



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Εξέλιξη του Έμβιου κόσμου- Παλαιοντολογία

Ενότητα 5: Εξαφανίσεις-Πρώτα Μετάζωα
Η ζωή στον Παλαιοζωϊκό

Δρ. Ηλιόπουλος Γεώργιος
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας

Σκοποί ενότητας

Εξαφανίσεις: Οι εξαφανίσεις είναι εξίσου σημαντικές με οποιοδήποτε άλλο φαινόμενο της ζωής, για αυτό και η μελέτη τους θεωρείται αναγκαία στην Παλαιοντολογία. Οι μαζικές εξαφανίσεις, ειδικότερα αν και οδήγησαν σε εντυπωσιακή μείωση ειδών και ατόμων, έδωσαν νέα ώθηση στην δυναμική και εξέλιξη των ομάδων οργανισμών που επιβίωσαν.

Πρώτα Μετάζωα και η ζωή στον Παλαιοζωϊκό: Η ενότητα αυτή καταπιάνεται με την εμφάνιση, την αναγνώριση και τα χαρακτηριστικά κάποιων από τις πρώτες γνωστές μορφές ζωής του πλανήτη, όπως αυτές έχουν αποτυπωθεί στα απολιθώματα. Η μελέτη των οργανισμών αυτών είναι σημαντική μιας και αποτελούν πρόδρομες μορφές των ζώων και φυτών που συναντάμε σήμερα.



Περιεχόμενα ενότητας

-Εξαφανίσεις-Μαζική εξαφάνιση-Αίτια εξαφανίσεων-Η ζωή στον Προτεροζωϊκό Αιώνα-Gunflint-Η προέλευση των ευκαρυωτικών οργανισμών-Ακρίταρχα- Τα πρώτα Μετάζωα-Χαρακτηριστικές πανίδες μεταζώων του Προτεροζωϊκού-Η πανίδα της Ediacara- Πανίδα ζώων με μικροσκοπικά κελύφη- Τι προκάλεσε την εμφάνιση των μεταζώων- Η ζωή στον Παλαιοζωϊκό Αιώνα- Παλαιοζωϊκά ασπόνδυλα, σπονδυλόζωα και φυτά- Προσαρμοστικές διασπάσεις και εξαφανίσεις- Η έκρηξη ζωής του Καμβρίου- Η Κάμβρια επανάσταση του υποστρώματος- Πανίδες Καμβρίου- Η πανίδα Chengjiang- Η πανίδα Burgess shale.



Εξαφανίσεις-Πρώτα Μετάζωα



Εξαφανίσεις

- Φυλετική εξαφάνιση ή ψευτοεξαφάνιση
Ένα είδος χάνεται καθώς εξελίσσεται σε ένα άλλο
- Τελική εξαφάνιση
Χάνεται ο συνολικός πληθυσμός ενός είδους χωρίς
κάποιο απόγονο
- Μαζική εξαφάνιση
- Τάξα Λάζαροι: οργανισμοί που στο αρχείο των απολιθωμάτων μοιάζουν εξαφανισμένοι για μεγάλο διάστημα και εμφανίζονται ξανά.



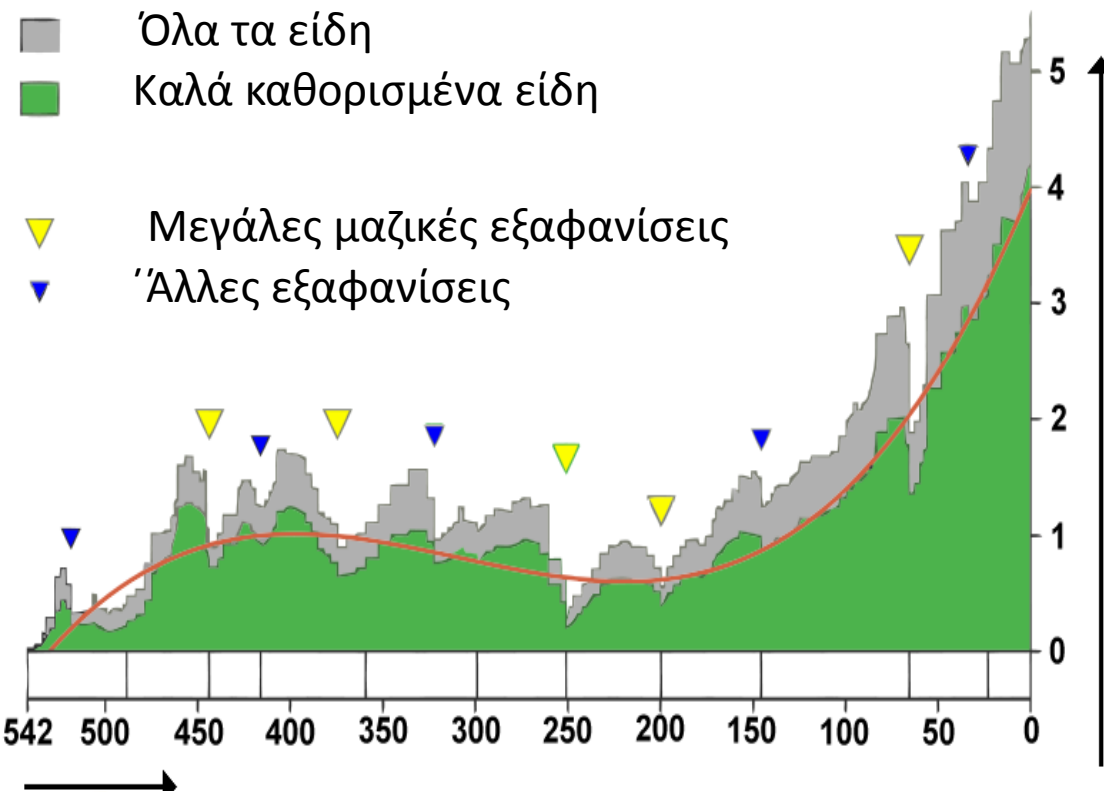
Μαζική εξαφάνιση

- Παγκόσμιο χαρακτήρα
- Και σε θάλασσα και σε ξηρά
- Αφορά μεγάλο αριθμό διαφορετικών οργανισμών



Οι μαζικές εξαφανίσεις

Εικόνα 1: Βιοποικιλότητα στον Φανεροζωϊκό Μεγαίωνα- με βάση το αρχείο των απολιθωμάτων.



1. Αν. Ορδοβίσιου
2. Αν. Δεβονίου
3. Αν. Περμίου
4. Αν. Τριαδικού
5. Αν. Κρητιδικού



Τι προκάλεσε τις εξαφανίσεις

Πολλές υποθέσεις που προσπαθούν να εξηγήσουν την αιτία αυτών των εξαφανίσεων:

1. Εξωτερική ή εξωγήινη καταστροφική αιτία πυροδοτεί το συμβάν.
2. Συμβάντα που λαμβάνουν χώρα πάνω στην γη χωρίς εξωτερικές επιρροές.



Εξωτερική ή εξωγήινη καταστροφική αιτία

- Σύγκρουση με αστεροειδή;
- Σύγκρουση με κομήτη;
- Κοσμική ακτινοβολία από γειτονικό σουπερνόβα;



Εσωγήινοι παράγοντες

1. Ηφαιστειακές εκρήξεις εκλύουν μεγάλες ποσότητες στάχτης και αερίων στην ατμόσφαιρα που οδηγούν σε πτώση της θερμοκρασίας. Εκλύουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου, που γίνεται θειικό οξύ στην ατμόσφαιρα και όξινη βροχή, που έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της αλκαλικότητας στους ωκεανούς, βάζοντας σε θανατηφόρο πίεση το πλαγκτόν (την βάση της τροφικής αλυσίδας) και έμμεσα επηρεάζει όλους τους οργανισμούς που εξαρτώνται από αυτό για τροφή.



Εσωγήινοι παράγοντες

2. Κλιματικές αλλαγές που σχετίζονται με την αλλαγή κατανομής ξηράς - θάλασσας
3. Παγετώνες και μείωση των επιηπειρωτικών θαλασσών με την πτώση της στάθμης της θάλασσας
4. Έκλυση μεθανίου
5. Αρρώστιες? Ιοί?
6. Όλα αυτά μαζί!!



Στην αρχή του Προτεροζωικού η ζωή ίδια με τον Αρχαϊκό Αιώνα

1. Αρχαιοβακτήρια σε υδροθερμικά πεδία
2. Πλαγκτονικοί προκαρυωτικοί οργανισμοί σε θάλασσες και λίμνες
3. Αναερόβιοι προκαρυωτικοί οργανισμοί σε ανοξικά περιβάλλοντα
4. Φωτοσυνθετικά κυανοβακτήρια που φτιάχνουν στρωματολίθους
5. Ευκαρυωτικοί οργανισμοί



Καινούργιες μορφές ζωής του Προτεροζωικού Αιώνα

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



Μικροαπολιθώματα από τον χαλαζίτη του Gunflint

Τα πρώτα Παλαιοπροτεροζωικά απολιθώματα βρέθηκαν το 1953 στον ηλικίας 1.9 δις ετών χαλαζίτη του **Gunflint**, στην λίμνη Superior (Καναδάς).

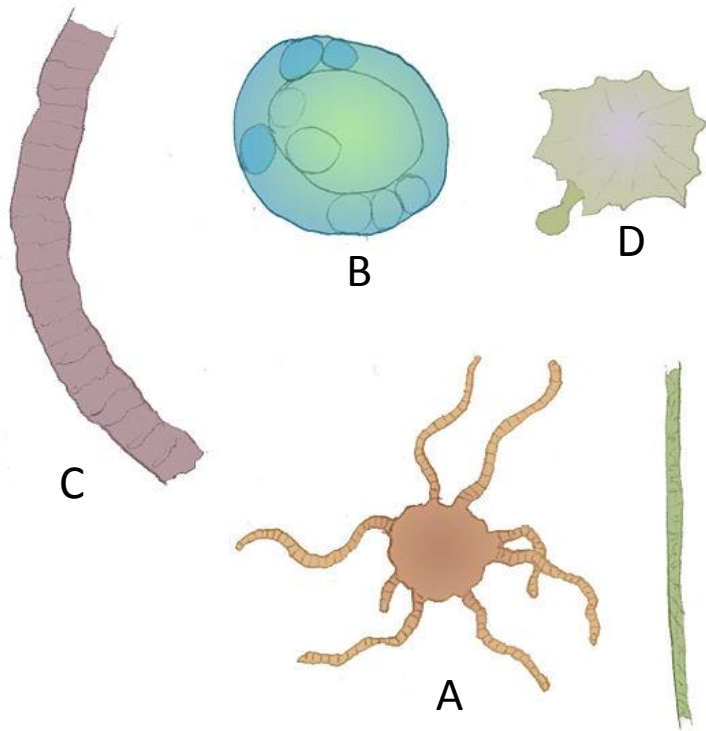
Τα απολιθώματα είναι καλά διατηρημένα, άφθονα και ποικιλόμορφα και περιλαμβάνουν:

- Ινώδη νημάτια
 - Σφαιρικά κύτταρα
 - Νημάτια με κύτταρα που χωρίζονται από διαφράγματα (*Gunflintia*)
 - Μορφές που μοιάζουν με τα σημερινά ζώντα φύκη (*Animikiea*)
 - Αστερόμορφες μορφές που μοιάζουν με τα σημερινά σίδηρο-και μαγνήσιο- αναγωγικά βακτήρια (*Eoastrion*)
- Μοιάζουν με φωτοσυνθετικούς οργανισμούς



Μικροαπολιθώματα (χαλαζίτης του Gunflint)

Εικόνα 2: Παραδείγματα σχεδίων μικροαπολιθωμάτων που προέρχονται από τον χαλαζίτη του Gunflint.



A = Eoastrion πιθανόν σίδηρο-και μαγνήσιο-αναγωγικά βακτήρια
B = Eosphaera, απροσδιόριστος οργανισμός 30 μικρόμετρα σε διάμετρο
C = Animikiea πιθανόν φύκος
D = Kakabekia, απροσδιόριστος οργανισμός



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

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



Ακρίταρχα 2

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 συστήματος
- 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.



Χαρακτηριστικές πανίδες μεταζώων του Προτεροζωικού Αιώνα

- **Η πανίδα Ediacara** – Τα πρώτα αποτυπώματα ζώων με μαλακά μέρη βρέθηκαν από τον 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 1

- Τα πρώτα με το χαρακτηριστικό Εντιακάριο τύπο σώματος και απλά ιχνοαπολιθώματα εμφανίζονται στο τέλος του Προτεροζωικού Αιώνα (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* και *Tribrachidium*



Η πανίδα Ediacara 2

- Τα πλάσματα της πανίδας δεν μοιάζουν με τίποτα που να ζει σήμερα, και έτσι προτάθηκε να τοποθετηθούν σε μια ξεχωριστή ταξινομική ομάδα ή σε ένα νέο φύλλο.
- Το προτεινόμενο όνομα είναι Βεντόζα (από το Βέντιο το ανώτερο Νεοπροτεροζωικό).



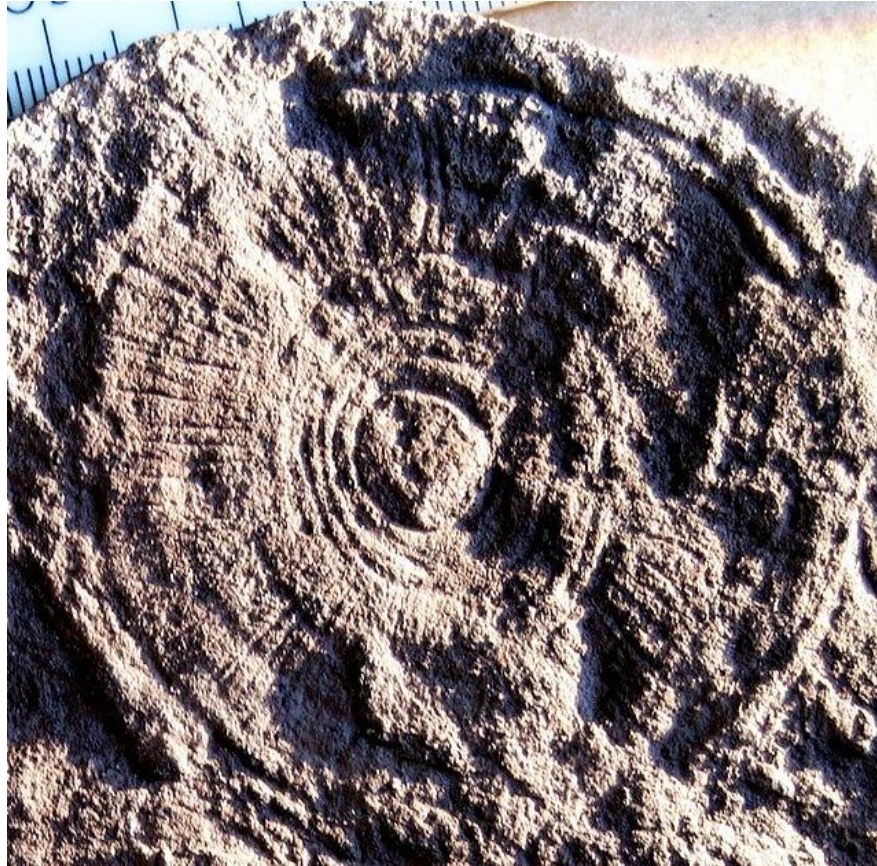
Dickinsonia costata



Εικ.3: Η Dickinsonia/Αυστραλία με την χαρακτηριστική εμφάνιση των απολιθωμάτων της πανίδας της Ediacara.



Cyclomedusa



Εικ.4:Cyclomedusa-πανίδα της Ediacara



Spriggina flounensi



Εικ.5 : *Spriggina flounensi*/σκώλικας/Αυστραλία-
πανίδα της *Ediacara*



Τύποι απολιθωμάτων της Ediacara

- Δισκοειδή
- Φυλλόμορφα
- Επιμηκυμένα ή ωειδή



Charnia & Parvancorina



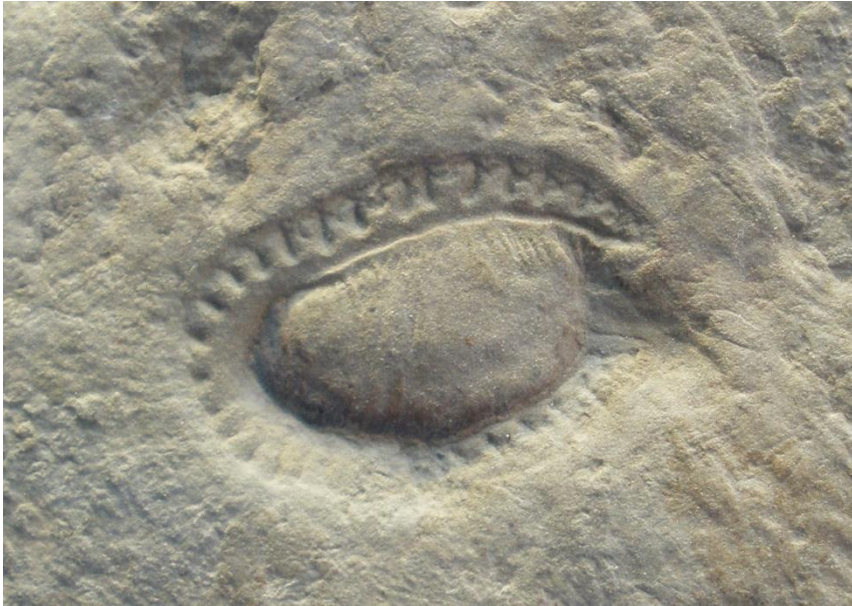
Εικ.6: Charnia-Φυλλόμορφο
απολίθωμα από την πανίδα
της Ediacara



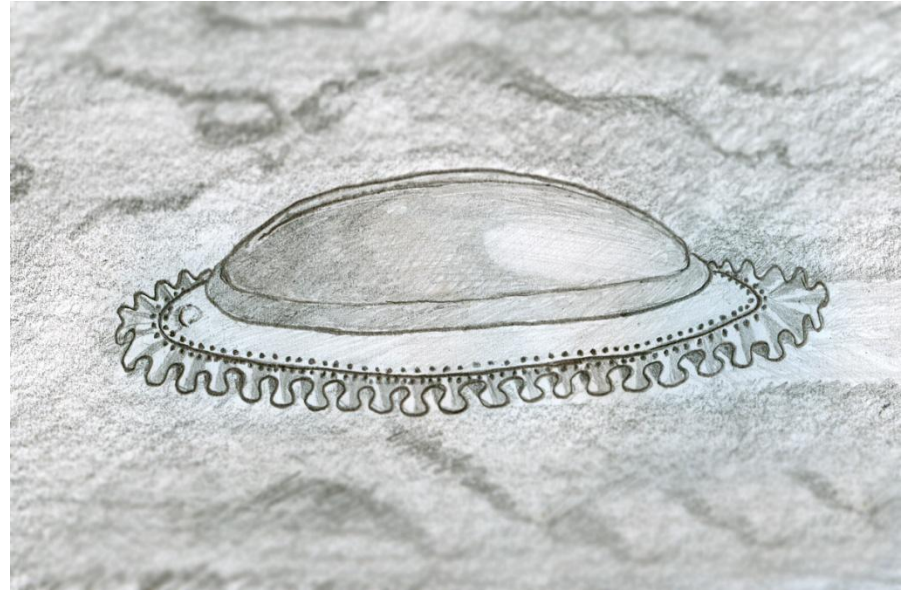
Εικ.7: Parvancorina-
Ορειδές αρθρόποδο από
την πανίδα της Ediacara



Kimberella



Εικ.8: *Kimberella quadrata*



Εικ.9: Kimberella,
οργανισμός σαν μαλάκιο με
αμφίπλευρη συμμετρία



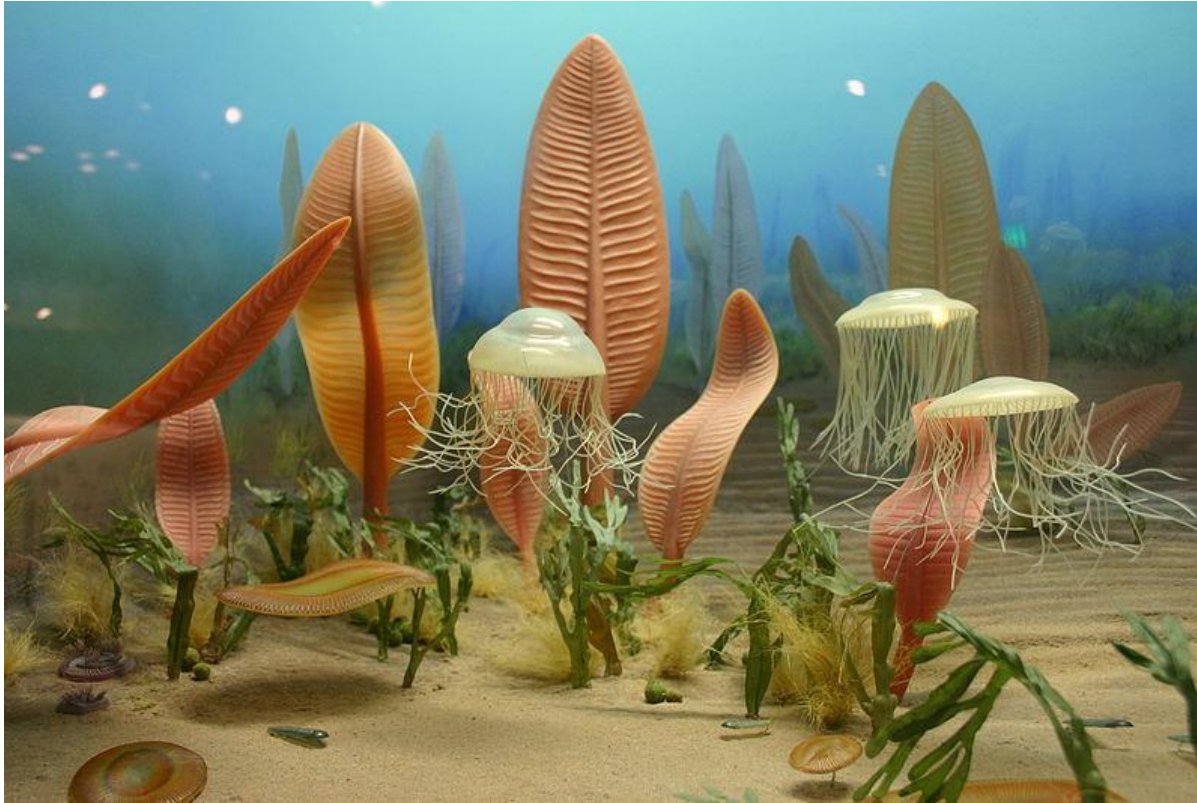
Cyclomedusa gigantea



Εικ.10: *Cyclomedusa gigantea*, δισκοειδές απολίθωμα



Η ζωή στην θάλασσα της Ediacara



Εικ.11: Αναπαράσταση των οργανισμών που ζούσαν στην θάλασσα-πανίδα της Ediacara



Πανίδα ζώων με μικροσκοπικά κελύφη

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

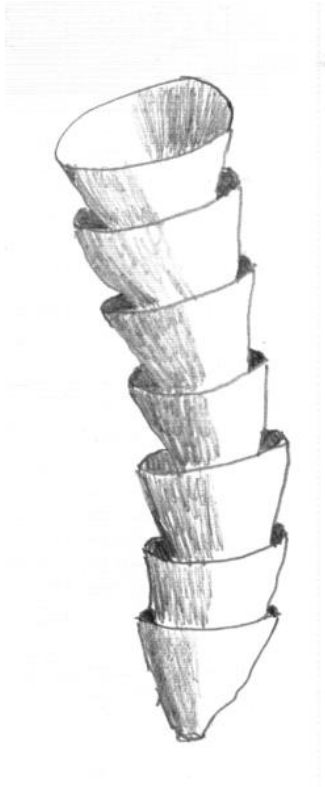


Cloudina

το πρώτο απολίθωμα με σκληρά μέρη

Εικόνα 12:

Cloudina (σχέδιο)



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.



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



Εικ.13:*Halkieria evangelista*,
Κ. Κάμβριο, Sirius Passet,
North Greenland.



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



Ιχνοαπολίθωμα: *Climactichnites wilsoni*



Εικ.14: Ιχνοαπολιθώματα από μεγάλο
μαλάκιο που αλληλεπικαλύπτονται.



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.



Η ζωή στον Παλαιοζωϊκό



Το Παλαιοζωικό αρχείο των απολιθωμάτων

Ο Παλαιοζωικός ήταν μια εποχή με
άφθονα απολιθώματα πολυκύτταρων
οργανισμών με κελύφη.

Ως συνέπεια, το αρχείο των
απολιθωμάτων βελτιώθηκε δραματικά
στην αρχή του Παλαιοζωικού.



Η ζωή στον Παλαιοζωϊκό Αιώνα

Η ζωή στον Παλαιοζωϊκό περιλαμβάνει κάποιες Προκάμβριες μορφές, που επιβίωσαν στον Παλαιοζωϊκό, όπως επίσης και πιο προηγμένες μορφές:

- Μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί
- Ζώα
 - Ασπόνδυλα
 - Σπονδυλόζωα
- Φυτά



Παλαιοζωικά ασπόνδυλα

- Αντιπρόσωποι των κυριότερων ασπόνδυλων φύλων ήταν παρόντα κατά τον Παλαιοζωικό αιώνα (Σπόγγοι, Κοράλλια, Βρυόζωα, Βραχιονόποδα, Μαλάκια, Αρθρόποδα, Εχινόδεσμα)
- **Σχεδόν όλα τα συνήθη ασπόνδυλα φύλα που ζουν σήμερα είχαν εμφανιστεί τουλάχιστον μέχρι το Ορδοβίσιο.**



Παλαιοζωικά σπονδυλόζωα 1

- Τα σπονδυλόζωα εξελίχτηκαν κατά την διάρκεια του Παλαιοζωικού:
 - Ψάρια
 - Αμφίβια
 - Ερπετά
 - Συνάψιδα (“θηλαστικόμορφα ερπετά”)
- Τα πρώτα σπονδυλόζωα ήταν άγναθα ψάρια, που βρέθηκαν σε πετρώματα του Καμβρίου συστήματος στην Κίνα.



Παλαιοζωικά σπονδυλόζωα 2

- Ένας προηγμένος κλάδος των ψαριών με πρωτόγονα πνευμόνια και ανθεκτικά πτερύγια οδήγησε στα τετράποδα.
- Η μετάβαση από τα υδρόβια στα χερσαία σπονδυλωτά βασίστηκε στην εξέλιξη του αμνιοτικού αυγού.



Παλαιοζωικά φυτά

- Τα πρώτα πρωτόγονα χερσαία φυτά εμφανίστηκαν κοντά στο τέλος του Ορδοβίσιου συστήματος.
- Τα αγγειόσπερμα φυτά εξαπλώθηκαν στην γη, σχηματίζοντας μεγάλα δάση στο Δεβόνιο.
- Τα φυτά προόδευσαν από άσπορα φυτά που έφεραν σπόρια (πτεριδόφυτα) σε φυτά με σπόρους αλλά χωρίς λουλούδια (γυμνόσπερμα).



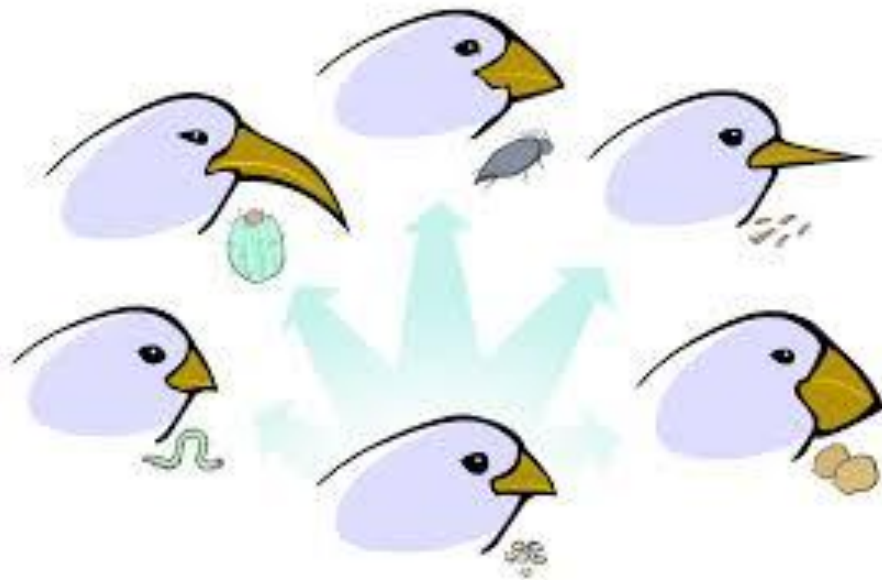
Προσαρμοστικές διασπάσεις και εξαφανίσεις

- Ο Παλαιοζωικός αιώνας ήταν μια εποχή πολλών προσαρμοστικών διασπάσεων και εξαφανίσεων.
- Πολλές γεωλογικές περίοδοι άρχισαν με προσαρμοστικές διασπάσεις.
- Πολλές περίοδοι τελείωσαν με γεγονότα εξαφανίσεων ποικίλης έντασης.



Προσαρμοστική διάσπαση

Εικόνα 15: προσαρμοστική διάσπαση σε σπίνους από τα νησιά Γκαλαπάγκος (προσέξτε το σχήμα και το μέγεθος του ράμφους)



Η εξέλιξη ενός προγονικού είδους, που ήταν προσαρμοσμένο σε ένα συγκεκριμένο τρόπο ζωής, σε πολλά ποικιλόμορφα είδη από τα οποία το καθένα είναι προσαρμοστικά εξειδικευμένο σε ένα συγκεκριμένο οικολογικό θώκο με συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες



Ζώα με μαλακά μέρη

- Ζώα με μαλακά μέρη του τύπου της Εντιακάρας συνέχισαν την εξάπλωση τους και μέσα στο Κάμβριο.
- Απολιθώματα με μαλακά μέρη διατηρούνται σπάνια.
- **Η διατήρηση βελτιώθηκε αισθητά με τον ερχομό των ζώων με σκληρά μέρη.**



Η «έκρηξη της ζωής» του Καμβρίου 1

- Η αρχική διαφοροποίηση των μορφών ζωής του Παλαιοζωικού αιώνα. Απότομη και γρήγορη εμφάνιση πολλών μορφών ζωής περίπου πριν 535 εκ. έτη, την οποία ακολούθησε γρήγορη εξέλιξη.
- Σε αυτό το επεισόδιο «εκρηκτικής» εξέλιξης, μέσα σε 10 εκ. έτη, πρωτοεμφανίστηκαν **όλα τα κύρια φύλα των ασπόνδυλων** ως απολιθώματα (εκτός των Βρυοζώων), συμπεριλαμβανομένου του **πρώτου χορδωτού (*Cathaymyrus diadexus*)** και του **πρώτου άγναθου ψαριού (*Myllokunmingia*)**, και ομάδες που έζησαν μόνο στον Παλαιοζωικό, γραπτόλιθοι, τριλοβίτες, βλαστοειδή, κυστοειδή, κτλ.
- Μερικοί ονομάζουν αυτό το γεγονός ως το «**μπιγκ μπανγκ**» της εξέλιξης.



Η «έκρηξη της ζωής» του Καμβρίου 2

- Το ένα τρίτο από τα φύλα του Καμβρίου δεν υπάρχουν σήμερα. Παρά το γεγονός ότι αντιπροσωπεύονταν από λιγότερα είδη από ότι τα σημερινά φύλα, ο αριθμός τους ήταν μεγαλύτερος.
- Η ποικιλότητα των μορφών σώματος ήταν αξιοσημείωτη με αφθονία νέων σχεδίων.
- Μια τέτοια πρωτοπορία ήταν τα ορυκτοποιημένα σκληρά μέρη.
- Εν τούτοις από την στιγμή που σχηματίστηκαν αυτά τα φύλα παρέμειναν ως έχουν. Όσα επιβίωσαν κατά την Κάμβρια περίοδο παρέμειναν μέχρι σήμερα.



Η Κάμβρια επανάσταση του υποστρώματος

- Οι ενδοβιόντες διατρητικοί οργανισμοί εξελίχθηκαν πολύ γρήγορα μέσα στο Κάμβριο σύστημα, όπως δείχνουν τα ιχνοαπολιθώματα και η βιοαναμόχλευση των ιζημάτων.
- Η δραματική αυτή αλλαγή του χαρακτήρα των ιζημάτων (από αδιατάρακτα σε υπερβολικά ανασκαμμένα) ονομάστηκε «**Κάμβρια επανάσταση του υποστρώματος**».



Αιτίες της έκρηξης

- Φυσικο-χημικές
- Βιολογικές



Το σκηνικό

- Σπάσιμο της υπερηπείρου Ροδινίας
- Λιώσιμο πάγων, επίκληση, επιηπειρωτικές θάλασσες
- Νέοι οικολογικοί θώκοι ρηχών νερών



Στην αρχή του Καμβρίου... (1)

Λόγω των προηγούμενων:

- Εκτεταμένη ανάδευση των θαλασσίων νερών, μεταφορά πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά νερών στην επιφάνεια και στα ρηχά νερά της ευφωτικής ζώνης.
- Σημαντικές ποσότητες P έρχονται στην ευφωτική ζώνη.
- P απαραίτητος για την ζωή και θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά την εξέλιξη των οργανισμών.
- Αποδείξεις: εκτεταμένες αποθέσεις φωσφοριτών, σημαντική αύξηση του $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ των ισοτόπων του Θείου που συνήθως υπάρχουν σε στάσιμα βαθειά ανοξικά νερά.



Στην αρχή του Καμβρίου... (2)

- Η παραγωγή των Ακρίταρχων αυξάνει.
- Η ασβεστοποίηση των κυανοβακτηρίων αυξάνει.
- Απομάκρυνση Άνθρακα από τις ηπείρους και τα ρηχά νερά που αποτίθενται ως ανθρακικά πετρώματα στους πυθμένες.
- Τα επίπεδα του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα αυξάνονται, προσφέροντας την δυνατότητα για πιο πολύ ενέργεια σε προηγμένους πολυκύτταρους οργανισμούς.



Βέλτιστες συνθήκες

Άρα, στην αρχή του Καμβρίου τα ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα ήταν εμπλουτισμένα τόσο σε θρεπτικά συστατικά όσο και σε οξυγόνο, δύο απαραίτητα συστατικά που μπορούσαν να ωθήσουν και να διευκολύνουν την εξέλιξη και διαφοροποίηση των πολυκύτταρων ευκαρυωτικών οργανισμών.



Βιολογικοί παράγοντες

- Τα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν πολύ περισσότερο γενετικό υλικό από τα προκαρυωτικά κύτταρα, εκ του οποίου μόνο ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται για την παραγωγή πρωτεϊνών και για λειτουργίες.
- Υποχρησιμοποιούμενες γενετικές πληροφορίες δυνητικά αποτελούν μία ισχυρή δύναμη για αλλαγή.
- Έτσι, τα ευκαρυωτικά κύτταρα επωφελήθηκαν από τις βέλτιστες συνθήκες (οξυγόνο, θρεπτικά συστατικά)

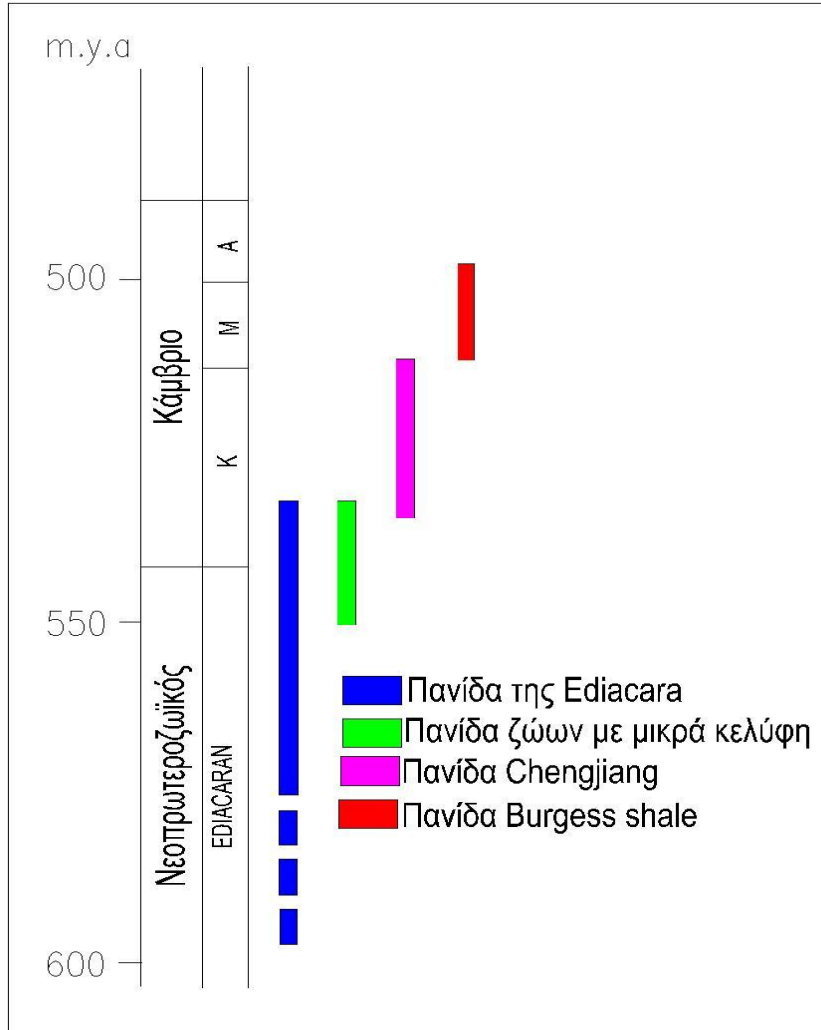


Απουσία θηρευτών

- Ένας ακόμη παράγοντας ήταν και ο αρχικά μικρός αριθμός θηρευτών, καθώς και η απουσία ανταγωνιστών στους καινούργιους οικολογικούς θώκους.
- Όταν, όμως ο ανταγωνισμός έγινε έντονος (πχ. λόγω υπερπληθυσμού) άρχισε και η έντονη θήρευση.
- Τότε προφανώς θα ξεκίνησε και η Κάμβρια επανάσταση του υποστρώματος, όταν οι «κυνηγημένοι» θα άρχιζαν να ψάχνουν μέρη και τρόπους για να κρυφτούν, και έτσι να δημιουργούν νέες μορφές.



Πανίδες του Καμβρίου



Στο Κάμβριο υπάρχουν οι εξής σημαντικές θέσεις με πανίδες.

- Πανίδες Εντιακάρας
- Πανίδες με ζώα με μικρά κελύφη
- Η πανίδα Chengjiang
- Η πανίδα Burgess shale

Εικόνα 16: Χρονική εξάπλωση πανίδων του Καμβρίου.

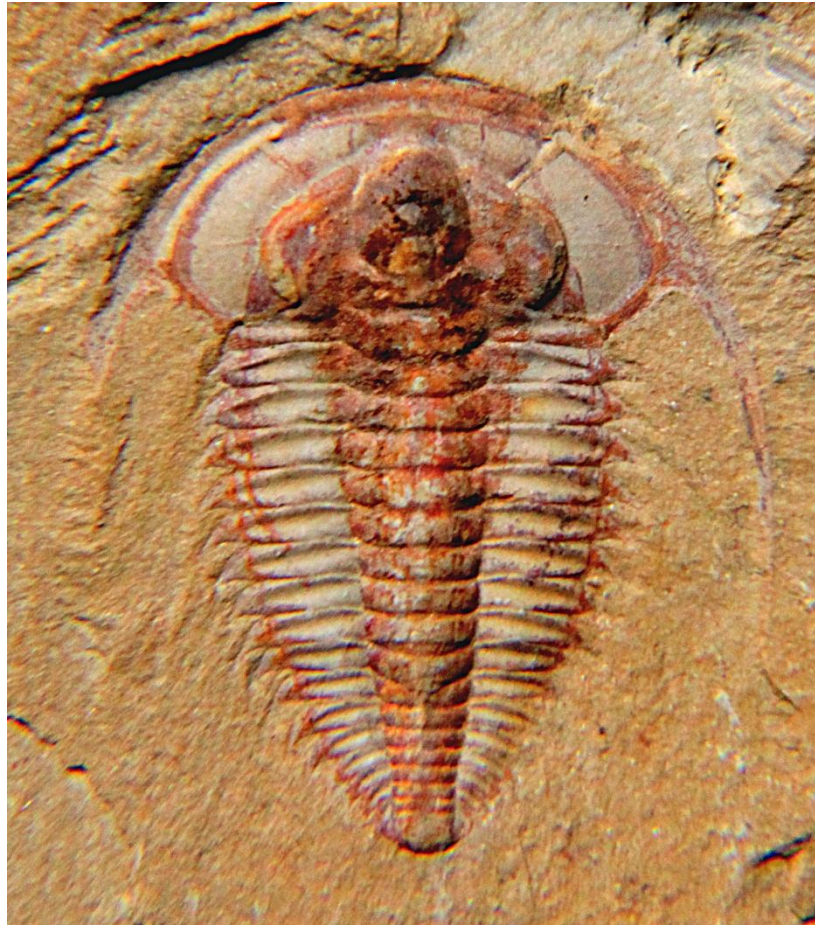


Η πανίδα Chengjiang

- Μέχρι το 1984 η πανίδα Burgess shale θεωρούταν η παλαιότερη και πιο σημαντική θέση της έκρηξης του Καμβρίου
- Το 1984, ανακαλύφθηκε η θέση Chengjiang στην επαρχία Yunnan της Κίνας με ηλικία Κατώτερο Κάμβριο (535 εκ. έτη).
- Περισσότερα από 100 είδη ασπόνδυλων έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα με εξαιρετική διατήρηση, συμπεριλαμβανομένων και αρκετών μορφών με μαλακά σώματα.
- Τα πρώτα χορδωτά και τα πρώτα ψάρια



Eoredlichia intermedia



Εικ.17: Τριλοβίτης του Κ. Καμβρίου
που συλλέχθηκε στην θέση Chengjiang.
15mm



Isoxys



Εικ.18:Αρθρόποδο του Κ. Καμβρίου που συλλέχθηκε στην Κίνα. 24mm



Το παλαιότερο χορδωτό & το παλαιότερο ψάρι

- Το παλαιότερο χορδωτό:

Cathaymyrus diadexus (535 εκ. έτη)

Άλλα πρωτόγονα χορδωτά (Γιουνανόζωα)

Yunnanozoon and Haikouella

- Τα παλαιότερα ψάρια:

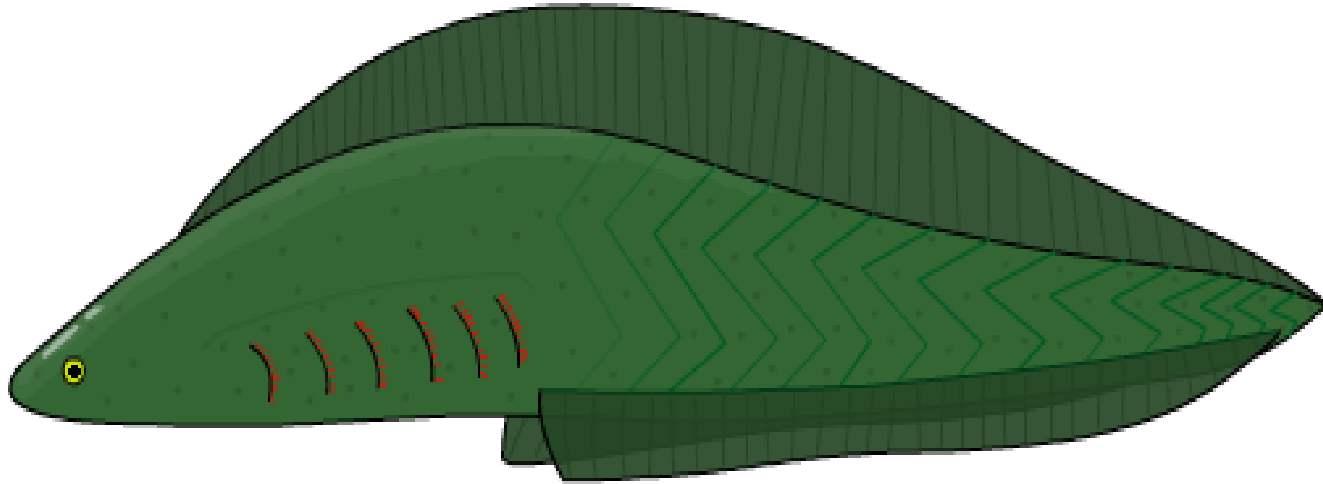
Myllokunmingia fengjiaoa (535 εκ. έτη)

Haikouichthys ercaicunensis

Zhongjianichthys rostratus



Myllokunmingia



Εικ.19:Απεικόνιση του παλαιότερου ψαριού.



Εξαιρετική διατήρηση

- Οι θέσεις που περιέχουν απολιθώματα σε αφθονία με ασυνήθιστη διατήρηση ονομάζονται **lagerstätten (Εξαιρετική διατήρηση)**.
- Τόσο η πανίδα Chengjiang όσο και η πανίδα Burgess Shale θεωρούνται lagerstätten.



Η πανίδα Burgess shale

- Η εξαιρετικά διατηρημένη πανίδα με ηλικία Μέσο Κάμβριο από τον Καναδά μας δίνει ένα παράθυρο στην εκπληκτική ποικιλομορφία του Μέσου Καμβρίου.
- Η σημασία της είναι ότι καταγράφει οργανισμούς με μαλακά μέρη, και τα μαλακά μέρη οργανισμών με κελύφη, όπως πόδια και βράγχια τριλοβιτών.
- Πολύ καλά μελετημένη



Ζώα στην Burgess shale

1. Αρκετές ομάδες αρθροπόδων, συμπεριλαμβανομένων των τριλοβιτών.
2. Σπόγγους
3. Ονυχοφόρα
4. Κρινοειδή
5. Μαλάκια
6. Κοράλλια
7. Τρία φύλα σκωλήκων
8. Χορδωτά (*Pikaia*)
9. Αρκετά άλλα απροσδιόριστα



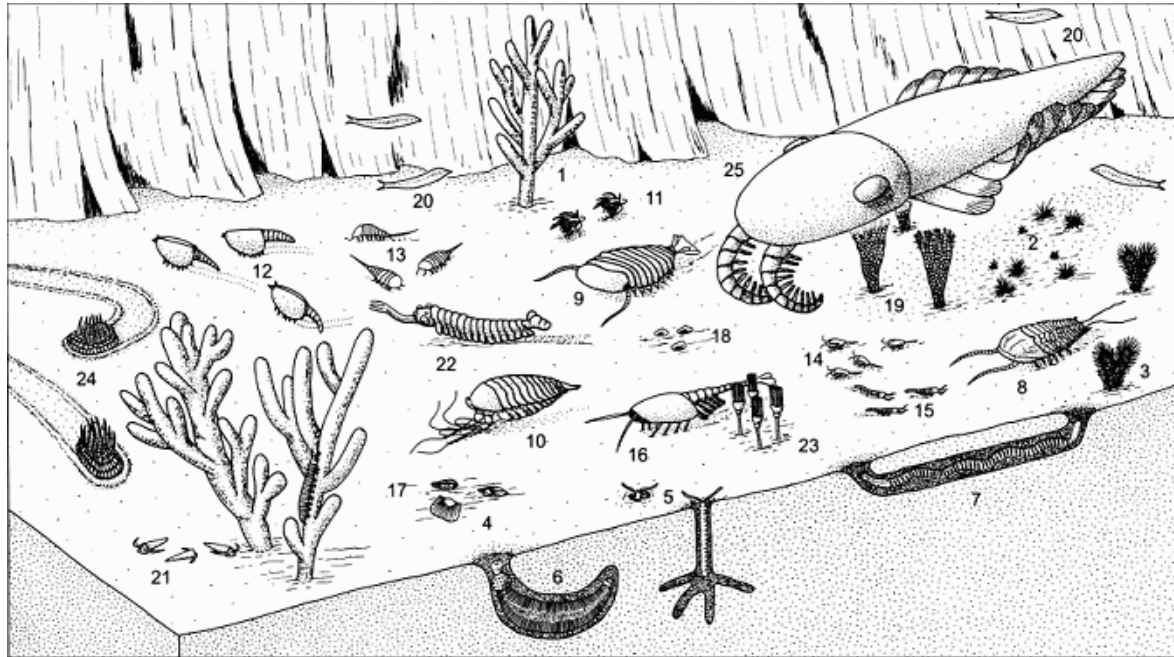
Burgess shale, Καναδάς



Εικόνα 20: Η θέση της πανίδας Burgess Shale στην Βρετανική Κολούμπια του Καναδά.



Βιοκοινότητα Burgess shale

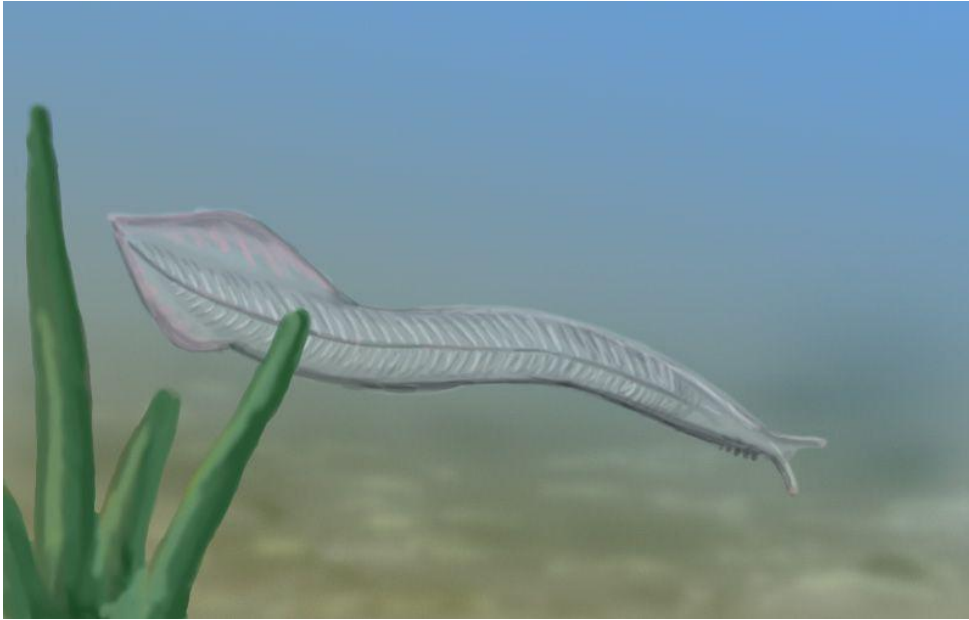


Εικ.21:Sponges *Vanuxia* (1), *Choia* (2), *Pirania* (3); brachiopods *Nisusia* (4); polychaetes *Burgessochaeta* (5); priapulid worms *Ottia* (6), *Louisella* (7); trilobites *Olenoides* (8); other arthropods *Sidneyia* (9), *Leanchoilia* (10), *Marella* (11), *Canadaspis* (12), *Molaria* (13), *Burgessia* (14), *Yohoia* (15), *Waptia* (16), *Aysheaia* (17); molluscs *Scenella* (18); echinoderms *Echmatocrinus* (19); chordates *Pikaia* (20); along with *Haplophrentis* (21), *Opabina* (22), lophophorate *Dinomischus* (23), proto-annelid *Wiwaxia* (24), and anomalocarid *Laggania cambria* (25).



Pikaia

Ένα από τα παλαιότερα χορδωτά



Εικόνα 22: Αναπαράσταση της *Pikaia*

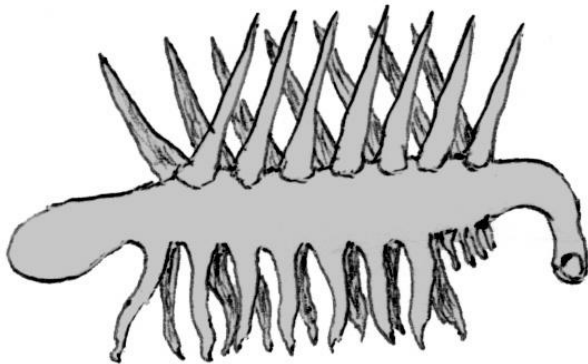
- *Pikaia* ένα ιχθυόμορφο χορδωτό
- Οι σύγχρονοι αντιπρόσωποι ανήκουν στην ομάδα του γένους *Amphioxus*.
- Πιστεύεται ότι τα σπονδυλόζωα εξελίχθηκαν από οργανισμούς σαν την *Pikaia*.



Hallucigenia



- **Hallucigenia**, ένα ονυχοφόρο, αρχικά είχε ερμηνευτεί ότι περπατούσε με τις άκανθές του, μέχρι που ανακαλύφθηκαν νύχια στα «πλοκάμια» του.



Εικόνα 23: Απολίθωμα Hallucigenia (Burgess shale)

Εικόνα 24: Αναπαράσταση Hallucigenia



Selkirkia columbia



Εικ.25: *Selkirkia columbia* σκώληκας με προεξέχουσα
άκανθα (Burgess shale, 4cm ύψος)



Canadaspis perfecta



Εικ.26: Αρθρόποδο με μήκος 5.5cm



Sanctacaris uncata & *Waptia fieldensis*



Εικ.27: *Sanctacaris uncata*,
Αρθρόποδο του Μ. Καμβρίου,
Βρετανική Κολομβία, 7.5 cm μήκος



Εικ.28: *Waptia fieldensis*, Αρθρόποδο,
Burgess shale, 4,5 cm μήκος



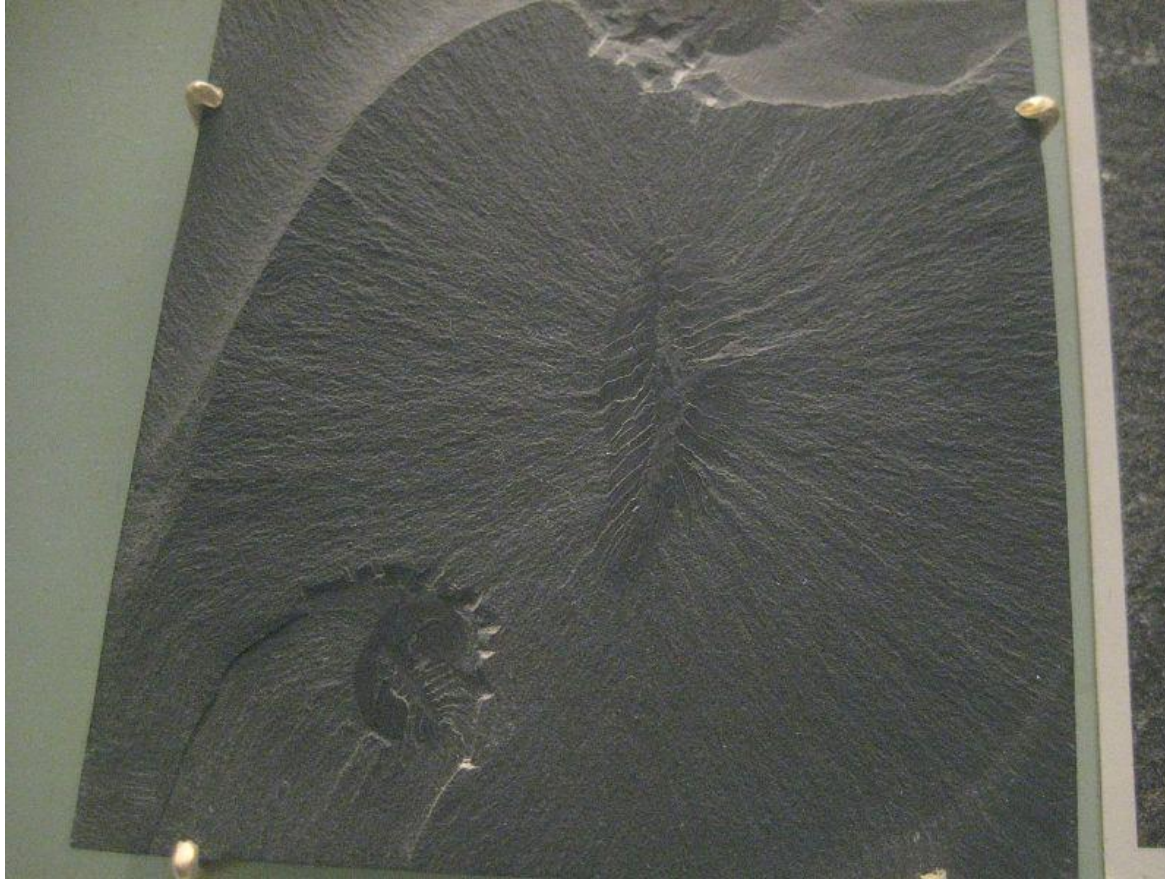
Olenoides



Εικ.29:*Olenoides serratus*, Burgess shale, Τριλοβίτης με διατηρημένα μαλακά μέρη (κεραίες και πόδια)



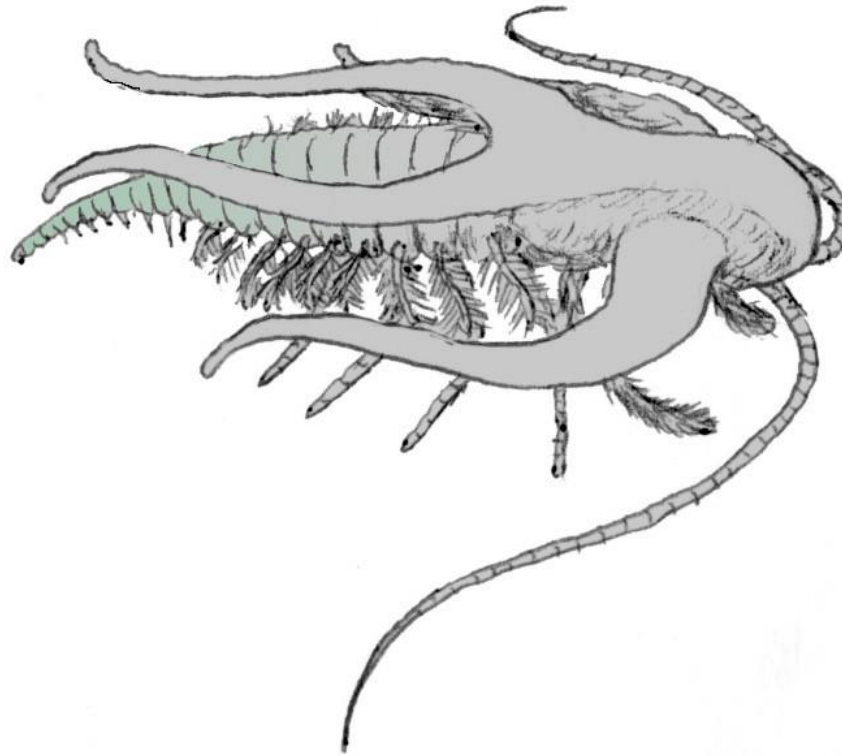
Canadia



Εικ.30: Πολύχαιτος σκώλικας, Burgess shale



Marella



Εικ.31: Ένα πολύ κοινό αρθρόποδο στο Burgess shale



Φύλο Αρχαιοκύαθα



- «Αρχαίες κούπες»
- Κωνικοί ή σχήματος βάζου σκελετοί φτιαγμένοι από ανθρακικό ασβέστιο. Διπλό τοίχωμα με χωρίσματα και πόρους.
- *Ηλικία:* Κάμβριο.
- Προσκολλημένοι σε σταθερό υπόστρωμα. «κατασκευαστές» υφάλων.

Εικόνα 32: Διάφορα είδη αρχαιοκύαθων του Καμβρίου

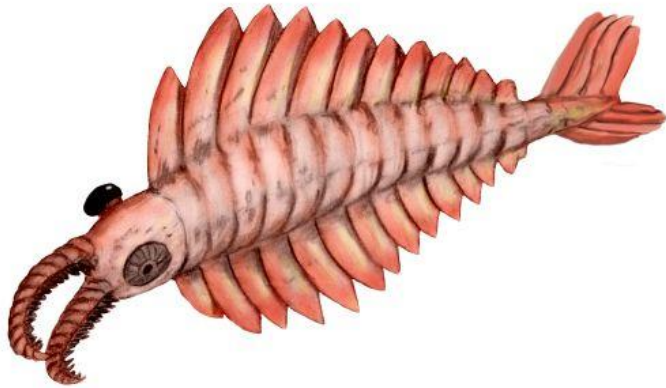


Οι θηρευτές των Καμβρίων θαλασσών

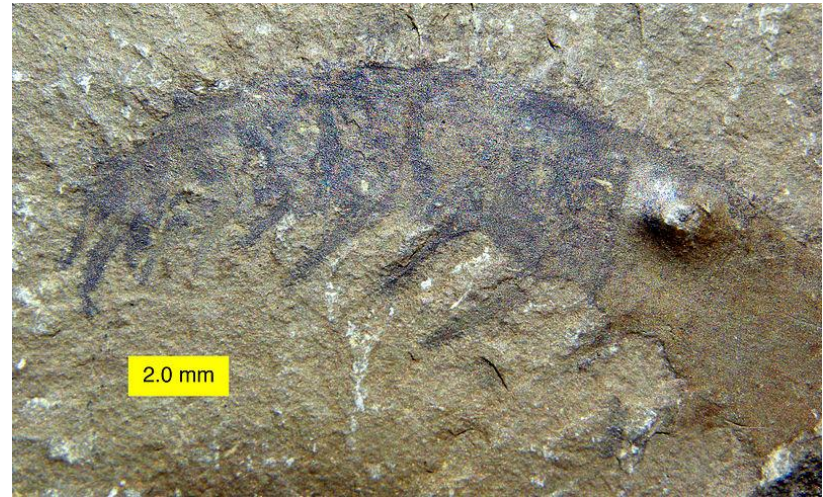
- Για πρώτη φορά οι θάλασσες κυριαρχούνται από θηρευτές
- Ο πιο εξέχων θηρευτής των θαλασσών του Καμβρίου, η γιγάντια *Anomalocaris*, με μήκος 60 cm.
- Θα είχαν προκαλέσει επιλεκτικές πιέσεις στα θηράματα τους. Η ανάγκη να προστατευτούν θα τους οδήγησε στην εξέλιξη σκληρών κελυφών και ανάπτυξη ενδοβιοτικών τρόπων ζωής.
- Η θήρευση επίσης θα προκάλεσε μία αύξηση στην ποικιλομορφία των θηραμάτων, καθώς θα εξελίχθηκαν για να μπορούν να αντιμετωπίζουν καλύτερα τους θηρευτές.



Anomalocaris



Εικ.33: Αναπαράσταση
Anomalocaris



Εικ.34: Anomalocaris απολίθωμα,
2.0 mm



Orabinia



Εικ.35: Αναπαράσταση Orabinia στον βυθό.



Η έκρηξη ζωής του Καμβρίου 3

- Σίγουρα οι ρίζες της οδηγούν στις πανίδες της Εντιακάρας.
- Μερικά ζώα σαν το *Thaumatoptilon* από την Burgess shale αντιπροσωπεύουν επιζώντες της Εντιακάρας.
- Εντούτοις οι διαφορές είναι πιο χτυπητές από τις ομοιότητες.
- Η μεγάλη επιτυχία της έκρηξης του Καμβρίου έγινε με κόστος την απομάκρυνση ή την εξαφάνιση της πανίδας της Εντιακάρας.



Η έκρηξη ζωής του Καμβρίου 4

- Η ποικιλομορφία των μορφών, των σχεδίων σώματος στο Κάμβριο είναι μοναδική στο αρχείο των απολιθωμάτων όπως και στην ιστορία της γης.
- Ίσως ο τρόπος διατροφής να έπαιξε σημαντικό ρόλο σε αυτή την διαφοροποίηση.
- Εκτός από τα πλούσια, και εξαιρετικά διατηρημένα απολιθώματα από Κάμβριες θέσεις, χιλιάδες άλλα είδη, θα παραμείνουν για πάντα άγνωστα, άρα το αρχείο του Καμβρίου θα παραμείνει σημαντικά ελλιπές.
- Πολλά από τα απολιθώματα είναι αινιγματικά και μάλλον θα παραμείνουν αινιγματικά.



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Ηλιόπουλος Γεώργιος, 2015.. «Εξέλιξη του Έμβριου κόσμου-Παλαιοντολογία, Ενότητα 5: Εξαφανίσεις-Πρώτα Μετάζωα & Η ζωή στον Παλαιοζωϊκό». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/GEO326/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα1:

https://en.wikipedia.org/?title=Extinction_event#/media/File:Phanerozoic_biodiversity_blank_01.png

Εικόνα 2: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gunflint_fossils.jpg

Εικόνα 3:

http://simple.wikipedia.org/wiki/Ediacaran_biota#/media/File:DickinsoniaCostata.jpg

Εικόνα 4:

http://simple.wikipedia.org/wiki/Ediacaran_biota#/media/File:Cyclomedusa_cropped.jpg



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα 5:

http://simple.wikipedia.org/wiki/Ediacaran_biota#/media/File:Spriggina_flounensi_C.jpg

Εικόνα 6: <https://en.wikipedia.org/wiki/Charnia#/media/File:Charnia.png>

Εικόνα 7: <https://www.flickr.com/photos/awildsheepchase/4743142210/>

Εικόνα 8: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kimberella_quadrata_4.jpg

Εικόνα 9: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Kimberella>

Εικόνα 10: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyclomedusa_gigantea.JPG

Εικόνα 11: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Life_in_the_Ediacaran_sea.jpg

Εικόνα 12: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cloudinadraw.png>

Εικόνα 13: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halkieria.png>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα 14:

https://en.wikipedia.org/wiki/Blackberry_Hill#/media/File:Climactichnites_wilsoni,_Blackberry_Hill,_Wisconsin,_Cambrian_-_Todd_Gass.jpg

Εικόνα 15: <https://www.flickr.com/photos/33202519@N00/6239857333/>

Εικόνα 17:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eoredlichia_intermedia_Chengjiang.jpg

Εικόνα 18: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isoxys_Chengjiang_CRF.jpg

Εικόνα 19:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Myllokunmingia.png>

Εικόνα 20:

https://en.wikipedia.org/wiki/Waptia#/media/File:Burgess_shale_location.png

Εικόνα 21: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Burgess_community.gif



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα 22: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pikaia_BW.jpg

Εικόνα 23: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hallucigenia_smithsonian.JPG

Εικόνα 24: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hallucigenia.jpg>

Εικόνα 25: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Selkirkia_columbia.JPG

Εικόνα 26:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CanadaspisPerfecta_NaturhistorischesMuseum_Nov14-10.jpg

Εικόνα 27: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SanctacarisUncata-ROM-June11-10.jpg>

Εικόνα 28: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waptia_fieldensis_fossil_2.jpg



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/5)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα 29:

[//simple.wikipedia.org/wiki/Cambrian_explosion#/media/File:Olenoides_serratus_oblique_with_antennas.jpg](https://simple.wikipedia.org/wiki/Cambrian_explosion#/media/File:Olenoides_serratus_oblique_with_antennas.jpg)

Εικόνα 30: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canadia_spinosa.jpg

Εικόνα 31: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marrella.jpg>

Εικόνα 32: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archaeocyatha.jpg>

Εικόνα 33: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anomalocaris_BW.jpg

Εικόνα 34:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anomalocaris_Mt._Stephen.jpg

Εικόνα 35: <https://en.wikipedia.org/?title=Opabinia>

Οι εικόνες για τις οποίες δεν υπάρχει αναφορά είναι ιδιοκτησία του συγγραφέα.

