

Μέθοδοι μελέτης παλαιοκλίματος-παλαιοπεριβάλλοντος

Τρηματοφόρα

ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

(FORAMINIFERA)

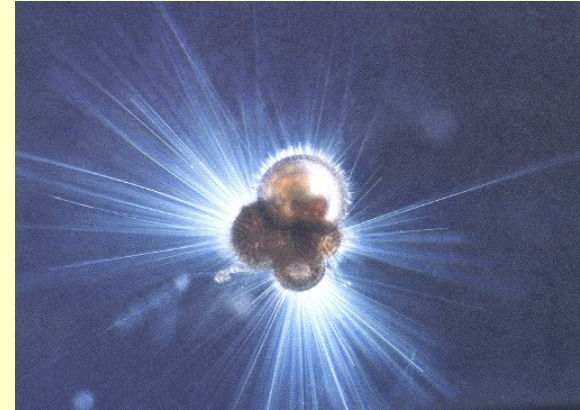
- Μονοκύτταροι θαλάσσιοι οργανισμοί
- έχουν κυρίως ασβεστολιθικό κέλυφος
- εμφανίστηκαν από το Κάμβριο (~570 εκατομμύρια χρόνια).

ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

(FORAMINIFERA)

ΠΛΑΓΚΤΟΝΙΚΑ

- Τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα ζουν στα ανώτερα 100m της υδάτινης στήλης, στην ευφωτική ζώνη



ΒΕΝΘΟΝΙΚΑ

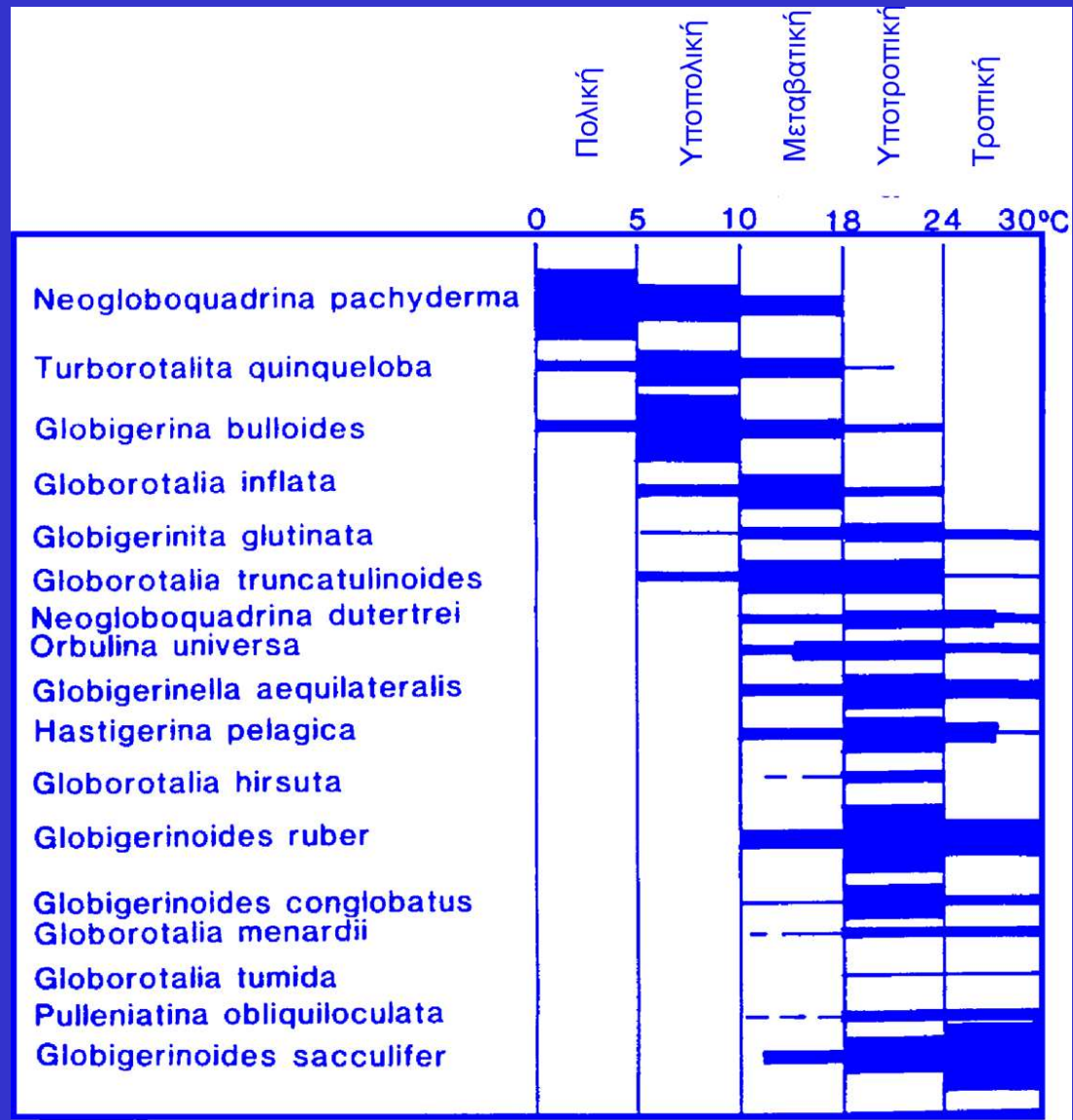
- Ζουν στην επιφάνεια του πυθμένα



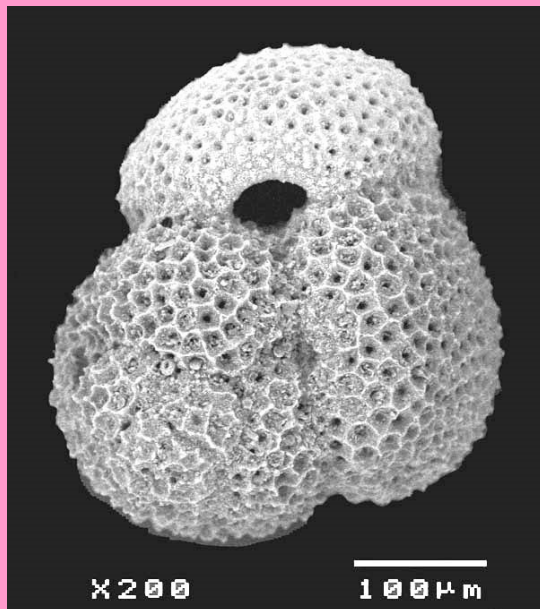
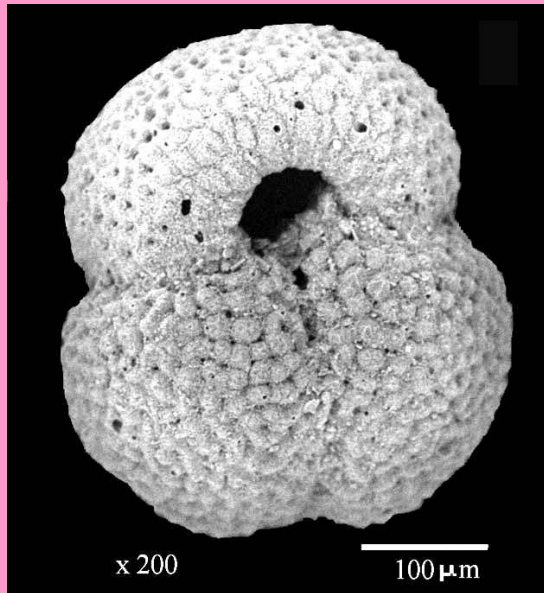
...γιατί τα τρηματοφόρα?

- είναι πολυπληθή και επιδέχονται στατιστική ανάλυση,
- είναι άριστοι βιοστρωματογραφικοί δείκτες λόγω της ποικιλίας, αφθονίας και της απότομης ανάπτυξής τους και
- εντοπίζονται στα ιζήματα όλων των γεωλογικών εποχών, σχεδόν σε όλα τα θαλάσσια περιβάλλοντα

Πλαγκτονικά τρηματοφόρα

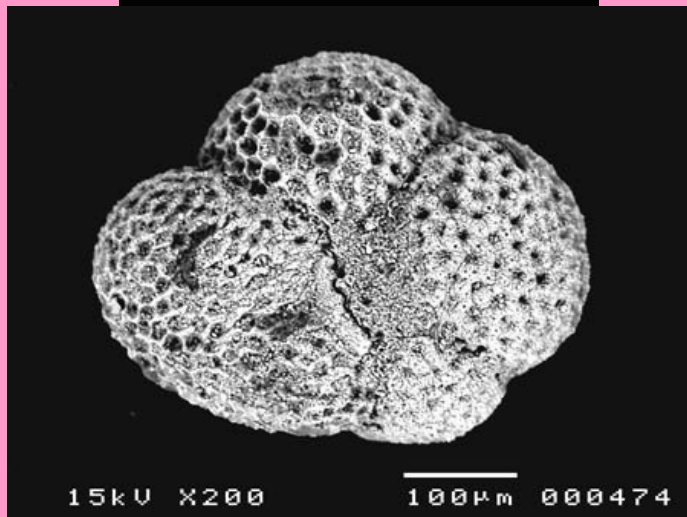
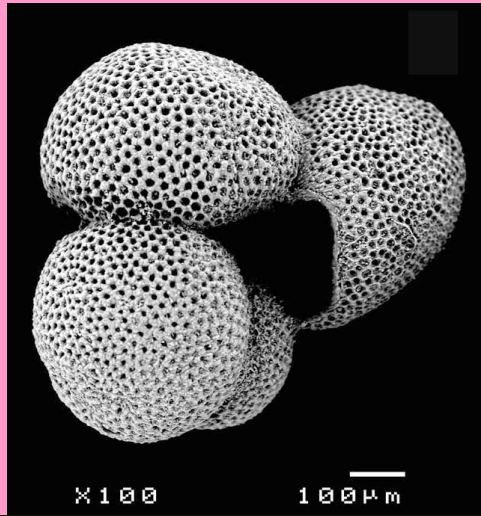


Globigerinoides ruber



- Το είδος αυτό διαβιεί σε θερμά περιβάλλοντα της τροπικής-υποτροπικής ζώνης και ρηχά oligotροφικά νερά.
- Μπορεί να ζήσει κοντά σε ακτές και σε αλατότητες 30.5-31.0‰
- Απαντάται σε δύο χρωματισμούς – λευκό και ρόζ. Τα ρόζ επιδεικνύουν μεγαλύτερη παραγωγή με την αύξηση της θερμοκρασίας και αναπτύσσονται περισσότερο το καλοκαίρι, ενώ τα λευκά κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου.
- Στη Δ. Μεσόγειο εντοπίζεται σε θερμοκρασίες 19°C
- Στην Αν. Μεσόγειο εντοπίζεται με ποσοστό συμμετοχής περίπου 40% εκτός από τις περιοχές σχηματισμού πυθμαίων νερών, όπου μειώνεται περίπου στο 10%. Κυρίως σχετίζεται με θερμοκρασίες 21.5-26.5°C.

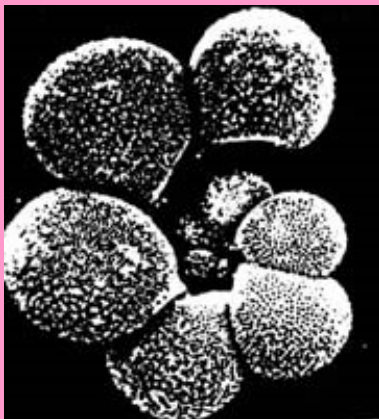
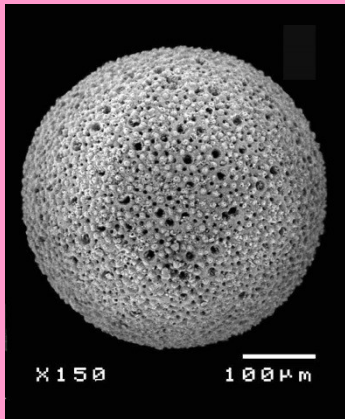
Globigerinoides sacculifer



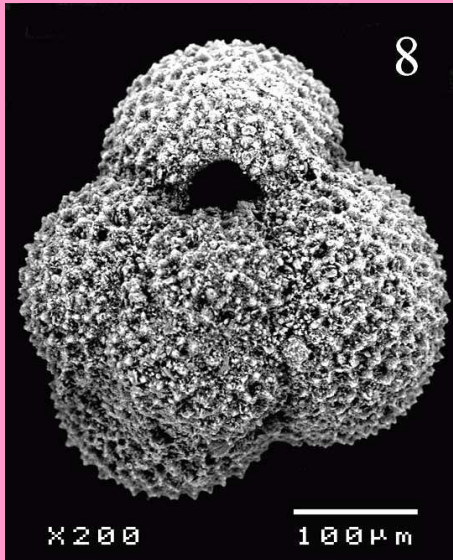
- Το είδος αυτό διαβιεί σε θερμά περιβάλλοντα της τροπικής-υποτροπικής ζώνης.
- Κυριαρχεί σε θερμά νερά με αλατότητα περίπου 34,5-36‰ ενώ σε χαμηλότερες ή υψηλότερες αλατότητες αντικαθιστάται από το *Gs. ruber*.
- Αναπτύσσονται και παράγονται την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού.
- Διαβιούν σε βάθη από 25-50m.
- Σε περιόδους χαμηλής επιφανειακής αλατότητας, μεταναστεύει σε βαθύτερα νερά ενώ, συνδέεται και με την ανάπτυξη DCM στρώματος.
- Στην Αν. Μεσόγειο εντοπίζεται με ποσοστό 1-5% ενώ σε περιοχές σχηματισμού βαθιών νερών, είναι πιο σπάνιο (< 1%)

Orbulina universa

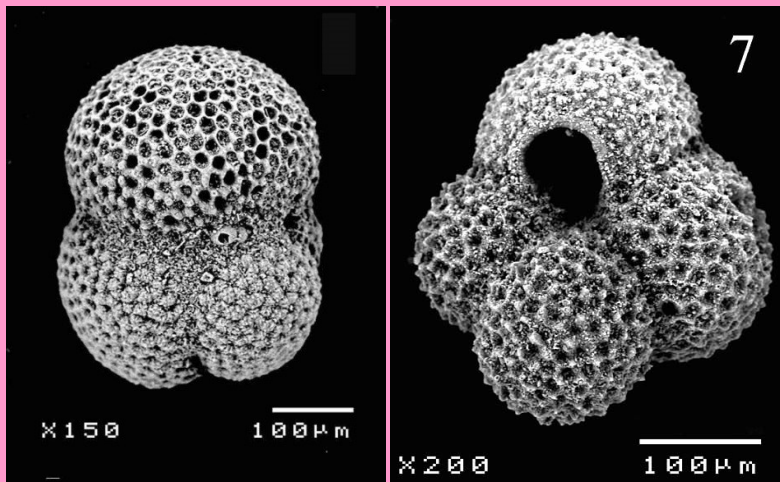
Globigerinella aequilateralis



- Τα είδη αυτά θεωρούνται και κοσμοπολίτικα αλλά και δείκτες θερμών κλιμάτων
- Εμφανίζονται καθόλη τη διάρκεια του χρόνου αλλά τα *Or. Universa* παρουσιάζουν υψηλότερη παραγωγή από άνοιξη-φθινόπωρο, ενώ τα *G. aequilateralis* την άνοιξη.
- Εντοπίζονται σε βάθη 25-50m, όμως φαίνεται να μεταναστεύουν σε μεγαλύτερα βάθη (75m) σε περιόδους χαμηλής αλατότητας.
- Στην Αν. Μεσόγειο, η *Or. universa* παρουσιάζεται με ποσοστό συμμετοχής που κυμαίνεται 1-10%, ενώ η συμμετοχή των *G. aequilateralis* είναι ακόμη πιο περιορισμένη και δεν ξεπερνά το 5%.

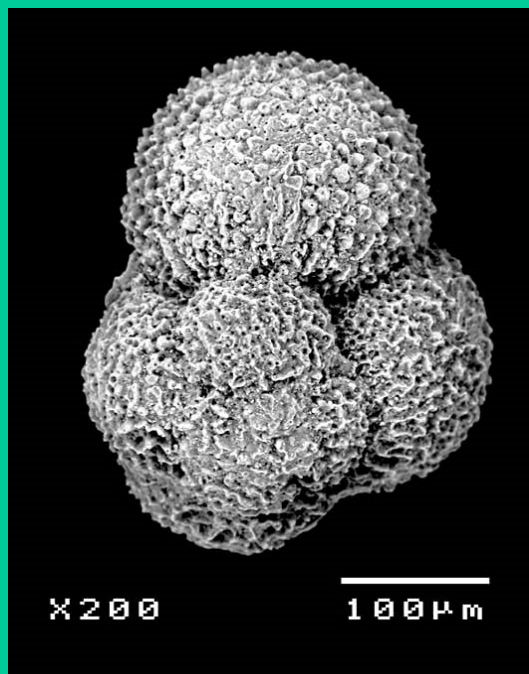
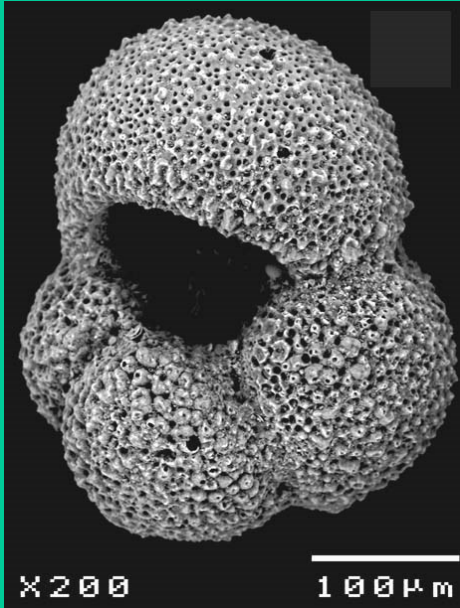


Globigerinoides trilobus
Globigerinoides obliquus
Globigerinoides tenelus



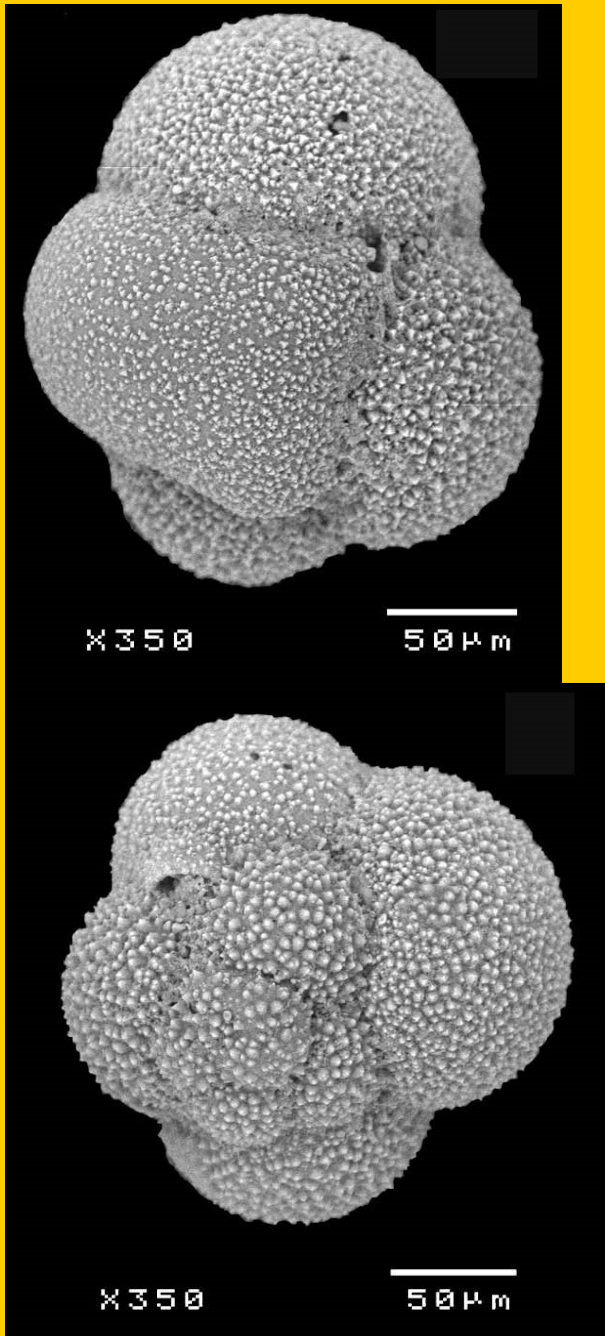
- Τα είδη αυτά θεωρούνται επίσης δείκτες θερμών κλιμάτων
- Στη Μεσόγειο η συγκέντρωσή τους είναι περιορισμένη και εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά στην Αν. Μεσόγειο (1-5%)

Globigerina bulloides

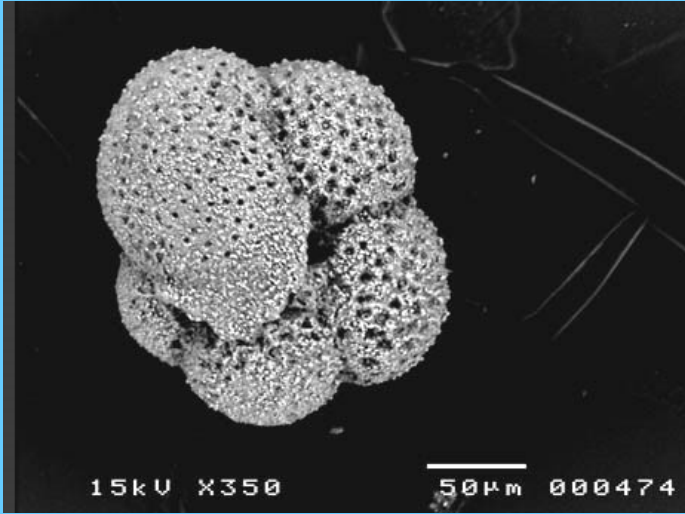


- Αρχικά συνδέθηκε με ψυχρά κλίματα (υποαρκτικά-μεταβατικά)
- Αργότερα η παρουσία της συνδέθηκε κυρίως με ευτροφικά επιφανειακά νερά, όπως είναι τα παράκτια αναβρύσματα (coastal upwelling) και περιοχές ποτάμιων απορροών.
- Το βάθος διαβίωσής της θεωρείται 50-200m.
- Στη Αν. Μεσόγειο απαντάται σε υψηλή συμμετοχή (5-40%) και παρουσιάζει προτίμηση σε ψυχρότερες περιοχές

Globigerinita glutinata



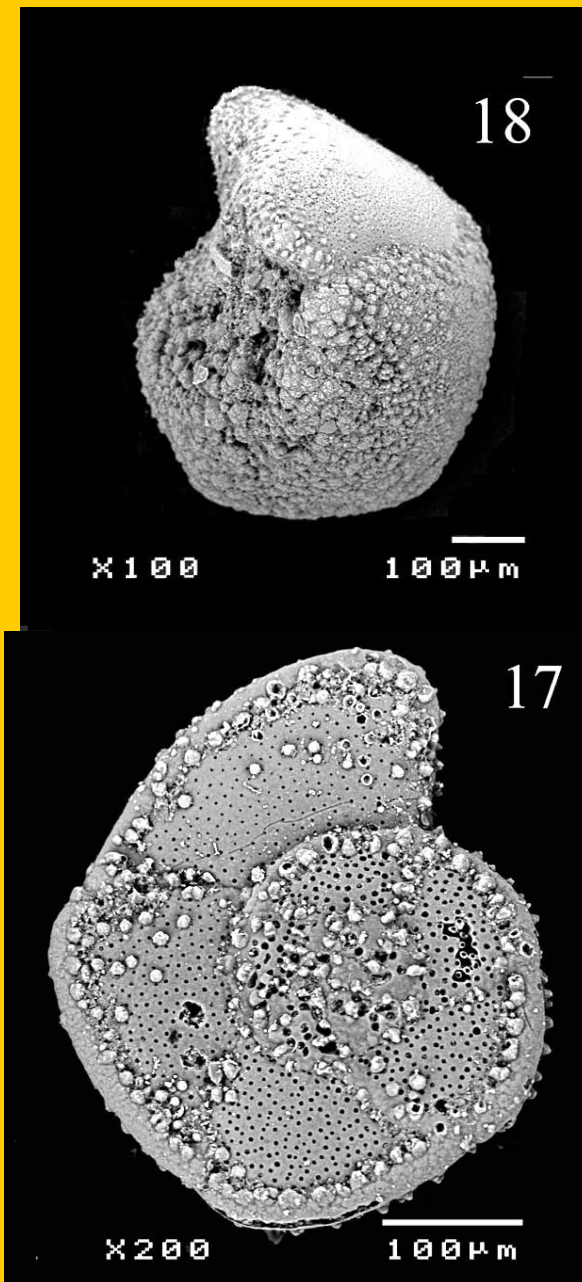
- Το είδος αυτό έχει κοσμοπολίτικο χαρακτήρα.
- Το βάθος διαβίωσής του είναι το επιφανειακό.
- Στα επιφανειακά νερά της Ανατ.Μεσογείου επιδεικνύει τάση ανάπτυξης σε ελαφρώς ψυχρά και ευτροφικά νερά.



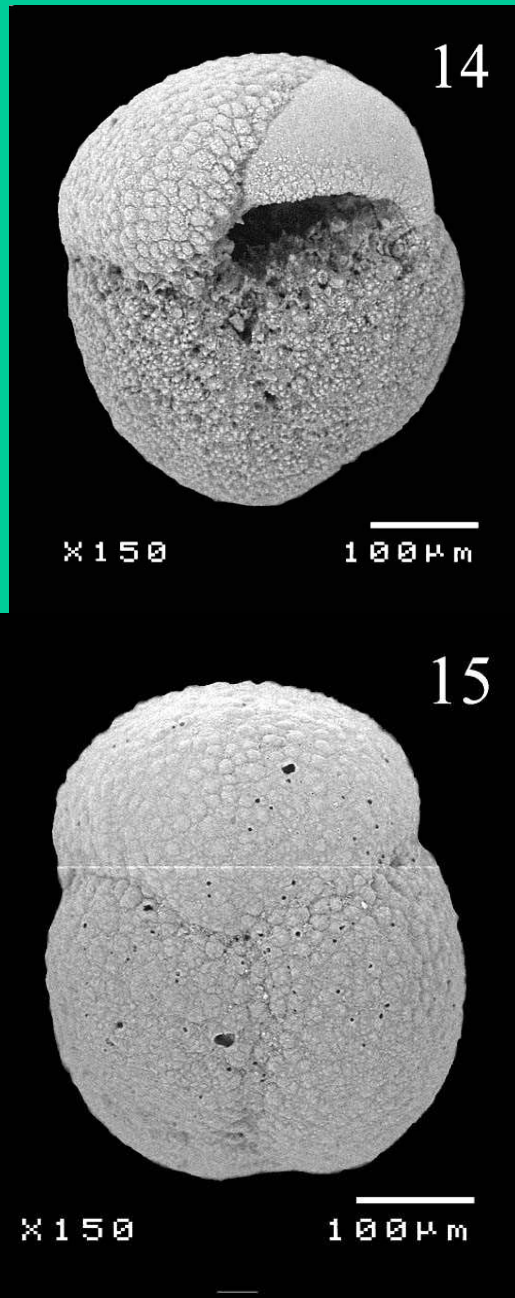
Turborotalita quinqueloba

- Το είδος αυτό είναι ανθεκτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες και αλατότητες και προτιμά πλούσια σε θρεπτικά συστατικά επιφανειακά νερά.
- Το μέγεθος του φαίνεται πως αυξάνει με τη μείωση της επιφανειακής αλατότητας.
- Στην Αν. Μεσόγειο η μεγαλύτερη ανάπτυξη του παρουσιάζεται σε περιοχές όπου η χειμερινή θερμοκρασία είναι μικρότερη των 15°C.

Globorotalia truncatulinoides

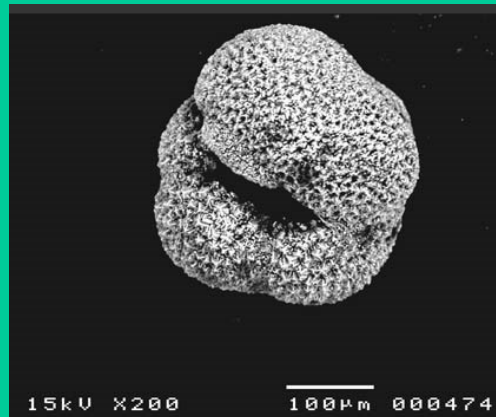
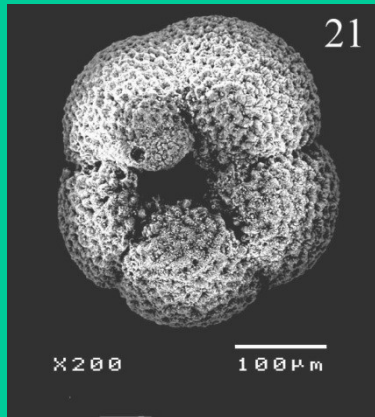


- Πρόκειται για ένα βαθυπελαγικό είδος που αναπτύσσεται από υποαρκτικά έως υποτροπικά κλίματα.
- Υψηλές συχνότητες εμφανίζει σε θερμοκρασιακά εύρη 13,5-15,5°C.
- Στο χώρο της Αν. Μεσογείου συμμετέχει με μικρό ποσοστό



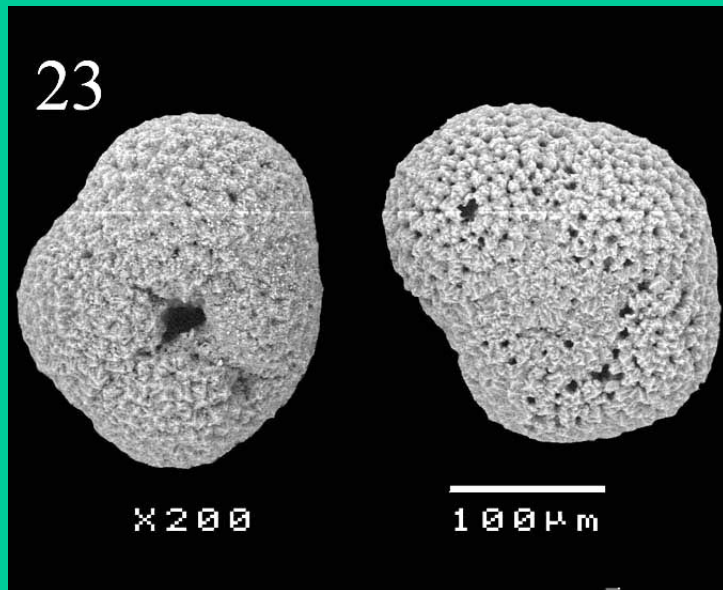
Globorotalia inflata

- Εμφανίζεται κυρίως σε μεταβατικά νερά (10-20 °C) πλούσια σε θρεπτικά συστατικά λόγω καλής μίξης.
- Το βάθος διαβίωσής τους κυμαίνεται από 0-75m ενώ αναπαράγεται το χειμώνα
- Άφθονη συμμετοχή παρουσιάζει στα επιφανειακά νερά της Δ. Μεσογείου, ενώ σχεδόν απουσιάζει από την Αν. Μεσόγειο

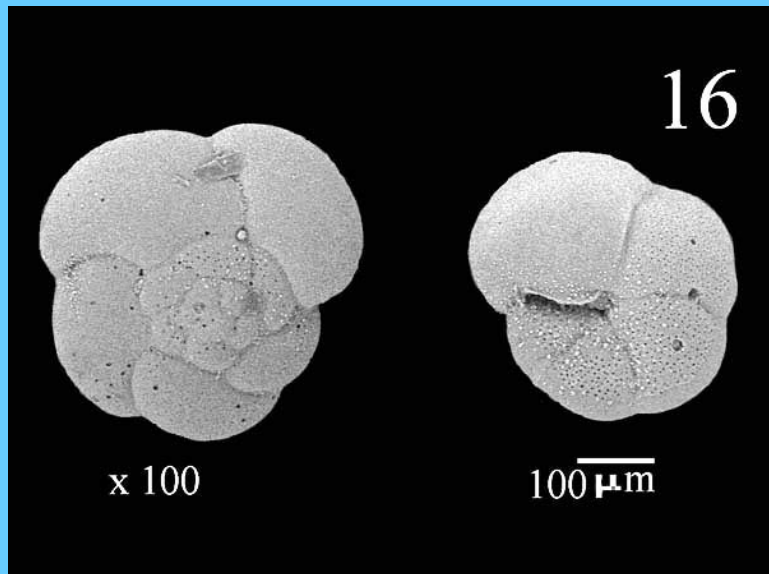


Neogloboquadrina

Το γένος αυτό αναπτύσσεται σε μεταβατικά κλίματα και αποτελείται από *N.dutertrei* και *N. pachyderma* καθώς και τις ενδιάμεσες μορφές αυτών των ειδών.



- Η *N. dutertrei* θεωρήθηκε αρχικά ως δείκτης χαμηλής αλατότητας
- Αργότερα, η παρουσία της *Neogloboquadrina* συνδέθηκε με την ανάπτυξη του DCM στρώματος.
- Το ψυχρότερο άκρο του γένους είναι οι αριστερόστροφες *N. pachyderma*.
- Στο χώρο της Αν. Μεσογείου οι υψηλότερες συγκεντρώσεις *N.dutertrei* εμφανίζονται στο Αιγαίο ενώ η αριστερόστροφη *N.pachyderma* είναι σχεδόν απύσα



Globorotalia scitula

- Πρόκειται για ένα βαθυπελαγικό είδος που αναπτύσσεται σε περιβάλλοντα χαμηλής θερμοκρασίας

Μεθοδολογία μελέτης

1. Μακροσκοπική περιγραφή ιζήματος



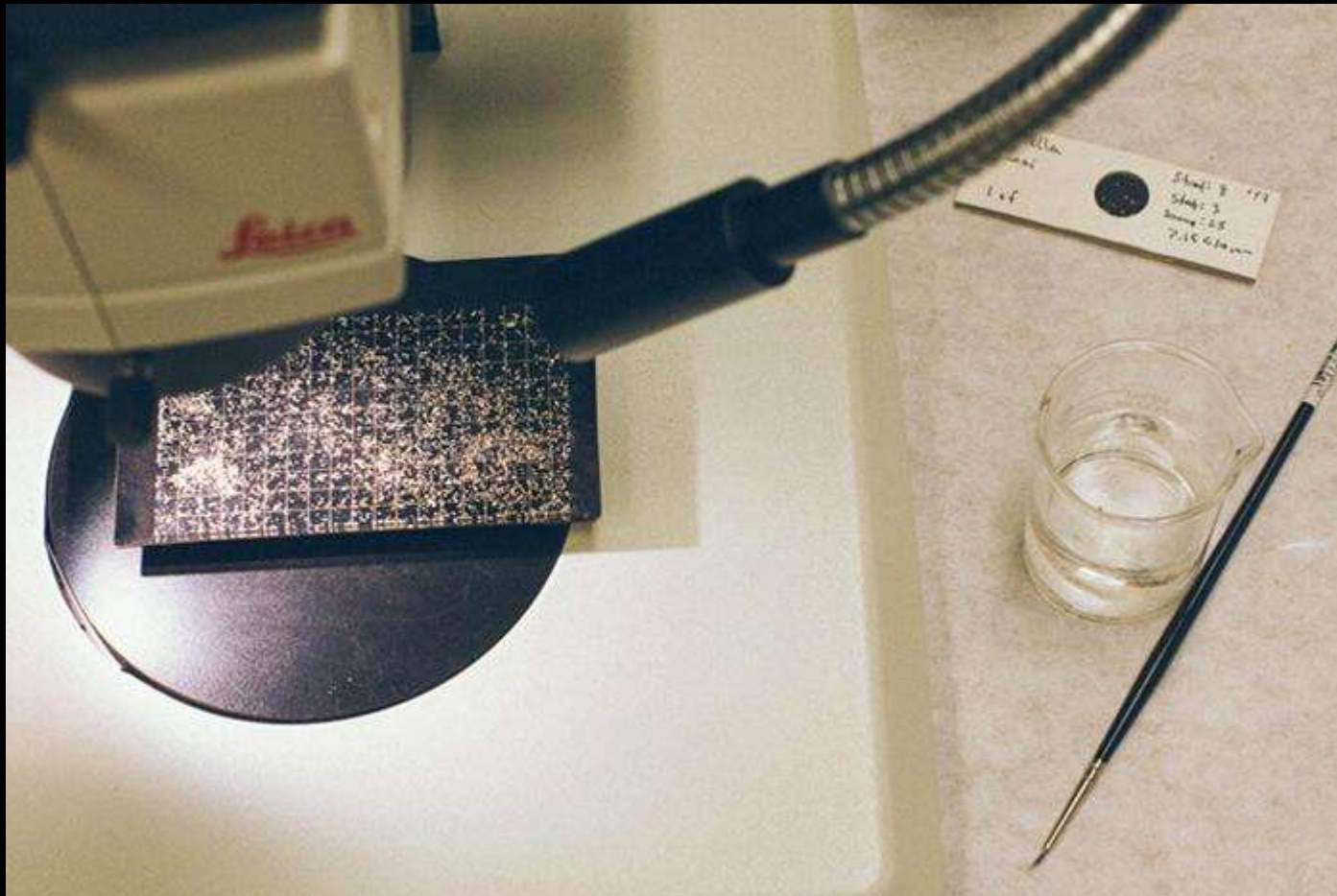
2. Δειγματοληψία ιζήματος

Ο αριθμός των
δειγμάτων εξαρτάται

- από το πλήθος των
λιθολογικών
ενοτήτων
και
- Ρυθμό
ιζηματογένεσης

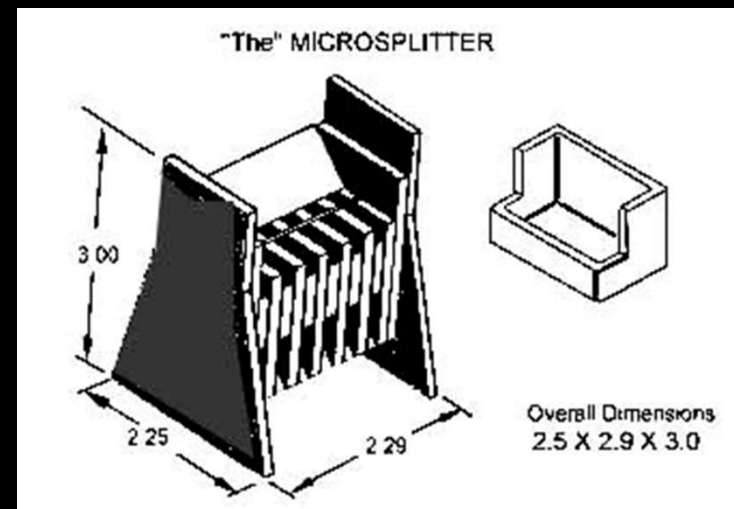
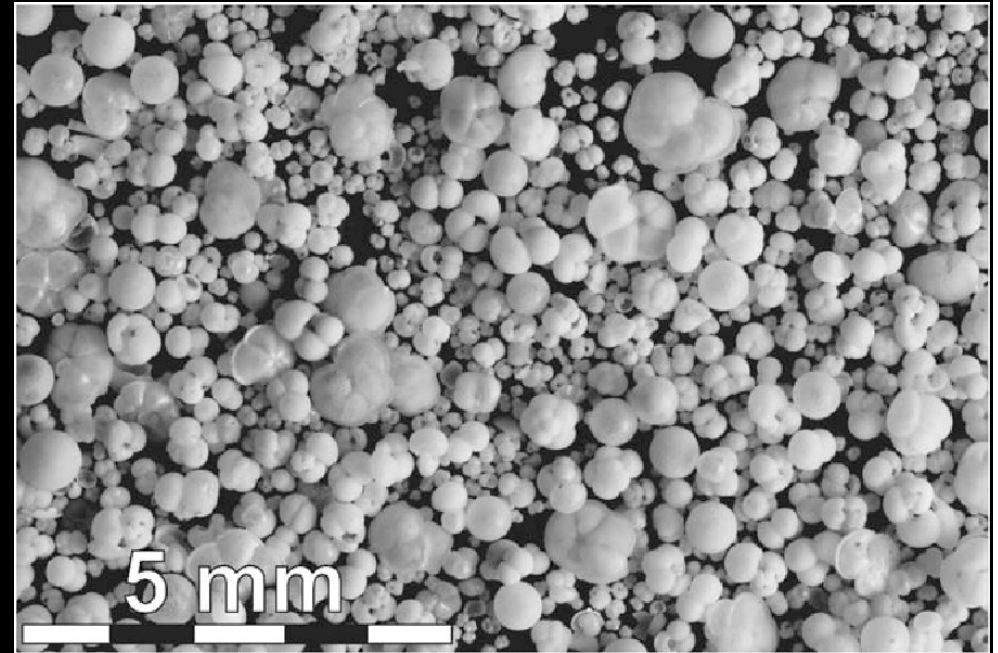


3. Το δείγμα ιζήματος ξηραίνεται και κοσκινίζεται.
Για τις μικροπαλαιοντολογικές αναλύσεις χρησιμοποιούνται συνήθως
κόσκινα με άνοιγμα πλέγματος $>63 \mu\text{m}$, ή $>125 \mu\text{m}$ ή $>150 \mu\text{m}$.
Το δείγμα ιζήματος εξετάζεται σε στερεοσκόπιο. .

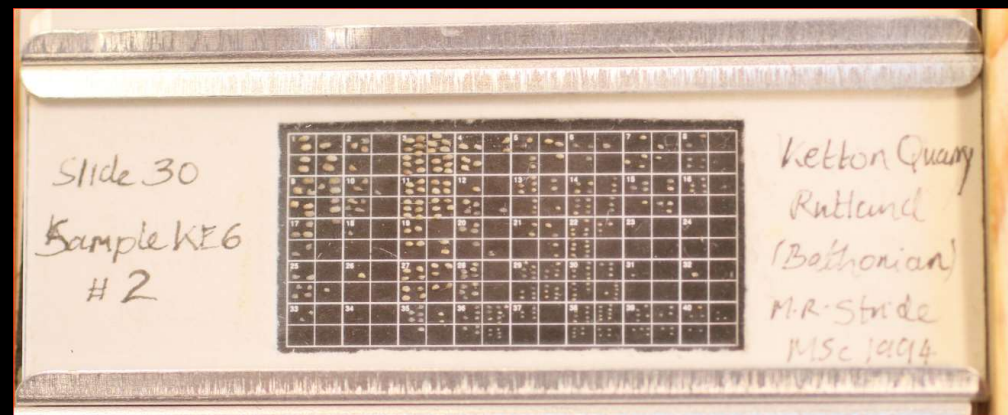


Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα θα πρέπει να έχει περίπου 300 άτομα από πλαγκτονικά ή βενθονικά τρηματοφόρα

Επειδή συχνά τα θαλάσσια ιζήματα περιλαμβάνουν πολύ μεγαλύτερους αριθμούς ατόμων, χρησιμοποιούμε συχνά splitter προκειμένου να διαχωρίσουμε το αρχικό δείγμα ιζήματος σε υποδείγματα με αριθμούς ατόμων τρηματοφόρων ~ 300.



4. Εντοπίζουμε τα άτομα των τρηματοφόρων και τα ομαδοποιούμε ανάλογα το γένος ή/και είδος τους



6. Κατασκευάζουμε τις κατακόρυφες κατανομές συμμετοχής των ειδών/γενών

των τρηματοφορών στη μικροπανίδα

(είτε με μορφή επί % είτε με μορφή αριθμός ατόμων/γραμμάριο ιζήματος).

7. Ερμηνεύουμε τα δεδομένα των πλαγκτονικών τρηματοφόρων

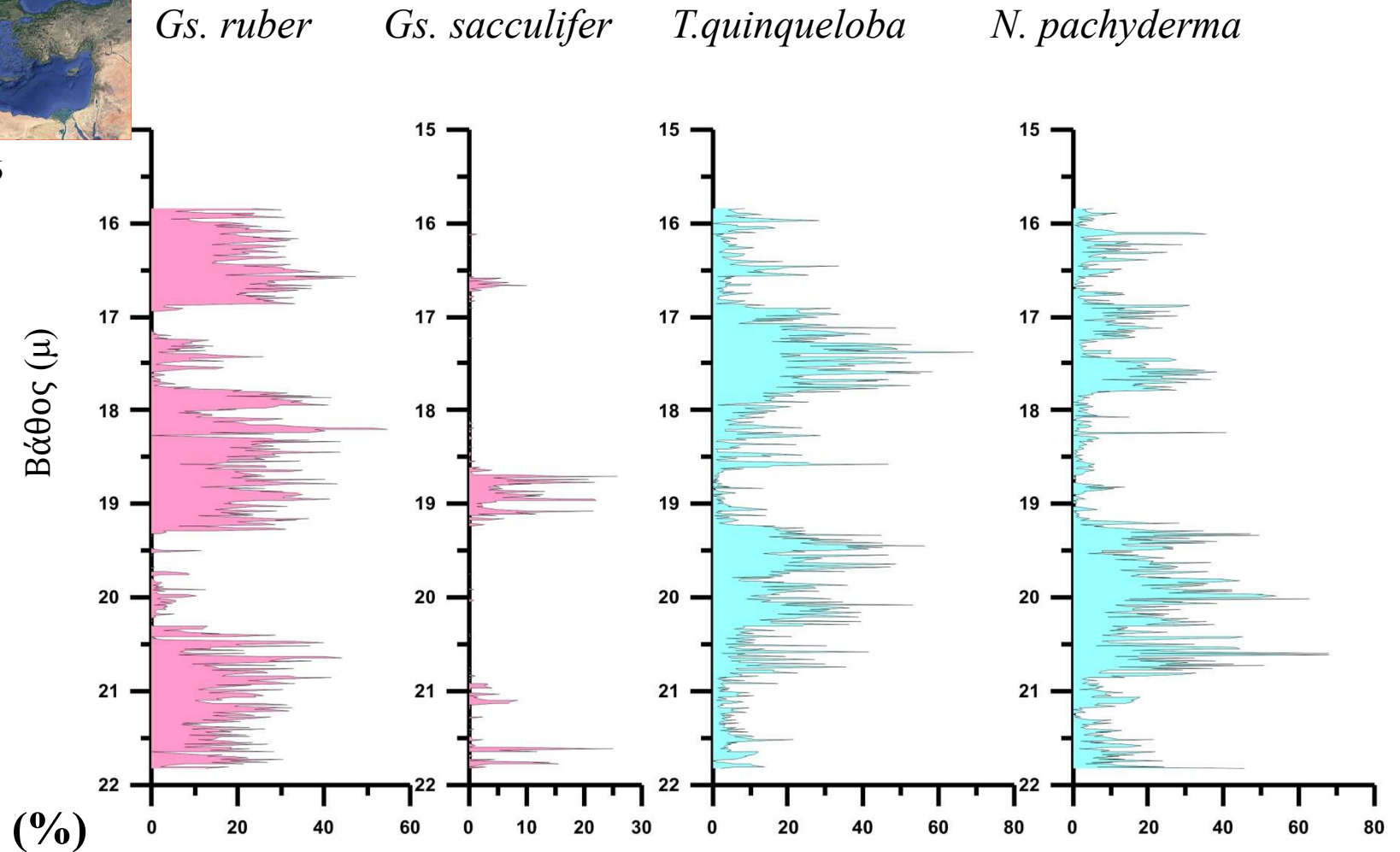
προσπαθώντας να εκτιμήσουμε μεταβολές στη θερμοκρασία ή/και στο επίπεδο ευτροφισμού. Για αυτό το σκοπό

- συνεκτιμούμε τις οικολογικές προτιμήσεις των ειδών/γενών που έχουμε αναγνωρίσει.
- Ελέγχουμε αν η εμφάνιση ή /και εξαφάνιση κάποιων ειδών αποτελεί χρονοστωματογραφική ένδειξη της περιοχής μελέτης.
- Συγκρίνουμε τα δεδομένα μας με άλλα σετ δεδομένων για σαφέστερη ερμηνεία

Οι διακυμάνσεις στην κατανομή των πλαγκτονικών τρηματοφόρων είναι ικανές να μας δείξουν κλιματικές αλλαγές, μεγάλης διάρκειας **π.χ.**



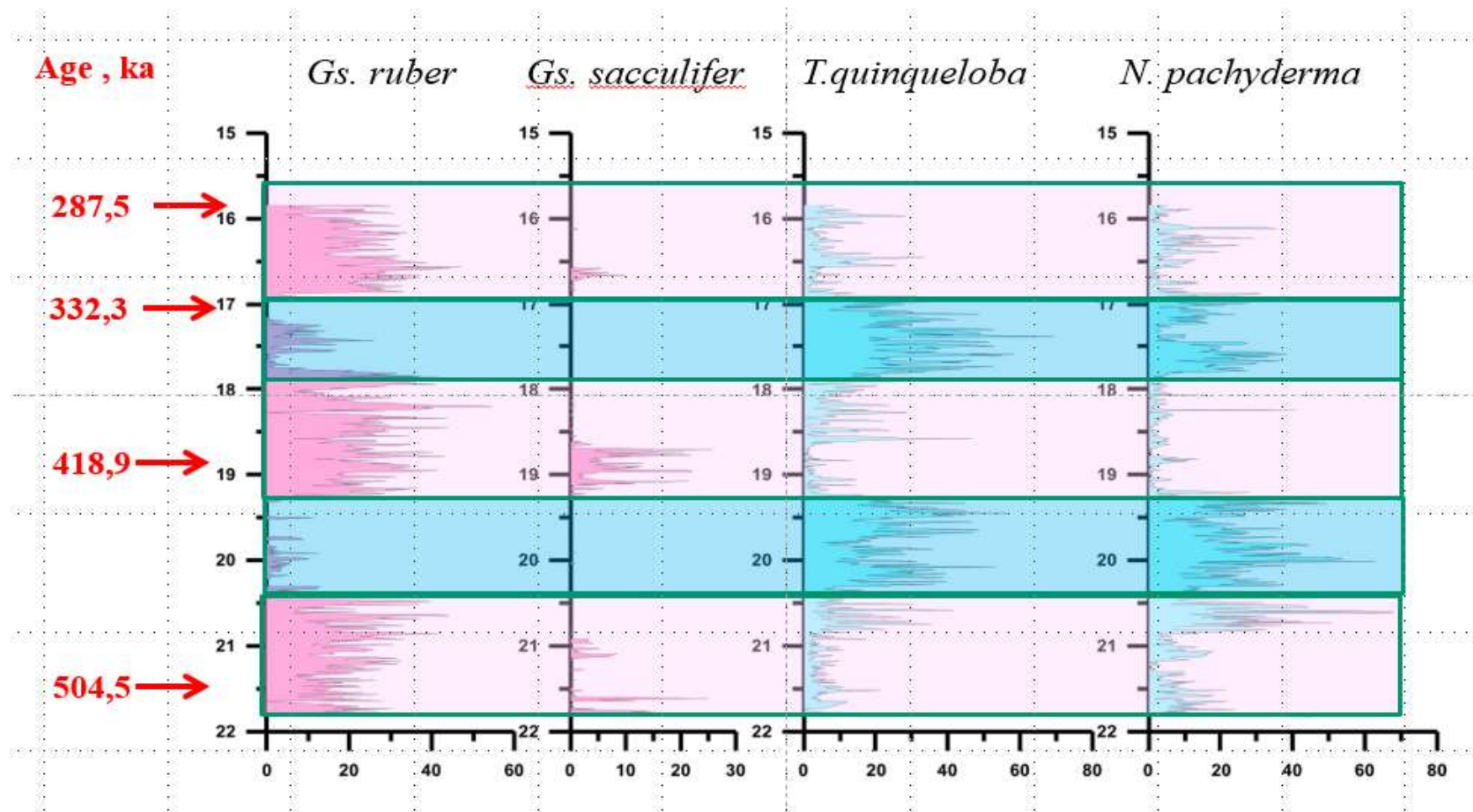
Capotondi et al., 2016



Από τις κατακόρυφες κατανομές με το βάθος ιζήματος της ποσοστιαίας συμμετοχής στη μικροπανίδα των ειδών των πλαγκτονικών τρηματοφόρων της εικόνας διαπιστώθηκε ότι...

.. Η ταυτόχρονη αύξηση της συμμετοχής των ειδών που υποδηλώνουν ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών (*Gs. ruber* , *Gs. sacculifer*) εναλλάσσεται με την ταυτόχρονη αύξηση συμμετοχής των ειδών που υποδηλώνουν ανάπτυξη χαμηλών θερμοκρασιών (*T. quinqueloba*, *N. pachyderma*)

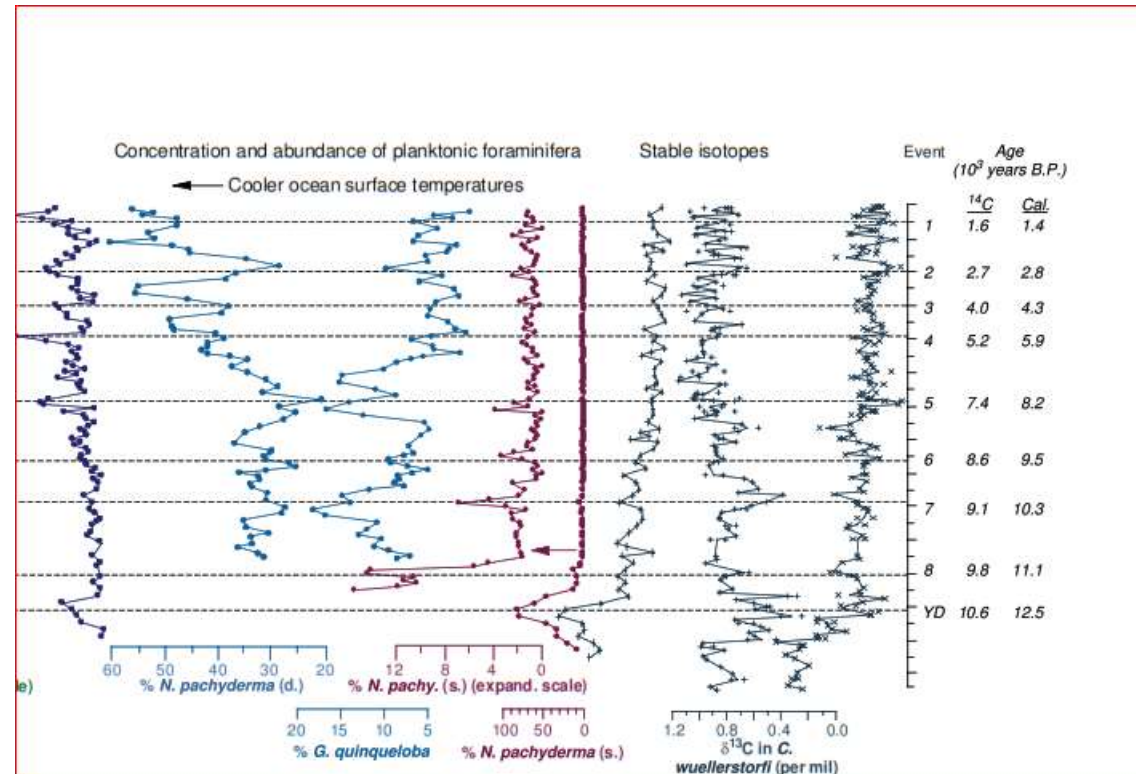
Με βάση τις διαθέσιμες χρονολογήσεις καταλαβαίνουμε ότι τα θερμά διαστήματα αντιπροσωπεύουν ανάπτυξη μεσοπαγετωδών περιόδων και τα ψυχρά διαστήματα ανάπτυξη παγετωδών περιόδων (γαλάζιο χρώμα)



Οι διακυμάνσεις στην κατανομή των πλαγκτονικών τρηματοφόρων είναι ικανές να μας δείξουν κλιματικές αλλαγές σύντομης διάρκειας π.χ.



Bond et al., 2007



Η ταυτόχρονη αύξηση συμμετοχής των ειδών που υποδηλώνουν ανάπτυξη χαμηλών θερμοκρασιών (*T. quinqueloba*, *N. pachyderma*) μας βοηθούν να εντοπίσουμε σύντομα (<200 χρόνια) ψυχρά γεγονότα (events 1-8 and YD) στο Ολόκαινο

8. Στατιστική/μαθηματική επεξεργασία

Στα δεδομένα μας μπορούμε να εφαρμόσουμε μεθόδους στατιστικής ανάλυσης

Μέθοδοι Πολυμεταβλητής στατιστικής επεξεργασίας

(π.χ. cluster analysis, factor analysis)

προκειμένου να εντοπίσουμε σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών μας

(: είδη τρηματοφόρων, R mode analysis) ή και

σχέσεις μεταξύ των δειγμάτων μας (Q mode analysis)

Μέθοδοι

MAT (: Modern Analogue Techniques) ή

Νευρωνικών δικτύων (Artificial Neural Networks (ANN))

Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων απαιτεί τη χρήση μιας βάσης δεδομένων από σημερινές μετρήσεις και τελικά αποδίδει τις μικροπαλαιοντολικές αναλύσεις μας σε απόλυτες τιμές θερμοκρασίες (ή και αλατότητας)