

Προτεροζωικός αιώνας

Δρ. Γιώργος Ηλιόπουλος

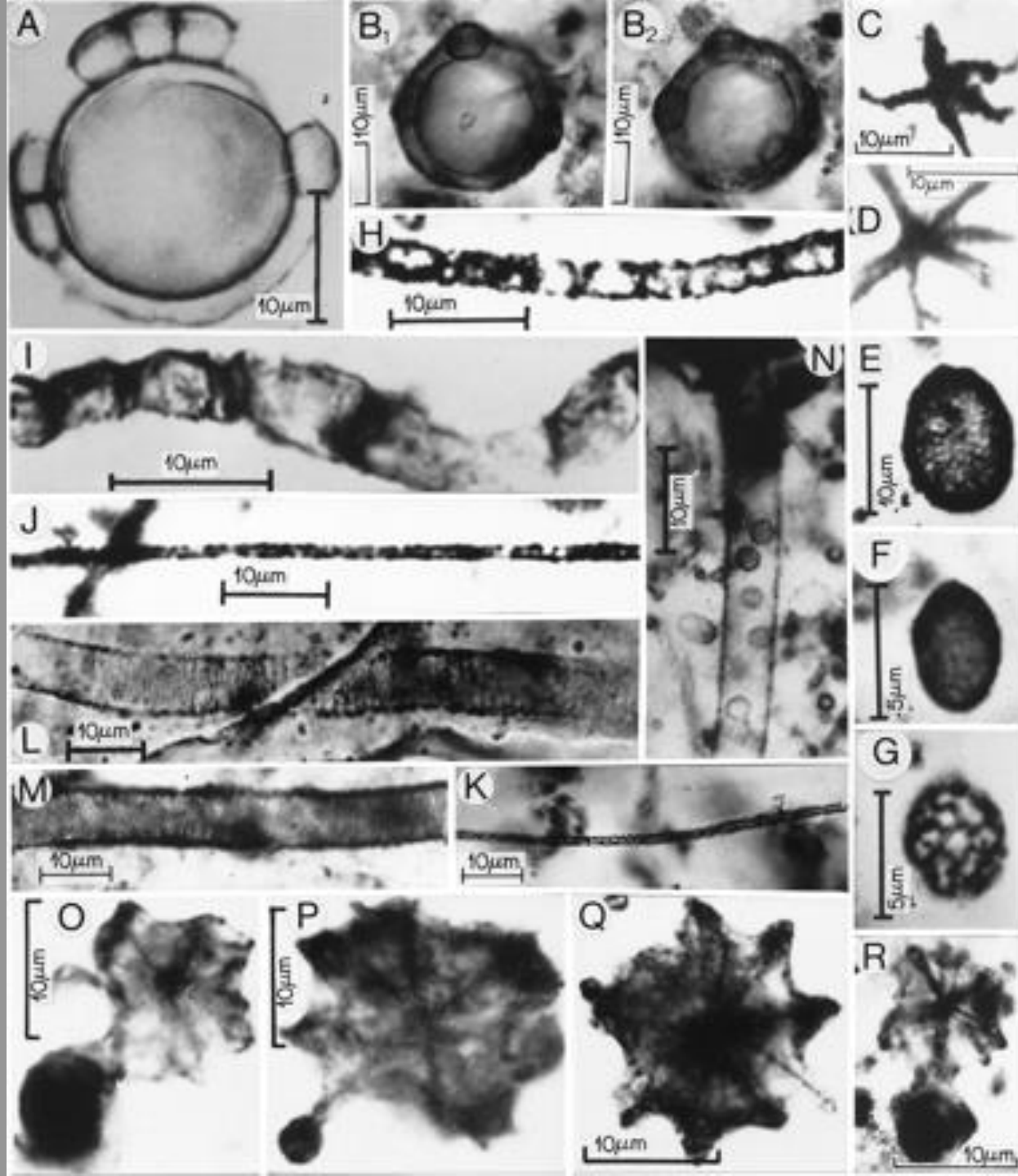
Οι πρώτοι ευκαρυωτικοί οργανισμοί

Οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί εξαπλώθηκαν περίπου την ίδια εποχή που τα στρώματα σιδήρου εξαφανίστηκαν και τα κόκκινα στρώματα εμφανίστηκαν.

Η προέλευση των Ευκαρυωτικών οργανισμών γύρω στα **2.7 δις έτη**, βασίζεται σε μοριακά απολιθώματα. Σε μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους Νοτιοδυτική Αυστραλία.

Οι πρώτοι ευκαρυωτικοί οργανισμοί

- Μερικοί από τους πρώτους ευκαρυωτικούς οργανισμούς ήταν μονοκύτταροι φυτοπλακτονικοί (ακρίταρχα), πρώτιστα και φύκη.
- Το αρχείο των απολιθωμάτων υποδεικνύει ότι η φωτοσυνθετική γραμμή σχημάτισε τον Πρωτεροζωϊκό κορμό του ευκαρυωτικού δέντρου.



Ακρίταρχα

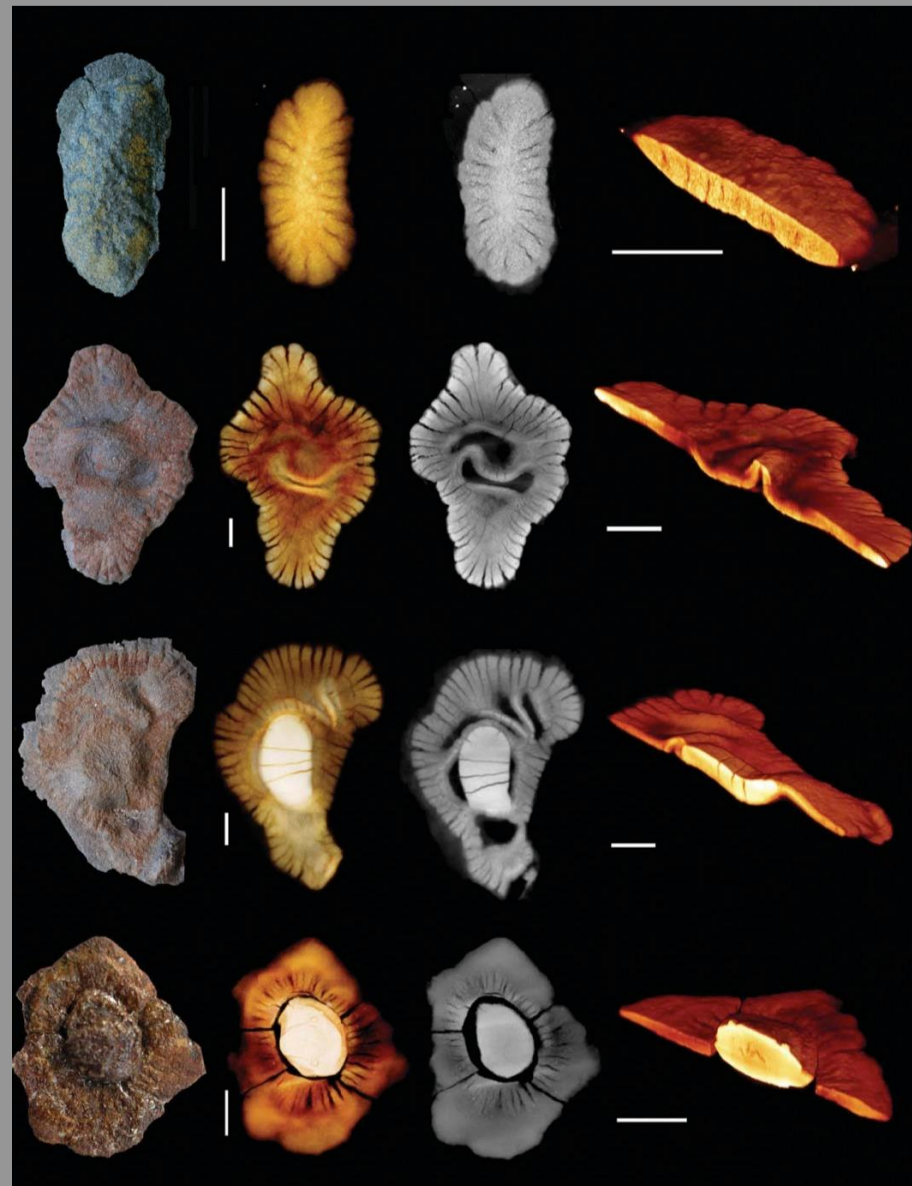
Grypania

- Υπάρχουν λίγα στοιχεία για πολυκύτταρους οργανισμούς
- Πιθανότατα ο πρώτος πολυκύτταρος οργανισμός ήταν η *Grypania* που έμοιαζε με κορδέλα και βρέθηκε σε ανθρακικά πετρώματα ηλικίας 2.1 δις ετών από το Michigan
- Παρόμοια δείγματα σε Κίνα, Ινδία, Καναδά.
- Οι κορδέλες της *Grypania*, έχουν πλάτος 2 mm, μήκος 5-15 cm διατηρημένες σε χαλαρές περιστροφές με διάμετρο 0,5- 2,5 cm.
- Κυτταρικές δομές δεν διατηρήθηκαν.
- Λόγω του μεγέθους, σχήματος, και διατήρησης πιθανότατα πολυκύτταρο ευκαρυωτικό φύκος.

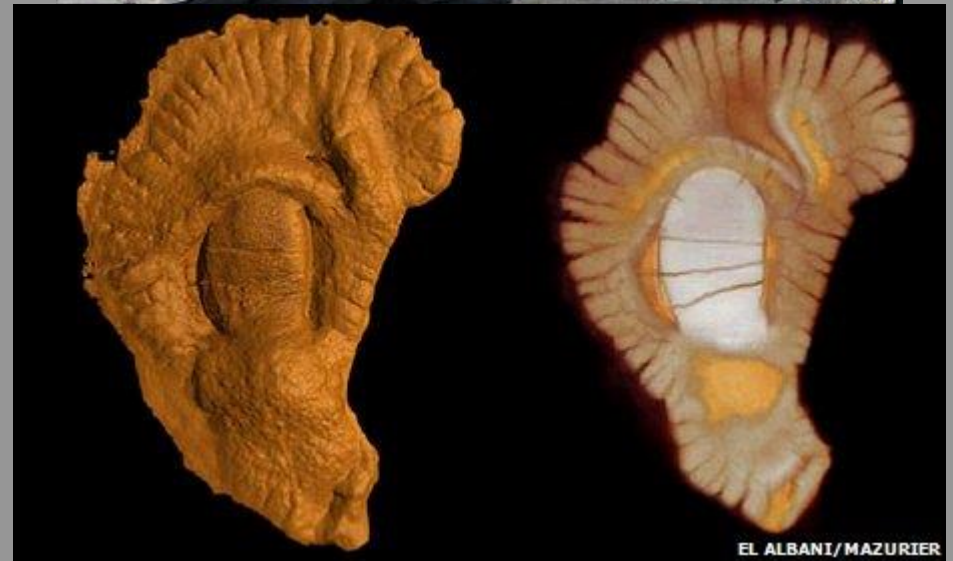
Grypania



Πολυκύτταροι οργανισμοί, 2,1by, Γκαμπόν



EL ALBANI

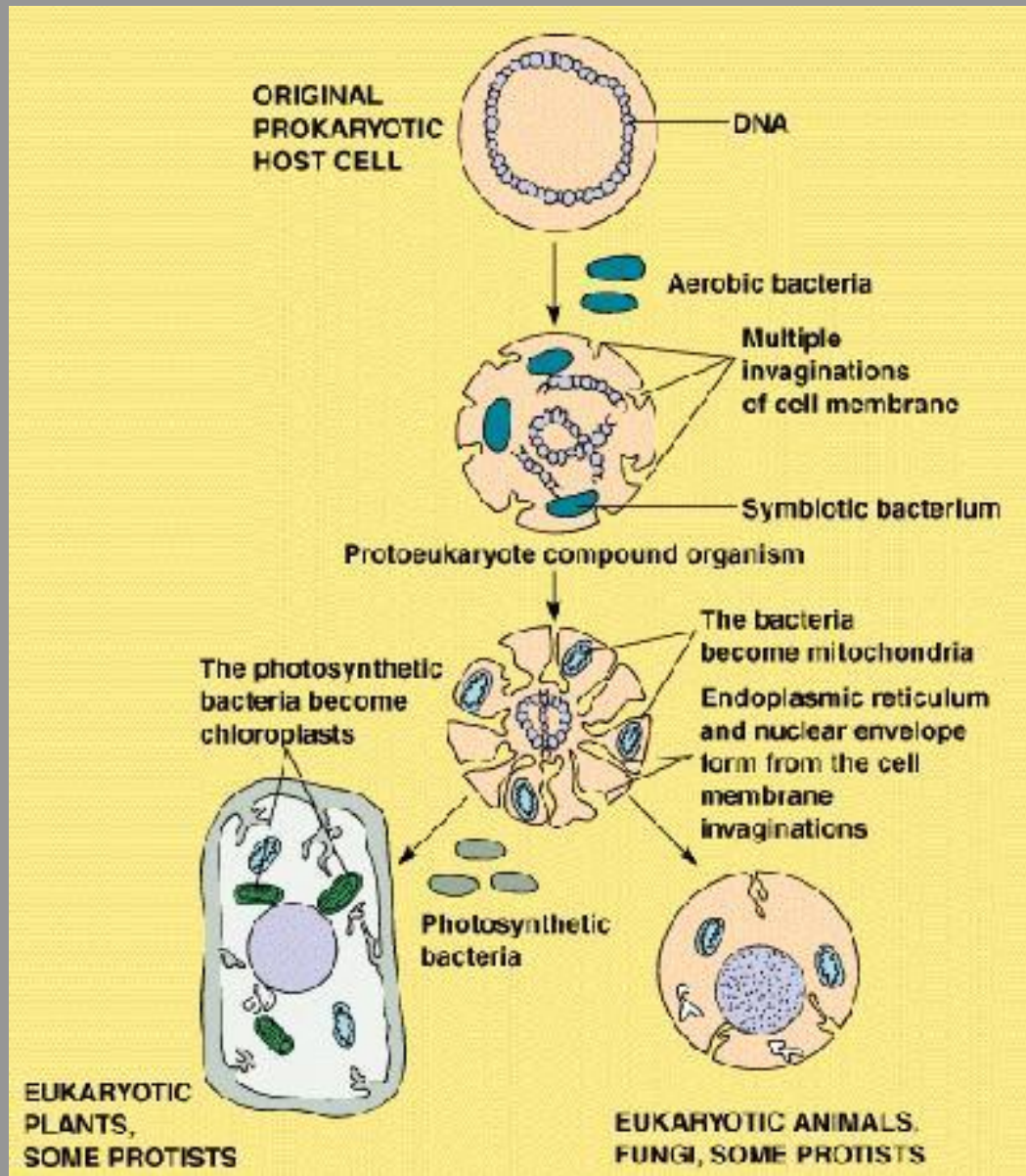


EL ALBANI/MAZURIER

Ενδοσυμβίωση

- Δις έτη πριν, πολλά προκαρυωτικά κύτταρα βρέθηκαν να ζουν μαζί συμβιωτικά μέσα σε ένα κύτταρο για προστασία και προσαρμογή από ένα οξυγονωμένο περιβάλλον.
- Αυτά τα προκαρυωτικά κύτταρα έγιναν οργανίδια.
- Αποδεικτικό στοιχείο για αυτό αποτελεί και το γεγονός ότι τα μιτοχόνδρια έχουν το δικό τους DNA.
- Πχ. – ένα κύτταρο οικοδεσπότης (αναερόβιο με ζύμωση) + αεροβικό οργανίδιο (μιτοχόνδριο) + συν οργανίδιο σαν σπειροχαίτη (μαστίγιο για κίνηση).

Ενδοσυμβίωση



Ευκαρυωτικοί οργανισμοί

Η εμφάνιση τους οδήγησε στην δραματική αύξηση του ρυθμού της εξέλιξης και ήταν τελικά υπεύθυνα για την εμφάνιση πολύπλοκων πολυκύτταρων οργανισμών.

Προτεροζωικός αιώνας

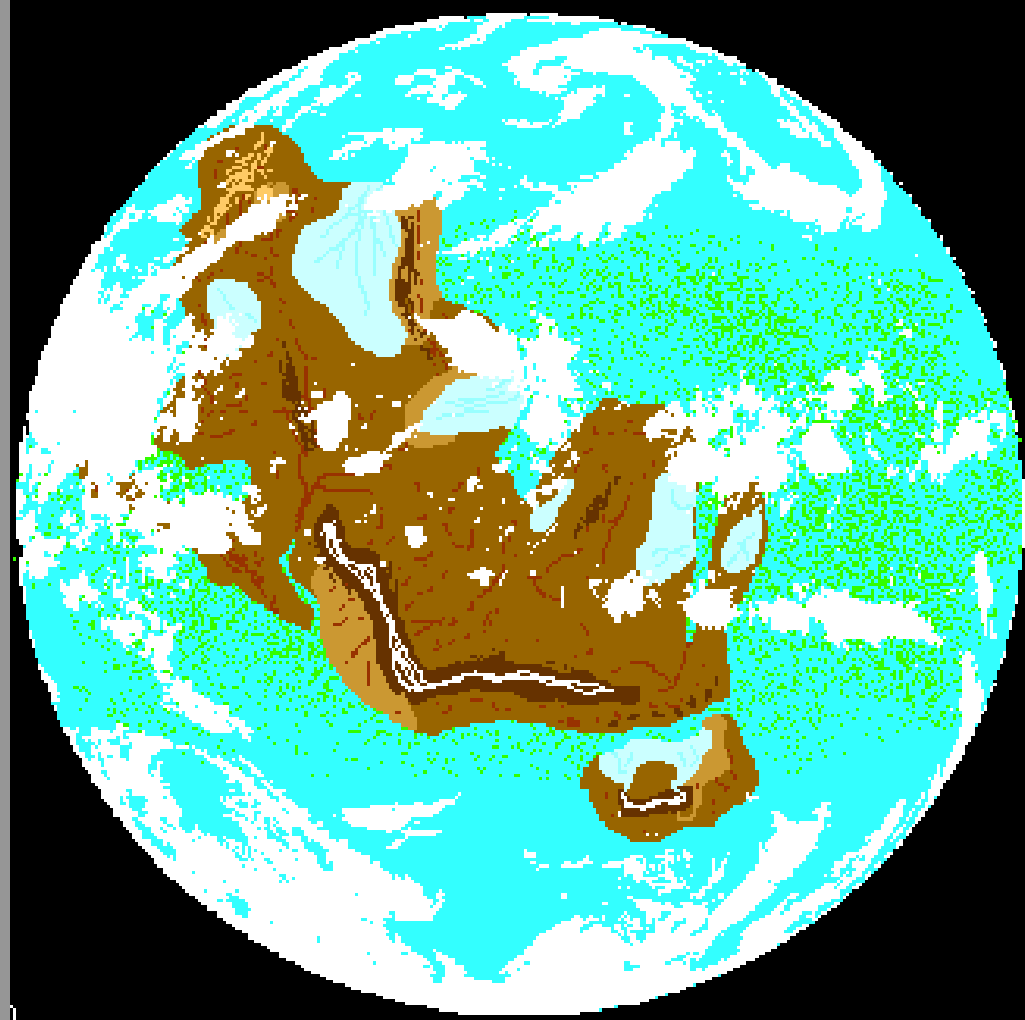
- 2500 - 542 εκ. έτη
- Το 42% της ιστορίας τη γης
- Χωρίζεται σε 3 υποαιώνες:
 - Παλαιοπροτεροζωικός (2.5 - 1.6 δις έτη)
 - Μεσοπροτεροζωικός (1.6 - 1.0 δις έτη)
 - Νεοπροτεροζωικός (1000 – 542 εκ. έτη)

Η αρχή του Προτεροζωικού σηματοδοτεί

- Πιο σύγχρονη τεκτονική των πλακών
- Πιο σύγχρονη ιζηματογένεση
- Πιο σύγχρονο κλίμα με παγετώνες
- Τις απαρχές μιας ατμόσφαιρας πλούσιας σε Οξυγόνο
- Την εμφάνιση και επικράτηση των ευκαρυωτικών οργανισμών

Στην αρχή του Προτεροζωικού

Μεγάλα τμήματα του φλοιού (πλάκες) γνωστά και ως Προκάμβριες επαρχίες, στην αρχή του Προτεροζωικού συνενώθηκαν μαζί για να σχηματίσουν την πρώτη μεγάλη και ενιαία ήπειρο της γης, την **Λαυρεντία**.



Στην αρχή του Προτεροζωικού

- Η συνένωση («ραφή») ηπειρωτικών πλακών εμφανίζεται κατά μήκος οροσειρών ή ορογενετικών ζωνών.
- Μέχρι περίπου τα 1.7 δις έτη είχε ολοκληρωθεί ο σχηματισμός της Λαυρεντίας.
- Η Λαυρεντία συνέχισε να μεγαλώνει σε όλη την διάρκεια του Προτεροζωικού, με την συγκόλληση νέων τμημάτων στα περιθώρια της.

Το κλίμα στον Προτεροζωικό

- Οι πρώτες παγετώδεις περιόδους:
 - Στον Παλαιοπροτεροζωικό, περίπου μεταξύ 2.45-2.22 δις έτη, η Ουρόνια (Huronian).
 - Στον Νεοπροτεροζωικό, 850-600 εκ. έτη, η Βαράνγκια (Varangian)

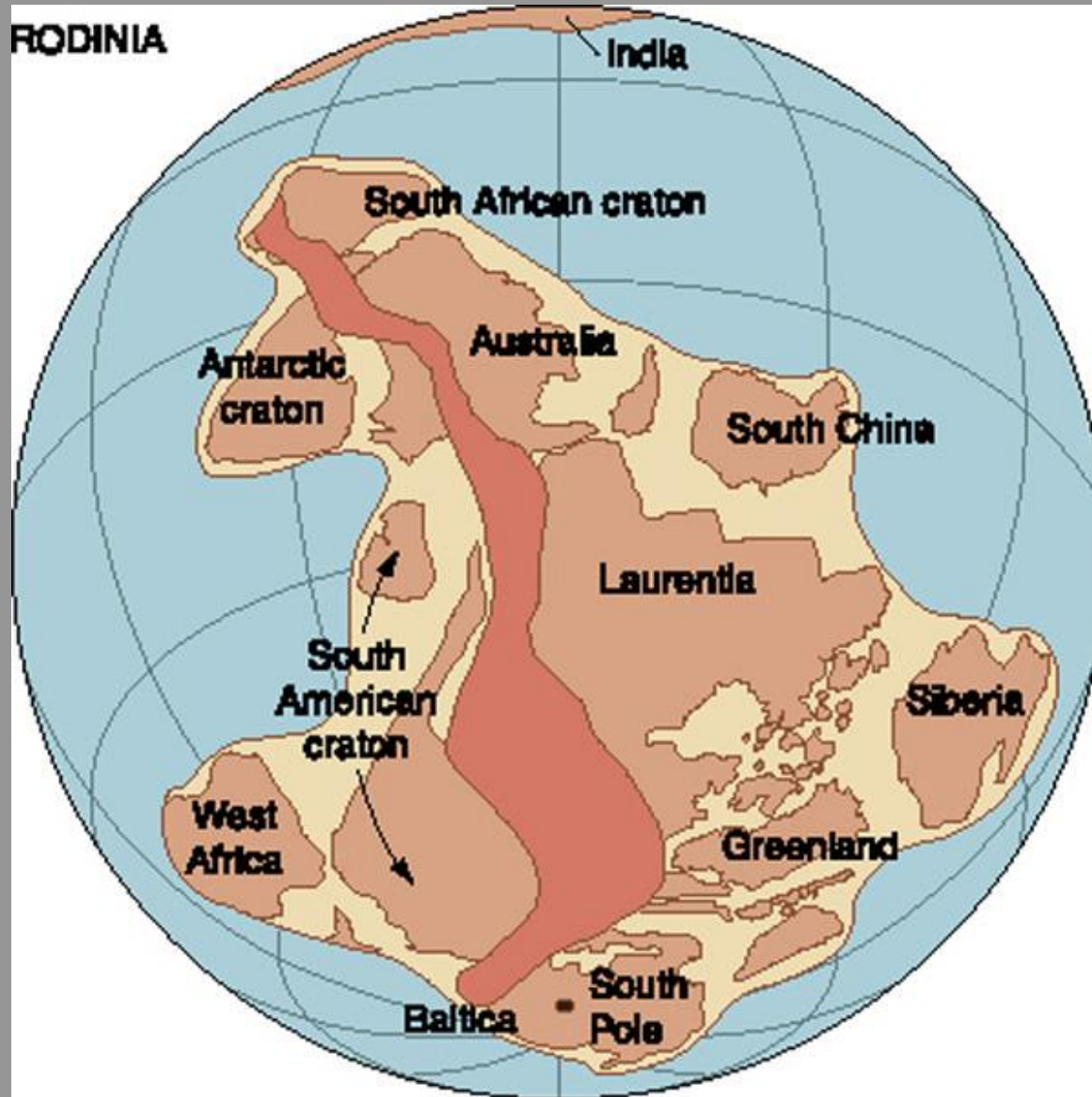
Η Ουρόνια παγετώδης περίοδος (2450-2220 εκ. έτη)

- Ξαφνική έναρξη από τις μέχρι τότε σταθερές συνθήκες
- Ιλιόλιθοι που δείχνουν εποχικότητα
- **Τιλίτες**, συσσωρεύσεις αδρόκοκκων ιζημάτων από παγετώνες.
- Χαρακτηριστικές γραμμώσεις σε κροκάλες από την κίνηση του πάγου.
- Είχε μεγάλη παγκόσμια εξάπλωση, αποθέσεις παγετώνων έχουν βρεθεί στην Β. Αμερική, Ευρώπη, Ν. Αφρική, Ινδία.

Στον Μεσοπρωτεροζωικό (1.6 – 1.0 δισ έτη)

- Δημιουργία ωκεανού.
- Στη συνέχεια η Γκρενβίλλιος ορογένεση 1.2 - 1.0 δισ έτη
- Η σύγκρουση των ηπείρων δημιούργησε την υπερήπειρο **Ροδινία**.

Η υπερήπειρος Ροδινία



Η υπερήπειρος Ροδινία

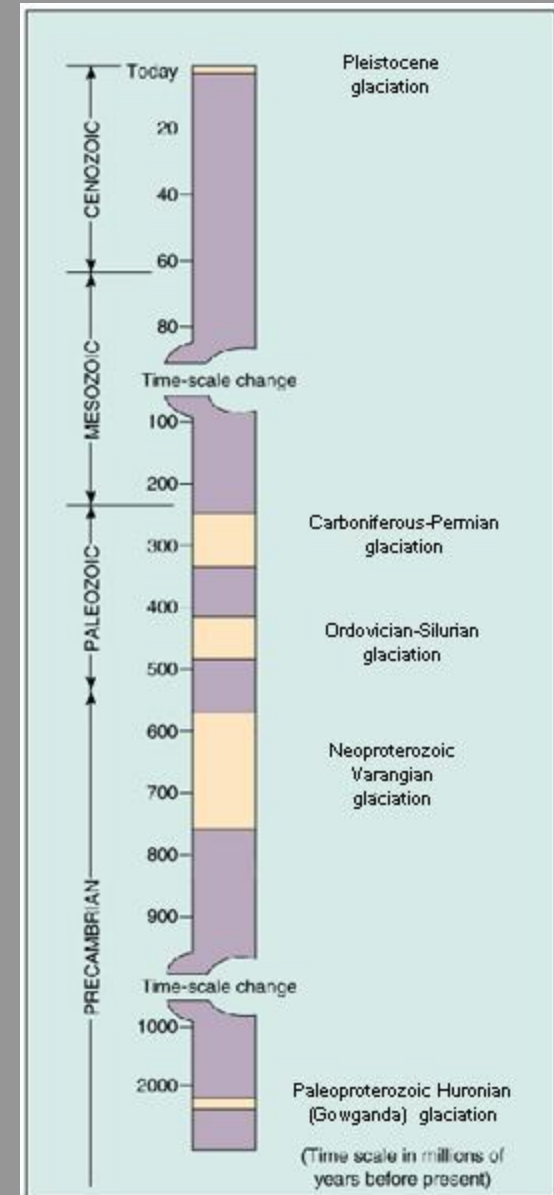
- Παρέμεινε ως υπερήπειρος για περίπου 350 εκ. έτη.
- Περιτριγυριζόταν από έναν ωκεανό **την Μιροβία**.
- Άρχισε να ανοίγει και να χωρίζει και να σχηματίζει στα 750 εκ. έτη, **την Πανθάλασσα** (πρωτοειρηνικός).

Στον Νεοπροτεροζωικό (1.0 – 0.542 δισ έτη)

- Εκτεταμένοι παγετώνες
- Στα 570 εκ. έτη, είχαμε ξανά διάνοιξη ωκεανών, όταν το μπλοκ της Ν. Αμερικής άρχισε να χωρίζει από αυτό της Βόρειας σχηματίζοντας τον ωκεανό **Ιαπετό** (πρωτοατλαντικός).

Η Βαράνγκιος παγετώδης περίοδος (850 = 600 εκ. Έτη)

- Γνωστή αλλιώς και ως «χιονόμπαλα γη (snowball Earth)» λόγω των εκτεταμένων αποθέσεων παγετώνων.
- Διήρκτησε για 250 εκ. έτη, η μεγαλύτερη στην ιστορία της γης.
- Πετρώματα με παγετώδεις αποθέσεις σε όλη την γη (τιλλίτες, γραμμώσεις, κτλ)



Σε τι οφειλόταν;

- Η τεκτονική των πλακών μπορεί να επηρέασε την ψύξη του πλανήτη.
- Οι ήπειροι βρίσκονταν γύρω από τον ισημερινό και άρα καθόλου τροπικός ωκεανός.
- Ανάκλαση θερμότητας στην επιφάνεια των βράχων (ήπειροι γυμνές).
- Όταν σχηματίστηκαν οι πρώτοι παγετώνες η ανακλαστικότητα χιονιού και πάγου περεταίρω μείωση.
- Οι παγετώνες σχετίζονται με μείωση του CO_2 αύξηση του O_2 .
- CO_2 φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μείωση του ψύξη.
- Η μείωση του πιθανόν από αύξηση στον αριθμό των φωτοσυνθετικών οργανισμών (κυανοβακτήρια, στρωματόλιθοι).

Επιπτώσεις

- Πτώση της στάθμης της θάλασσας
- Μειωμένη λιθοποίηση κυανοβακτηριδίων
- Χαμηλή παραγωγή ακρίταρχων
- Παρακμάζοντες στρωματολίθοι
- Μείωση του $\delta^{13}\text{C}$
- Αύξηση CO_2 στην ατμόσφαιρα
- Υψηλότερη διάβρωση (ενδείξεις από αυξημένες ποσότητες $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ στα ανθρακικά πετρώματα) και άρα και αύξηση του P στο νερό των ωκεανών

Στην αρχή του Προτεροζωικού η ζωή ίδια με τον Αρχαϊκό

1. Αρχαιοβακτήρια σε υδροθερμικά πεδία
2. Πλανκτονικοί προκαρυοτικοί οργανισμοί σε θάλασσες και λίμνες
3. Αναερόβιοι προκαρυοτικοί οργανισμοί σε ανοξικά περιβάλλοντα
4. Φωτοσυνθετικά κυανοβακτήρια που φτιάχνουν στρωματολίθους
5. Ευκαρυοτικοί οργανισμοί



2 δις έτη στυλώδεις στρωματόλιθοι

Καινούργιες μορφές ζωής του Προτεροζωικού

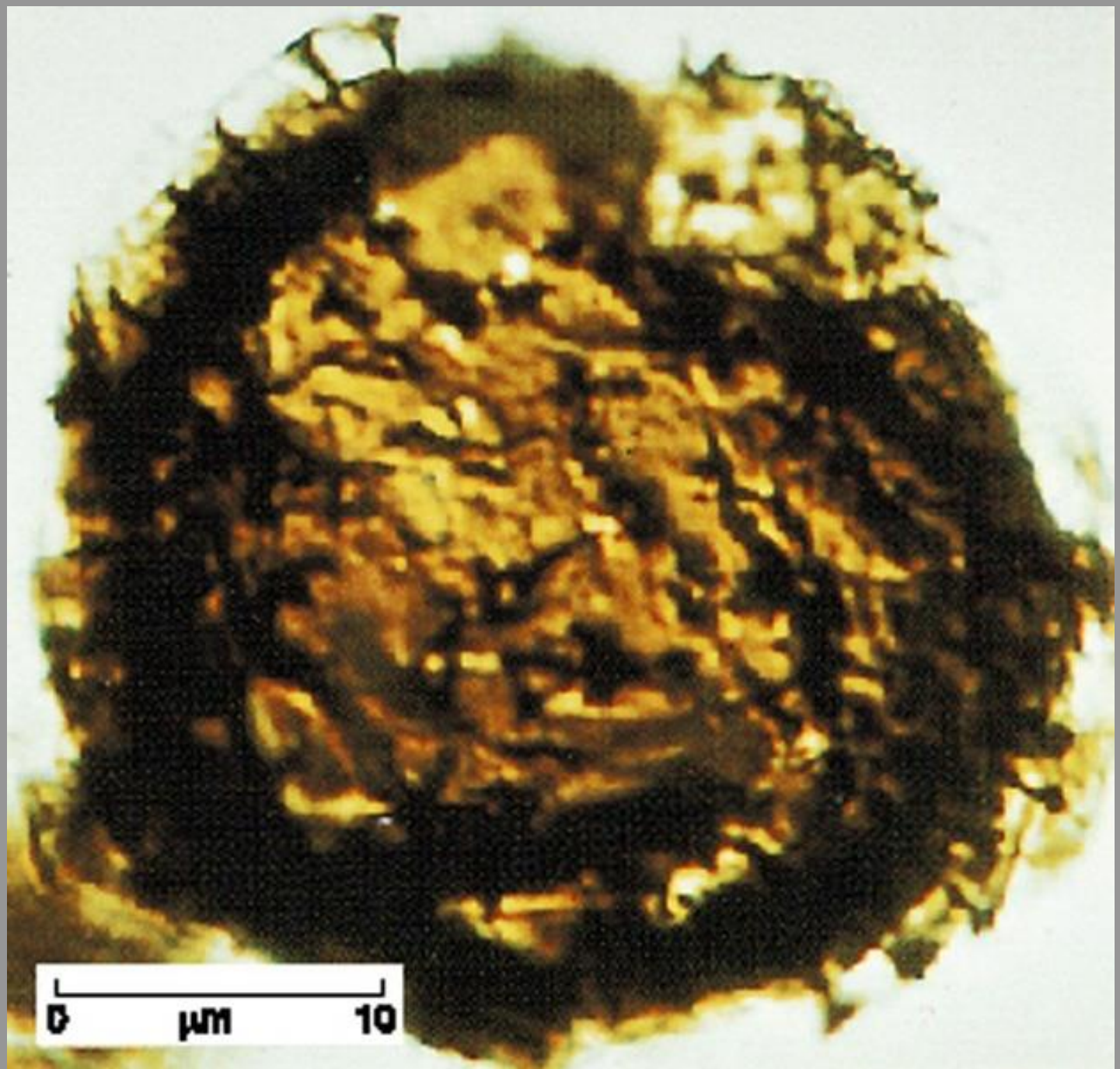
1. Ακρίταρχα
2. Μετάζωα ή πολυκύτταρα ζώα με μαλακά σώματα
3. Μετάζωα με μικροσκοπικούς σωλήνες ανθρακικού ασβεστίου ή κελύφη
4. Μετάζωα που άφησαν λαγούμια στο ίζημα

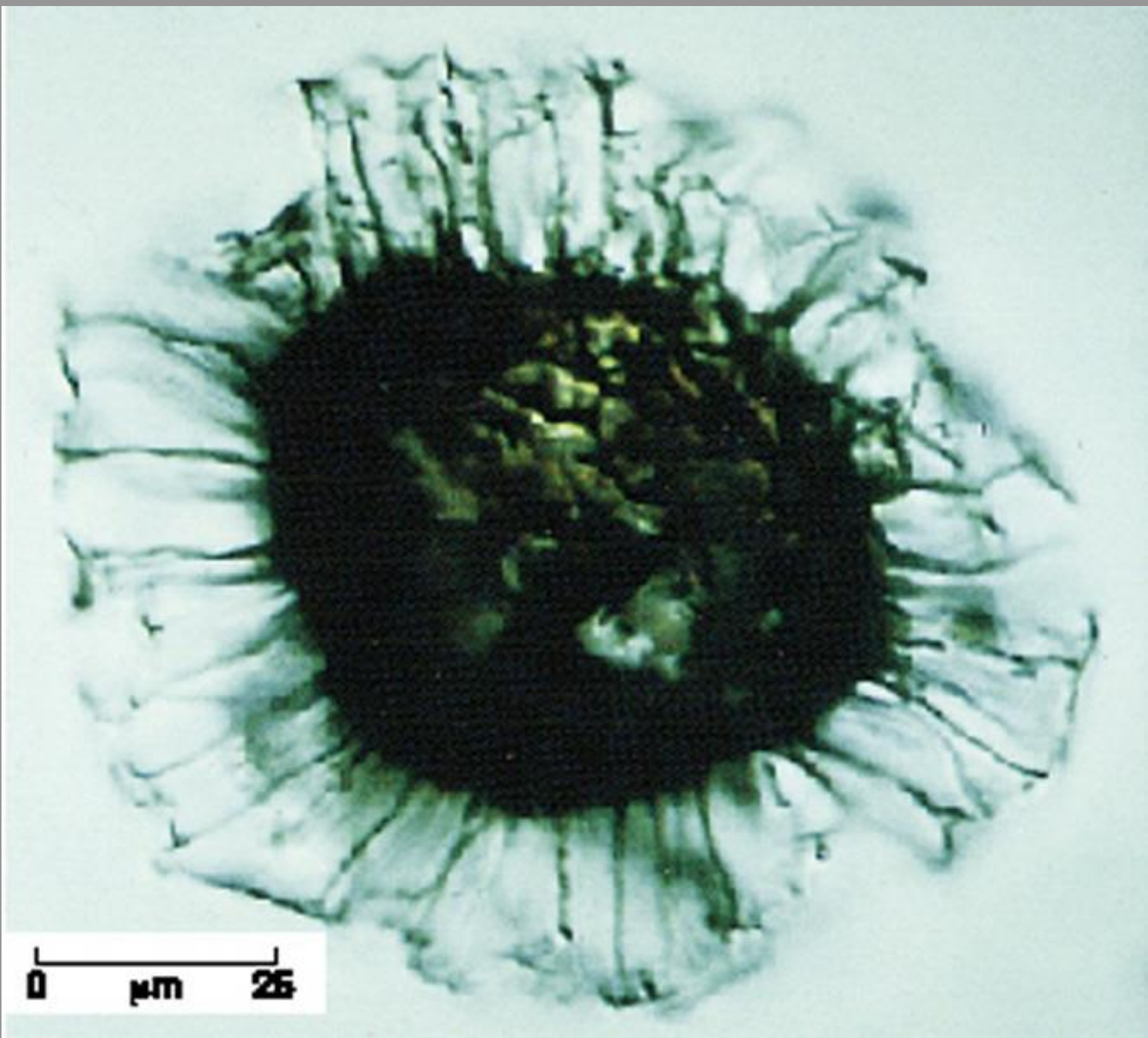
Η προέλαση των ευκαρυωτικών οργανισμών

- Η εμφάνιση τους κύριο γεγονός στην ιστορία της γης.
- Έχουν την δυνατότητα για σεξουαλική αναπαραγωγή, που αυξάνει την ποικιλομορφία μέσω γενετικής αναδιοργάνωσης που προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες εξελικτικής αλλαγής.
- Η διαφοροποίηση της ζωής δεν εμφανίστηκε μέχρι μετά την έλευση της σεξουαλικής αναπαραγωγής ή μέχρι τα επίπεδα του οξυγόνου να φτάσουν σε ένα κρίσιμο επίπεδο.
- Άρχισαν να διαφοροποιούνται σημαντικά περίπου στα 1.2 - 1.0 δις έτη.

Ακρίταρχα

1. Ευκαρυωτικοί οργανισμοί
2. Μονοκύτταρα, σφαιρικά μικροαπολιθώματα
3. Παχύ οργανικό κάλυμμα
4. Πιθανότατα ήταν φυτοπλανκτόν
5. Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά πριν 1.6 δις έτη (όριο Παλαιοπροτεροζωικού – Μεσοπροτεροζωικού)
6. Μερικά μοιάζουν με τις κύστες ή τα στάδια ανάπτυξης των σύγχρονων φυκών που ονομάζονται δεινομαστιγοφόρα.





Ακρίταρχα

7. Μέγιστη ποικιλομορφία και αφθονία στα 850 εκ. έτη
8. Υποχώρησαν κατά την διάρκεια των Βαράνγκιων παγετώνων
9. Λίγα παρέμειναν μετά τα 675 εκ.έτη
10. Εξαφανίστηκαν στο τέλος του Σιλούριου
11. Χρήσιμα για το συσχετισμό Προτεροζωικών στρωμάτων

Τα πρώτα Μετάζωα

- Πολυκύτταρα ζώα με διάφορους τύπους κυττάρων οργανωμένων σε ιστούς και όργανα.
- Τα πρώτα βέβαια μετάζωα πρωτοεμφανίστηκαν στον Νεοπροτεροζωικό, περίπου 630 εκ. Έτη (στο τέλος της Βαράνγκιου). Διατηρήθηκαν σαν αποτυπώματα οργανισμών με μαλακά μέρη σε ψαμμίτες.

Προτεροζωικά μεγααπολιθώματα

- Μετά την *Grypania* τα παλαιότερα μεγααπολιθώματα, ανθρακικά αποτυπώματα των σφαιρικών *Chuarina*, επιμηκυμένων *Tawuia* και της φουσαλιδόμορφης *Longfengshania*
- Παγκόσμια εξάπλωση σε προτεροζωικά ιζήματα
- Μεγάλες εμφανίσεις στον Καναδά και την Κίνα
- Από 1000-700 εκ. Έτη
- Πιθανόν πρωτόγονα προ-Εντιακάρια μετάζωα



Chuaria



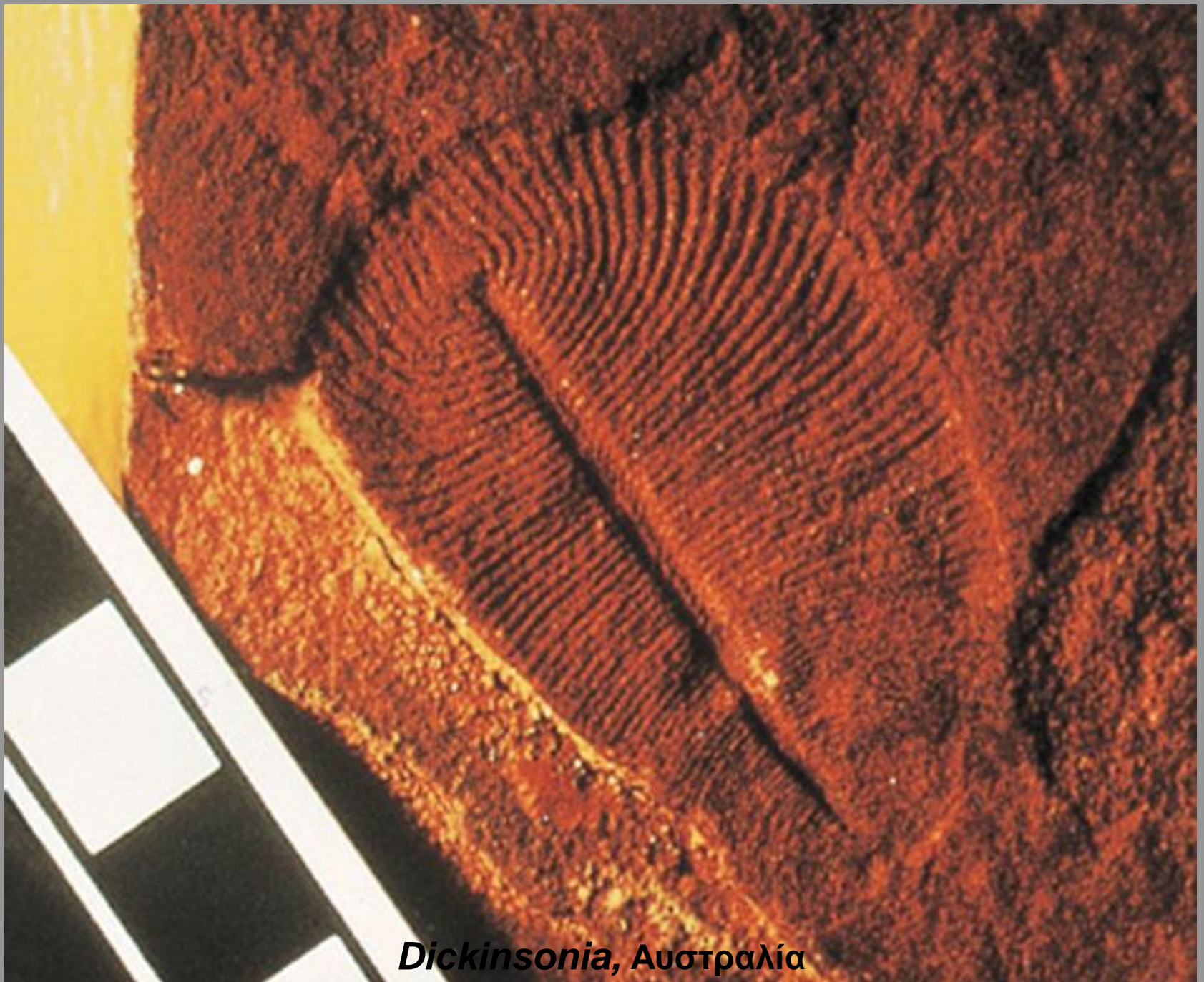
Tawuia

Χαρακτηριστικές πανίδες μεταζώων του Προτεροζωικού

- **Η πανίδα Ediacara** – Τα πρώτα αποτυπώματα ζώων με μαλακά μέρη βρέθηκαν από το Sprigg στους λόφους Ediacara στην Ν. Αυστραλία στην δεκαετία του 1940.
- Αυγά και έμβρυα μεταζώων στον Ανώτερο Νεοπροτεροζωικό σχηματισμό Doushantuo στην Ν. Κίνα.
- Ιχνοαπολιθώματα σκαπτικών μεταζώων σε πετρώματα νεώτερα από την Βαράνγκια παγετώδη περίοδο.
- Πανίδα ζώων με μικροσκοπικά κελύφη

Η πανίδα Ediacara

- Τα πρώτα με το χαρακτηριστικό Εντιακάριο τύπο σώματος και απλά ιχνοαπολιθώματα εμφανίζονται στο τέλος του Προτεροζωικού (590- 550 εκ. έτη).
- Σήμερα τέτοιου τύπου ζώα γνωστά από περισσότερες από 20 περιοχές στον κόσμο (Ρωσία, Αγγλία, Ναμίμπια, Καναδάς)
- Στρωματογραφικά εντοπίζονται πάνω από πετρώματα με ίχνη Βαράνγκιων παγετώνων και κάτω από την βάση του Καμβρίου.
- Η πρώτη εξελικτική διάσπαση των πολυκύτταρων ζώων.
- Μερικά ήταν πιθανόν προγονικές μορφές των Παλαιοζωικών ασπόνδυλων.
- Τα παλαιότερα βρέθηκαν στην Κίνα. Τυπικές μορφές με υψηλό δομικό επίπεδο *Dickinsonia*, *Spriggina* and *Tribrachidium*



Dickinsonia, Αυστραλία



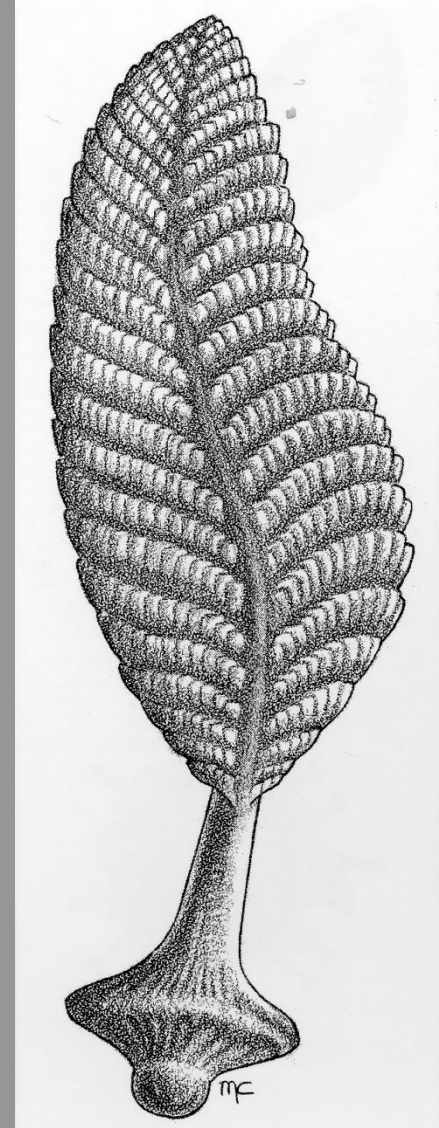
Tribrachidium, Αυστραλία



Spriggina, σκώληκας, Αυστραλία

Η πανίδα Ediacara

- Μέγεθος οργανισμών από 1cm έως 1m
- Καλή διατήρηση των εκμαγείων λόγω απουσίας πτωματοφάγων και έλλειψης βιοαναμόχλευσης.
- Η πλειοψηφία πρωτόγονα κνιδάρια (μέδουσες, υδρόζωα), σκώληκες, αρθρόποδα και άλλα προβληματικά.
- Νέες μορφές και διαφορετικές από κάθε γνωστό ζώο.
- Πολλά είδη συσχετίζονται με σημερινά κνιδάρια όπως τα υδρόζωα (*Charnia*, *Charniodiscus*), και άλλα προβληματικά (το αινιγματικό *Tribrachidium*)
- Πρόσφατα ευρήματα δείχνουν την ύπαρξη ζώων που έμοιαζαν με τα αρθρόποδα (*Parvancorina*).



Charnia



Parvancorina, αρθρόποδο, Αυστραλία

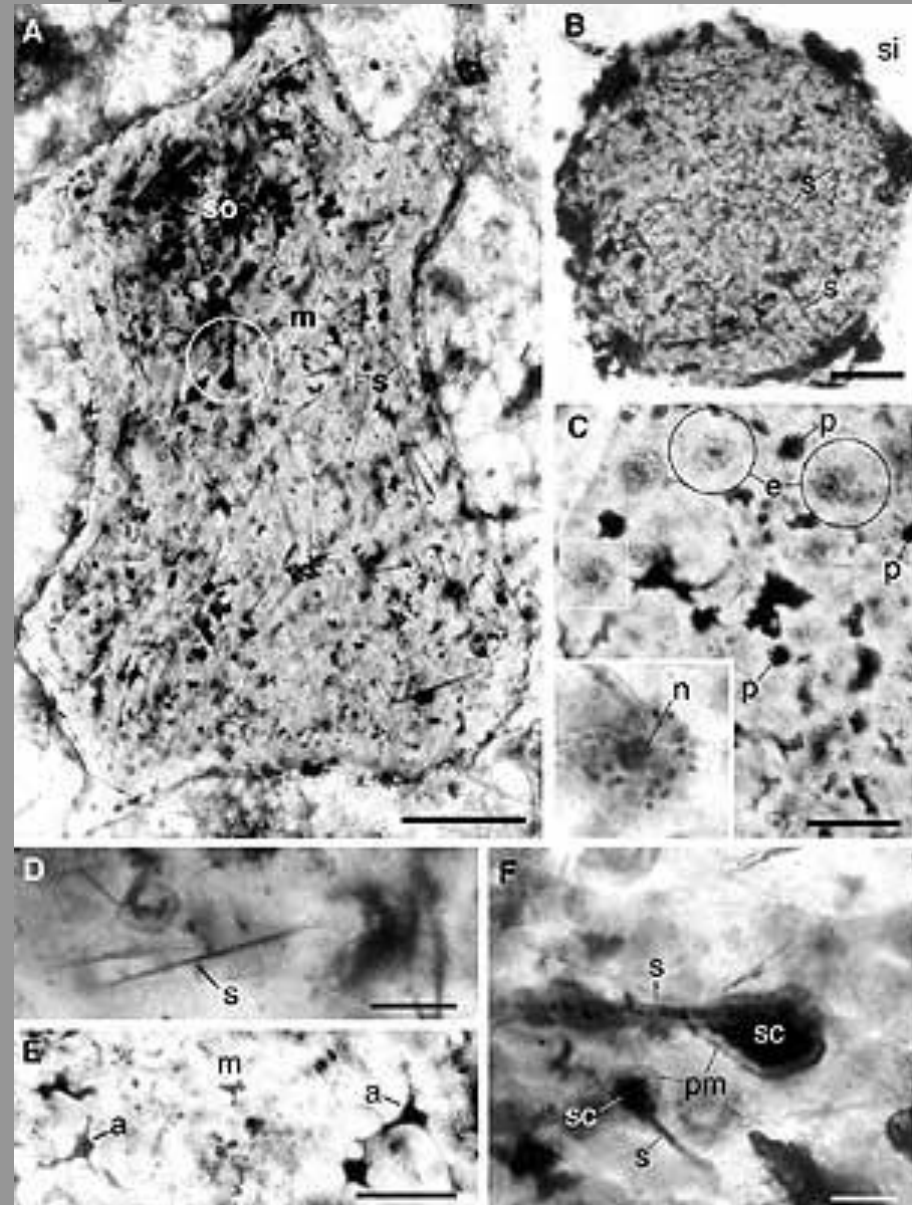


Cyclomedusa, μέδουσα, Αυστραλία

Doushantuo στην Ν. Κίνα.



Έμβρυα μεταζώων



Σπόγγοι

Πανίδα ζώων με μικροσκοπικά κελύφη: Τα πρώτα σκληρά μέρη

Τα πρώτα απολιθώματα με σκληρά μέρη ή κελύφη εμφανίζονται στον Ανώτερο Νεοπροτεροζωικό.

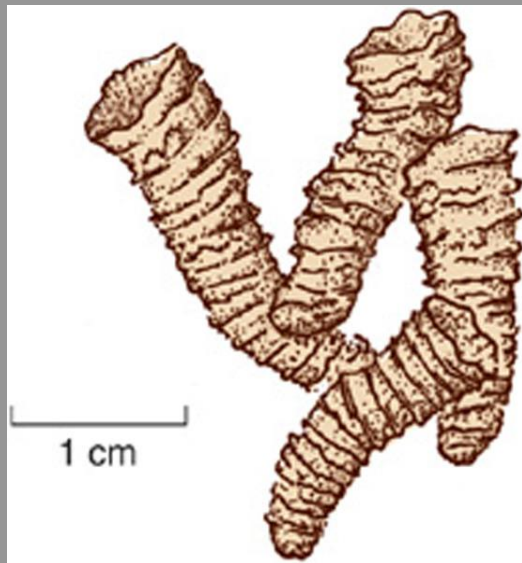
Cloudina το πρώτο απολίθωμα με σκληρά μέρη

Cloudina, ένας οργανισμός με μικρό σωληνοειδές κέλυφος φτιαγμένο από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3).

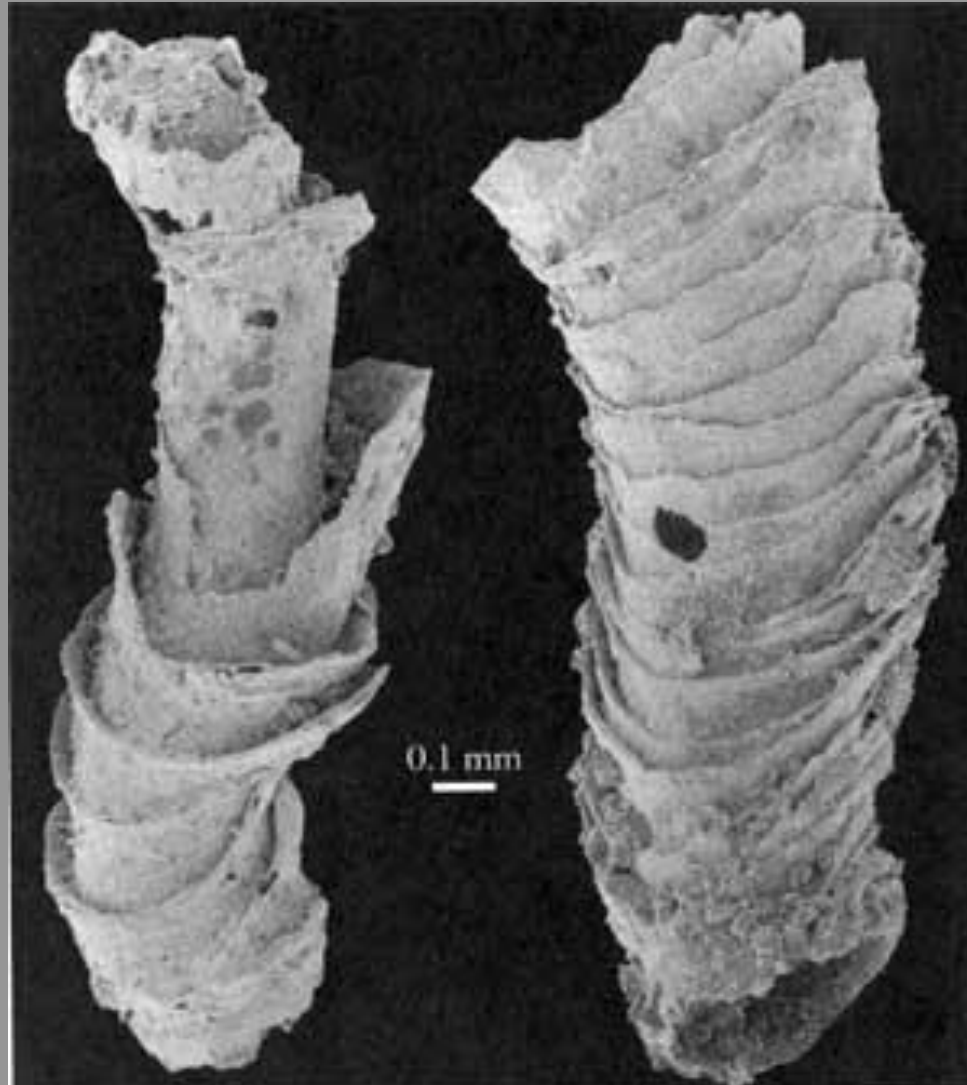
Μοιάζει με τις δομές που φτιάχνουν οι ανελίδες που ζουν σε σωλήνες.

Ο πρώτος οργανισμός με κέλυφος CaCO_3 .

Βρέθηκε στην Ναμίμπια, Αφρική.



Cloudina το πρώτο απολίθωμα με σκληρά μέρη



Cloudina από το Νεοπροτεροζωικό της Κίνας

Πανίδα ζώων με μικροσκοπικά κελύφη:

Τα πρώτα σκληρά μέρη

Άλλα νεοπροτεροζωικά ή κατώτερου Κάμβριου μικρά απολιθώματα με κελύφη περιλαμβάνουν:

- Πιθανά πρωτόγονα μαλάκια (Χαλκιεριοειδή)
- Βελόνες σπόγγων,
- Σωληνοειδή ή κωνικά κελύφη
- Μικροσκοπικά χαυλιοδοντόμορφα απολιθώματα (Υόλιθοι)
- Κελύφη φτιαγμένα από φωσφορικό ασβέστιο (Τομοτοειδή).



Halkieria



Υόλιθος

Τα πλεονεκτήματα

- Προστασία και πρόσφυση μαλακών μερών και μυών.
- Προστασία από θηρευτές και παράσιτα
- Μεταχείριση τροφής (δόντια)
- Βελτίωση πρόσφυσης στο υπόστρωμα
- Αποτροπή απώλειας νερού
- Αποθήκες για απαραίτητα στοιχεία (Ca, P, Si, κτλ.)

Μειονεκτήματα

- Διαθεσιμότητα δομικών υλικών
- Ενέργεια και χρόνο από άλλες λειτουργίες
- Συντήρηση
- Φορτίο (βάρος): πιο βαριά και πιο ογκώδη
- Περιορίζουν την κίνηση
- Αλλαγές στο σχήμα του σώματος, την ανάπτυξη και την διάχυση αερίων και θρεπτικών συστατικών κατά μήκος του σώματος.

Από τι φτιάχνονται

- Αποτελούνται από πολύπλοκα οργανικά και ανόργανα ορυκτά δομικά συστατικά.
- Όλα περιέχουν οργανικά συστατικά, ορυκτά όχι όμως όλα
- Σκελετοί από οργανικά μόρια (πχ. Χιτίνη) σχηματίζουν οργανικούς σκελετούς που μπορούν να απολιθωθούν.
- Συχνά τα οργανικά μόρια εμποτίζονται με ορυκτά και σχηματίζουν σύνθετα όργανο-ανόργανα υλικά.
- Τα ορυκτά είτε αποκτούνται από το περιβάλλον του ζώου είτε κατασκευάζονται από τους ιστούς του ζώου με μια διαδικασία που ονομάζεται **βιοορυκτοποίηση**.

«Βιοορυκτά»

- Περίπου 60 γνωστά βιοορυκτά
- Τα περισσότερα εμφανίζονται ως εσω ή εξω κυτταρικά συσσωματώματα ή άλλες δομές χωρίς σύνδεση με σκελετούς
- Κυρίως 3 τύποι ορυκτών σε σκελετούς
 - a. Ανθρακικά (CaCO_3 , κυρίως ασβεστίτης και αραγωνίτης)
 - b. Φωσφορικό ασβέστιο (κυρίως απατίτες, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)(\text{OH})_2$)
 - c. πυριτικά (οπάλιος, SiO_2)

Ιχνοαπολιθώματα

- Ίχνη βάδισης, λαγούμια και άλλα ιχνοαπολιθώματα στον ανώτερο Νεοπροτεροζωικό.
- Τα πετρώματα μετά την Βαράνγκια παγετώδη περίοδο
- Απλά ρηχά λαγούμια

Ιχθυολιθώματα



Πιθανότατα από μαλάκιο (Καναδάς)

Τι προκάλεσε την εμφάνιση των μεταζώων;

- Μπορεί να σχετίζεται με την συγκέντρωση αρκετού οξυγόνου στην ατμόσφαιρα για την υποστήριξη μεταβολισμού που να βασίζεται στο Οξυγόνο.
- Τα πρώτα μετάζωα μπορεί να ζούσαν σε οάσεις Οξυγόνου θαλάσσιων φυτών.
- Η Εντιακάριος ζωή μπορεί να εξελίχτηκε σταδιακά από προηγούμενες μορφές που δεν απολιθώθηκαν.