



www.aegean.gr

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Σχολή Περιβάλλοντος  
Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας



## Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση και οργάνωση πληροφορίας

Διάλεξη 8. Εισαγωγή στις μετρήσεις Επιφανειακής  
Θερμοκρασίας Θάλασσας (ΕΘΘ)

Dr. Κωνσταντίνος Ν. Τοπουζέλης

# Περιεχόμενα μαθήματος

Το μάθημα αποτελείται από τις ακόλουθες ενότητες:

- (1) Εισαγωγή στην Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση
- (2) Τροχιές, δέκτες και δορυφόροι
- (3) Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση
- (4) Ψηφιακή δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση
- (5) Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης**
- (6) Γεωμετρική διόρθωση – ταξινόμηση απεικόνισης
- (7) Θαλάσσια τηλεπισκόπηση: από τα δεδομένα στις εφαρμογές
- (8) Εισαγωγή στις μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας**
- (9) Εισαγωγή στις δορυφορικές μετρήσεις ωκεάνιου χρώματος**
- (10) Εισαγωγή στη μικροκυματική τηλεπισκόπηση
- (11) Φωτοερμηνεία θαλάσσιων και ατμοσφαιρικών φαινομένων**
- (12) Ολοκληρωμένες εφαρμογές θαλάσσιας τηλεπισκόπησης

# **Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)**

**Εισαγωγή στις μετρήσεις Επιφανειακής Θερμοκρασίας Θάλασσας (ΕΘΘ)**

**Επιφανειακή θερμοκρασία θάλασσας: ορισμός, βασικές έννοιες**

**Βασικές αρχές ραδιομετρίας**

**Υπέρυθρα ραδιόμετρα και παθητικά ραδιόμετρα μικροκυμάτων**

**Δορυφορικές μετρήσεις ημέρας και νύχτας**

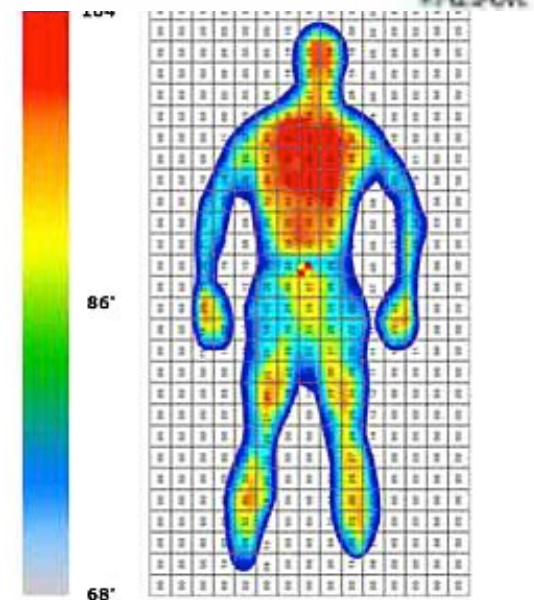
**Περιορισμοί και σφάλματα δορυφορικών μετρήσεων ΕΘΘ**

**Ημερήσια μεταβλητότητα και ΕΘΘ**

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Η θερμοκρασία ενός αντικειμένου μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους:

1. Μετρώντας την εσωτερική του θερμοκρασία, η οποία οφείλεται στην κινητική δύναμη των ατόμων του και υπολογίζεται με ένα θερμόμετρο.
2. Μετρώντας την εξωτερική του θερμοκρασία και υπολογίζεται από την ακτινοβολία που εκπέμπει.



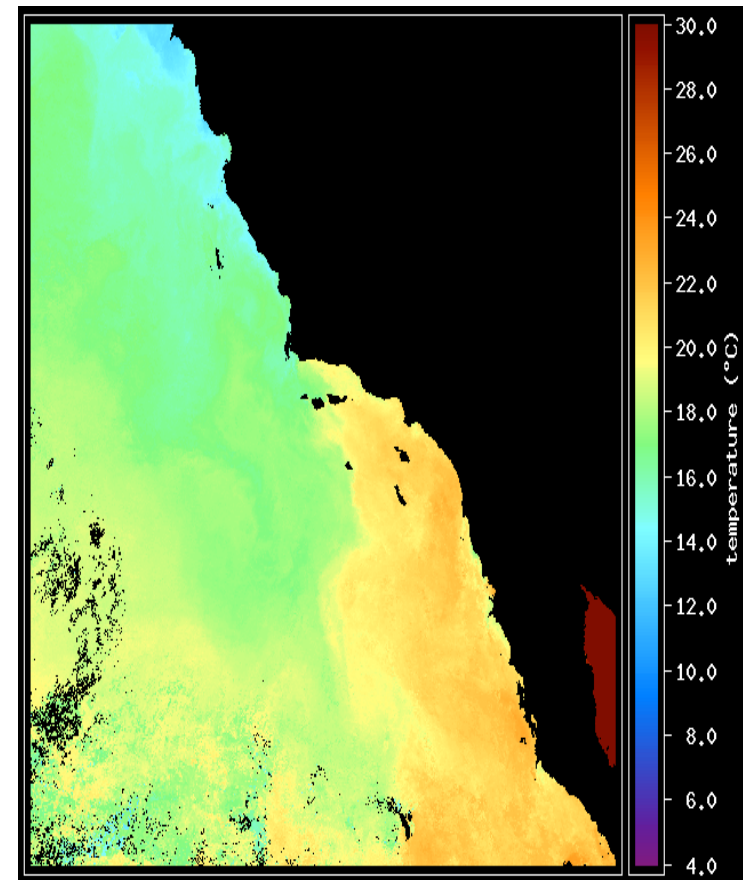
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Οι πρώτες τεχνικές μέτρησης της ΕΘΘ αφορούσαν μετρήσεις με το χέρι στην επιφάνεια του νερού.

- Δεν ήταν απαραίτητα συνεπείς, ούτε ως προς το βάθος μέτρησης, αλλά ούτε ως προς τη χωρική τους κατανομή.
- Οι μετρήσεις κυμαίνονταν ανάλογα το σκάφος.
- Ακριβέστερες μετρήσεις, προήλθαν αργότερα από σταθερές σημαδούρες, σε συγκεκριμένο βάθος 1 μέτρου και σε συγκεκριμένες τοποθεσίες.

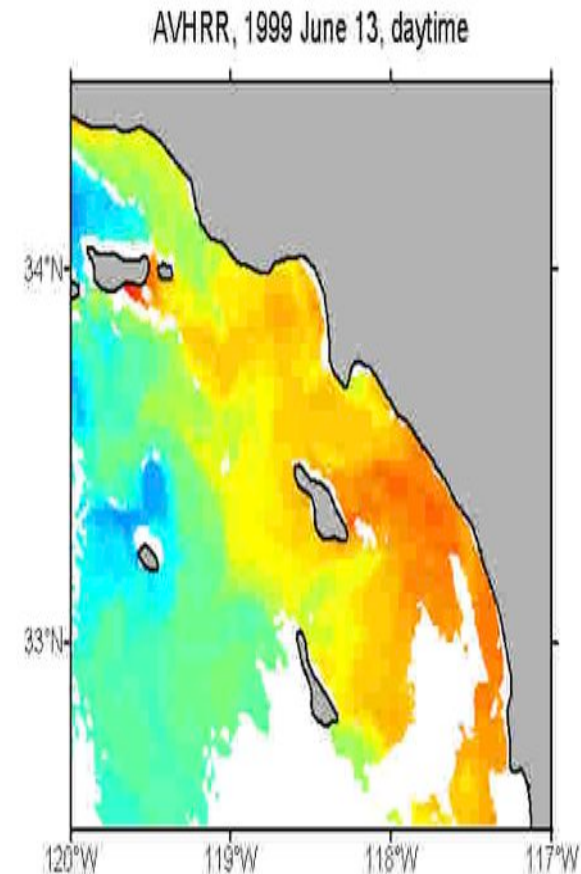
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

- Οι δορυφορικές μετρήσεις, παρουσιάζουν συνοπτική εικόνα του ωκεανού, με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ανά τακτά διαστήματα.
- Παρέχουν δυνατότητες καταγραφής της ΕΘΘ που δεν δύναται σε τέτοιο βαθμό από σημαδούρες ή σκάφη.
- Σε σύγκριση, ένα ωκεανογραφικό σκάφος με ταχύτητα 10 κόμβους, χρειάζεται 10 χρόνια να καλύψει την ίδια έκταση που καλύπτει ένας δορυφόρος σε 2 λεπτά (Ikeda et al., 1995).



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

- Δορυφορικά συστήματα για μέτρηση ΕΘΘ χρησιμοποιήθηκαν από τη δεκαετία του 80.
- Αποτέλεσμα: δυνατότητες χωρικής και χρονικής διακύμανσης του φαινομένου.
- Οι δορυφορικές μετρήσεις βασίζονται στην μέτρηση της ακτινοβολίας που προέρχεται από την θάλασσα κυρίως στο υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Χρησιμοποιείται κυρίως το υπέρυθρο φάσμα, γιατί η ακτινοβολία της θάλασσας παρουσιάζει μέγιστο βαθμό απορρόφησης και εκπομπής (θεωρητικά θεωρείται μέλαν σώμα).





# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

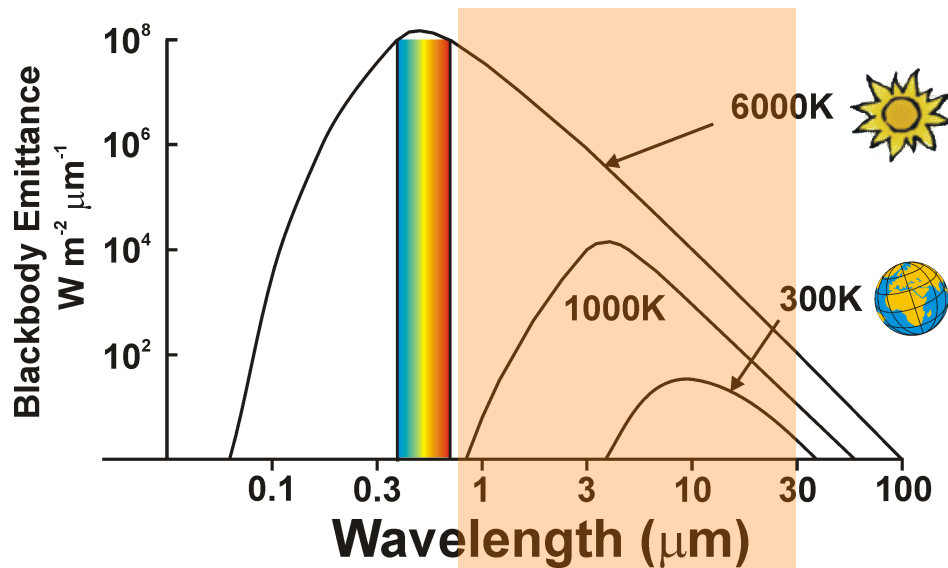
- Θεωρία της κινητικής δύναμης των μορίων:  
όλα τα στοιχεία με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν (0 Kelvin ή σε  $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), εκπέμπουν ακτινοβολία.
- Ένα σώμα που απορροφά όλη την εισερχόμενη ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό, αναφέρεται ως μέλαν σώμα (blackbody).
- Μέλαν σώμα:
  - απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία,
  - η ανάκλαση του είναι μηδενική,
  - η διάχυση του είναι μηδενική,
  - η εκπομπή του είναι ίση με την μονάδα.

Ωστόσο το μέλαν σώμα:

- εκπέμπει κάποια ακτινοβολία, το φάσμα της οποίας εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία του.

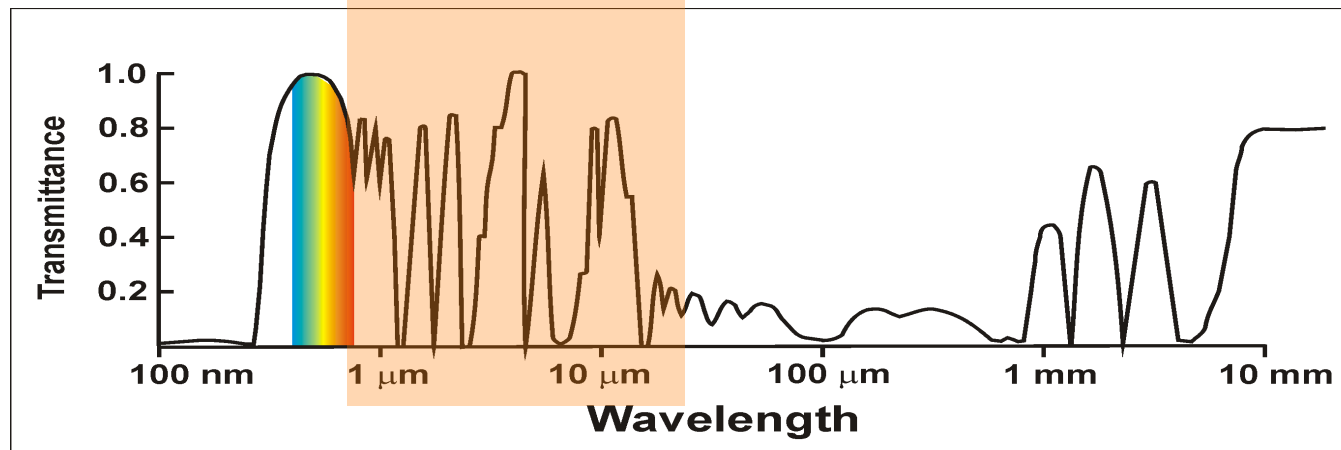


# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

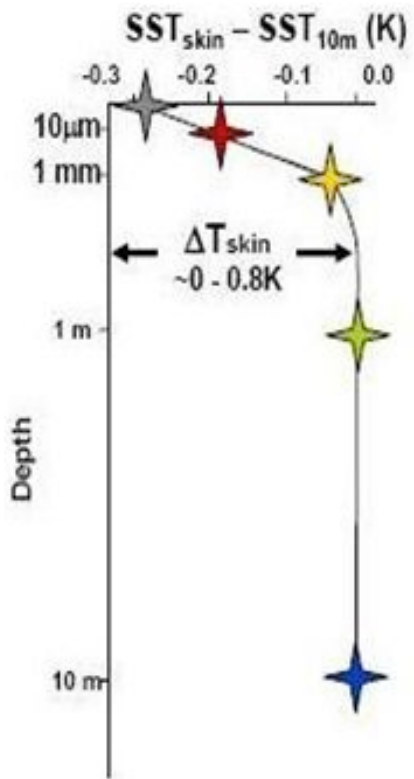


Οι υπέρυθροι αισθητήρες μετράνε την Η/Μ ακτινοβολία στην φασματική μπάντα των 1-30  $\mu m$ .

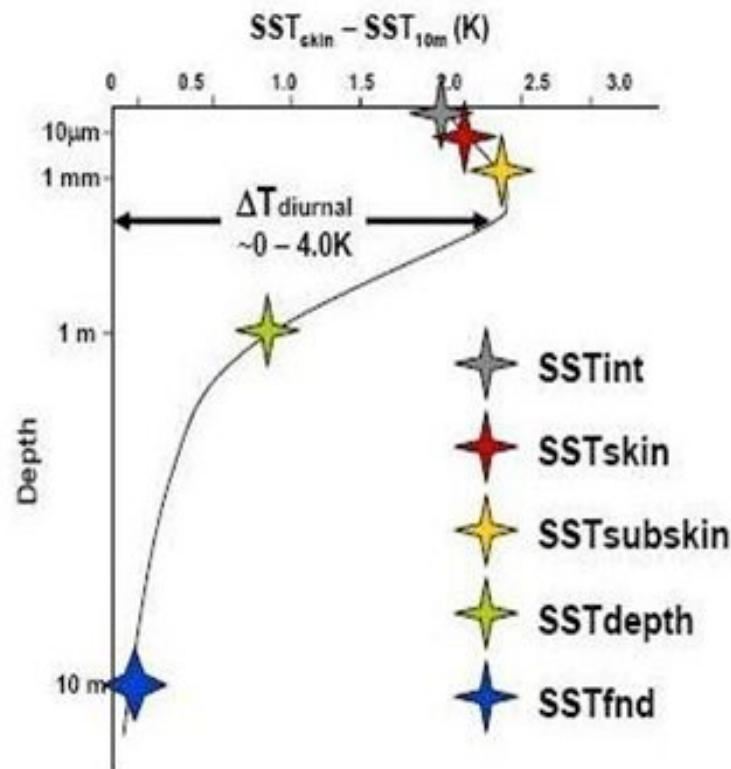
Η Η/Μ εκπέμπεται από την θάλασσα επιφάνεια και προέρχεται από την θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος της θάλασσας μάζας.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)



(α) Νύχτα, ασθενείς άνεμοι

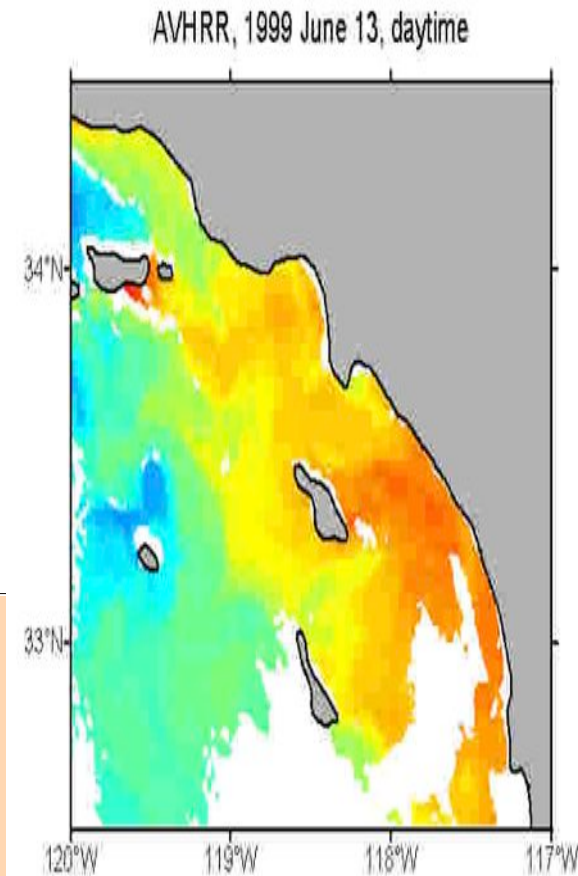
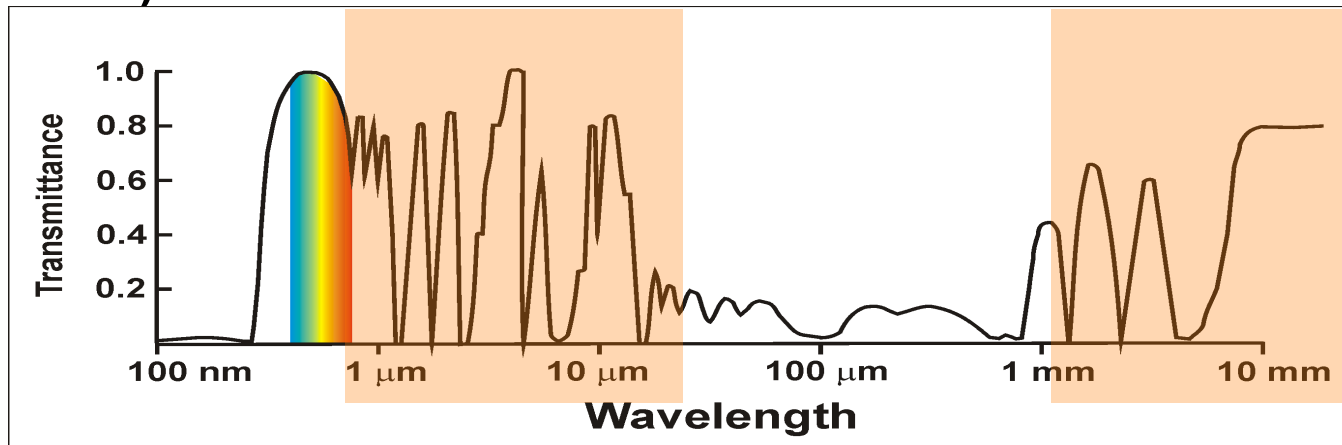


(β) Ημέρα, ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία και ασθενείς άνεμοι

- θερμοκρασία διεπαφής - Interface temperature (SSTint)
- θερμοκρασία επιφάνειας - Skin sea surface temperature (SST skin)
- θερμοκρασία υποεπιφάνειας - Subskin sea surface temperature (SST subskin)
- θερμοκρασία βάθους - Surface temperature at depth (SST depth)
- θερμοκρασία θεμελίωσης - Foundation temperature (SST fnd)

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

- Οι δορυφορικές μετρήσεις βασίζονται στην μέτρηση της ακτινοβολίας που προέρχεται από την θάλασσα **κυρίως** στο υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Εκτός από το υπέρυθρο φάσμα χρησιμοποιούνται και τα μικροκύματα (παθητικά ραδιόμετρα μικροκυμάτων στα 1.5–300 mm ή συχνότητες 1–200 GHz).



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

## Παθητικά ραδιόμετρα μικροκυμάτων

**Πλεονέκτημα → δεν είναι ευαίσθητα στην ατμοσφαιρική σκέδαση από αεροζόλ, ομίχλη, σκόνη και μικρά σωματίδια νερού που βρίσκονται στα σύννεφα.**

**- Λειτουργούνε κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.**

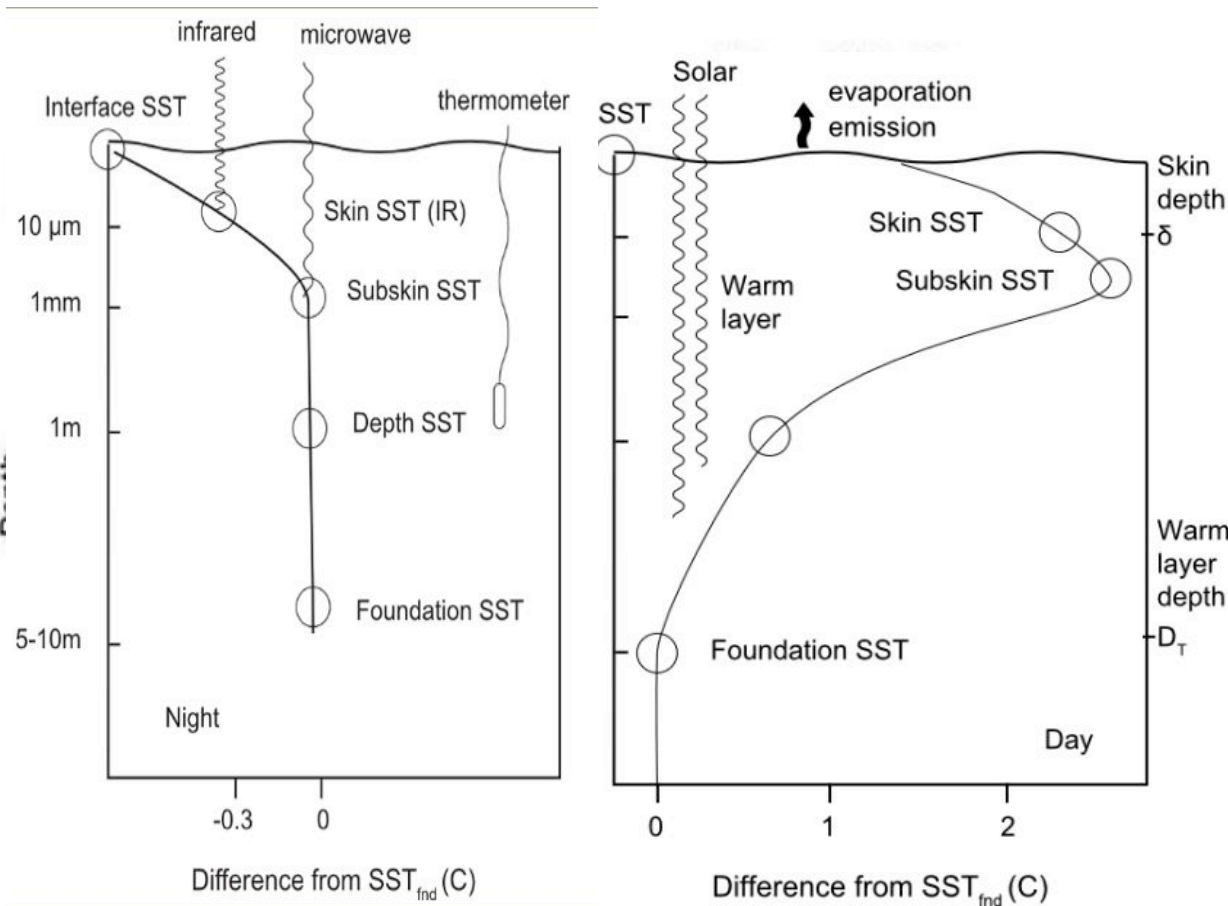
**Μειονέκτημα → η θερμική εκπομπή από τους ωκεανούς έχει αδύναμο σήμα (πρόβλημα θορύβου).**

**- για να ξεπεραστεί απαιτείται μεγάλο εύρος θέας,**

**- περιορισμός σε χωρική ανάλυση 25–150 km,**

**- χρησιμοποιούνται σε μελέτες του θερμικού ισοζυγίου των ωκεανών.**

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)



- θερμοκρασία διεπαφής - Interface temperature (SST<sub>int</sub>)
- θερμοκρασία επιφάνειας - Skin sea surface temperature (SST skin)
- θερμοκρασία υποεπιφάνειας - Subskin sea surface temperature (SST subskin)
- θερμοκρασία βάθους - Surface temperature at depth (SST depth)
- θερμοκρασία θεμελίωσης - Foundation temperature (SST<sub>fnd</sub>)

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

- Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από σκάφη και σημαδούρες, αφορούν την ΕΘΘ βάθους 1m.
- Η διακύμανση της θερμοκρασίας, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σύγκριση τους με μετρήσεις ΕΘΘ που γίνονται από δορυφορικά συστήματα.
- Οι αισθητήρες θερμικού υπέρυθρου φάσματος, μετρούν την επιφανειακή θερμοκρασία, ενώ τα παθητικά μικροκύματα την υπο-επιφανειακή θερμοκρασία.
- Εξάτμιση από την επιφάνεια της θάλασσας  $\approx 1$  βαθμό Kelvin (ιδιαίτερα ή όχι σημαντική;).

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Η μέτρηση της ΕΘΘ επηρεάζεται σημαντικά από:

- τα όργανα μέτρησης,
- το βάθος της μέτρησης και
- την ημερήσια διακύμανση.

Η ακτινοβολία από τον ήλιο, θερμαίνει το ανώτερο στρώμα νερού (έως και 5 Kelvin).

Όταν η πηγή θερμότητας φεύγει η διαστρωμάτωση που δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια της ημέρας εξασθενεί.

Οι ημερήσιες μετρήσεις δεν αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια το ανώτερο στρώμα της θερμοκρασίας → εξαρτάται από την ημερήσια διακύμανση.

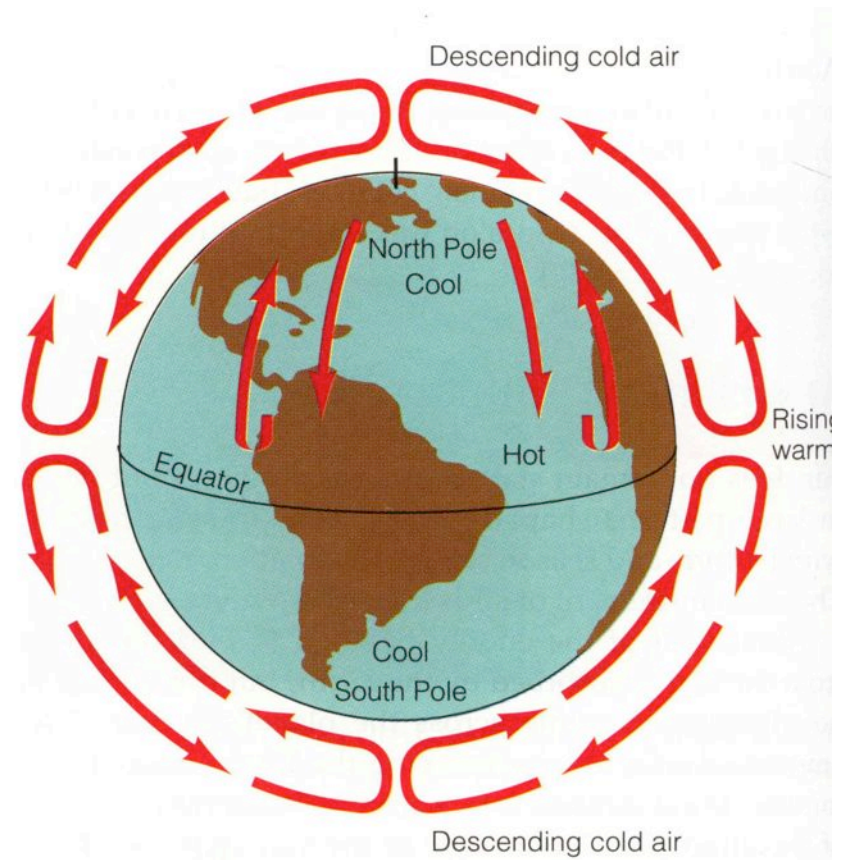
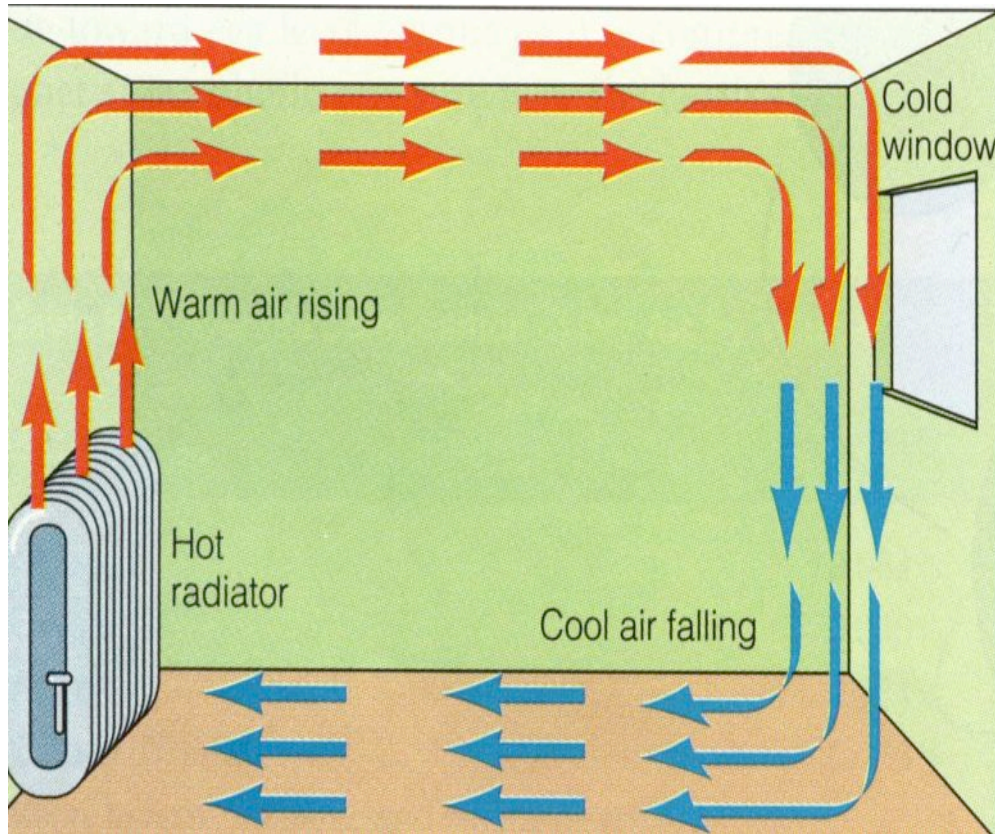


# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

- **Θερμοκρασία επιφάνειας - Skin sea surface temperature (SST skin) [ $\approx 3 - 14 \mu\text{m}$  ]**
- **θερμοκρασία βάθους - Surface temperature at depth (SST depth) [ $\approx 0.5 - 3 \text{ m}$ ]**
- **Τρεις φυσικοί παράμετροι μπορούνε να επηρεάσουν την διαφορά μεταξύ θερμοκρασία επιφάνειας και θερμοκρασία βάθους:**
  - 1. Το ημερήσιο θερμοκλίνας,**
  - 2. Θερμικές επιδράσεις του επιφανειακού στρώματος,**
  - 3. Η παρουσία επιφανειακών κηλίδων.**

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Γιατί είναι σημαντική η ΕΘΘ;

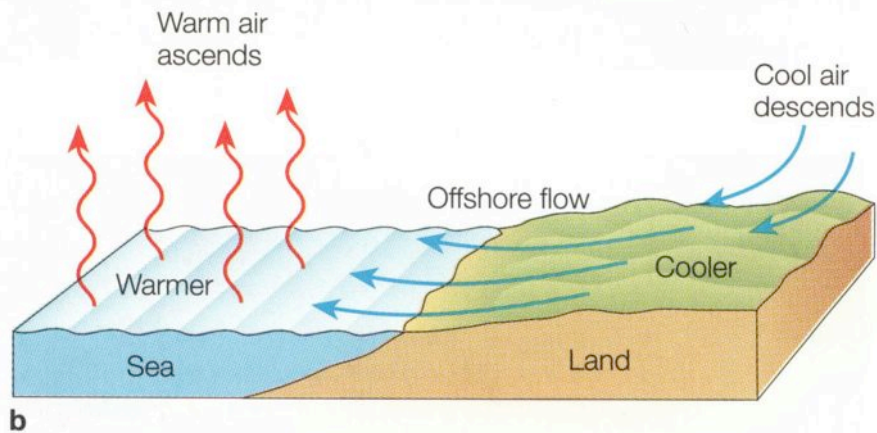
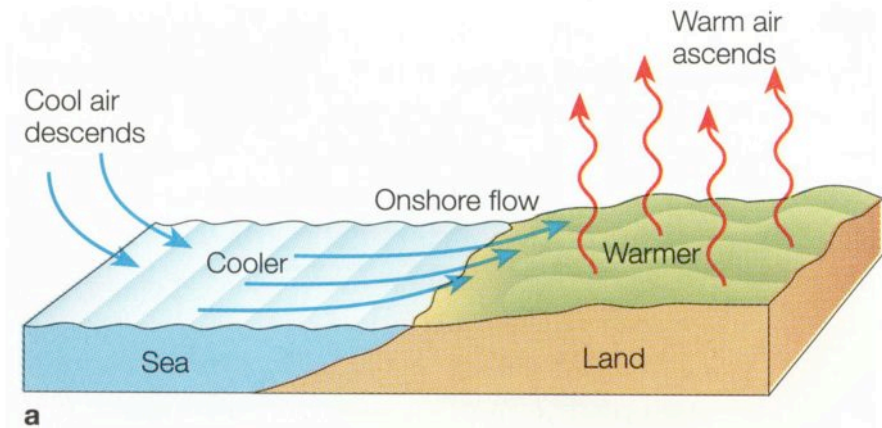


# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Γιατί είναι σημαντική η ΕΘΘ (I);

- Η ΕΘΘ είναι υπαίτια για την μεταφορά θερμότητας μεταξύ ωκεανών και ατμόσφαιρας.
- Περισσότερη θερμότητα εκλύεται από την επιφάνεια της Γης προς την ατμόσφαιρα από ότι απευθείας από τον Ήλιο.
- Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ ωκεανών και ατμόσφαιρας ουσιαστικά ελέγχει τον καιρό και το κλίμα.
- Η ΕΘΘ είναι ένας βασικός δείκτης της αλλαγής του κλίματος → ECV = Essential Climate Variable.
- Έχει οριστεί τέτοιος από διεθνείς επιστημονικούς οργανισμούς πχ Global Climate Observing System (GCOS).

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)



Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία αλλάζει εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας πάνω από ξηρά και θάλασσα.

Το καλοκαίρι οι άνεμοι έχουν κυρίως κατεύθυνση προς την ξηρά η οποία είναι θερμότερη της θάλασσας.

Το αντίστροφο γίνεται τον χειμώνα.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

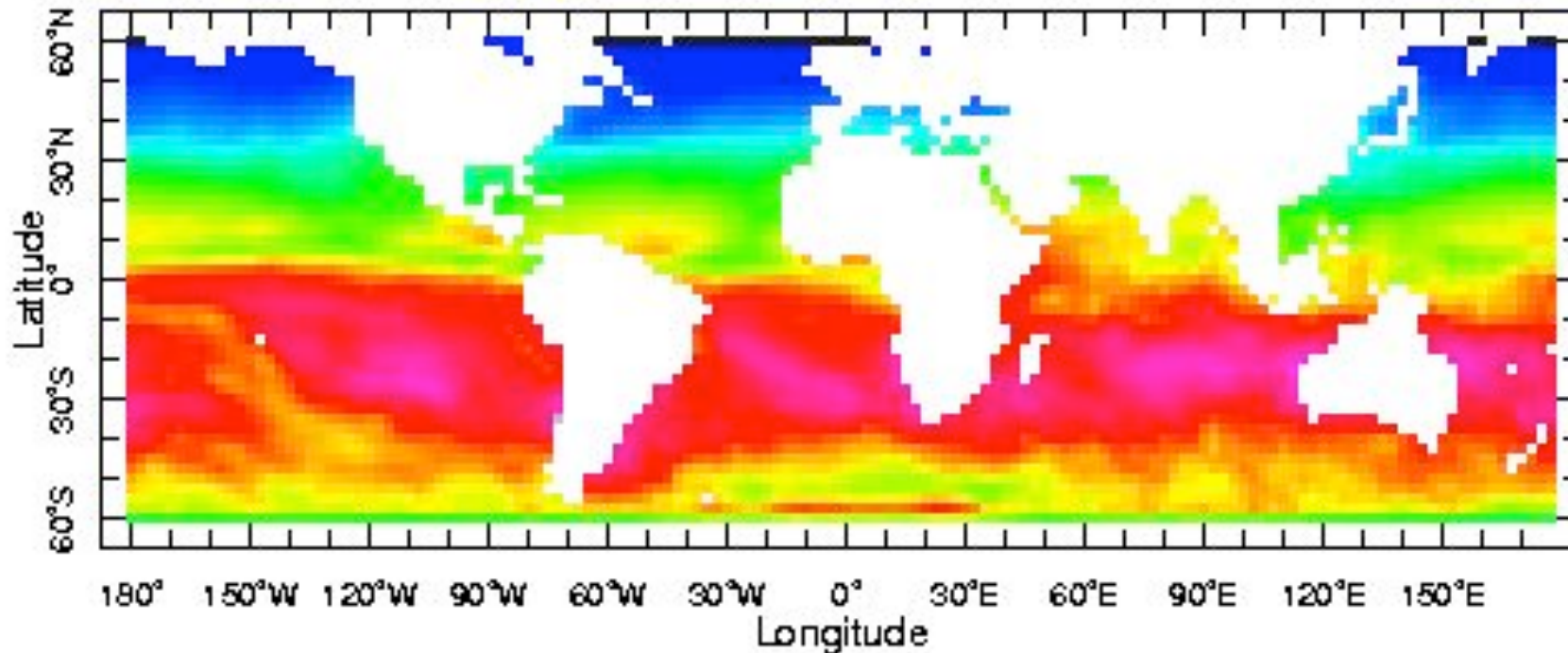
Ροή θερμότητας (heat flux) εξαρτάται από:

- την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία,
- την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία,
- την απώλεια θερμότητας από εξάτμιση,
- τη μηχανική μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανού.

Οι τελευταίοι τρεις παράγοντες σχετίζονται άμεσα με την Επιφανειακή Θερμοκρασία της Θάλασσας (Sea Surface Temperature - SST).



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)



Dec 1985 0.0



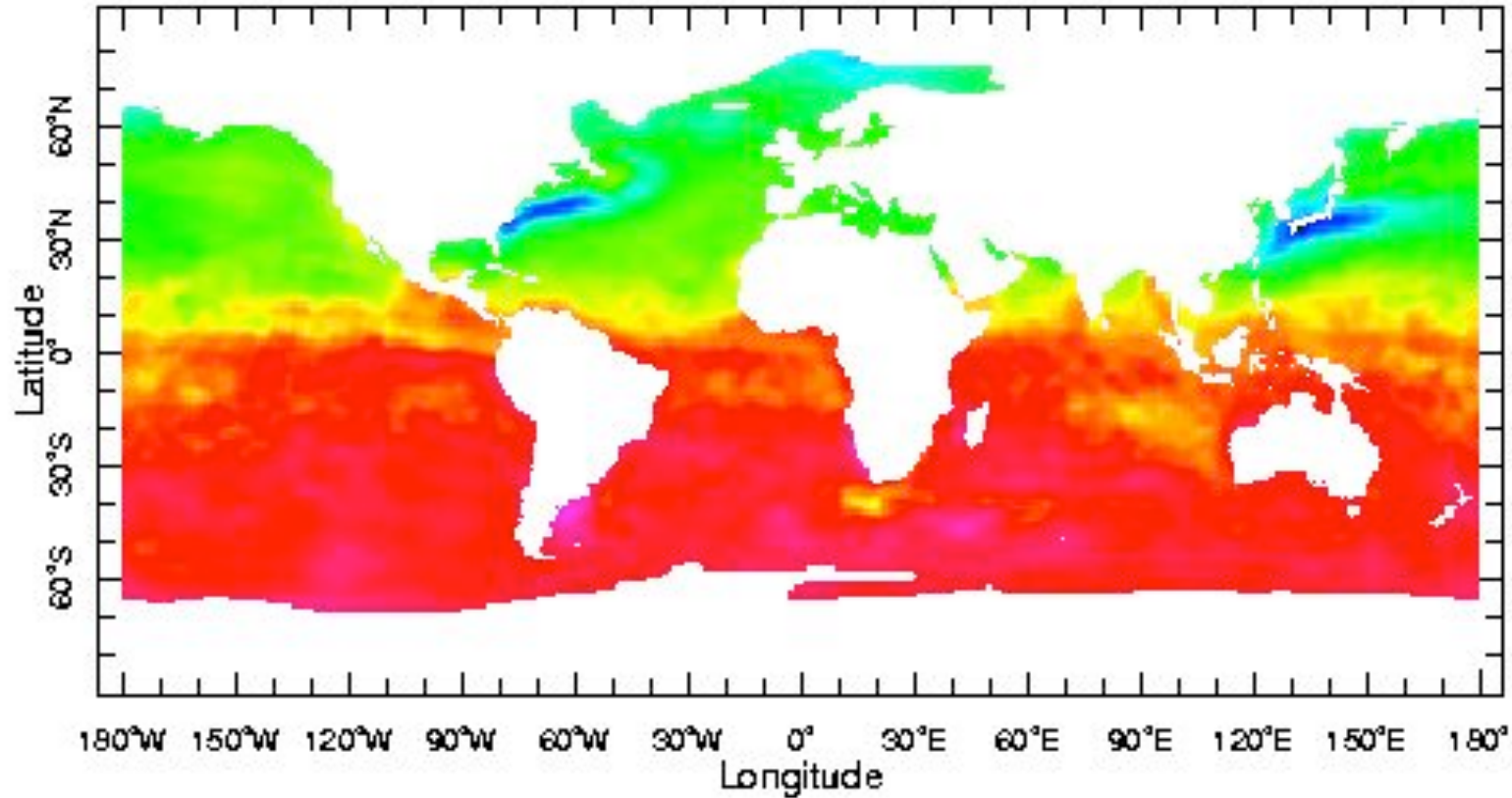
Ηλιακή ακτινοβολία ( $W m^{-2}$ ) στην θαλάσσια επιφάνεια.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)





# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)



Dec



**Ροή θερμότητας από την θαλάσσια επιφάνεια**

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Ενέργεια  $200 \text{ W m}^{-2}$  θερμαίνει ένα στρώμα  $50 \text{ m}$  για  $2.5^\circ\text{C}$  τον μήνα (χωρίς άλλες απώλειες).



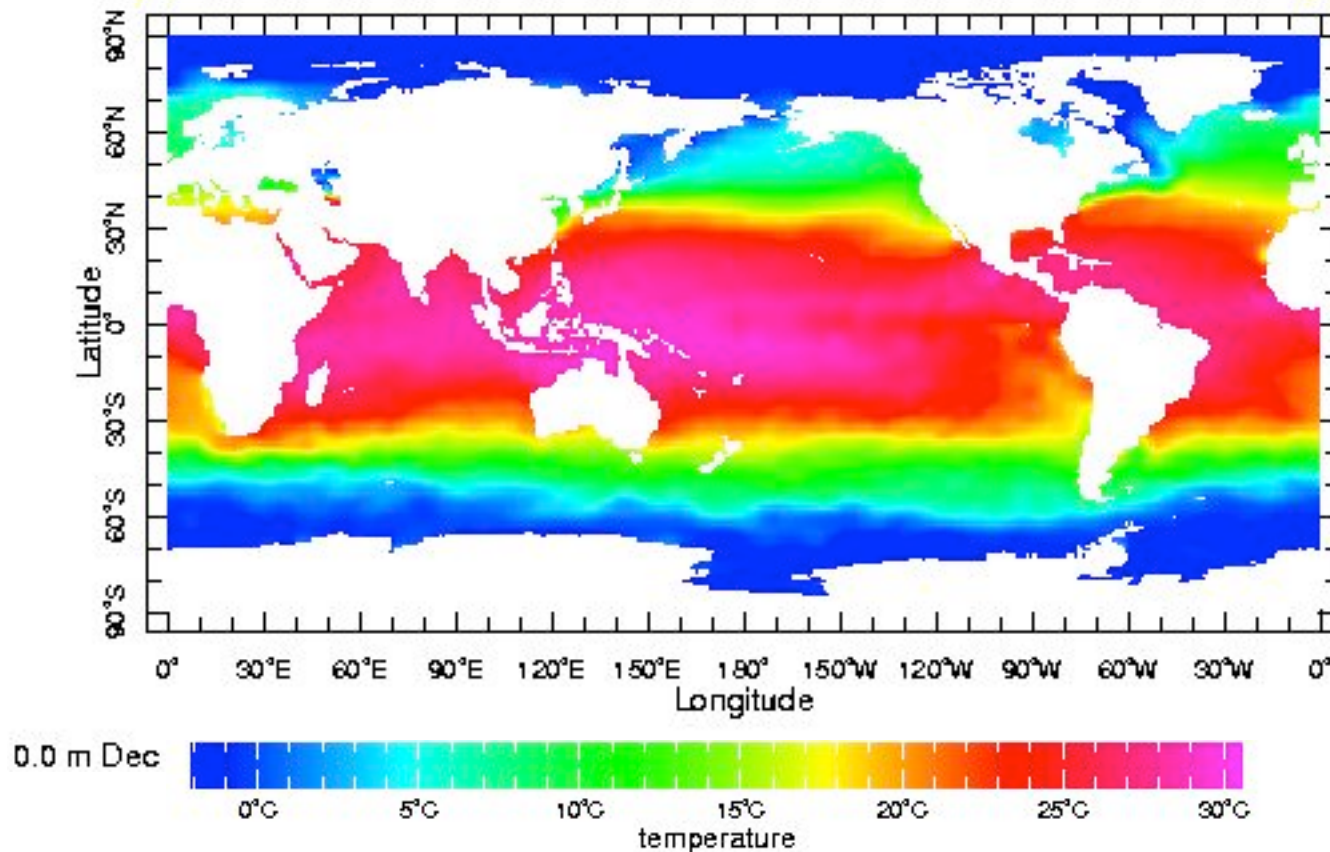
Στρωματοποίηση

Ζεστό νερό στην επιφάνεια  
(άνοδος)

Κρύο νερό προς τον πυθμένα  
(κάθοδος)

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

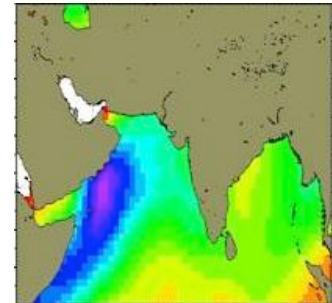
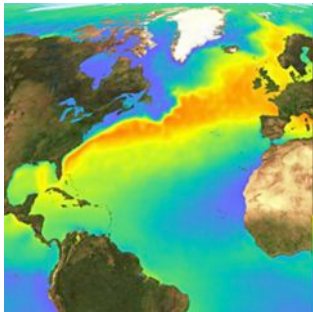
Οι εποχιακές μεταβολές στην ροή θερμότητας επιφέρουν αλλαγές στην επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας αλλά και την θερμοκρασία των άνω στρωμάτων.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Γιατί είναι σημαντική η ΕΘΘ;

- Συστηματική και συνεχής κάλυψη του πλανήτη με ροή πληροφοριών.
- Χρησιμοποιείται σαν το ίχνος διαφόρων θαλάσσιων μαζών και φαινομένων (πχ τα ρεύματα Gulf Stream, Aghulas, Malvinas, KuroShio κλπ).
- Ανίχνευση για βασικές ωκεάνιες ανωμαλίες ή περιοδικά φαινόμενα (πχ el Niño, Somali upwelling κλπ).
- Ανίχνευση και παρακολούθηση αλλαγών σε μεγάλες χρονικές περιόδους.
- Δεδομένα ΕΘΘ χρησιμοποιούνται σε μοντέλα πρόβλεψης καιρού (Numerical Weather Prediction NWP models).





# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

## Απαιτήση ακρίβειας μετρήσεων ΕΘΘ

- Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ ωκεανών και ατμόσφαιρας εξαρτάται από τους τροπικούς.
- Αλλαγή  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  μπορεί να επηρεάσει την μεταφορά θερμότητας περισσότερο από  $\sim 10\%$ .
- Το El Niño παρουσιάζει μία ανωμαλία ΕΘΘ μεταξύ  $2^{\circ}\text{C}$  και  $4^{\circ}\text{C}$ .
- Παρακολούθηση φαινομένου - εξέλιξης  $\approx 10\%$  στην ανωμαλία της ΕΘΘ.
- Ακρίβεια της τάξης  $0.2 - 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Παρακολούθηση κλιματικών αλλαγών  $\rightarrow$  αυστηρή ακρίβεια παρατηρήσεων ΕΘΘ  $\rightarrow$  μεταβολές  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ανά δεκαετία.
- Πολλές επιστημονικές αναλύσεις απαιτούν ακρίβεια καλύτερη από  $0.2^{\circ}\text{C}$  και σταθερότητα καλύτερη από  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ανά δεκαετία.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

## Θερμοκρασία και σφάλματα

- Για την εύρεση της ΕΘΘ μέσω τηλεπισκόπησης υπάρχουν περιορισμοί.
- Οφείλονται στην τύχη της ακτινοβολίας (απορρόφηση, διάθλαση ή σκέδαση) → χημεία της υπερκείμενης ατμόσφαιρας.
- Στοιχεία της ατμόσφαιρας (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> και αιωρούμενα σωματίδια).
- Σύννεφα, ομίχλη, σκόνη παρεμβάλουν την ικανότητα του αισθητήρα για ακριβείς μετρήσεις ΕΘΘ.
- Διόρθωση με διάφορους αλγόριθμους για ορθότερη εκτίμηση της ΕΘΘ.
- Αναγκαία η ανίχνευση σύννεφων. Ο αισθητήρας καταγράφει άσχετα με το γεγονός ύπαρξης σύννεφων.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

## Δορυφορικές τροχιές:

- Πολικές (παγκόσμια κάλυψη)
- Low Earth Orbit (τοπική κάλυψη)
- Γεωστατικές (τοπική κάλυψη)

## Υπέρθυρα ραδιόμετρα:

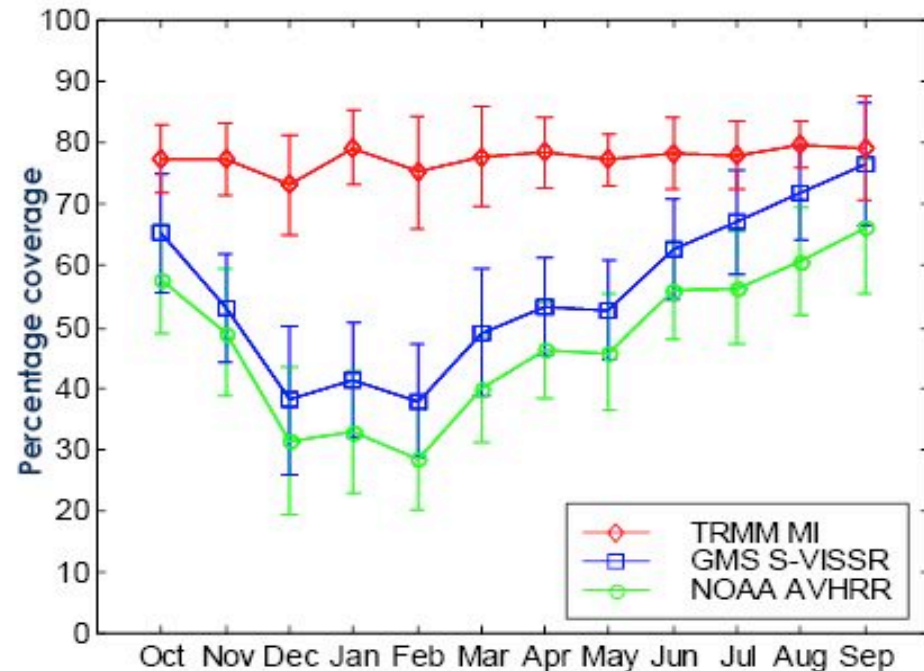
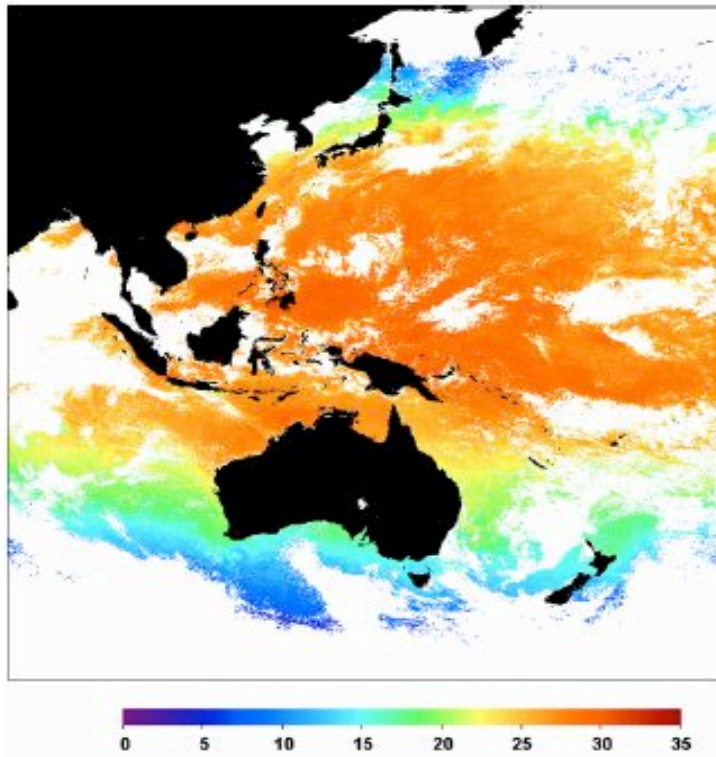
- Μεγάλη ακρίβεια μετρήσεων ΕΘΘ ( $<0.3K$ )
- Μεγάλη χωρική ακρίβεια (1km)
- Αδυναμία μετρήσεων με παρουσία σύννεφων
- Αναπτύχθηκε για προγνώσεις καιρού

## Μικροκύματα:

- Χαμηλή ακρίβεια μετρήσεων ΕΘΘ (0.75K)
- Περιορισμένη χωρική ακρίβεια (περί τα 25km σε προϊόντα L4)
- Δυνατότητα μετρήσεων με παρουσία σύννεφων και αεροζόλ
- Αδυναμία μετρήσεων κοντά στην ξηρά ή με την παρουσία βροχής



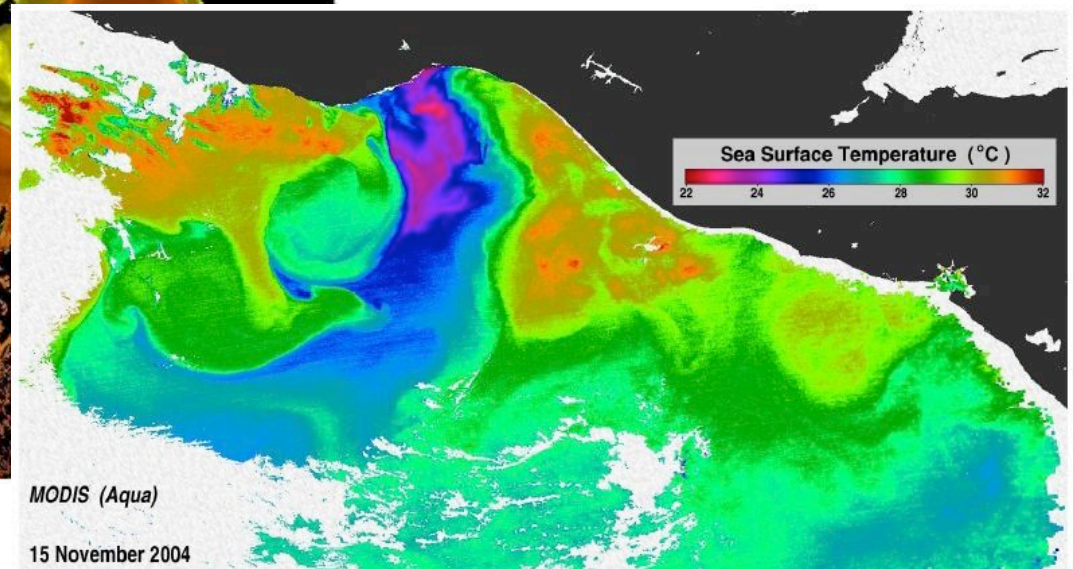
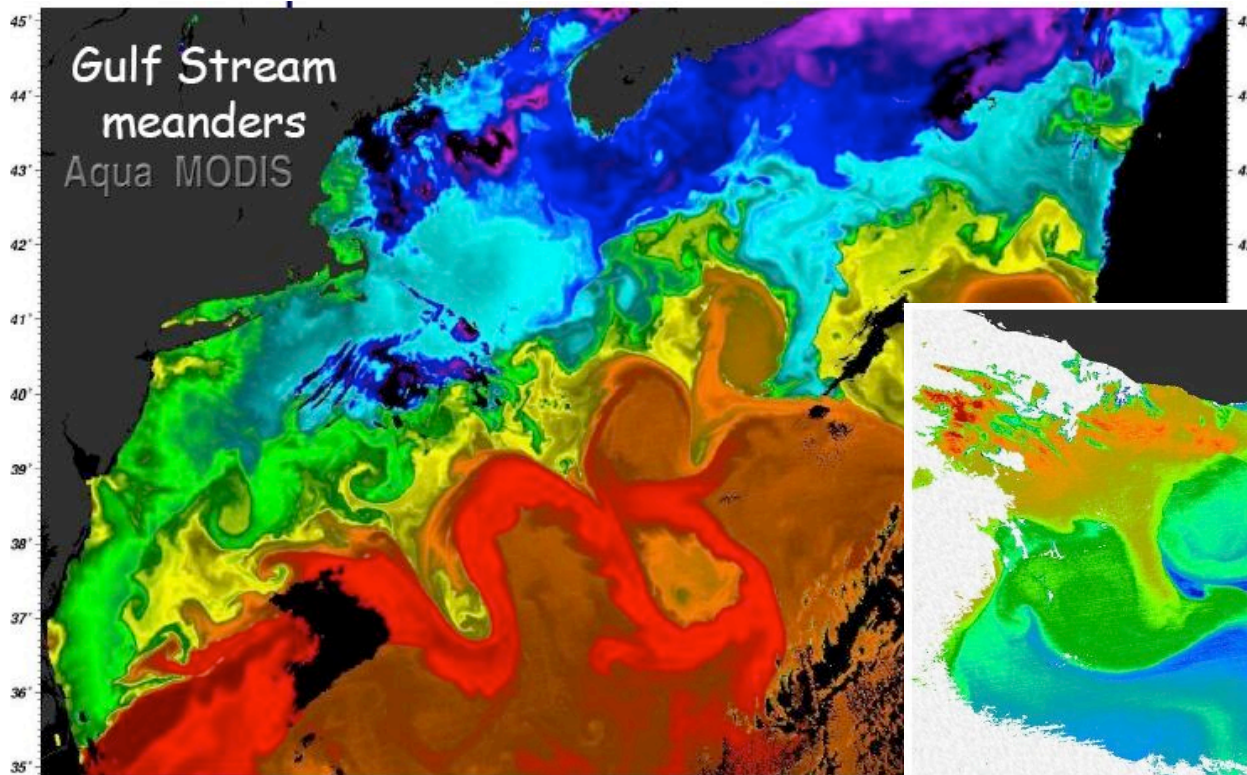
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)



Οι αισθητήρες μικροκυμάτων παρέχουν αμερόληπτες μετρήσεις ΕΘΘ χωρίς εποχιακή εξάρτηση.  
Τα υπέρυθρα ραδιόμετρα επηρεάζονται από την παρουσία σύννεφων.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Παραδείγματα δορυφορικών εικόνων ΕΘΘ ωκεάνιας μεταβλητότητας  
μεσαίας κλίμακας



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

## Σημασία του ημερήσιου θερμοκλινούς

### Μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της ημέρας

Η ΕΘΘ είναι 0,5 με 1 K πιο ζεστή στην αρχή του απογεύματος από ότι την προηγούμενη και την προ-προηγούμενη νύχτα. Έχουν παρατηρηθεί μέγιστες διαφορές μέχρι και 5K.

### Μεταβάλλεται με μετεωρολογικούς παράγοντες

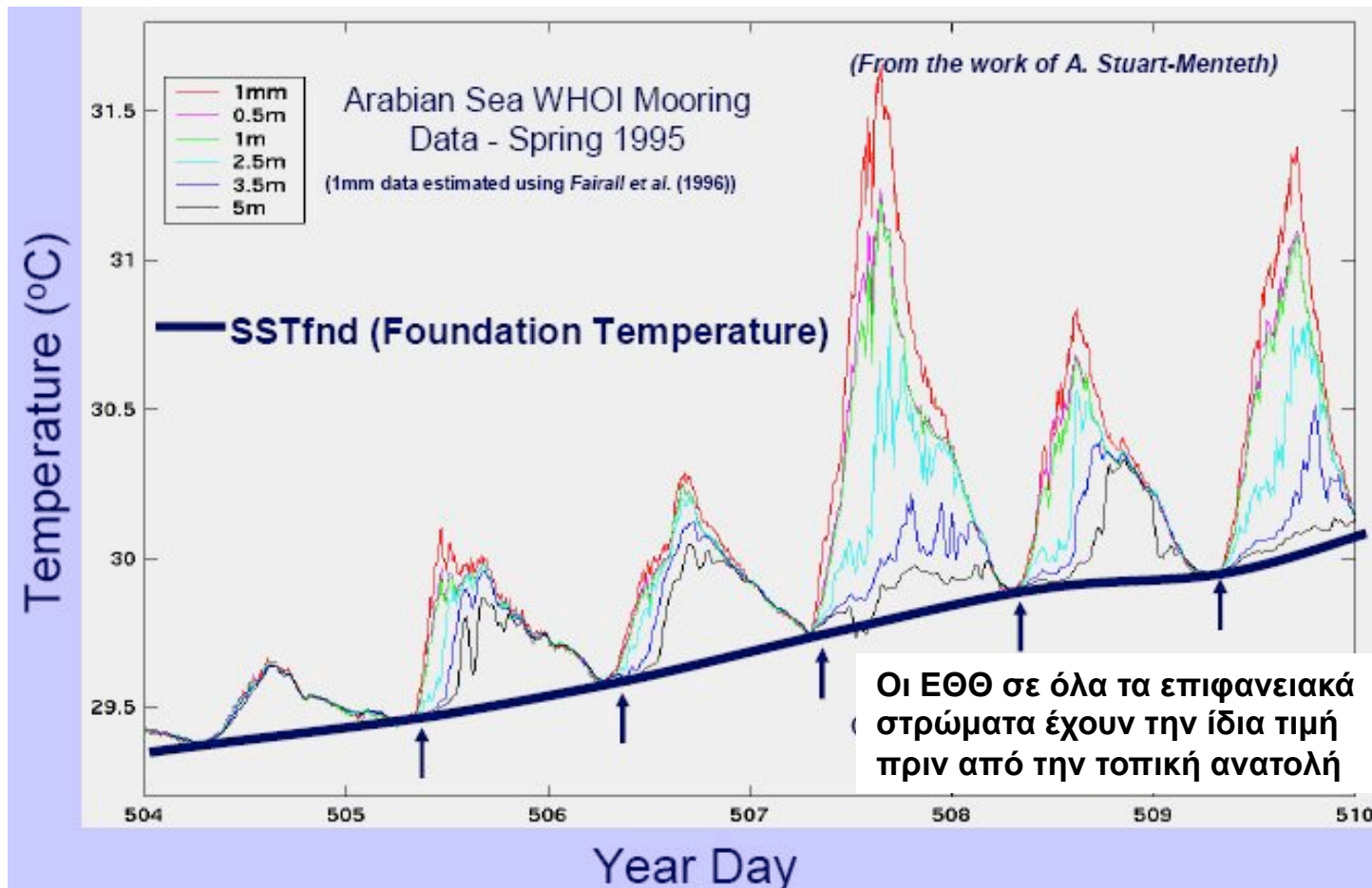
- Εντονότερο το καλοκαίρι όπου υπάρχει μεγαλύτερης διάρκειας και έντασης στην εισροή του ηλιακού φωτός,
- Εντονότερο με ασθενείς ανέμους.

### Μεταβάλλεται χωρικά μεταξύ περιοχών

- Οι δορυφορικές εικόνες ΕΘΘ κατά την διάρκεια της ημέρας εμπεριέχουν το φαινόμενο του «απογεύματος»,
- Μπορεί να αποκρύψει θερμοκρασιακές δομές που προέρχονται από το στρώμα/βάθος ανάμειξης.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Ημερήσια μεταβλητότητα



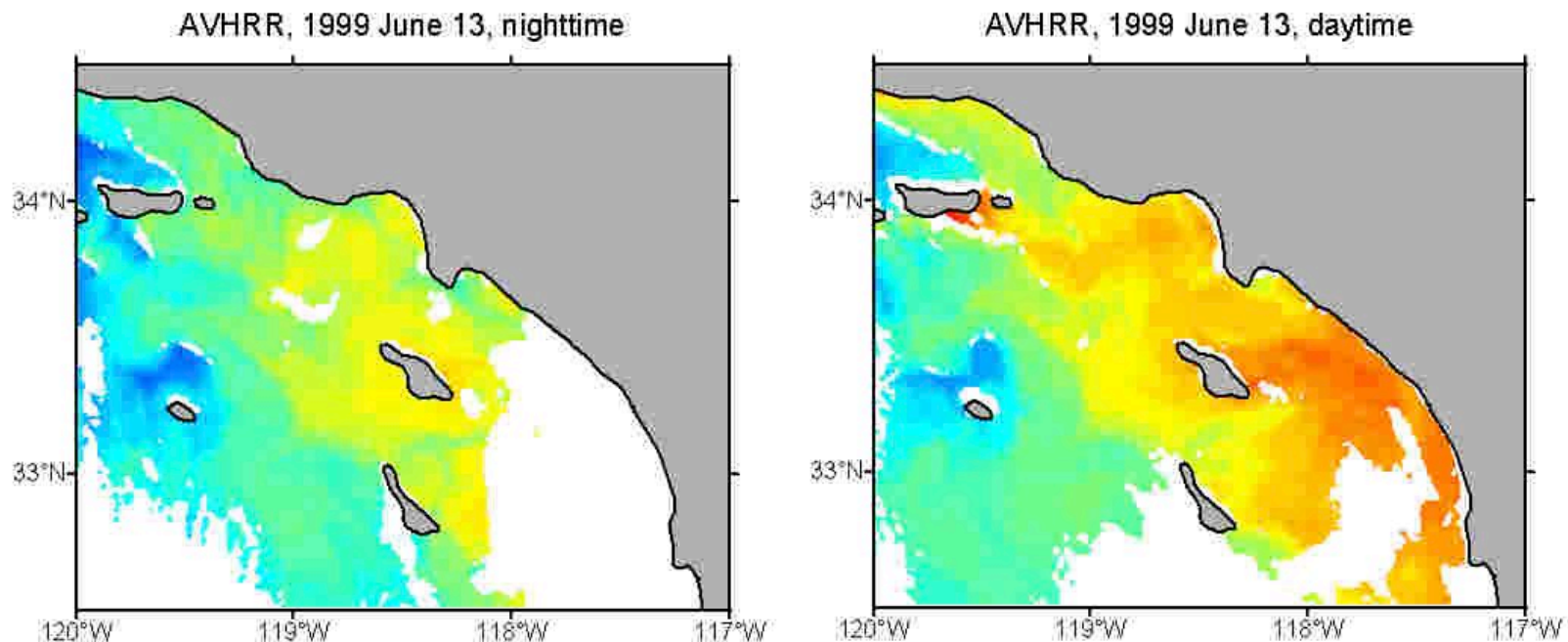


# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

## Ημερήσια μεταβλητότητα

Οι τιμές ΕΘΘ ημέρας και της νύχτας:

- Είναι πολύ διαφορετικές,
- Δεν πρέπει να συγκρίνονται ως μια απλή σειρά εικόνων.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

Ημερήσια μεταβλητότητα

Σημασία του ημερήσιου θερμοκλινούς

**Δημιουργεί «μεροληπτικά» δεδομένα ΕΘΘ και το φαινόμενο αποφεύγεται με το:**

- να χρησιμοποιούμε μόνο νυχτερινά δορυφορικά δεδομένα,
- να μην λάβουμε υπόψη δορυφορικά δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν κατά την διάρκεια της ημέρας κάτω από ειδικές συνθήκες,
- να προβλέπουμε και να διορθώνουμε το παραπάνω φαινόμενο μεροληψίας (αρκετά δύσκολο και αβέβαιο).

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Πως μετράμε την ΕΘΘ από το διάστημα;

- Ραδιομετρία,
- Χρήση Υπέρυθρου αλλά και μικροκυμάτων,
- Χρήση μοντέλων/αλγορίθμων ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

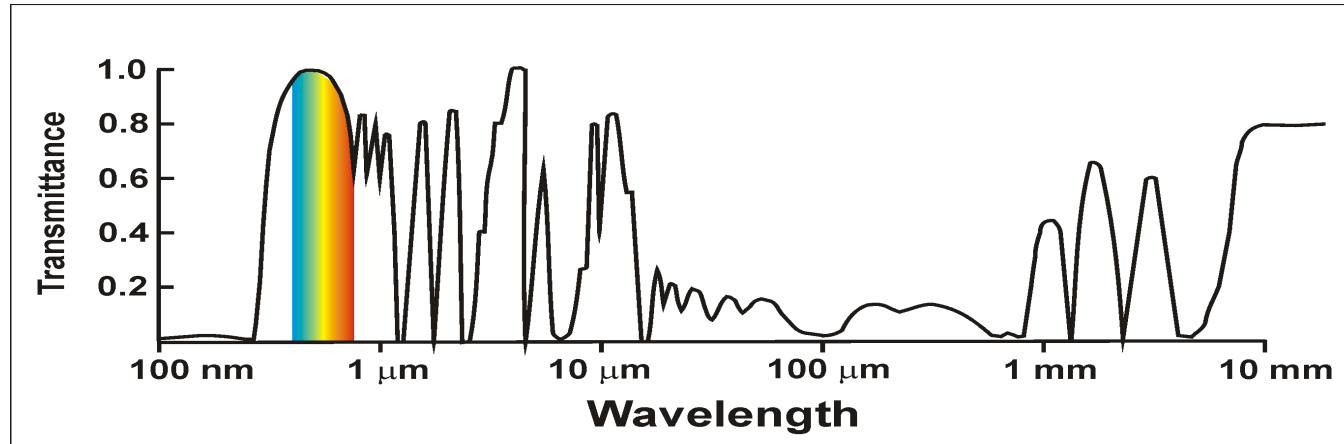
Τι πρέπει να γνωρίζουμε όταν μετράμε την ΕΘΘ από το διάστημα;

- Πεδίο Κατόπτρευσης,
- Το μήκος κύματος,
- Πόση ενέργεια ακτινοβολίας δέχεται/μετράει ο αισθητήρας.



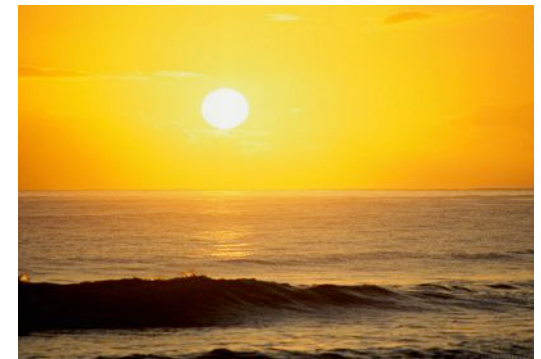
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Η ατμόσφαιρα είναι πιο διαπερατή στην υπέρυθρη στα 3.5 - 4.1  $\mu\text{m}$  και στα 10.0-12.5  $\mu\text{m}$ .



Στα 3.7  $\mu\text{m}$  η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι της ίδιας τάξης με την θαλάσσια ακτινοβολία →

Αυτό το μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο κατά την διάρκεια της νύχτας.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Ακρίβεια δεδομένων ΕΘΘ

- Ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα διαφοροποιείται η χωρική ανάλυση της πληροφορίας αλλά και η ακρίβεια των δεδομένων.
- Τα ραδιόμετρα υπέρυθρου φάσματος:
  - δεν μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα,
  - σε συνθήκες απουσίας σύννεφων, μπορούν να προσδιορίσουν την ΕΘΘ σε καλή χωρική ανάλυση, τάξης του 1 km.
- Τα ραδιόμετρα μικροκυμάτων:
  - επηρεάζονται ελάχιστα από τις συνθήκες της ατμόσφαιρας εκτός από την βαριά βροχόπτωση.
  - μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα, αλλά η χωρική διακριτική τους ικανότητα φτάνει τα 50 km.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Ακρίβεια δεδομένων ΕΘΘ

- Ανάλογα με το φαινόμενο που παρατηρείται, απαιτείται διαφορετική χωρική και χρονική ανάλυση.
- Η ακρίβεια της πληροφορίας πρέπει να είναι σταθερή (σε συγκεκριμένους βαθμούς Kelvin → αποφυγή σφαλμάτων).
- Πλανητική κλίμακα (ωκεάνια κυκλοφορία): αποδεκτή η ακρίβεια των 5 βαθμών Kelvin.
  - Χρονική ανάλυση: τουλάχιστον 30 ημέρες.
  - Χωρική ανάλυση: τουλάχιστον 300 km.
- Τοπική κλίμακα (θαλάσσια ρεύματα, μέτωπα): απαιτείται χρονοσειρά δεδομένων.
  - Ενδείξεις κλιματικής αλλαγής,
  - Χρονική ανάλυση: από μερικές ημέρες μέχρι έτη.
  - Χωρική ανάλυση: μερικών χιλιομέτρων.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Μεθοδολογία εύρεσης ΕΘΘ

1. Προεπεξεργασία δορυφορικών απεικονίσεων:
  - α) Ραδιομετρική διόρθωση,
  - β) Γεωμετρική διόρθωση,
2. Εύρεση – υπολογισμός ΕΘΘ,  
Μοντέλα ατμοσφαιρικής διόρθωσης  
Υπέρυθροι αισθητήρες και μικροκύματα  
Πολυφασματικά δεδομένα
3. Μάσκα στεριάς,
4. Αφαίρεση νεφών.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## 1. Προεπεξεργασία δορυφορικών απεικονίσεων

### α) Ραδιομετρική διόρθωση

- Μετατρέπεται η πληροφορία του δέκτη (ψηφιακές τιμές), σε ακτινοβολία συγκεκριμένου φάσματος.
- Οι δορυφορικοί αισθητήρες δεν καταγράφουν την ακριβή τιμή της ακτινοβολίας που εκπέμπουν ή αντανακλούν οι επιφάνειες.
- Οι ραδιομετρικές τιμές αλλοιώνονται από σφάλματα του αισθητήρα ή/και από ατμοσφαιρικούς παράγοντες.
- Έτσι, δεν μπορεί να γίνει ποσοτικοποίηση των σφαλμάτων και για αυτό τον λόγο υπάρχουν μοντέλα που τις διορθώνουν.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## 1. Προεπεξεργασία δορυφορικών απεικονίσεων α) Ραδιομετρική διόρθωση

- Μετατρέπεται η πληροφορία του δέκτη (ψηφιακές τιμές), σε ακτινοβολία συγκεκριμένου φάσματος.

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) \times BV_{ijk}}{C_{\max}},$$

Όπου:

$L_{\lambda}$ : Ακτινοβολία ( $m^2 \times ster \times \mu m$ )

$L_{\min}$ : Η ελάχιστη φασματική ακτινοβολία που μπορεί να επιτευχθεί σε κάθε κανάλι στην ψηφιακή τιμή σε  $C_{\min}$ .

$L_{\max}$ : Η μέγιστη φασματική ακτινοβολία που μπορεί να επιτευχθεί σε κάθε κανάλι στην ψηφιακή τιμή σε  $C_{\max}$ .

$BV_{ijk}$ : Οι ψηφιακές τιμές της εικόνας

$C_{\max}$ : Είναι η μέγιστη τιμή της ψηφιακής εικόνας (π.χ. 255 για 8 bits)

$C_{\min}$ : Είναι η ελάχιστη τιμή της ψηφιακής εικόνας (π.χ. 0 για 8 bits)



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## 1. Προεπεξεργασία δορυφορικών απεικονίσεων β) Γεωμετρική διόρθωση

- Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως σκοπό, τον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων των εικόνων.
- Οι απεικονίσεις συνήθως έχουν παραμορφώσεις λόγο της γωνίας λήψης των εικόνων και της απόστασης των συστημάτων από τα αντικείμενα στόχους.
- Με τη διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης, οι δορυφορικές εικόνες αποκτούν κλίμακα και ιδιότητες προβολής σε χάρτη.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## 2. Εύρεση – υπολογισμός ΕΘΘ

- «Γεωφυσική διόρθωση». Περιλαμβάνει τη διαδικασία μετατροπής των ραδιομετρικών τιμών σε ωκεανογραφικές παραμέτρους.
- Περίπλοκη διαδικασία (μοντέλα ατμοσφαιρικής διόρθωσης, υπέρυθροι αισθητήρες - μικροκύματα, πολυφασματικά δεδομένα).
- ΕΘΘ → θεωρία Planck μέσω του αλγόριθμου μετατροπής:

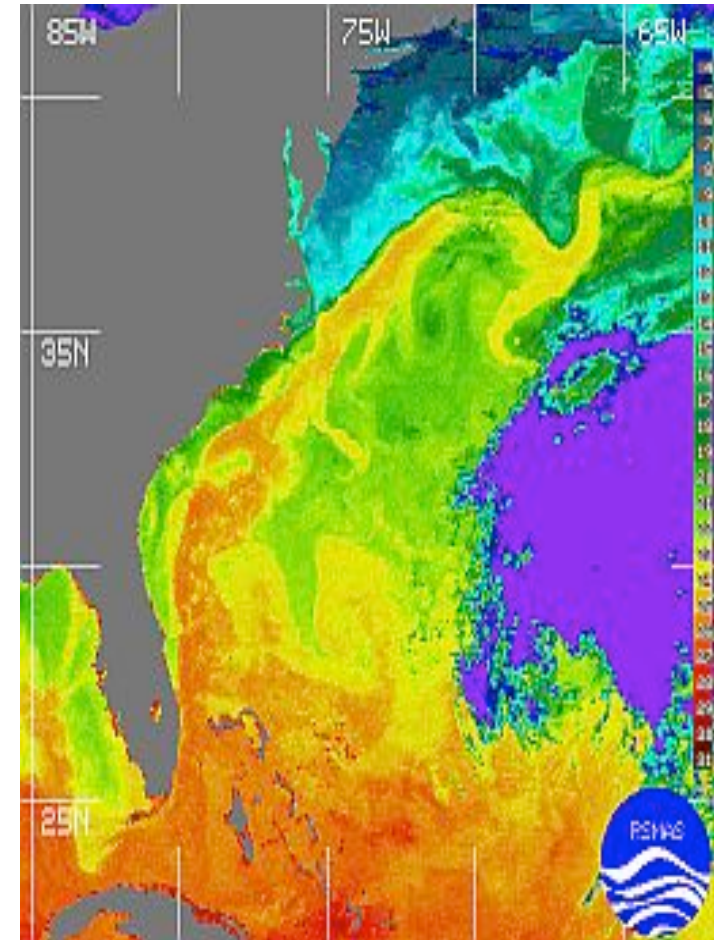
$$BT = \frac{K_2}{\left\{ \ln \left[ \frac{K_1}{L} + 1 \right] \right\}}$$

- Όπου:
- BT: Θερμοκρασία Θάλασσας (Βαθμοί Kelvin)
  - $K_1$ : Σταθερά βαθμονόμησης 1 (watts/(m<sup>2</sup> \* ster \* μm)
  - $K_2$ : Σταθερά βαθμονόμησης 2 (Βαθμοί Kelvin)

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## 3. Μάσκα στεριάς

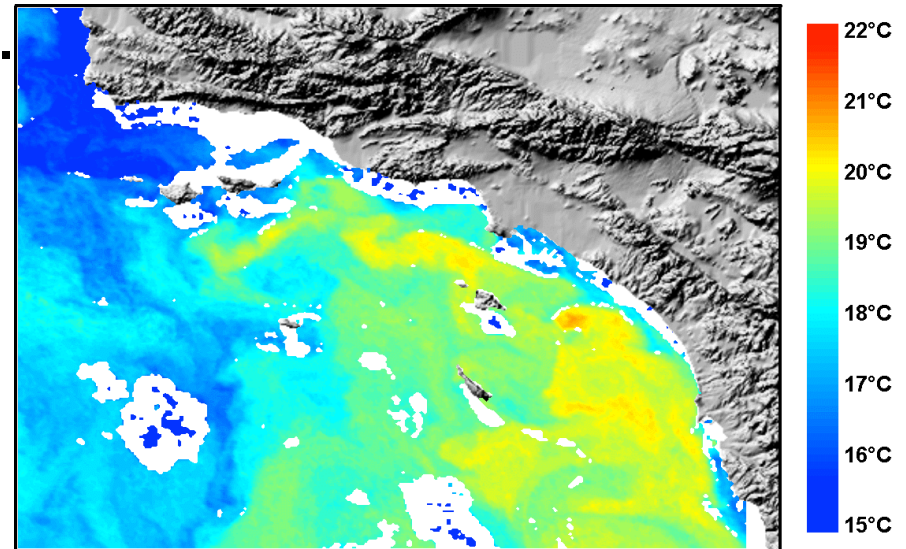
- Ενδιαφέρον στον θαλάσσιο χώρο → η στεριά πρέπει να αποκλειστεί.
- Μείωση περιττής πληροφορίας.
- Μείωση του χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων.
- Για τον διαχωρισμό των τιμών εδάφους – θάλασσας, απαιτείται δορυφορική απεικόνιση, καθαρή από άποψη νέφους και σύννεφων.
- Στη συνέχεια, μετατρέπονται σε τιμές 0 και 1, ξηρά και θάλασσα αντίστοιχα.
- Η μάσκα εφαρμόζεται σε όλες τις απεικονίσεις.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## 4. Αφαίρεση σύννεφων

- Συνεχή καταγραφή θερμοκρασίας ακτινοβολίας (brightness temperature) άσχετα με το γεγονός ύπαρξης σύννεφων,
- Πρόβλημα παρεμβολής δεδομένων.
  - Συγκεκριμένοι τρόποι αποφυγής χαμηλής θερμοκρασίας (σύννεφα):
    - Τιμή κατωφλίων,
    - Αντανάκλαση σύννεφων,
    - Έλεγχοι χωρικής συνοχής (spatial coherency tests).



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Ατμοσφαιρική διόρθωση

- Χρησιμοποιούμε υπέρυθρους αισθητήρες και μικροκύματα.
- Στο υπέρυθρο η μοριακή ατμοσφαιρική απορρόφηση είναι σημαντική.
- Οι υδρατμοί είναι ένας μεταβαλλόμενος παράγοντας.
- Τα σύννεφα και τα αεροζόλ μερικώς απορροφούνε και εκπέμπουν ακτινοβολία.
- ΕΘΘ συνάρτηση της ακτινοβολίας λαμπρότητας στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας σε διάφορα κανάλια n:  
$$E_{\Theta\Theta} = f(T_1, T_2, \dots, T_n)$$
- Η συνάρτηση  $f$  είναι πολύπλοκη και έχει την μορφή ενός πολυώνυμου  
$$E_{\Theta\Theta} \approx a_0 + a_1T_1 + a_2T_2 + \dots$$

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Αλγόριθμος Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)

- Η συνεισφορά των ατμοσφαιρικών υδρατμών είναι διαφορετική για διαφορετικά κανάλια.
- Υποθετικά το έλλειμμα θερμοκρασίας σε ένα κανάλι, που προκύπτει από την ατμοσφαιρική απορρόφηση από τους υδρατμούς, είναι μια γραμμική λειτουργία της διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας ανάμεσα σε δύο διαφορετικά κανάλια.
- $E_{\Theta\Theta} = A + B * (T1 - T2) + T1$



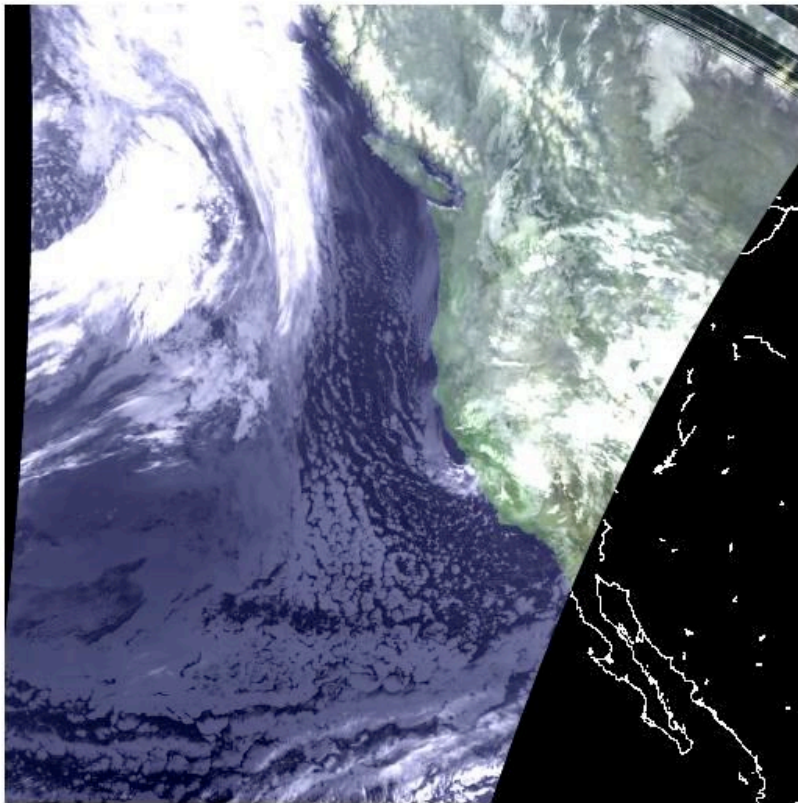
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Αλγόριθμος Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)

- Για παρατηρήσεις κατά την διάρκεια της μέρας χρησιμοποιούνται τα κανάλια στα 11 και 12  $\mu\text{m}$  :  
$$ΕΘΘ = 1.0346 * T_{11} + 2.5779 * (T_{11} - T_{12}) - 283.21$$
- Για παρατηρήσεις κατά την διάρκεια της νύχτας το κανάλι στα 3.7  $\mu\text{m}$  (την μέρα αχρηστεύεται λόγω του ηλιακού φωτός):  
$$ΕΘΘ 1 = 1.5018 * T_{3.7} - 0.4930 * T_{11} - 273.34$$
$$ΕΘΘ 2 = 3.6139 * T_{11} - 2.5789 * T_{12} - 283.18$$
$$ΕΘΘ 3 = 1.0170 * T_{11} + 0.9694 * (T_{3.7} - T_{12}) - 276.58$$
- ΕΘΘ σε βαθμούς Κελσίου, T σε βαθμούς Κέλβιν,  $K = C + 273$

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Αλγόριθμος Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)



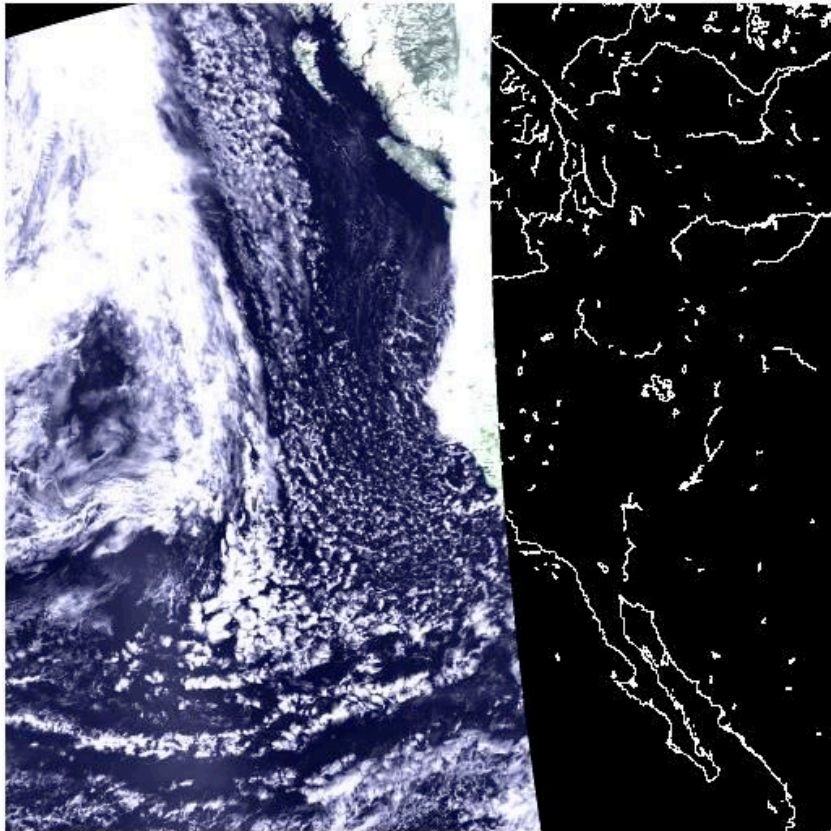
Ατμοσφαιρική διόρθωση:

1. Έλεγχος ανάκλασης στο Ορατό ή Υπέρυθρο (μόνο κατά την διάρκεια της μέρας).

Ανάκλαση ωκεάνιας επιφάνειας χωρίς σύννεφα μικρότερη του 10%  
Ανάκλαση ωκεάνιας επιφάνειας με σύννεφα μεγαλύτερη του 50%.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Αλγόριθμος Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)



Ατμοσφαιρική διόρθωση:

## 2. Έλεγχος ομοιομορφίας

Κατώτατο όριο διαφοροποιήσεων τιμών από γειτονικές περιοχές χωρίς σύννεφα (ορίζεται ελαφρώς μεγαλύτερο από τον θόρυβο του αισθητήρα).

Σε περιοχές με μερικά σύννεφα οι διαφοροποιήσεις είναι μεγαλύτερες.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Αλγόριθμος Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)

Ατμοσφαιρική διόρθωση:

3. Έλεγχος δια-σύγκρισης μεταξύ καναλιών:

Την νύχτα παίρνονται τρεις ανεξάρτητες μεταξύ τους μετρήσεις ΕΘΘ σε διαφορετικά κανάλια:

$$ΕΘΘ_1 = 1.5018 * T_{3.7} - 0.4930 * T_{11} - 273.34$$

$$ΕΘΘ_2 = 3.6139 * T_{11} - 2.5789 * T_{12} - 283.18$$

$$ΕΘΘ_3 = 1.0170 * T_{11} + 0.9694 * (T_{3.7} - T_{12}) - 276.58$$

Έντονη ατμοσφαιρική συνεισφορά → διαφορά μεταξύ  $ΕΘΘ_1$ ,  $ΕΘΘ_2$  και  $ΕΘΘ_3$  υπερβαίνει το κατώτατο όριο → υπολογισμένη τελική τιμή ΕΘΘ (pixel value) μαρκάρεται ως άκυρη.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Αλγόριθμος Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST)

Ατμοσφαιρική διόρθωση:

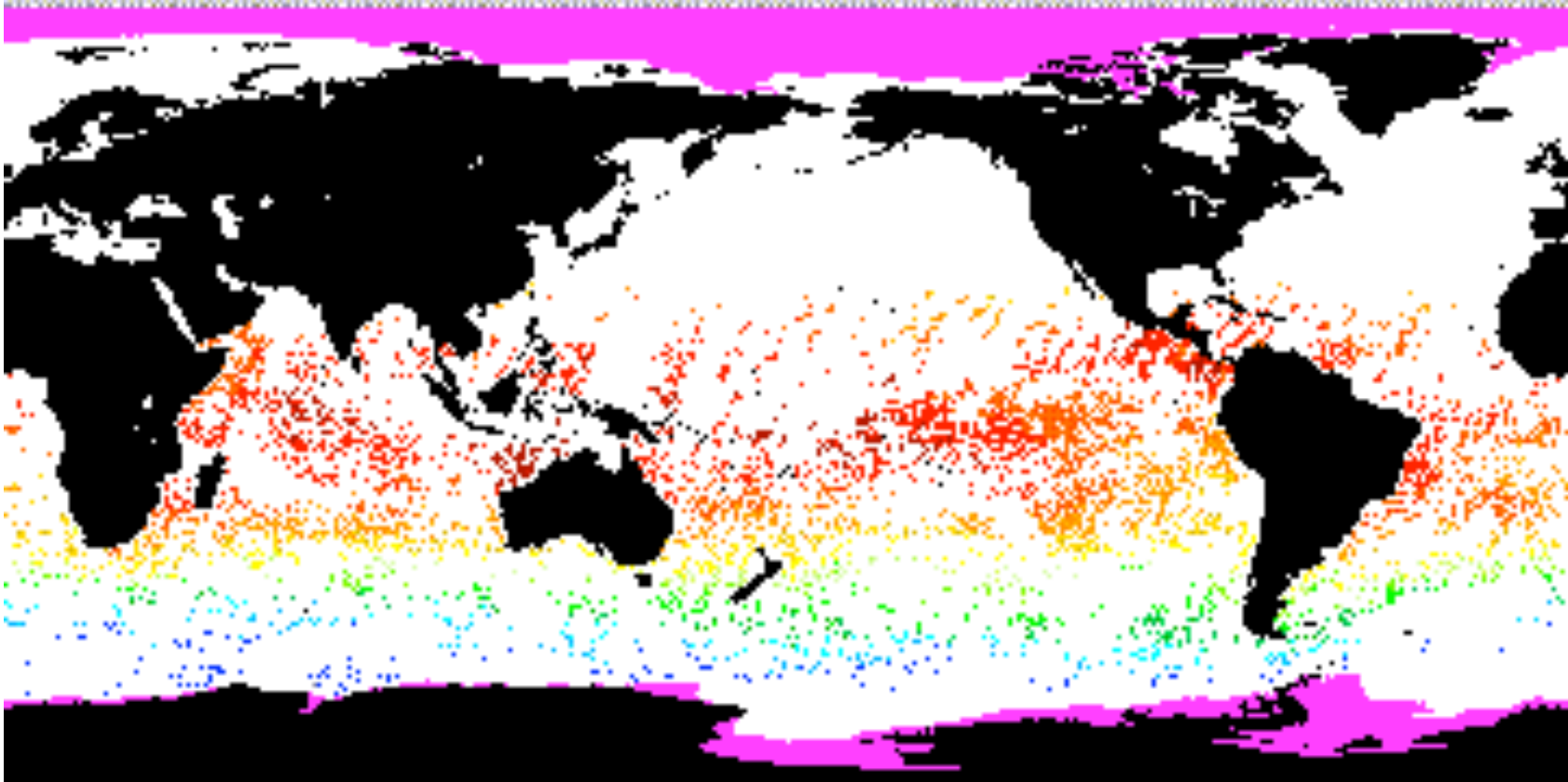
4. Σύγκριση τιμών ΕΘΘ με κλιματολογικά δεδομένα καθώς και με ΕΘΘ από εναλλακτικούς αλγορίθμους.

Έλεγχος «λογικής τιμής»: ΕΘΘ πρέπει να είναι από 2°C έως +35°C.

Έλεγχος «κλιματολογίας»: ΕΘΘ πρέπει να συμπίπτει με τη μηνιαία κλιματολογία στην συγκεκριμένη θέση μέσα στα όρια  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

Συχνά το 80-90% των δεδομένων AVHRR θεωρούνται νεφελώδη.

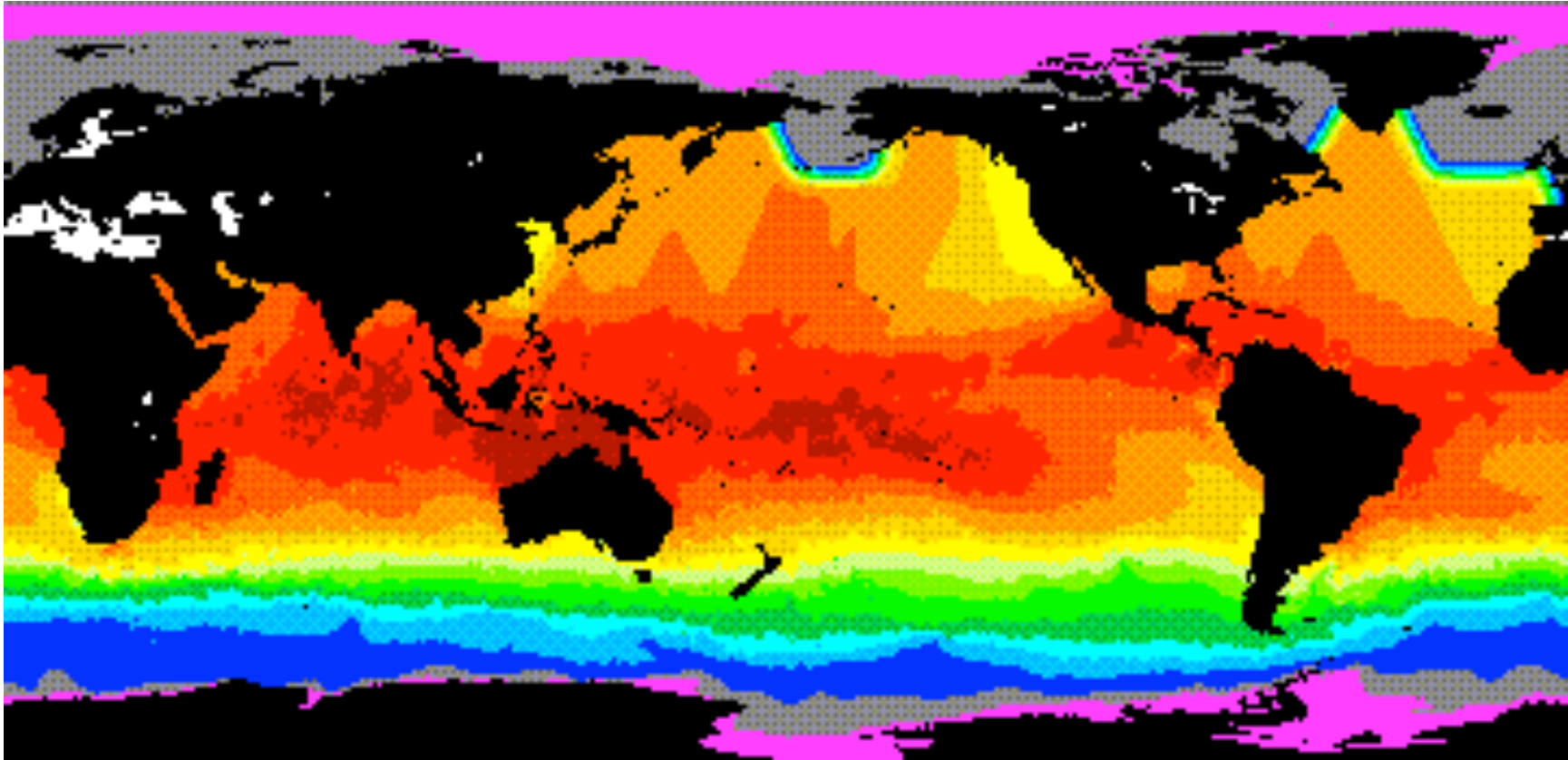
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



Παράδειγμα εβδομαδιαίων δεδομένων AVHRR χωρίς δεδομένα ΕΘΘ λόγω κάλυψης από σύννεφα.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



Περιοχές χωρίς μετρήσεις ΕΘΘ → παρεμβολή (interpolated)  
δεδομένων → αμφισβητήσιμη ισχύς δεδομένων.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Ατμοσφαιρική διόρθωση σε πολυφασματικούς αισθητήρες

- Στο υπέρυθρο περιοριζόμαστε περιοχές χωρίς σύννεφα.
- Στα μικροκύματα αποφεύγουμε παράκτιες περιοχές.

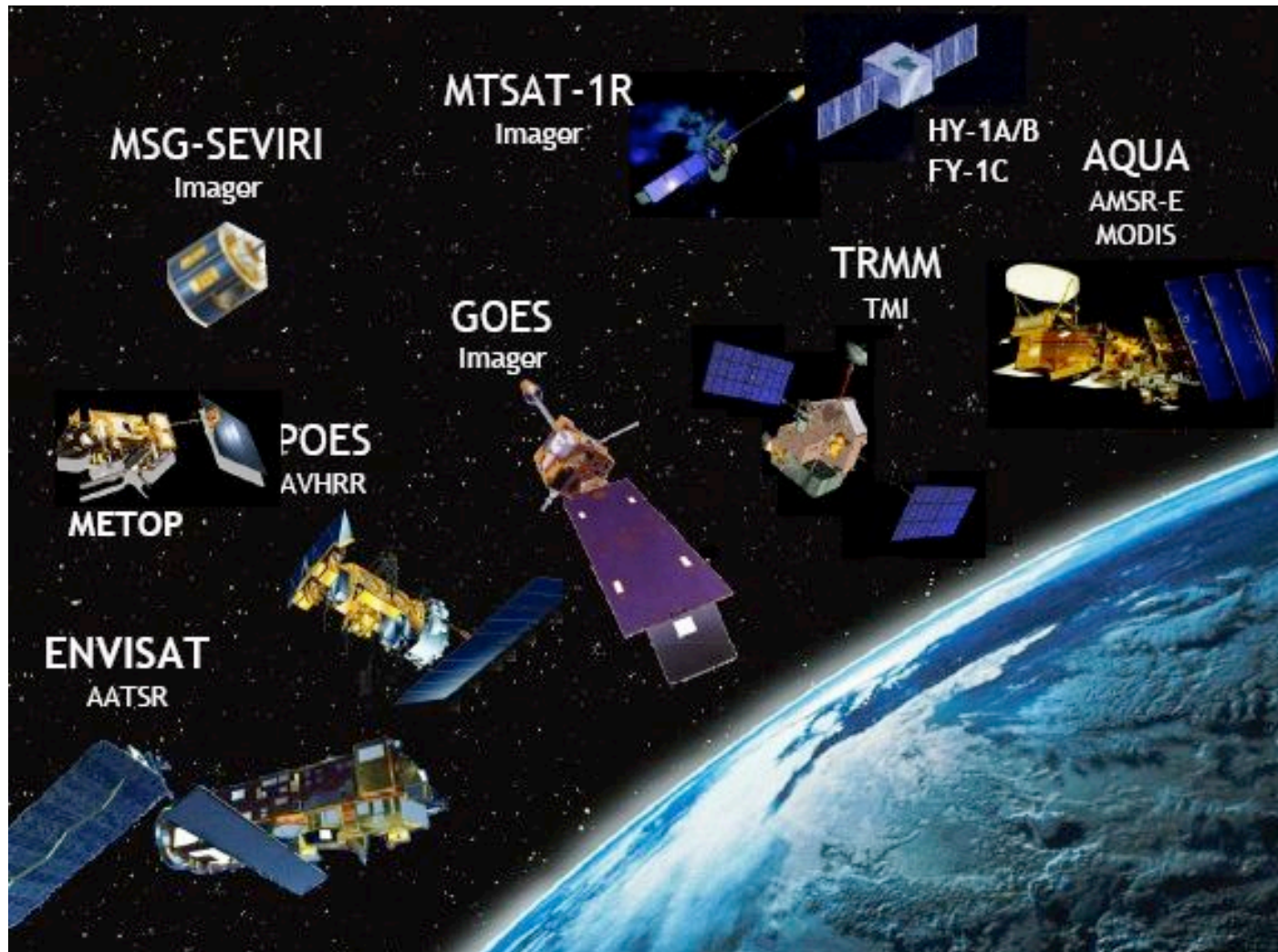
## Υπέρυθρο

- Μόνο σε περιοχές χωρίς σύννεφα.
- «Μεγάλη» ατμοσφαιρική διόρθωση μέχρι 15-20 οC στους τροπικούς.
- Μεγάλη χωρική ανάλυση 1 km.
- Υψηλή ραδιομετρική ευαισθησία.
- Πρόβλημα: αεροζόλ.

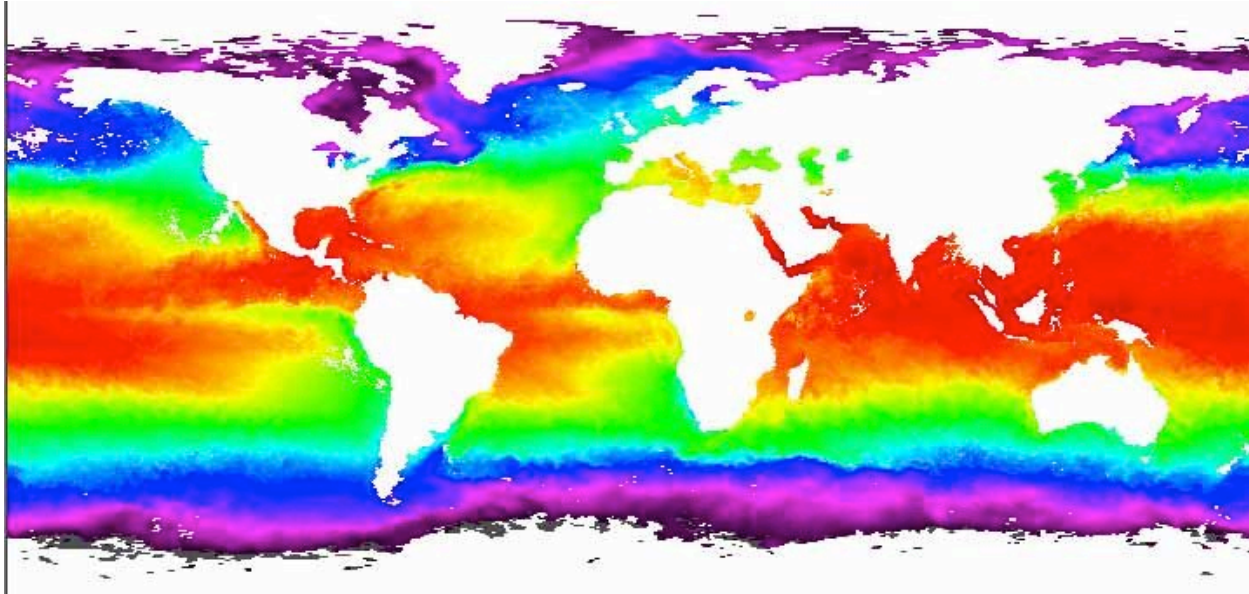
## Μικροκύματα

- Επηρεάζονται ελάχιστα από τα σύννεφα.
- «Μικρή» ατμοσφαιρική διόρθωση.
- Μικρή χωρική ανάλυση 20-100 km.
- Γραμμική ραδιομετρική ευαισθησία.
- Πρόβλημα: βροχή, παρεμβολή ραδιοφωνικών κυμάτων.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



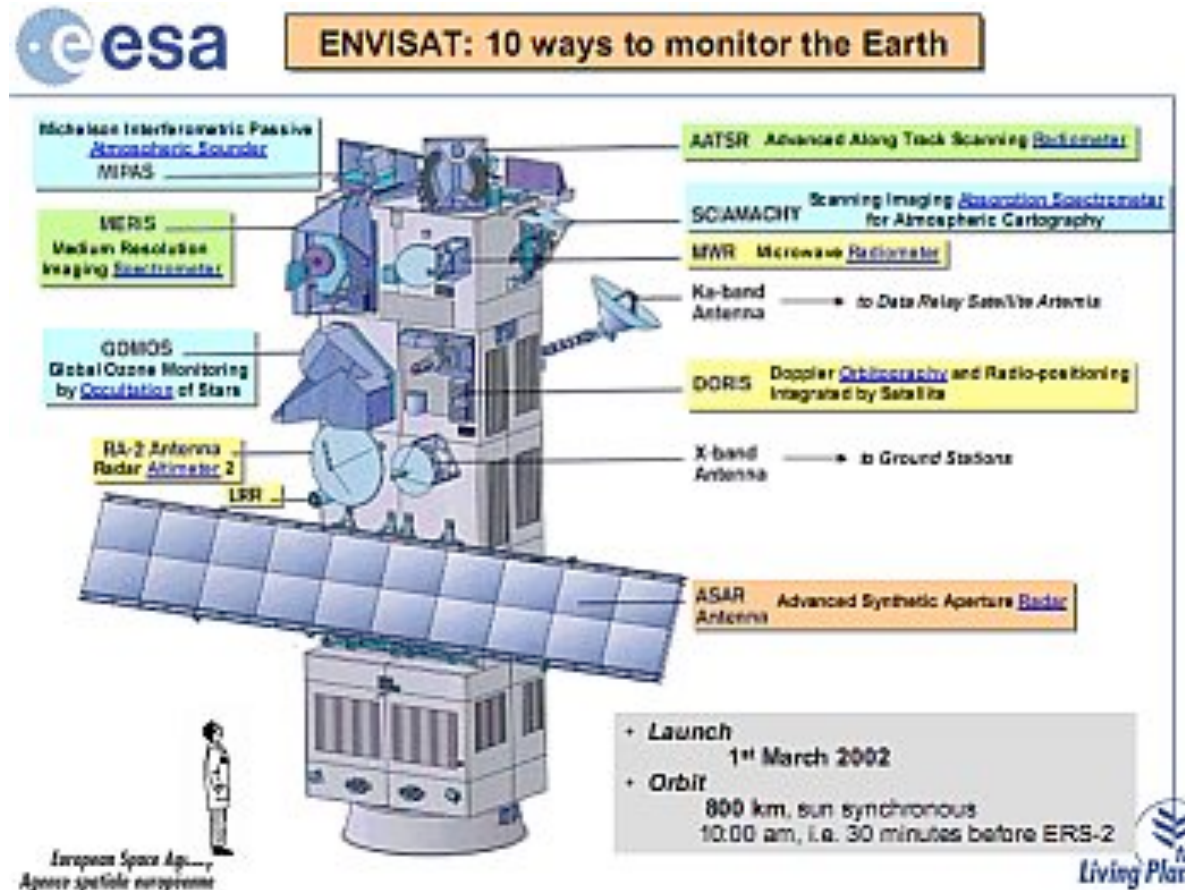
Οι πιο διαδεδομένοι αισθητήρες υπολογισμού ΕΘΘ είναι:

- AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer) στον ENVISAT,
- AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) στους NOAA,
- MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) στους δορυφόρους Terra και Aqua,
- IM-I (Imager Instrument) στους δορυφόρους GOES.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer) στον ENVISAT



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

**AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer) στον ENVISAT**

**Η Ευρωπαϊκή συνεισφορά στον υπολογισμό της ΕΘΘ.**

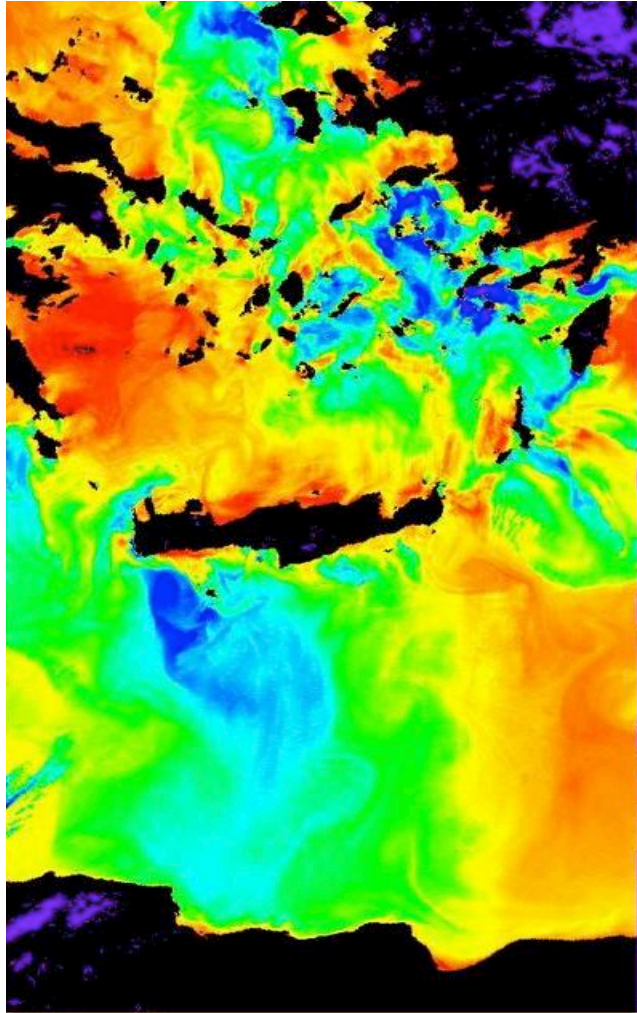
**ENVISAT εκτόξευση Μάρτιος 2002, τέλος λειτουργίας Απρίλιος 2012.**

Channel	Centre Wavelength	Bandwidth	Primary Application
0.55 $\mu\text{m}$	0.555 $\mu\text{m}$	20 nm	Chlorophyll
0.66 $\mu\text{m}$	0.659 $\mu\text{m}$	20 nm	Vegetation Index
0.87 $\mu\text{m}$	0.865 $\mu\text{m}$	20 nm	Vegetation Index
1.6 $\mu\text{m}$	1.61 $\mu\text{m}$	0.3 $\mu\text{m}$	Cloud Clearing
3.7 $\mu\text{m}$	3.70 $\mu\text{m}$	0.3 $\mu\text{m}$	SST
11 $\mu\text{m}$	10.85 $\mu\text{m}$	1.0 $\mu\text{m}$	SST
12 $\mu\text{m}$	12.00 $\mu\text{m}$	1.0 $\mu\text{m}$	SST

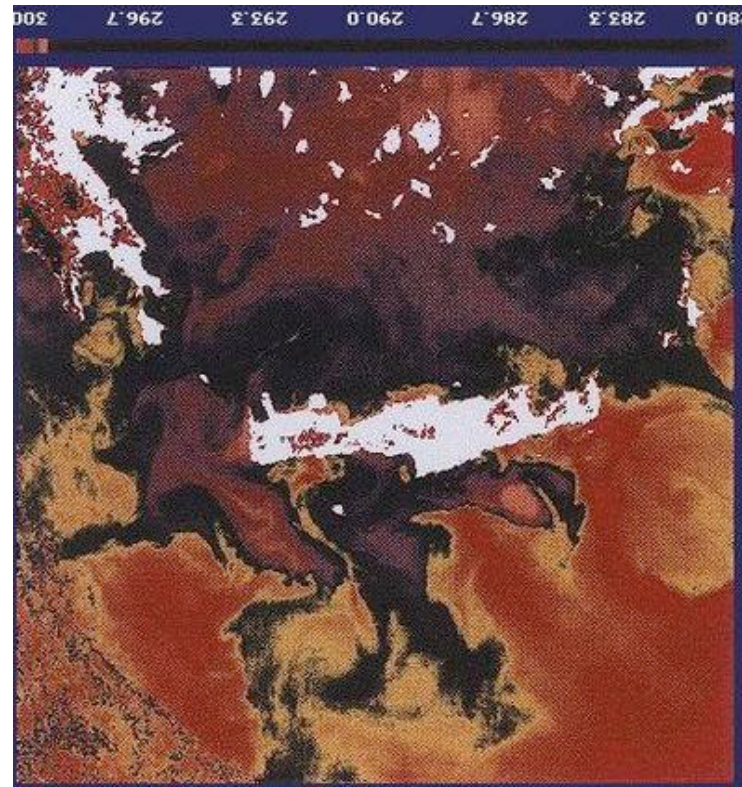
**Ραδιομετρική βαθμονόμηση με δύο μέλαν σώματα,  
Ραδιομετρική ακρίβεια 0.3 K,  
Χωρική ανάλυση 1 km,  
Εύρος λουρίδας σάρωσης στο ναδίρ 512 km.**



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



ATSR (Along-Track Scanning Radiometer) στον ERS

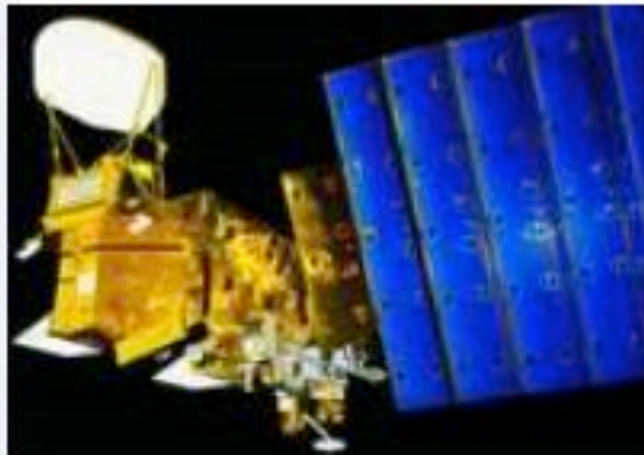


# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) στους  
δορυφόρους Terra και Aqua

## MODIS - Aqua

*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*



AGENCY	NASA (USA)
SATELLITE	Aqua (EOS-PM1)
LAUNCH DATE	04/05/02
SWATH (km)	2330
RESOLUTION (m)	1000
# OF BANDS	36
SPECTRAL COVERAGE(nm)	405-14385

Χωρική ανάλυση: 250 m (bands 1-2), 500 m (bands 3-7), 1000 m (bands 8-36)

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

**MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) στους  
δορυφόρους Terra και Aqua**

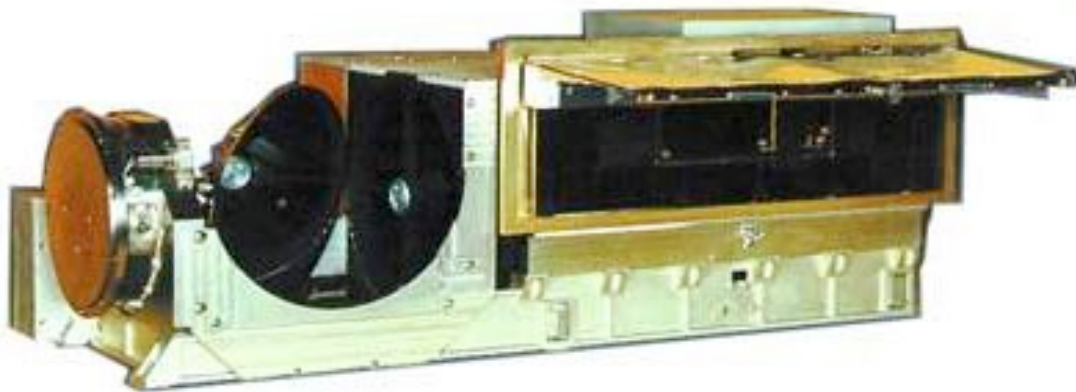
Table 1. Bands for MODIS Infrared SST Determination

Band Number	Band Center ( $\mu$ )	Bandwidth ( $\mu$ )	NE•T (K)
20	3.750	0.1800	0.05
22	3.959	0.0594	0.07
23	4.050	0.0608	0.07
31	11.030	0.5000	0.05
32	12.020	0.5000	0.05

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Advanced Very High Resolution Radiometers (AVHRR)

Ιστορικά ο σημαντικός υπέρυθρος δορυφορικός αισθητήρας στους δορυφόρους NOAA από το 1978.



AVHRR/3

Η μέτρηση της ΕΘΘ από υπέρυθρους δορυφορικούς αισθητήρες είχε μεγάλο αντίκτυπο στην ωκεανογραφία και άλλες περιβαλλοντικές επιστήμες.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας (ΕΘΘ)

- Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το VHRR (Very High Resolution Radiometer) και είχε μόνο ένα κανάλι στο ορατό και ένα στο υπέρυθρο.
- Το AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) πρωτοεμφανίστηκε στον δορυφόρο TIROS-N (Television Infrared Observation Satellite) το 1978.



NOAA-11

## Δορυφόροι NOAA:

- σχεδόν πολικοί,
- ηλιοσύγχρονη τροχιά,
- μέχρι και NOAA 18.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Δορυφόροι NOAA με AVHRR

<u>Δορυφόρος</u>	<u>Εκτόξευση</u>	<u>Λειτουργία</u>
TIROS-N	13/10/78	19/10/78 - 30/01/80
NOAA-6	27/06/79	27/06/79 - 16/11/86
NOAA-7	23/06/81	24/08/81 - 07/06/86
NOAA-8	28/03/83	03/05/83 - 31/10/85
NOAA-9	12/12/84	25/02/85 - 11/05/94
NOAA-10	17/09/86	17/11/86 - 16/10/1991



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Δορυφόροι NOAA με AVHRR

<u>Δορυφόρος</u>	<u>Εκτόξευση</u>	<u>Λειτουργία</u>
NOAA-11	24/09/88	08/11/88 - 13/09/94
NOAA-12	14/05/91	14/05/91 - 15/12/94
NOAA-14	30/12/94	30/12/94 - 23/05/07
NOAA-15	13/05/98	13/05/98 – παρόν
NOAA-16	21/09/2000	21/09/2000 – παρόν
NOAA-17	24/06/2002	24/06/2002 – παρόν
NOAA-18	20/05/2005	20/05/2005 – παρόν
NOAA-19	06/02/2009	06/02/2009 – παρόν

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Χαρακτηριστικά αισθητήρα AVHRR

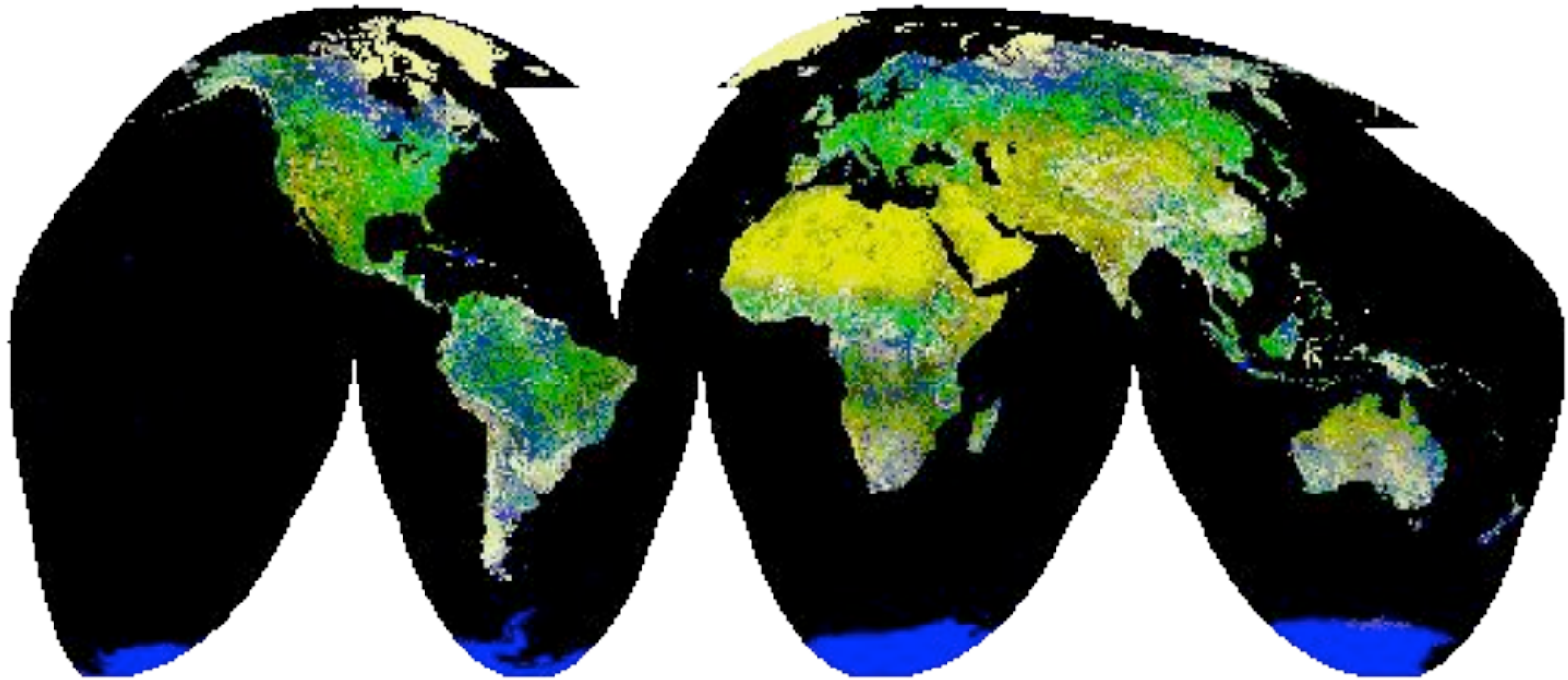
Κανάλι	Δορυφόροι NOAA-6,8,10 [μm]	Δορυφόροι NOAA-7,9,11,12,14,15, 16,17,18 [μm]	IFOV [mrads]
1	0.58 - 0.68	0.58 - 0.68	1.39
2	0.725 - 1.10	0.725 - 1.00	1.41
3	3.55 - 3.93	3.55 - 3.93	
3A	-	1.58 - 1.64	1.51
3B	-	3.55 - 3.93	
4	10.50 - 11.50	10.3 - 11.3	1.41
5	10.50 - 11.50	11.5 - 12.5	1.30

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Χαρακτηριστικά αισθητήρα AVHRR

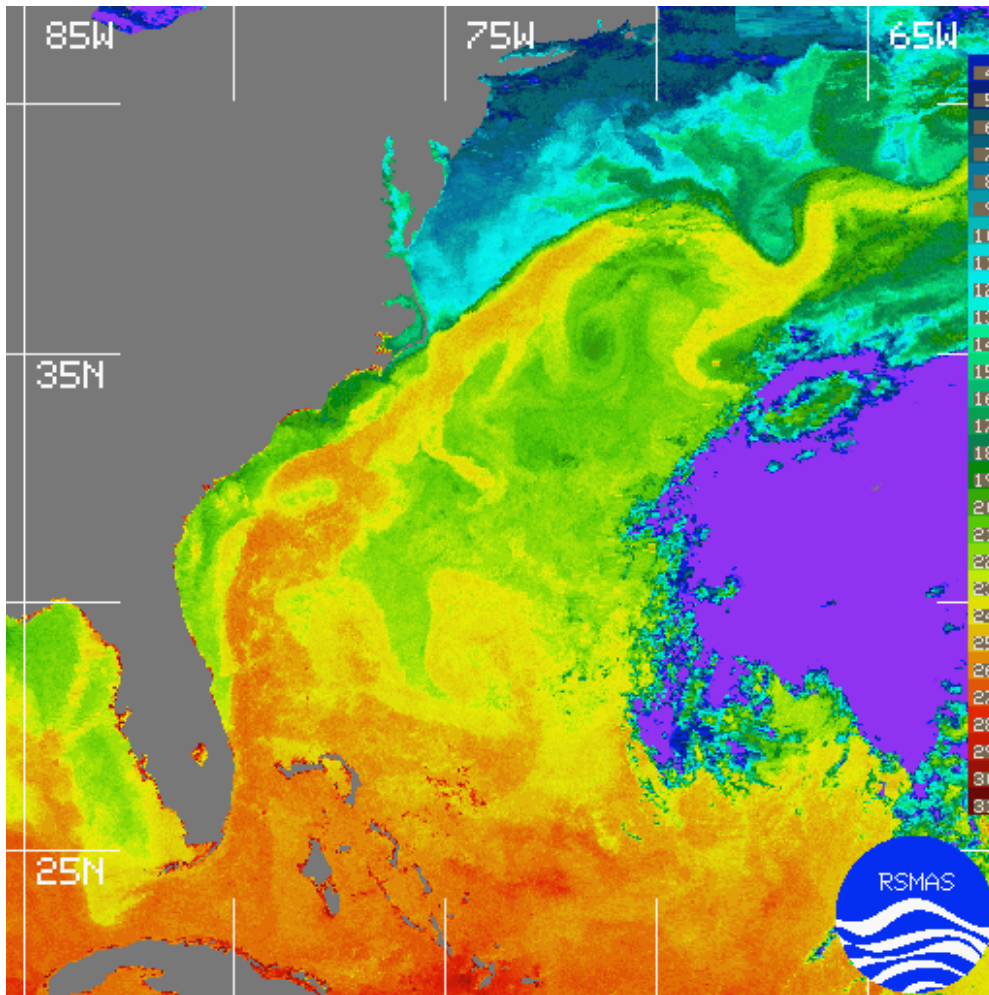
- Στιγμαίο Πεδίο Κατόπτρευσης (IFOV)  $\approx 1.3$  mrad,
  - Πεδίο Κατόπτρευσης στο ναδίρ 1.1 km,
  - Εύρος λουρίδας σάρωσης στο ναδίρ 2500 km,
  - Ύψος τροχιάς 833 km,
  - Περίοδος τροχιάς 102 min,
  - Ημερήσιες ολοκληρωμένες τροχιές 14.
- 
- Αλληλοεπικάλυψη μεταξύ γειτονικών τροχιών δορυφόρων με AVHRR,
  - Η επιφάνεια της γης σαρώνεται τουλάχιστον δύο φορές ημερησίως,
    - μία φορά από τις ανοδικές (μέρα) τροχιές και
    - μία φορά από τις καθοδικές (νύχτα) τροχιές.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



Ο λόγος μεταξύ του εγγύς υπέρυθρου και του υπέρυθρου καναλιού του AVHRR ονομάζεται Normalized Digital Vegetation Index (NDVI) και χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση βλάστησης ξηράς.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα



- Πολλαπλές εφαρμογές με παρατηρήσεις AVHRR της ΕΘΘ.
- Ανάλυση χωρικών και χρονικών διαφοροποιήσεων της ωκεάνιας κυκλοφορίας.
- Ωκεάνια κυκλοφορία → δέκτης για το κλίμα.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

## Δεδομένα AVHRR

- **High Resolution Picture Transmission (HRPT)**  
HRPT δεδομένα, είναι μέγιστης ανάλυσης, μεταδίδονται προς τον επίγειο σταθμό καθώς συλλέγονται.
- **Local Area Coverage (LAC)**  
LAC δεδομένα, μέγιστης ανάλυσης, αποθηκεύονται για μετέπειτα μετάδοση προς τους επίγειους σταθμούς.
- **Global Area Coverage (GAC)**  
GAC δεδομένα, παρέχουν ημερησίως παγκόσμια κάλυψη, χαμηλή ανάλυση, αποθηκεύονται για μετέπειτα μετάδοση προς τους επίγειους σταθμούς.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Δεδομένα AVHRR

Συλλέγονται σε διάφορα επιστημονικά κέντρα:

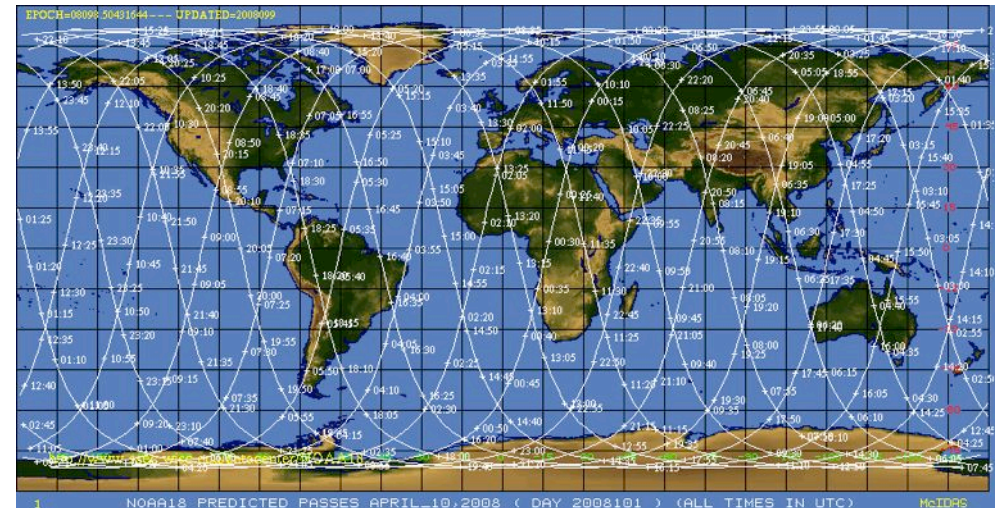
- **EROS**  
Earth Resources Observation Systems data center.
- **EDC**  
Earth Resources Observation Systems Data Center.
- **NOAA/NESDIS**  
National Environmental Satellite, Data and Information Service of  
National Oceanic and Atmospheric Administration.

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Επεξεργασία δεδομένων AVHRR

Γεωπροσανατολισμός

Μοντέλο τροχιάς (πίνακες που προβλέπουν την θέση του δορυφόρου για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα)  
- NAVY Space Surveillance.



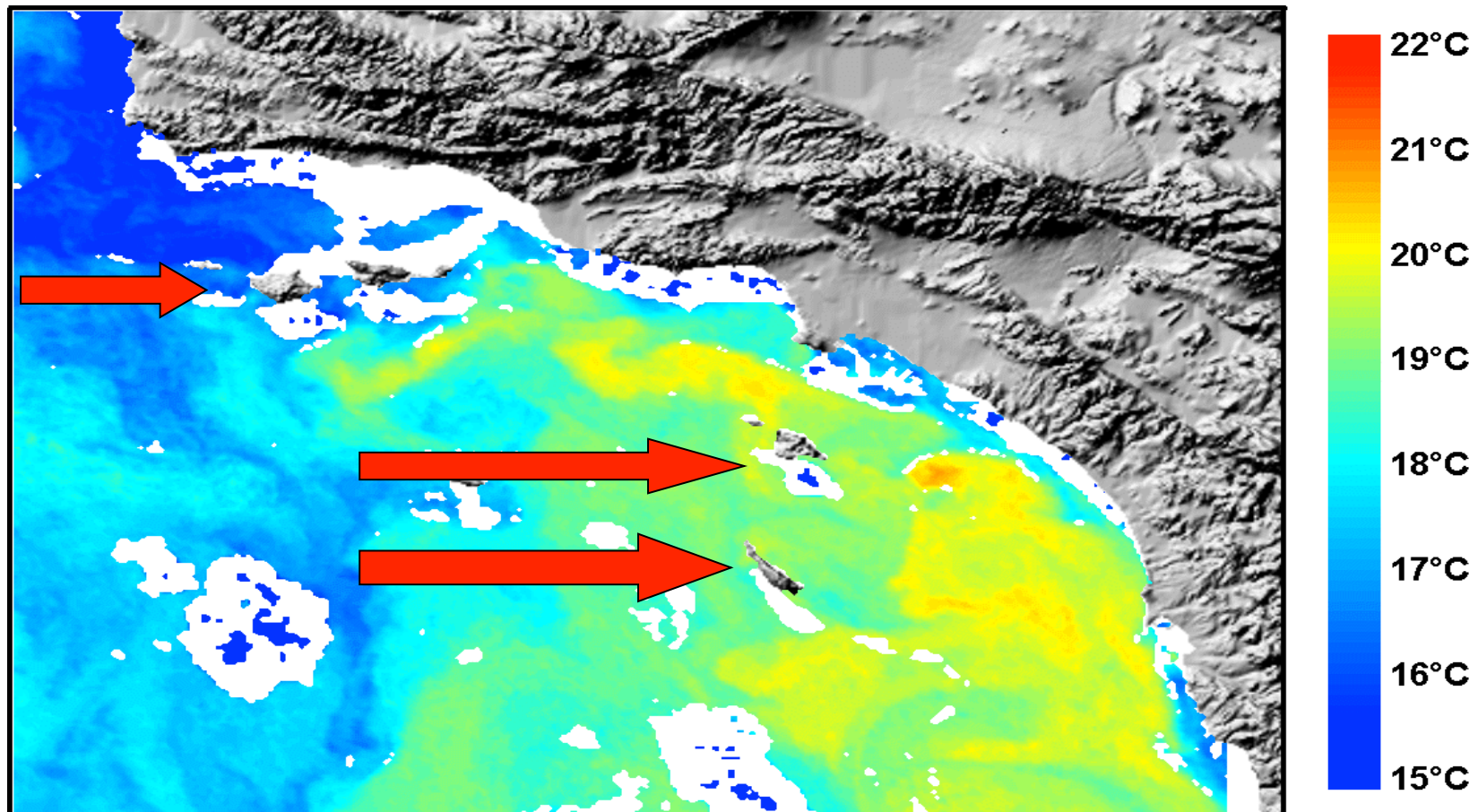
Τροχιά NOAA 18 για 10/04/2008

- Απαιτείται πιο λεπτομερής καθορισμός λόγω της περιστροφής της γης.
- Ακρίβεια συστηματικού γεωπροσανατολισμού 5 km.
- Τροχιές των δορυφόρων NOAA:

<http://www.ssec.wisc.edu/datacenter/NOAA18/>

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

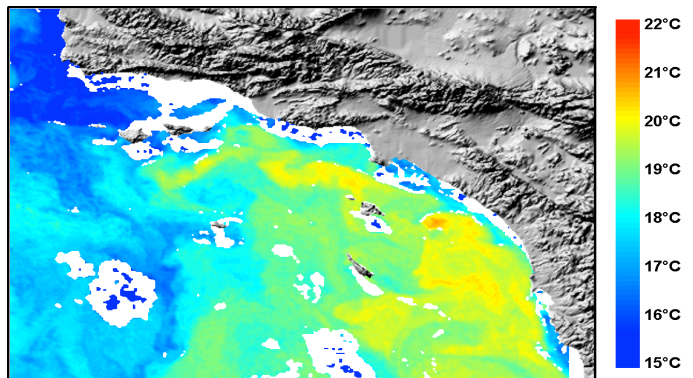
Επεξεργασία δεδομένων AVHRR



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Επεξεργασία δεδομένων AVHRR

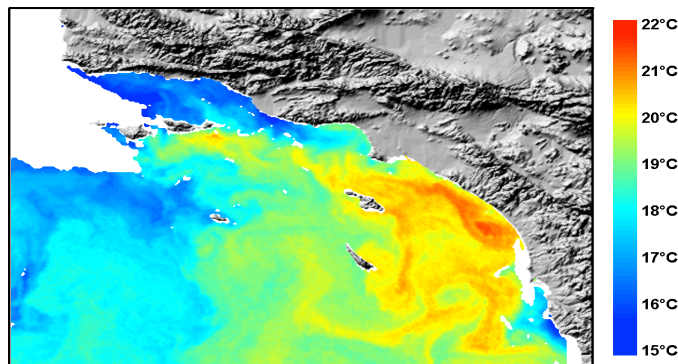
Γεωπροσανατολισμός



- Μέθοδοι προσδιορισμού → ακρίβεια 1 km  $\approx$  Στιγμαίου Πεδίου Κατόπτρευσης (IFOV).

- Συσχέτιση χαρακτηριστικών της εικόνας με:
  - χάρτες ακριβείας ή
  - χάρτες εικόνων με αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά: ακτογραμμές, υδάτινες μάζες ποταμοί.

- Συσχέτιση με νέες δορυφορικές τηλεπισκοπικές εικόνες χρησιμοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας.

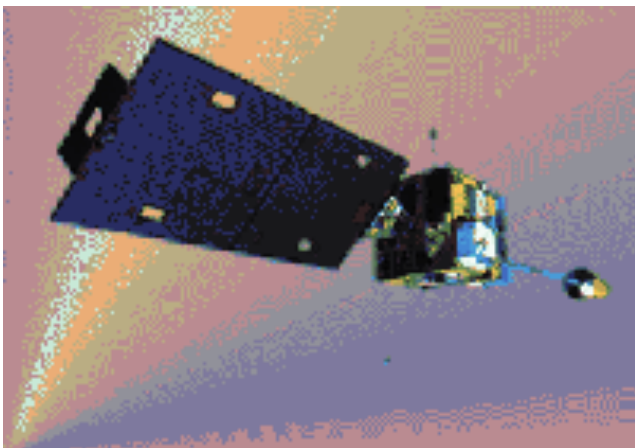




# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Δορυφόροι GOES με Imager Instrument (IM-I)

- Σειρά NOAA Γεωστάσιμων Επιχειρησιακών Περιβαλλοντικών Δορυφόρων (Geostationary Operational Environmental Satellites - GOES).
- Δεδομένα από 2 δορυφόρους:  
GOES East (GOES-10) και GOES West (GOES-12).
- Ημερήσιες απεικονίσεις στην ιστοσελίδα: <http://www.goes.noaa.gov/>
- Παρέχουν δεδομένα Level 3 ΕΘΘ με χωρική ανάλυση 6 km στις ζώνες:  
180W με 30W και 45S με 60N.



GOES WEST

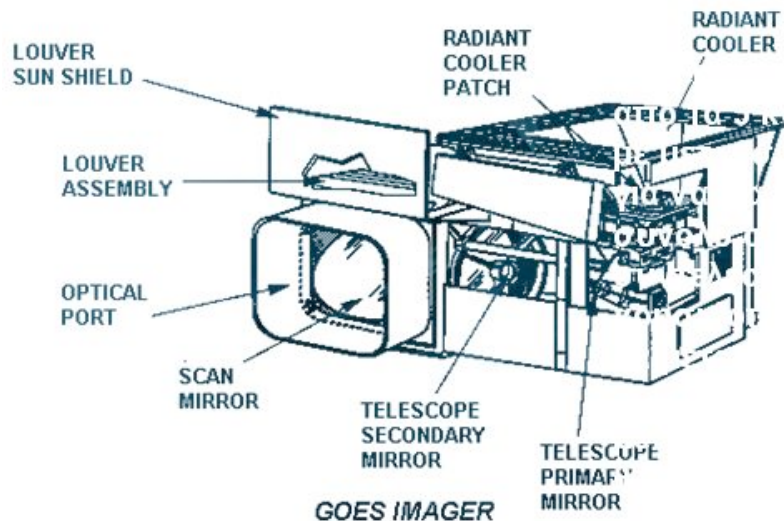


GOES EAST

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Δορυφόροι GOES με Imager Instrument (IM-I)

GOES Imager: συλλέγει δεδομένα σε 5 κανάλια (1 ορατό και 4 υπέρυθρα) κάθε 1 ώρα με χωρική ανάλυση 4 km.



Θερμοκρασίες λαμπρότητας 5 καναλιών  
↔ μετρήσεις σημαδούρες  
→ παραγωγή συντελεστών.

Συντελεστές → μετατροπή θερμοκρασιών  
λαμπρότητας σε μετρήσεις ΕΘΘ.

Παρόμοια θεωρία με τον μη γραμμικό  
αλγόριθμο των AVHRR.



# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Δορυφόροι GOES με Imager Instrument (IM-I)

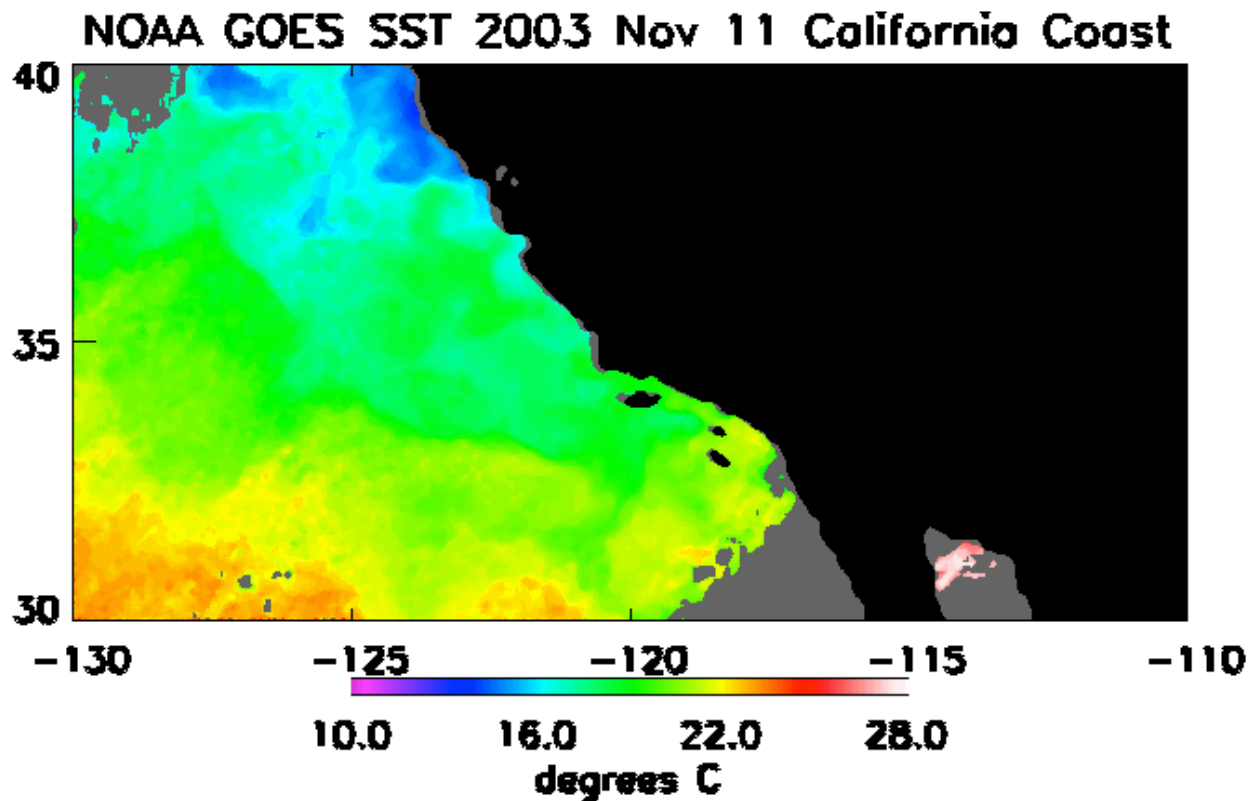
Κανάλι	Μήκος κύματος [ $\mu\text{m}$ ]
1 (Ορατό)	0.55 - 0.75
2 (Shortwave)	3.80 - 4.00
3 (Υγρασία)	6.50 - 7.00
4 (Υπέρυθρο 1)	10.20 - 11.20
5 (Υπέρυθρο 2)	11.50 - 12.50

## Ραδιομετρική βαθμονόμηση:

Το διάστημα και εσωτερικό υπέρυθρο μέλαν σώμα στους 290 ° K

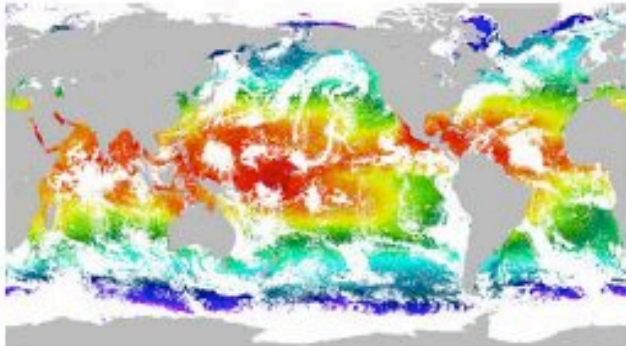
# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Δορυφόροι GOES με Imager Instrument (IM-I)

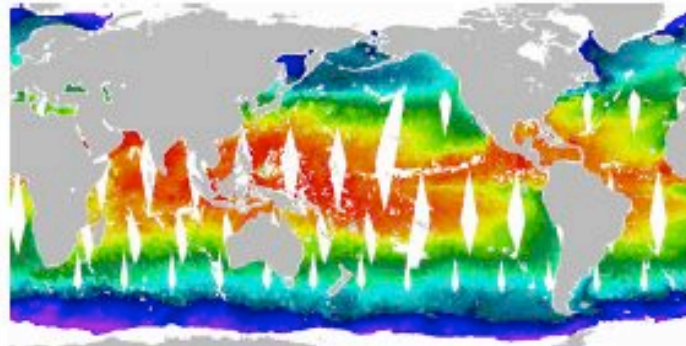


# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

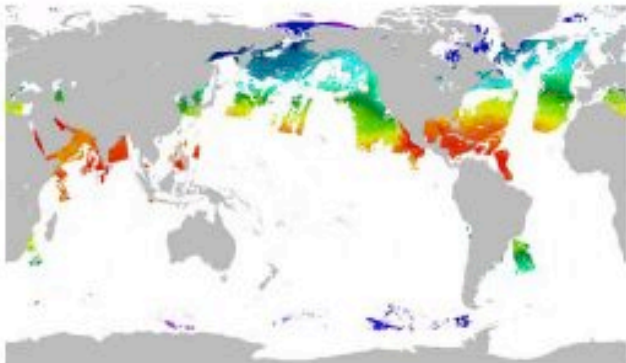
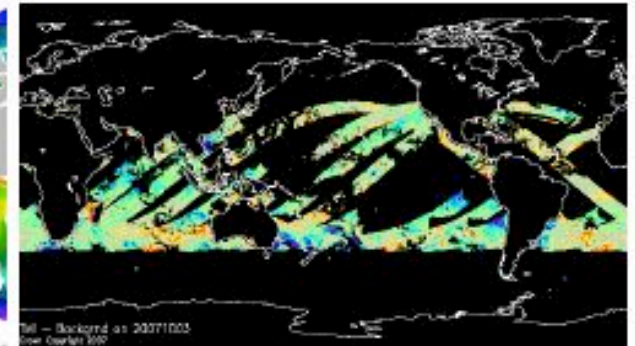
**METOP  
AVHRR GAC (9km)**



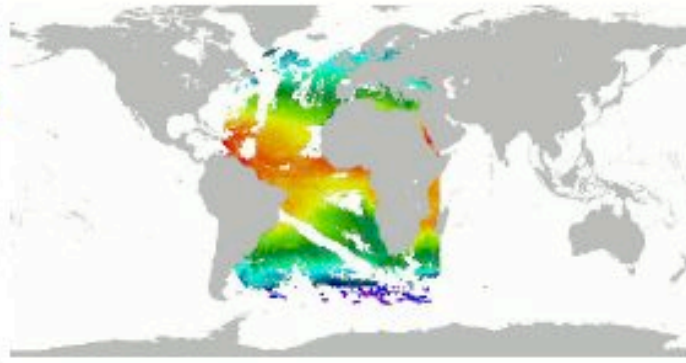
**AMSRE (25/12km)**



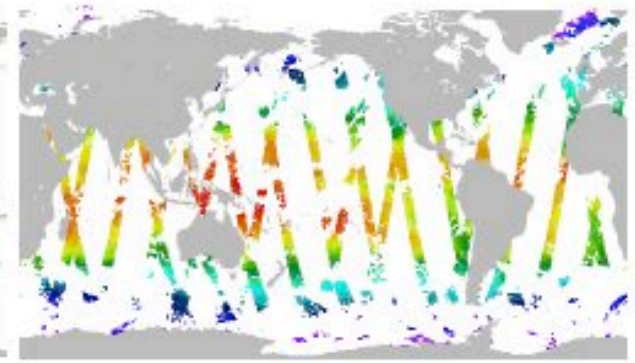
**TRMM/TMI (25km)**



**N-17/18  
AVHRR LAC (1km)**



**MSG (5/10km)**



**AATSR (1km)**

# Επιφανειακή Θερμοκρασία Θάλασσας από υπέρυθρα ραδιόμετρα

Οργανισμός	Ιστοσελίδα	Δορυφορικός Δέκτης	Επίπεδο Δεδομένων	Χωρική Διακριτική Ικανότητα
NASA	<a href="http://disc.sci.gsfc.nasa.gov">http://disc.sci.gsfc.nasa.gov</a>	Modis Aqua	3ο	4.6 km
NASA	<a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov</a>	Modis Aqua / Terra	2ο & 3ο	1km – 4.6km
ESA	<a href="http://www.ghrsst.org">http://www.ghrsst.org</a>	AMSRE	2 & 4	25km
		ATS	2 & 4	1 km
		AVHRR	2 & 4	9 km
		GOES	2 & 4	6km
		MODIS	2 & 4	1km – 4.6km
		SEVIRI	2 & 4	10km
ESA	<a href="http://www.medspiration.org">http://www.medspiration.org</a>	TMI	2 & 4	25km
		AMSRE	2 & 4	25km
		AVHRR	2 & 4	9 km
		ATS	2 & 4	1 km
NASA	<a href="http://podaac.jpl.nasa.gov">http://podaac.jpl.nasa.gov</a>	SEVIRI	2 & 4	10km
		TMI	2 & 4	25km
		AVHRR	2 & 3	9 km - 18km
Meteo France	<a href="http://www.osi-saf.org">http://www.osi-saf.org</a>	MODIS	3	4.6 km – 9km
		GOES	3	6km
NASA	<a href="http://www.remss.com">http://www.remss.com</a>	AVHRR	2 & 4	1km – 9km
		GOES	2 & 4	6km – 9 km
United States Geological Survey	<a href="http://glovis.usgs.gov">http://glovis.usgs.gov</a>	TMI	3 & 4	25km
		AMSRE	3 & 4	25km
ESA	<a href="http://earth.esa.int/dataproducts/">http://earth.esa.int/dataproducts/</a>	AVHRR	1 & 2	1km – 9 km
		MODIS	1 & 2	1 km
CNES	<a href="http://bulletin.mercator-ocean.fr">http://bulletin.mercator-ocean.fr</a>	AATSR	1 & 2	1 km
		AVHRR	1 & 2	1km – 9 km
		MODIS	1 & 2	1 km – 4.6km
		AVHRR	4	9km