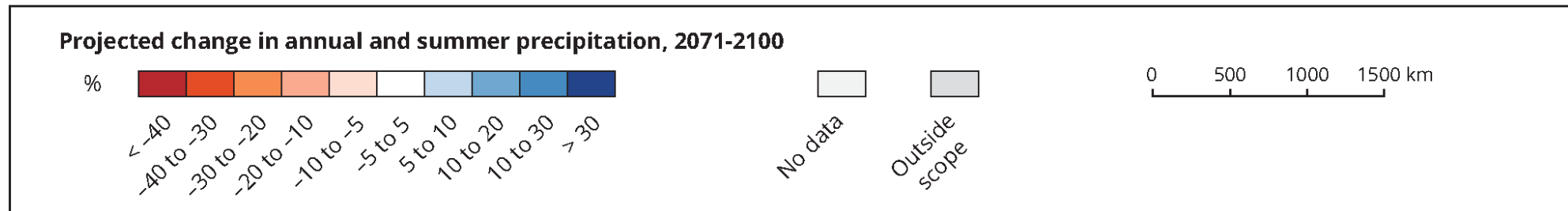
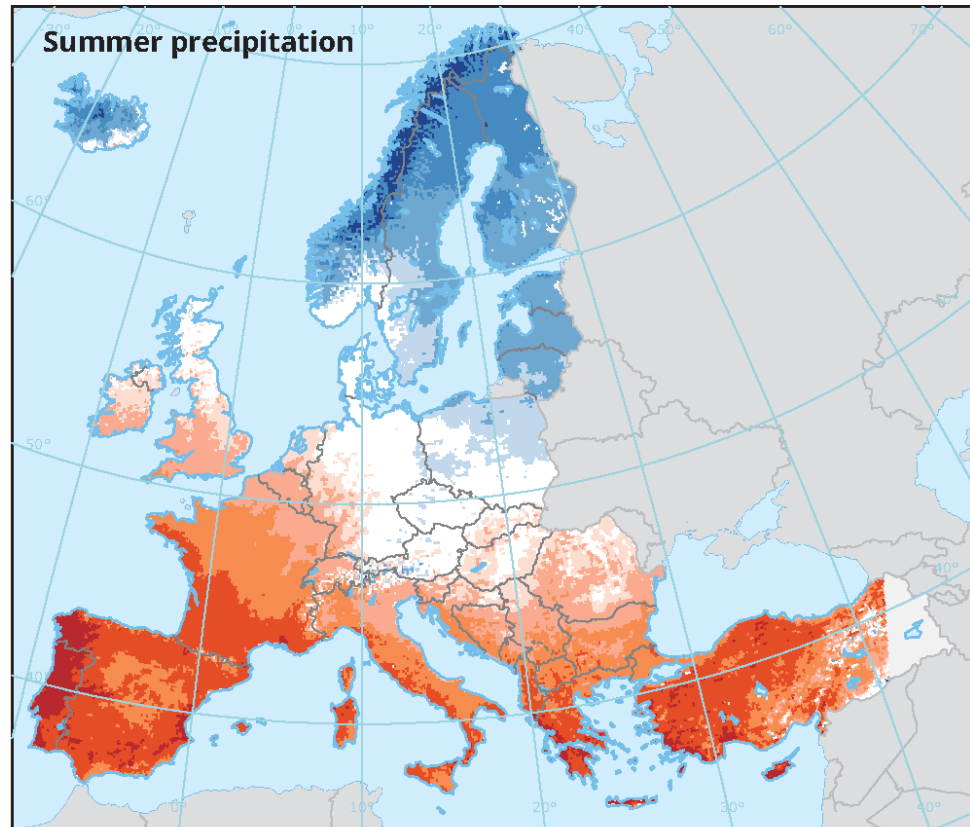
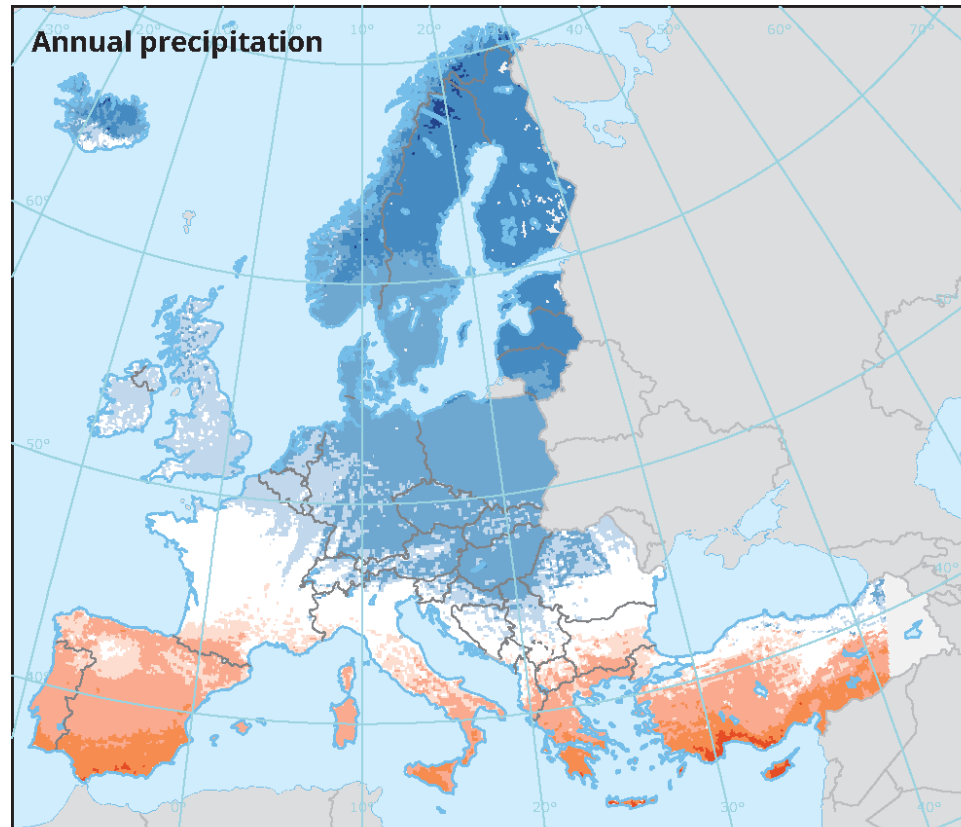
Γήινα συστήματα και κύκλοι - Ενεργειακός



Γήινα συστήματα και κύκλοι - Υδρολογικός



Γήινα συστήματα και κύκλοι - Υδρολογικός



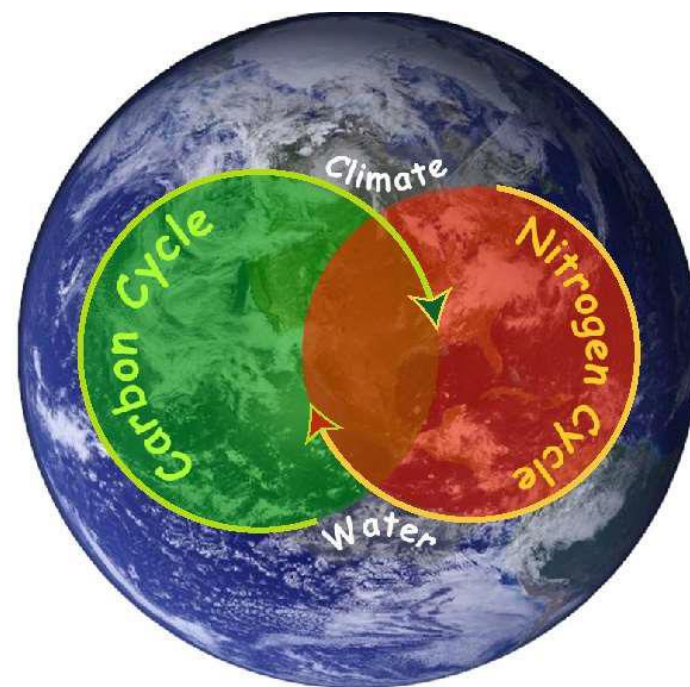
Βιογεωχημικοί κύκλοι

Είναι οι **επαναλαμβανόμενες κυκλικές πορείες των χημικών στοιχείων στα οικοσυστήματα**, οι οποίες διεκπεραιώνονται με τη συμμετοχή βιολογικών, γεωλογικών και χημικών διαδικασιών.

Οι **βιολογικές διαδικασίες** (αναπνοή, φωτοσύνθεση, αποσύνθεση) **ενεργούν παράλληλα και σε συνδυασμό με μη-βιολογικές διαδικασίες** (αποσάθρωση, σχηματισμός εδαφών, ιζηματογένεση) κατά την ανακύκλωση χημικών στοιχείων ή ενώσεων.

Σημαντικοί βιογεωχημικοί κύκλοι:

- **άνθρακα,**
- **αζώτου,**
- **οξυγόνου,**
- **θείου** και
- **φωσφόρου**



Είναι δύσκολο να παραχθεί ένα μοντέλο κουτί, το οποίο να περιγράφει ακριβώς τη βιογεωχημική συμπεριφορά ενός στοιχείου

Κύκλος του Άνθρακα

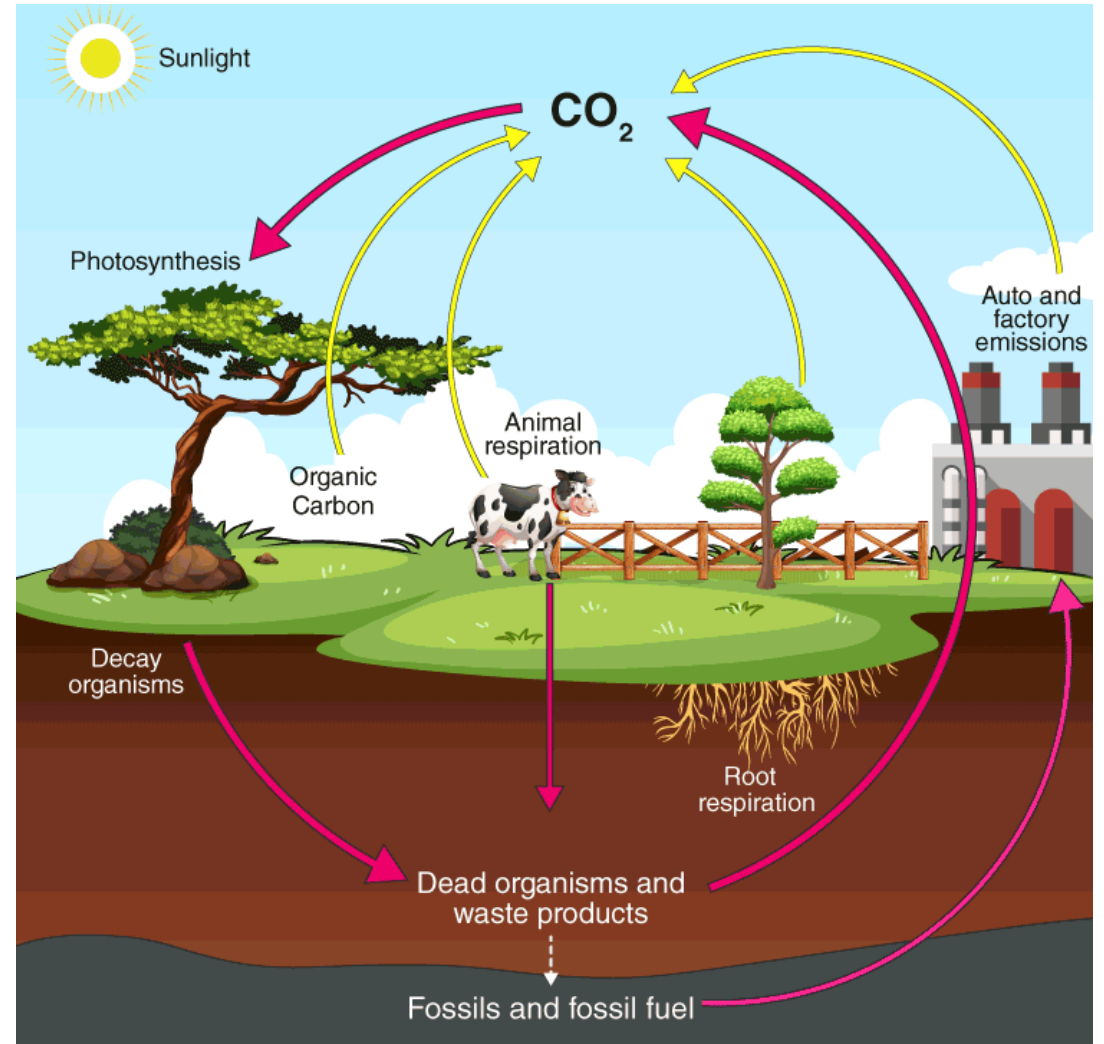
Εντοπίζεται σε όλα τα διαμερίσματα ενός οικοσυστήματος:

- **πετρώματα** (ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι),
- **επιφανειακά και υπόγεια νερά**, ωκεανούς,
- **έδαφος** (χημικές ενώσεις εδάφους),
- **ατμόσφαιρα** (σχεδόν αποκλειστικά ως αέριο CO_2 σε ποσοστό 99,6% του συνόλου),
- **φυτά και ζώντες οργανισμούς**.

Οι μορφές του άνθρακα που συμμετέχουν στον βιογεωχημικό του κύκλο είναι:

- Ο **ανόργανος άνθρακας** που εντοπίζεται σε **πετρώματα**
- Ο **οργανικός άνθρακας** που βρίσκεται στον οργανικό **φυτικό ιστό**.
- Ο άνθρακας σε **αέρια φάση** όπως το CO_2 , το CH_4 (μεθάνιο) και το CO (μονοξείδιο άνθρακα).

Γήινα συστήματα και κύκλοι - Βιογεωχημικοί



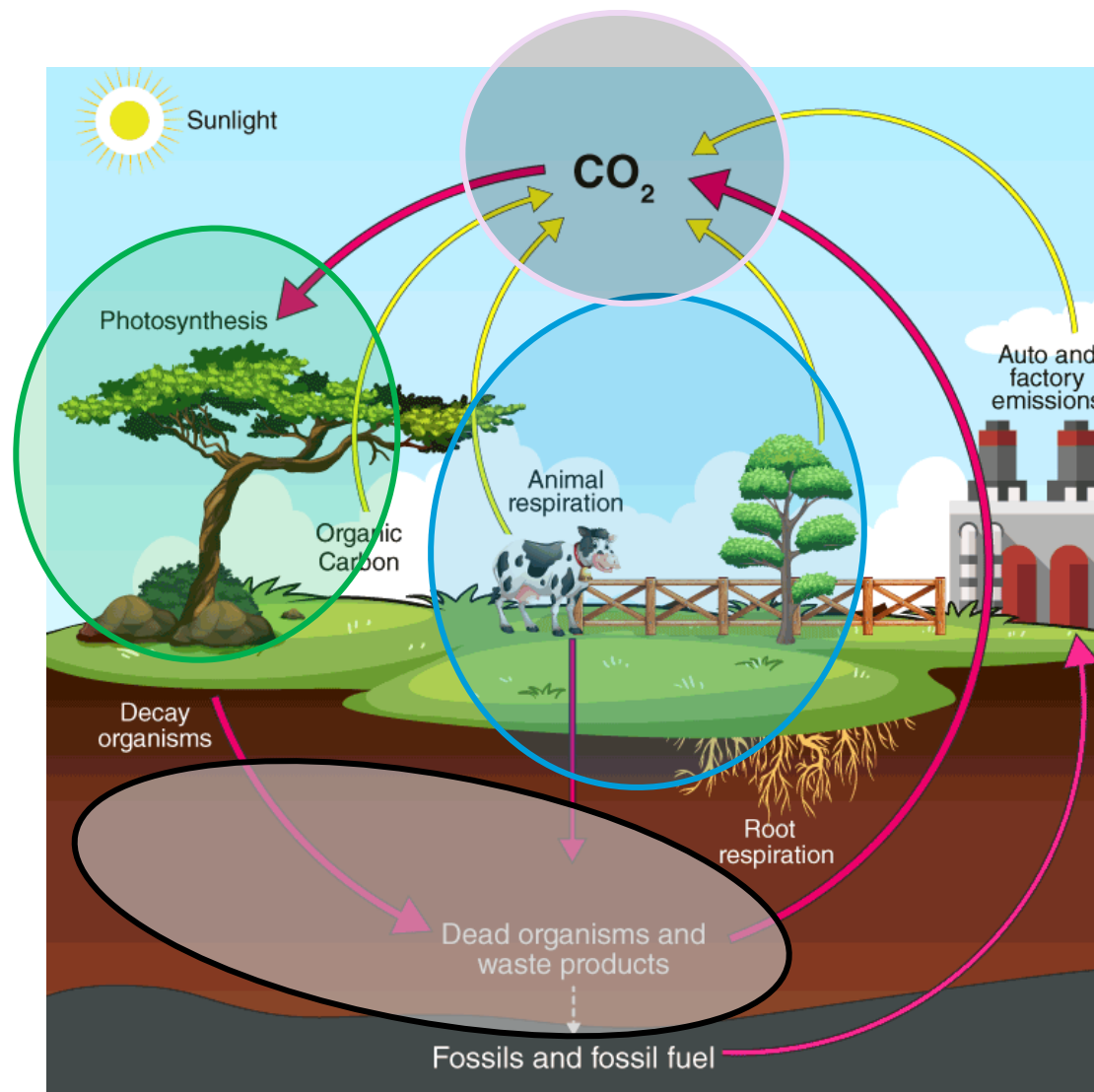
Κύκλος του Άνθρακα

Οι **βασικές διεργασίες που συμμετέχουν** στον βιογεωχημικό κύκλο του άνθρακα είναι η **φωτοσύνθεση** (από τους παραγωγούς) και η **αναπνοή** (από παραγωγούς, καταναλωτές και αποικοδομητές).

Βρίσκεται σε Δυναμική Ισορροπία

- Η **ατμόσφαιρα περιέχει** περίπου **750 δις τόνους** άνθρακα
- Η **φωτοσύνθεση αφαιρεί** ετησίως **120 δις τόνους** άνθρακα από την ατμόσφαιρα
- Η **αναπνοή** των φυτών συν την αποσύνθεση νεκρών φυτών και ζώων **επιστρέφει σχεδόν την ίδια ποσότητα**

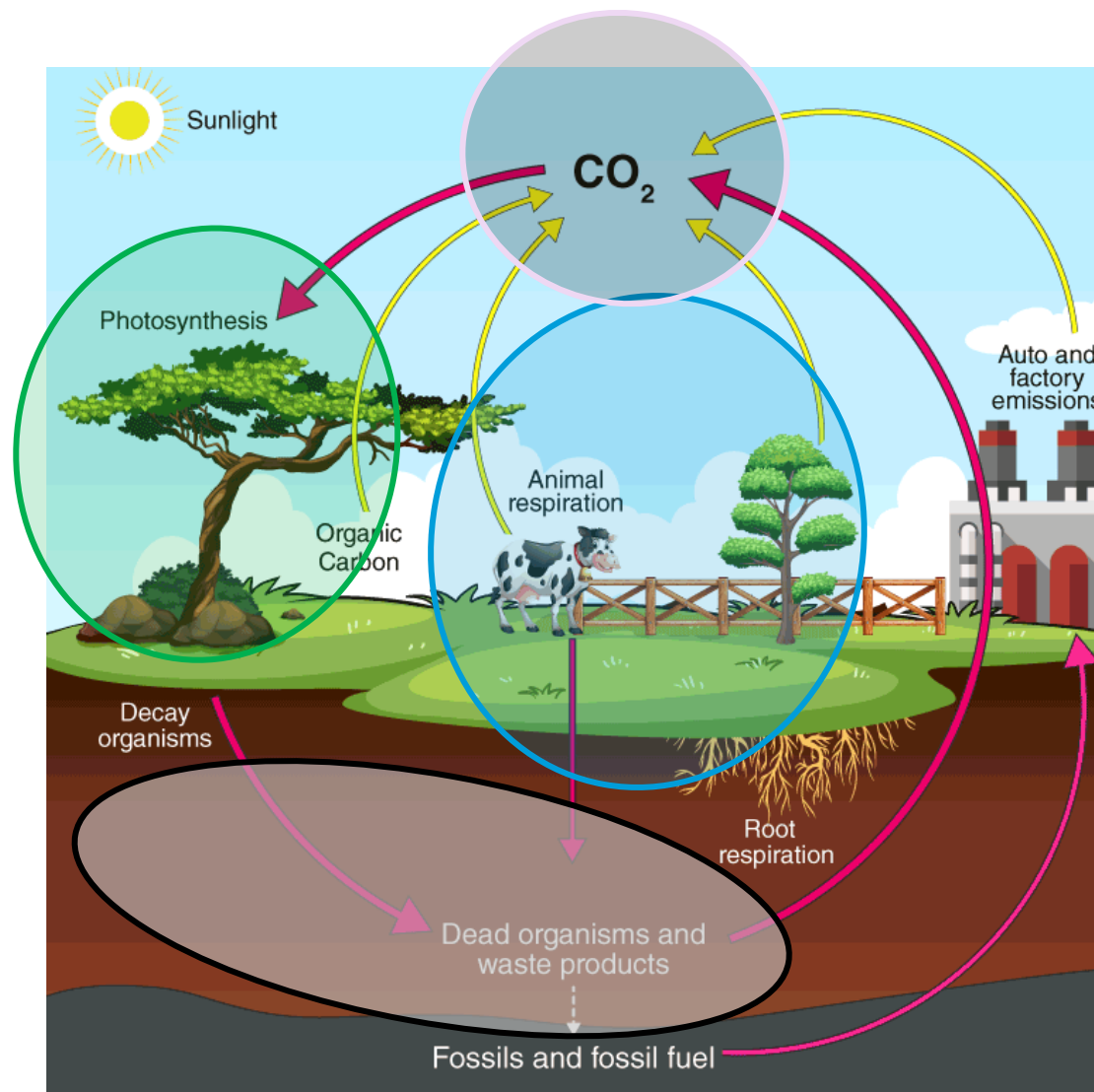
Γήινα συστήματα και κύκλοι - Βιογεωχημικοί



Κύκλος του Άνθρακα

- Ζώντα φυτά και ζώα περιέχουν **560 δις τόνους** άνθρακα
- Υπολείμματα φυτών που δεν έχουν αποσυντεθεί και το θαμμένο στο έδαφος οργανικό υλικό περιέχουν **1.400 δις τόνους** άνθρακα
- **11.000 δις τόνοι** άνθρακα είναι **παγιδευμένοι σε ενώσεις στα ιζήματα** του ωκεάνιου πυθμένα και σε χερσαίες παγετώδεις περιοχές.
- Οι ωκεανοί περιέχουν **38.000 δις τόνους** άνθρακα (κυρίως ως διαλυμένο CO_2)

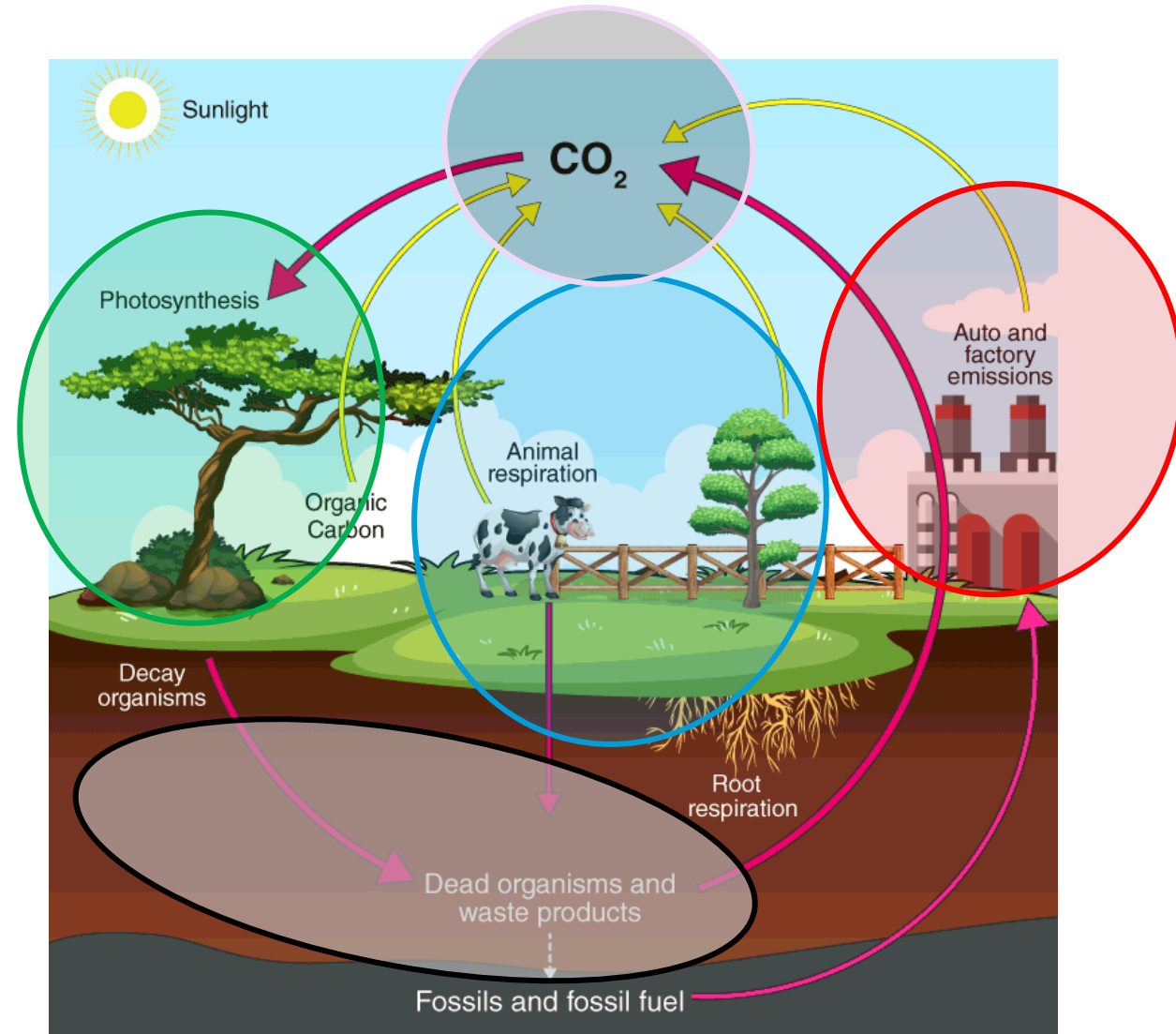
Γήινα συστήματα και κύκλοι - Βιογεωχημικοί



Κύκλος του Άνθρακα - Προβλήματα

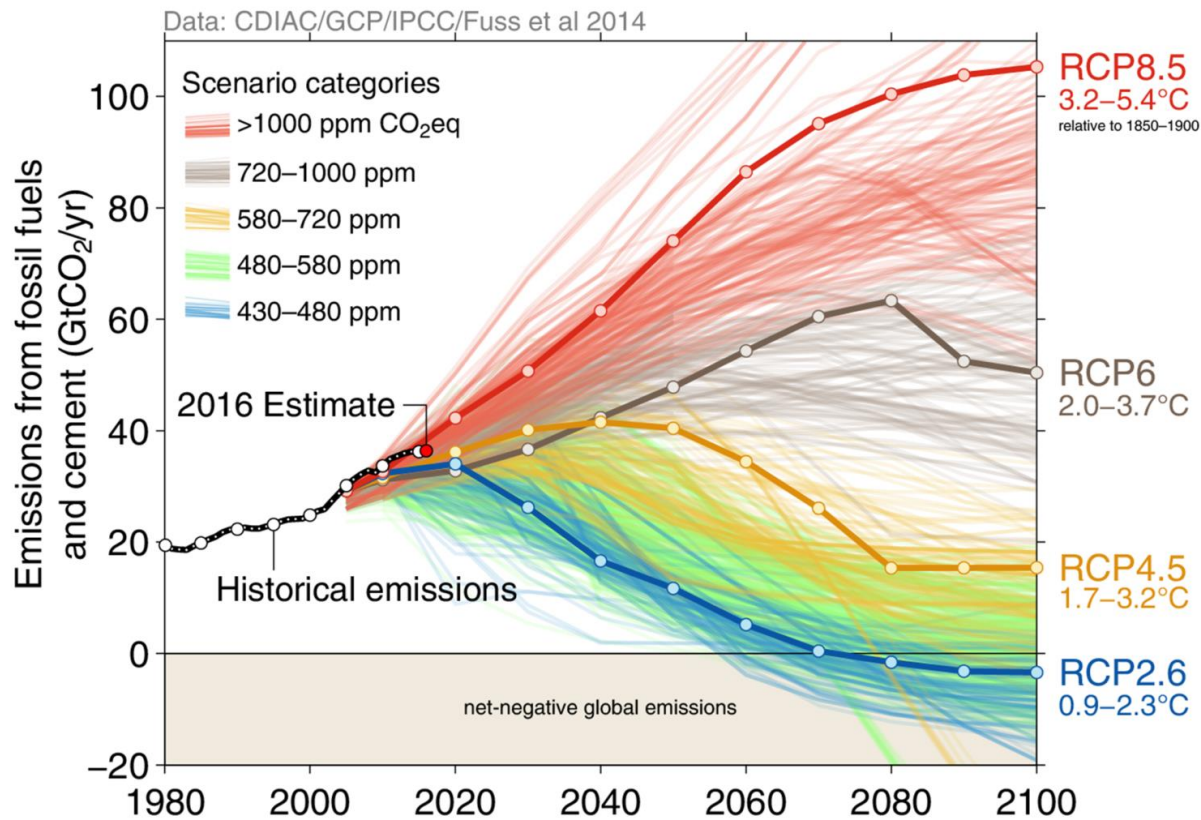
- γρήγορα **πολλαπλασιαζόμενος ανθρωπίνος πληθυσμός** αλλάζει το φυσικό κύκλο άνθρακα (κατανάλωση δασών, ζήτηση καυσίμων, οικοδομικών υλικών, αύξηση της γεωργικής γης)
- **καύση απολιθωμένων καυσίμων** προσθέτει ετησίως **22 δις** τόνους CO₂ στην ατμόσφαιρα
- **αποψίλωση των δασών** προσθέσει **1.6 έως 2.7 δις** τόνους άνθρακα ετησίως
- Ο ρυθμός αύξησης της ποσότητας άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι **~12 δις** τόνους CO₂ ετησίως

Γήινα συστήματα και κύκλοι - Βιογεωχημικοί

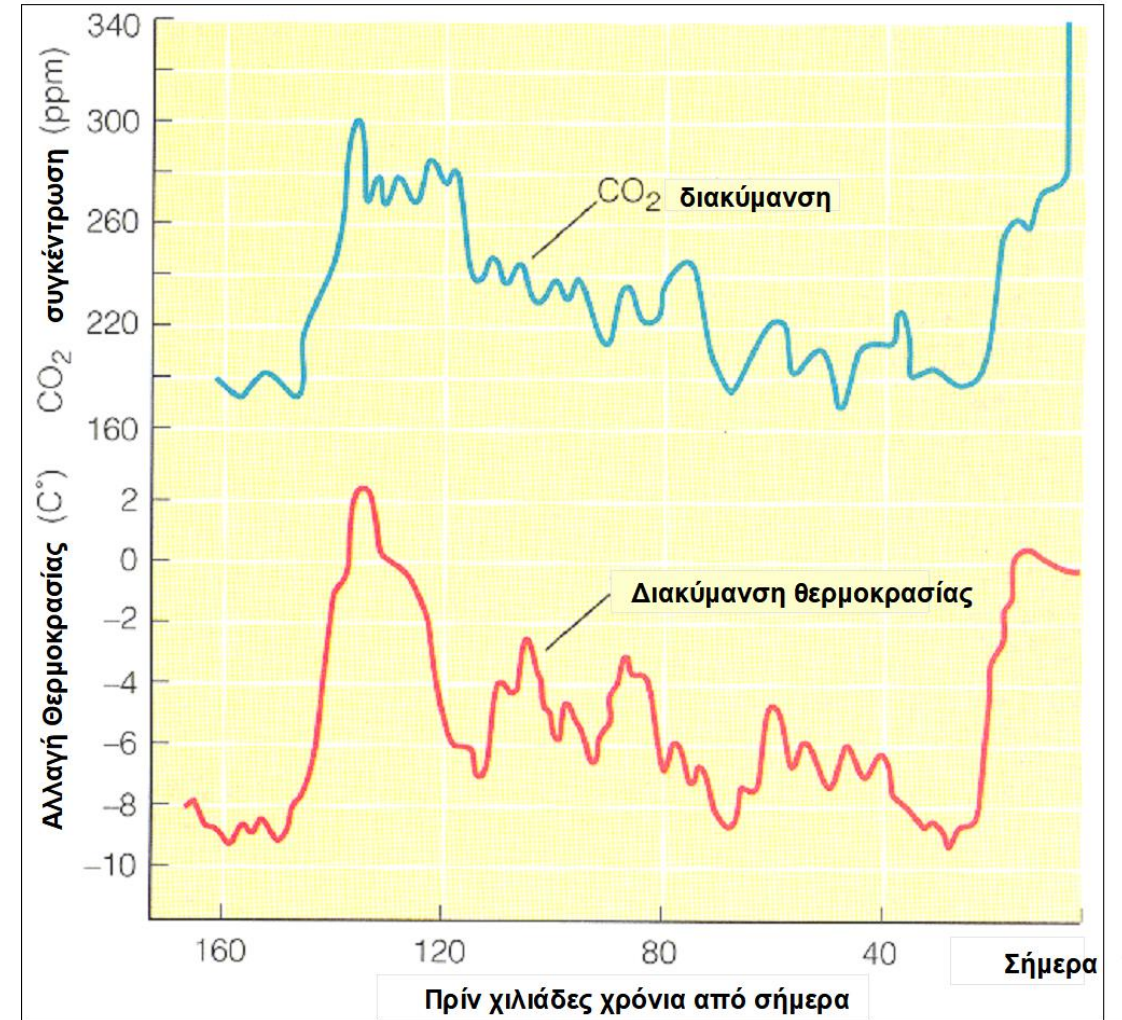


Κύκλος του Άνθρακα - Προβλήματα

Οι υψηλές θερμοκρασίες συσχετίζονται με υψηλά επίπεδα CO₂ στην ατμόσφαιρα.



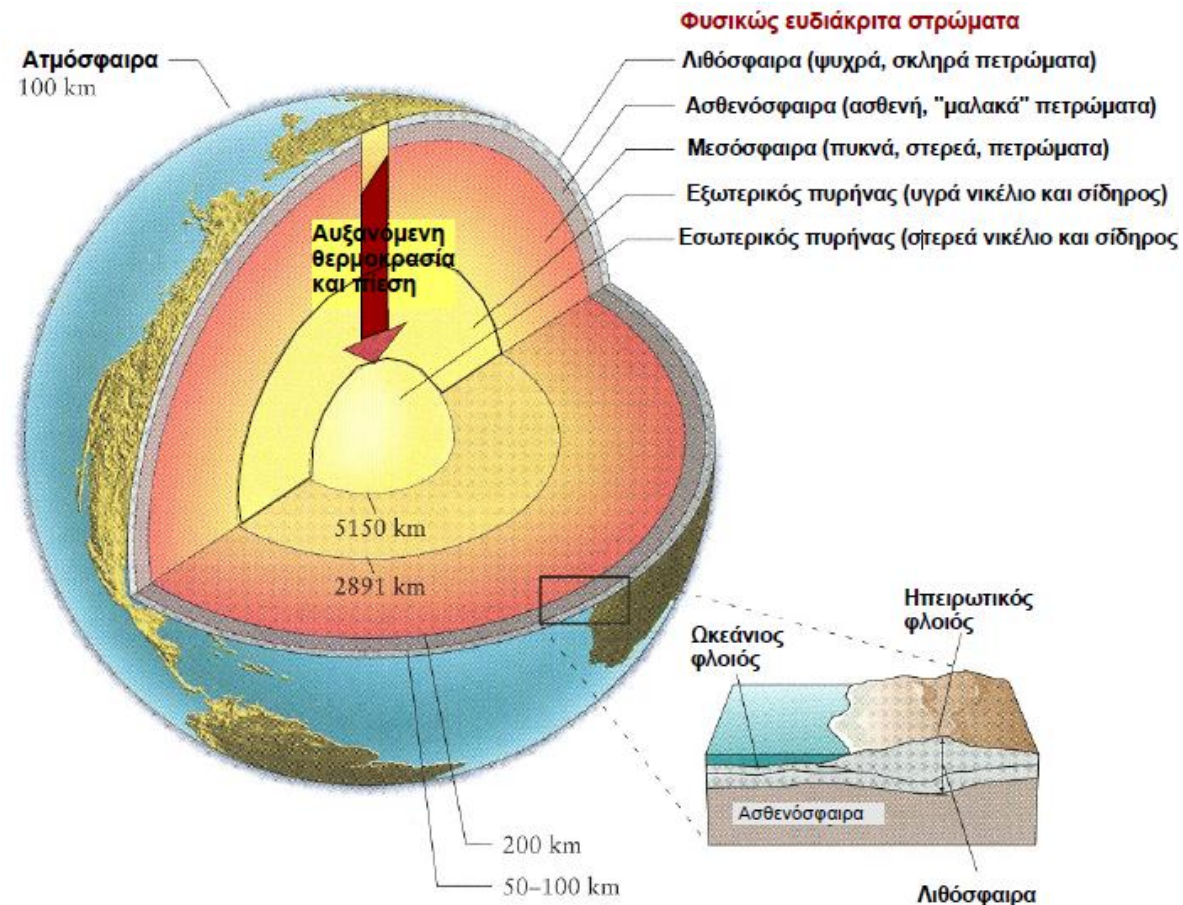
Γήινα συστήματα και κύκλοι - Βιογεωχημικοί



Η διακύμανση της θερμοκρασίας πάνω από την Ανταρκτική και της παγκόσμιας συγκέντρωσης ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 160.000 χρόνων.

Κύκλος των Πετρωμάτων – Πετρολογικός κύκλος

- Ο **κύκλος των πετρωμάτων** είναι ένα μοντέλο που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο **διάφορες γεωλογικές διεργασίες δημιουργούν, τροποποιούν και επιδρούν στα πετρώματα.**
- Το μοντέλο υποδηλώνει ότι η **προέλευση όλων των πετρωμάτων** μπορεί τελικά να εντοπιστεί στη **στερεοποίηση του λιωμένου μάγματος.**
- Το **μάγμα** αποτελείται από ένα **μείγμα λιωμένων στοιχείων** και ενώσεων που βρίσκονται συνήθως σε βράχους και **βρίσκεται ακριβώς κάτω από το στερεό φλοιό της Γης** σε μια εσωτερική ζώνη γνωστή ως **μανδύας.**



Κύκλος των Πετρωμάτων

- Τόσο ο υδρολογικός όσο και οι βιογεωχημικοί κύκλοι **τροφοδοτούνται σε ενέργεια από τον ήλιο.**
- Ο κύκλος των πετρωμάτων **τροφοδοτείται από τη γεωθερμική ενέργεια.**
- Μέρος της γήινης εσωτερικής **θερμότητας κινείται αργά προς την επιφάνεια μέσω της διαδικασίας της μεταβίβασης θερμότητας** που λειτουργεί μέσω μεταβίβασης της θερμικής ενέργειας από άτομο σε άτομο (conduction).
- Είναι πολύ σημαντική η **γνώση της δομής της Γης.**

