

---

# Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών

Σύγχρονες Στρωματογραφικές  
Μέθοδοι

# ΕΙΔΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

---

## Κλασσικοί κλάδοι

- Λιθοστρωματογραφία
- Χρονοστρωματογραφία
- Βιοστρωματογραφία

## Νέοι κλάδοι

- Σεισμική στρωματογραφία
  - Κυκλοστρωματογραφία
  - Μαγνητοστρωματογραφία
  - Χημειοστρωματογραφία
- 
- Ενσωμάτωση όλων αυτών των κλάδων στην **Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών**
  - **ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ:** Παραλληλισμός στρωμάτων από περιοχή σε περιοχή με στόχο την ερμηνεία της απόθεσής τους, την ηλικιακή τους σχέση και την εξέλιξη της περιοχής.

**Ακαδημαϊκές:** γένεση, εξέλιξη και αρχιτεκτονική των ιζηματογενών λεκανών

**Κυβερνητικές:** χαρτογράφηση και συσχετισμός

**Βιομηχανικές:** διερεύνηση και παραγωγή πετρελαίου και άλλων ορυκτών πόρων



**Εφαρμογές**



**Στρωματογραφία  
Ακολουθιών**



**Κύριοι παράγοντες**

- Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας
- Υποβύθιση, ανάδυση
- Κλίμα
- Παροχή ιζήματος
- Μορφολογία λεκάνης
- Ενέργεια περιβάλλοντος
- βιόκοσμος

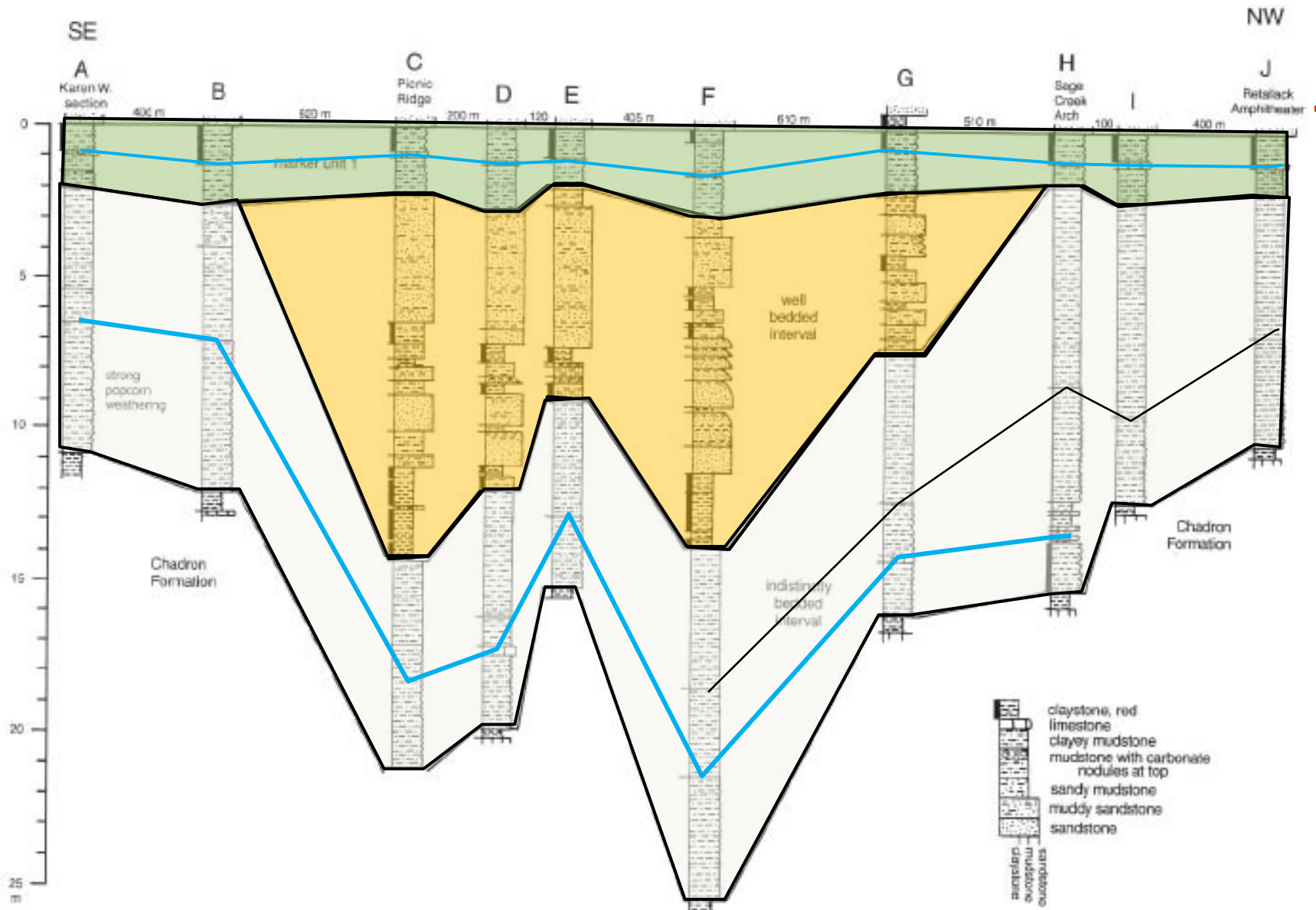
**Δεδομένα**

- Σεισμικά
- Επιφανειακά
- Πυρήνα
- Διαγραφίες
- Βιοστρωματογραφικά
- Γεωχημικά



**Γνωστικά αντικείμενα**

- Ιζηματολογία
- Στρωματογραφία
- Γεωφυσική
- Γεωμορφολογία
- Χημειοστρωματογραφία
- Τεκτονική
- Ανάλυση ιζηματογενών λεκανών



SE

NW

A  
Karen W.  
section

B

C  
Picnic  
Ridge

D

E

F

G

H  
Sage  
Creek  
Arch

I

J  
Retzlack  
Amphitheater

0 400 m 600 m 200 m 120 m 405 m 610 m 510 m 100 m 400 m

0

5

10

15

20

25 m

strong popcorn weathering

Chadron Formation

indistinctly bedded interval

Chadron Formation

- claystone, red limestone
- clayey mudstone
- mudstone with carbonate nodules at top
- sandy mudstone
- muddy sandstone
- sandstone

# Τί είναι Στρωματογραφία Ακολουθιών;

---

- Σχετικά καινούριο αντικείμενο της Γεωλογίας που μελετά τη συσχέτιση γεωλογικών φάσεων μέσα σε ένα πλαίσιο χρονοστρωματογραφικών επιφανειών, πυρήνας της οποίας είναι οι ιζηματογενείς αποθέσεις που πληρούν μια λεκάνη και ονομάζονται ακολουθίες.
- Όρια των ακολουθιών αποτελούν οι στρωματογραφικές ασυμφωνίες.
- Απαιτεί συνδυασμό Ιζηματολογίας, Στρωματογραφικών αρχών και Τεκτονικής
- Αμεση εφαρμογή στη διερεύνηση υδρογονανθράκων

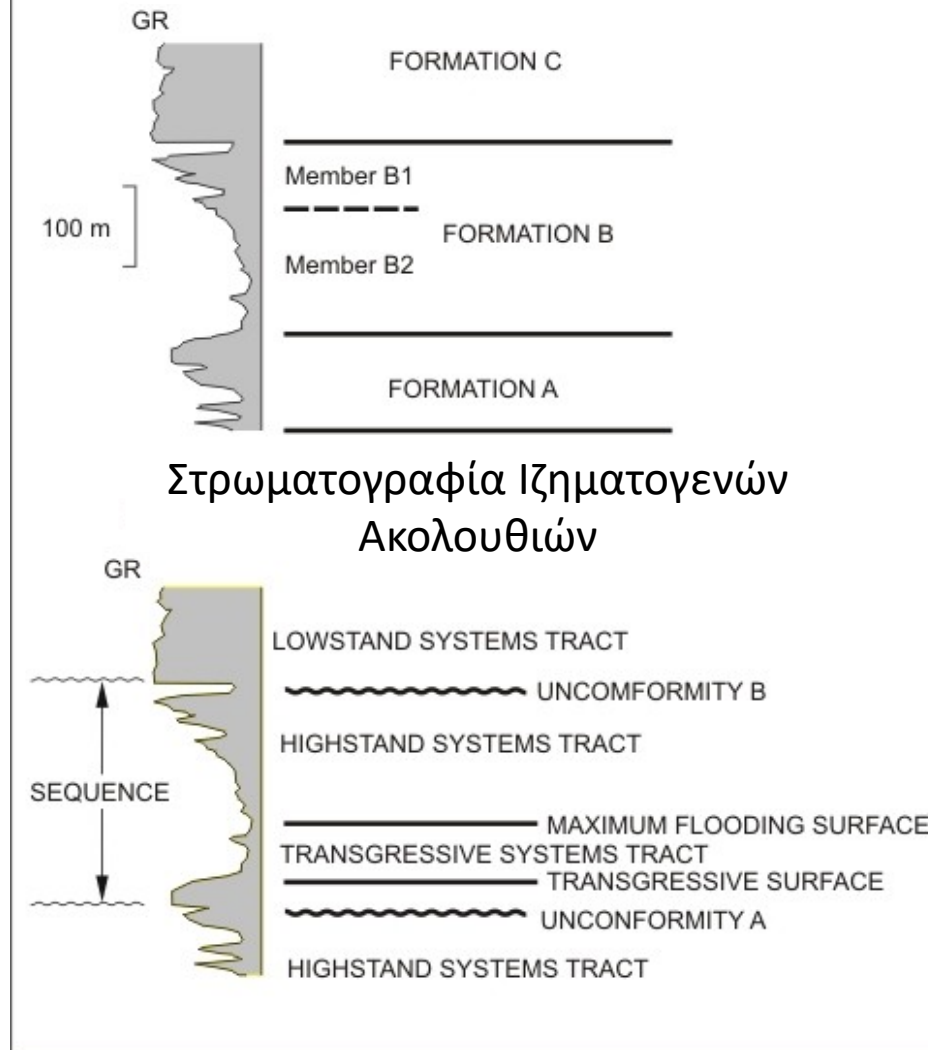
# Τί είναι Στρωματογραφία Ακολουθιών;

---

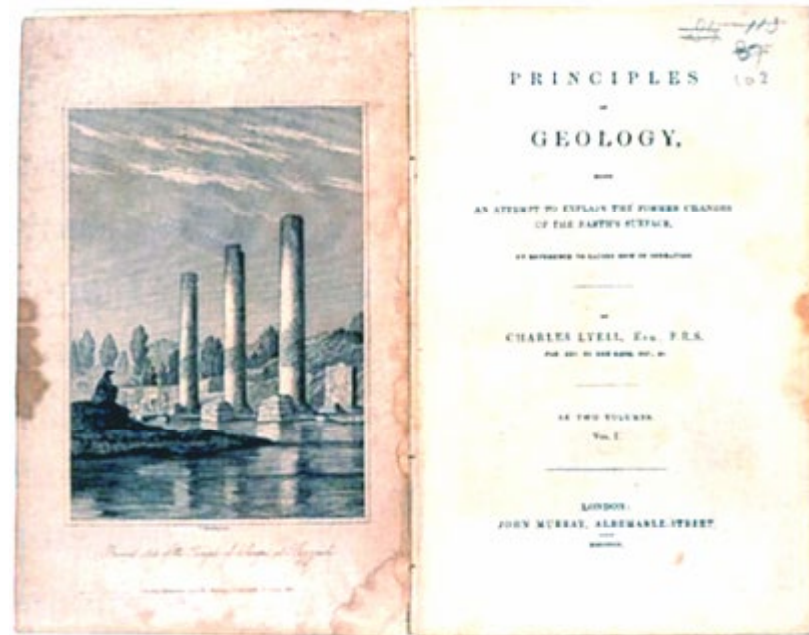
*«Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών (ή Στρωματογραφία Ακολουθιών – Sequence Stratigraphy) είναι η υποδιαίρεση των ιζημάτων μιας λεκάνης σε πακέτα της ίδιας γενετικής προέλευσης που οριοθετούνται από ασυμφωνίες και τις σχετικές τους προεκτάσεις σε συμφωνία»*

Η Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών είναι ένας τύπος στρωματογραφίας που ασχολείται με την περιγραφή, την ερμηνεία, την ταξινόμηση και την ονοματολογία των ιζηματογενών πετρωμάτων με βάση τον τρόπο στοίβαξης των στρωμάτων και τις στρωματογραφικές τους σχέσεις.

## Λιθοστρωματογραφία



# Ιστορικό υπόβαθρο: Αρχή της Ομοιομορφίας ή Ομοιομορφισμού



***Principles of Geology* (1833)**



# Ιστορικό υπόβαθρο - ασυμφωνίες

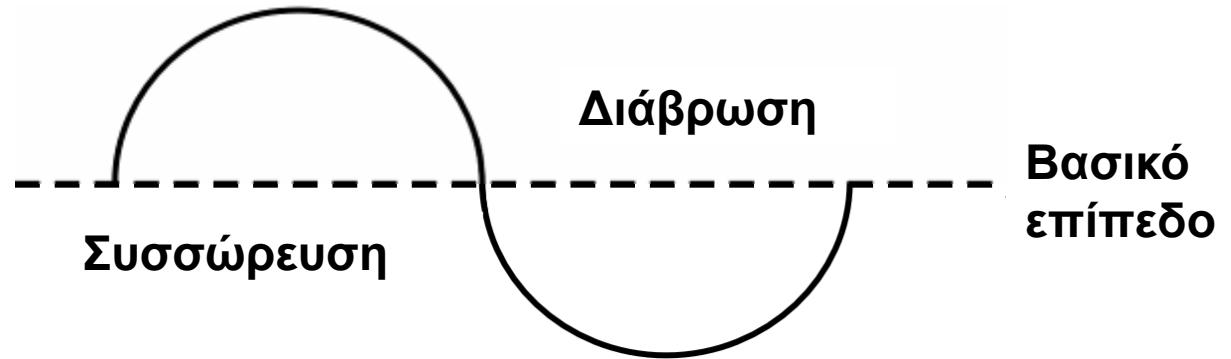
---



- James Hutton (1726-1797): Πατέρας της σύγχρονης Γεωλογίας
- Πρώτος περιέγραψε ασυμφωνία στη Βόρεια Σκωτία (Siccar Point)
- Στο έργο του “Η Θεωρία της Γης” (1785) ο Hutton αναγνώρισε την σημασία της ασυμφωνίας
- Επίσης αναγνώρισε την στρωματογραφική φύση των εκρηξιγενών πετρωμάτων

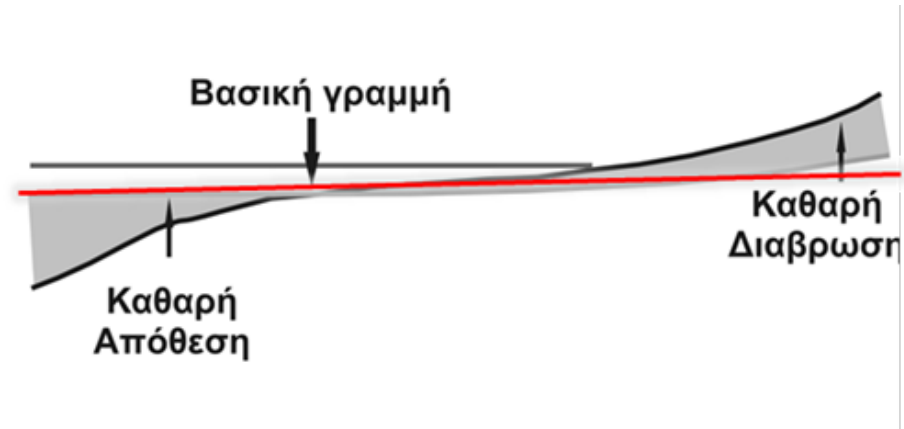


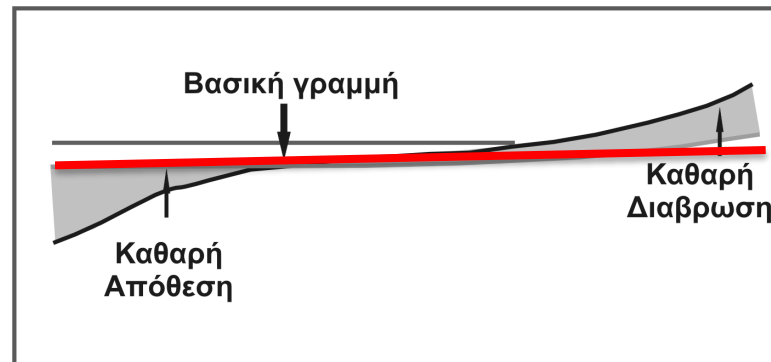
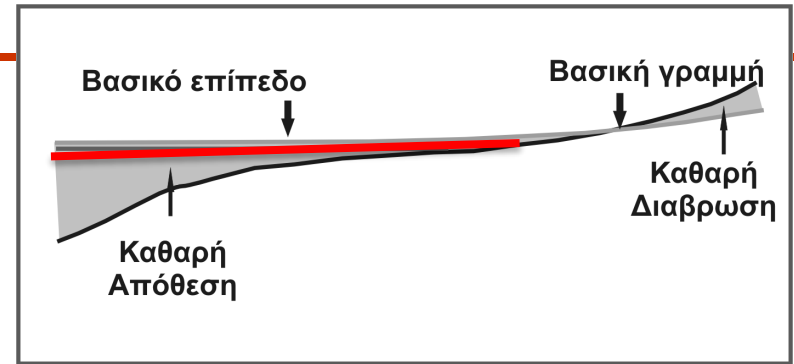
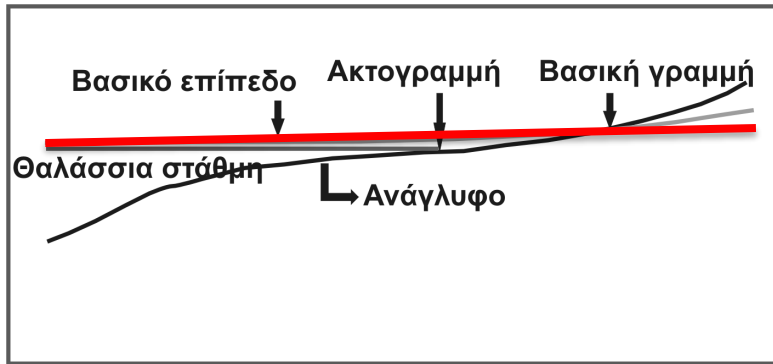
# Ιστορία της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών: Βασικό επίπεδο ή επίπεδο βάσης



1917: Ο Joseph Barrell ανέφερε τα πιο θεμελιώδη γεγονότα στην γεωλογική ιστορία –την κατανομή απόθεσης και μη-απόθεσης στο χώρο και το χρόνο: την εναλλασσόμενη ανύψωση και πτώση του Βασικού Επιπέδου.

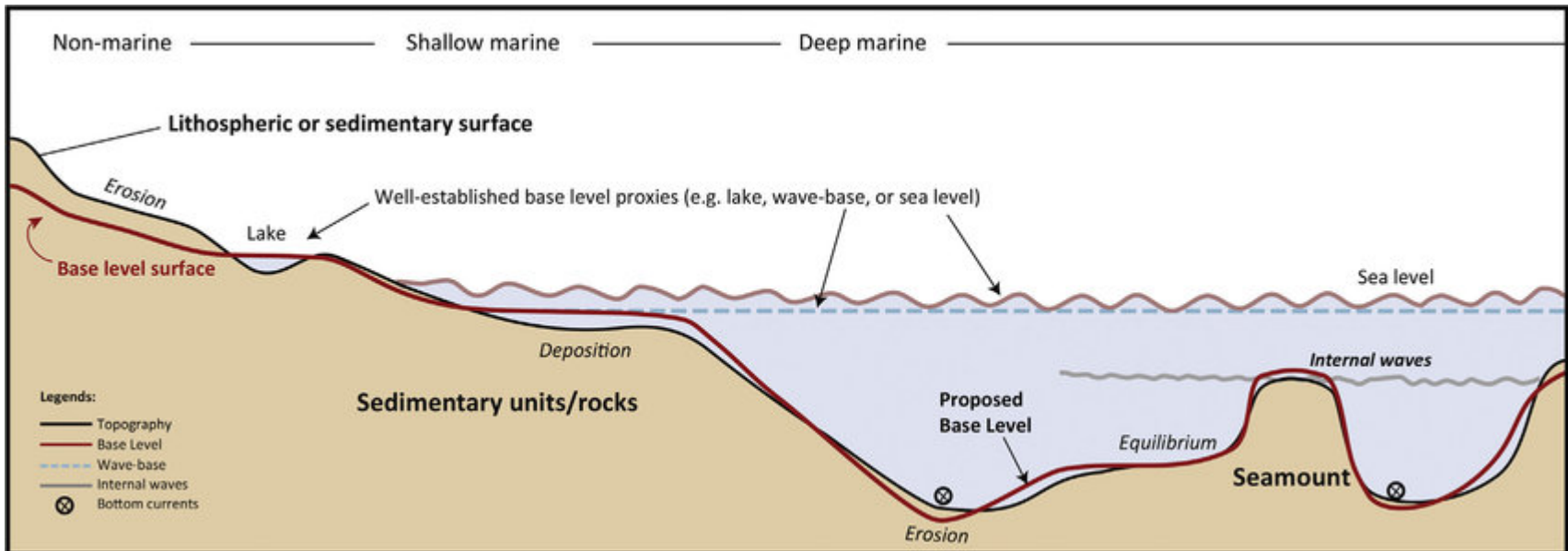
**διάστημα" (diastem):** μικρές και πολυάριθμες διακοπές ιζηματογένεσης





Η γραμμή όπου το βασικό επίπεδο συναντά την επιφάνεια της Γης  
 ονομάζεται **«βασική γραμμή»**.

# Βασικό Επίπεδο ή επίπεδο βάσης

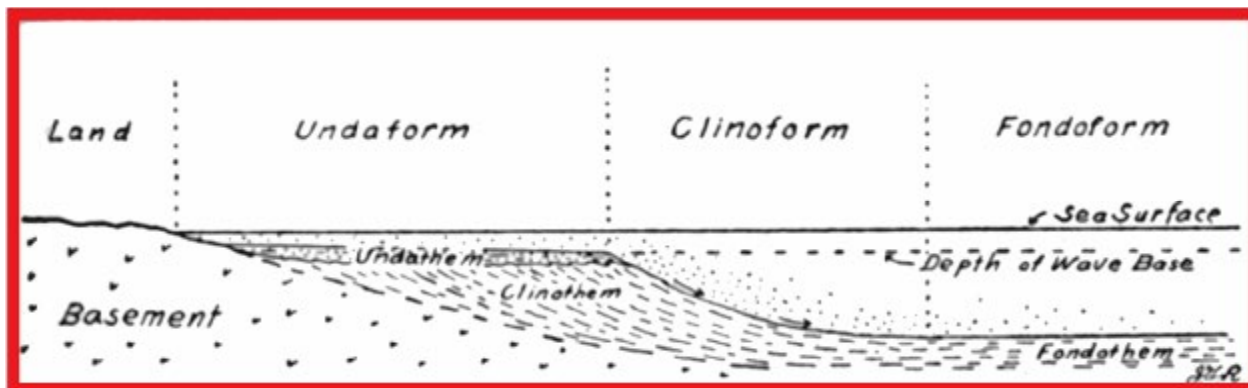


**Βασικό επίπεδο ή επίπεδο βάσης** είναι μια νοητή επιφάνεια ισορροπίας, που διαχωρίζει τη διάβρωση από την απόθεση.

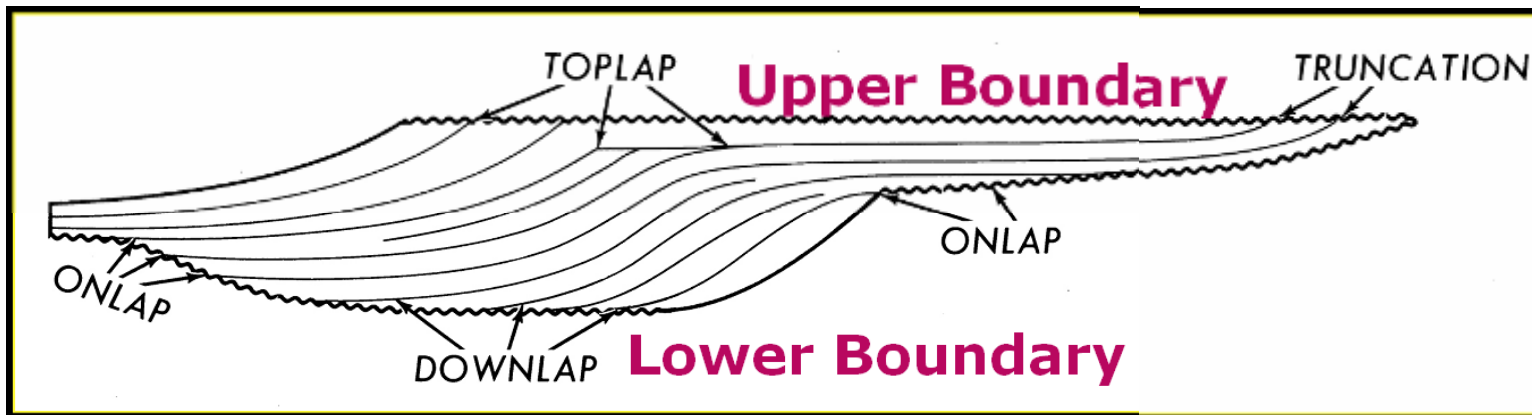
# Δεκαετία του 50: Νέες Έννοιες - Νέα Τεχνολογία



1951 Ο John L. Rich προτείνει την έννοια των clinoforms...

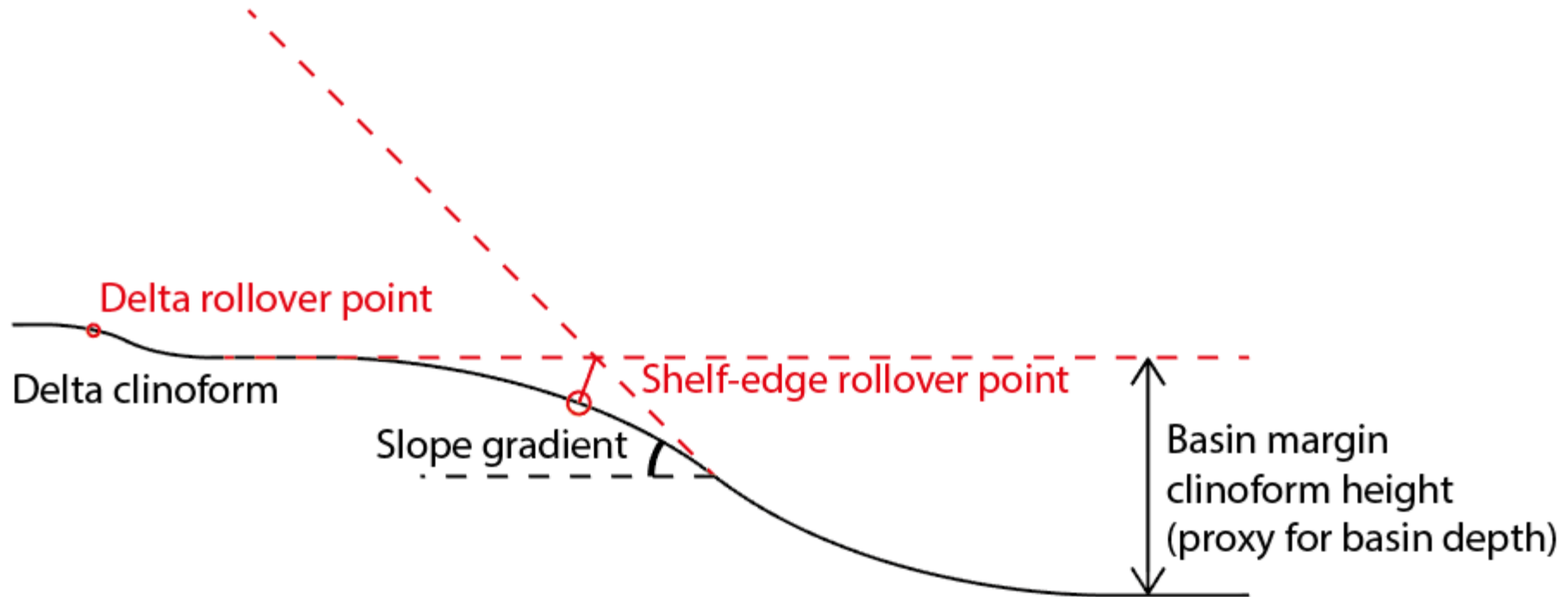


...αναγνώριση των γεωμετριών σεισμικής ανάκλασης

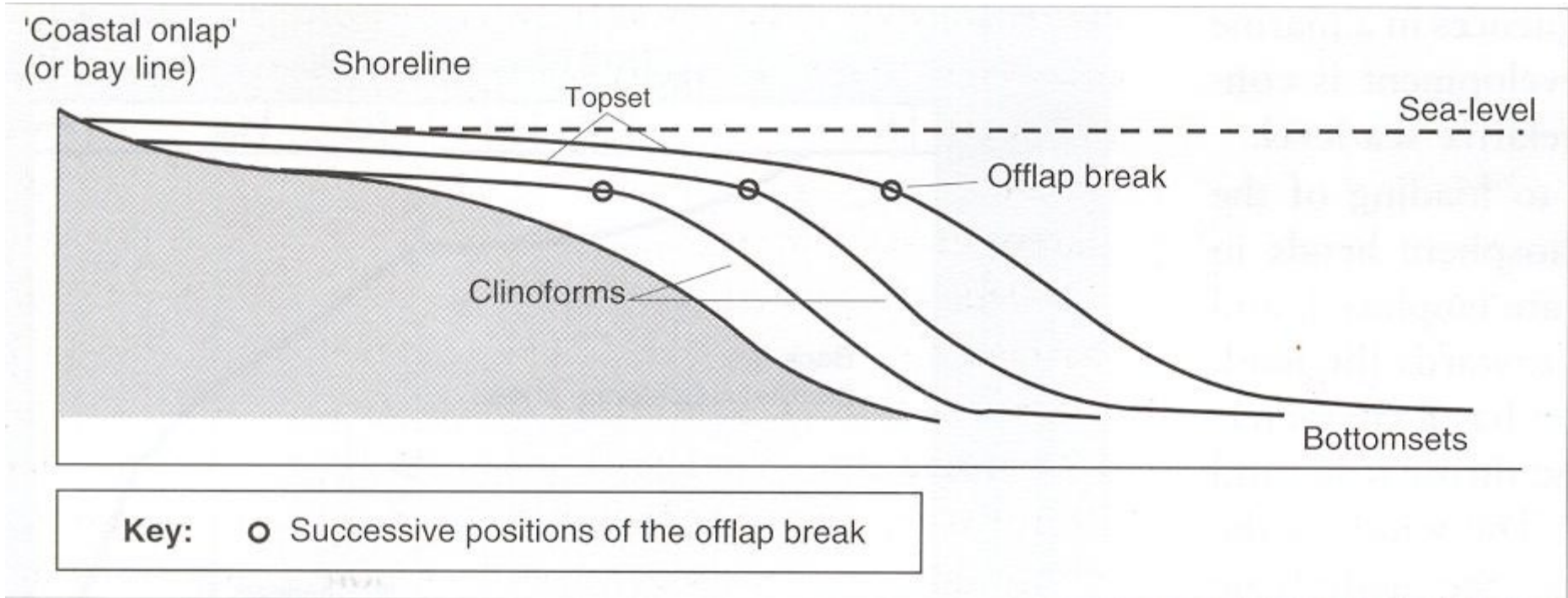


**Clinoform ή κλινομορφή:** Η επικλινή επιφάνεια απόθεσης ενός μεγάλου μορφολογικού στοιχείου που δίνει σεισμική έκφραση, π.χ. ένα μέτωπο του δέλτα.

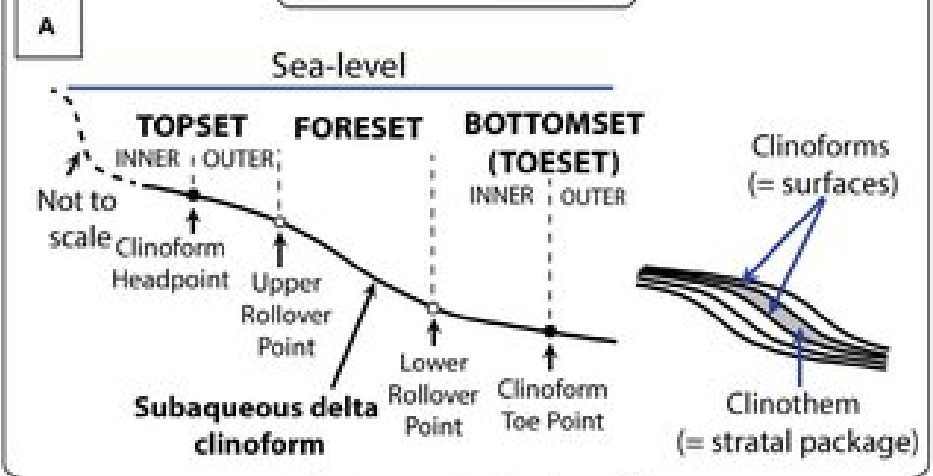
---



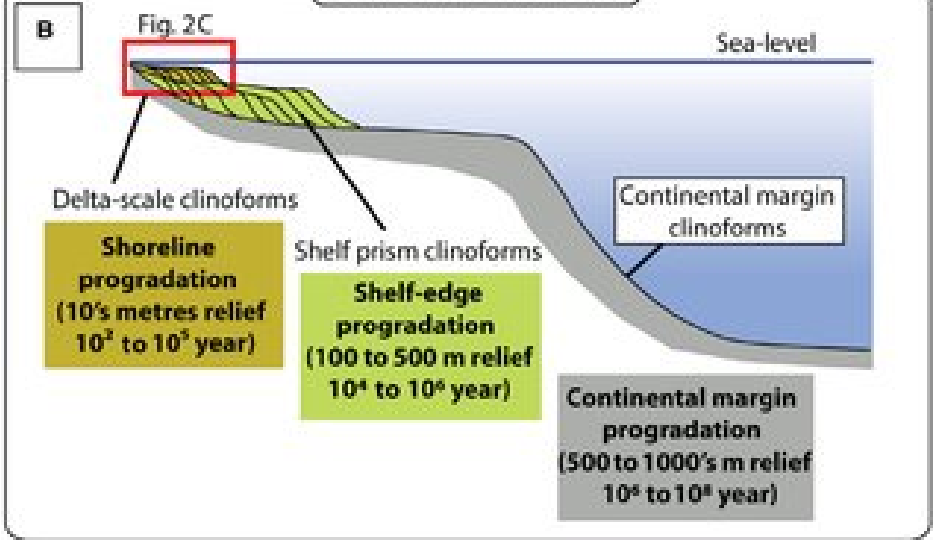
Πολλές από τις έννοιες και τις αρχές της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών βασίζονται στην παρατήρηση σεισμικών δεδομένων: η προέλαση συστημάτων περιθωρίου λεκάνης έχει μια συγκεκριμένη γεωμετρία.



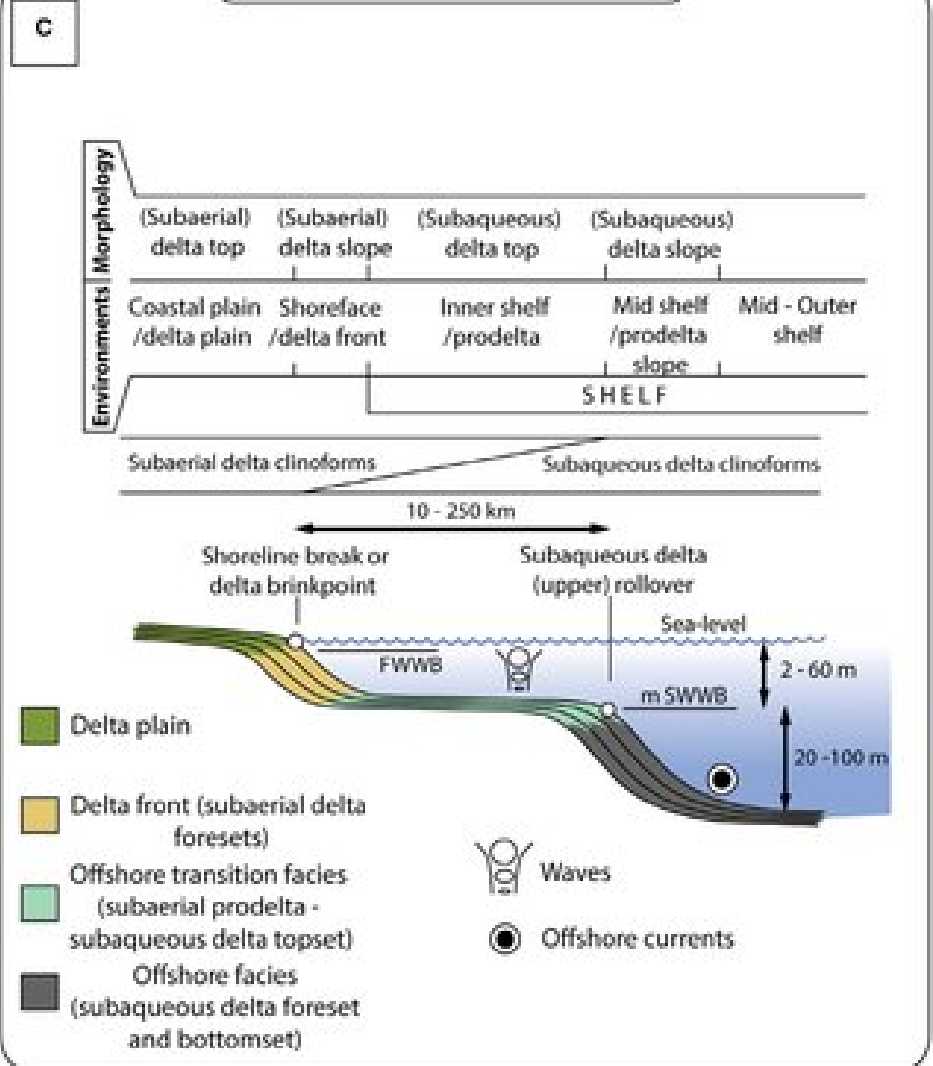
### Clinoform nomenclature



### Compound clinoforms

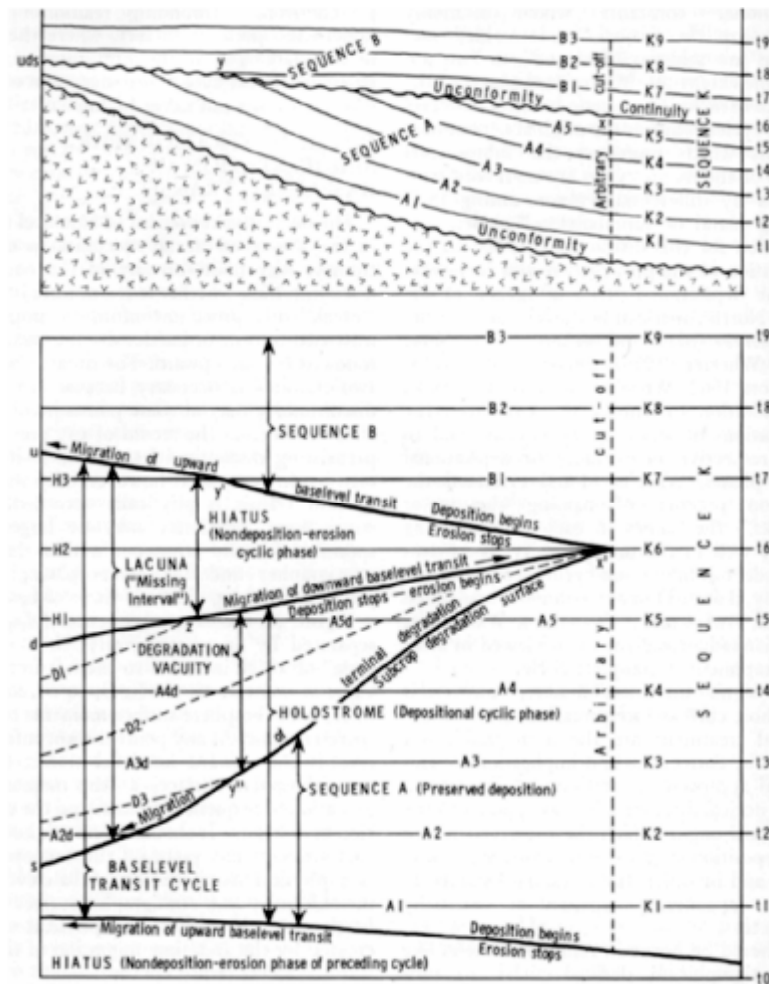


### Compound delta-scale clinoforms



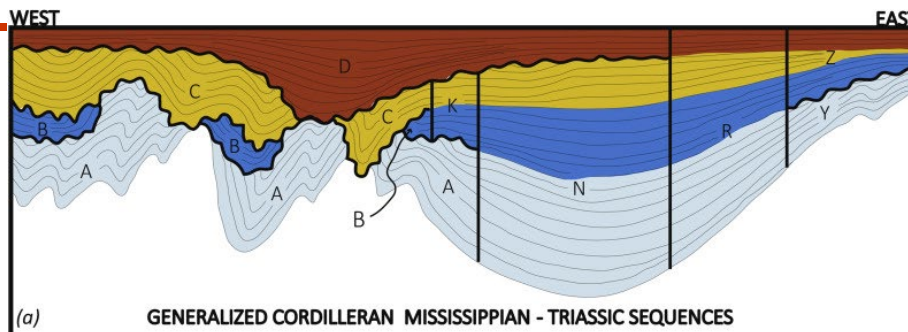


# Ιστορία της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών: Χρόνο-στρωματογραφία

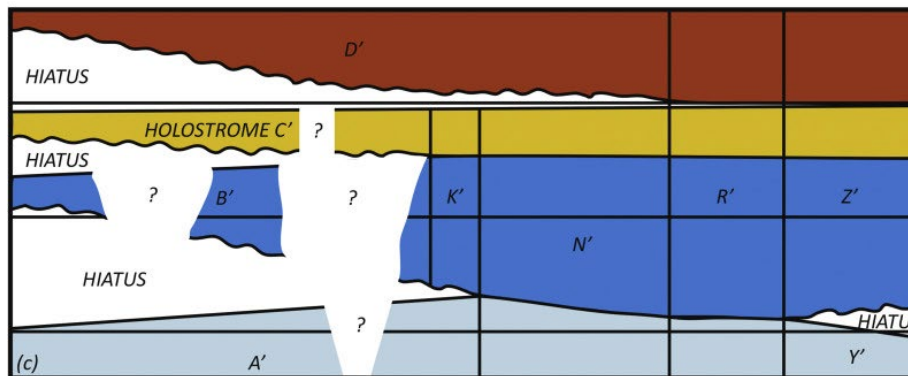
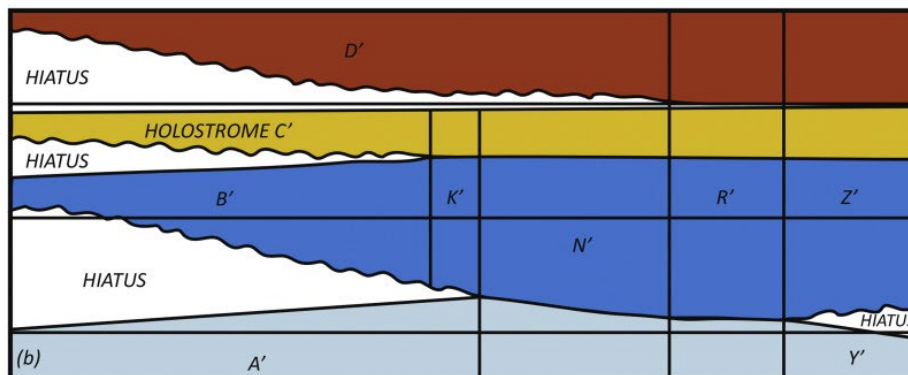


1958 Ο Harry Wheeler δημιουργεί τον πρώτο χρονοστρωματογραφικό χάρτη

# Διάγραμμα Wheeler



Γεωλογικός χρόνος



? - Missing sections (in a), which were not annotated in the original drawing (b).

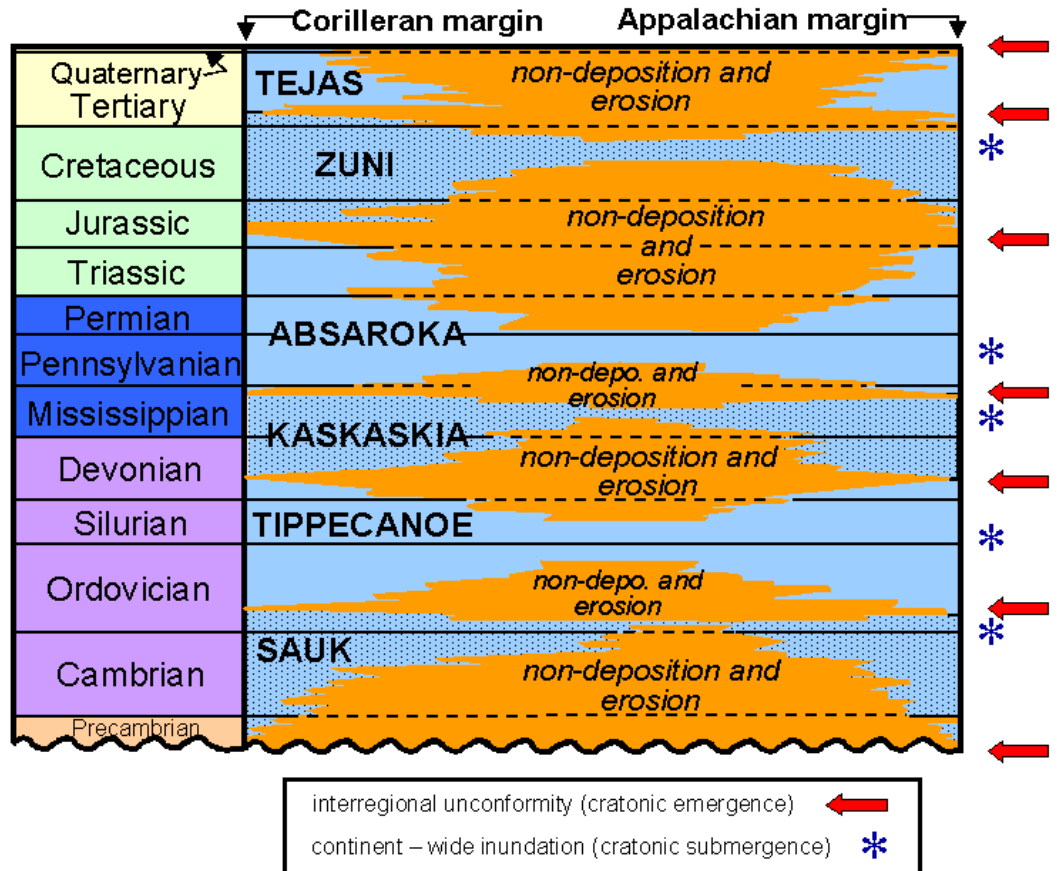
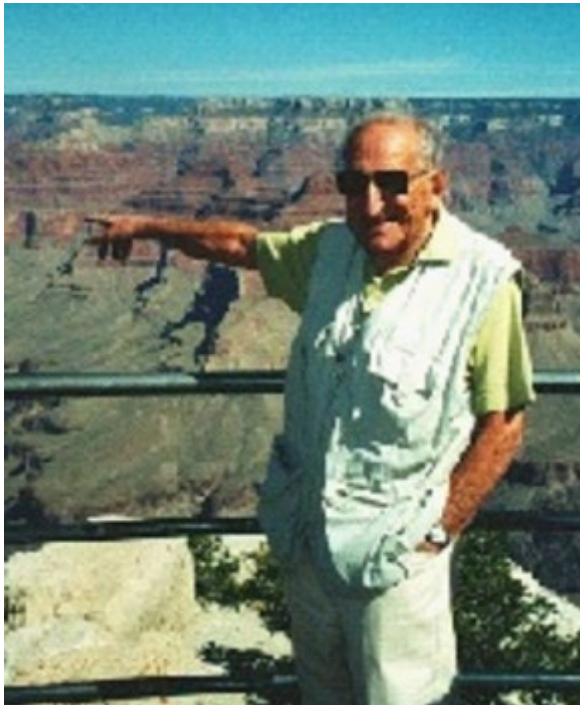
Απόσταση

# Διάγραμμα Wheeler-Εφαρμογές

---

- Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας
- Αλληλεπίδραση μεταξύ μεταβολών της στάθμης της θάλασσας και ιζηματογένεσης
- Ερμηνεία περιβαλλόντων ιζηματογένεσης
- Επικλυσιγενείς και αποσυρσιγενείς ακολουθίες
- Υποακολουθίες
- Ορια ακολουθιών
- Οικονομικά ορυκτά
- Υδρογονάνθρακες

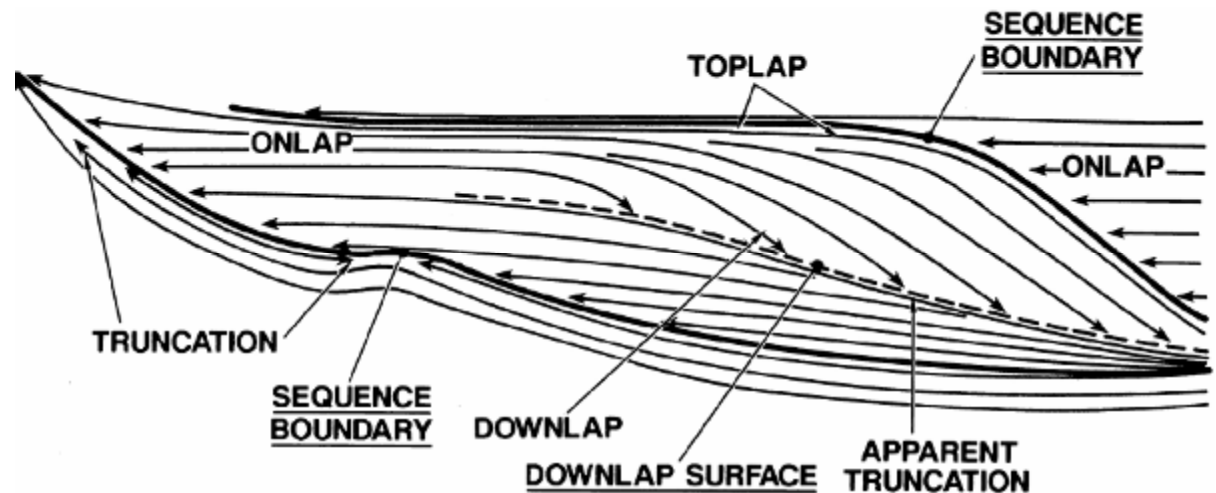
# Lawrence Sloss και η επανάσταση της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών



1963 Ο Lawrence Sloss αναγνώρισε 6 μεγάλες ακολουθίες στη Βόρεια Αμερική που ελέγχονται από τις ευστατικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης.

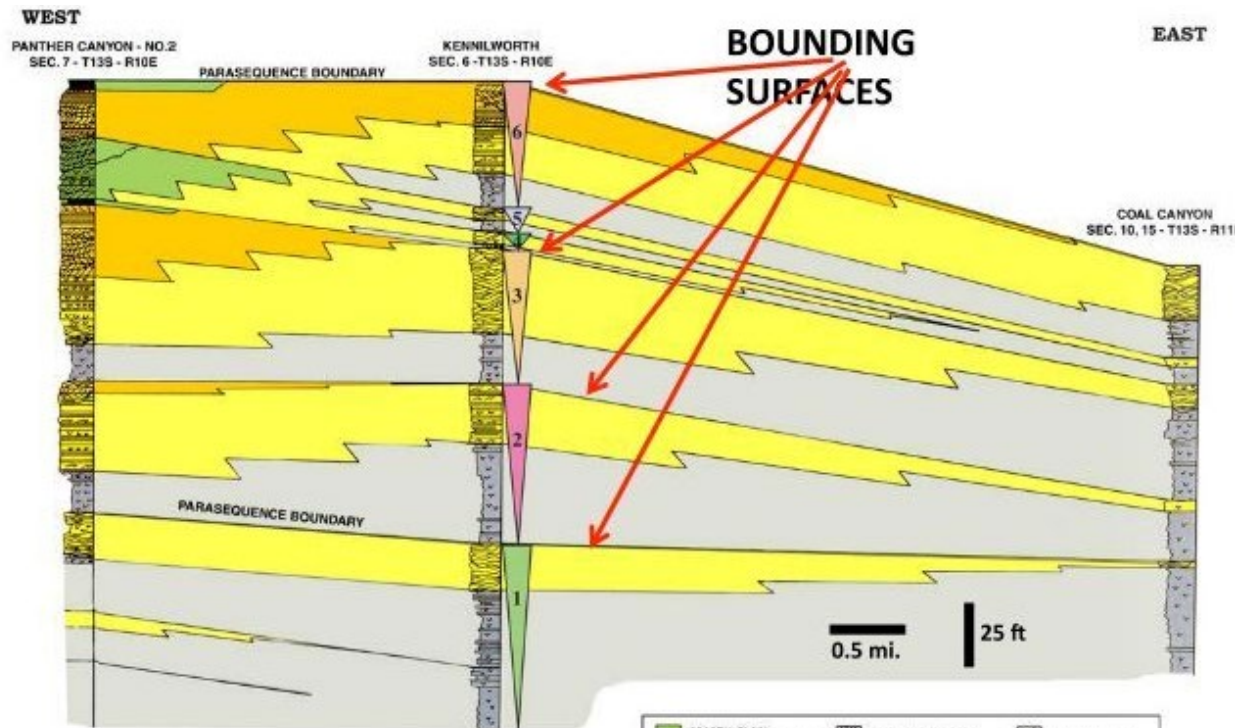
# Επίσημη γέννηση της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών ακολουθιών

1977 Οι Peter Vail και Robert Mitchum συντόνισαν τις δημοσιεύσεις στο AAPG Memoir #26 που βασίζονταν στην υπόθεση πως μια σεισμική επιφάνεια ανάκλασης αντιπροσωπεύει μια χρονική γραμμή



# Βασικές αρχές - χαρακτηριστικά

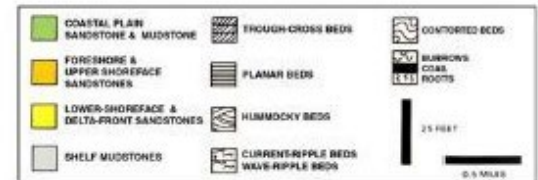
Μοτίβα φάσεων σε μια  
στρωματογραφική  
ακολουθία -  
στρωματογραφική  
αρχιτεκτονική



**Exercise #2 Solution - Book CH1 Outerups - Sequence Stratigraphy:**  
Section divided into six Parasequences.

- 1) Coal, sand trough-cross beds & burrows match "Coastal Plain"
- 2) Sands with trough-cross beds, burrows & current & wave ripples match "Foreshore & Upper Shoreface".
- 3) Sands with hummocky beds burrows & current & wave ripples match "Lower shoreface or Delta Front".
- 4) Muds with burrows and planar beds match "Shelf".

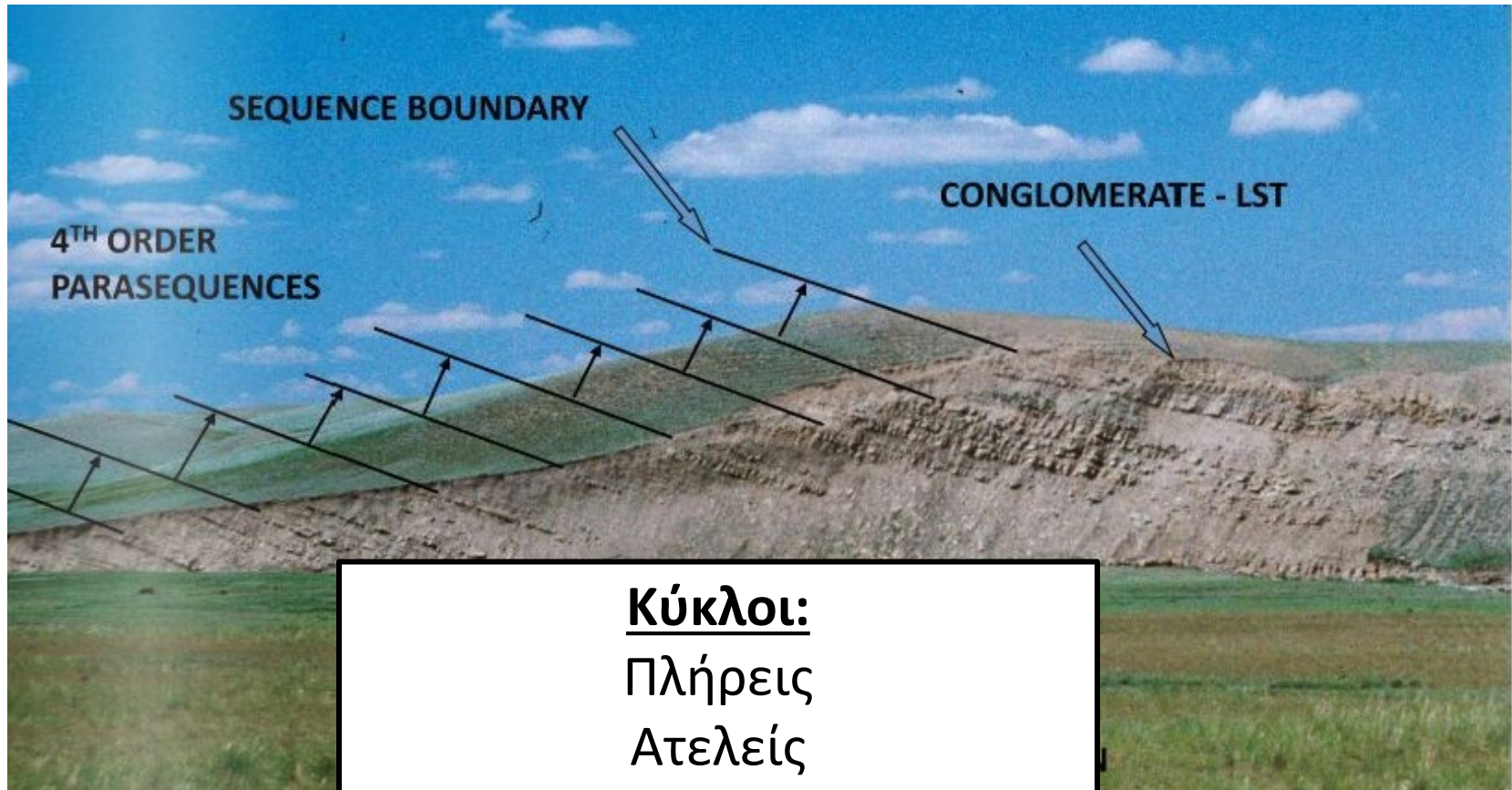
*C.G.St.C. Kendall 2003 [X-Section from Tim Wignace et al 1990]*



# Στρωματογραφία Ακολουθιών

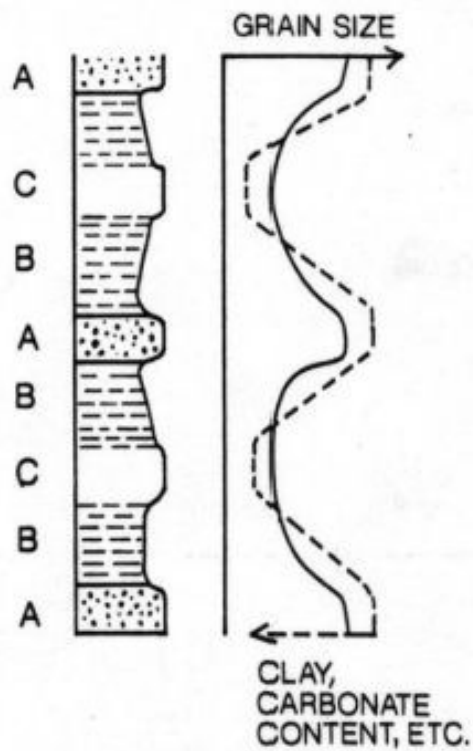
όλα έχουν να κάνουν με κύκλους και τις επιφάνειες οριοθέτησής  
τους

---

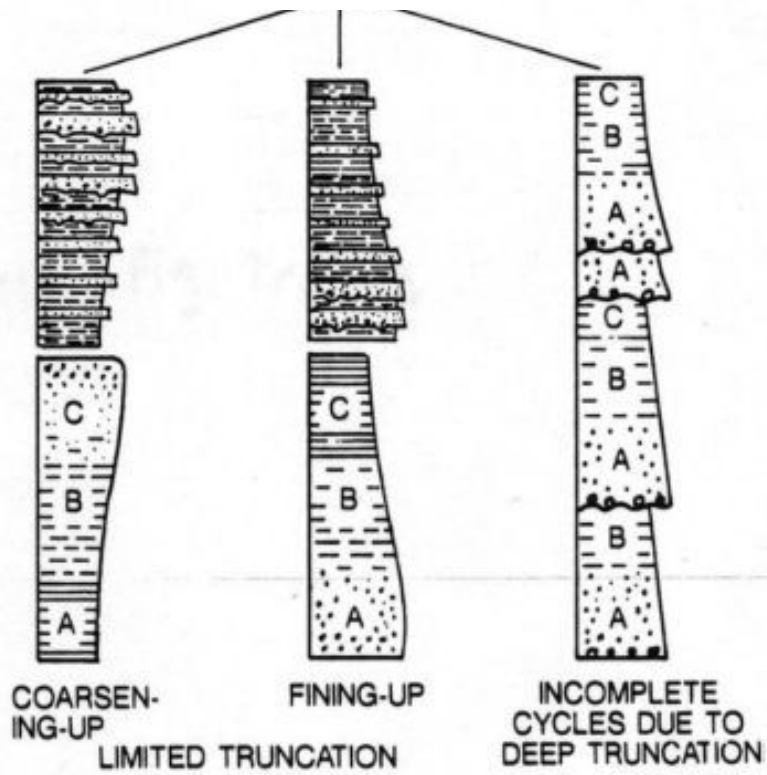


Κύκλοι:  
Πλήρεις  
Ατελείς  
Συμμετρικοί  
Ασύμμετροι

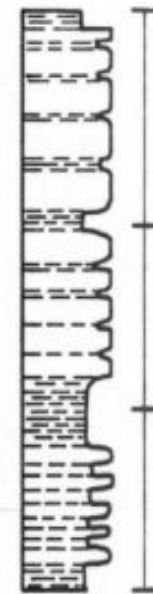
### Συμμετρικοί



### Ασύμμετροι



### Ζωνώσεις





# Τι δημιουργεί τους κύκλους

---

- Τεκτονισμός (περιφερειακός ή παγκόσμιος)
  - αλλαγή όγκου ωκεανών (σύγκρουση ηπείρου-ηπείρου)
    - Ανύψωση ασβεστολιθικών όγκων, συνθήκες διάβρωσης = αύξηση CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας
  - αλλαγή όγκου μεσοωκεάνιων ράχων
- Κλιματικοί · παγετώδεις κύκλοι (παγκόσμιοι = ευστατικοί)
  - Μεγάλη περιοδικότητα > 1 m.yr (συνήθως οφείλεται στον τεκτονισμό)
  - Μικρή περιοδικότητα: τροχιακές παραβιάσεις – κύκλοι Milankovitch
    - ανωμαλίες στην κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο
    - = μεταβολές στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας = κλιματικές μεταβολές
- Κλίμα (περιφερειακό)
  - Διακυμάνσεις στον όγκο του νερού των λιμνών
  - Μεταβολές στην παροχή ιζήματος
  - Οικολογικές μεταβολές (ανθρακικό ασβέστιο, επηρεάζει τον ρυθμό παραγωγής ανθρακικών ιζημάτων)

# Στρωματογραφία ιζηματογενών ακολουθιών

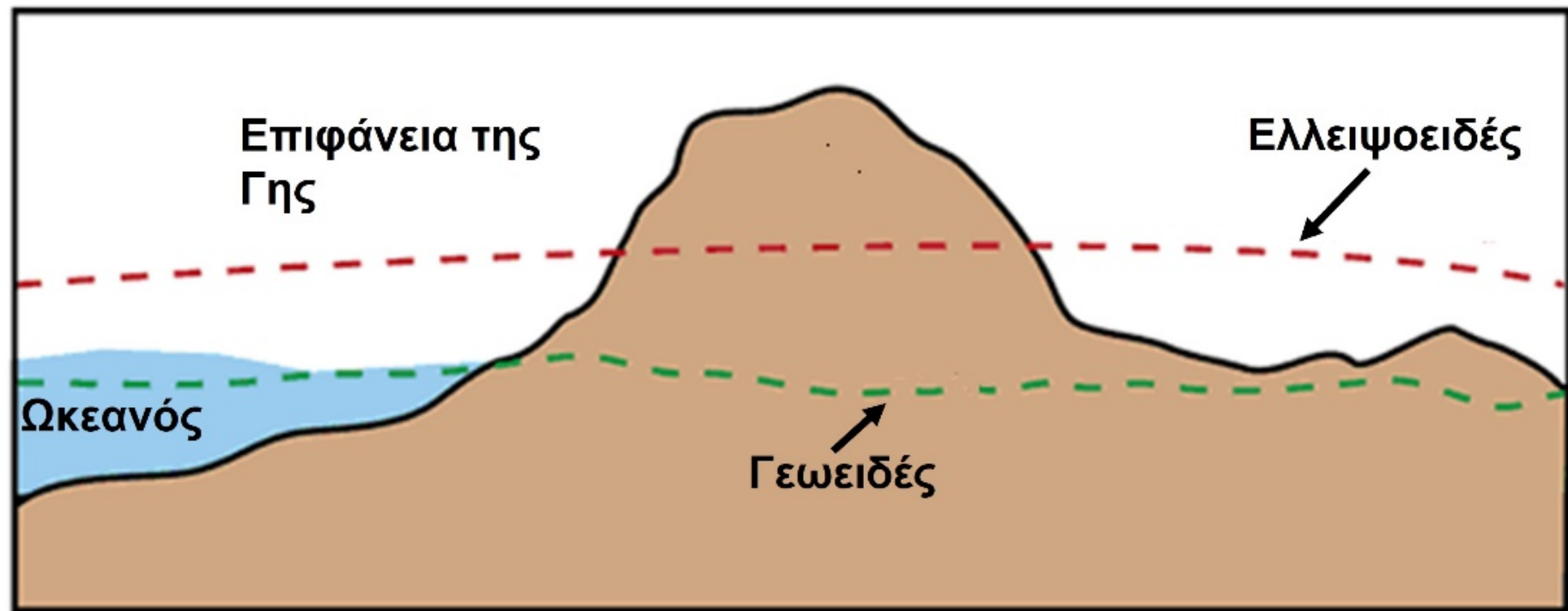
---

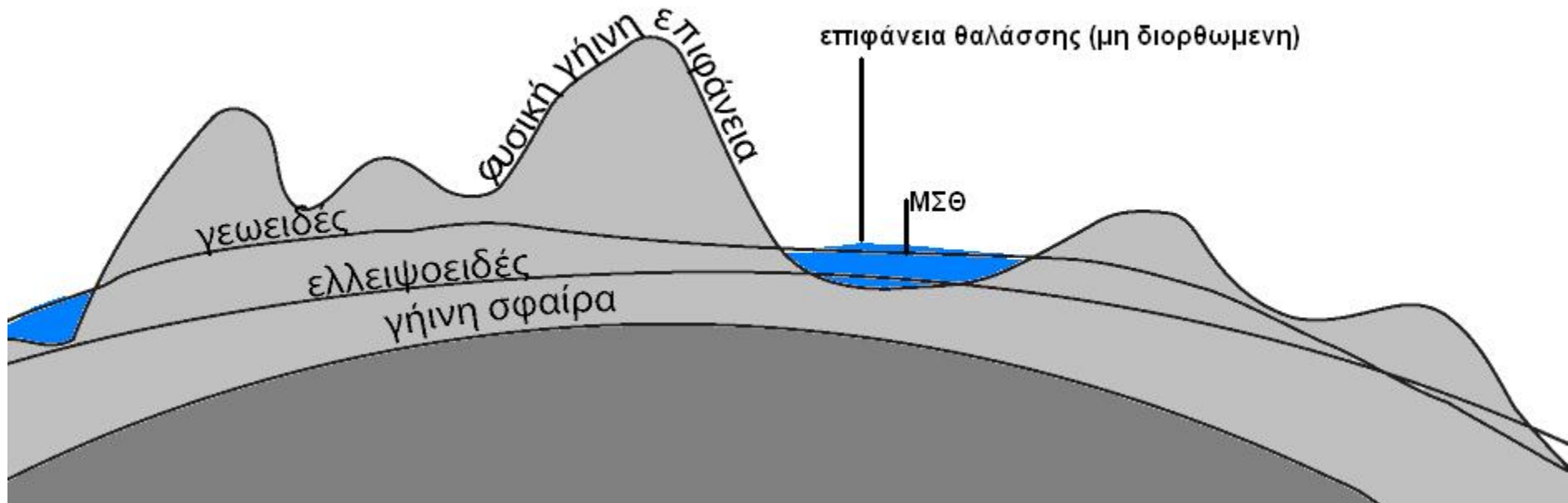
- Συνδυασμός λιθοστρωματογραφίας και ανάλυσης ιζηματογενών φάσεων.
- Οι ακολουθίες αποτελούνται από μικρότερες ακολουθίες επίκλυσης και απόσυρσης που μαζί συνθέτουν κυκλικές ακολουθίες.
- Οι ακολουθίες ερμηνεύονται λαμβάνοντας υπόψη τον ευστατισμό, την ιζηματογένεση και την τεκτονική, μέσω του χρόνου προκειμένου να συσχετιστούν τα στρώματα και να προβλεφτεί η στρωματογραφία σχετικά άγνωστων περιοχών.

# Βασικές αρχές

- Η μεγάλης κλίμακας στρωματογραφική αρχιτεκτονική συσχετίζεται με κύκλους ανόδου και πτώσεις του θαλάσσιου επιπέδου (ευστατικές κινήσεις),
- Οι κύκλοι αυτοί είναι παγκόσμιας κλίμακας

το παγκόσμιο μοντέλο της  
στάθμης της θάλασσας.



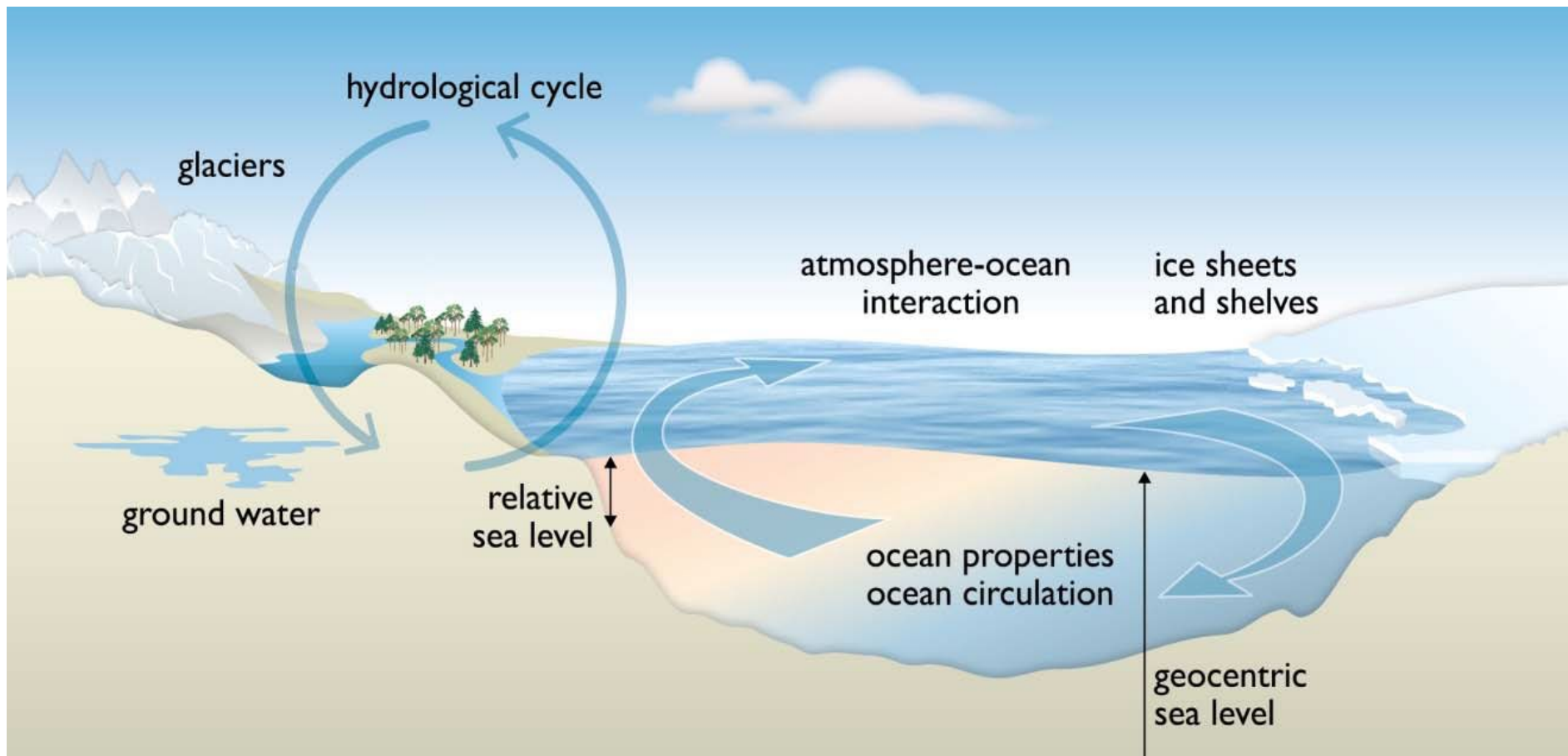


Το γεωειδές απέχει εμφανώς από τις άλλες επιφάνειες και ταυτίζεται με τη ΜΣΘ στη θάλασσα. Η ΜΣΘ δεν πρέπει να συγχέεται με την πραγματική επιφάνεια της θάλασσας.

# Μεταβολές της Στάθμης της Θάλασσας

---

- Η **στάθμη της θάλασσας** καθορίζεται από το μέσο επίπεδο του εύρους της παλίρροιας (χαμηλής και υψηλής στάθμης) η οποία είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης Γης-Ήλιου-Σελήνης.
- Επηρεάζεται από:
  - τον υδρολογικό κύκλο (hydrological cycle),
  - τους παγετώνες (glaciers),
  - τα καλύμματα πάγου (ice sheets),
  - την αλληλεπίδραση θάλασσας-ατμόσφαιρας,
  - την πυκνότητα ( $\rho$ ),
  - την θερμοκρασία ( $T$ ),
  - την αλατότητα ( $S$ ).



Διεργασίες που μπορούν να μεταβάλλουν την παγκόσμια και την τοπική θαλάσσια στάθμη. Ο όρος **ωκεάνια ιδιότητα** (ocean properties), αναφέρεται στην πυκνότητα, τη θερμοκρασία και την αλατότητα.

Ατμόσφαιρα

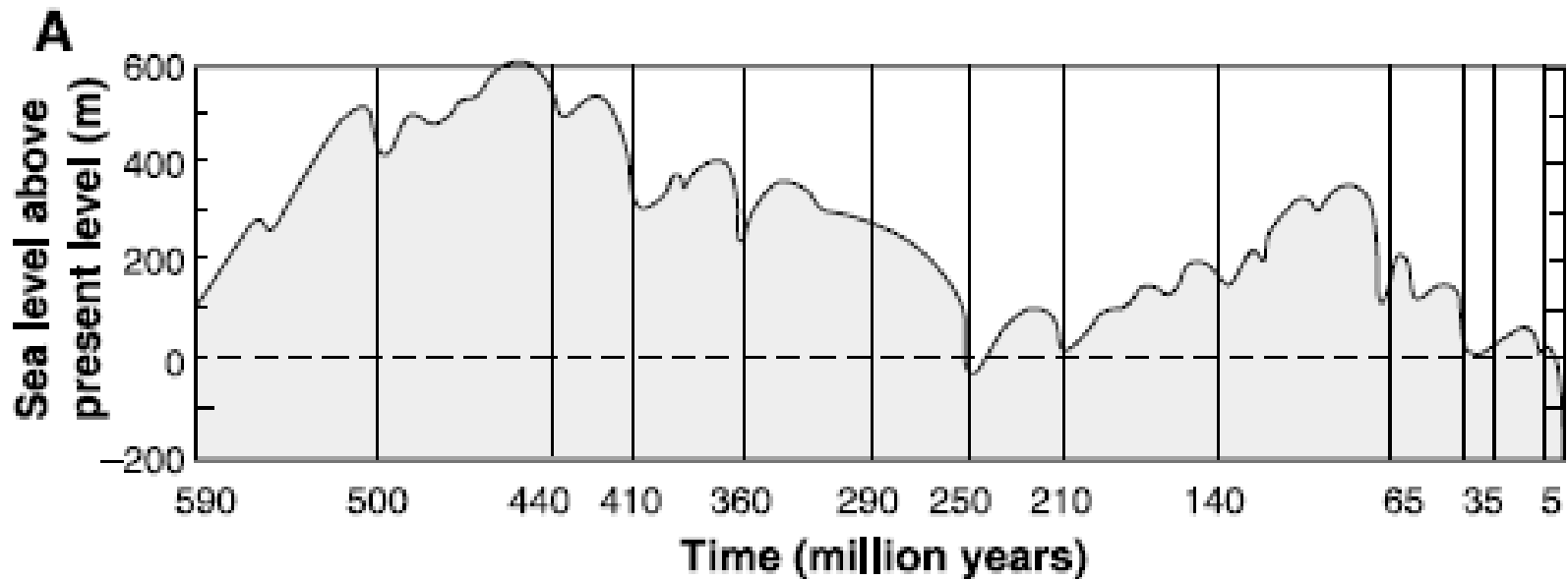




# Ευστατισμός

---

- Αναφέρεται στις παγκόσμιες και μακροχρόνιες (εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια) μεταβολές του επιπέδου της στάθμης, με την άνοδο αυτού να καλείται **επίκλυση** και την πτώση αυτού **απόσυρση**.
- Αιτίες ευστατισμού:
  - η μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων, κυρίως λόγω της μεταβολής του όγκου των παγετώνων, και
  - η μεταβολή του μεγέθους των ωκεάνιων λεκανών κυρίως μέσα από την ισοστατική τροποποίηση της λιθόσφαιρας ως αντίδραση στην μεταβολή του όγκου των παγετώνων και μέσα από βραδείς γεωδυναμικές διεργασίες (ορογένεση) ή και από την συσσώρευση ιζήματος.



## Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας παγκόσμια

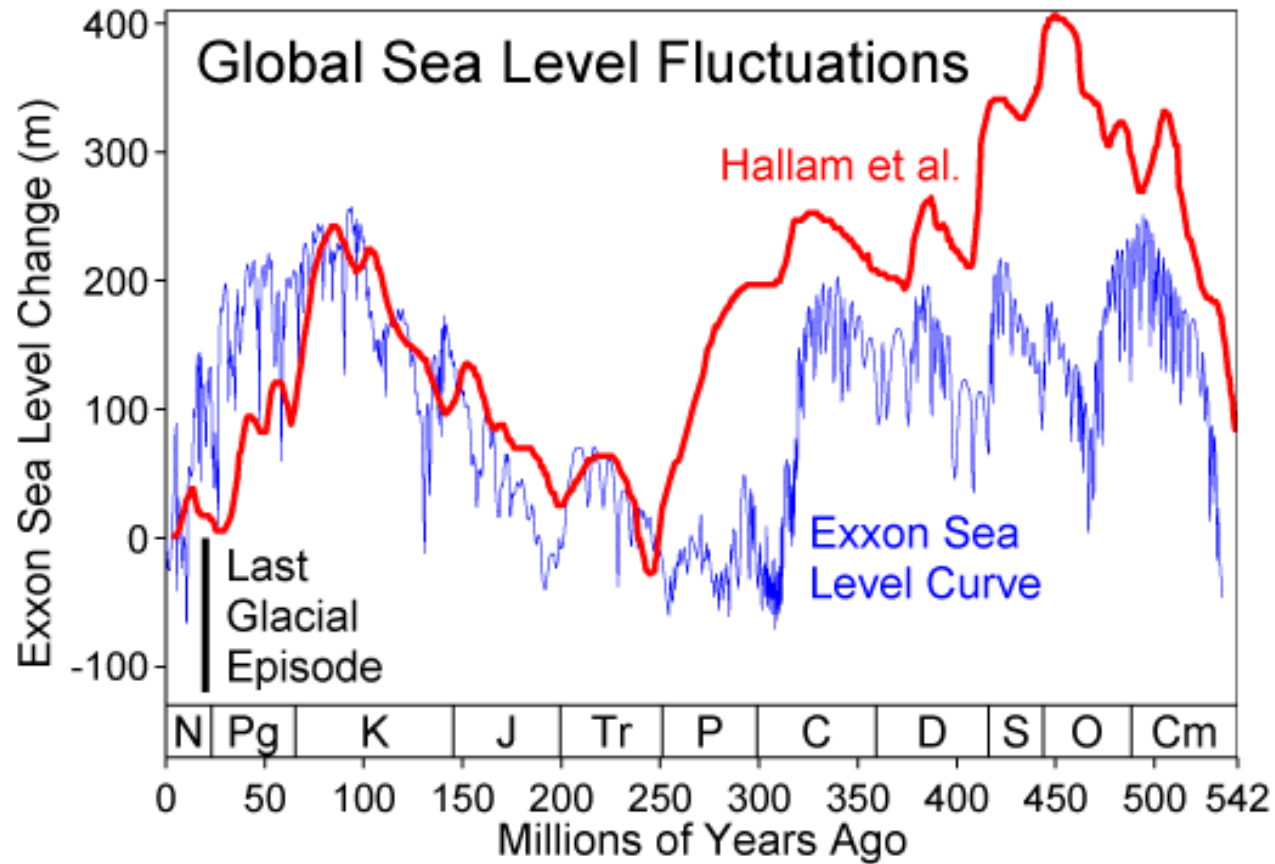
Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει ακολουθήσει δραματικές μεταβολές στο βάθος του γεωλογικού χρόνου, καθοριζόμενη κατά πολύ από την ανακατανομή ηπείρων και ωκεανών μέσα από ορογενετικές διαδικασίες όπως και από τις κλιματικές μεταβολές (θερμοκρασία).

# Σύγχρονες μεταβολές και προβλέψεις

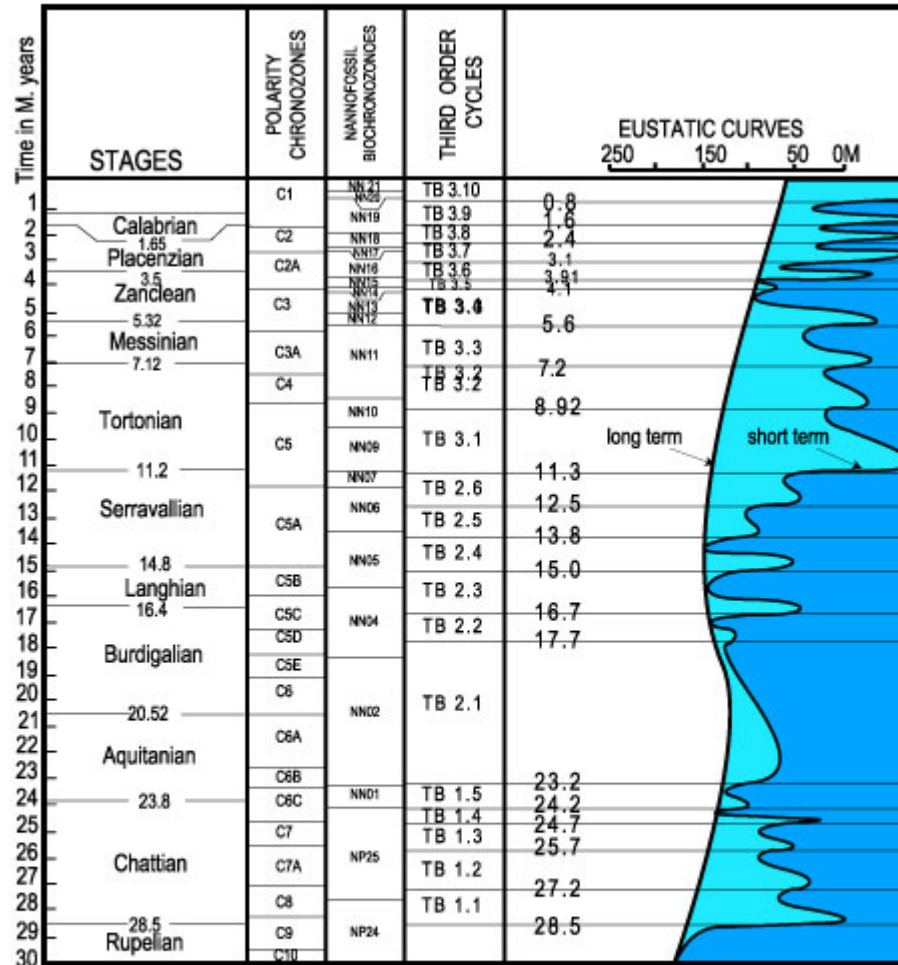
---

- Από το τέλος του 19ου-αρχές 20ου αιώνα μέχρι σήμερα, ενόργανες μετρήσεις (παλιρροιογράφοι και δορυφορική υψομετρία) δείχνουν αύξηση της στάθμης με έναν ρυθμό 1.8 mm/year,
- Δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 15 χρόνων δίνουν αύξηση του ρυθμού στα 3mm/year (Bindoff et al., 2007). Η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας τα τελευταία 5.000 χρόνια θεωρείται ότι επηρεάζεται κυρίως από θερμική διαστολή και από την μείωση της μάζας των παγετώνων.
- Η σημερινή μέση τιμή ανόδου της μέσης παγκόσμιας στάθμης εκτιμάται στα 1–2 mm/year (Bindoff et al., 2007) αλλά στο μέλλον αναμένεται να αυξηθεί, καθώς η μάζα των ωκεανών θα αυξηθεί από το λιώσιμο των παγετώνων εν όψει της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής

# Η καμπύλη Exxon



# Η νέα καμπύλη θαλάσσιας στάθμης

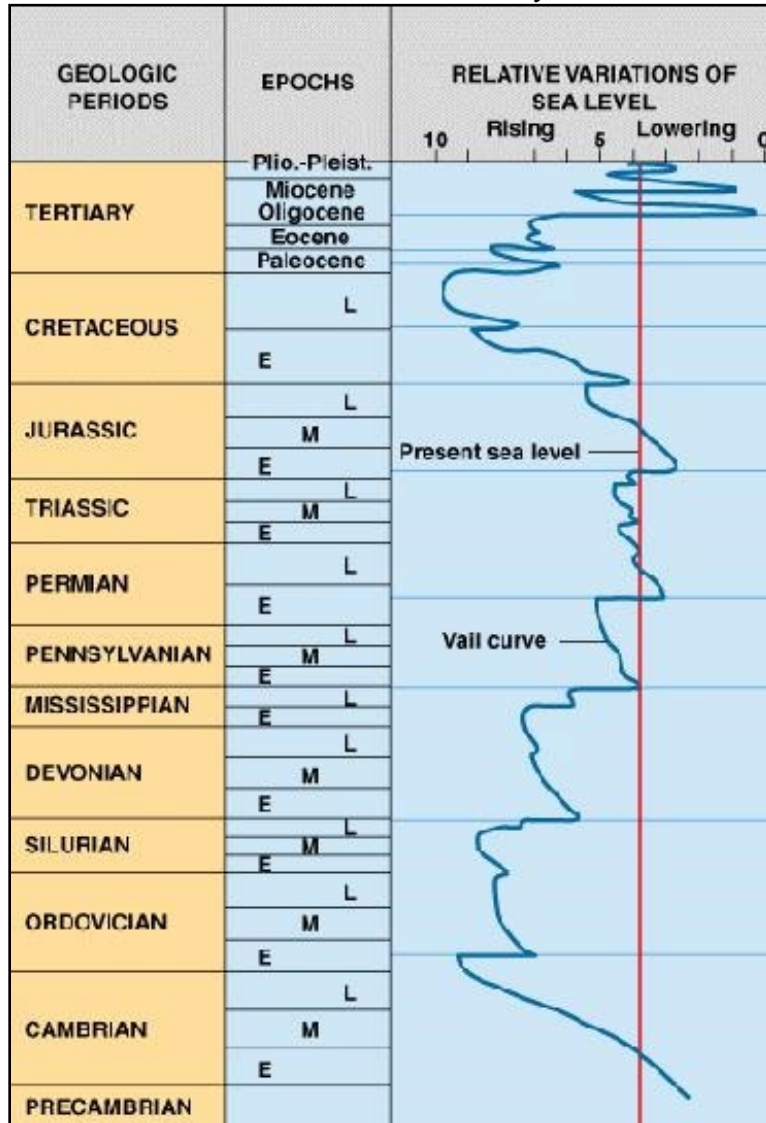


(Based on Haq et. al. 1987 and Berggren et. al. 1995)

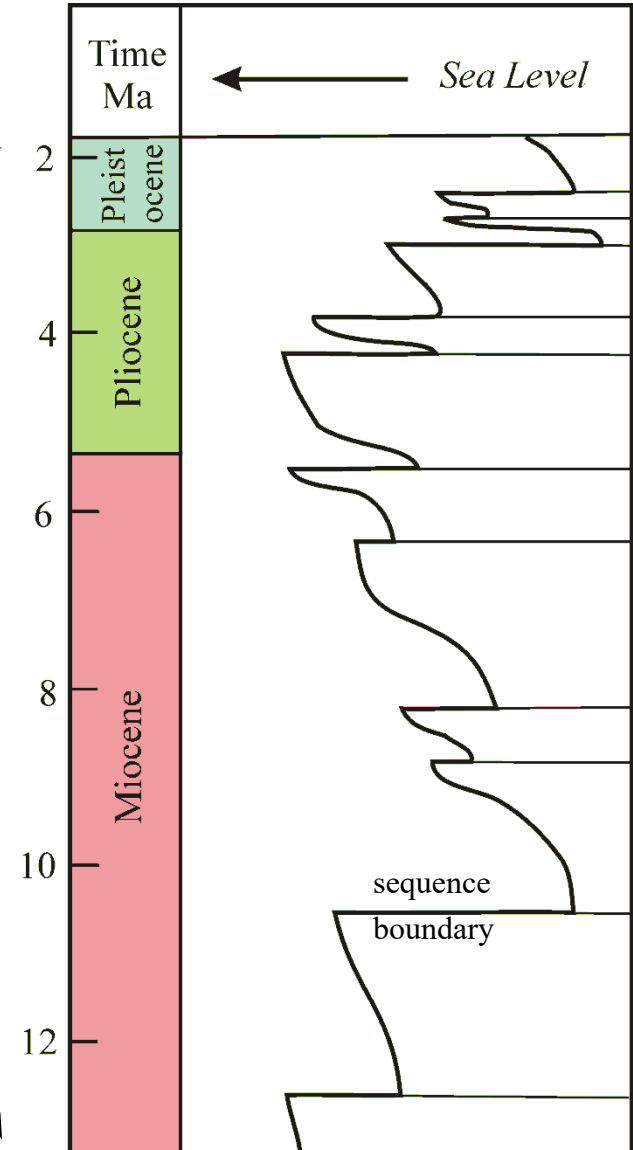
The New Sea Level Curve showing the polarity chronozones and nannofossil biochronozones and the 3rd order sequence boundaries.

# Μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης

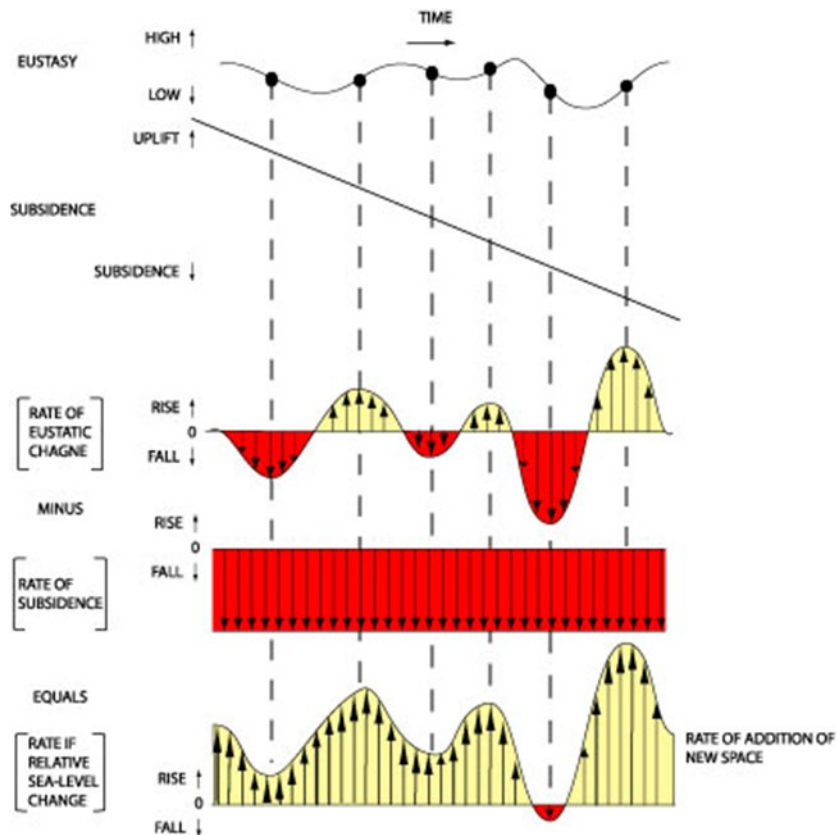
Phanerozoic : 500+ Mys



Late-Tertiary : 12 Mys



# Σχετική Θαλάσσια Στάθμη



Relative Sea-level (from Posamentier & Jervey & Vail, 1988)

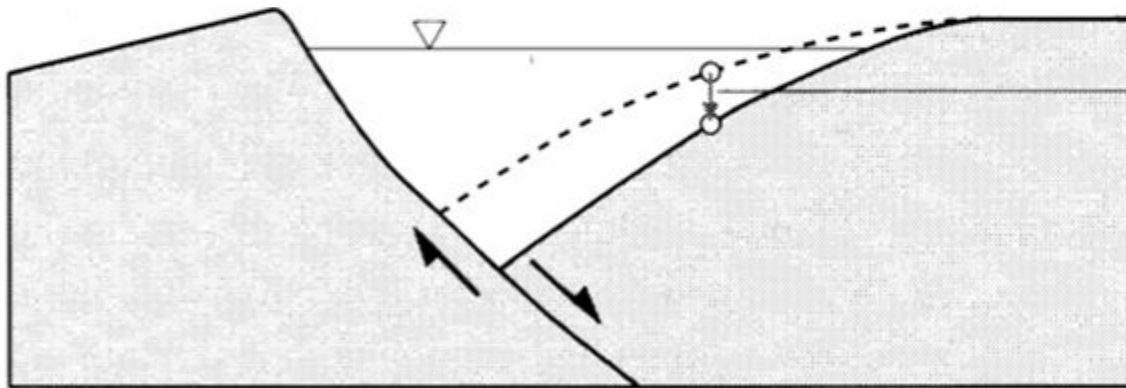
Θέση της επιφάνειας της θάλασσας σχετικά με ένα σταθερό σημείο αναφοράς κοντά στον πυθμένα της θάλασσας. Ορίζεται από δύο παραμέτρους: τον **ευστατισμό** και την **κάθετη μετακίνηση του πυθμένα θάλασσας** (τεκτονισμός ή/και συμπίεση ιζημάτων) (Posamentier, 1999).

# Μεταβολή της Σχετικής Θαλάσσιας Στάθμης

## Τοπική Τεκτονική Επίδραση

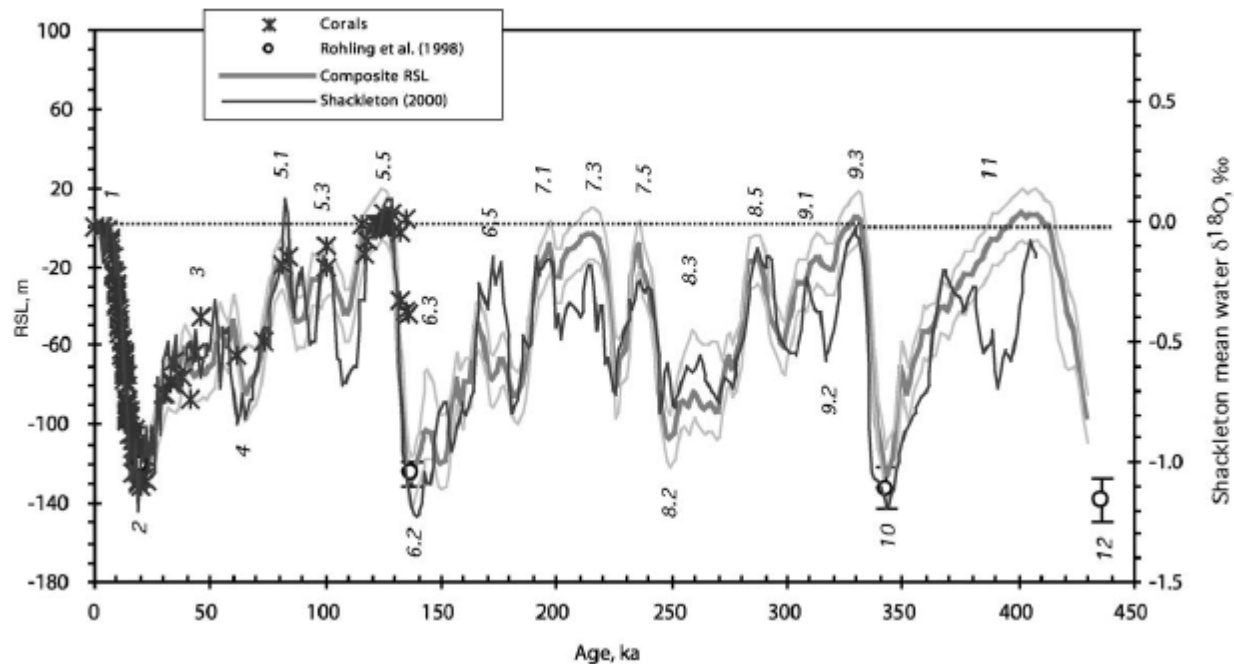
Ανύψωση αναγλύφου → πτώση σχετικής θαλάσσιας στάθμης  
Υποβύθιση αναγλύφου → ανύψωση σχετικής θαλάσσιας στάθμης

Τοπική  
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ



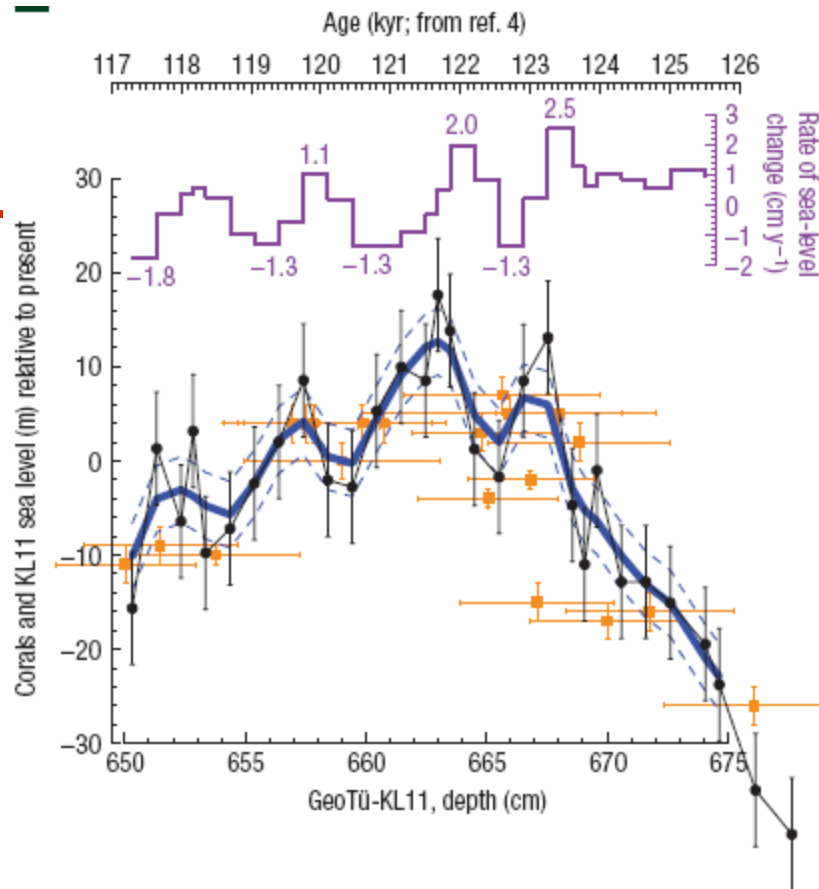
Ανύψωση της  
σχετικής στάθμης  
της θάλασσας



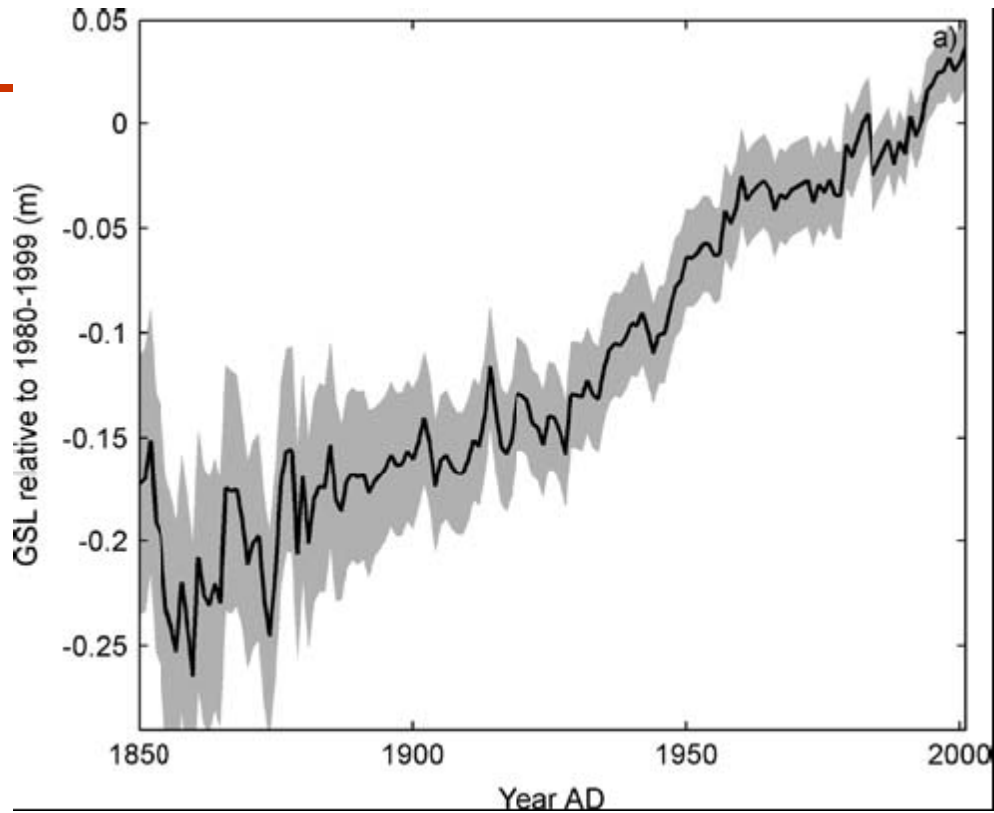


## Συνθετική σχετική στάθμη της θάλασσας για τα τελευταία 450 χιλιάδες χρόνια.

Οι σταυροί αποτελούν δεδομένα σχετικής στάθμης της θάλασσας από κοράλλια. Οι άσπροι κύκλοι αφορούν κατώτατα επίπεδα στάθμης θάλασσας (lowstands). Ο δεξιός άξονας αντιπροσωπεύει διακυμάνσεις μέσης τιμής της ισοτοπικής διαφοράς ωκεάνιου νερού και ατμοσφαιρικού. Τα νούμερα πάνω από τις καμπύλες στάθμης θάλασσας αντιπροσωπεύουν ισοτοπικά στάδια (MIS).



Υψηλής ανάλυσης αναπαράσταση στάθμης της θάλασσας κατά την προηγούμενη θερμή περίοδο πριν από 120.000 χρόνια από την περιοχή της Ερυθράς Θάλασσας, βασιζόμενη σε σταθερά ισότοπα πλαγκτονικών τρηματοφόρων του πυρήνα KL11, συγκρινόμενη με δεδομένα κοραλλιών. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει το στατιστικό standard λάθος της (μπλε) καμπύλης. Η μωβ γραμμή δείχνει μέγιστες τιμές ρυθμού μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης (Rohling et al., 2008).

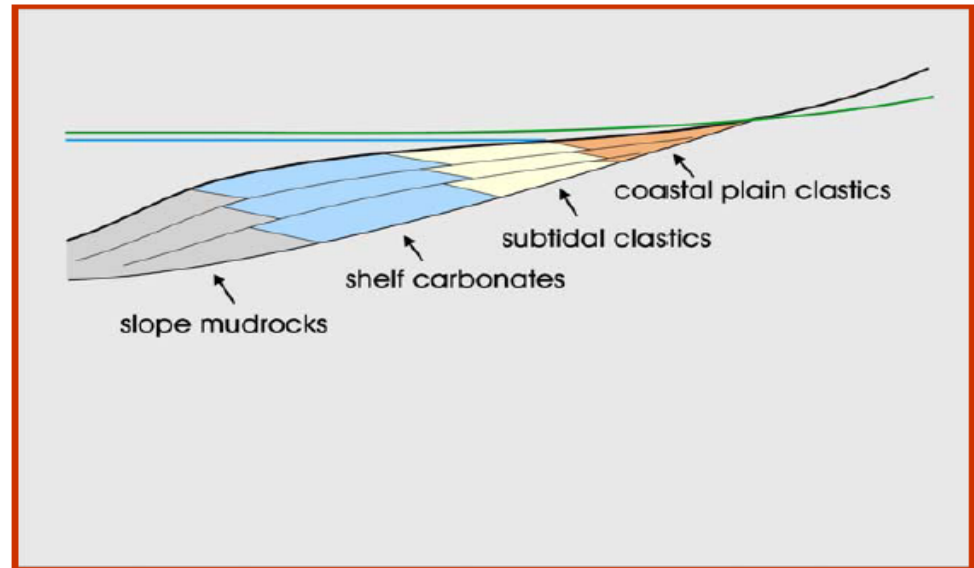


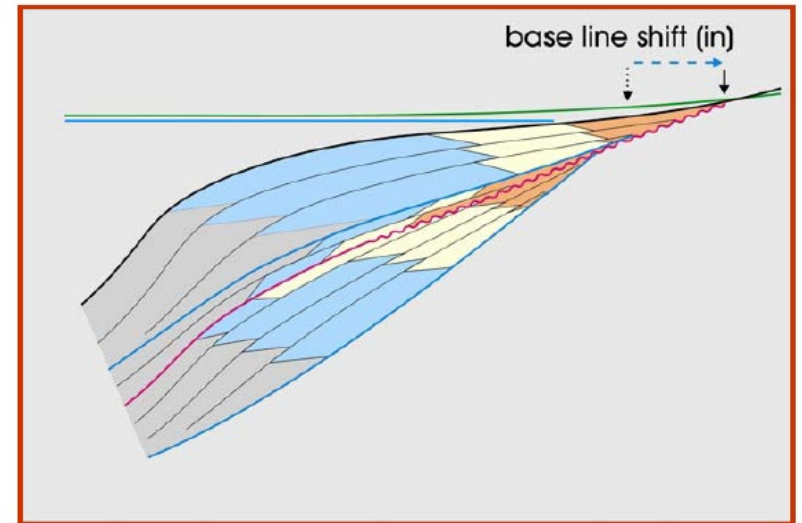
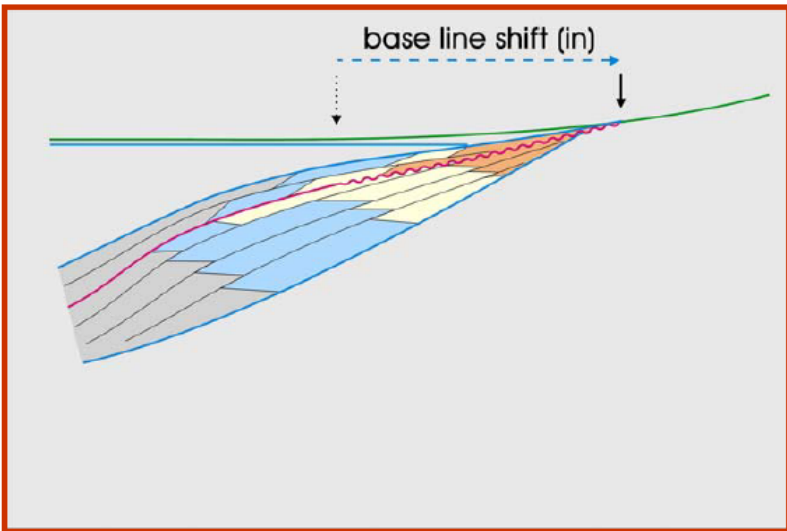
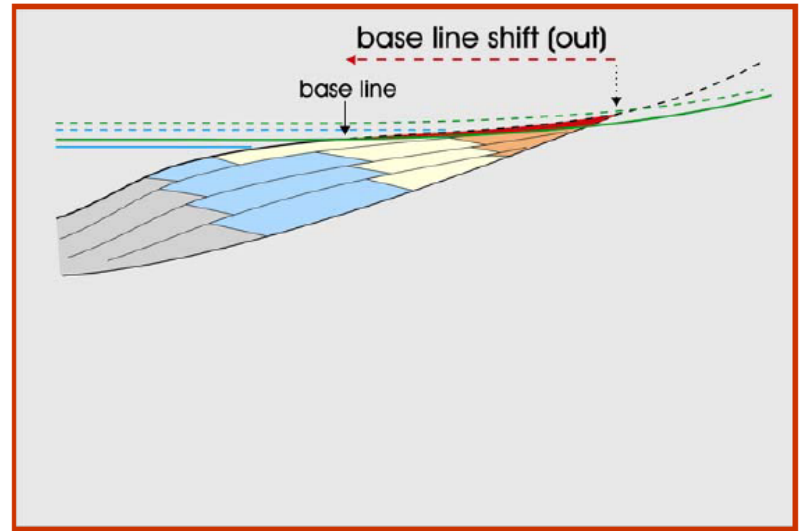
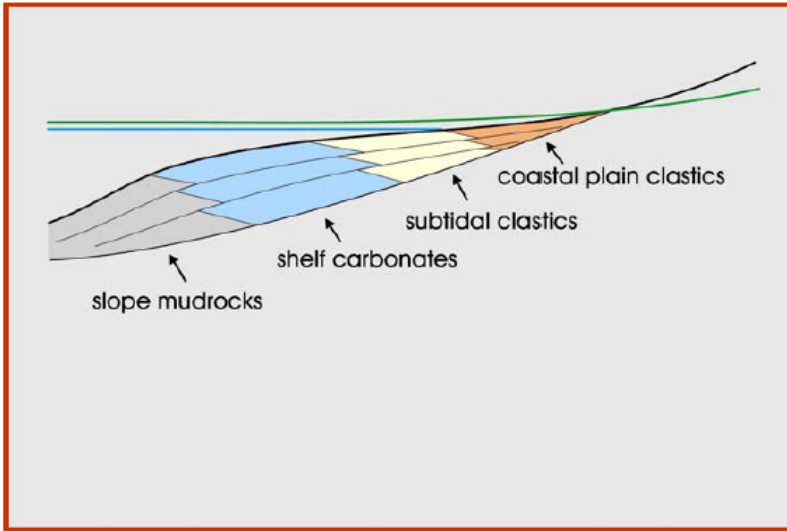
Αναπαράσταση παγκόσμιας στάθμης θάλασσας από τους Jenrejeva et al. (2006) για την χρονική περίοδο 1850–2000.

---

❑ Οι στρωματογραφικές ακολουθίες είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ευστατικών και τεκτονικών κινήσεων, της διάβρωσης και της ιζηματογένεσης, τα οποία όλα μαζί οδηγούν σε επαναλαμβανόμενες μετατοπίσεις προς τη θάλασσα ή προς την ξηρά της βασικής γραμμής.

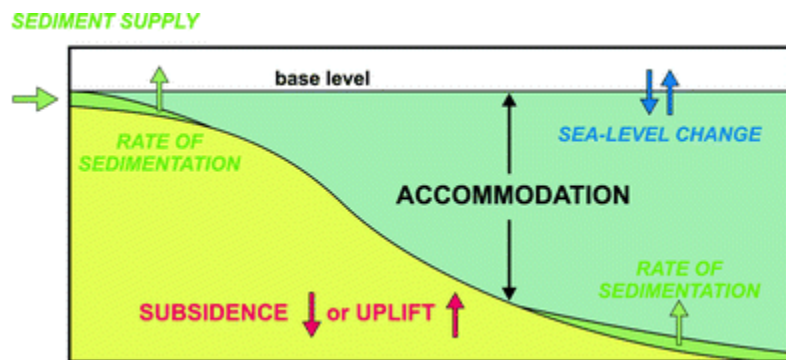
❑ Οι μετατοπίσεις αυτές της βασικής γραμμής δημιουργούν τις διάφορες στρωματογραφικές επιφάνειες που οριοθετούν τις ακολουθίες.





# Διαθέσιμος χώρος και παροχή ιζημάτων (accommodation space)

- Η Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών σχετίζεται άμεσα με τον διαθέσιμο χώρο για απόθεση ιζημάτων (accommodation)

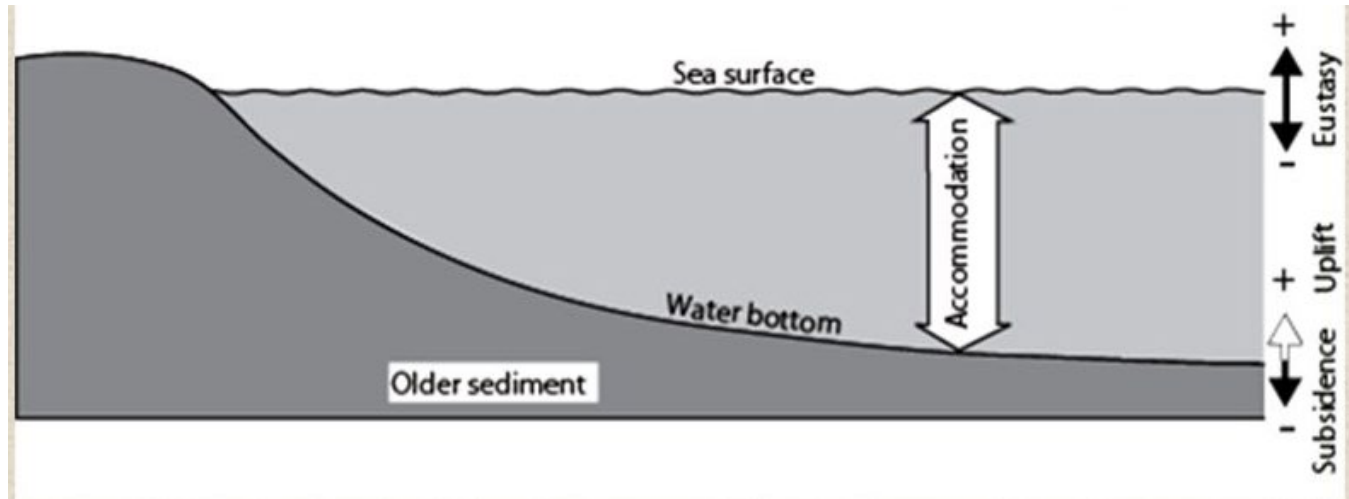


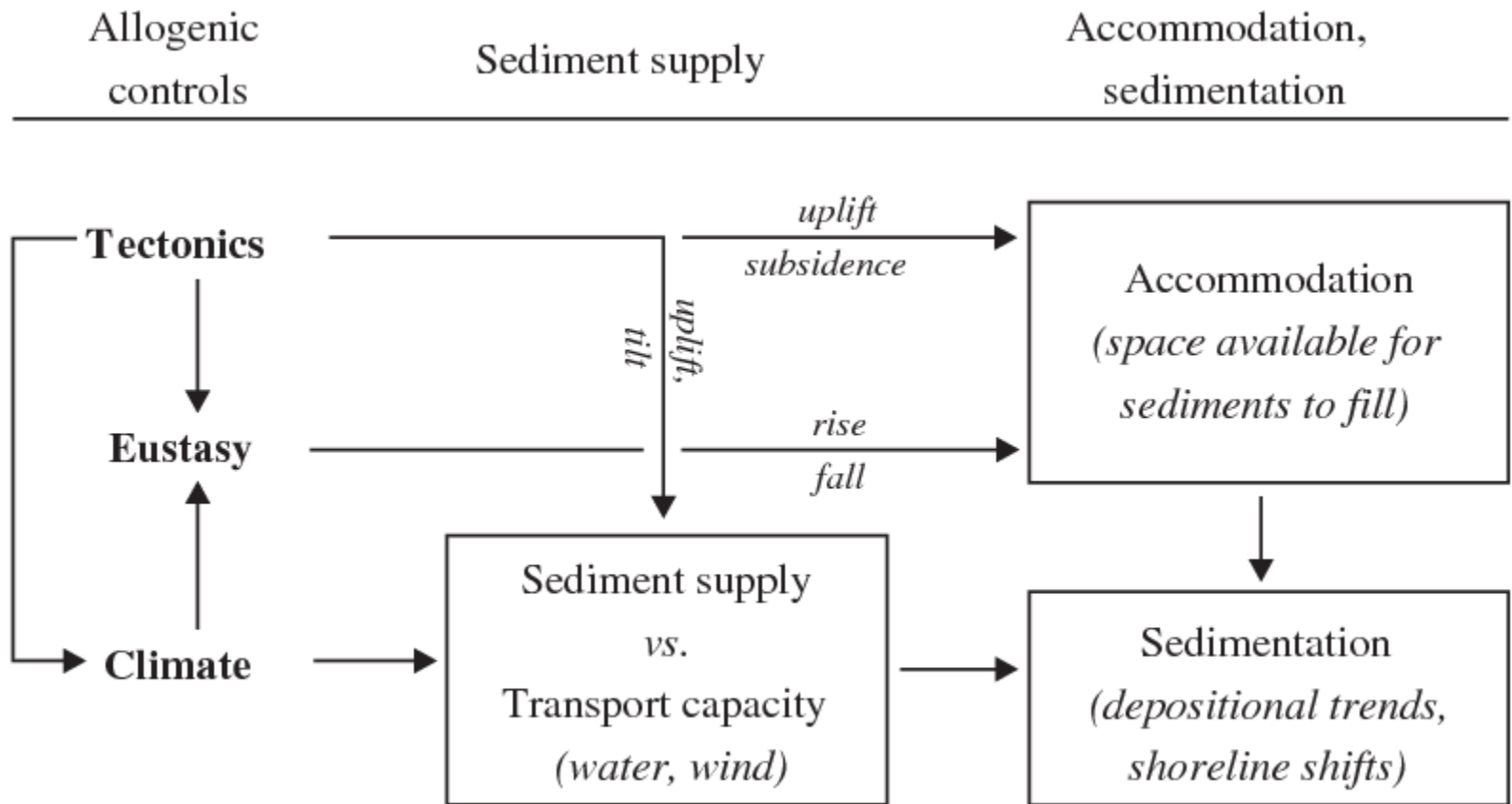
Βάθος νερού: ευστατισμός + τεκτονισμός  
+ ιζηματογένεση

Ο συνολικός διαθέσιμος χώρος σε μια λεκάνη είναι αυτός που δημιουργείται από την καθίζηση του δαπέδου της λεκάνης.

Ανά πάσα στιγμή, ο υπολειπόμενος διαθέσιμος χώρος στη λεκάνη είναι αυτός που δεν έχει ακόμη γεμίσει με ιζήματα και μετριέται με το βάθος νερού (ο χώρος μεταξύ της στάθμης της θάλασσας και της διεπαφής ιζήματος-νερού).

Οι μεταβολές στο διαθέσιμο χώρο (ευστατισμός + τεκτονισμός) σχεδόν ποτέ δεν συσχετίζονται με βαθυμετρικές αλλαγές (ευστατισμός + τεκτονική + ιζηματογένεση).

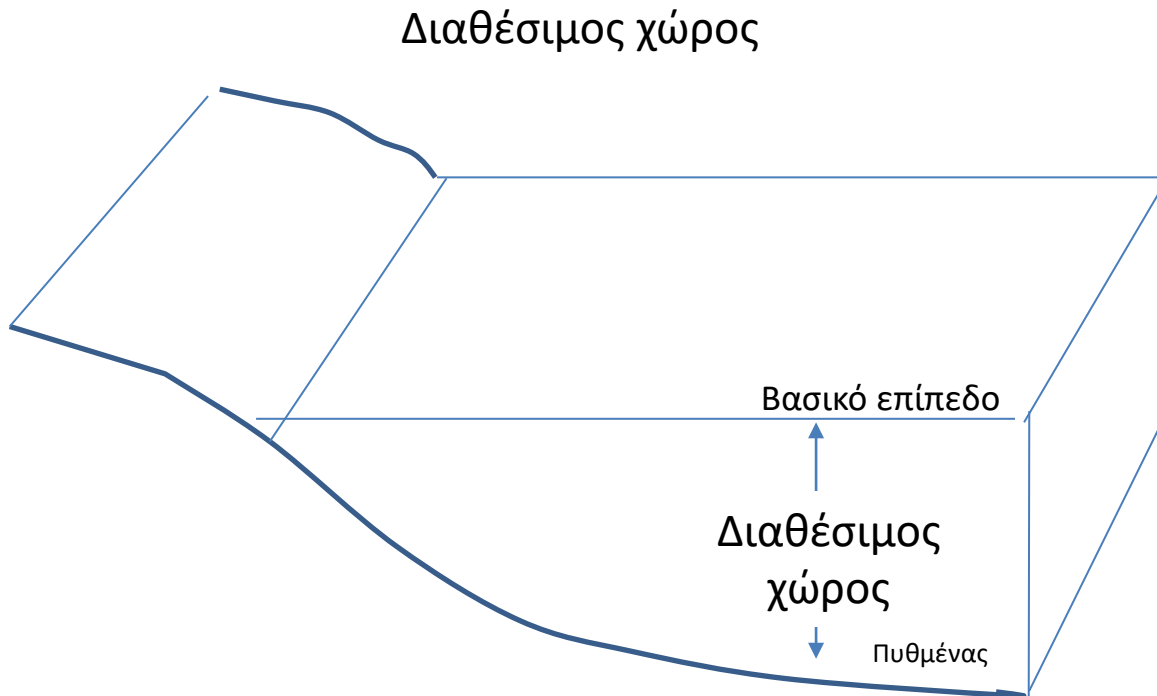






# Διαθέσιμος χώρος

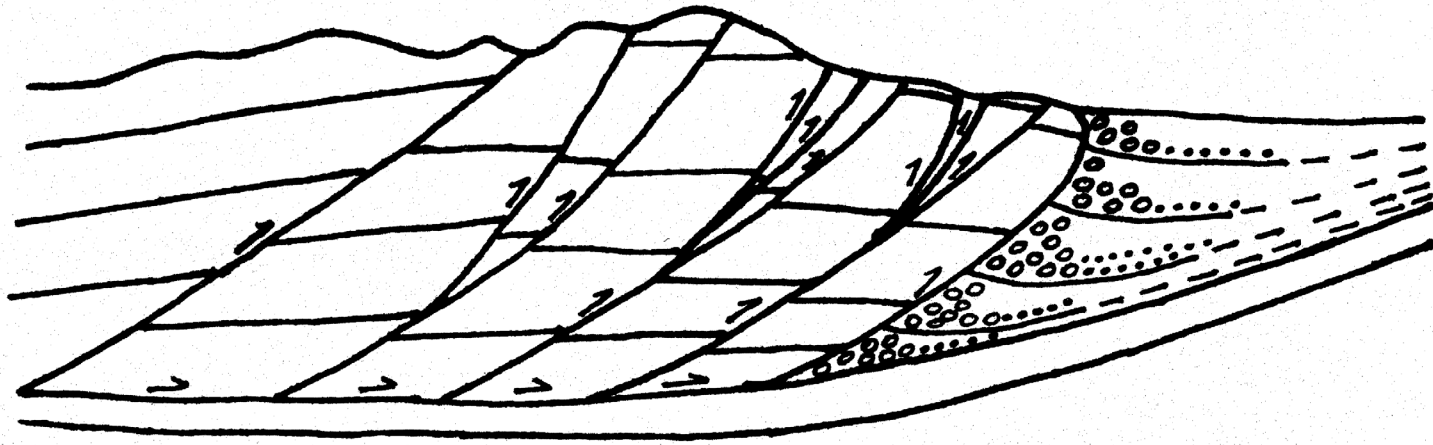
---



**Διαθέσιμος χώρος** είναι ο όγκος κάτω από το βασικό επίπεδο και πάνω από το δάπεδο της λεκάνης που είναι διαθέσιμος για τη συσσώρευση ιζημάτων και μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται σε παγκόσμια, ή τοπική κλίμακα

# Παροχή ιζήματος - Ρυθμός ιζηματογένεσης

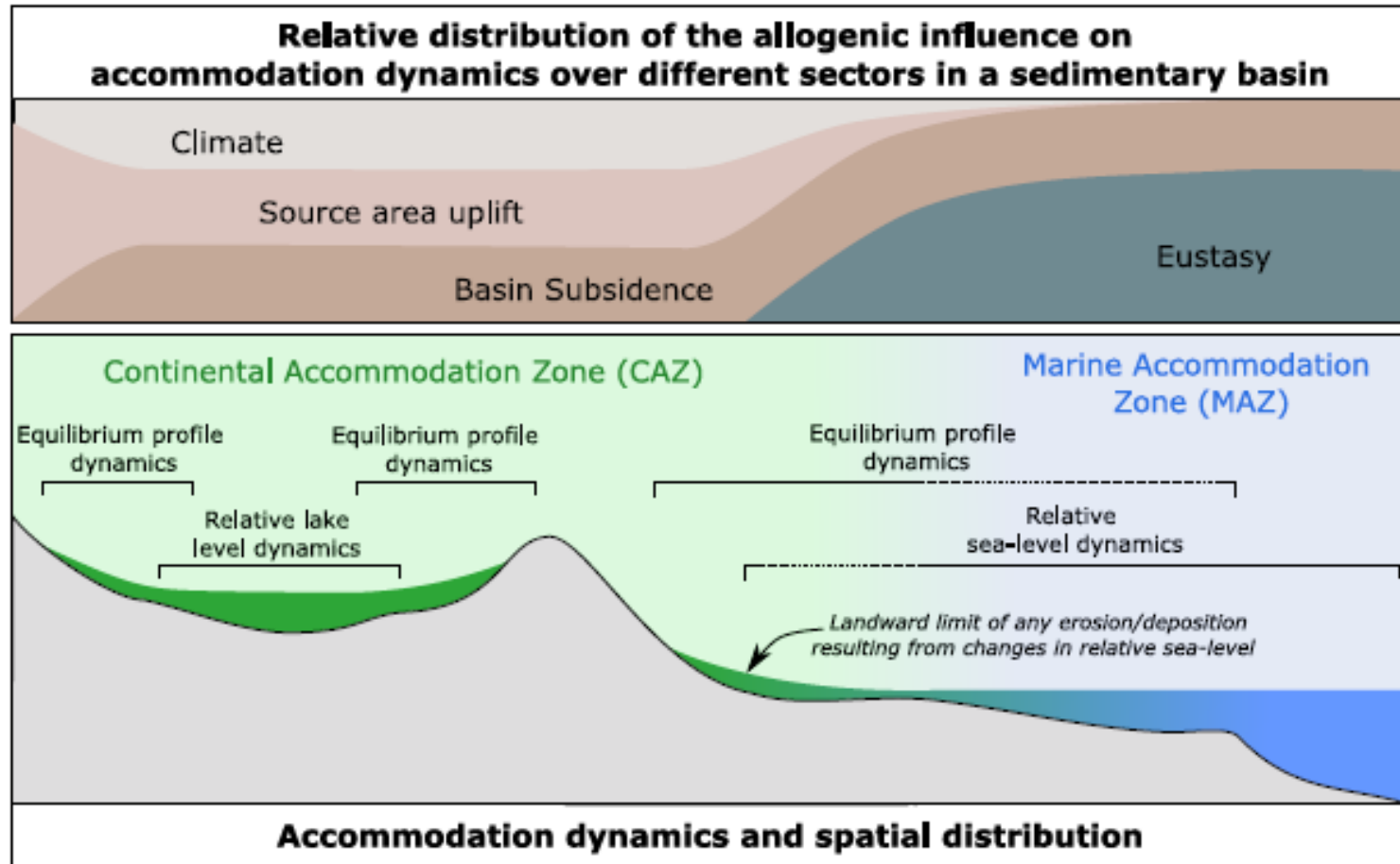
---



Ο ρυθμός ιζηματογένεσης αντικατοπτρίζει τον όγκο του υλικού που διαβρώθηκε από μια μητρική πηγή και μεταφέρθηκε σε μια λεκάνη σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Η παροχή ιζήματος μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί ανάλογα με τους ρυθμούς ανύψωσης της μητρικής πηγής, τις αλλαγές στη φύση των υλικών που εκτίθενται στην επιφάνεια και τις κλιματικές συνθήκες.

# Δυναμική και χωρική κατανομή του διαθέσιμου χώρου στα διάφορα ιζηματογενή περιβάλλοντα



# Υπολογισμός διαθέσιμου χώρου

---

- Για τον υπολογισμό του διαθέσιμου χώρου σε μια ιζηματογενή λεκάνη, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$T + E = S + W$$

Όπου

**T** = Ρυθμός τεκτονικής καθίζησης ή βύθισης της λεκάνης

**E** = Ρυθμός ευστατικής ή παγκόσμιας μεταβολής της στάθμης της θάλασσας, σε σχέση με ένα ελλειψοειδές αναφοράς

**S** = Ρυθμός ιζηματογένεσης/συσσώρευσης στη λεκάνη

**W** = Ρυθμός μεταβολής του βάθους του νερού εντός της λεκάνης

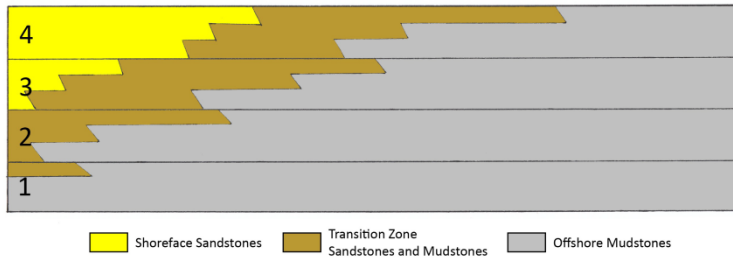
# Διαθέσιμος χώρος και παροχή ιζήματος

---

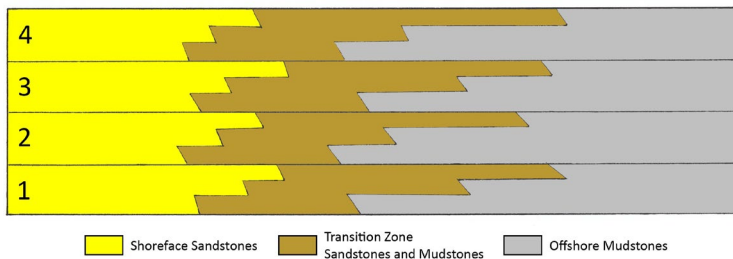
- Οι ακολουθίες είναι το αποτέλεσμα της ισορροπίας ανάμεσα στον διαθέσιμο χώρο και την παροχή ιζήματος.
  - Παροχή ιζήματος  $>$  διαθέσιμος χώρος  $\rightarrow$  απόσυρση
  - Παροχή ιζήματος  $<$  διαθέσιμος χώρος  $\rightarrow$  επίκλυση

# Επιδράσεις διαθέσιμου χώρου και παροχής ιζημάτων

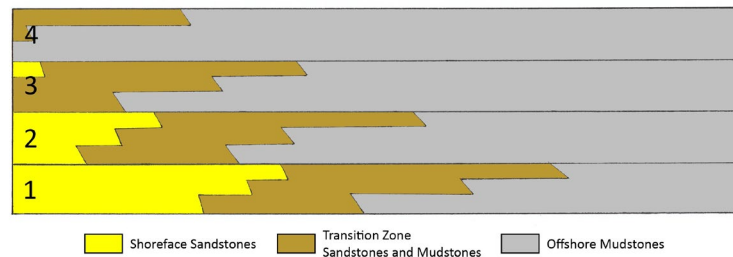
Progradational Parasequence Set



Aggradational Parasequence Set



Retrogradational Parasequence Set



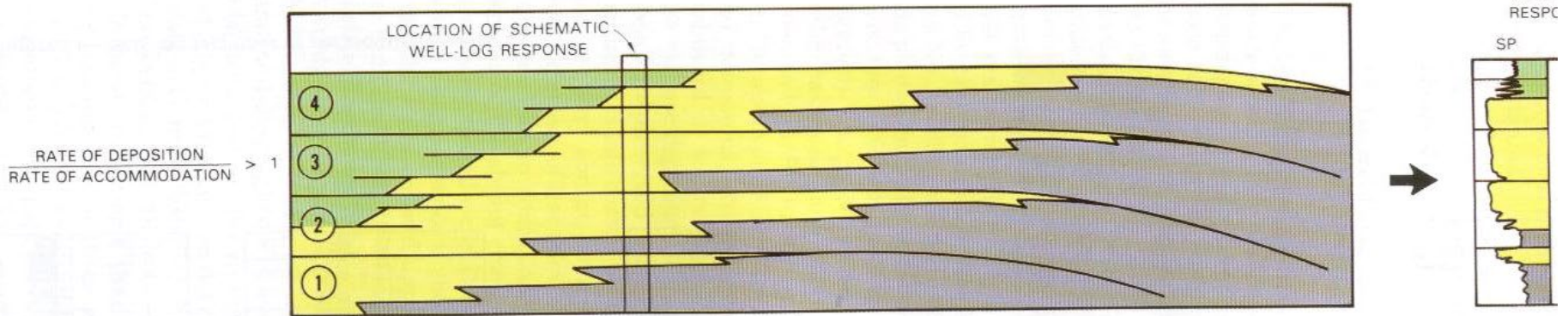
Η σχέση μεταξύ της δημιουργίας διαθέσιμου χώρου (A) και του ρυθμού ιζηματογένεσης (S) καθορίζει τον τρόπο διεύθυνσης των παρακολουθιών.

$S > A$  = προέλαση (progradation)

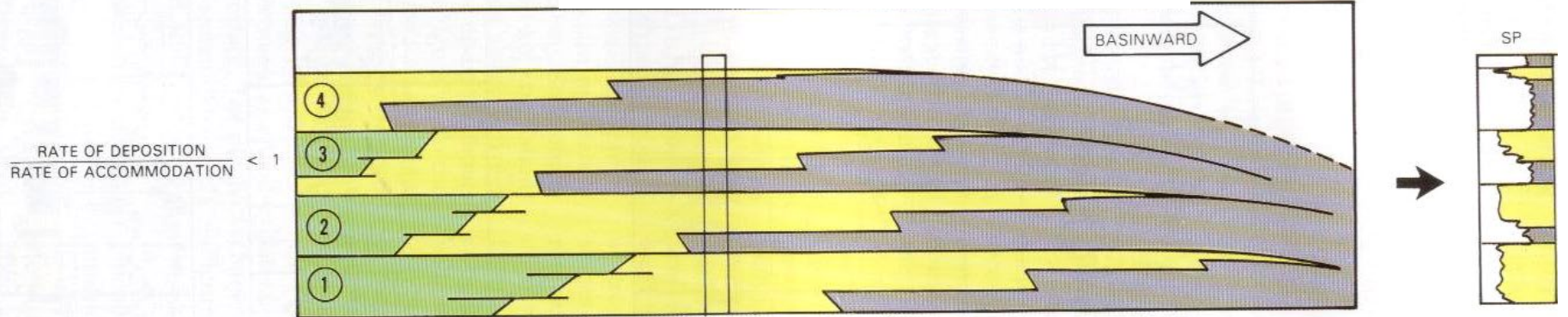
$S = A$  = κατακόρυφη διεύθυνση (aggradation)

$S < A$  = αναδρομή - οπισθοδρόμηση (retrogradation)

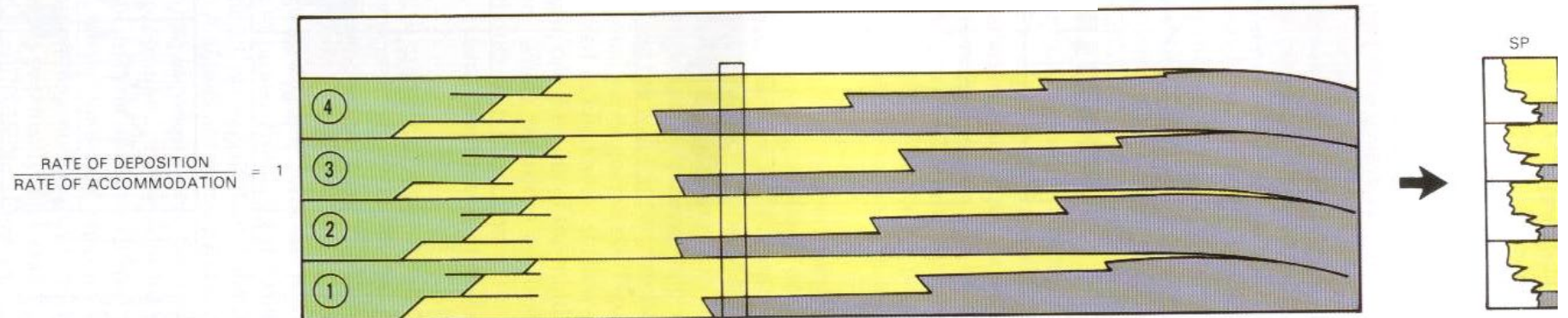
## Προελαύνοντα συστήματα



## Αποσυρσιγενές ή ανάδρομο σύστημα



## Επισωρευτικά ή αυξητικά συστήματα



COASTAL-PLAIN SANDSTONES AND MUDSTONES

SHALLOW-MARINE SANDSTONES

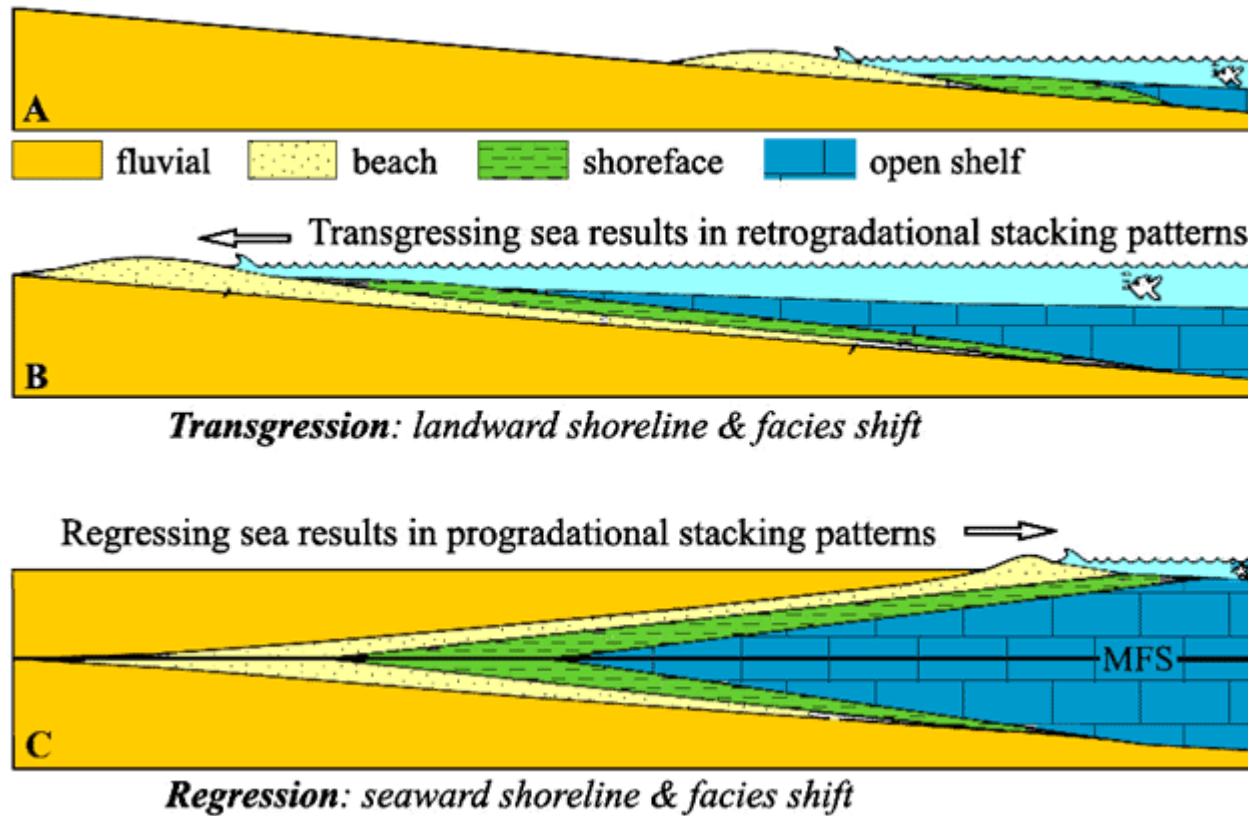
SHELF MUDSTONES

1

4

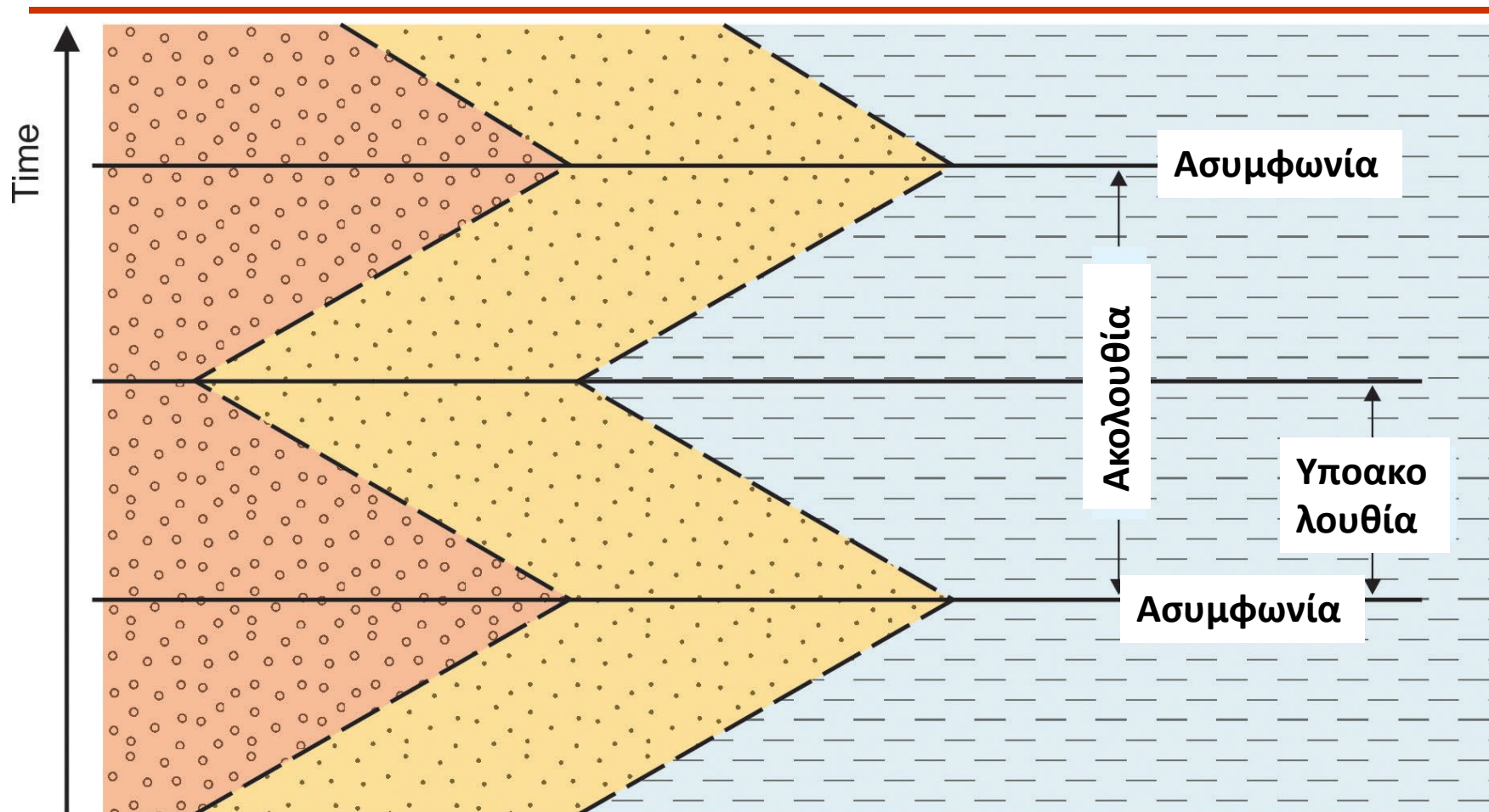
INDIVIDUAL PARASEQUENCES

# Επίκλυση & Απόσυρση



After Catuneanu (2002)

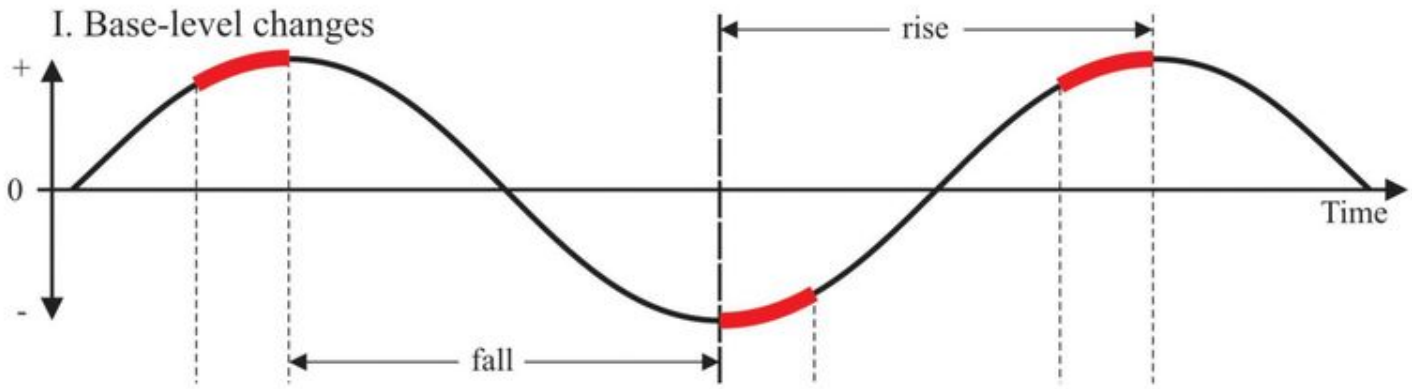




- Formation A - e.g., a fluvial system
- Formation B - e.g., a coastal system
- Formation C - e.g., a shallow-marine system

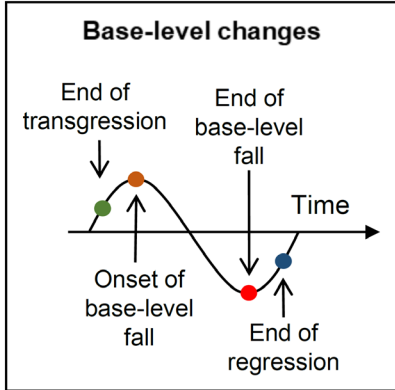
- sequence stratigraphic surfaces
- lithostratigraphic surfaces

**Ακολουθία:** πλήρης κύκλος μεταβολής του βασικού επιπέδου



Sequence  
Sloss et al. (1949)  
Sloss (1962, 1963)

Depositional Sequence I  
(Seismic Stratigraphy)  
Mitchum et al. (1977)



### Sequence Stratigraphy

**Depositional Sequence II**  
Haq et al. (1987)  
Posamentier et al. (1988)

Sequence

**Depositional Sequence III**  
Van Wagoner et al. (1988, 1990),  
Christie-Blick (1991)

**Depositional Sequence IV**  
Hunt and Tucker (1992, 1995),  
Plint and Nummendal (2000)

Sequence

**Genetic Sequences**  
Galloway (1989), Frazier (1974)

Sequence

**T-R Sequences**  
Embry (1993, 1995); Curray (1964)

Sequence

**Depositional Sequence:** Limited by subaerial unconformities and their marine correlative concordances  
**Genetic Sequences:** Limited by maximum flood surfaces.  
**T-R Sequences:** Limited by composite surfaces that includes by subaerial unconformities and the marine portion of the maximum regression surface.

- 
- **Ακολουθία**: «μια διαδοχή στρωμάτων που εναποτίθενται κατά τη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου αλλαγών στο διαθέσιμο χώρο ή την παροχή ιζημάτων» - Catuneanu et al. (2009, σελ. 19)

# Όρια ακολουθιών (SB-sequence boundaries)

---

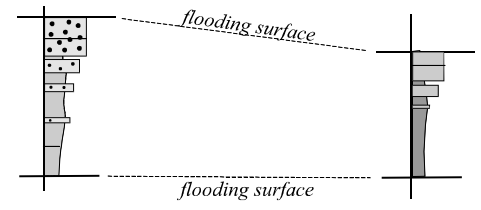
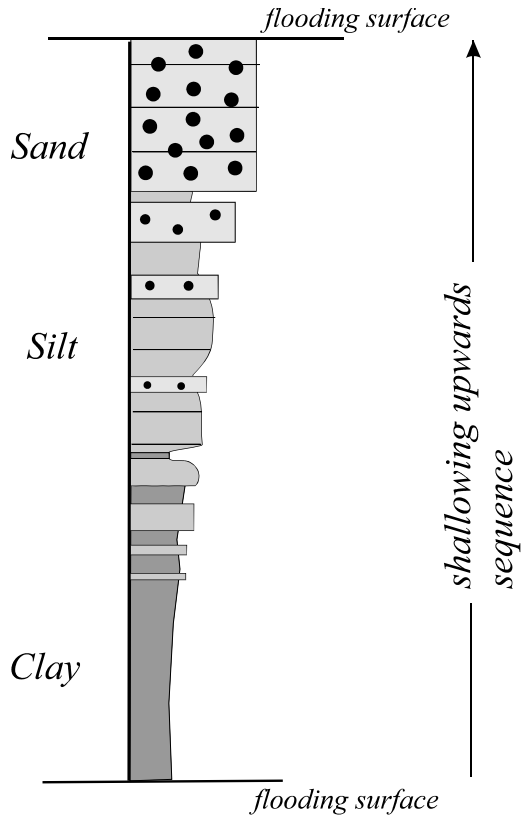
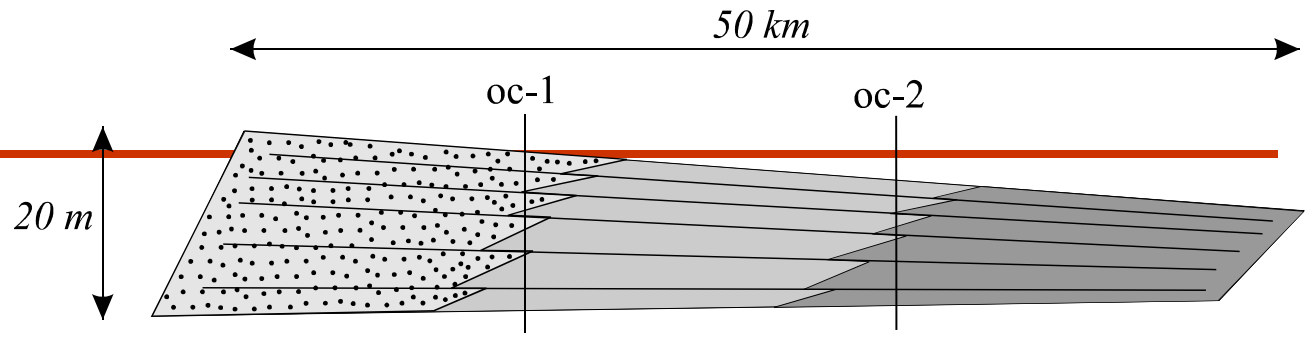
- Τα όρια ακολουθιών δημιουργούνται πάντα κατά την **πτώση της στάθμης της θάλασσας**. Ανάλογα με το σχετικό ρυθμό της πτώσης του βασικού επιπέδου, μπορεί να είναι **διαβρωσιγενή (τύπου 1)** ή **σύμμορφα (τύπου 2)** και αναγνωρίζονται με την τοποθέτηση των πιο ρηχών φάσεων πάνω σε βαθιές φάσεις.

# Ορια Ακολουθίας

---



# Παρακολουθία

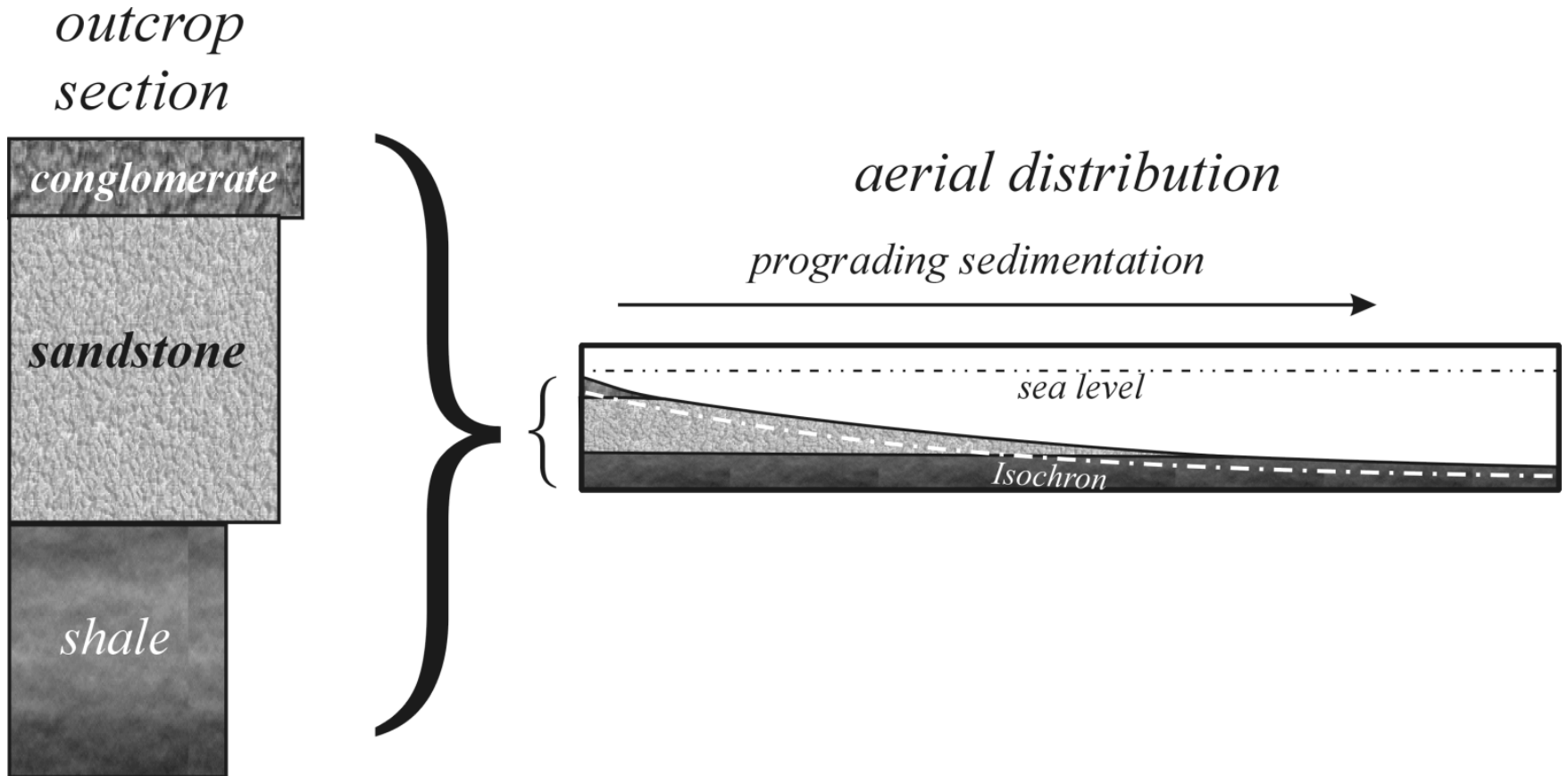


Βασική μονάδα της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών.

Ισχύει ο νόμος του **Walther**.

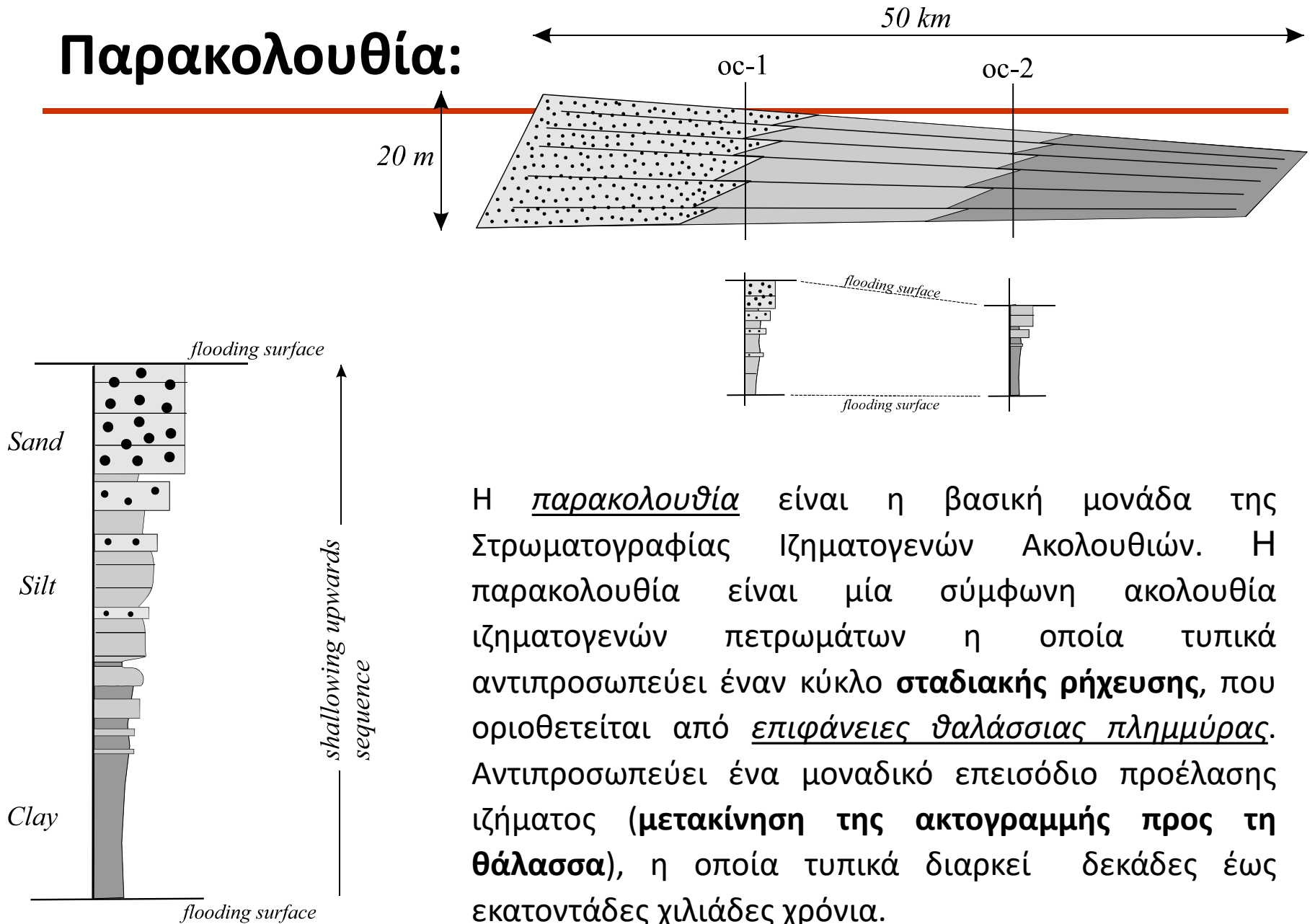
# Νόμος του Walther

Δύο διαφορετικές φάσεις οι οποίες βρίσκονται η μία πάνω στην άλλη και δεν χωρίζονται από ασυμφωνία, έχουν αποτεθεί η μία δίπλα στην άλλη σε μια δεδομένη χρονική στιγμή



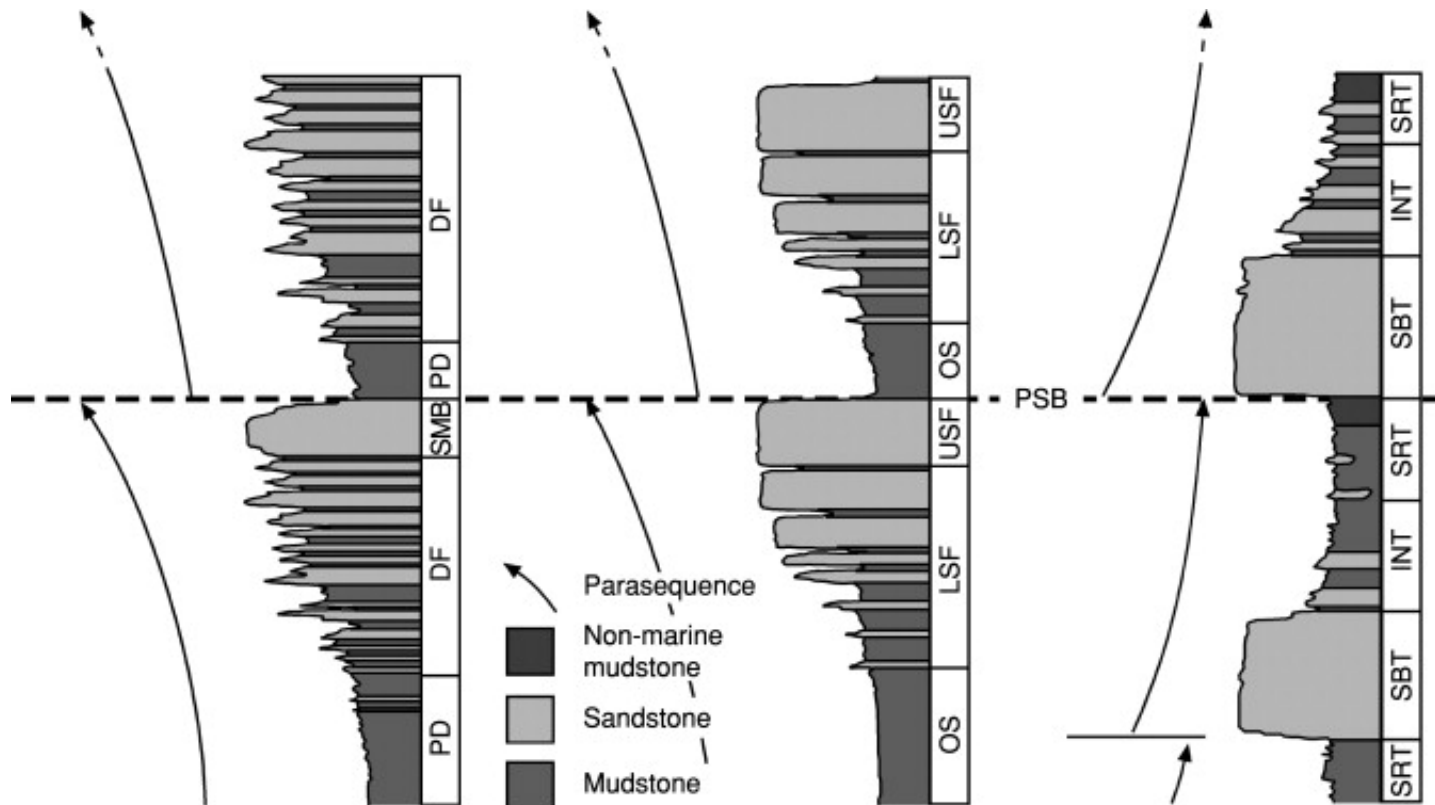


# Παρακολουθία:



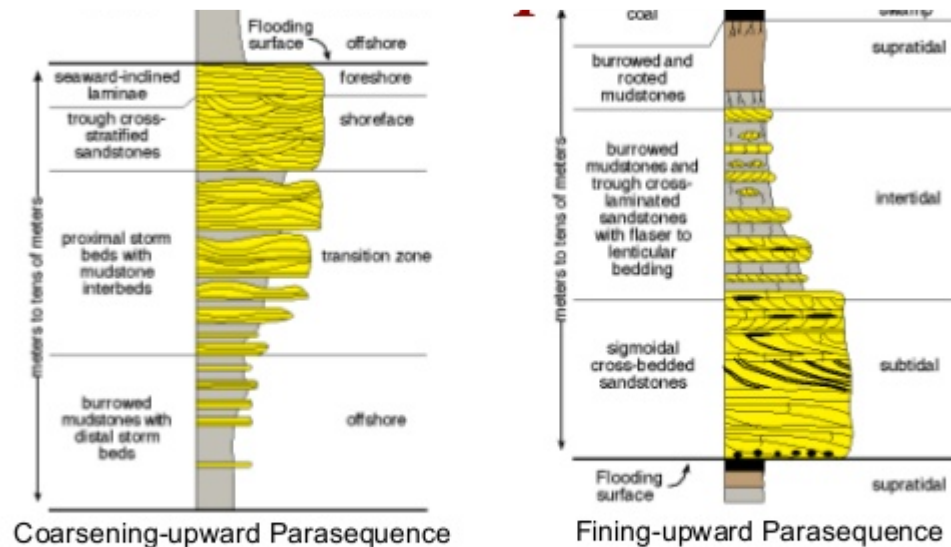
Η παρακολουθία είναι η βασική μονάδα της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών. Η παρακολουθία είναι μία σύμφωνη ακολουθία ιζηματογενών πετρωμάτων η οποία τυπικά αντιπροσωπεύει έναν κύκλο **σταδιακής ρήχευσης**, που οριοθετείται από επιφάνειες θαλάσσιας πλημμύρας. Αντιπροσωπεύει ένα μοναδικό επεισόδιο προέλασης ιζήματος (**μετακίνηση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα**), η οποία τυπικά διαρκεί δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

# Κάθετη οργάνωση των παρακολουθιών



A. River-dominated shoreline	B. Wave-dominated shoreline	C. Tide-dominated shoreline
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sands thicken upward</li> <li>● Percent sand increases upward</li> <li>● Facies shoal upward</li> <li>● Parasequence boundary at abrupt shift to finer-grained facies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sands thicken upward</li> <li>● Percent sand increases upward</li> <li>● Facies shoal upward</li> <li>● Parasequence boundary at abrupt shift to finer-grained facies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sands thin upward</li> <li>● Percent sand decreases upward</li> <li>● Facies shoal upward</li> <li>● Parasequence boundary at abrupt shift to coarser-grained facies</li> </ul>

# Κάθετη οργάνωση των παρακολουθιών

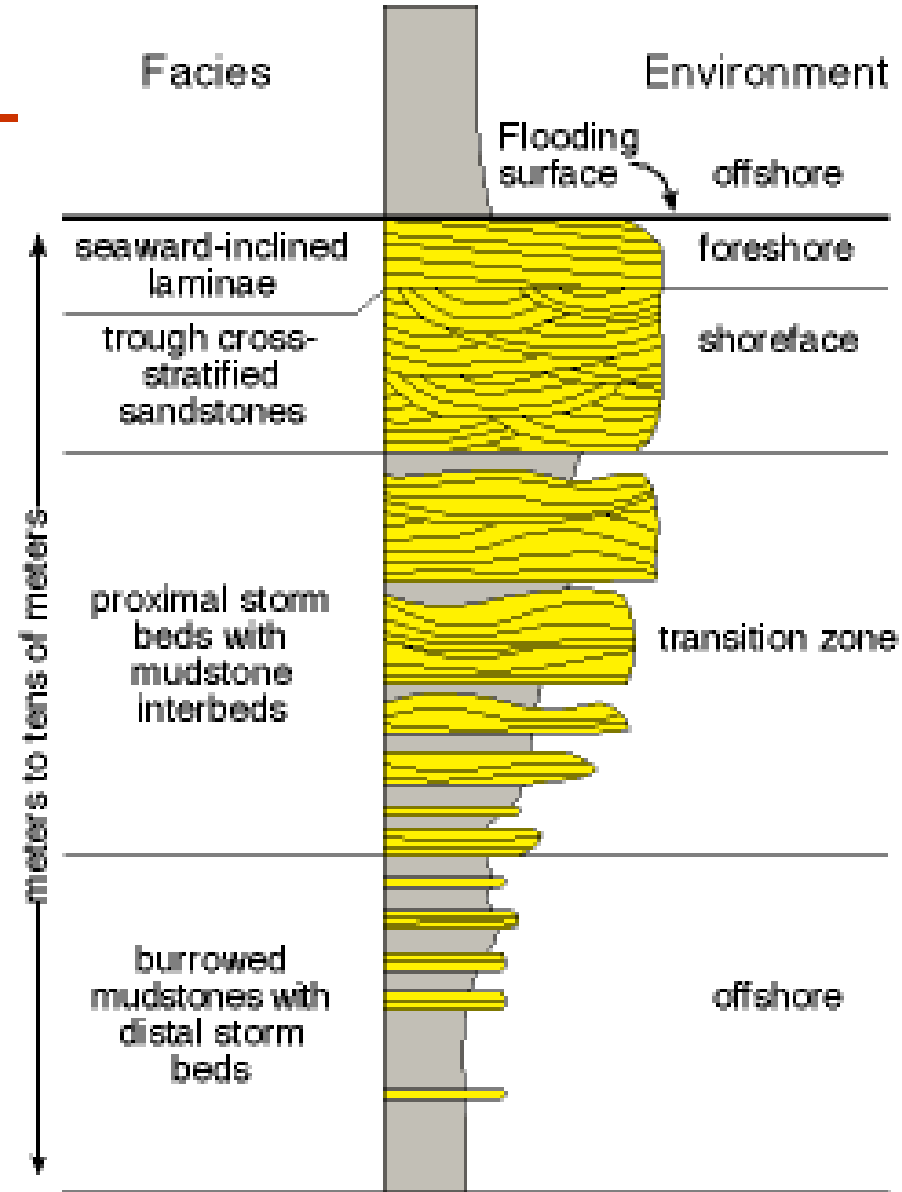


Αν και οι παρακολουθίες αντιπροσωπεύουν παλμούς προώθησης της ιζηματογένεσης, εσωτερικά μπορούν είτε να γίνονται αδρομερέστερες είτε λεπτομερέστερες ως προς το μέγεθος των κόκκων, ανάλογα με το αποθετικό σύστημα μέσα στο οποίο σχηματίζονται.

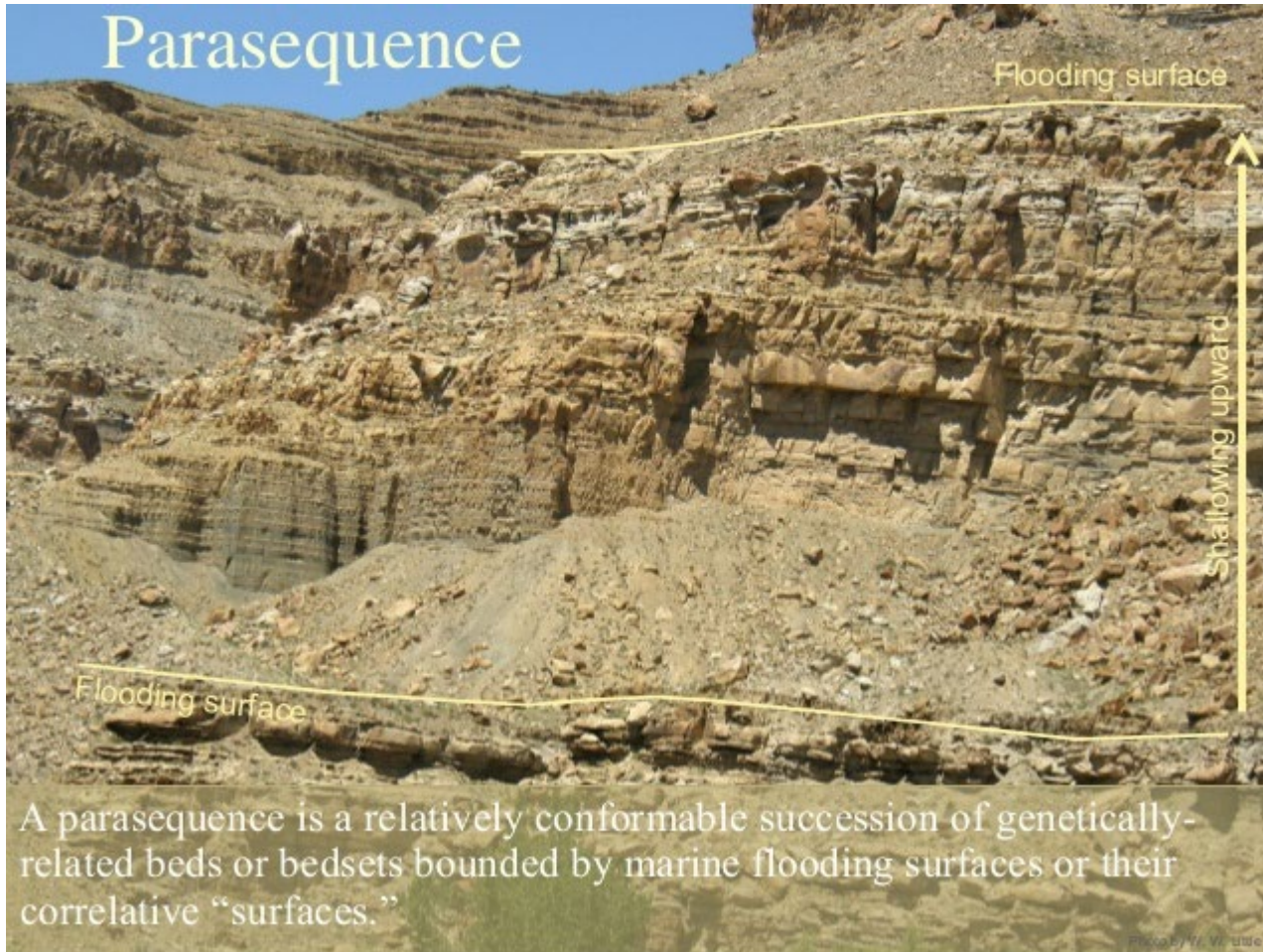
# Παρακολουθία

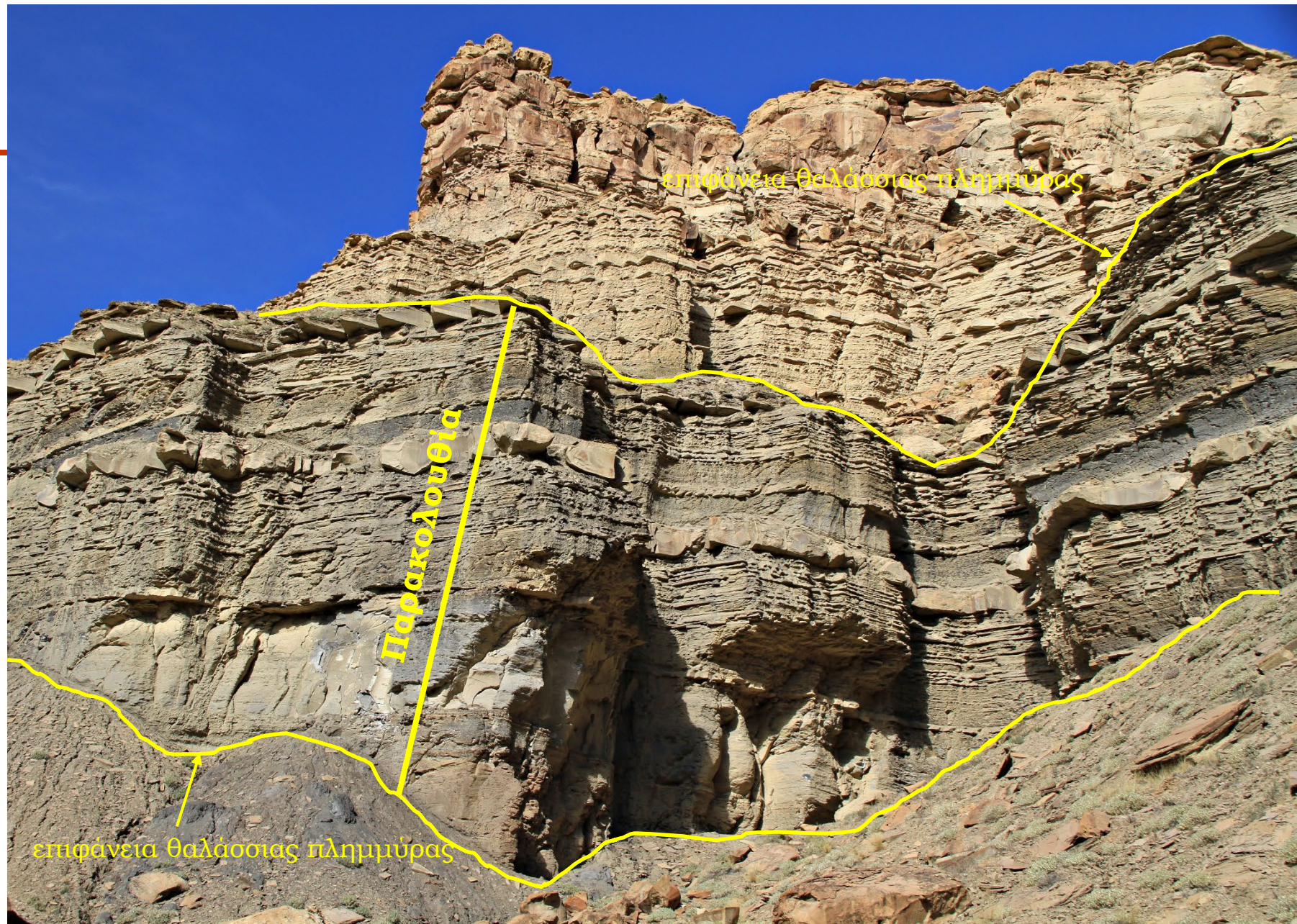


Οι παρακολουθίες τερματίζονται από συμβάντα θαλάσσιας πλημμύρας που ενδεχομένως να συνδέονται με τις διακυμάνσεις των παγετώνων που καθοδηγούνται από εξωτερικούς κύκλους Milankovich, αλλά θα μπορούσαν επίσης να αντανakλούν τεκτονική υποβύθιση ή αυτοκυκλικές διαδικασίες



# Ορια παρακολουθίας



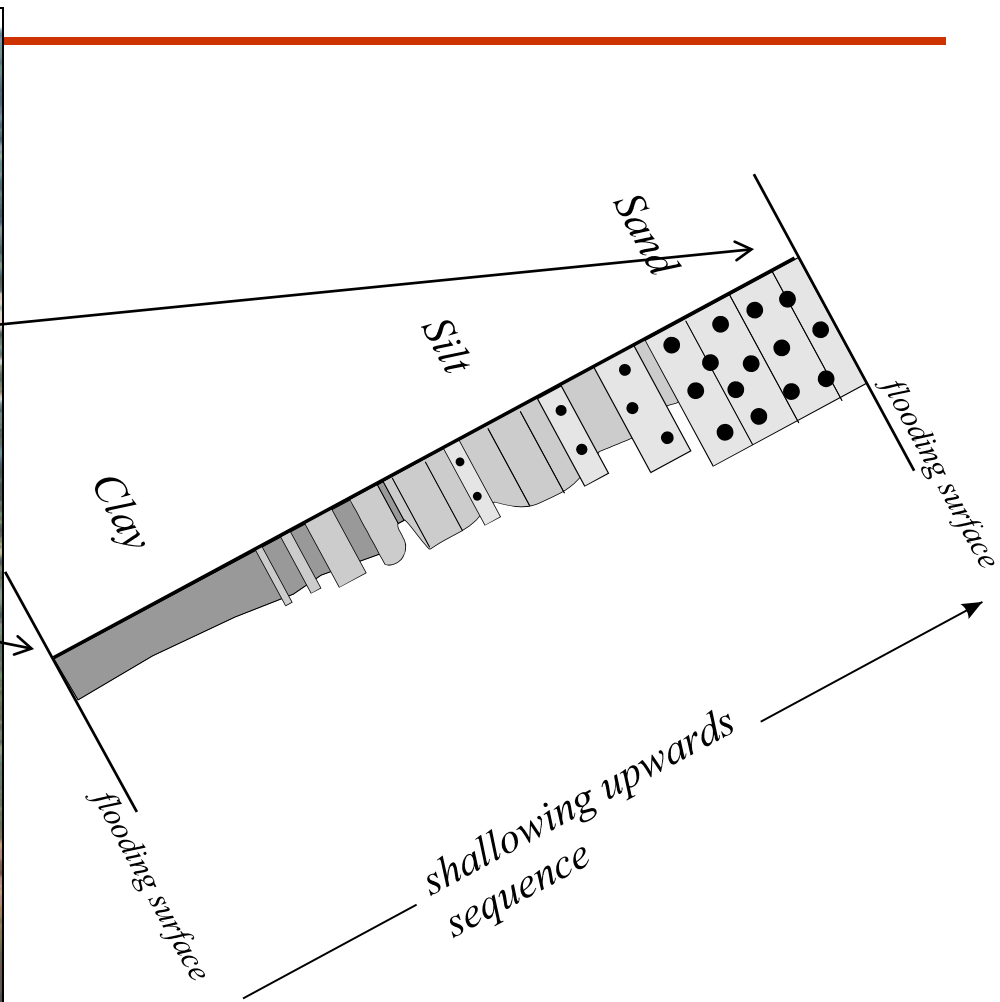


επιφάνεια θαλάσσιας πλημμύρας

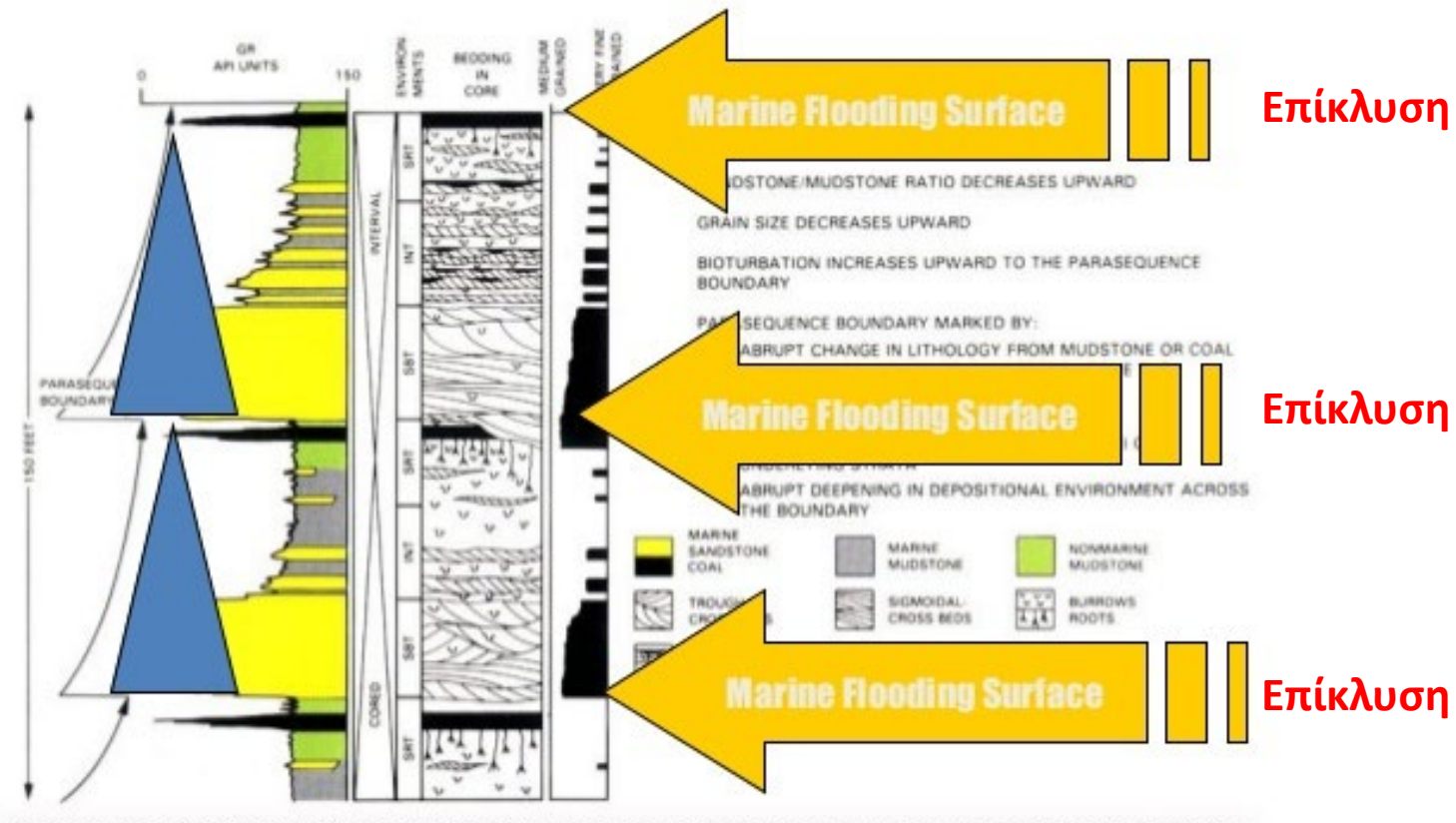
Παρακολουθεί

επιφάνεια θαλάσσιας πλημμύρας

# Οι παρακολουθίες εμφανίζονται σε «σύνολα»



# Επιφάνειες θαλάσσιας πλημμύρας (marine flooding surface)

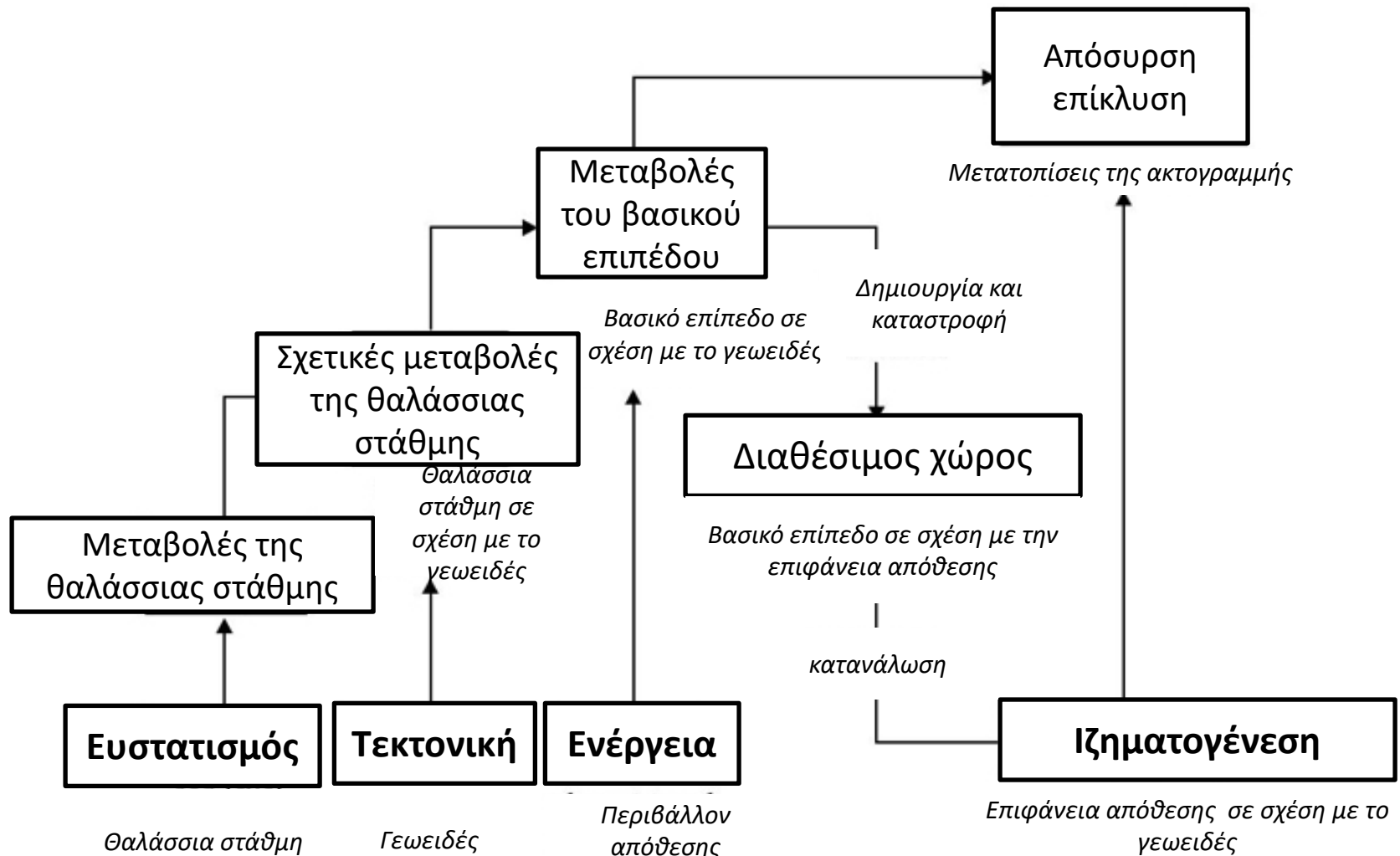


Κάθε επίκλυση τελειώνει με μια Μέγιστη Πλημμυρική  
Επιφάνεια



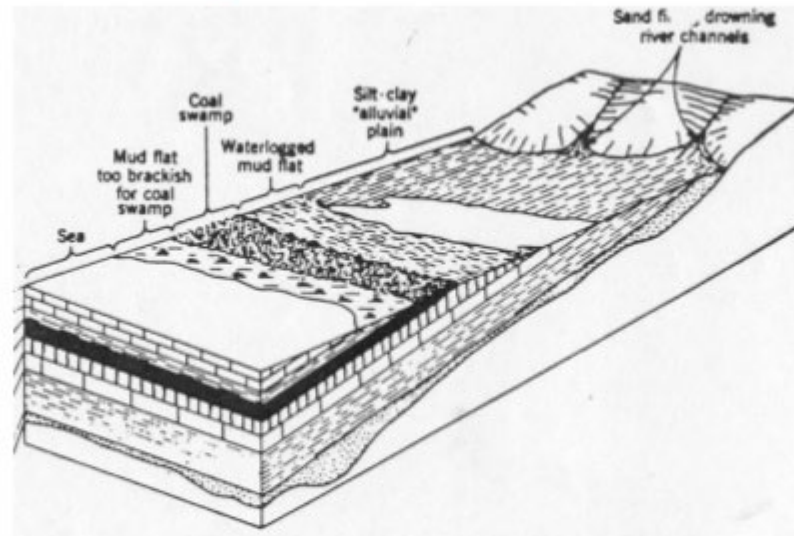
- 
- Ακολουθία
  - Παρακολουθία
  - Παράγοντες
    - Ευστατισμός
    - Τεκτονισμός
    - Ρυθμός ιζηματογένεσης
    - Διαθέσιμος χώρος

# Παράγοντες που ελέγχουν το διαθέσιμο χώρο απόθεσης και τις μετατοπίσεις ακτογραμμής στο θαλάσσιο περιβάλλον



# Υποακολουθίες (systems tracts)

---



Μία υποακολουθία είναι μια τρισδιάστατη συνάθροιση γενετικώς σχετιζομένων (σύμφωνα με το Νόμο του Walther) αποθετικών συστημάτων. Οι υποακολουθίες μεταναστεύουν και αλλάζουν χαρακτήρα ανάλογα με την κατεύθυνση και το ρυθμό των διακυμάνσεων του βασικού επιπέδου. Οι μεταβολές αυτές καταγράφονται από γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των επιφανειών οριοθέτησης.

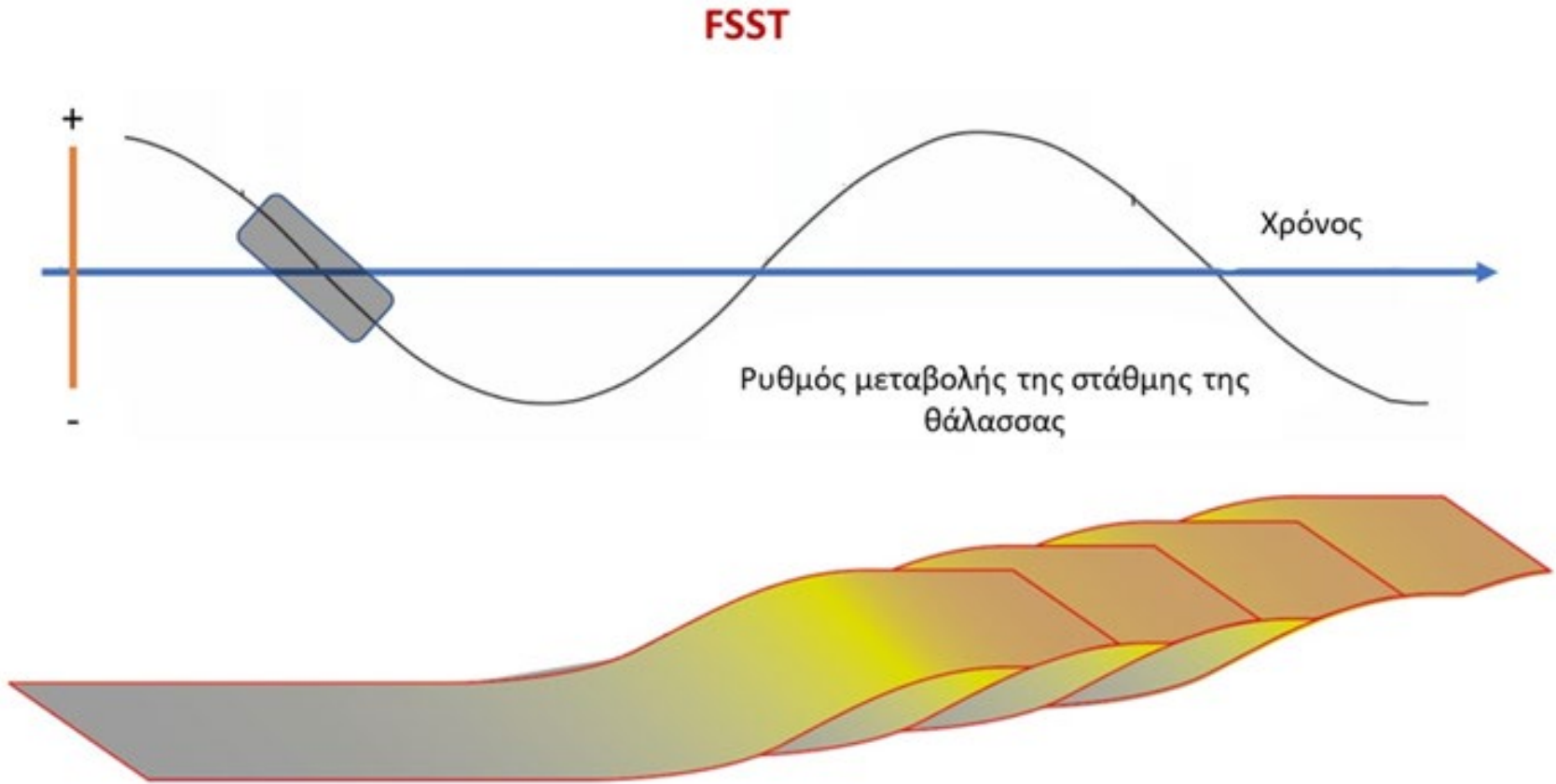
# Υποακολουθία-System tracts

---

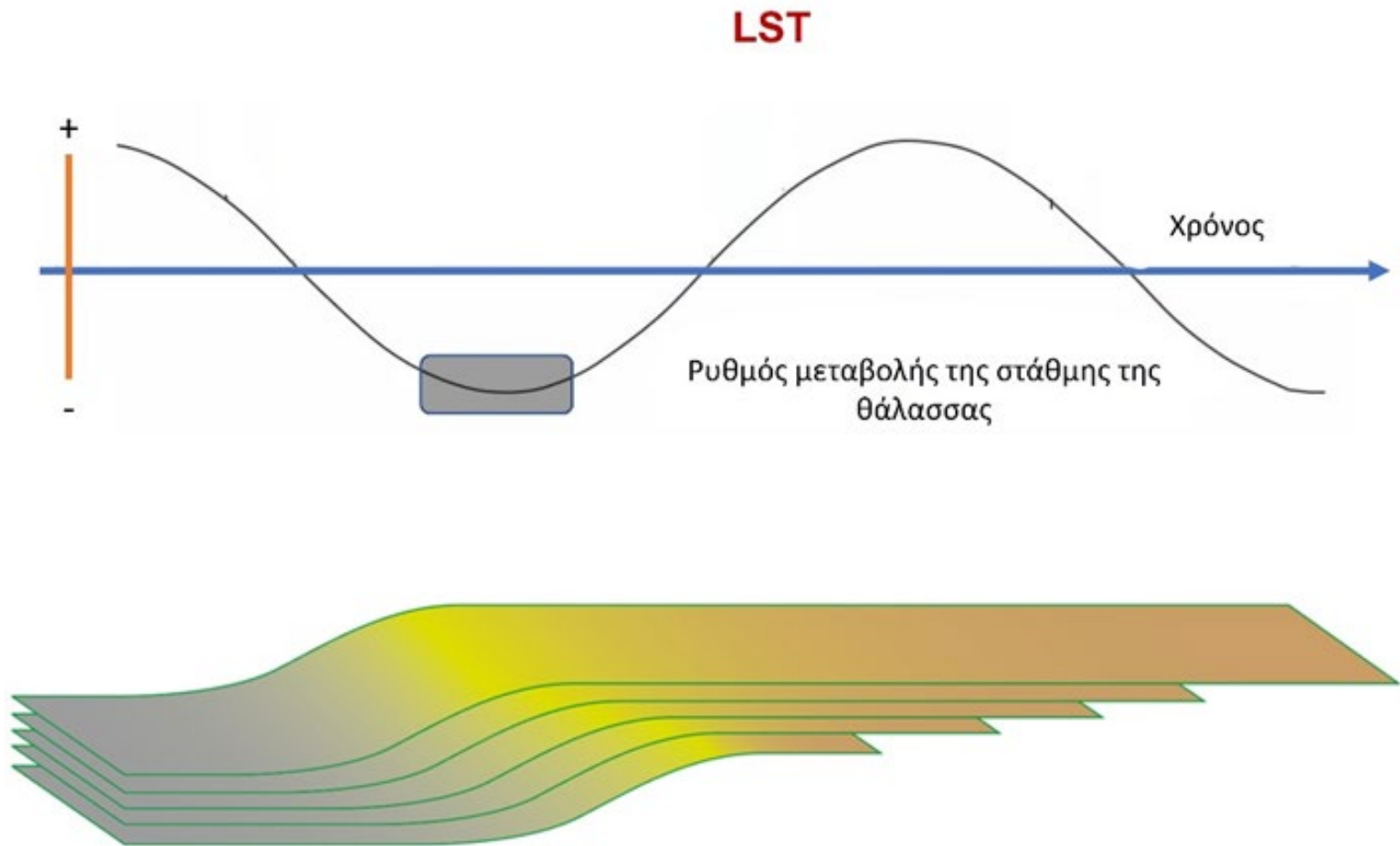
- Μια διακριτή δέσμη χαρακτηριστικών τύπων ιζημάτων (φάσεις) που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια διαφορετικών περιόδων ενός κύκλου αλλαγής της στάθμης της θάλασσας.
  - υποακολουθίες πτωτικής στάθμης της θάλασσας και σχηματισμού ορίων ακολουθίας (Falling Stage Systems Tract and Sequence Boundary Formation-FST),
  - υποακολουθίες χαμηλής στάθμης (lowstand system tracts-LST),
  - επικλυσιγενείς υποακολουθίες (transgressive system tracts-TST) και
  - υποακολουθίες υψηλής στάθμης (highstand system tracts-HST).

# Υποακολουθία πτωτικής στάθμης της θάλασσας και σχηματισμού ορίων ακολουθίας (Falling Stage Systems Tract and Sequence Boundary Formation- FSST)

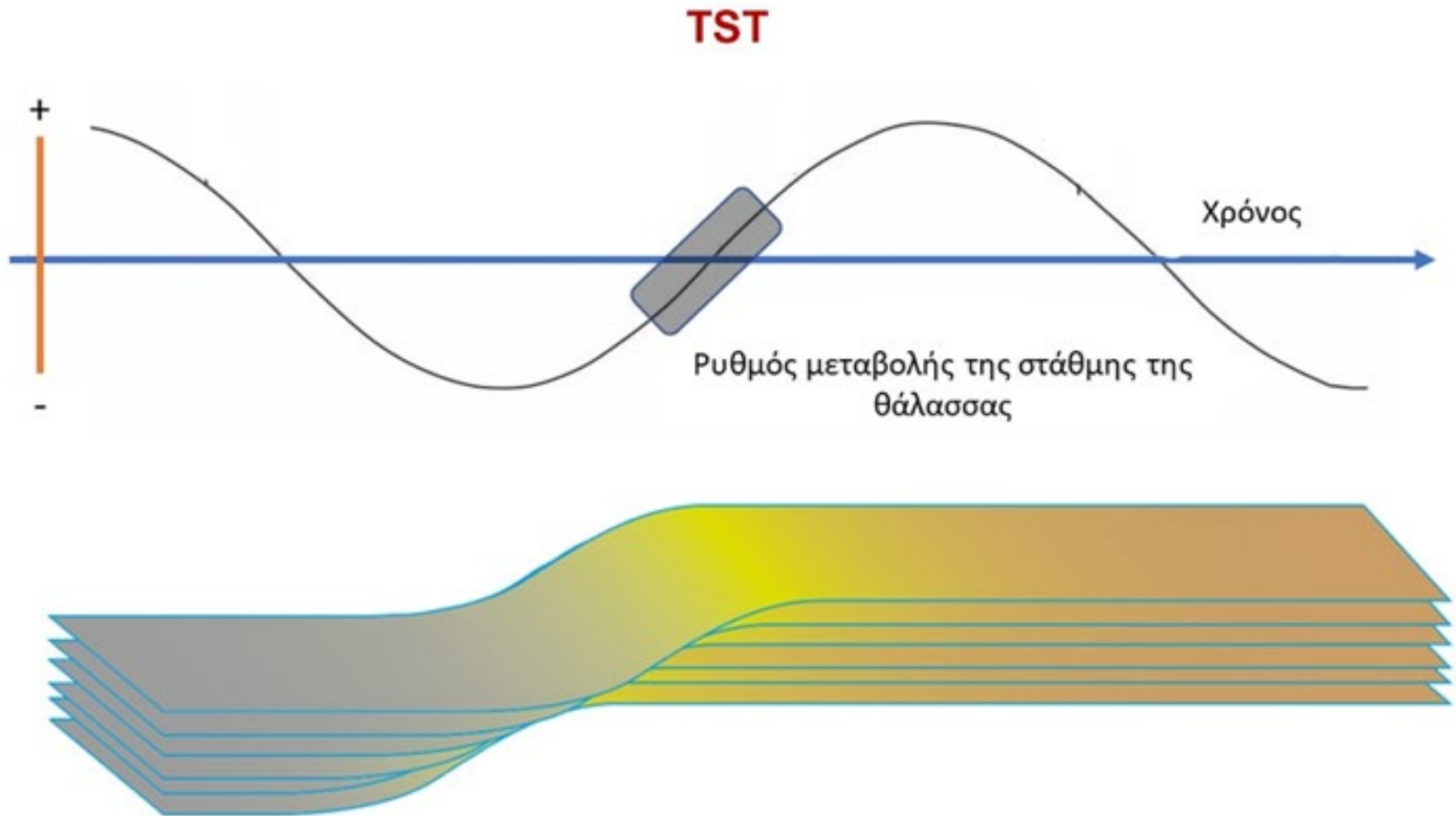
---



# Υποακολουθία χαμηλής στάθμης (Lowstand Systems Tracts-LST)

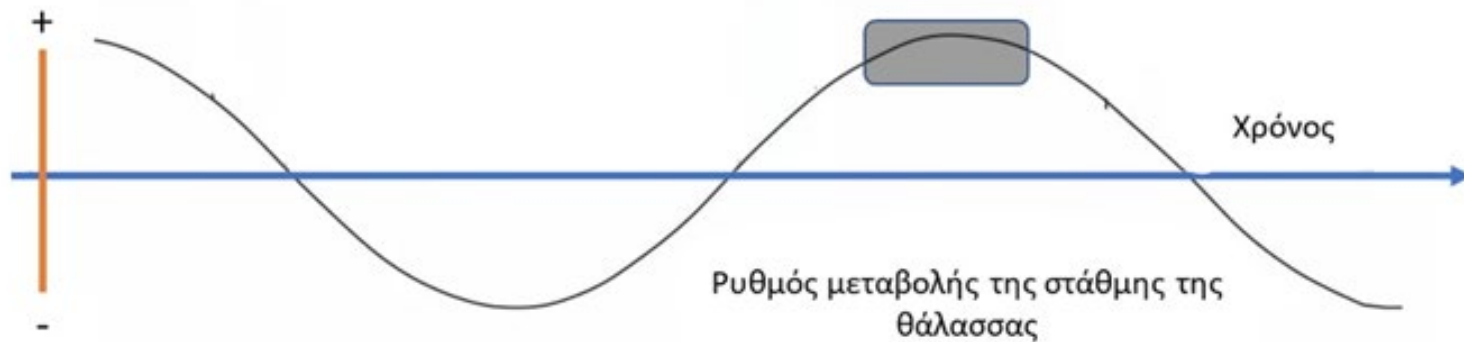


# Επικλυσιγενής υποακολουθία (Transgressive systems tracts-TST)

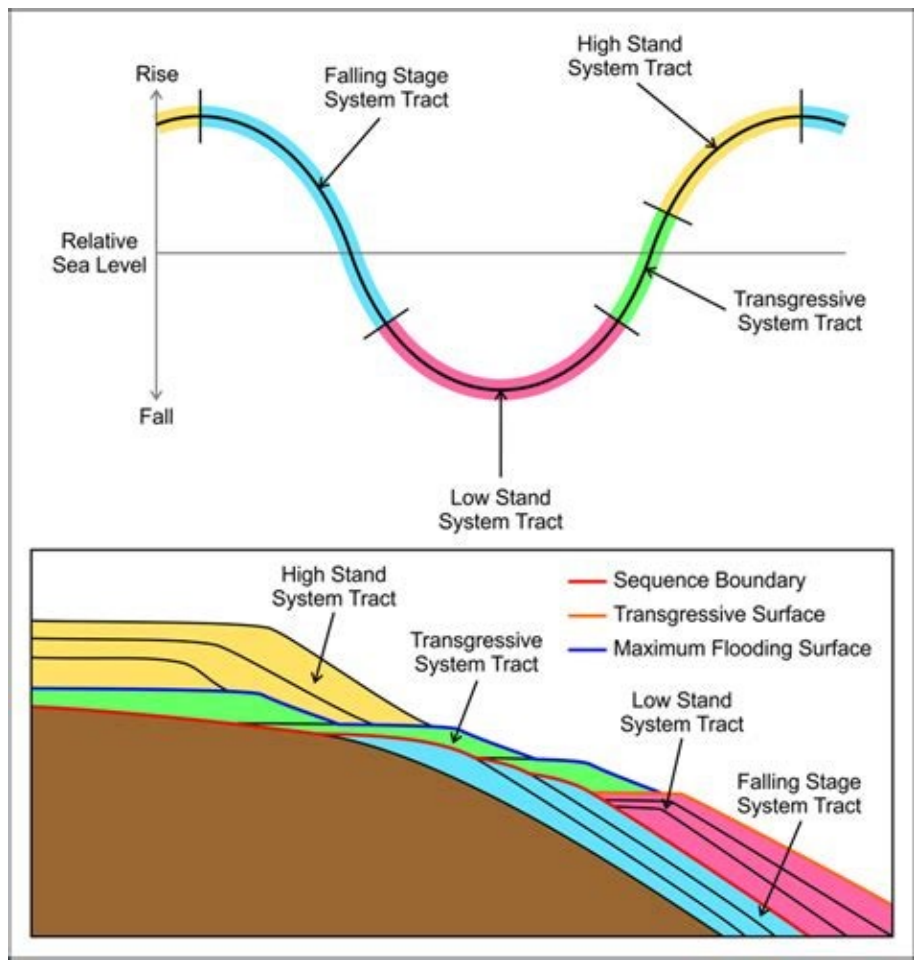


# Υποακολουθία υψηλής στάθμης (Highstand Systems Tracts-HST)

HST







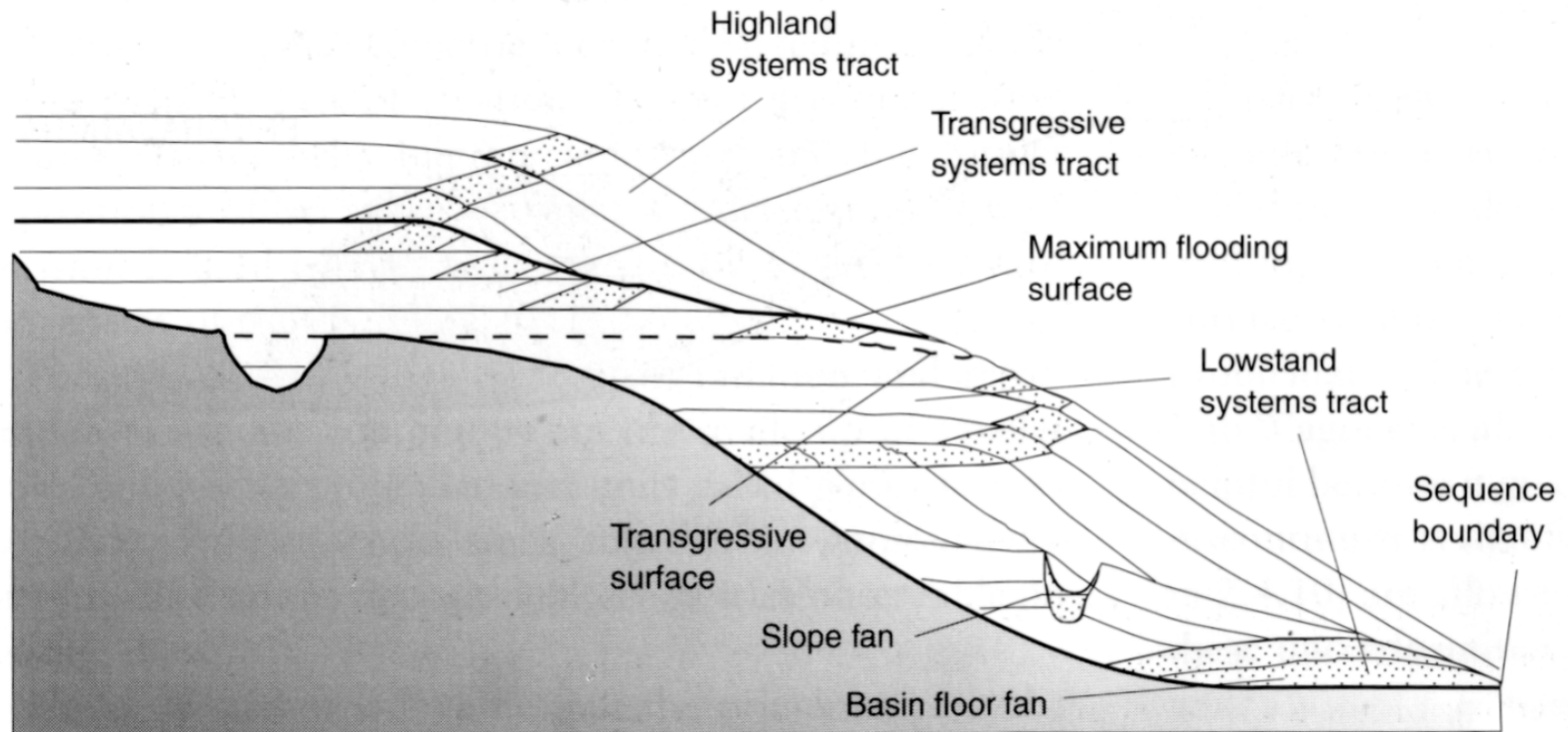
**Ακολουθίες** είναι στρωματογραφικές διαδοχές που οριοθετούνται από επιφάνειες σημαντικής επιφανειακής διάβρωσης, και που αντιπροσωπεύουν μεγάλο κύκλο ιζηματογένεσης που διαρκεί από ~ 5 έως 15 Mys. Αντανακλούν μεταβολές της στάθμης της θάλασσας ως απάντηση στις μείζονες τεκτονικές δραστηριότητες, όπως αλλαγές του όγκου των ωκεάνιων ράχων και/ή την αίσθηση της θαλάσσιας επέκτασης του πυθμένα. Συνήθως αποτελούνται από έναν αριθμό διαφορετικών συνόλων παρακολουθιών που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μία από τους τρεις «υποακολουθίες»:

Υποακολουθία χαμηλής στάθμης (LST)

Επικλυσισγενής υποακολουθία (TST)

### ***Επιφάνεια μέγιστης πλημμύρας***

Υποακολουθία υψηλής στάθμης (HST)



# Συνοψίζοντας.....

---

- Η στρωματογραφία ακολουθιών είναι μια επιστήμη που χρησιμοποιείται για την υποδιαίρεση του ιζηματογενούς αρχείου σε χρονοστεραγραφικά πακέτα.
- Μια «ακολουθία» είναι μια σχετικά προσαρμόσιμη διαδοχή στρωμάτων που οριοθετείται από ασυμφωνίες.
- Οι «παρακολουθίες» και τα «σύνολα παρακολουθιών» είναι σχετικά προσαρμόσιμη διαδοχή γενετικά σχετιζόμενων στρωμάτων μέσα σε μια ακολουθία, που οριοθετούνται από επικλυσιγενείς επιφάνειες, τις μέγιστες επιφάνειες πλημμύρας και ασυμφωνίες σε μια ακολουθία.
- Αυτές οι επιφάνειες και τα σχετικά στρώματα σχηματίζονται ως απόκριση στις αλλαγές στο διαθέσιμο χώρο (σχετική στάθμη της θάλασσας) και στους ρυθμούς ιζηματογένεσης.
- Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την πρόβλεψη της συνέχειας, της ταυτοποίησης και του χαρακτηρισμού των ιζηματογενών αποθέσεων χρησιμοποιώντας σεισμικές διατομές, διαγραφίες και μελέτες από επιφανειακές εμφανίσεις ιζηματογενών πετρωμάτων.
- Η προσέγγιση της Στρωματογραφίας Ακολουθιών είναι πλέον γενικά αποδεκτή, ως ένα «νέο ιζηματολογικό εργαλείο» για τη μελέτη των θαλασσίων λεκανών

# ΣΥΝΕΠΩΣ: Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών

---

- Διαίρεση και ερμηνεία των ιζημάτων σε πακέτα της ίδιας γενετικής προέλευσης (ακολουθίες) που οριοθετούνται από ασυμφωνίες (επιφάνειες διάβρωσης και μη απόθεσης, επιφάνειες πλημμύρας – απόσυρσης) οι οποίες σχηματίζονται **κατά τη διάρκεια ενός μόνο κύκλου μεταβολής της στάθμης της θάλασσας**. Μπορούν να αναγνωριστούν σε 2-D 3-D σεισμικά δεδομένα και φυσικές τομές
- Η συσσώρευση των ιζημάτων στον διαθέσιμο κάθε φορά χώρο απόθεσης (accomodation space) επηρεάζεται από :
  - Αλλαγή στο ρυθμό ιζηματογένεσης
  - Αλλαγή της ευστατικής στάθμης της θάλασσας (απόσυρση, επίκλυση)
  - Τεκτονική βύθιση ή ανύψωση της λεκάνης

# Ενας απλούστερος, πιο εύχρηστος ορισμός της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών

---

**Μια μέθοδος που επιβάλλει τη διάσταση του χρόνου στις σχέσεις των ενοτήτων πετρωμάτων στο χώρο (έκταση και βάθος)**

Για να γίνει αυτό περιγράφουμε πρώτα τις φάσεις ...

... Στη συνέχεια παρατηρούμε τις γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των φάσεων

**Κατανοώντας πώς οι ενότητες πετρωμάτων είναι συνδεδεμένες στο χώρο και το χρόνο, μπορούμε να ερμηνεύσουμε καλύτερα τον τρόπο που συνδέονται με τους ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου**

Το μεγάλο **μειονέκτημα** της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών είναι ότι ο ορισμός, η ορολογία και η ερμηνεία των επιφανειών είναι πολύπλοκη και συχνά αμφιλεγόμενη (Neal & Abrue, 2009).

Η ορολογία συχνά περιλαμβάνει εννοιολογικά μοντέλα απόθεσης, στάθμη της θάλασσας, και / ή τη διάρκεια της ηλικίας, αναμειγνύει την ερμηνεία με την παρατήρηση και εφαρμόζει διαφορετικές γενετικές ονομασίες για τις ίδιες επιφάνειες ή και αποθέσεις που εξαρτώνται από το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

# Εφαρμογές

---

- Υψηλής ευκρίνειας Στρωματογραφία
- Αναπαριστά μέχρι την τάξη των 0,5 εκατομμυρίων ετών μεταβολές στην ιζηματογένεση και στα ιζηματογενή περιβάλλοντα
- Δημιουργία και εξέλιξη ιζηματογενών λεκανών
- Αξιολόγηση ιζηματογενών λεκανών
- Κυκλική ιζηματογένεση και παράμετροι
- Διερεύνηση υδρογονανθράκων
- Ευστατικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης
- Αξιολόγηση μητρικού πετρώματος