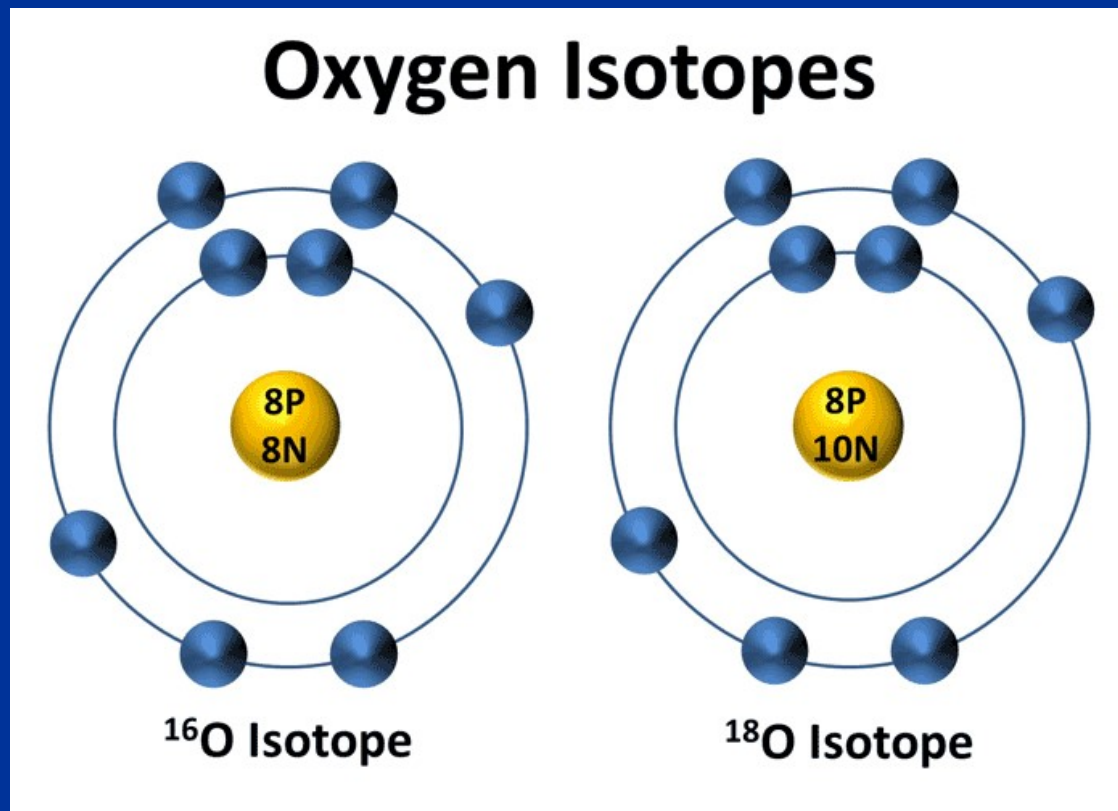


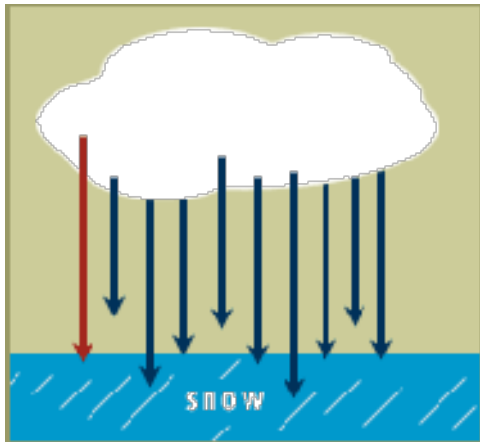
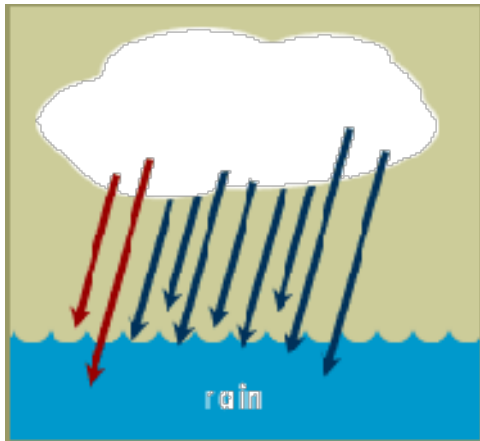
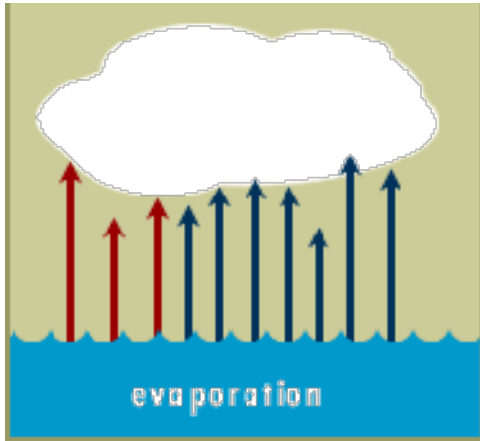
ΣΤΑΘΕΡΑ ΙΣΟΤΟΠΑ-ΙΣΟΤΟΠΑ O_2

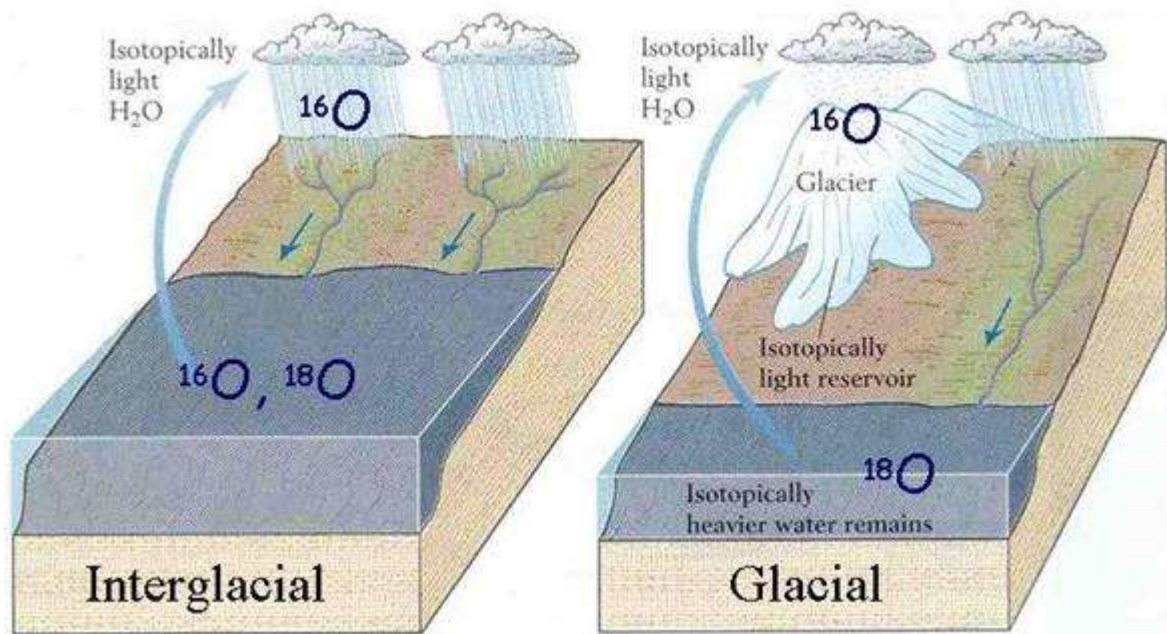
τα ισότοπα ενός στοιχείου, έχουν
τον ίδιο αριθμό πρωτονίων διαφορετικό αριθμό νετρονίων
•αντιδρούν με διαφορετικούς ρυθμούς

^{16}O , ^{17}O , και ^{18}O
 ^{18}O :0.2%

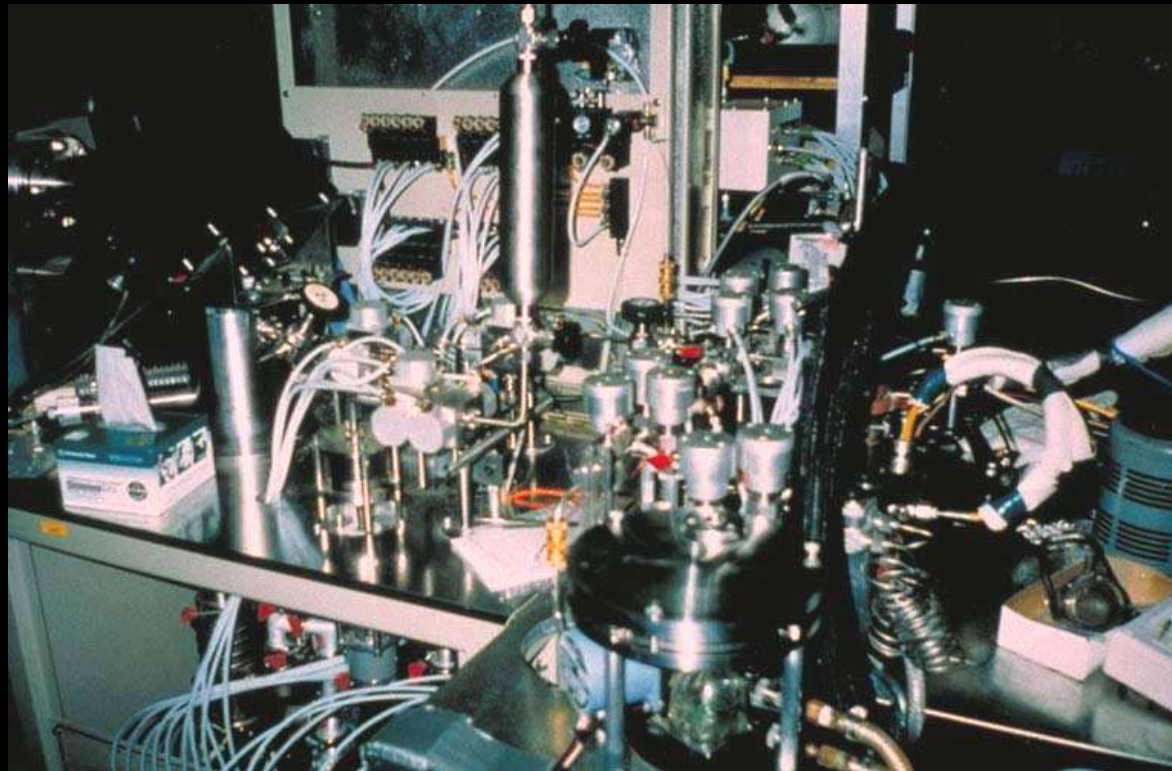
Παλιαιοκλιματολογία και παλιωκεανογραφία:
 ^{18}O και ^{16}O .







οι θαλάσσιοι οργανισμοί να αποθηκεύουν ασβεστίτη σε
ισοτοπική ισορροπία με το νερό της θάλασσας που
διαβιούν.



$$\delta = \frac{R_{\text{δειγ}} - R_{\text{s tan d}}}{R_{\text{s tan d}}} \times 1000$$

Οι σχετικές συγκεντρώσεις των ισοτόπων ενός στοιχείου, εκφράζονται ως λόγοι (R), όπου ο παρονομαστής είναι το πλουσιότερο ισότοπο

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{δειγμα}} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{standard}}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}_{\text{standard}}} \times 1000$$

$\delta=0\text{‰}$: η ισοτοπική σύνθεση του στοιχείου είναι ίση με αυτή του standard

$\delta>0\text{‰}$:ότι το δείγμα είναι εμπλουτισμένο στο βαρύτερο ισότοπο

$\delta<0\text{‰}$:δείγμα περιέχει λιγότερη συγκέντρωση από το βαρύτερο στοιχείο σε σχέση με το standard.

- Μονάδα μέτρησης ‰

- Συγκεντρώσεις των $\delta^{18}\text{O}$ αποδίδονται σε **κλίμακα**

PDB (PeeDee Belemnite, όπου standard δείγματα χρησιμοποιήθηκαν δείγματα από τον οργανισμό *Belemnitela Americana* από τη Νότια Καρολίνα)

SMOW (Standard Mean Ocean Water) λιγότερο συχνά.

Ισχύει $\delta^{18}\text{O}[\text{SMOW}] = 1.03086 \delta^{18}\text{O}[\text{PDB}] + 30.86$

Οι συγκεντρώσεις των $\delta^{18}\text{O}$ χρησιμοποιούνται

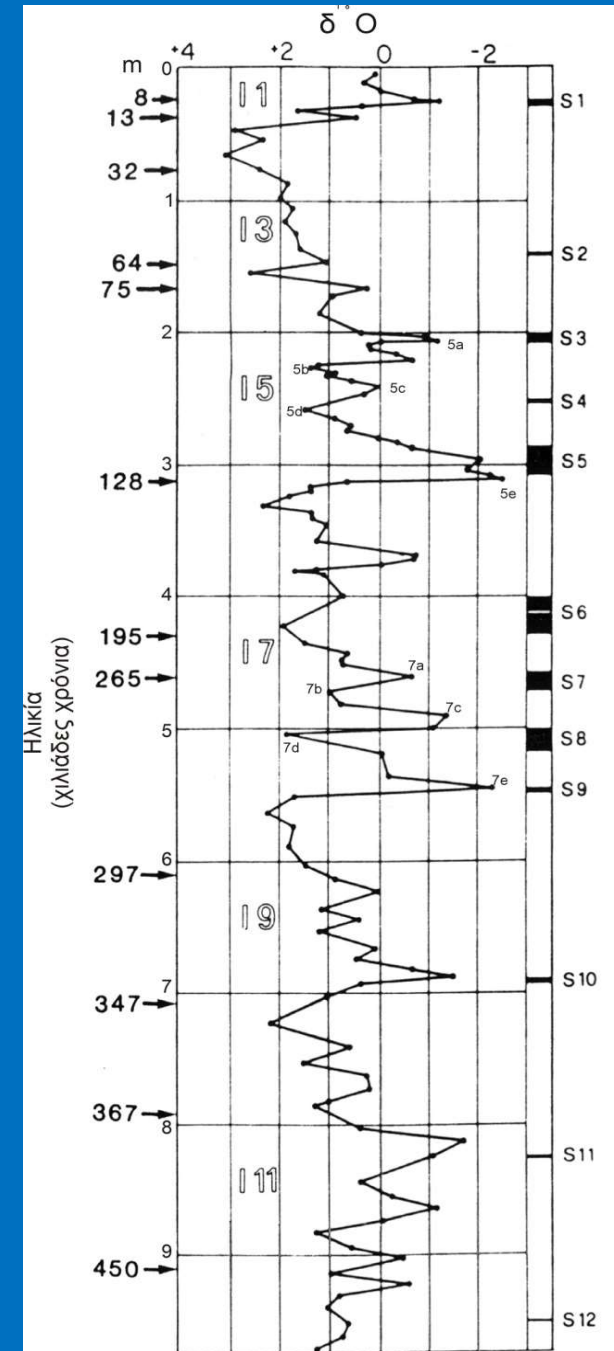
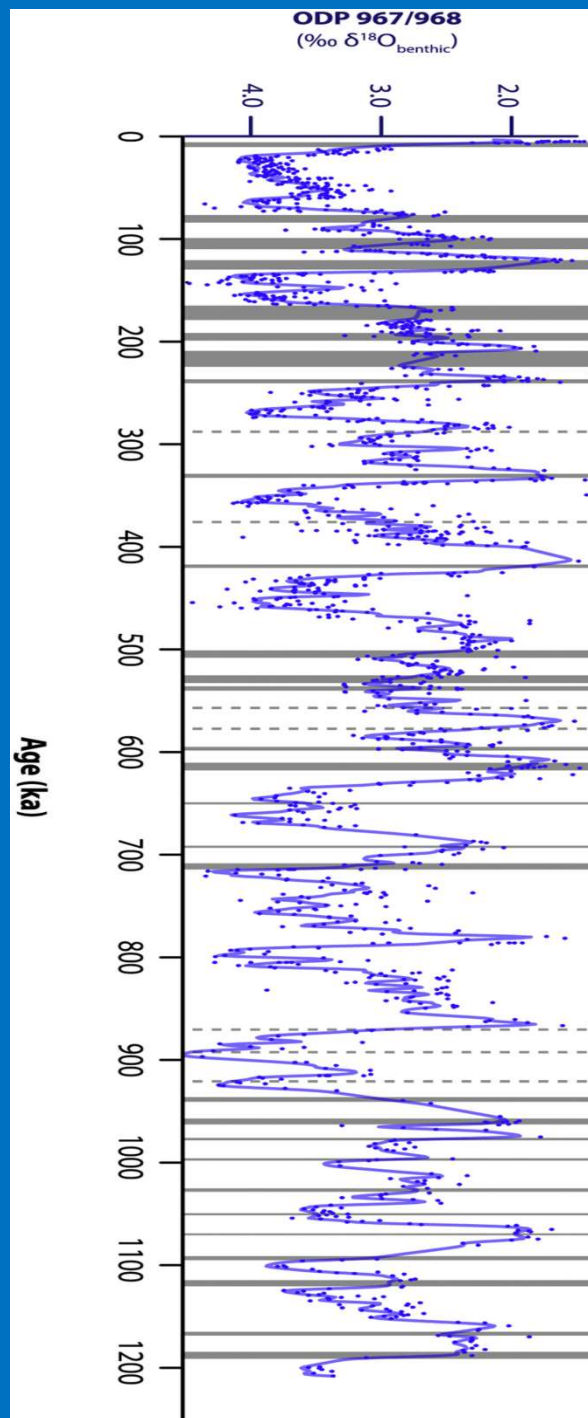
- Για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας
- Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και της αλατότητας
- Στη χρονοστρωματογραφία

Οι κυριότεροι παράγοντες που ελέγχουν την ισοτοπική σύσταση

- ο όγκος των παγετώνων (glacial effect), ο οποίος ευθύνεται για τη μεγάλη συσσώρευση ¹⁶O στους πόλους και στις περιοχές έκτασης των παγετώνων καθώς και τα φαινόμενα μεταβολής αλατότητας
- η θέση (γεωγραφικό πλάτος) του δείγματος
- ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κελυφών των οργανισμών (Vital effect)

Για την εκτίμηση
της θερμοκρασίας
και της
αλατότητας

Στην Ανατολική
Μεσόγειο
οι θετικές τιμές $\delta^{18}\text{O}$
δηλώνουν ψυχρά
νερά και
οι αρνητικές
θερμά ή/και χαμηλής
αλατότητας νερά



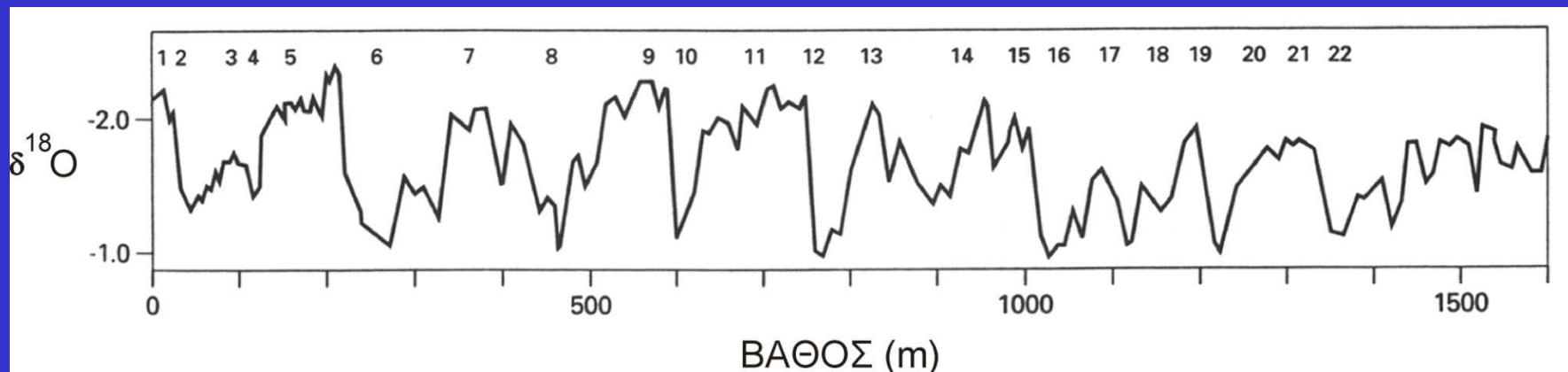
Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας

- Εμπειρικές εξισώσεις
- $T=16.5-4.3(\delta-A)+0.14 (\delta-A)^2$

δ : είναι η ισοτοπική σύσταση του κελύφους και

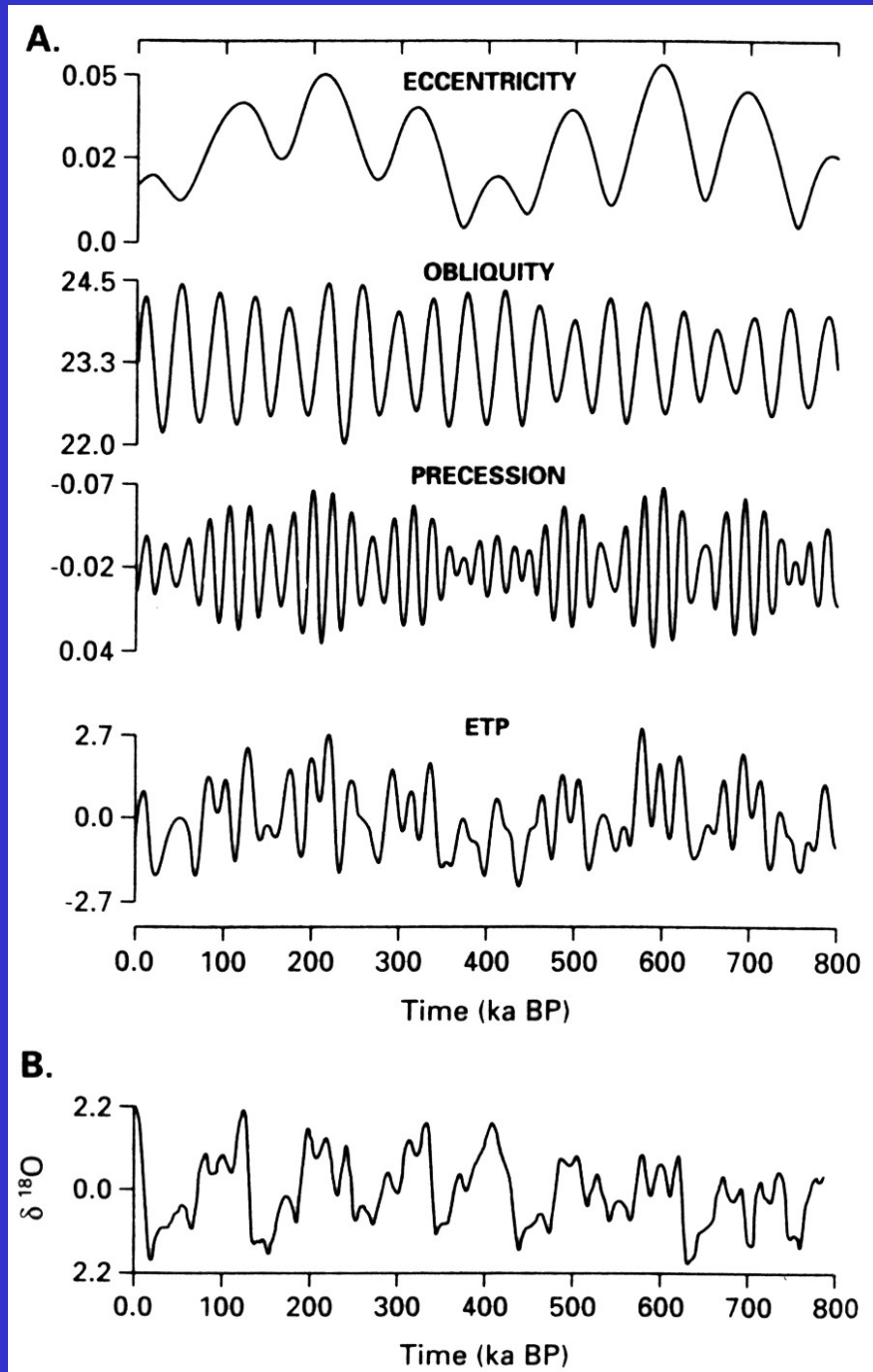
A : η διόρθωση της ισοτοπικής σύστασης του νερού

Κατακόρυφες κατανομές των $\delta^{18}\text{O}$, πλαγκτονικών και βενθονικών τρηματοφόρων σε ιζήματα πυρήνων από διάφορους ωκεανούς, έδειξαν παρόμοιες τάσεις σε σχέση με το εύρος αλλά και τη συχνότητα διακύμανσης τους στο παρελθόν.



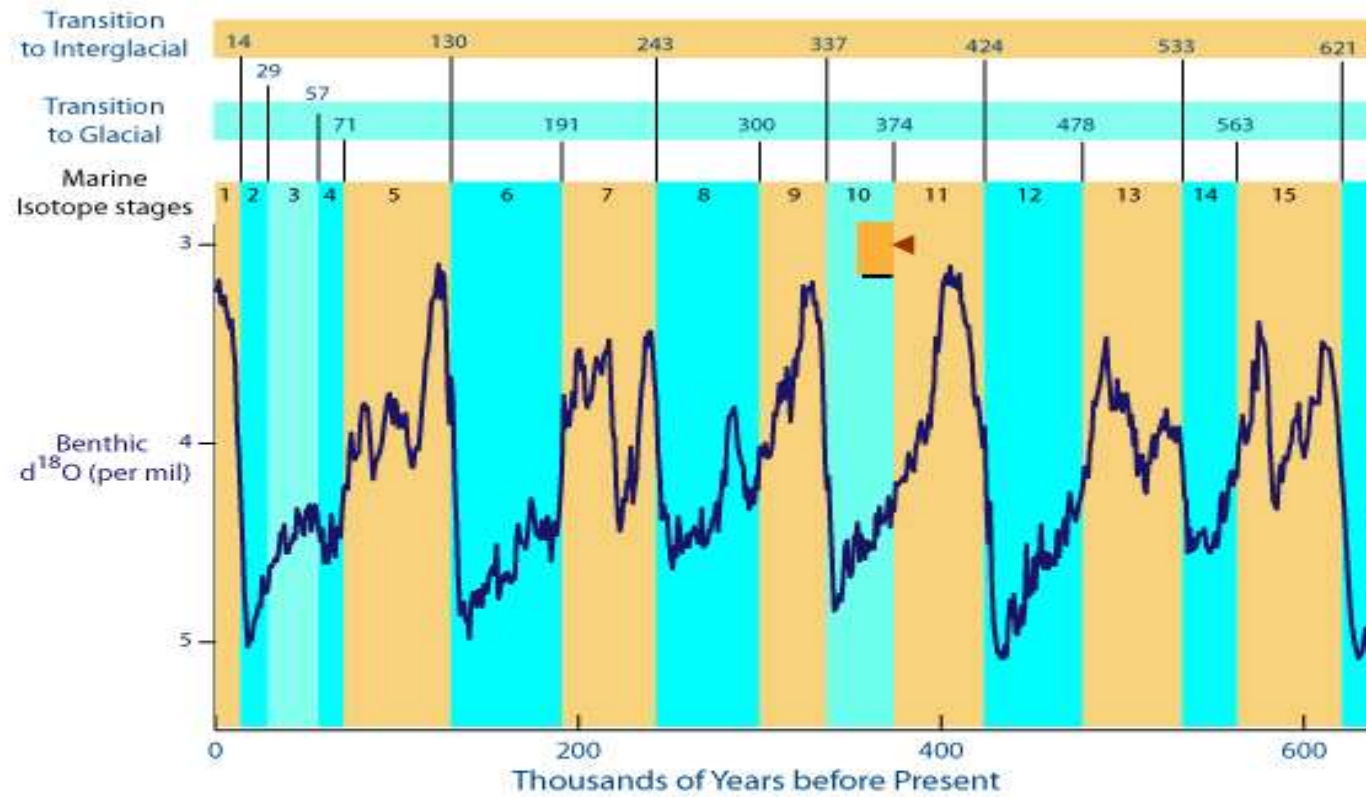
- **Αριστοι χρονοστρωματογραφικοί δείκτες**

- Οι διακυμάνσεις των τιμών $\delta^{18}\text{O}$ συμπίπτουν με διακυμάνσεις των τροχιακών κινήσεων της γης

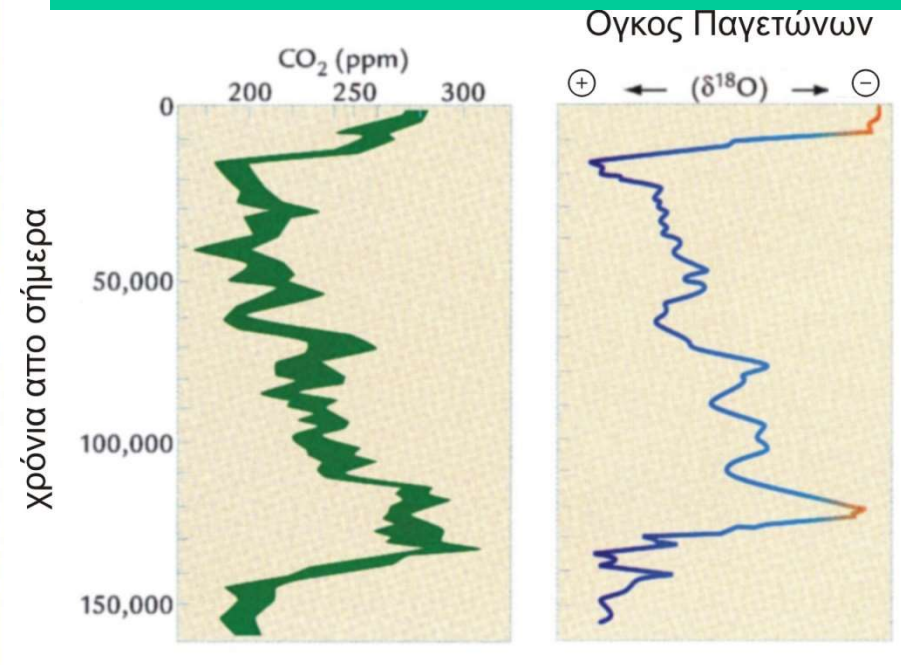
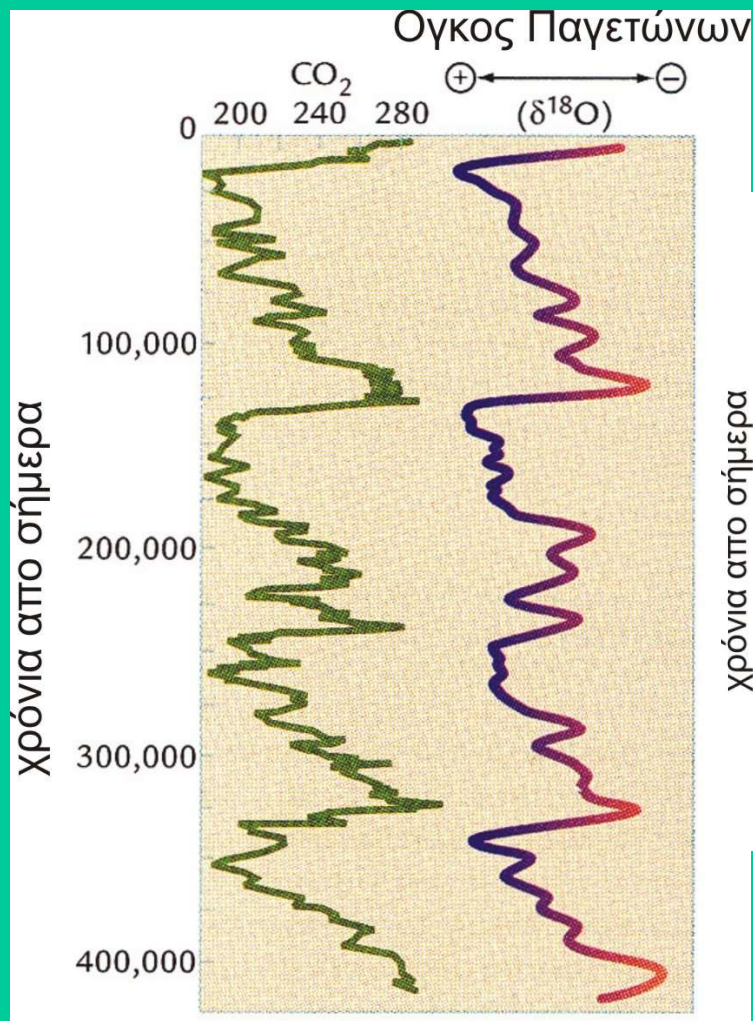


Στα διαγράμματα των $\delta^{18}\text{O}$

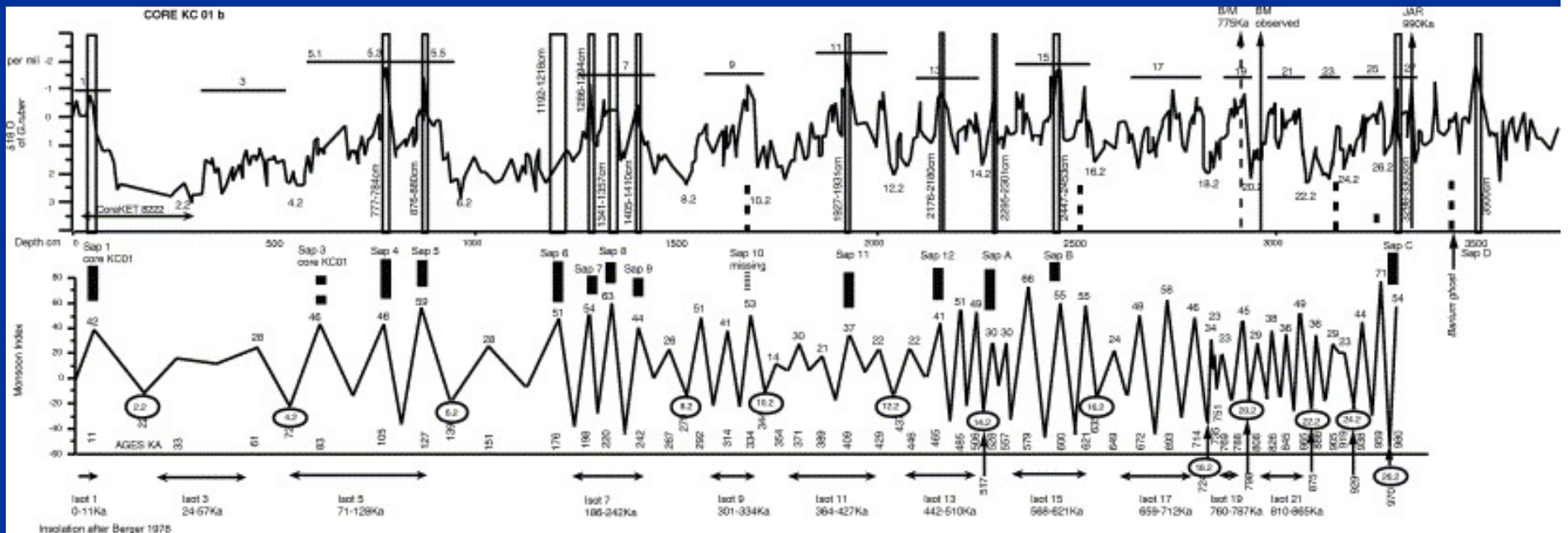
- Μονοί αριθμοί = θερμά διαστήματα
- Ζυγοί αριθμοί = ψυχρά διαστήματα
- Η αρίθμηση ξεκινά από το Ολόκαινο = 1 (~10000χρόνια)
- Η μετάβαση από ένα ψυχρό σε ένα θερμό = Termination
- Ισοτοπικά στάδια = IST, OIS, MIS
- Τα ισοτοπικά στάδια δεν ορίζουν περιόδους (παγετώδεις/μεσοπαγετώδεις)
- Προσοχή! Οι τιμές των είναι αντίστροφες σε μετρήσεις πυρήνων πάγων υψηλών γεωγραφικών πλατών από αυτές σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη



- Global temperatures, Lisiecki and Raymo 2005
- Marine isotope stages, Lisiecki and Raymo 2005
- ◀ Delayed build-up of Arctic icesheet, Hao *et al.*



- Οι διακυμάνσεις των τιμών δ¹⁸O συμπίπτουν με διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των αερίων του «θερμοκηπίου»



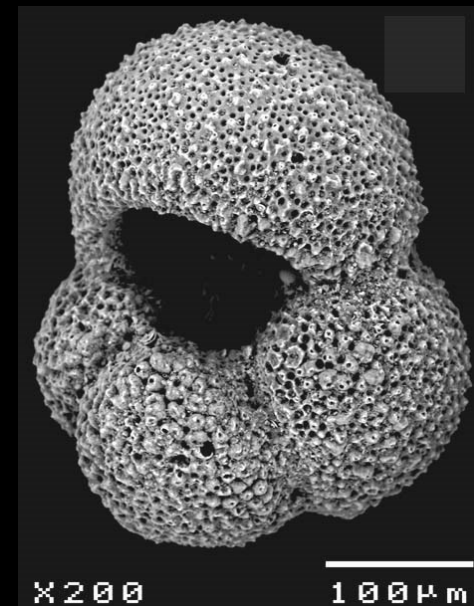
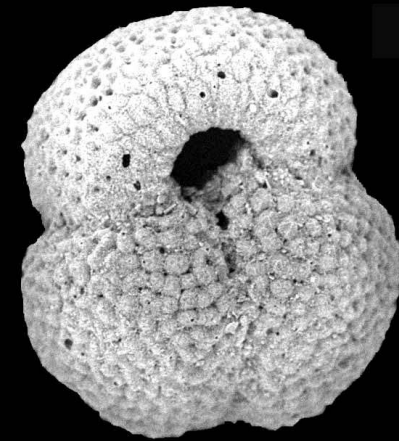
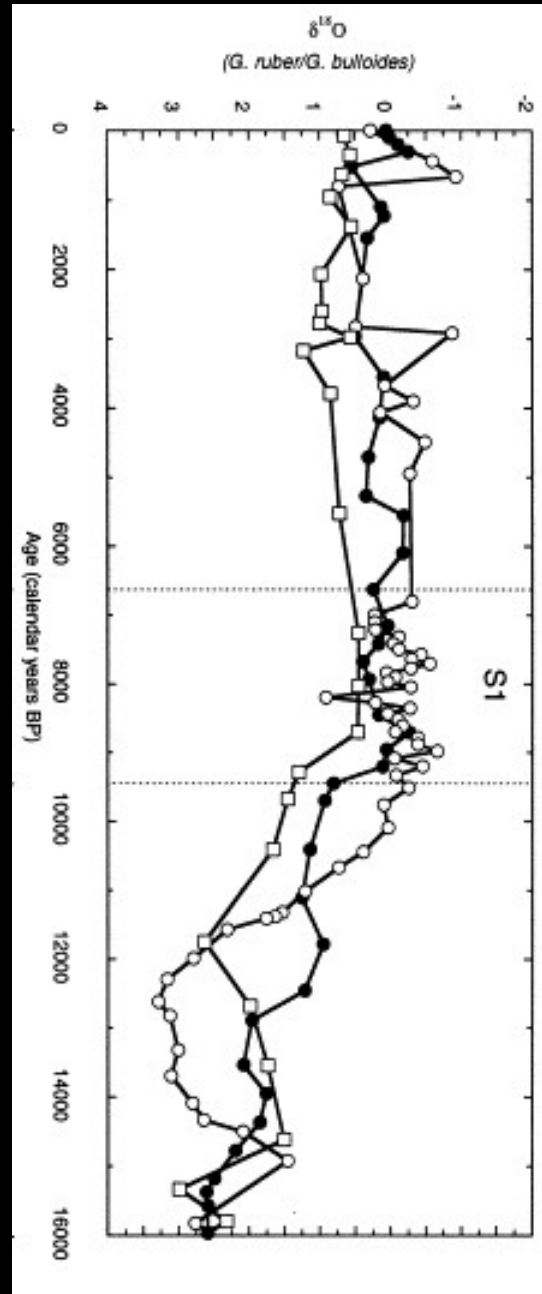
• Στην Ανατολική Μεσόγειο πολλές διακυμάνσεις των τιμών $\delta^{18}\text{O}$ συμπίπτουν με διακυμάνσεις της έντασης του μουσωνικού συστήματος.

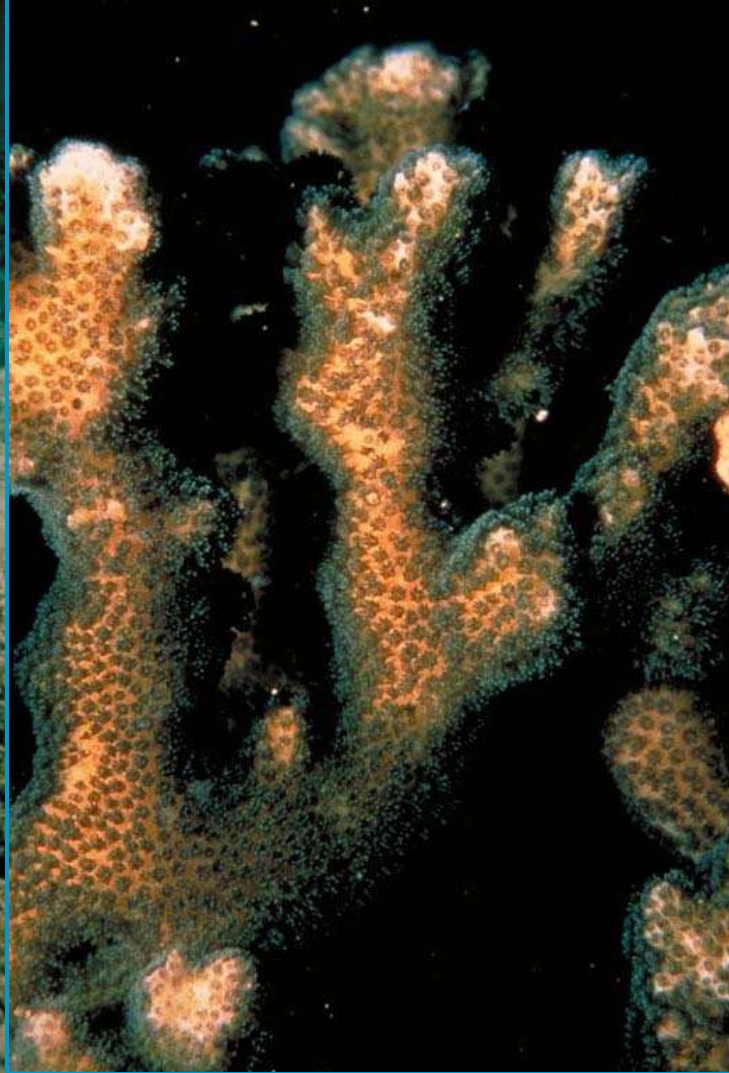
- Σε ποιά υλικά γίνονται αναλύσεις σταθερών ισοτόπων?

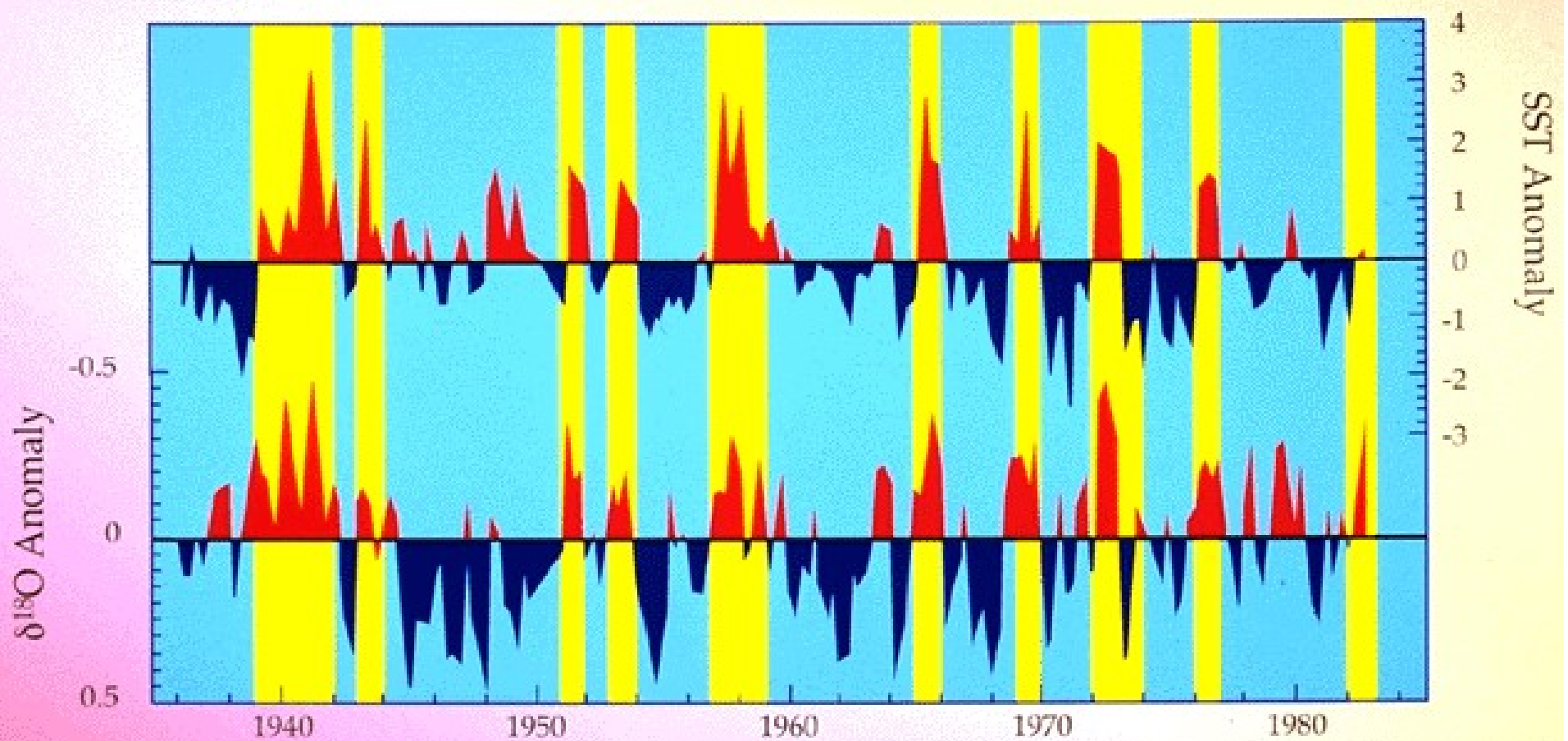
• Μετρήσεις $\delta^{18}\text{O}$
γίνονται σε
Τρηματοφόρα και
μπορούν να
δείξουν:

• Διακύμανση της
επιφανειακής
θερμοκρασίας ή
και αλατότητας

• Βαθμό μίξης
υδάτινων μαζών-
ρυθμό
κυκλοφορίας



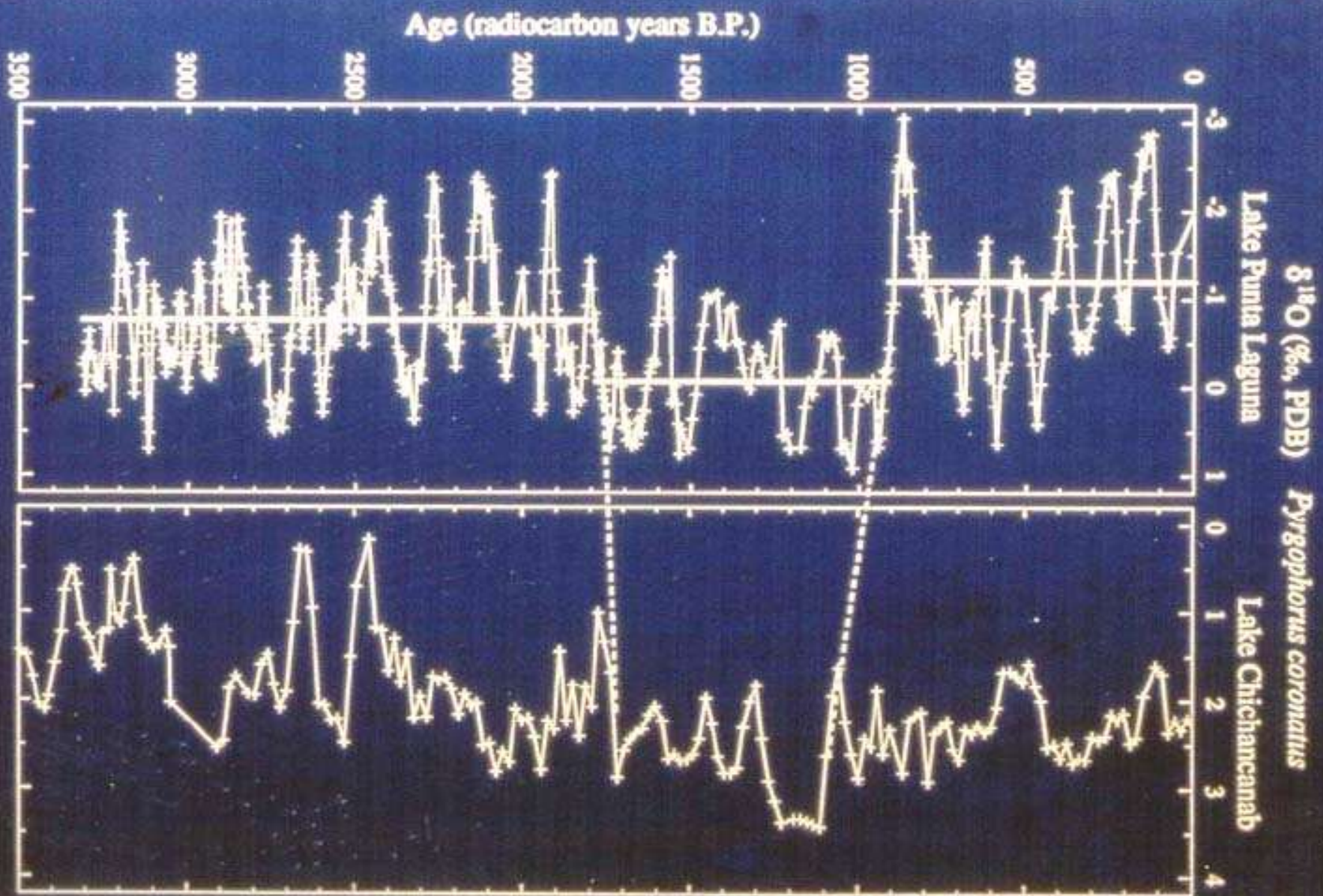


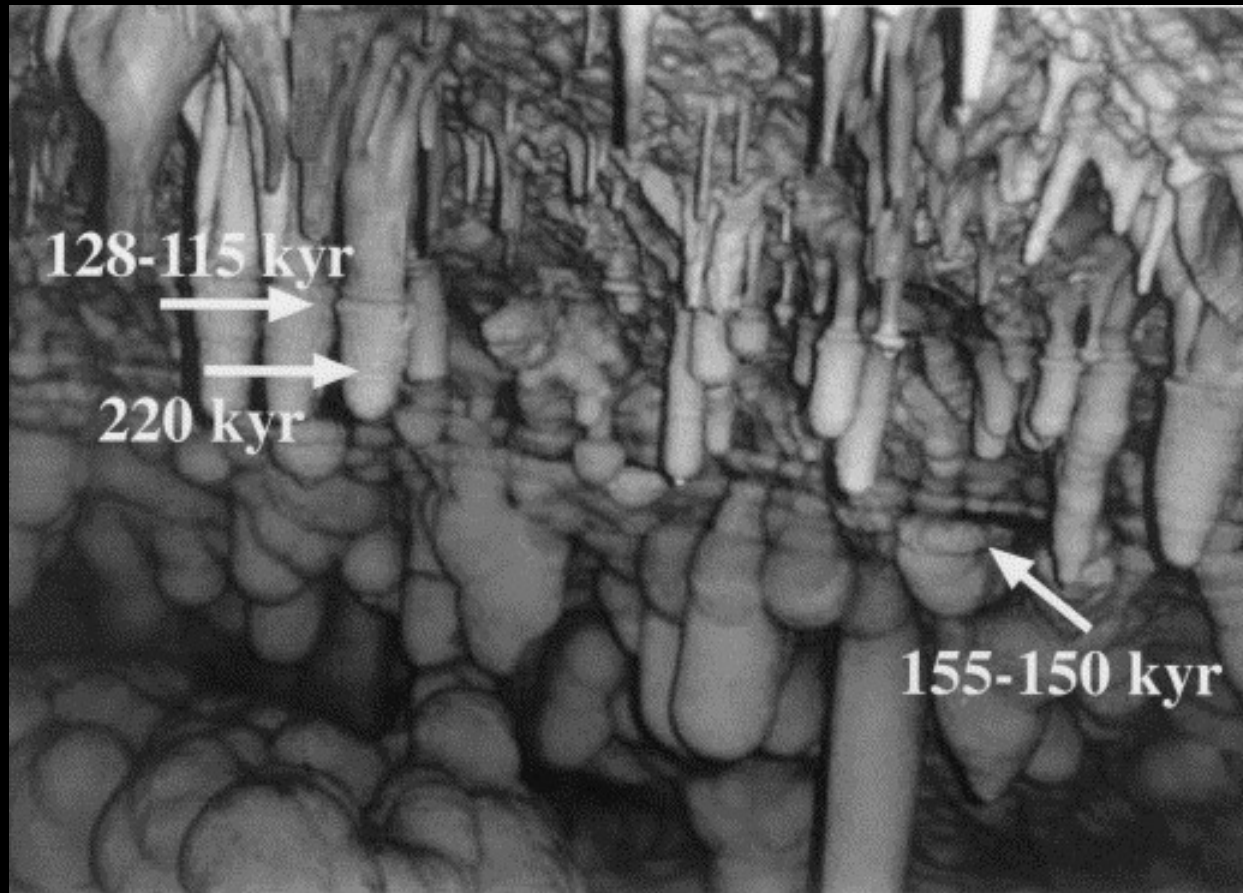


- ...σε κοράλια, οπότε μπορούν να συνδεθούν με μεταβολές της στάθμης της θάλασσας

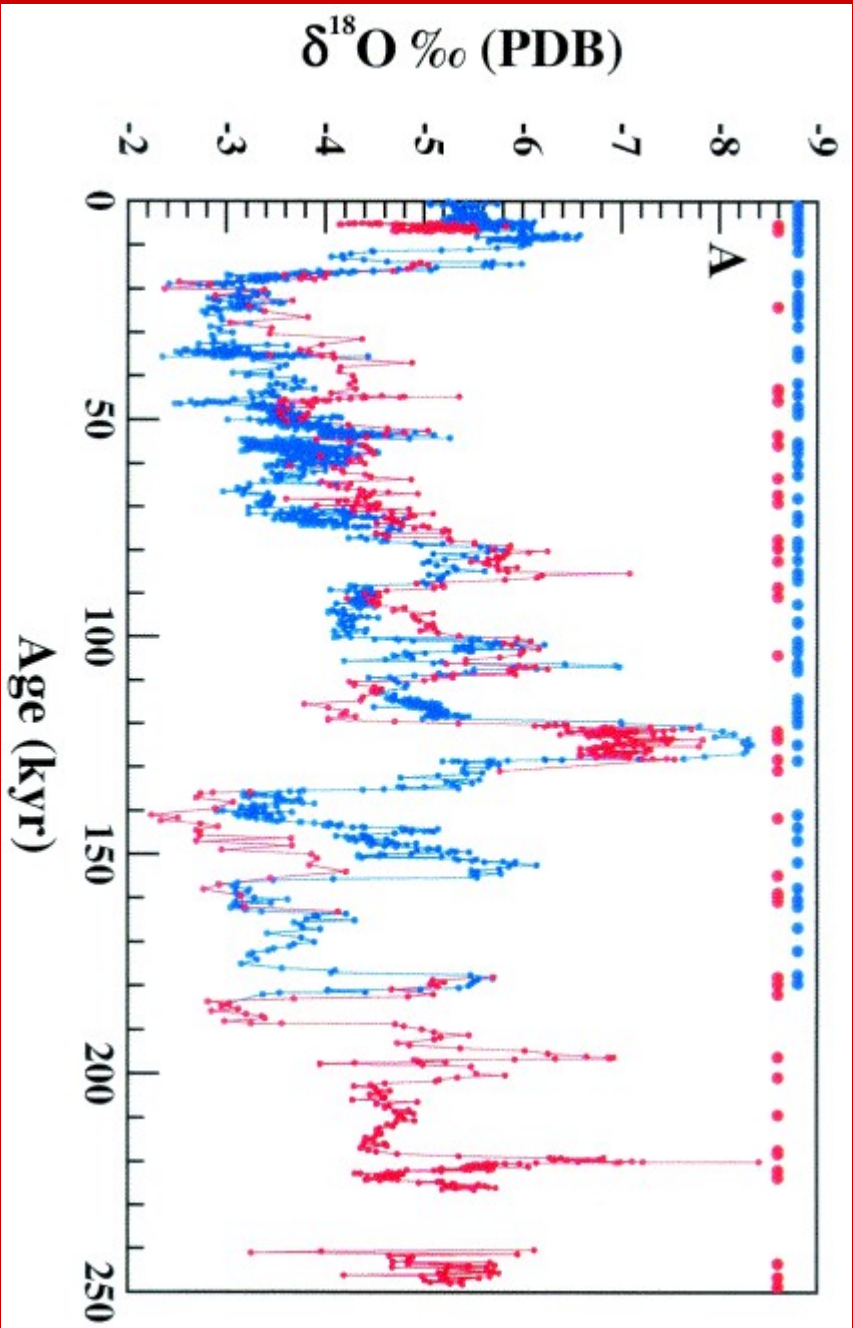


- ...σε **βενθικούς οργανισμούς** όπως γαστερόποδα και οστρακώδη που ζουν σε **λίμνες**, όποτε μπορούν να συνδεθούν με **κλιματικές διακυμάνσεις και μεταβολές της στάθμης των λιμνών**



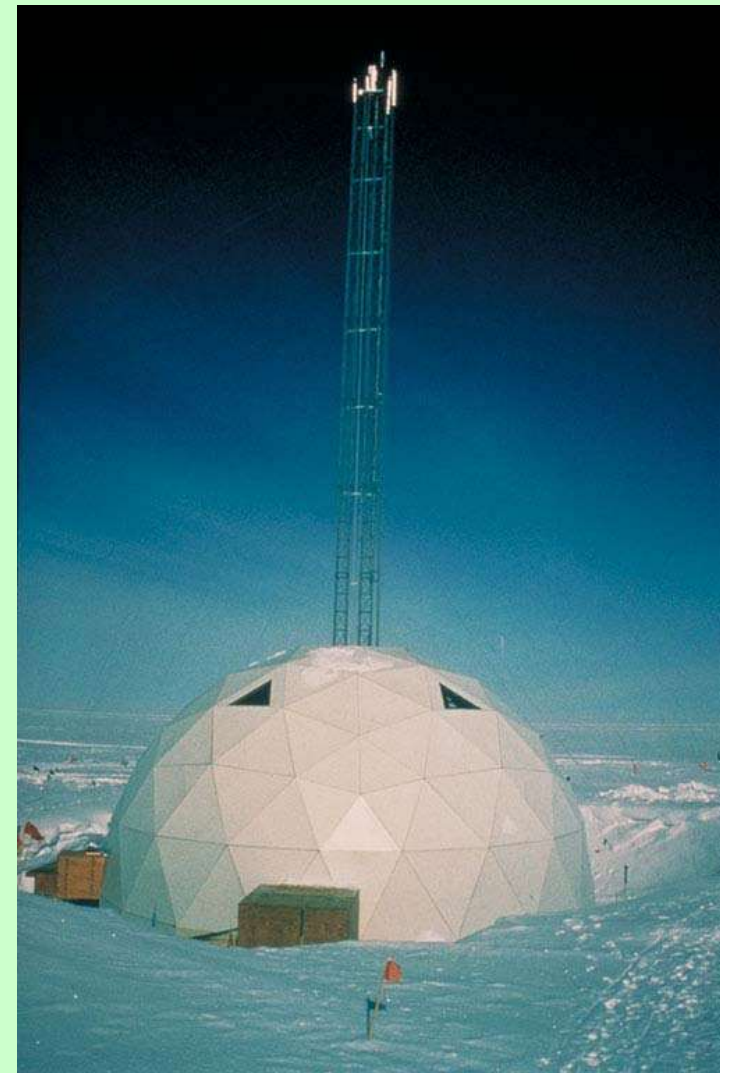
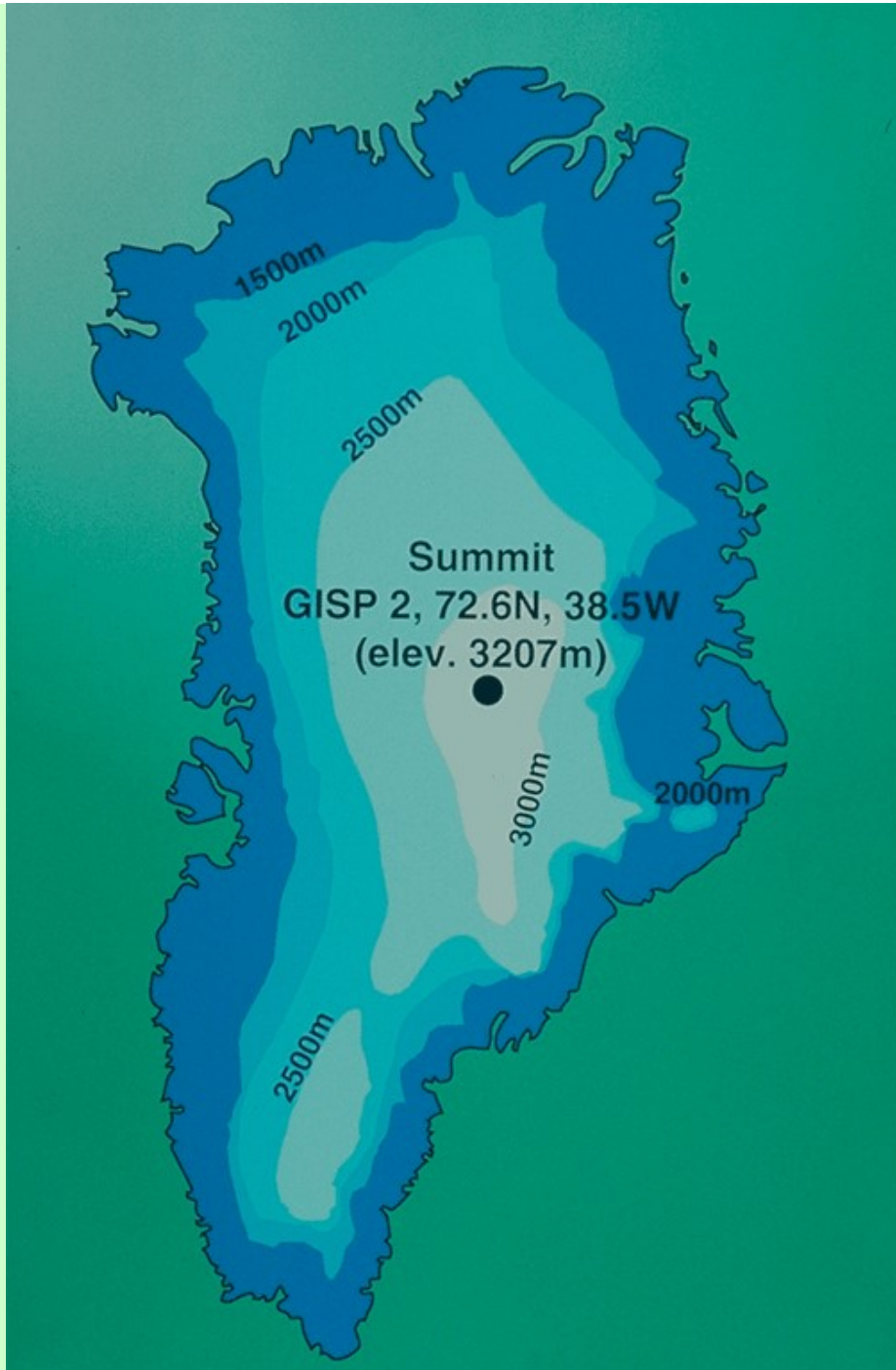


- ...σε **σπηλαιοθέματα** (σταλακτίτες, σταλαγμίτες) οπότε συνδέονται κυρίως με διακυμάνσεις των **βροχοπτώσεων και θερμοκρασίας**





- ...σε πυρήνες πάγου. Τα ακριβέστερα παλαιοκλιματικά δεδομένα

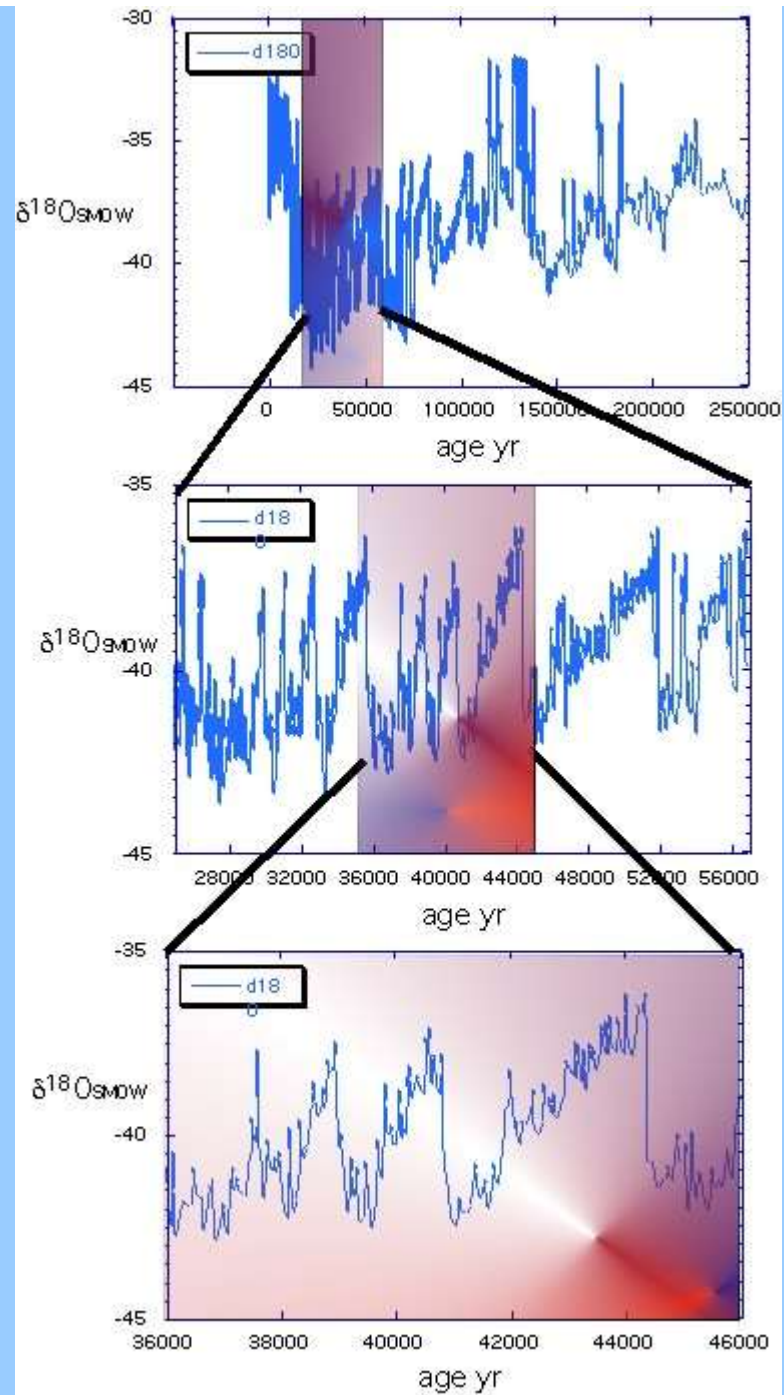


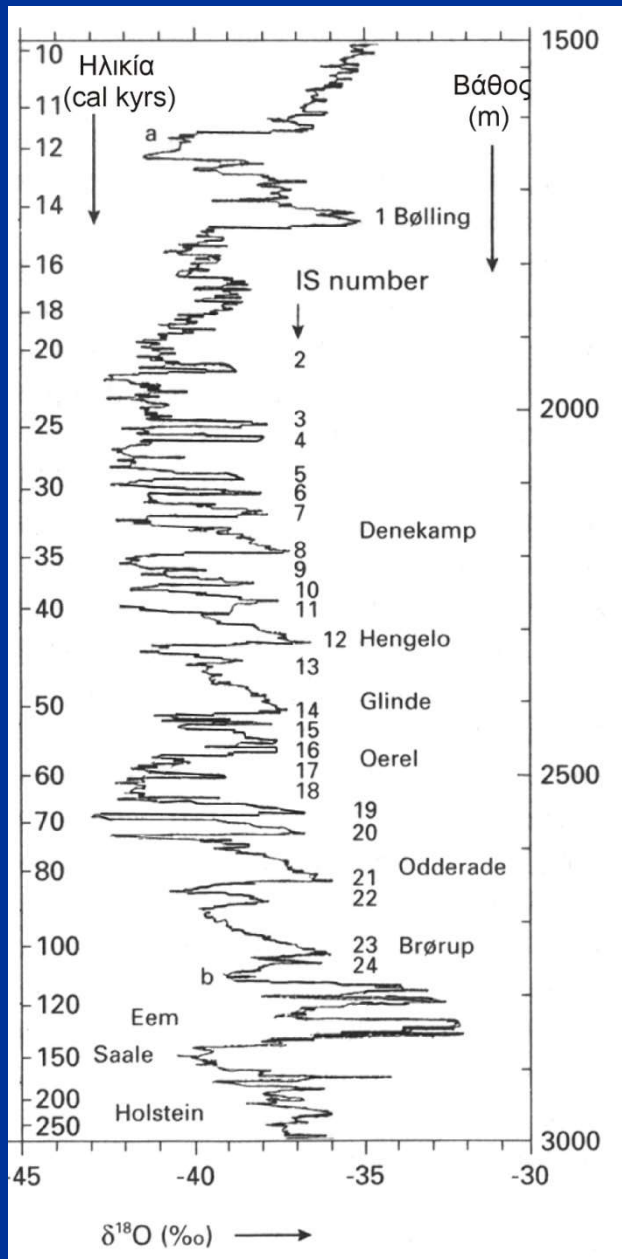




- ~3km

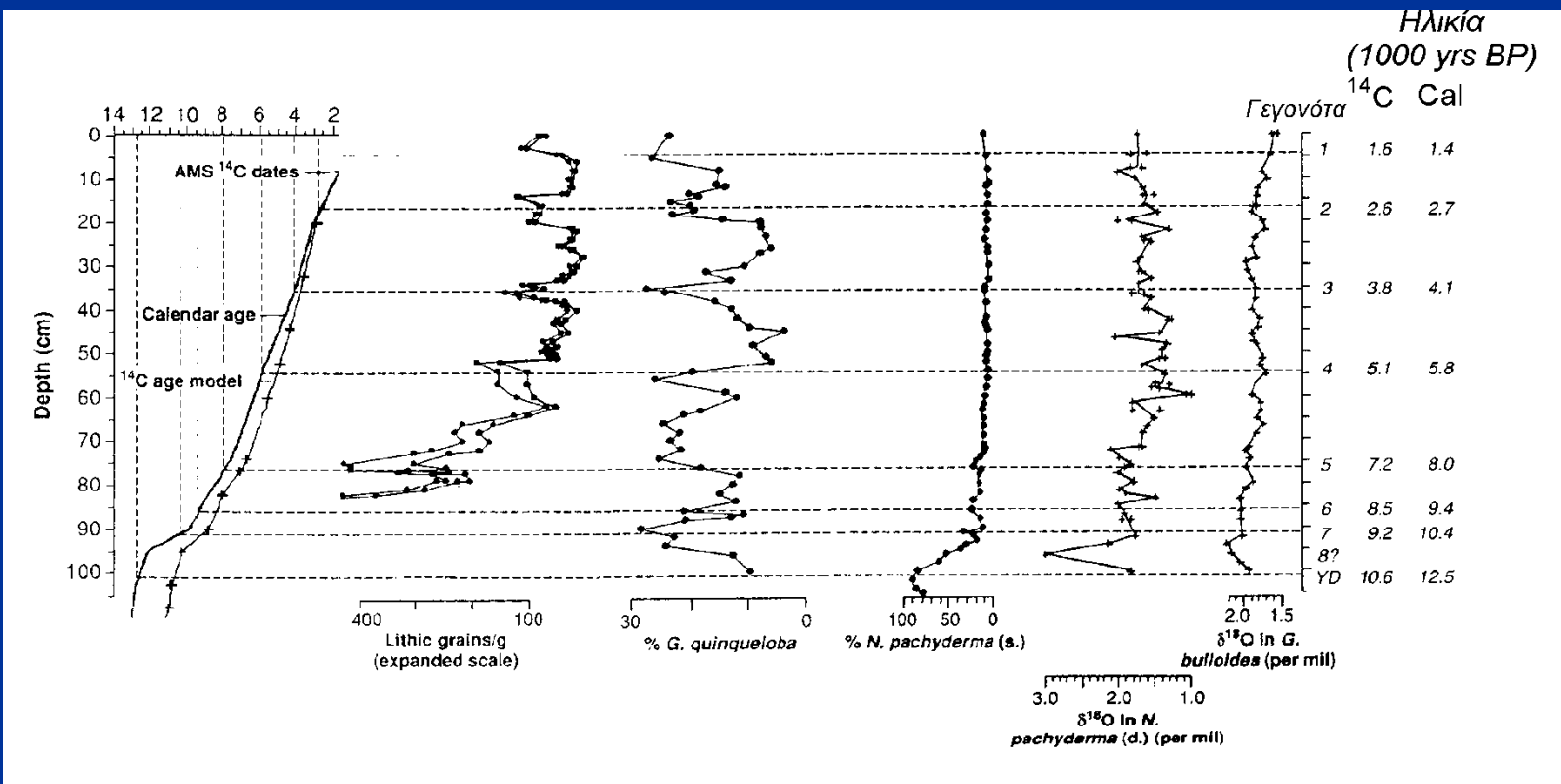
- 800 ka yr

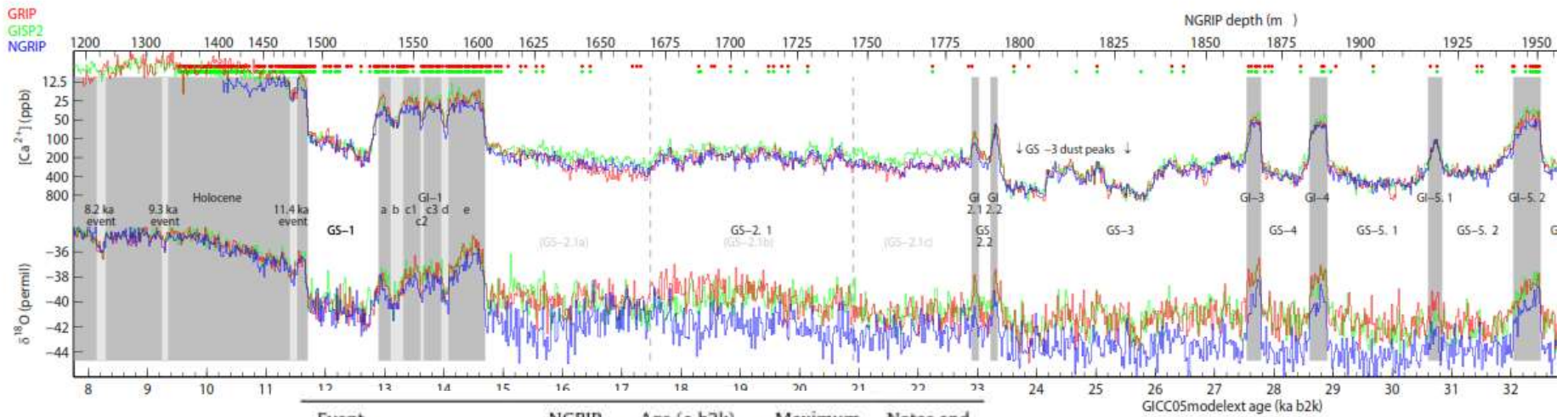




• Στους πυρήνες πάγου οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ κυμαίνονται μεταξύ -45 έως -30‰

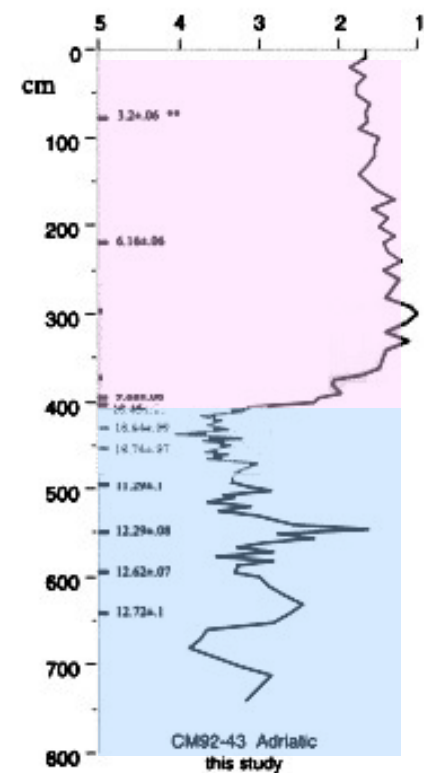
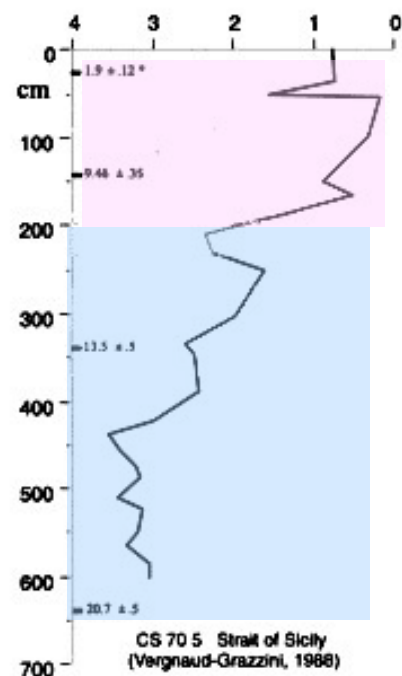
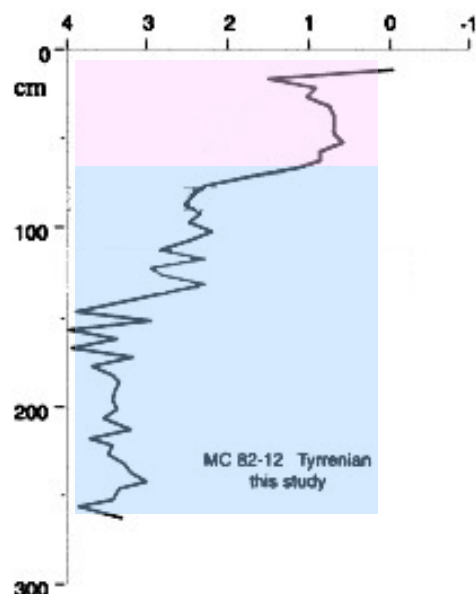
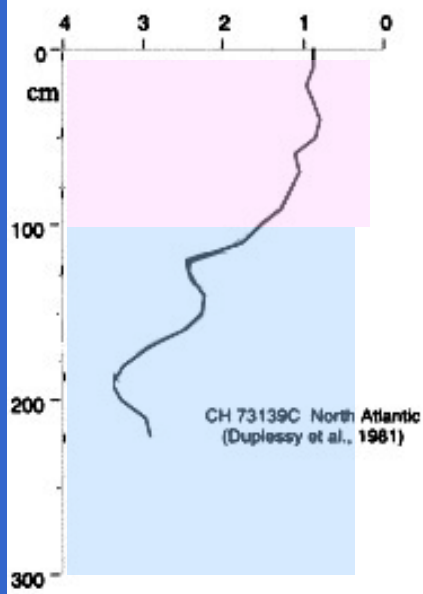
• Όσο πιο κοντά στην τιμή 0 τόσο πιο θερμό το κλίμα





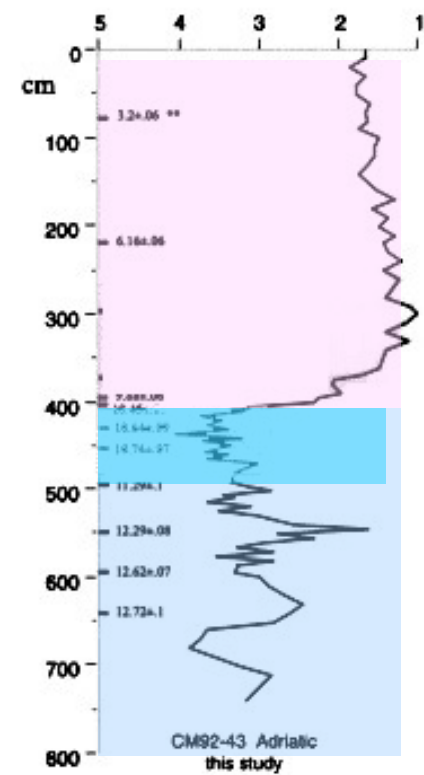
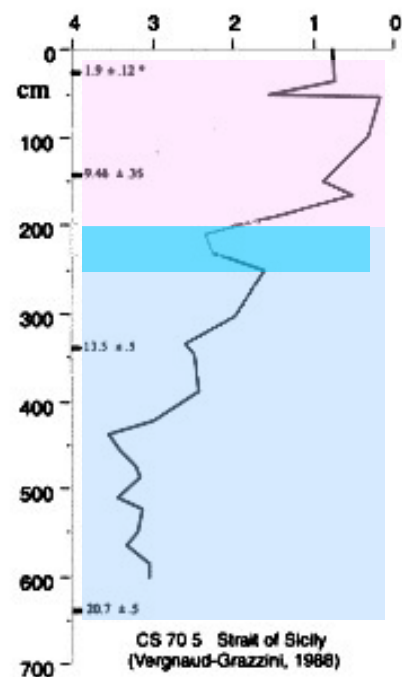
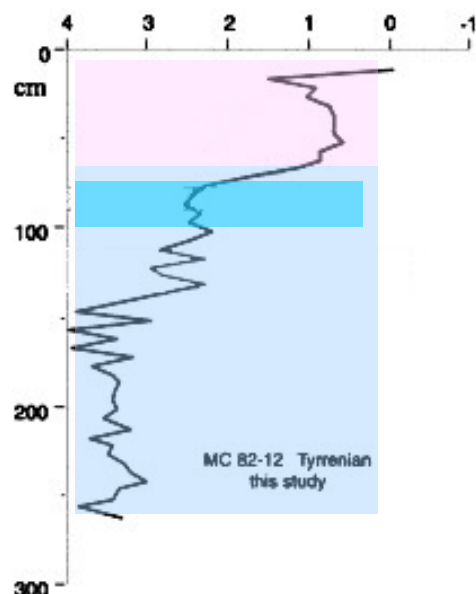
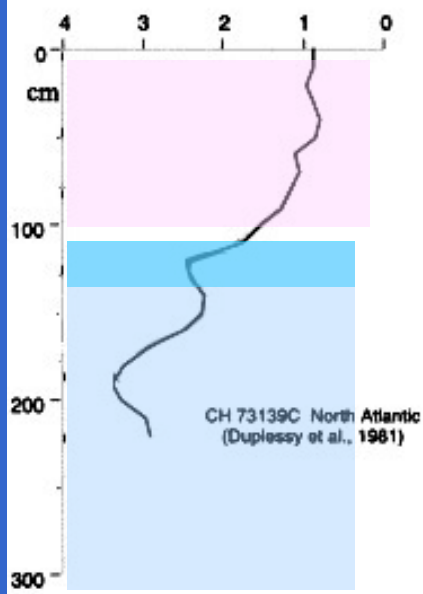
| Event | NGRIP depth (m) | Age (a b2k) and definition uncertainty | Maximum counting error (years) | Notes and comments |
|-----------------------------|-----------------|--|--------------------------------|--------------------|
| End of 8.2 ka BP event | 1219.47 | 8140 + 50/-10 | 45 | 1, 2 |
| Volcanic peak inside 8.2 ka | 1228.67 | 8236 ± 1 | 47 | 2, 3 |
| Start of 8.2 ka BP event | 1234.78 | 8300 + 10/-40 | 49 | 1, 2 |
| End of 9.3 ka BP event | 1322.88 | 9240 + 30/-10 | 68 | 1, 2 |
| Start of 9.3 ka BP event | 1331.65 | 9350 + 10/-20 | 70 | 1, 2 |
| End of 11.4 ka BP event | 1476.16 | 11,400 ^a | 96 | 13 |
| Start of 11.4 ka BP event | 1482.32 | 11,520 ^a | 97 | 13 |
| Start of Holocene | 1492.45 | 11,703 ± 4 | 99 | 3, 4, 5 |
| Start of GS-1 | 1526.52 | 12,896 ± 4 | 138 | 3, 5 |
| Start of GI-1a | 1534.5 | 13,099 ^b | 143 | 6 |
| Start of GI-1b | 1542.1 | 13,311 ^b | 149 | 6 |
| Start of GI-1c1 | 1554.75 | 13,600 ^b | 156 | 13 |
| Start of GI-1c2 | 1557.08 | 13,660 ^b | 158 | 13 |
| Start of GI-1c3 | 1570.5 | 13,954 ^a | 165 | 6 |
| Start of GI-1d | 1574.8 | 14,075 ^a | 169 | 3 |
| Start of GI-1e | 1604.64 | 14,692 ± 4 | 186 | 3, 5 |
| Start of GS-2.1a | 1669.09 | 17,480 ^c | 330 | 8, 13 |
| Start of GS-2.1b | 1745.31 | 20,900 ^c | 482 | 7, 8 |
| Start of GS-2.1c | 1783.62 | 22,900 ^a | 573 | 7, 8 |
| Start of GI-2.1 | 1786.28 | 23,020 ^a | 583 | 8, 13 |
| Start of GS-2.2 | 1790.26 | 23,220 ^a | 590 | 8, 13 |
| Start of GI-2.2 | 1793.19 | 23,340 ^a | 596 | 7, 8, 9 |
| Start of GS-3 | 1861.69 | 27,540 ^b | 822 | 7, 8 |
| Start of GI-3 | 1869.12 | 27,780 ^a | 832 | 7, 8, 9 |
| Start of GS-4 | 1882.62 | 28,600 ^a | 887 | 7, 8 |
| Start of GI-4 | 1891.57 | 28,900 ^a | 898 | 7, 8, 9 |
| Start of GS-5.1 | 1916.08 | 30,600 ^b | 1008 | 8, 13 |
| Start of GI-5.1 | 1920.56 | 30,840 ^b | 1024 | 8, 13 |

$\delta^{18}\text{O}$ (‰) *Globigerina bulloides*



• ^{14}C age (conventional)
 ** ^{14}C AMS age

$\delta^{18}\text{O}$ (‰) *Globigerina bulloides*



• ^{14}C age (conventional)
 ** ^{14}C AMS age