



Οικονομικά της Κλιματικής Αλλαγής

1. Κλιματική αλλαγή: είναι υπαρκτή;

Τι είναι;

- **Καιρός:** Η κατάσταση της ατμόσφαιρας, κυρίως σε σχέση με τις επιπτώσεις της στη ζωή και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ο καιρός διακρίνεται από το κλίμα γιατί είναι οι βραχυπρόθεσμες (λεπτά έως ημέρες) διακυμάνσεις στην ατμόσφαιρα. Γενικά, ο καιρός θεωρείται ως προς τη θερμοκρασία, την υγρασία, τις βροχοπτώσεις, τη συννεφιά, την ορατότητα και τον άνεμο.

- **Κλίμα:** Τα αργά μεταβαλλόμενα στοιχεία του επιφανειακού συστήματος ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας-γης.

Τυπικά χαρακτηρίζεται από κατάλληλους μέσους όρους του κλιματικού συστήματος για περιόδους ενός μήνα ή περισσότερο.

Το κλίμα είναι μια στατιστική περιγραφή του καιρού σε μια χρονική διάρκεια που συνήθως περιλαμβάνει μερικές δεκαετίες.

(το κλίμα είναι αυτό που περιμένεις και ο καιρός είναι αυτό που παίρνεις – Mark Twain)

- **Κλιματική αλλαγή:** Οποιαδήποτε συστηματική αλλαγή στα μακροπρόθεσμα στατιστικά στοιχεία των κλιματικών στοιχείων (όπως η θερμοκρασία, η πίεση ή οι άνεμοι) διατηρούμενα για αρκετές δεκαετίες ή περισσότερο.

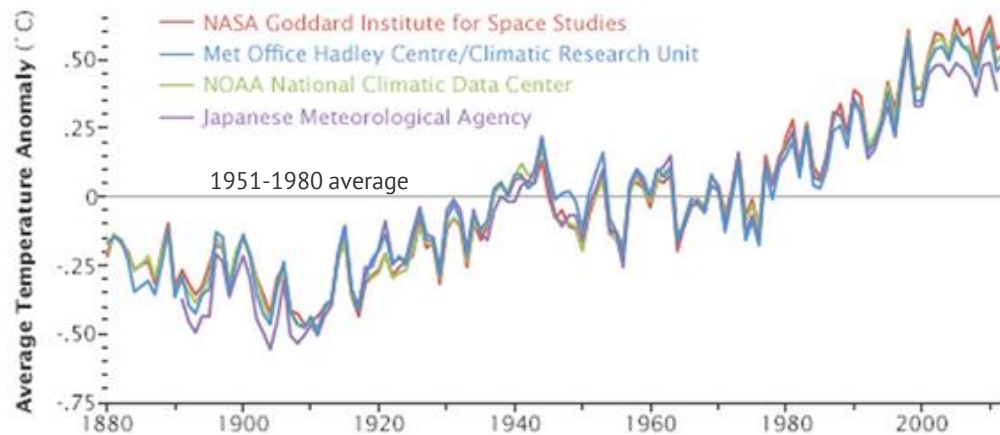
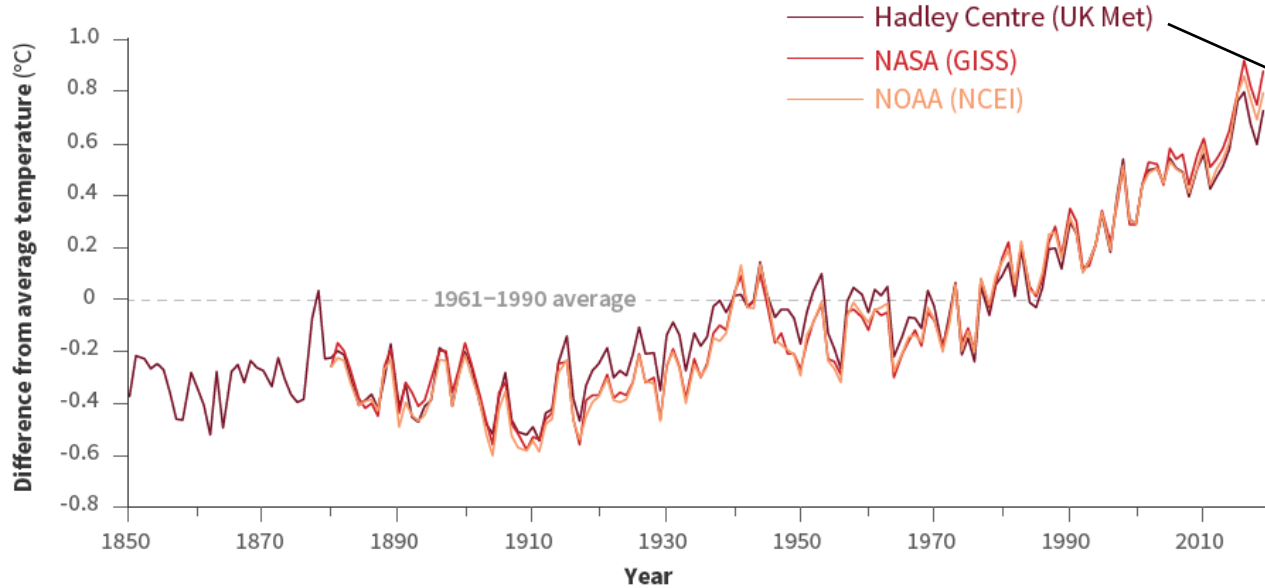
Η αλλαγή του κλίματος μπορεί να οφείλεται: α) σε φυσικές εξωτερικές δυνάμεις, όπως αλλαγές στην ηλιακή εκπομπή ή αργές αλλαγές στα τροχιακά στοιχεία της γης, β) σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες του κλιματικού συστήματος και γ) σε ανθρωπογενή εξαναγκασμός

Αλλάζει το κλίμα;

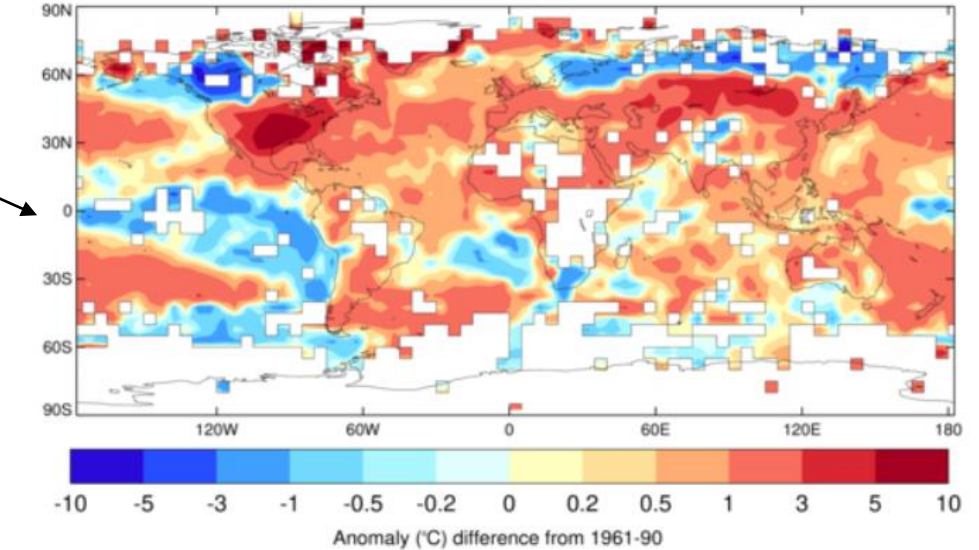
- Αλλάζει τώρα, το κλίμα της γης;
- Πως έχει αλλάξει στο παρελθόν;
- Πως μετρώ την κλιματική αλλαγή;
- Ποιες είναι οι κυριότερες ενδείξεις και πως διασταυρώνονται οι πηγές;
 - Θερμοκρασία
 - Πάγος
 - Θερμοκρασία των ωκεανών
 - Στάθμη της θάλασσας

Η θερμοκρασία της γης

Annual global surface temperature (1850–2019)

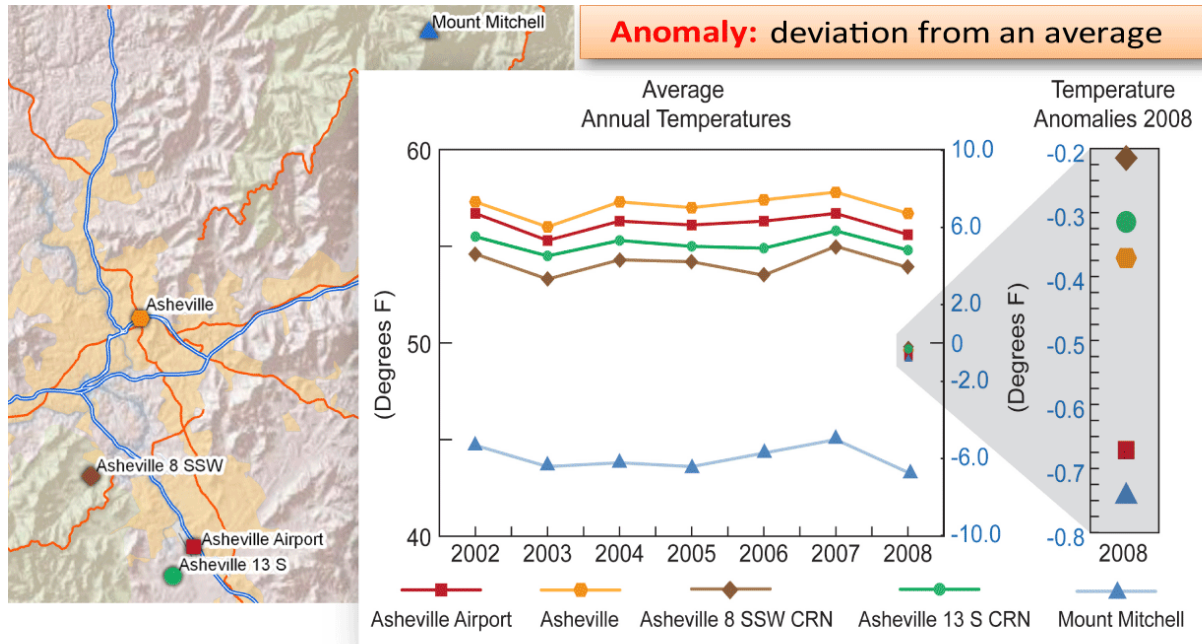


Surface Temperature Anomalies (°C, w.r.t. 1961-90)
2021 December



Πως υπολογίζεται η θερμοκρασία της γης; (με απλά λόγια)

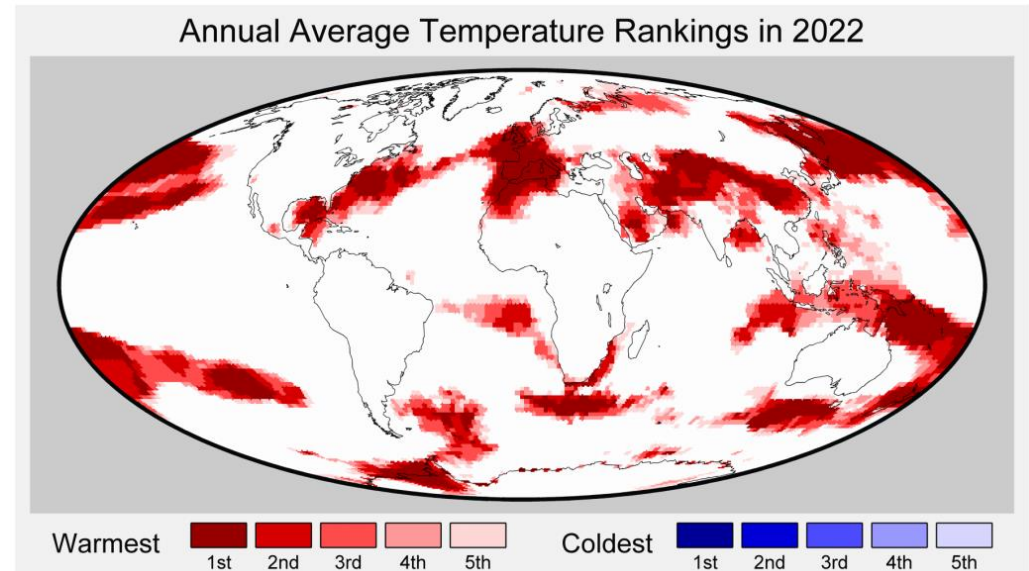
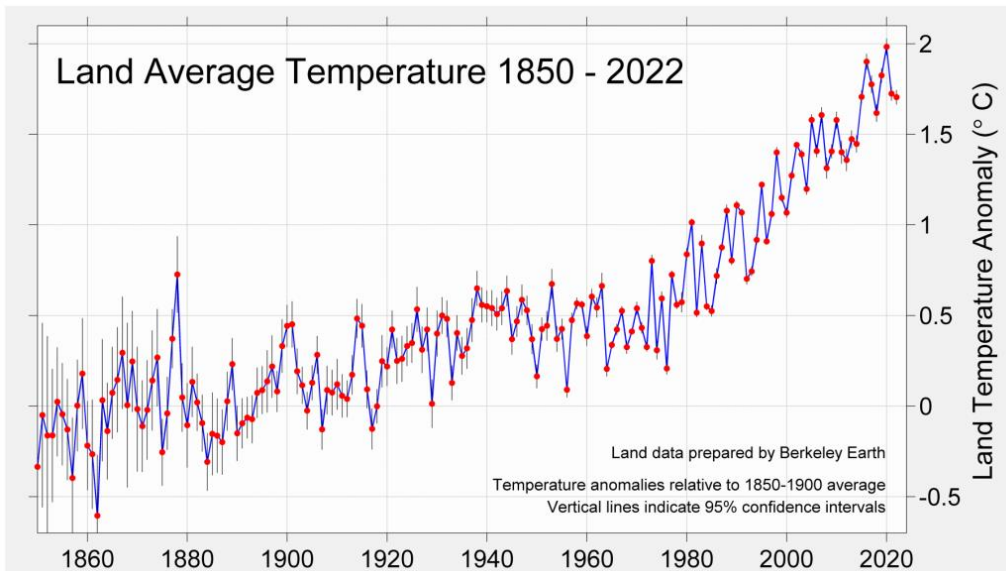
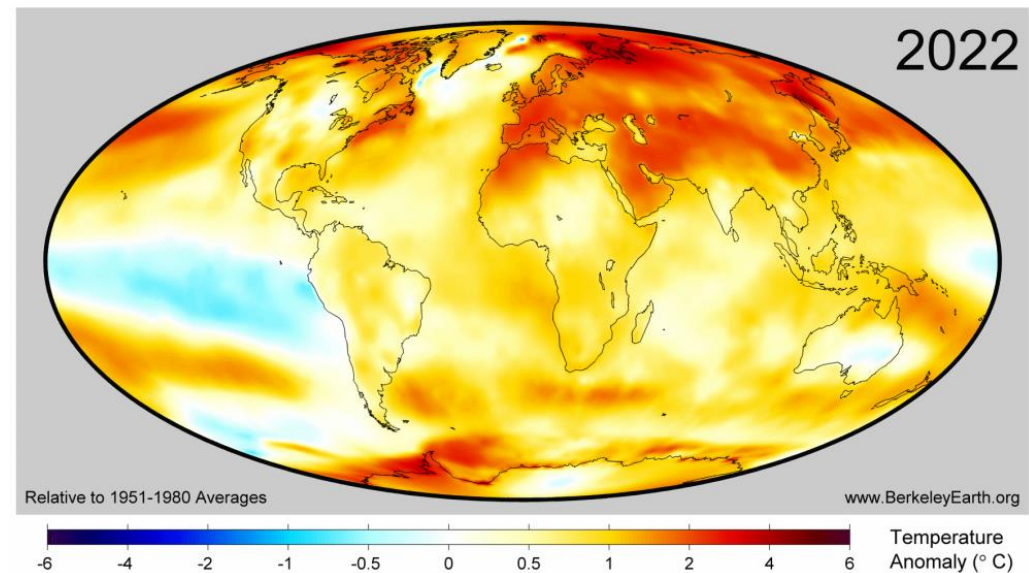
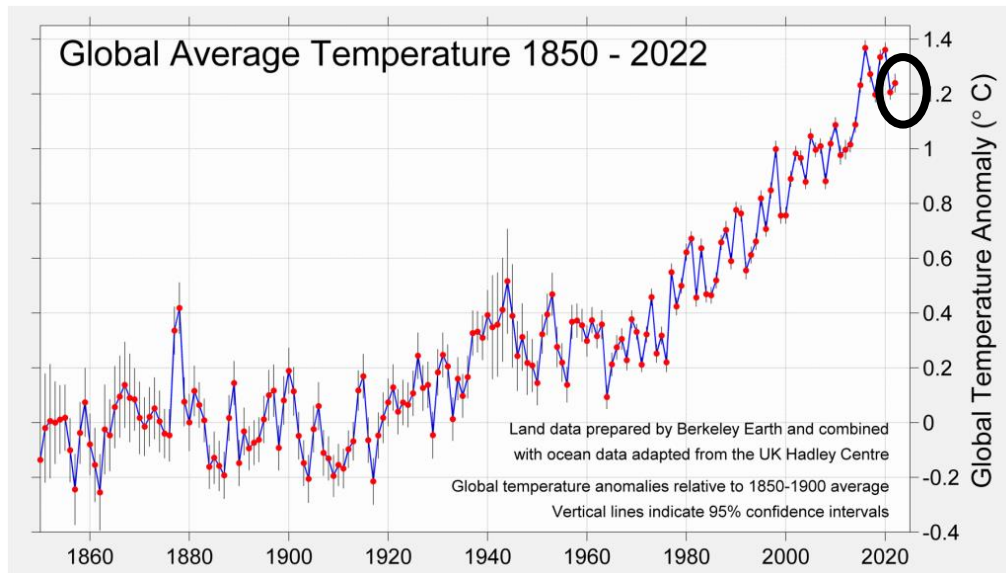
- Για κάθε σταθμό ξηράς ή ωκεανού υπολογίζονται οι ανωμαλίες στη θερμοκρασία. Το Hadley centre έχει περίπου 5.500, η NASA περίπου 6.300 και η NOAA περίπου 7.000 σταθμούς.
- Η γη χωρίζεται με πλέγμα σε κουτιά. Η NASA έχει «βήμα» $2^\circ \times 2^\circ$ και τα άλλα $5^\circ \times 5^\circ$.
- Υπολογίζεται η μέση θερμοκρασία για κάθε κουτί του πλέγματος συνδυάζοντας δεδομένα από όλους τους διαθέσιμους σταθμούς στο πλέγμα.
- Συνδυάζοντας τα κουτιά του πλέγματος, οι επιστήμονες με υποδείγματα (μοντέλα) υπολογίζουν τις μέσες θερμοκρασίες για το βόρειο και το νότιο ημισφαίριο.
- Ωστόσο, δεν είναι τόσο απλό όσο η πρόσθεση των δύο αριθμών μαζί. Για να αποφύγουν το καλύτερο δείγμα βόρειου ημισφαιρίου να κυριαρχήσει στο ρεκόρ θερμοκρασίας, οι επιστήμονες λαμβάνουν τον μέσο όρο των δύο ημισφαιρικών τιμών.
- Τα τέσσερα σύνολα δεδομένων διαφέρουν και στην χρονική περίοδο που καλύπτουν. Το HadCrut4 εκτείνεται μέχρι το 1850. Το GISTEMP και το MLOST ξεκινούν και τα δύο το 1880, ενώ το JMA ξεκινά λίγο αργότερα το 1891.



Θερμοκρασιακές ανωμαλίες ή απόλυτες τιμές;

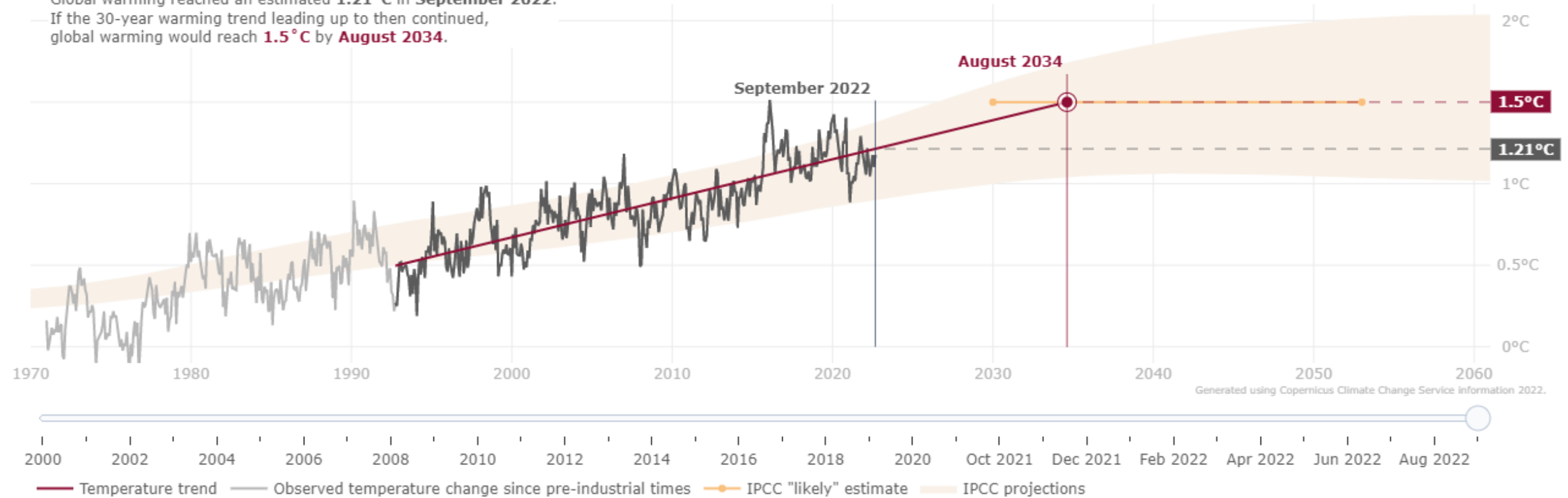
- Για την κλιματική αλλαγή, οι ανωμαλίες θερμοκρασίας είναι πιο σημαντικές από την απόλυτη θερμοκρασία.
- Μια ανωμαλία θερμοκρασίας είναι η διαφορά από μια μέση, ή βασική, θερμοκρασία που υπολογίζεται τυπικά με μέσο όρο δεδομένων θερμοκρασίας 30 ή περισσότερων ετών.
- Γιατί υπολογίζουμε ανωμαλίες;
 - Κατά τον υπολογισμό του μέσου όρου των απόλυτων θερμοκρασιών, πράγματα όπως η τοποθεσία του σταθμού ή το υψόμετρο θα επηρεάσουν τα δεδομένα. Για παράδειγμα, τα υψηλότερα υψόμετρα τείνουν να είναι πιο ψυχρά από τα χαμηλότερα υψόμετρα και οι αστικές περιοχές τείνουν να είναι θερμότερες από τις αγροτικές περιοχές. Ενώ με τις ανωμαλίες, ένας καλοκαιρινός μήνας σε μια περιοχή μπορεί να είναι πιο δροσερός από τον μέσο όρο, τόσο στην κορυφή ενός βουνού όσο και σε μια κοντινή κοιλάδα.
 - Η χρήση ανωμαλιών βοηθά επίσης στην ελαχιστοποίηση προβλημάτων όταν προστίθενται, αφαιρούνται ή λείπουν σταθμοί από το δίκτυο παρακολούθησης.

Η μέση θερμοκρασία της γης αυξάνεται



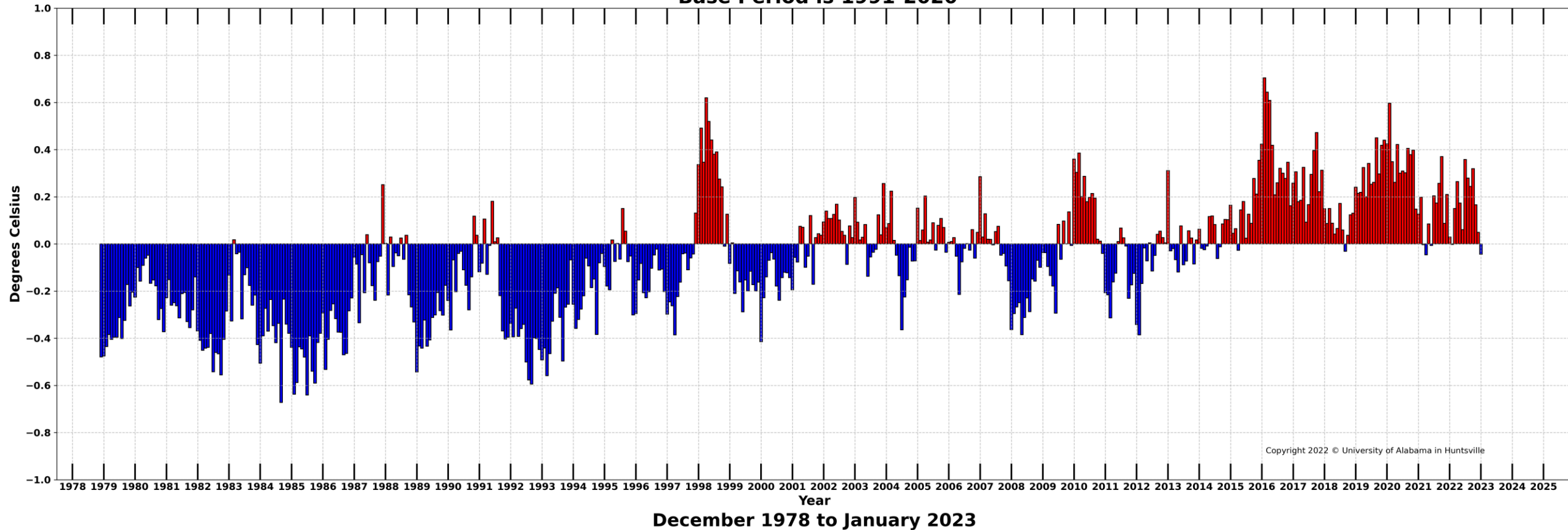
Έχει σημασία να παρακολουθούμε την μέση θερμοκρασία της γης;

Global warming reached an estimated **1.21°C** in **September 2022**.
If the 30-year warming trend leading up to then continued,
global warming would reach **1.5°C** by **August 2034**.



Η μέση θερμοκρασία της γης αυξάνεται και από δορυφορικές παρατηρήσεις

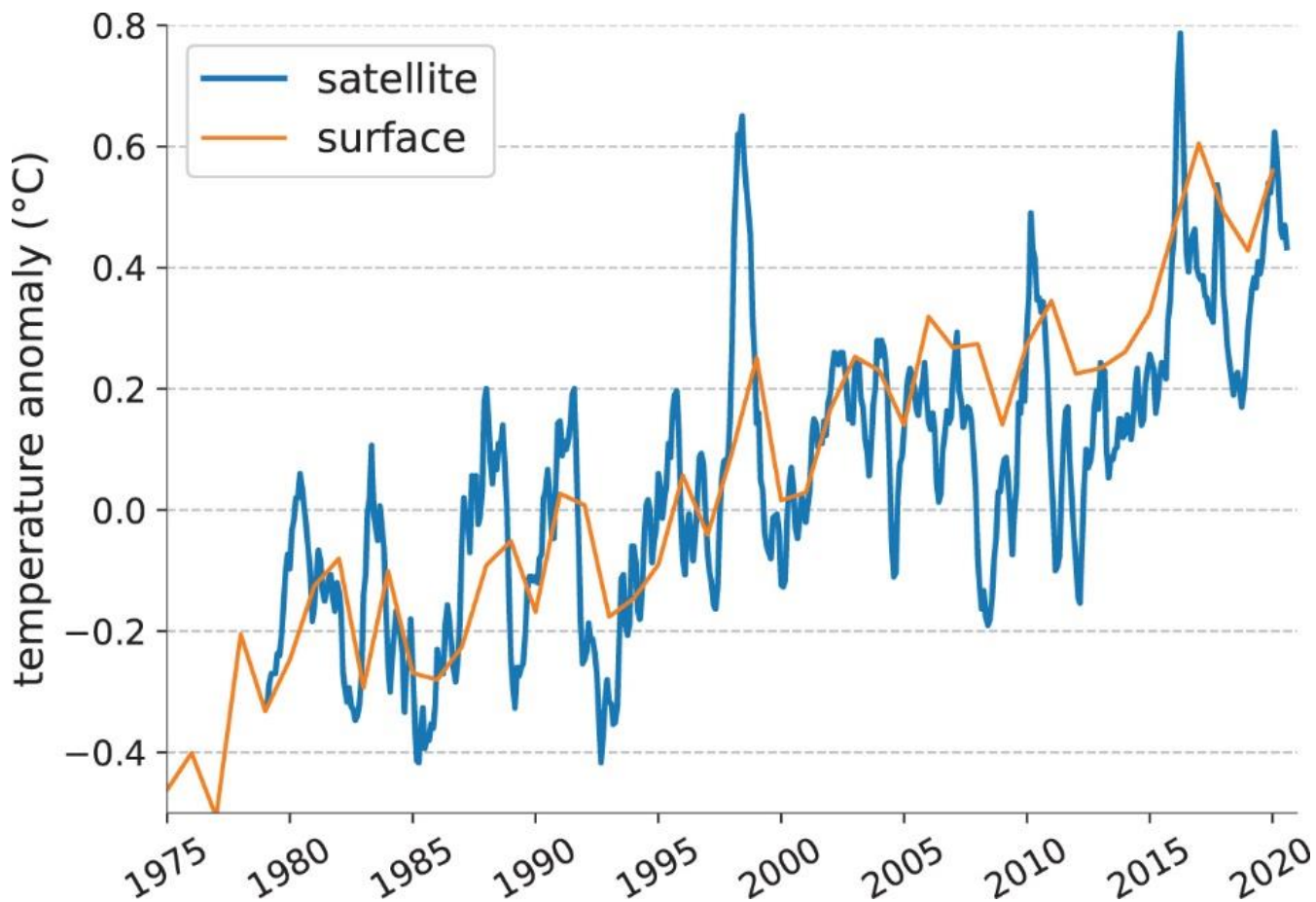
Monthly Global Lower Troposphere v6.0 Anomaly
Base Period is 1991-2020



Τα δεδομένα από δορυφόρους δείχνουν μια άνοδο της μέσης θερμοκρασίας σχετικά με την περίοδο αναφοράς ίση με περίπου 0.13°C την δεκαετία ή 1.3°C τον αιώνα.

Αυτά τα δεδομένα έχουν επίσης κάποια προβλήματα διότι: α) δεν μετρούν θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης αλλά στα πρώτα 8 Km, β) οι γεω-στατικοί δορυφόροι παρουσιάζουν σταδιακή απώλεια της θέσης τους (orbital drift) και γ) βαθμονόμηση των δορυφορικών οργάνων

Η συμφωνία επίγειων και δορυφορικών παρατηρήσεων για την άνοδο της θερμοκρασίας της γης



Στο διάγραμμα φαίνεται η εξαιρετική συμφωνία των δύο πηγών μετρήσεων της θερμοκρασίας.

Η συμφωνία αυτή μας σιγουρεύει ότι οι ανεξάρτητες από γη και δορυφόρο που είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη δείχνου άνοδο των ανωμαλιών θερμοκρασίας.

Στο διάγραμμα αυτό η εξέταση των ανωμαλιών είναι ως προς τον μέσο όρο της τριακονταετίας 1981-2010.

Πάγος – είδη πάγου



Επάνω: Ο παγετώνας Spencer στην Αλάσκα.

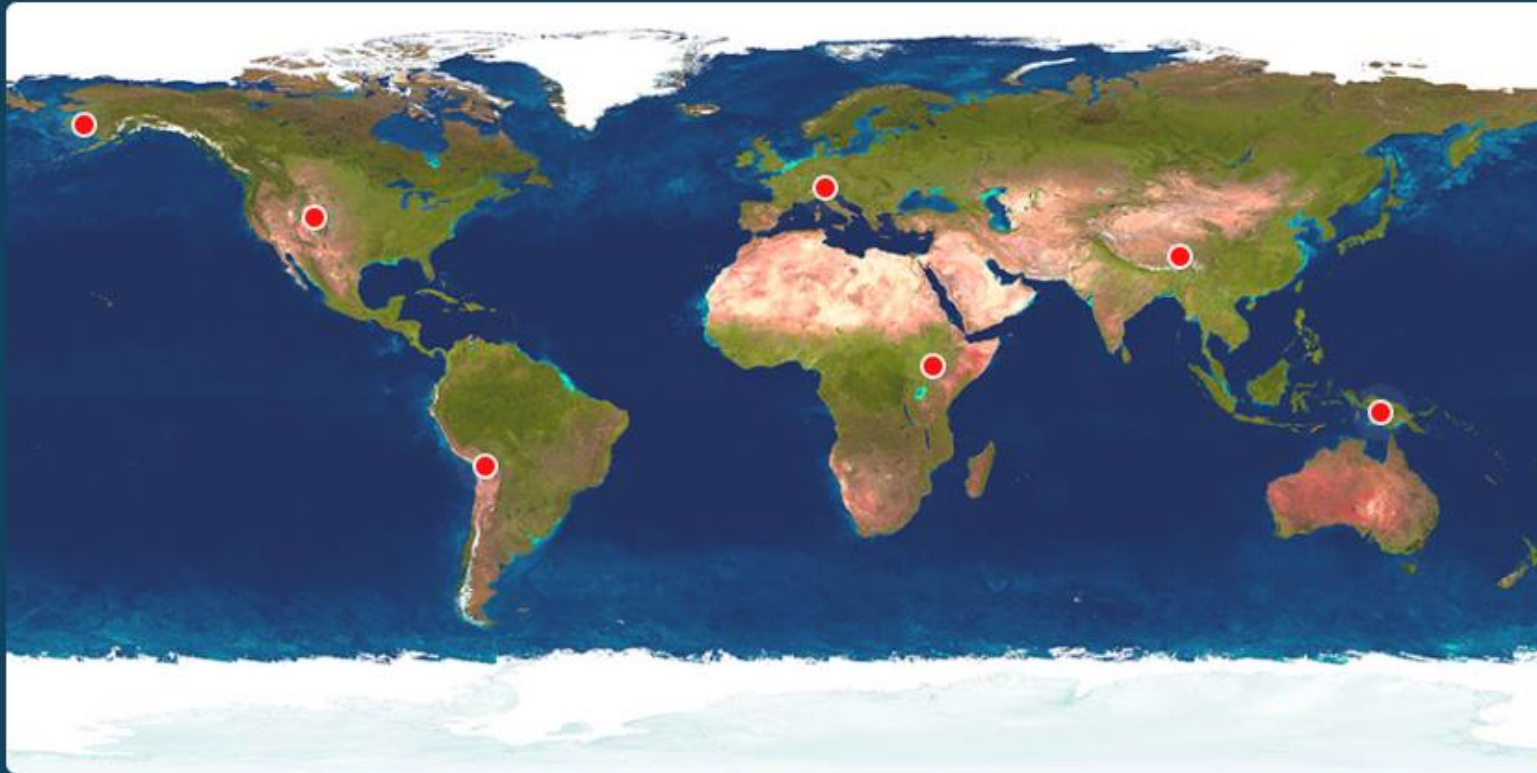


Επάνω: Η παγοησίδα Ross Ice Shelf είναι η μεγαλύτερη της Ανταρκτικής με 372 μίλια μήκος και ύψος 50-160 πόδια (περίπου 15-50 μέτρα) από την επιφάνεια του νερού.



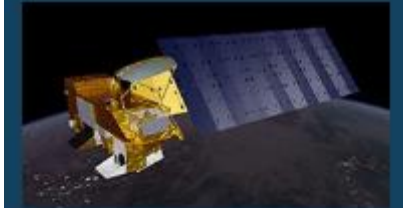
Εάν η θερμοκρασία της γης αυξάνεται, θα πρέπει να επηρεάζει την κατάσταση των διαφόρων μορφών του πάγου στη γη ο οποίος λιώνει στους 0°C.

Μειώνεται ο παγκόσμιος πάγος;



↓ **400 billion tons** - approximate total glacier loss per year since 1994¹

Ο δορυφόρος Terra έχει 5 συστήματα τηλε-αισθητήρων εκ των οποίων ο ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) και ο MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) παρατηρούν ορατό πάγο. Ο δορυφόρος Landsat-7 επίσης παρέχει εικόνες των σημαντικών παγετώνων.



ASTER and MODIS (on Terra)

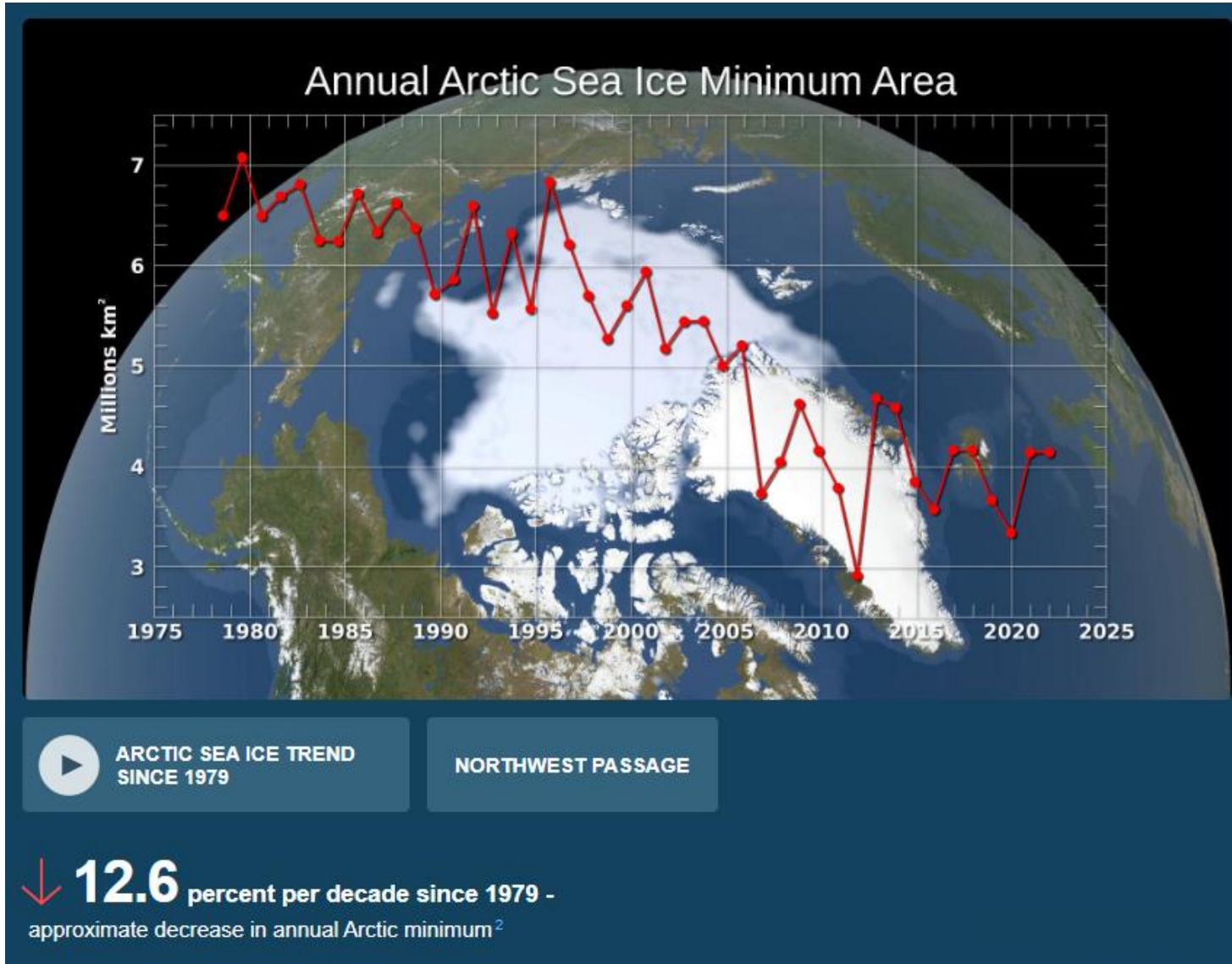
Observes visible ice.



Landsat-7

images glaciers from space

Η αρκτική θάλασσα και το βορειοδυτικό πέρασμα

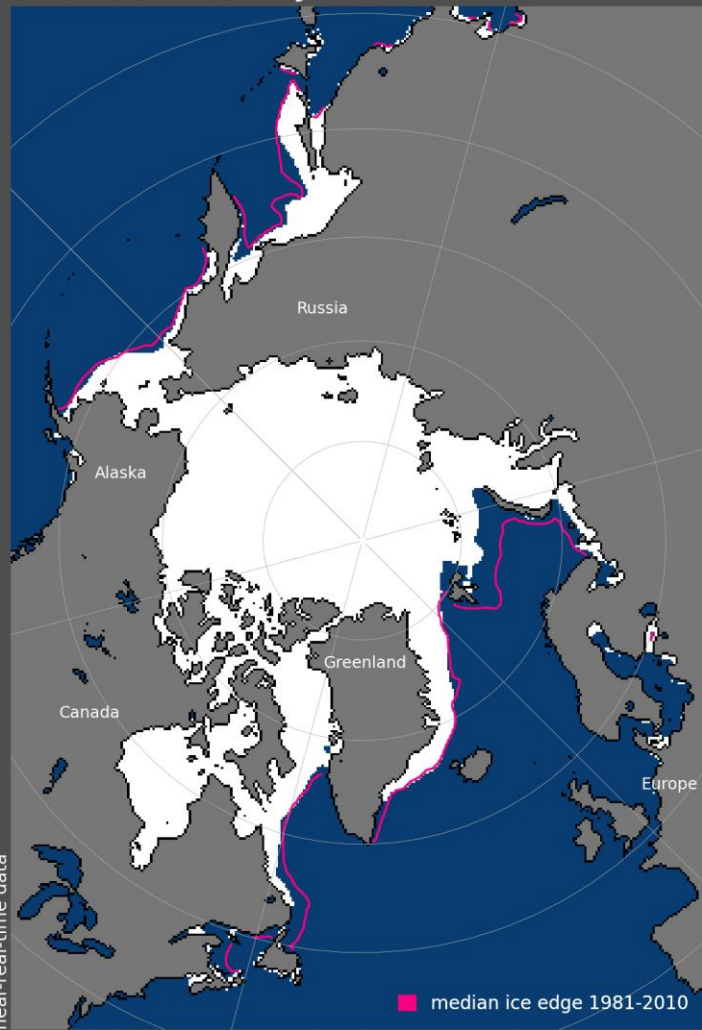


Βορειοδυτικό Πέρασμα (Northwest Passage)

Το Βορειοδυτικό Πέρασμα είναι μια θαλάσσια διαδρομή μέσω του Αρκτικού Ωκεανού βόρεια του Καναδά που συνδέει τον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό Ωκεανό. Στο παρελθόν, ο παγετώνας στην Αρκτική θάλασσα εμπόδιζε την εμπορική ναυτιλία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά η κλιματική αλλαγή μειώνει τον παγετώνα και κάνει την διαδρομή αυτή δυνατή χωρίς υποστήριξη παγοθραυστικού. Τον Αύγουστο του 2007, τα πλοία μπόρεσαν να διασχίσουν το Βορειοδυτικό Πέρασμα χωρίς να χρειάζονται παγοθραυστικό, κατά τη χρονική περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου. Η δυνατότητα πλεύσης μέσα από το πέρασμα κόβει χιλιάδες μίλια από τις ναυτιλιακές διαδρομές.

Πάγος στην αρκτική θάλασσα

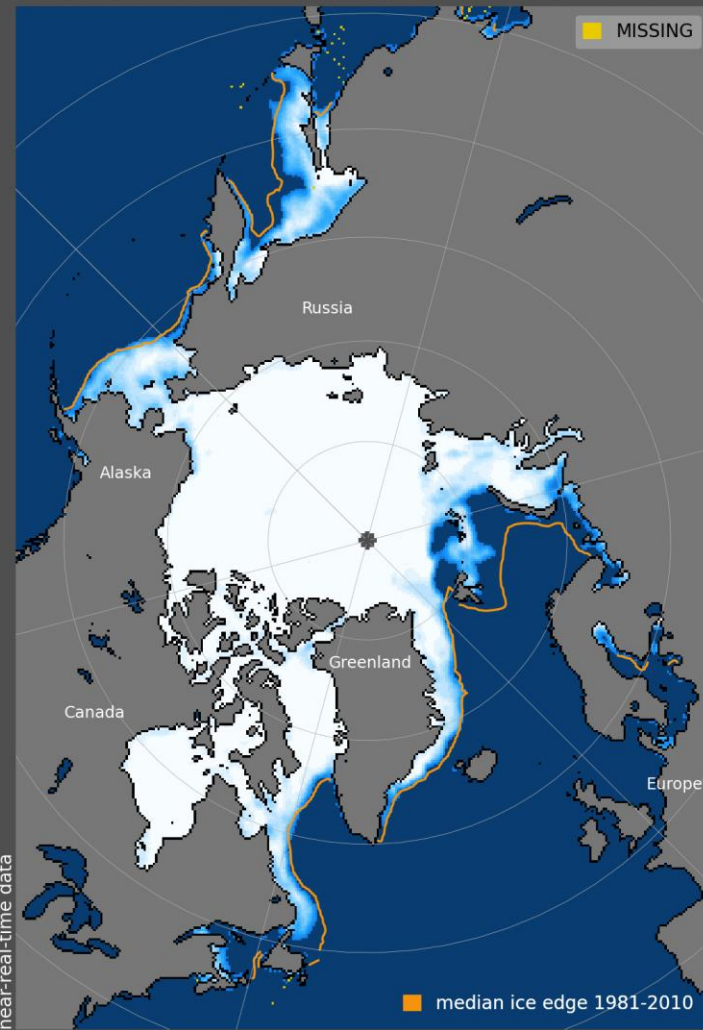
Sea Ice Extent, Jan 2023



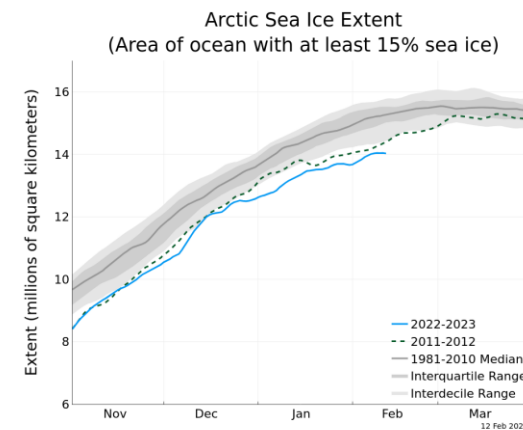
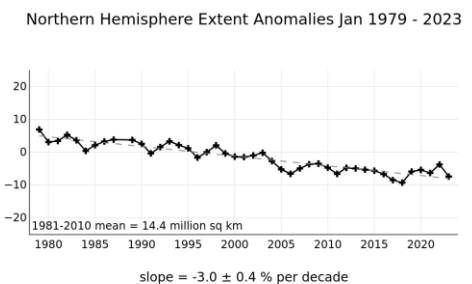
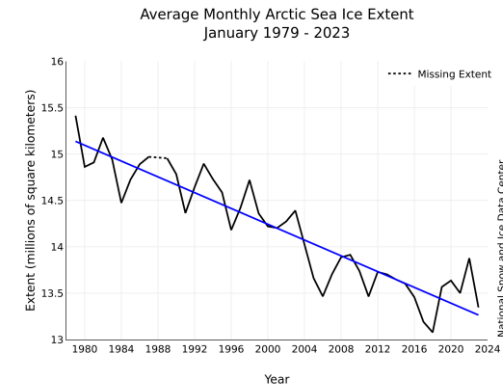
Total extent = 13.3 million sq km

National Snow and Ice Data Center, University of Colorado Boulder

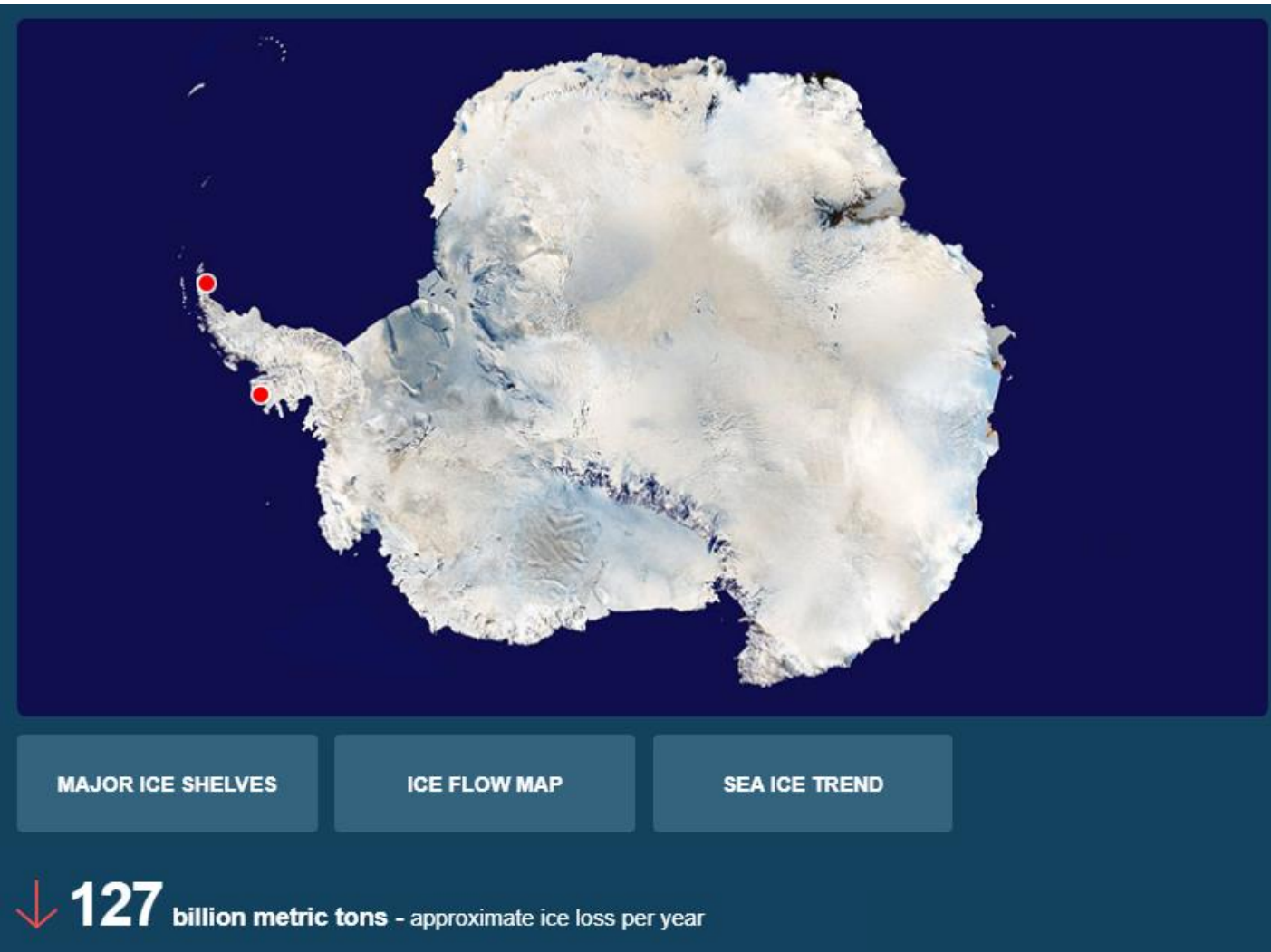
Sea Ice Concentration, 12 Feb 2023



National Snow and Ice Data Center, University of Colorado Boulder



Η Ανταρκτική



Το 44% της ακτογραμμής της Ανταρκτικής αποτελείται από σχηματισμούς πάγου - χοντρές πλάκες πάγου (ice shelves) που συνδέονται με την ακτή και εκτείνονται πάνω από τον ωκεανό. Αυτά κυμαίνονται σε πάχος από περίπου 200-2,500 μέτρα και μπορούν να διατηρηθούν για χιλιάδες χρόνια. Στην άκρη τους προς τη θάλασσα, γεννούν περιοδικά παγόβουνα, μερικά στο μέγεθος μιας μικρής πολιτείας των ΗΠΑ. Επειδή εκτίθενται τόσο στον θερμαινόμενο αέρα πάνω όσο και στον θερμαινόμενο αέρα από κάτω, οι σχηματισμοί αυτοί ανταποκρίνονται πιο γρήγορα από τα φύλλα πάγου (ice sheets – τεράστιοι παγετώνες) ή τους παγετώνες (glaciers) στην άνοδο της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες που εκτείνονται σε αρκετές δεκαετίες, τα ράφια πάγου αραιώνουν με ταχύτερο ρυθμό λόγω του θερμότερου νερού των ωκεανών.

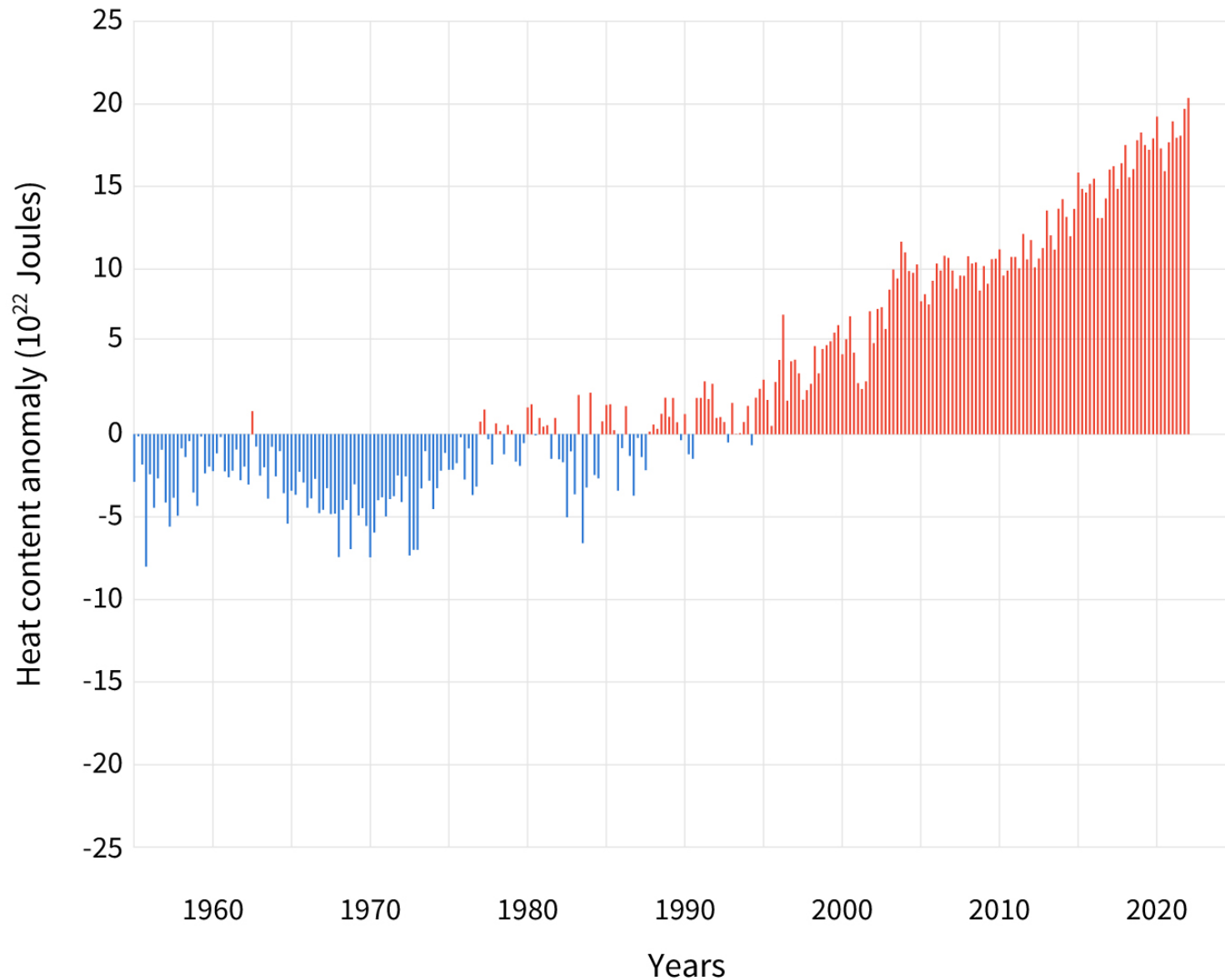
Οι πληροφορίες είναι από την ιστοσελίδα της NASA για την κλιματική αλλαγή
<https://climate.nasa.gov/interactives/global-ice-viewer/#/4/about/1318>

Μόνιμα παγωμένο υπέδαφος - Permafrost

Το μόνιμα παγωμένο υπέδαφος (permafrost) είναι κάθε είδος εδάφους - από σαθρό ιζηματογενές μέχρι βράχο - που έχει παγώσει συνεχώς για τουλάχιστον δύο χρόνια έως και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Μπορεί να εκτείνεται κάτω από την επιφάνεια της γης από λίγα μέτρα έως περισσότερο από ένα χιλιόμετρο καλύπτοντας ολόκληρες περιοχές, όπως η Αρκτική τούνδρα, ή ένα μεμονωμένο, απομονωμένο σημείο, όπως μια κορυφή βουνού. Το Permafrost λειτουργεί σαν καπάκι, κλειδώνοντας τις παγωμένες εναποθέσεις άνθρακα βαθιά κάτω από το έδαφος. Το ανώτερο στρώμα του permafrost ξεπαγώνει και ξαναπαγώνει φυσικά κάθε χρόνο. Καθώς ο άνθρακας ξεπαγώνει, τα μικρόβια τον αποδομούν - μια διαδικασία που απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Καθώς οι ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες αυξάνονται η θερμότητα διεισδύει βαθύτερα στο έδαφος και οδηγεί σε περισσότερη απόψυξη του μόνιμου παγετού και περισσότερο άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.



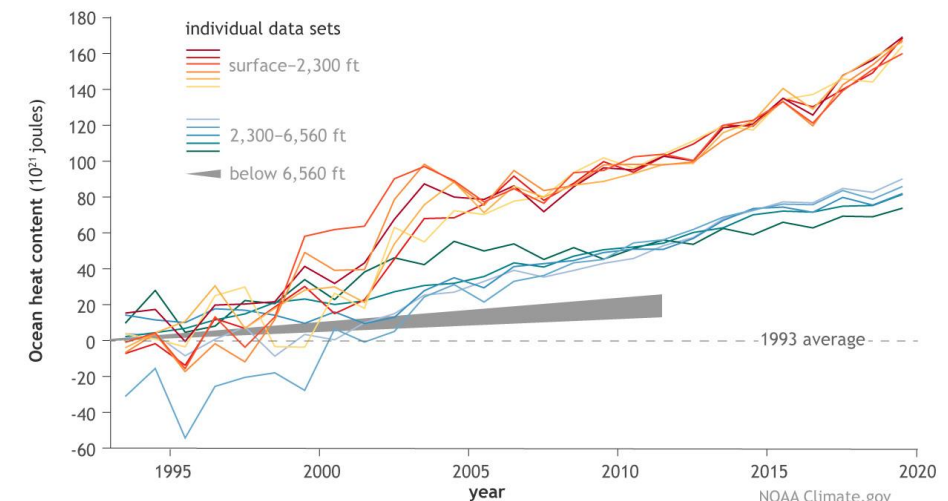
OCEAN HEAT COMPARED TO AVERAGE



Η θερμοκρασία των ωκεανών

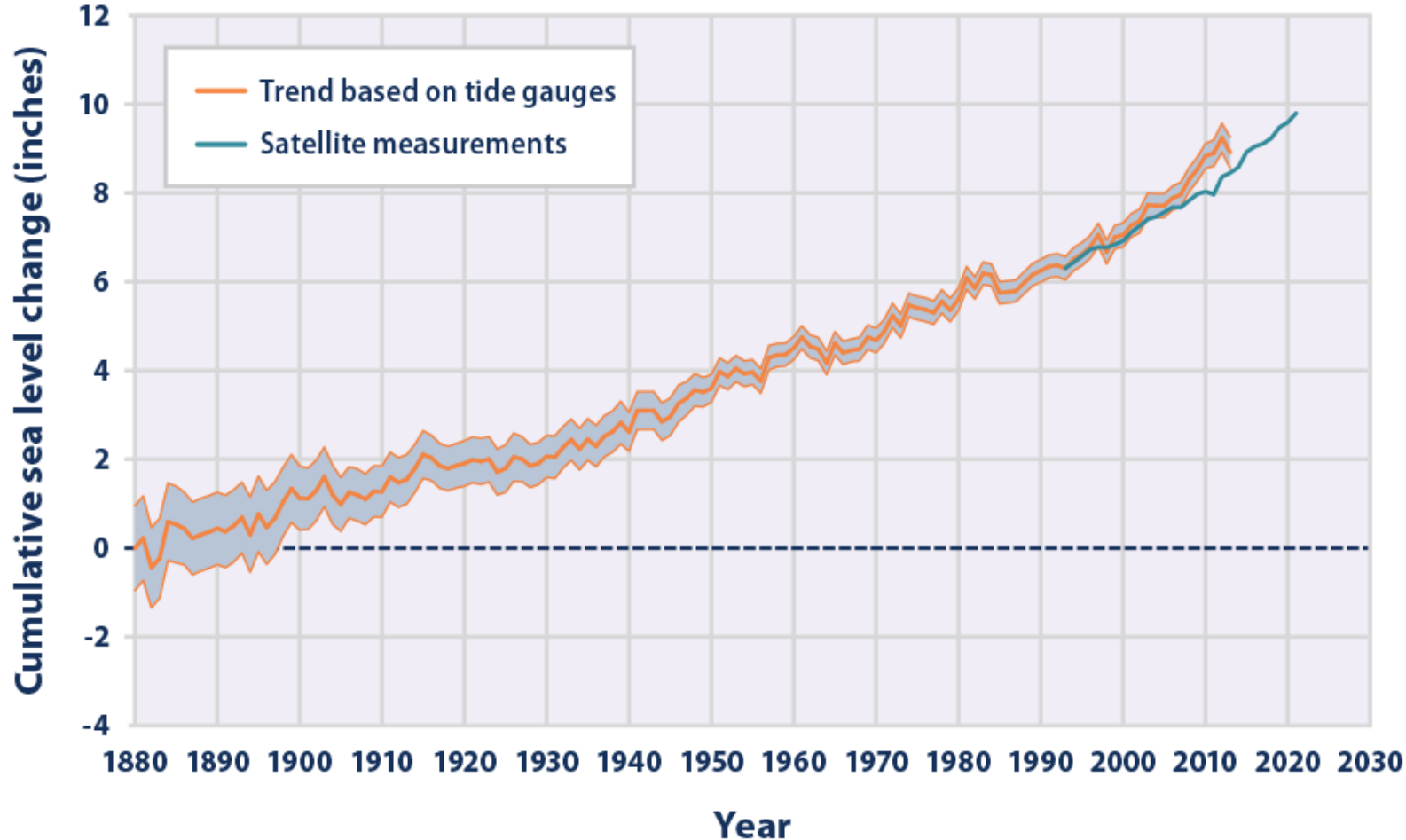
Η περιεκτικότητα σε θερμότητα των άνω ωκεανών έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Το διάγραμμα δείχνει την εποχιακή (3μηνη) θερμική ενέργεια στο πάνω μισό μίλι του ωκεανού σε σύγκριση με τον μέσο όρο 1955-2006. Η περιεκτικότητα σε θερμότητα στον παγκόσμιο ωκεανό είναι σταθερά πάνω από το μέσο όρο (κόκκινες ράβδοι) από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Περισσότερο από το 90% της υπερβολικής θερμότητας που παγιδεύεται στο σύστημα της Γης λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη έχει απορροφηθεί από τους ωκεανούς. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μετρήσιμη σε όλα τα βάθη της θάλασσας (διάγραμμα κάτω).

Annual ocean heat content compared to average (1993-2019)



Η στάθμη της θάλασσας

Global Average Absolute Sea Level Change, 1880–2021



Το διάγραμμα δείχνει σωρευτικές αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας για τους ωκεανούς του κόσμου από το 1880, με βάση έναν συνδυασμό μακροπρόθεσμων μετρήσεων παλίρροιας και πρόσφατων δορυφορικών μετρήσεων. Αυτό το σχήμα δείχνει τη μέση απόλυτη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, η οποία αναφέρεται στο ύψος της επιφάνειας του ωκεανού, ανεξάρτητα από το αν η κοντινή γη ανεβαίνει ή πέφτει. Τα δορυφορικά δεδομένα βασίζονται αποκλειστικά στη μετρημένη στάθμη της θάλασσας, ενώ τα δεδομένα μακροπρόθεσμου μετρητή παλίρροιας περιλαμβάνουν έναν μικρό συντελεστή διόρθωσης επειδή το μέγεθος και το σχήμα των ωκεανών αλλάζουν αργά με την πάροδο του χρόνου.