

# ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ

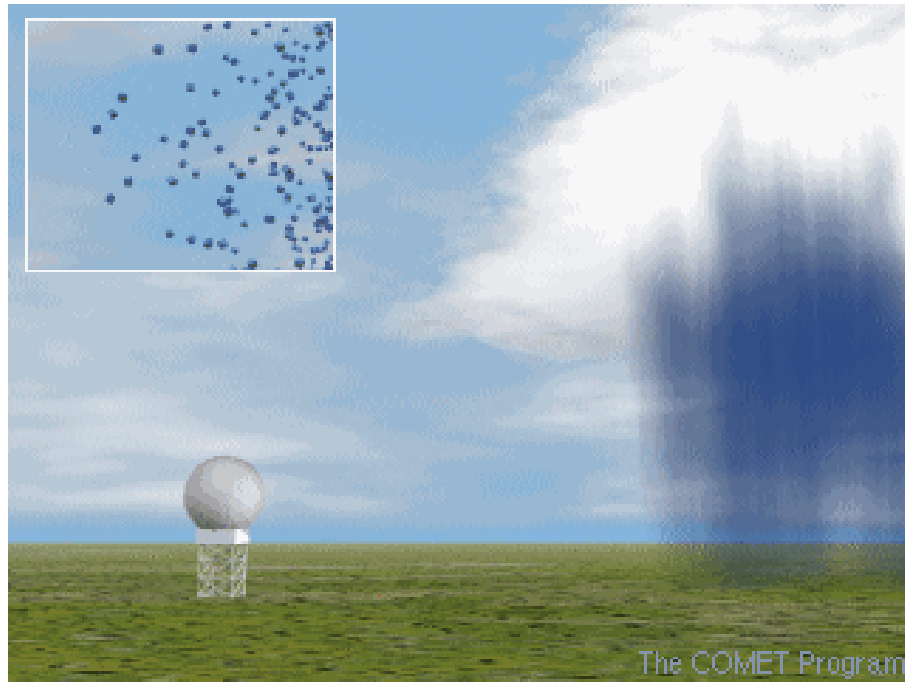
## *Radio Detection And Ranging*

**ραντάρ** → μετάδοση, διάδοση, σκέδαση και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Η πρώτη επιστροφή ραδιοκύματος: Appleton and Barnett (1925).
- Ανάπτυξη μικρού μήκους κύματος ραντάρ με κατευθυνόμενες κεραίες: 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο.
- Πρώτες μετρήσεις βροχής με ραντάρ (Marshall et al., 1947; Wexler, 1947).

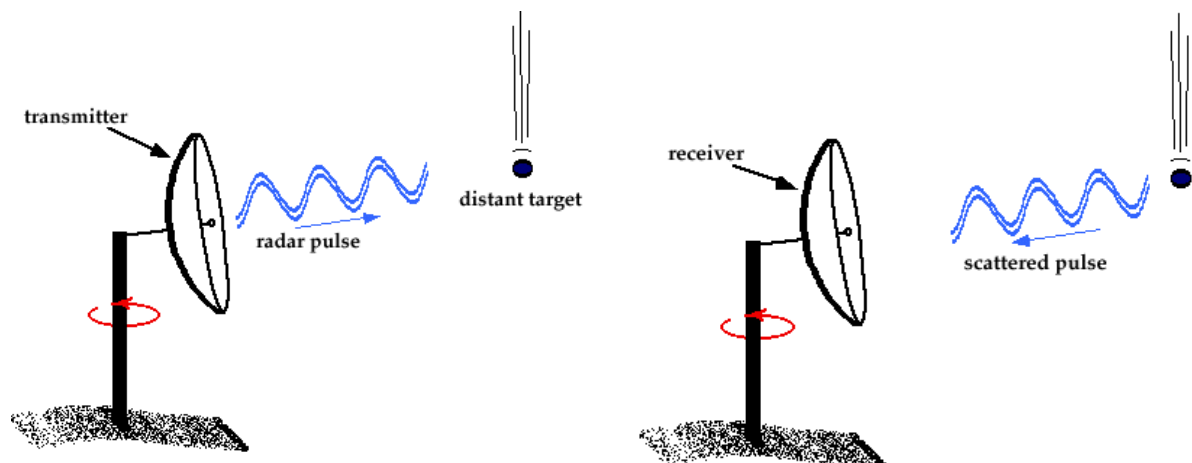
| <i>Ζώνη συχνότητας</i> | <i>Συχνότητα</i> | <i>Μήκος κύματος</i> |
|------------------------|------------------|----------------------|
| HF                     | 3-30MHz          | 10-100m              |
| VHF                    | 30 - 300 MHz     | 1-10 m               |
| UHF                    | 300 MHz - 1 GHz  | 30 cm -1 m           |
| L                      | 1- 2 GHz         | 15 - 30 cm           |
| S                      | 2-4 GHz          | 8-15cm               |
| C                      | 4-8 GHz          | 4-8 cm               |
| X                      | 8-12 GHz         | 2.5-4 cm             |
| Ku                     | 12-18 GHz        | 1.7-2.5 cm           |
| K                      | 18-27 GHz        | 1.2-1.7 cm           |
| Ka                     | 27-40 GHz        | 7.5 mm-1.2 cm        |
| mm                     | 40-300 GHz       | 1-7.5 mm             |

**κύματα** → συχνότητα  $f$  και μήκος κύματος  $\lambda$  :  $f=c/\lambda$   
αλληλεπιδρούν με τα υδρομετέωρα



## Σκέδαση

Οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια → διηλεκτρικές ιδιότητες σκεδαστή και προσανατολισμό, σχήμα και μέγεθος (κλάσμα του μήκους κύματος προς το μέγεθος του σκεδαστή)



■ Κεραία: χαρακτηρίζεται από την απολαβή της.

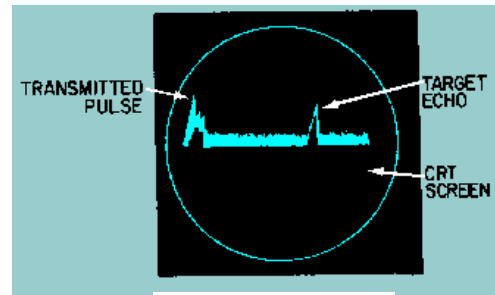
■ Απολαβή κεραίας = πηλίκο της εκπεμπόμενης ισχύος προς συγκεκριμένη διεύθυνση προς την ισχύ που θα παρήγαγε μία φανταστική κεραία που θα εξέπεμπε ισότροπα προς όλες τις διευθύνσεις.

■ Για συγκεκριμένο μήκος κύματος η δέσμη του ραντάρ είναι τόσο πιο λεπτή και η χωρική διακριτικότητα τόσο καλύτερη όσο η κεραία είναι μεγαλύτερη

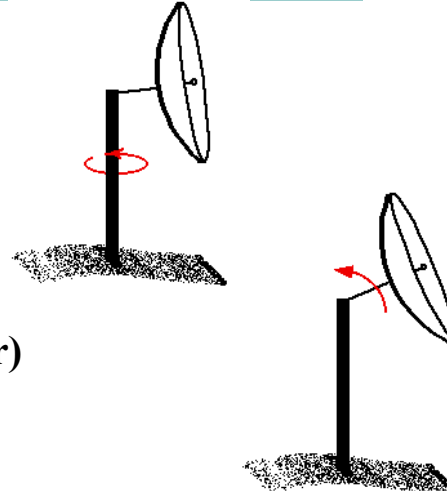
( για  $\lambda = 5 \text{ cm}$  και για δέσμη  $1^\circ$  → κεραία διαμέτρου  $5 \text{ m}$  )

# Σύστημα ενδείκτη ραντάρ

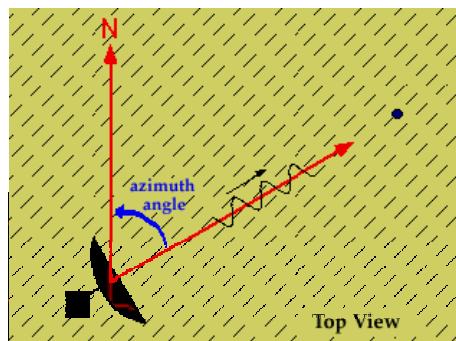
## SCOPE A



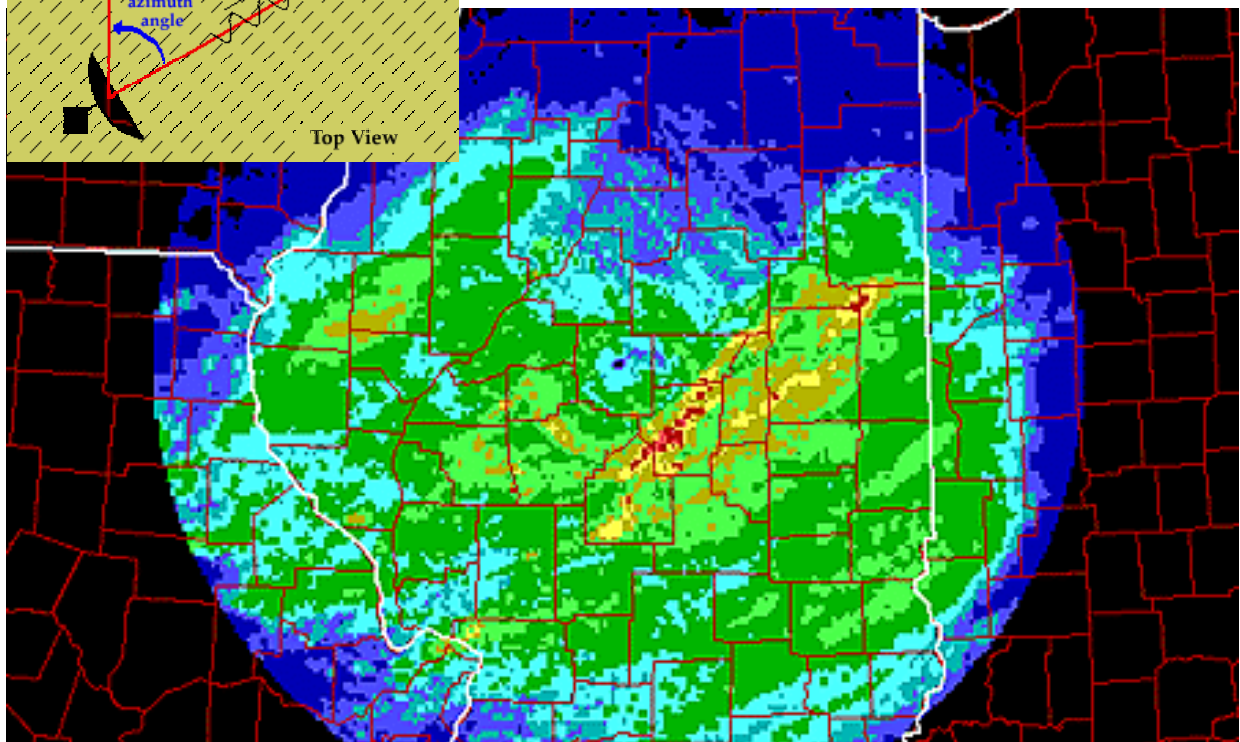
## PPI (Plan Position Indicator)

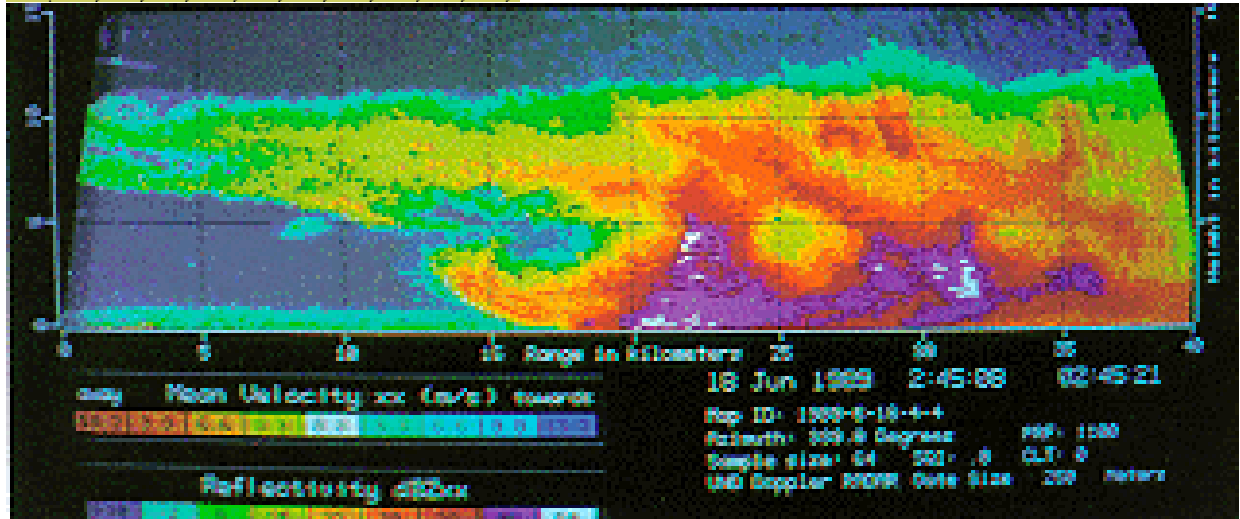


## RHI (Range Height Indicator)



## PPI – Plan Position Indicator





## Σκέδαση

Οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια → διηλεκτρικές ιδιότητες σκεδαστή και προσανατολισμό, σχήμα και μέγεθος (κλάσμα του μήκους κύματος προς το μέγεθος του σκεδαστή)

### Διατομή οπισθοσκέδασης $\sigma$ (backscattering cross section)

ισοδύναμη επιφάνεια που θα χρειαζόταν από ένα ισότροπο σκεδαστή για να επιστρέψει στον δέκτη την ισχύ που πράγματι λαμβάνεται.

- **οπτική περιοχή σκέδασης** :  $D/\lambda \gg 1 \rightarrow \sigma \sim$  επιφάνεια που δέχεται τη δέσμη του ραντάρ.
- περιοχή σκέδασης Rayleigh :  $D/\lambda \ll 1 \rightarrow \sigma \sim D^6$
- **περιοχή σκέδασης Mie** :  $\rightarrow \sigma$  μεταβάλλεται κατά σύνθετο τρόπο σε συνάρτηση με το μήκος κύματος και το μέγεθος των σωματιδίων που βρίσκονται στο μέσο

# Ανακλαστικότητα

**Ανακλαστικότητα ραντάρ,  $\eta$**  : ολική διατομή οπισθοσκέδασης στην μονάδα του όγκου.

$$\eta(cm^{-1}) = \frac{\sum \sigma_i}{V} = \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda^4} \int_V N(D) D^6 dD = 10^{-12} \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda(cm)^4} Z(mm^6 m^{-3})$$

(αν ισχύει η προσέγγιση Rayleigh)

$V$  : στοιχειώδης όγκος παρατήρησης,

$|K|^2$  η διηλεκτρική σταθερά (=0.92 για το νερό σε υγρή φάση, =0.18 για τον πάγο),

$Z$  ο παράγοντας ανακλαστικότητας που μετράται σε  $mm^6 m^{-3}$

## Εξίσωση Ραντάρ

$$P_{\Lambda} = P_E \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{64 \pi^3 R^4}$$

$P_{\Lambda}$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς

$P_E$  είναι η εκπεμπόμενη ισχύς

$G$  η απολαβή της κεραίας

$\sigma$  διατομή οπισθοσκέδασης

$\lambda$  μήκος κύματος

$R$  απόσταση

$$P_{\Lambda} = C |K|^2 Z / R^2$$

# Παράγοντας Ανακλαστικότητας

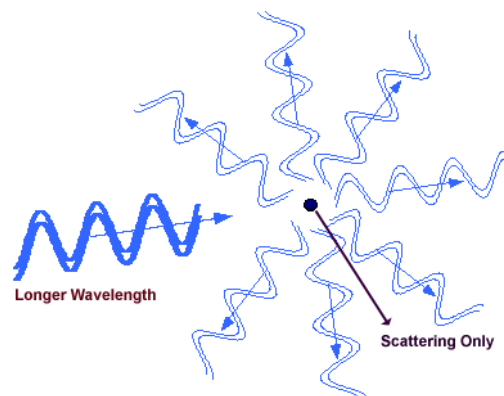
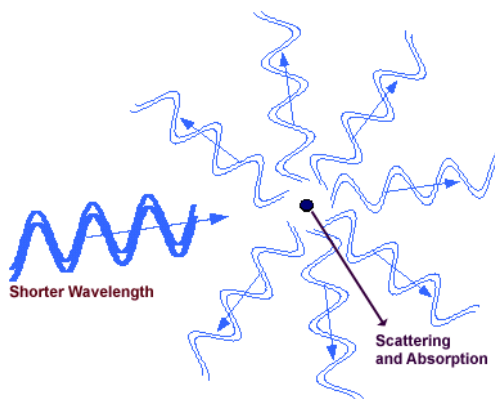
$Z=10^{-1} \text{ mm}^6 \text{ m}^{-3}$  για ασθενή βροχή     $Z=10^{+7} \text{ mm}^6 \text{ m}^{-3}$  για έντονη χαλαζόπτωση

$$Z(\text{dBZ}) = 10 \log_{10} [Z(\text{mm}^6 \text{m}^{-3})]$$

$$Z(\text{dBZ}) = 10 \log_{10} \left[ C \frac{R^2}{|K|^2} P_{\Lambda} \right]$$

## Εξασθένηση

$\text{dB/km}$  τόσο πιο έντονη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος



ατμοσφαιρικά αέρια  
οι μικρές σταγόνες βροχής  
τα σταγονίδια νεφών

→ εξασθένηση λόγω απορρόφησης

μεγάλες σταγόνες βροχής  
το χιόνι  
το χαλάζι

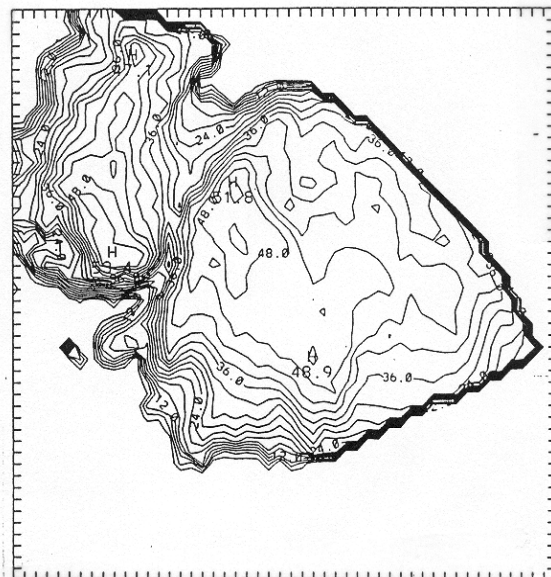
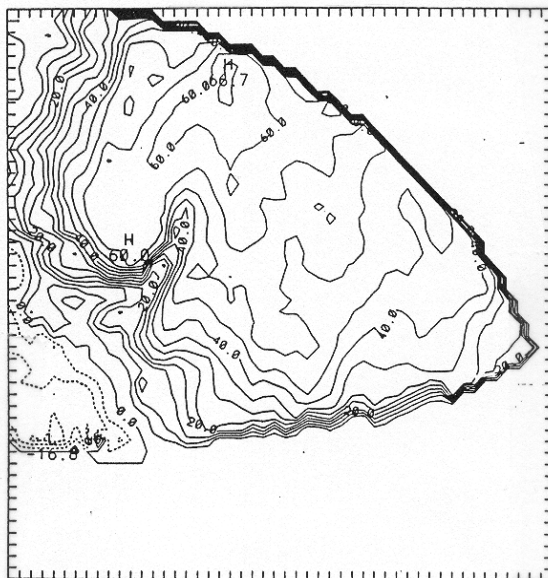
→ εξασθένηση λόγω απορρόφησης  
και σκέδασης

# Εξασθένηση

Για  $\lambda < 10$  cm εξασθένηση από την βροχή και τα νέφη λαμβάνεται υπόψη, σημαντικότερη για  $\lambda = 3$ -1 cm.

Εξασθένηση ( $\lambda = 3$  cm) = 6 x εξασθένηση ( $\lambda = 5$  cm)  
= 40 x εξασθένηση ( $\lambda = 10$  cm)

| Ρυθμός Εξασθένησης<br>$K_r$ (dB/km) | Μήκος κύματος<br>$\lambda$ (cm) |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| $0.000343 R^{0.97}$                 | 10                              |
| $0.0018 R^{1.05}$                   | 5                               |
| $0.01 R^{1.21}$                     | 3.2                             |



*Πεδίο ανακλαστικότητας (α) από το Ραντάρ CP2 του NCAR στα 10cm και (β) από το ραντάρ NOAA-D στα 3 cm που σκοπεύουν το ίδιο φαινόμενο*



## Χρήση ραντάρ για μέτρηση βροχής

Ο παράγοντας ανακλαστικότητας  
συνδέεται με τον **ρυθμό βροχόπτωσης** :

$$Z = 200R^{1.6}$$

**Χιόνι** : βασική διαφορά ανάμεσα στο χιόνι και στην βροχή είναι ότι  $|K|^2$  για τον πάγο είναι πιο μικρή από ότι για το νερό. Το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα από ένα πληθυσμό υδρομετεώρων πάγου (χιόνι, χαλάζι) είναι κατά 7 dBZ ασθενέστερο από αυτό που θα έδινε μια κατανομή σωματιδίων νερού του ίδιου όγκου και μάζας.

**Χαλάζι** : αποτελείται από υδρομετέωρα πάγου με  $D > 5$  mm. Πρακτικά, πάνω από τα 55 dBZ η παρουσία χαλαζιού είναι σχεδόν βέβαιη.

## Χρήση ραντάρ για μέτρηση βροχής

**Ψιχάλα:**

$$Z=140 R^{1.5}$$

**Στρωματόμορφη βροχή**

$$Z=200 R^{1.6}$$

**Ορογραφική βροχή**

$$Z=31 R^{1.71}$$

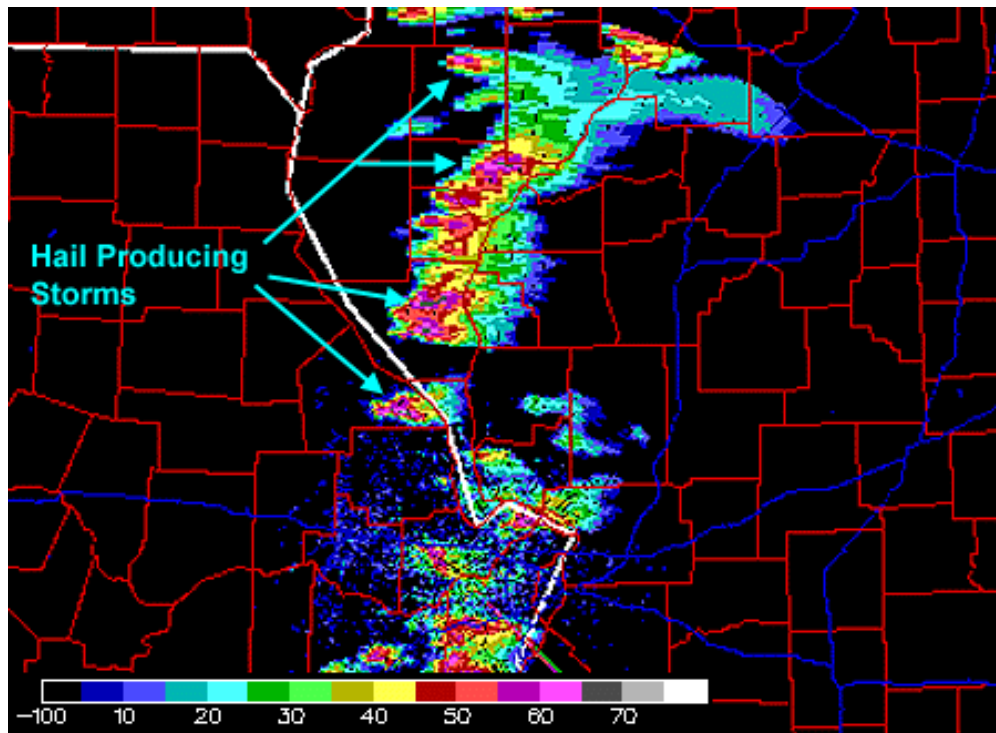
**Καταιγίδα**

$$Z=500 R^{1.5}$$

**Νιφάδες χιονιού**

$$Z=1780 R^{2.21}$$





**ΧΑΛΑΖΙ : περιοχές με υψηλή ανακλαστικότητα**

Τιμές Ανακλαστικότητας > 60 dBZ

## ***Ραντάρ πολλαπλής πολικότητας***

πόλωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ➔ σχήμα, μέγεθος, κατεύθυνση και φύση των υδρομετεώρων

όταν η διάμετρος των σταγόνων βροχής αυξάνεται, οι σταγόνες πλαταίνουν (γίνονται ελλειψοειδείς) με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πιο μεγάλη ανακλαστικότητα σε οριζόντια πόλωση από ότι σε κατακόρυφη.

**Διαφορική ανακλαστικότητα  $Z_{DR}$  :**

$$Z_{DR}(dBZ) = Z_{HH}(dBZ) - Z_{VV}(dBZ)$$

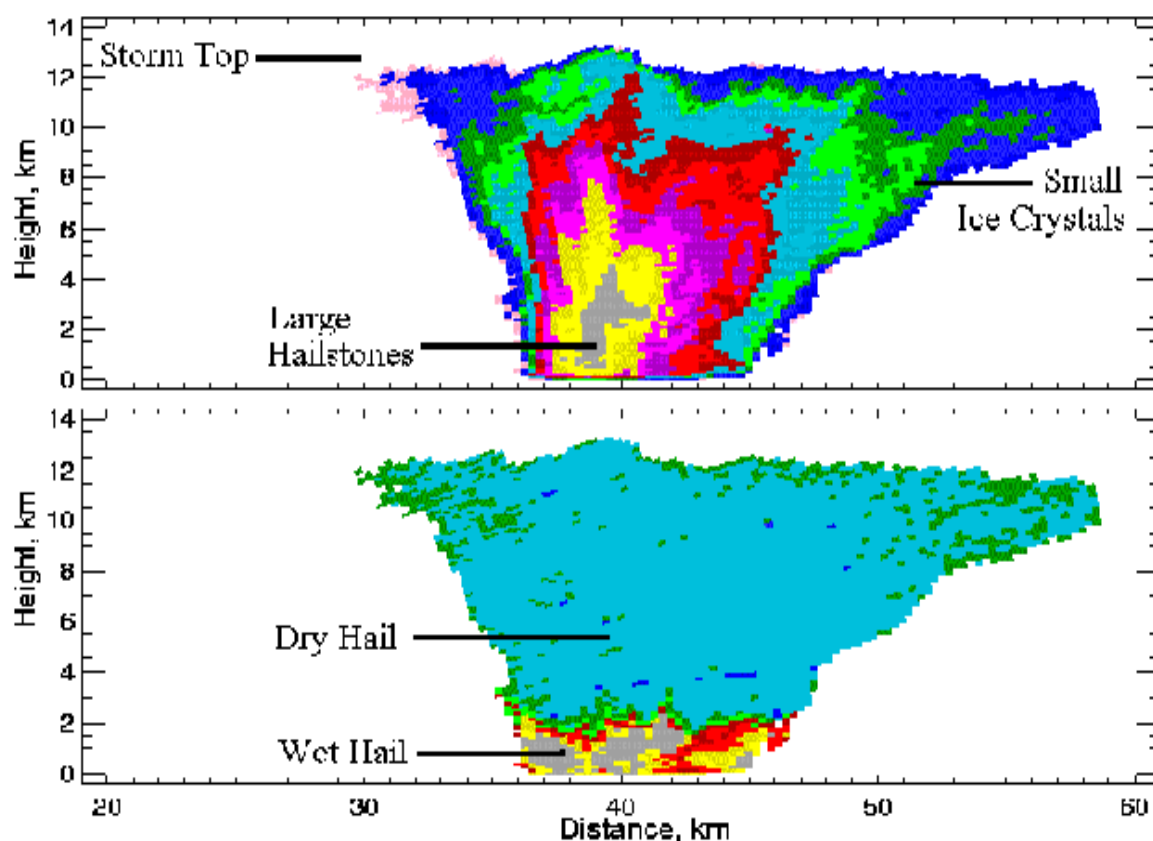
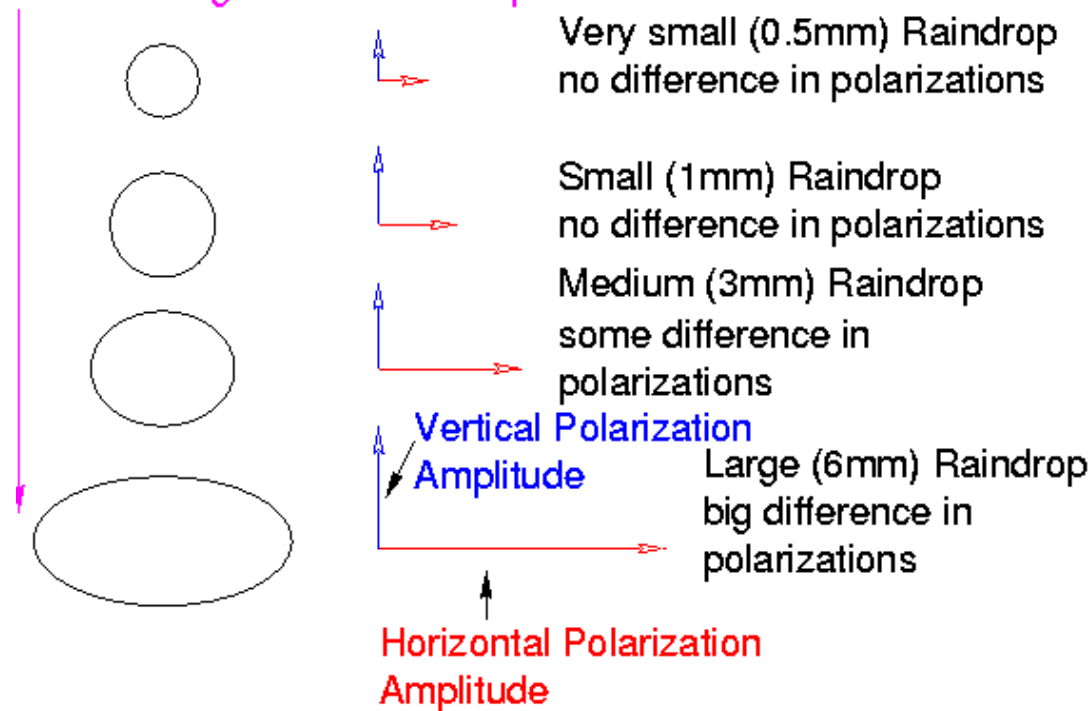
**σταγόνες βροχής παρουσιάζουν  $Z_{DR} > 0$**

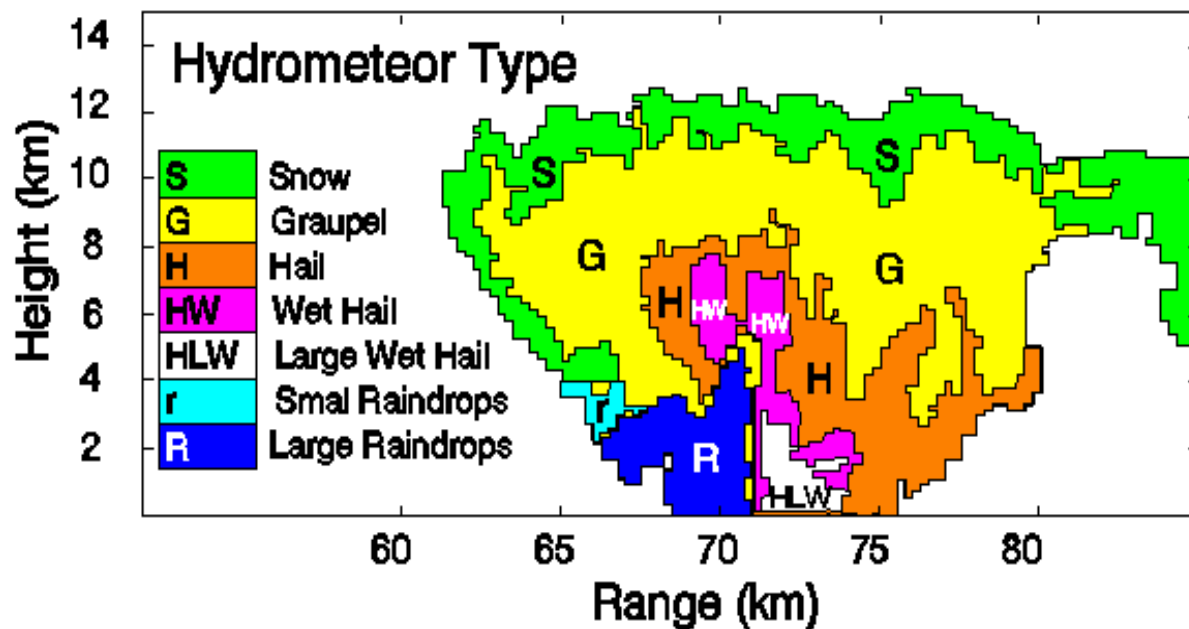
**σωματίδια πάγου παρουσιάζουν  $Z_{DR} < 0$**

Increasing Drop Size

Increasing Deformation (oblateness)

Increasing Polarization Amplitude Difference





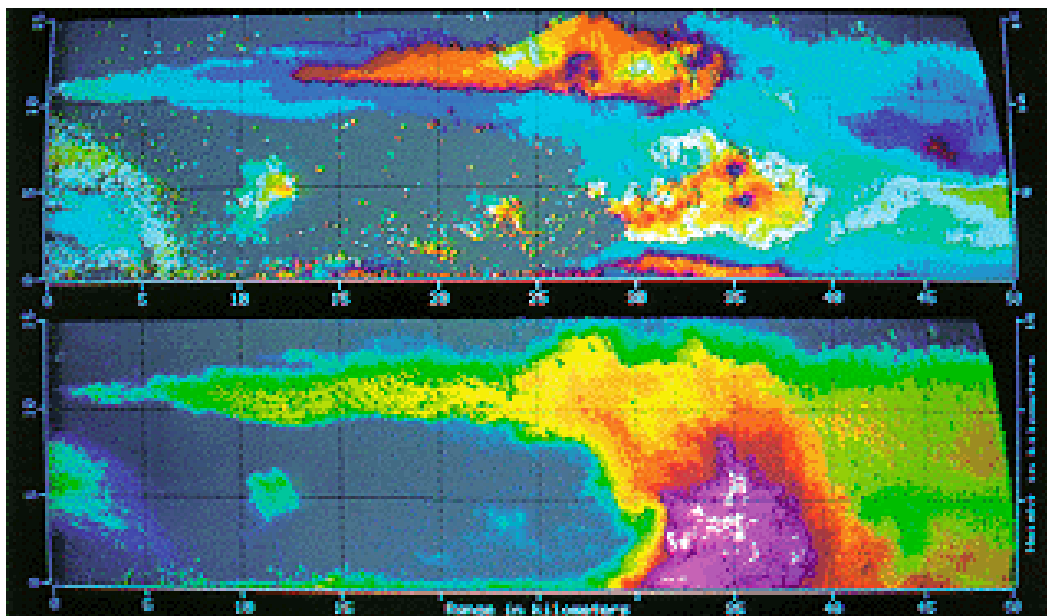
30 June 1990, 1414 UTC Höller et al., JAS 1994

Με ένα ραντάρ ποικίλης πόλωσης και εφαρμογή αλγορίθμων μπορεί κανείς να διακρίνει τα είδη των υδρομετεώρων.

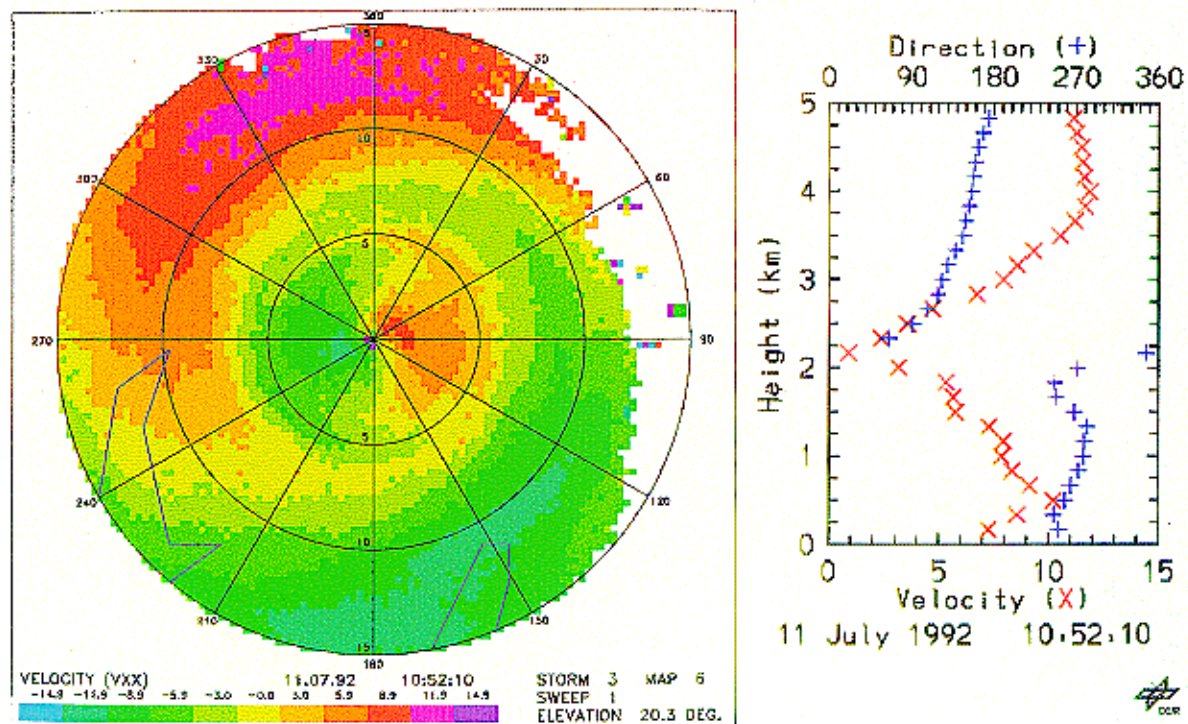
## *Ραντάρ Doppler*

Η μετατόπιση Doppler που προκαλείται από μετακινούμενο στόχο (αγνοώντας τις απώλειες ραντάρ):  $f_D = -2V/\lambda$

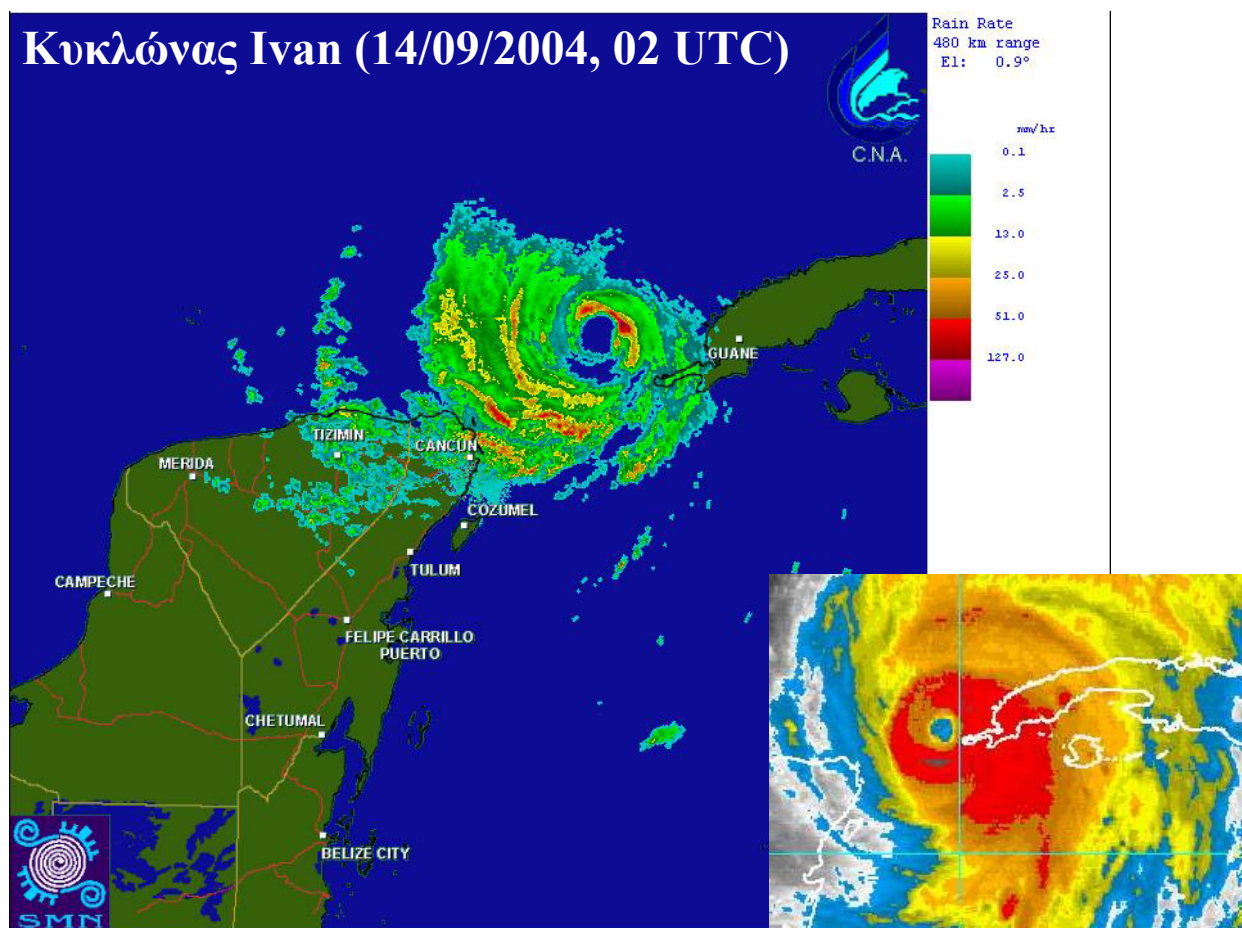
$\lambda$ : μήκος κύματος radar,  $V$ : κατ'ακτίνα (radial) ταχύτητα



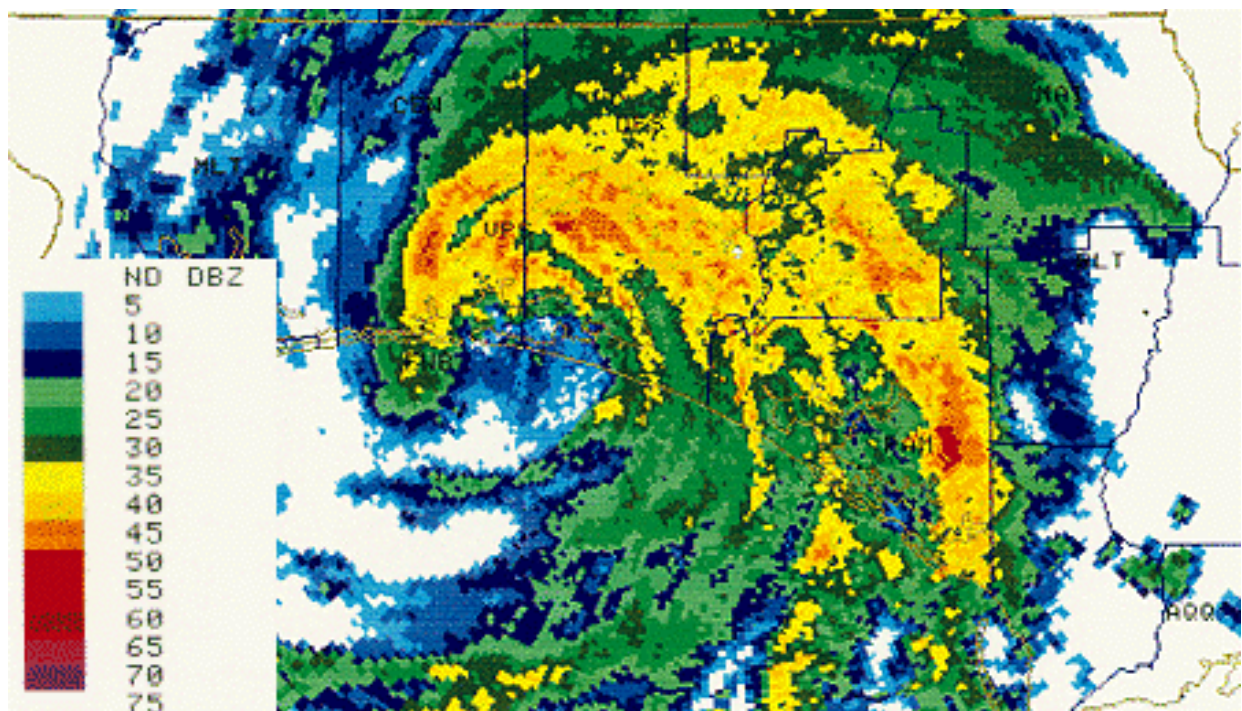
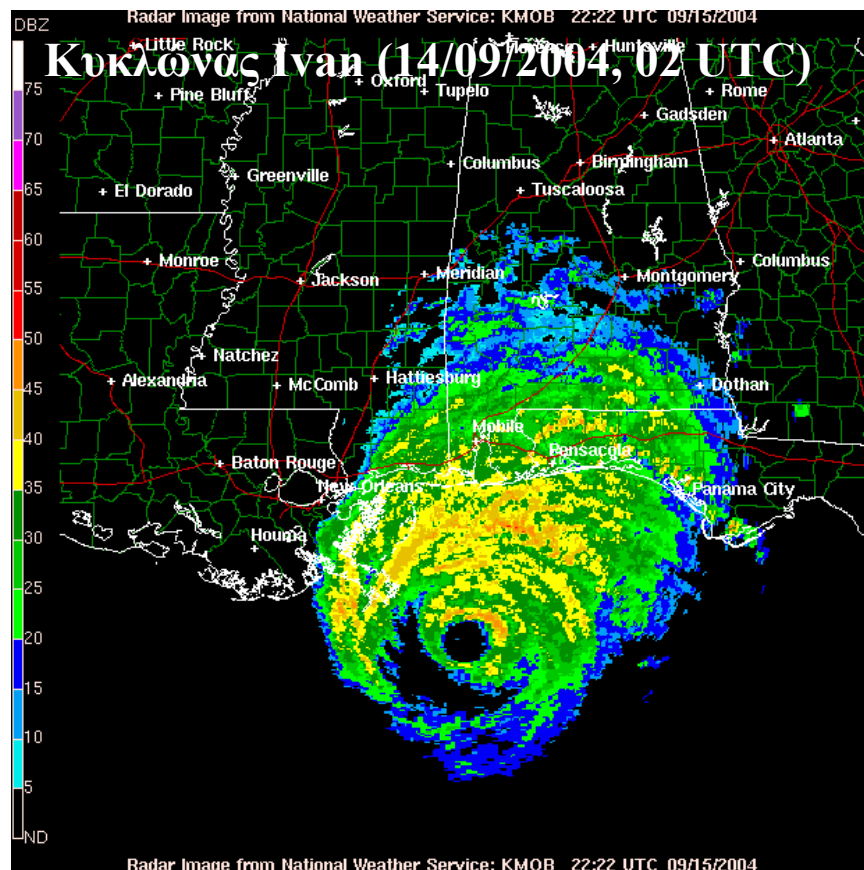
## Windprofil mit Velocity Azimuth Display (VAD)



## Κυκλώνας Ivan (14/09/2004, 02 UTC)

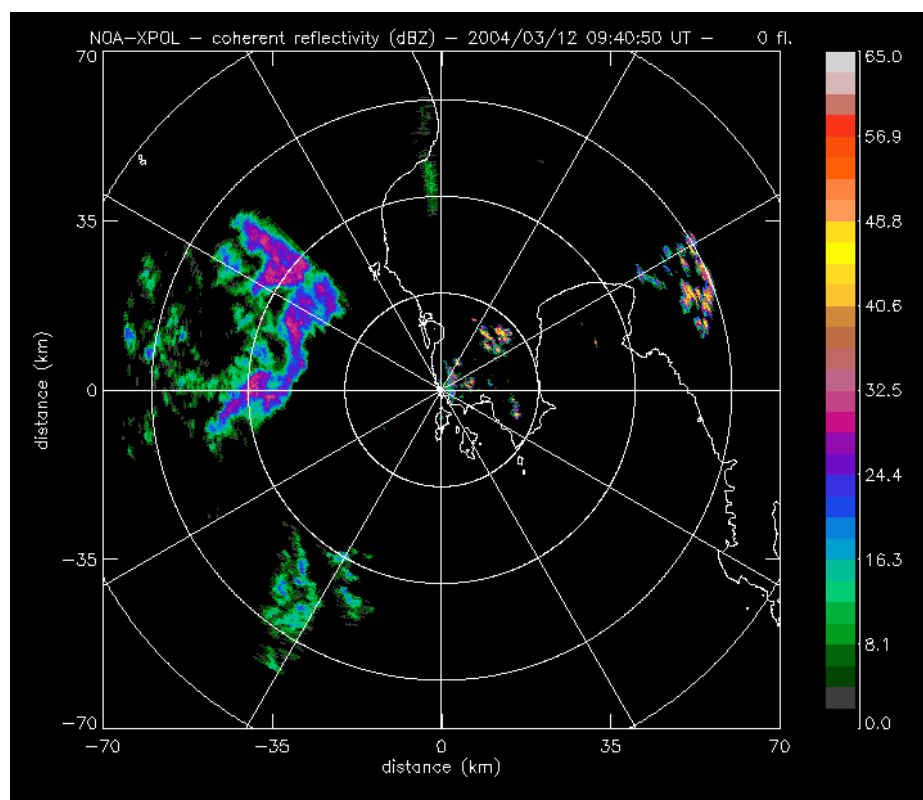




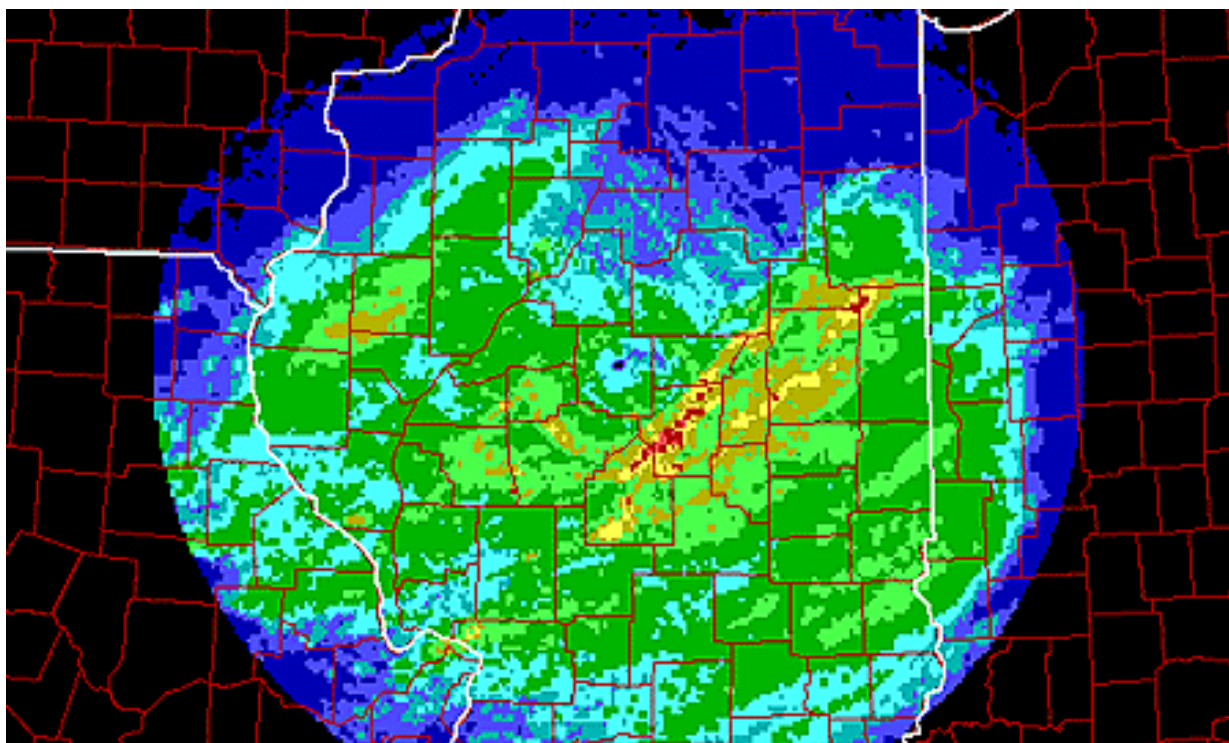


Κυκλώνας Roxanne (Oct. 1994)

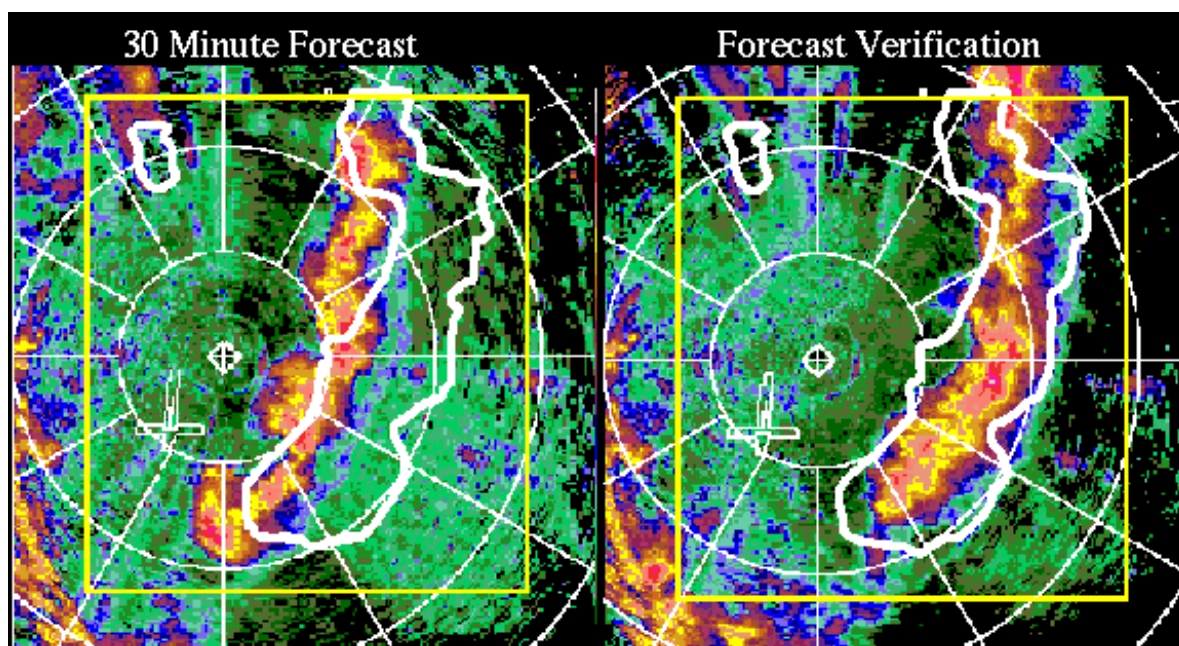
# Χ-POL Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών







Χάρτης αθροιστικής βροχόπτωσης 12-h (εκτίμηση radar μέσω της σχέσης ανακλαστικότητας- ρυθμού βροχόπτωσης). Οδηγός για επικινδυνότητα πλημμύρας για αντίστοιχες λεκάνες.



Άμεση πρόγνωση - Nowcasting

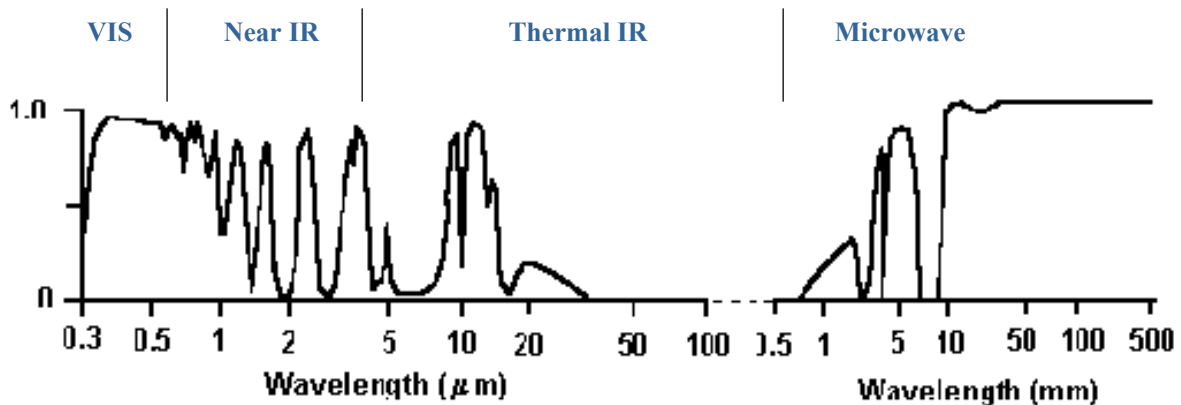


# Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

$$\lambda_{\max} (\mu\text{m}) = 2832/T(\text{K}) \text{ νόμος Wien}$$

Ήλιος (T=6000 K)  $\lambda_{\max}=0.48 \mu\text{m}$

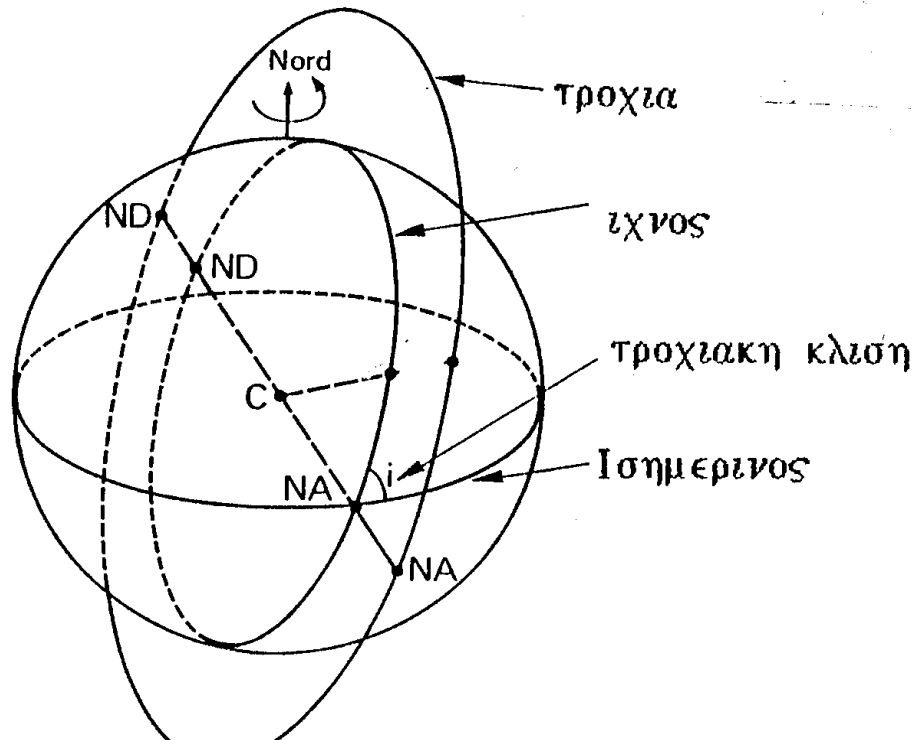
Γή (T=300 K)  $\lambda_{\max}=9.4 \mu\text{m}$



## Μετεωρολογικοί δορυφόροι

- Πληροφορίες για το ενεργειακό ισοζύγιο γης-ατμόσφαιρας
- Παρακολούθηση:
  - και αναγνώριση τύπου νεφών
  - κατανομής υδρατμών μέσα στην ατμόσφαιρα
  - της κάλυψης της γης από χιόνι, πάγο (Αρκτική, Ανταρκτική),
  - ύψος επιφάνειας των ωκεανών και θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας
  - καλλιεργείων, περιοχών αποψίλωσης δασών
  - ηφαιστειακών εκρήξεων, ανίχνευση κίνησης νεφών στάχτης
- Οι δορυφόροι λαμβάνουν και επανεκπέμπουν μετρήσεις επίγειων σταθμών.

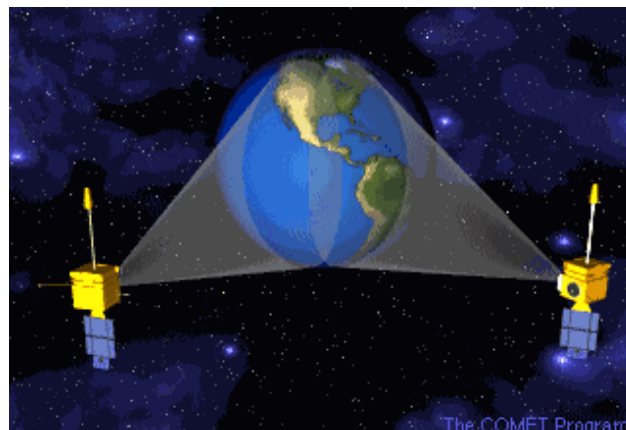
# Χαρακτηριστικά τροχιάς δορυφόρων



## Κατηγορίες δορυφόρων

### Γεωστάσιμοι δορυφόροι:

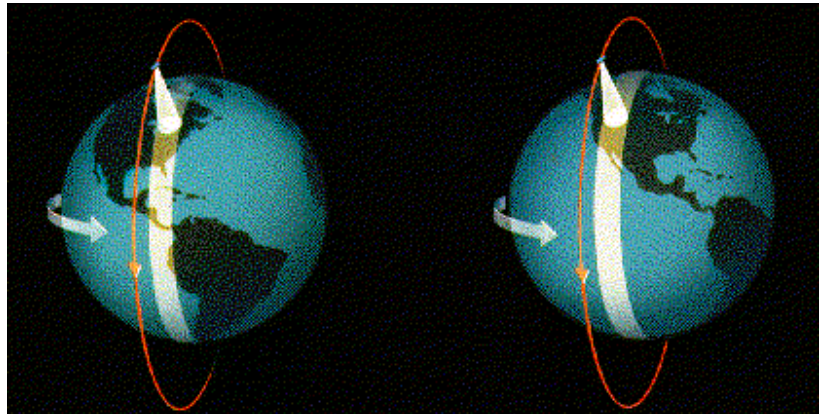
- τοποθετημένοι πάνω από τον Ισημερινό
- περιστρέφονται γύρω από τη Γη με την ίδια γωνιακή ταχύτητα
- βρίσκονται συνεχώς πάνω από ένα προκαθορισμένο σημείο της Γήινης επιφάνειας σε ύψος  $\sim 36000$  km



# Κατηγορίες δορυφόρων

## Δορυφόροι πολικής τροχιάς:

- βρίσκονται σε ύψος  $\sim 800-900$  km πάνω από την επιφάνεια της Γης.
- η τροχιακή κλίση  $\sim 90^\circ-100^\circ$ .
- η περίοδος περιστροφής τους  $\sim 95-105$  min και εκτελούν  $\sim 14$  πλήρεις περιστροφές μέσα σε ένα 24ωρο.
- το ίχνος του δορυφόρου σε κάθε περιστροφή του είναι μετατοπισμένο προς Δυσμάς, κατά 2000 km περίπου.



## Μετρήσεις μετεωρολογικών δορυφόρων

### Δορυφορική φωτογράφιση → ραδιόμετρο

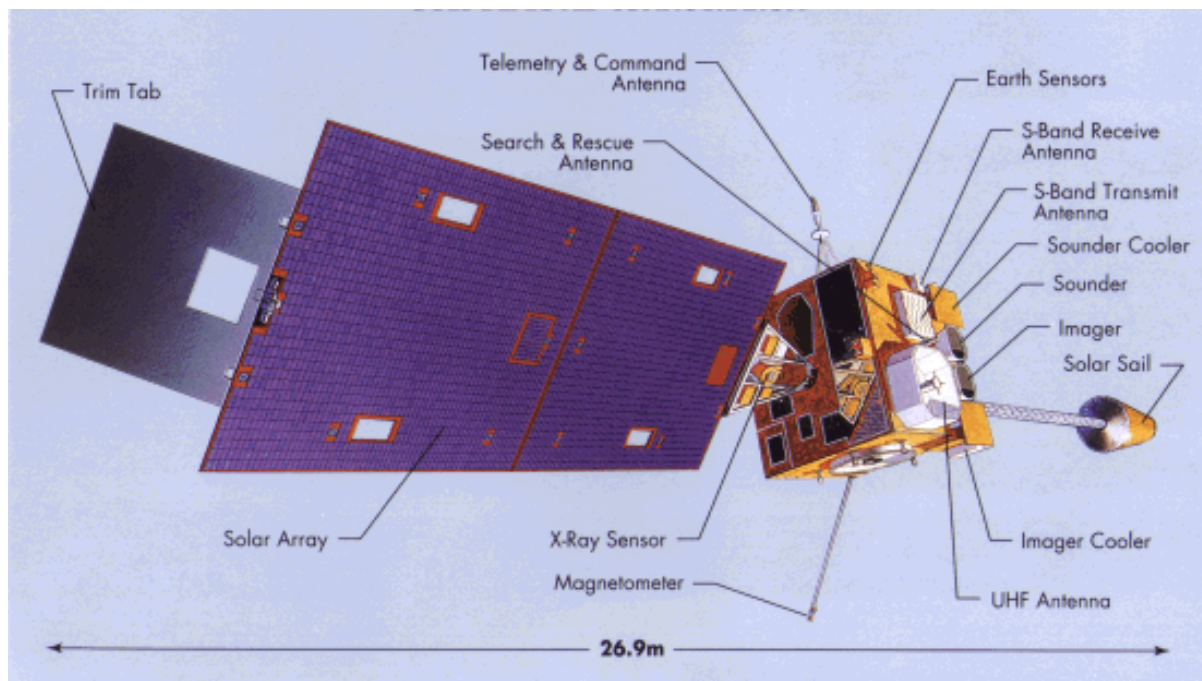
- |                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| ■ κανάλι ορατής ακτινοβολίας    | 0.5-0.7 $\mu\text{m}$   |
| ■ κανάλι υπέρυθρης ακτινοβολίας | 10.5-12.5 $\mu\text{m}$ |
| ■ κανάλι υδρατμών               | 5.5-7.1 $\mu\text{m}$   |

### Βόλιση της ατμόσφαιρας

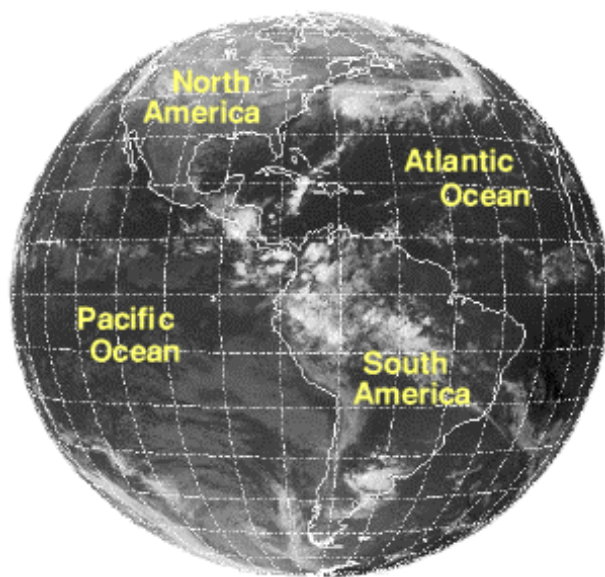
- Μέτρηση της θερμοκρασιακής και υγρασιακής δομής της ατμόσφαιρας → απαραίτητη για την πρόγνωση του καιρού
- με τη χρήση ανιχνευτών ακτινοβολίας σε διάφορα μήκη κύματος για τα οποία γνωρίζουμε το συντελεστή απορρόφησης του CO<sub>2</sub> (ομοιόμορφα κατανομημένο στην ατμόσφαιρα).

## Άλλα όργανα μετρήσεων

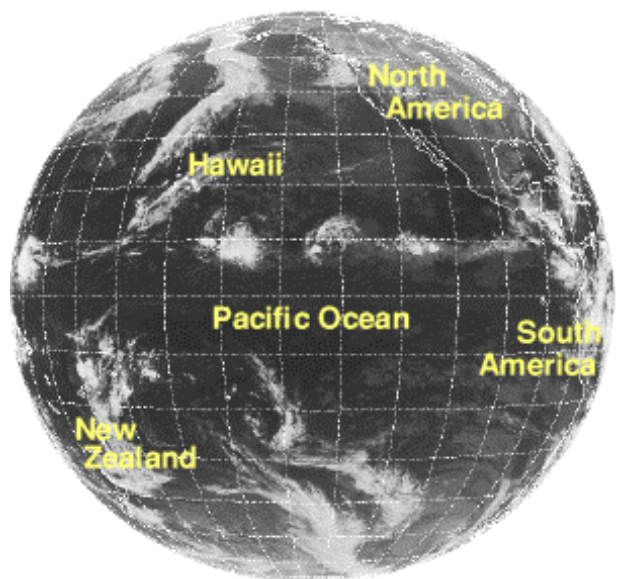
- High Resolution Infrared Sounder , Tiros Operational Vertical Sounder (TOVS) και Microwave Sounding Unit (MSU) που φέρονται από τους δορυφόρους της σειράς NOAA → εκτίμηση επιφανειακής θερμοκρασίας της Γης , κατανομής των υδρατμών και ύψους νεφών.
- Stratospheric Sounding Unit (Μονάδα Βόλισης της Στρατόσφαιρας) NOAA → μέτρηση της θερμοκρασίας στην στρατόσφαιρα
- Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) του Αμερικάνικου Υπουργείου Αμύνης → εκτίμηση βροχοπτώσεως και ταχύτητας του ανέμου στη επιφάνεια της θάλασσας μόνο.
- Total Ozone Mapping Spectrometer (Φασματογράφος Χαρτογράφησης του Ολικού Όζοντος Nimbus-7 ). → μετρήσεις του ολικού στρατοσφαιρικού όζοντος.



GOES-8 γεωστάσιμος  
δορυφόρος

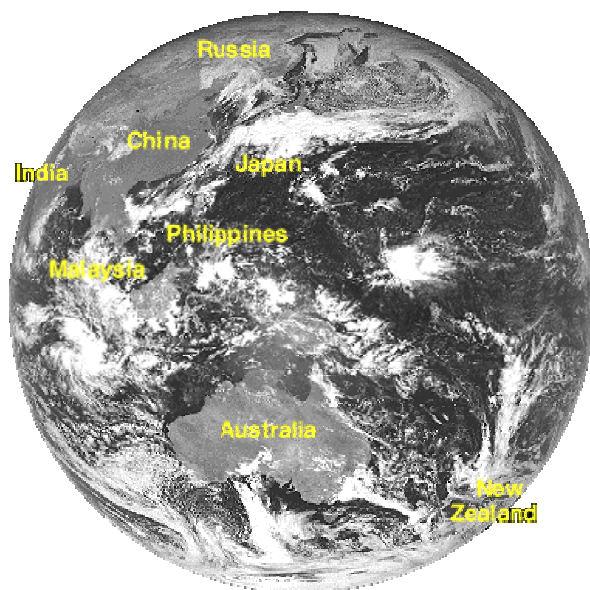


GOES  
EAST

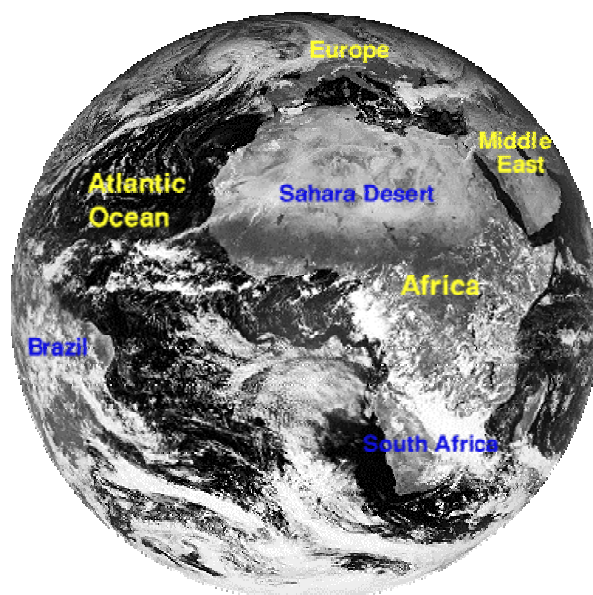


GOES  
WEST

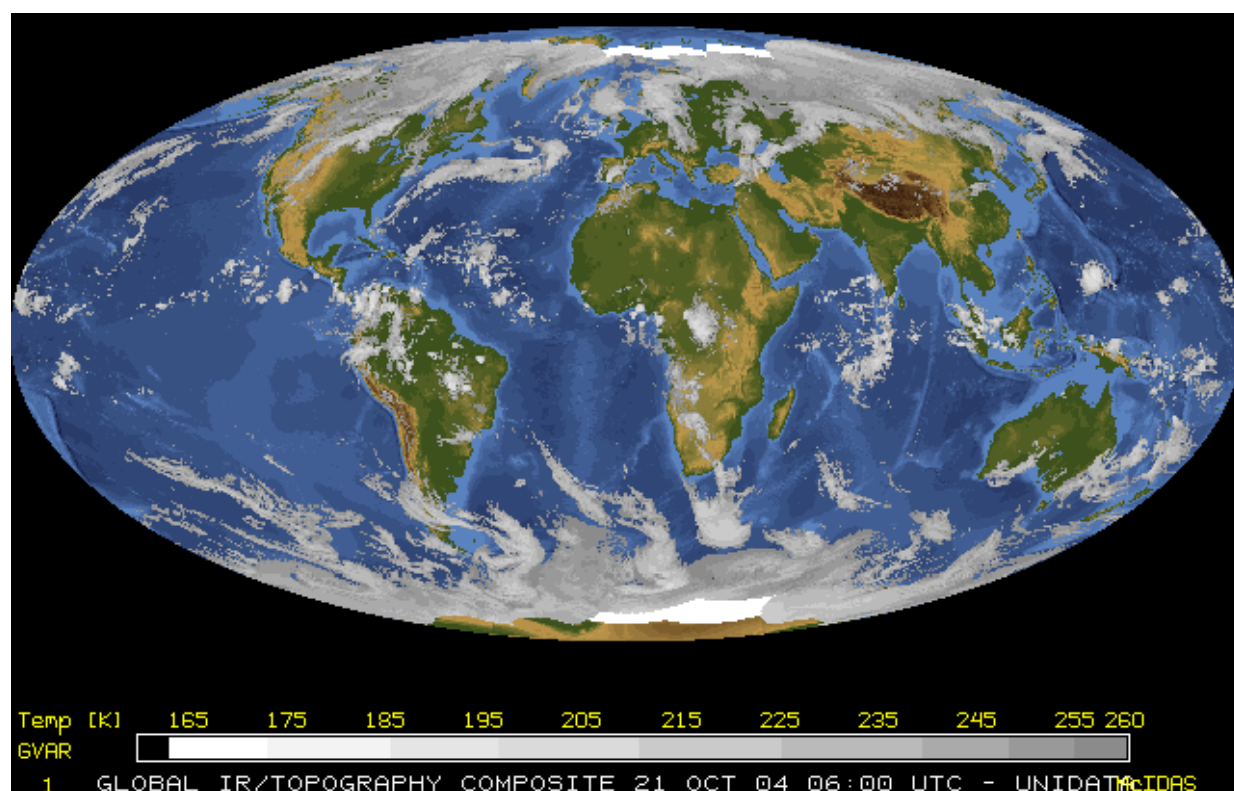




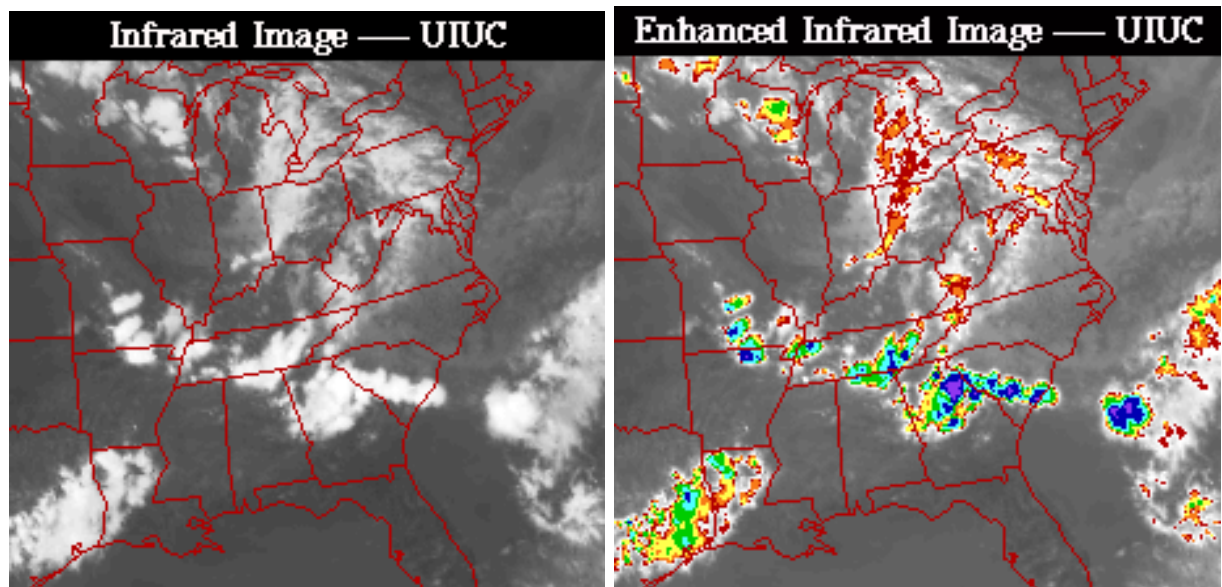
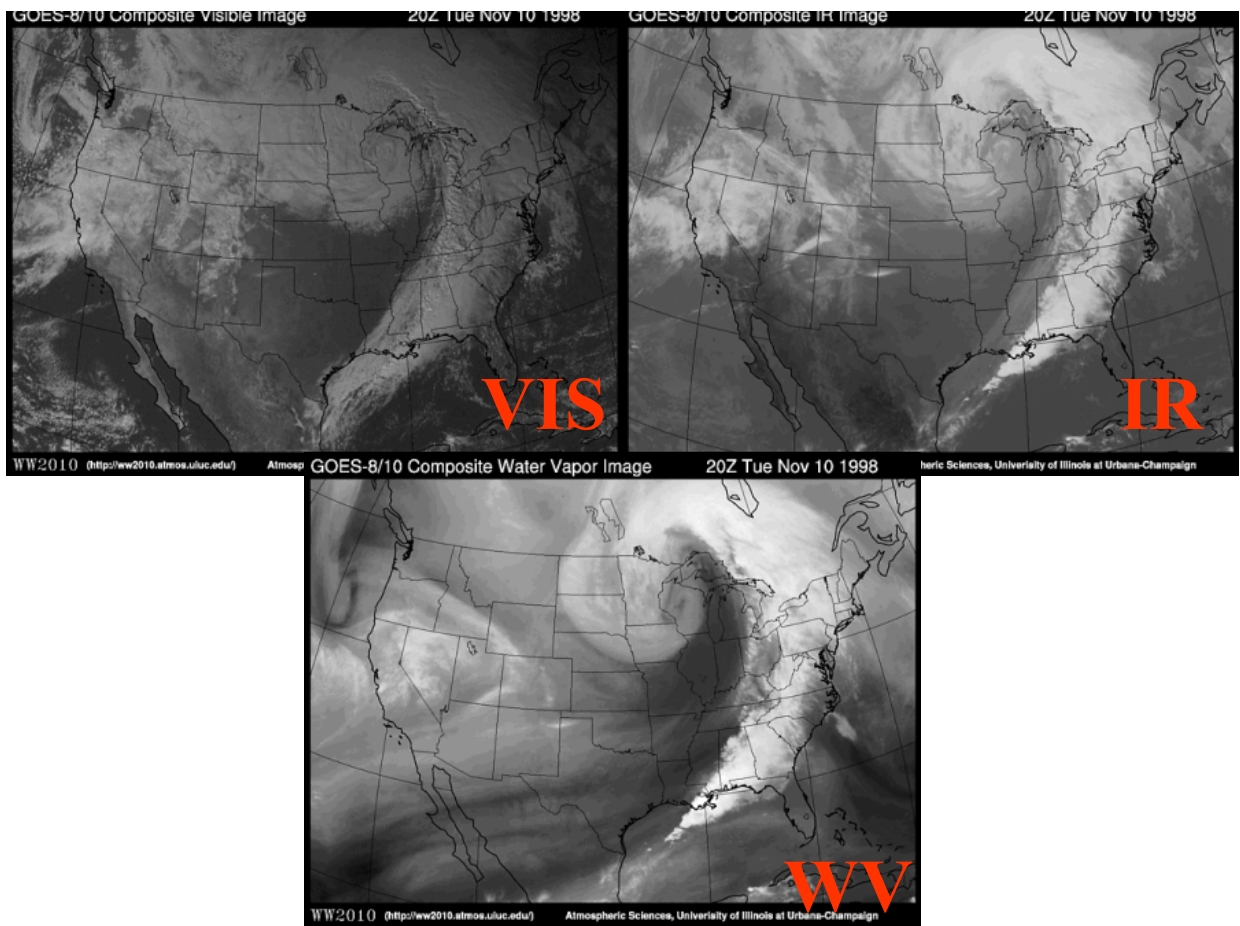
**GMS**



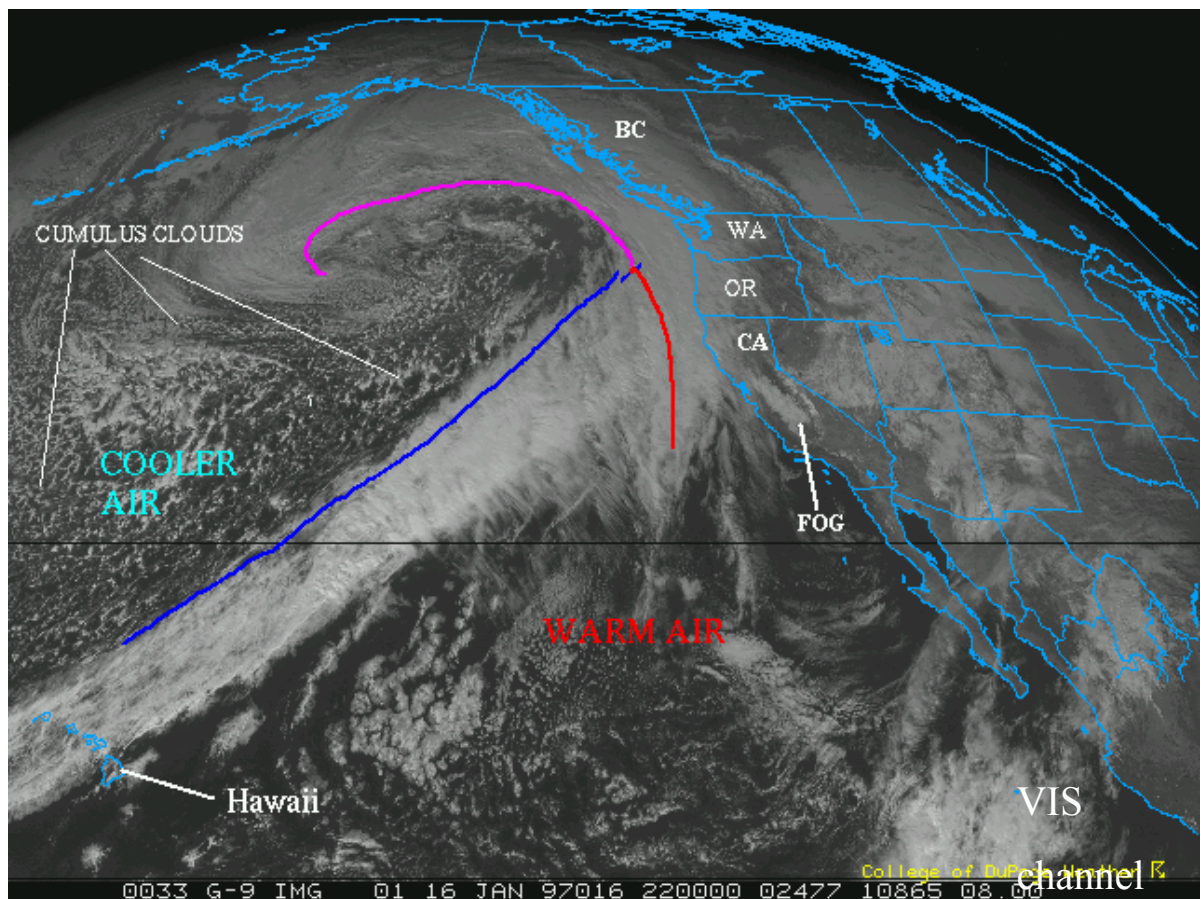
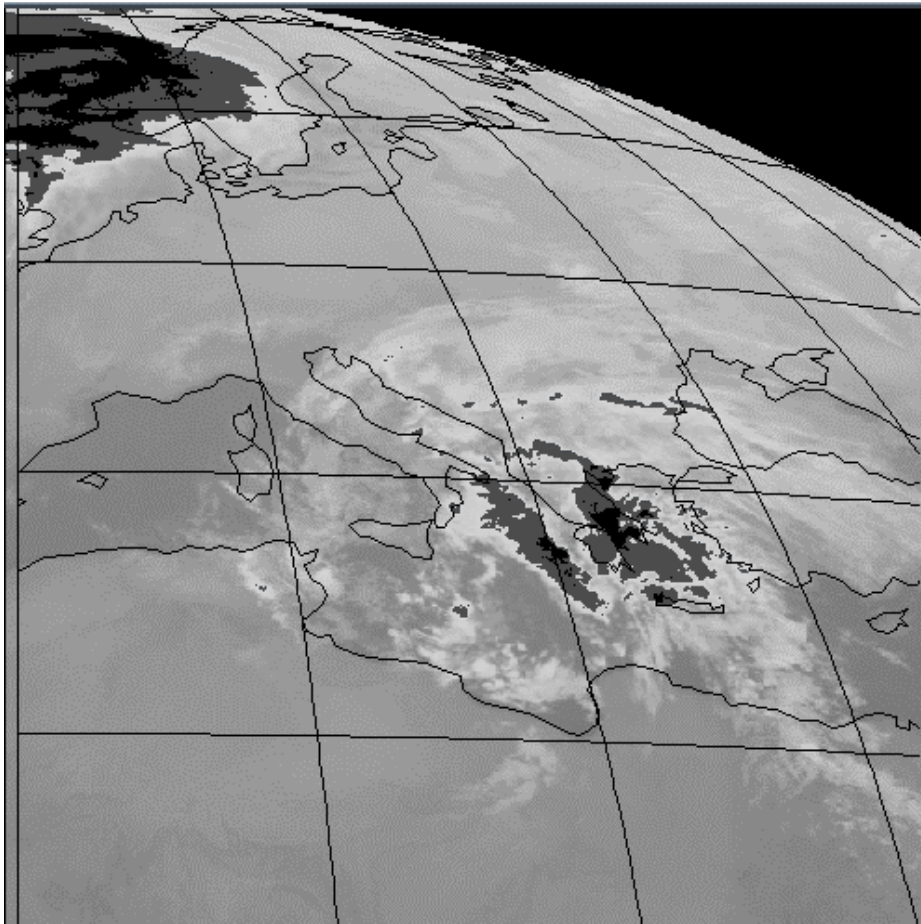
**METEOSAT**

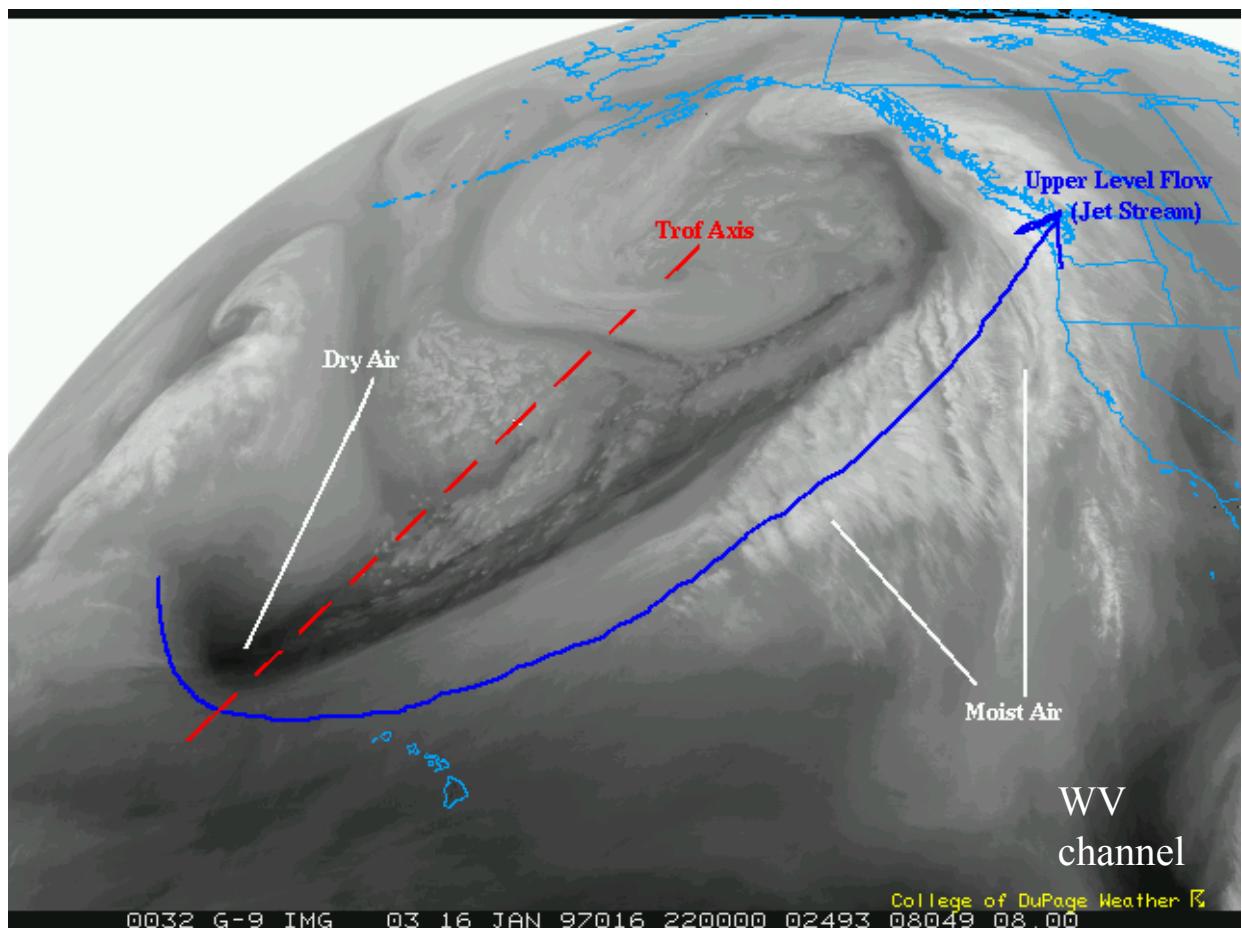
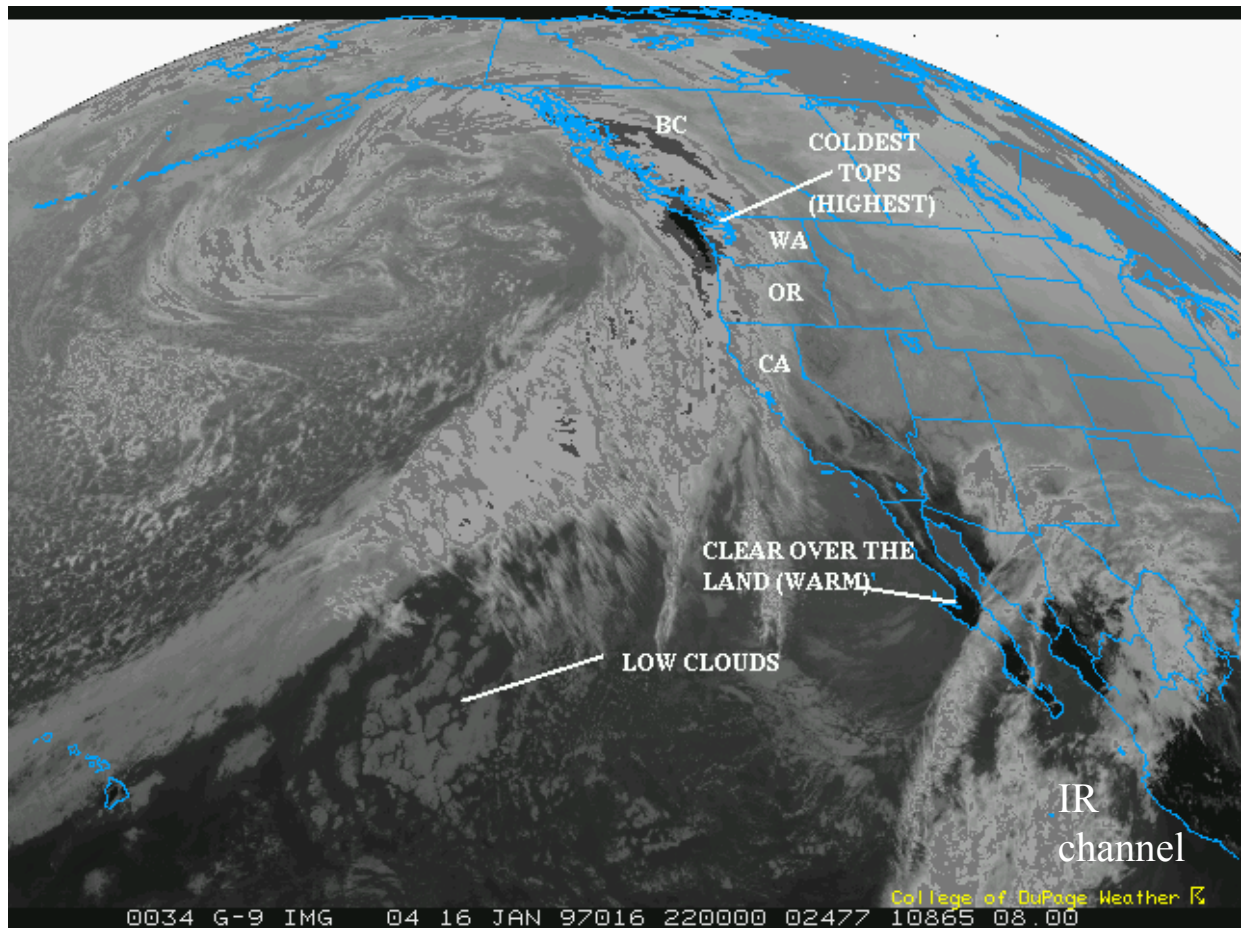


Συνδυασμένη εικόνα από τους διαθέσιμους γεωστάσιμους που καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης.

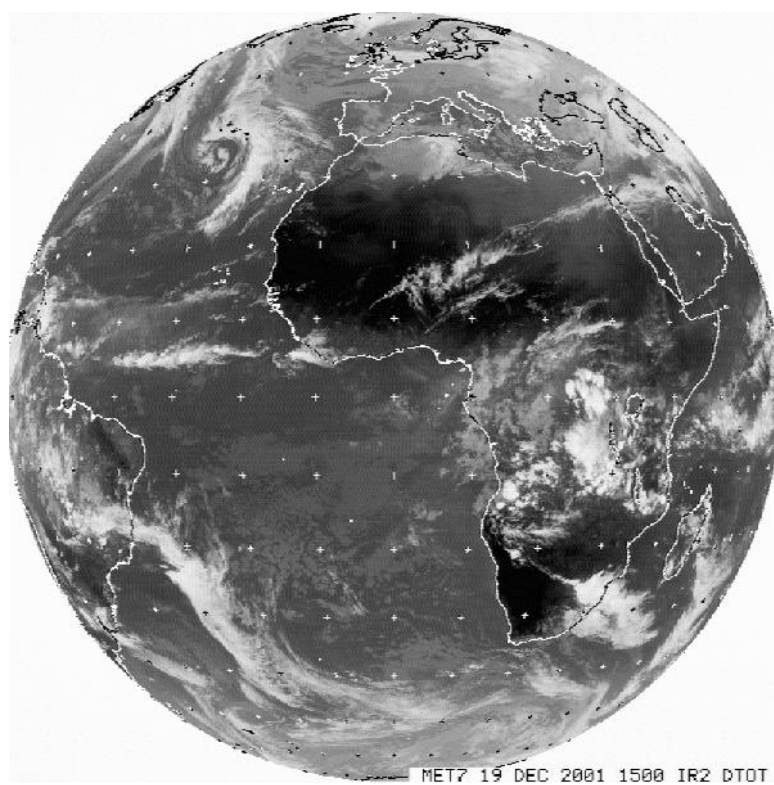
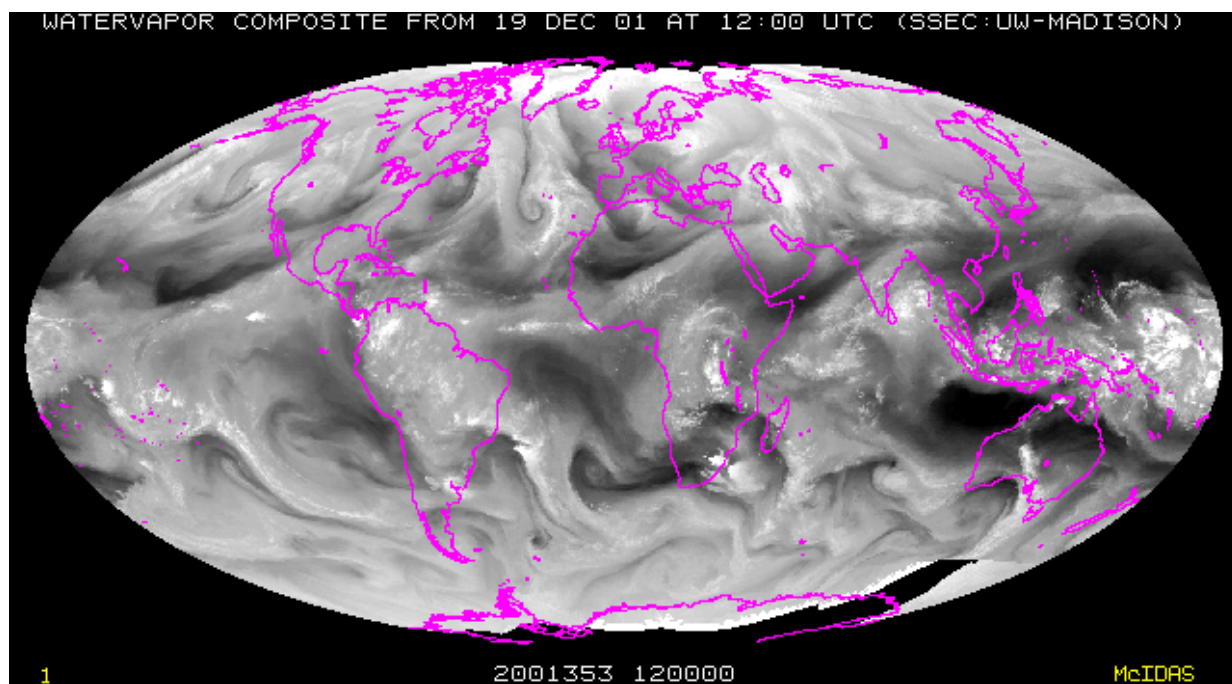




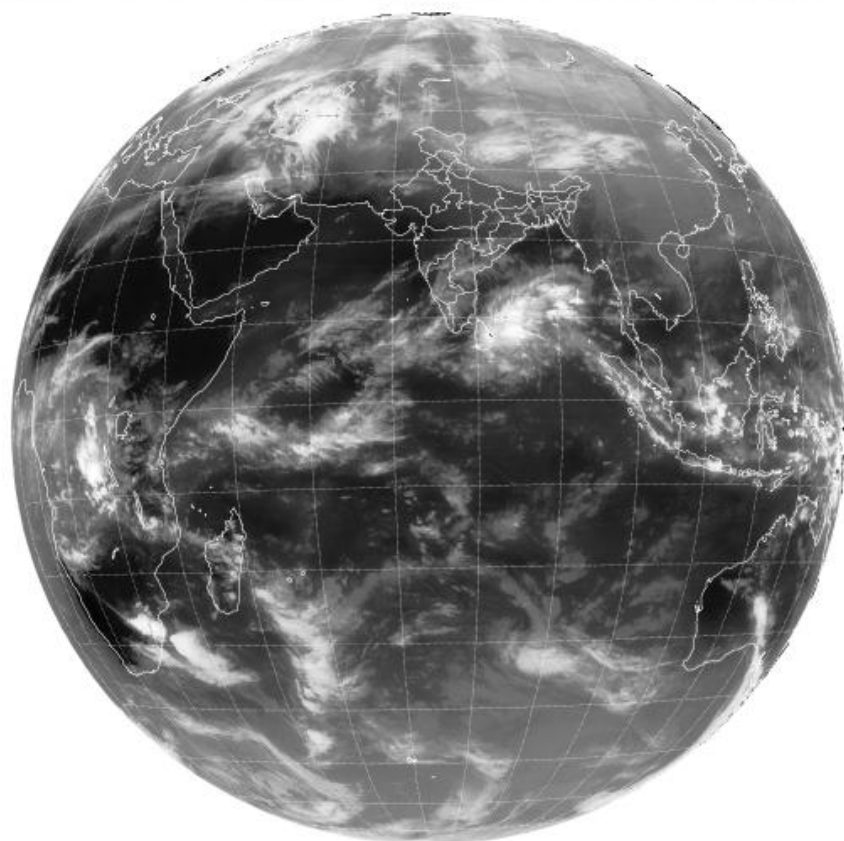






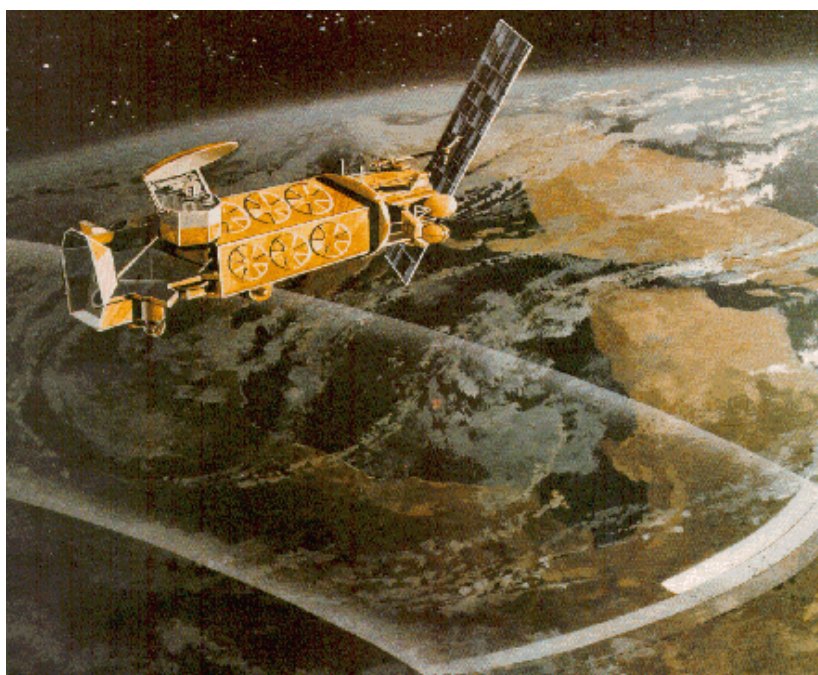




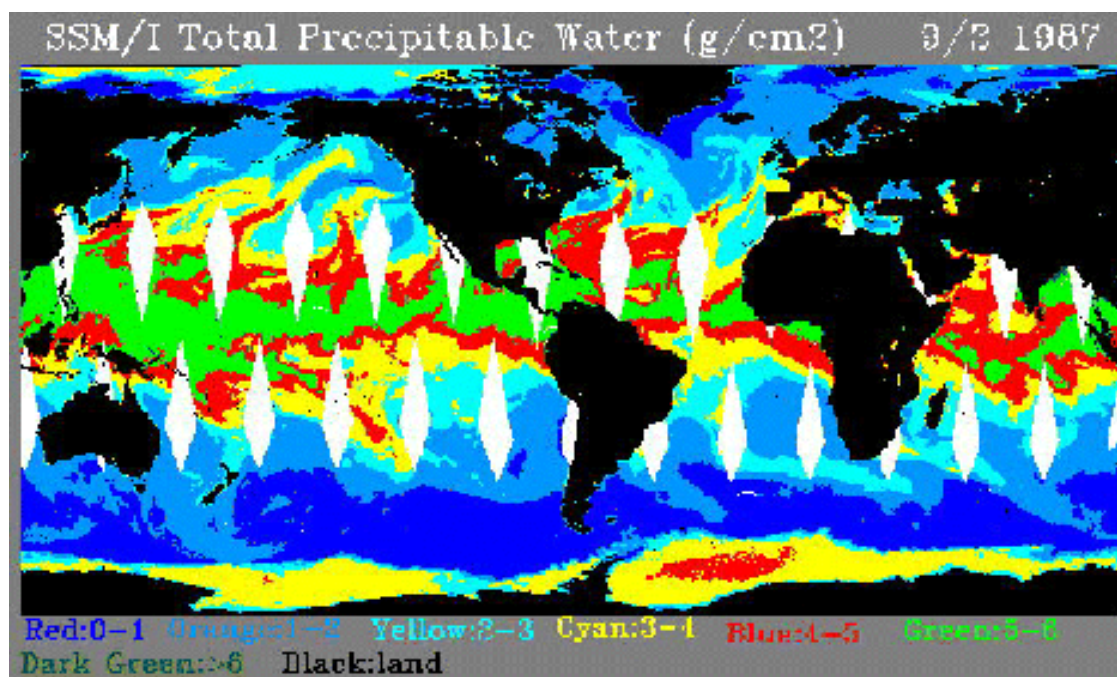
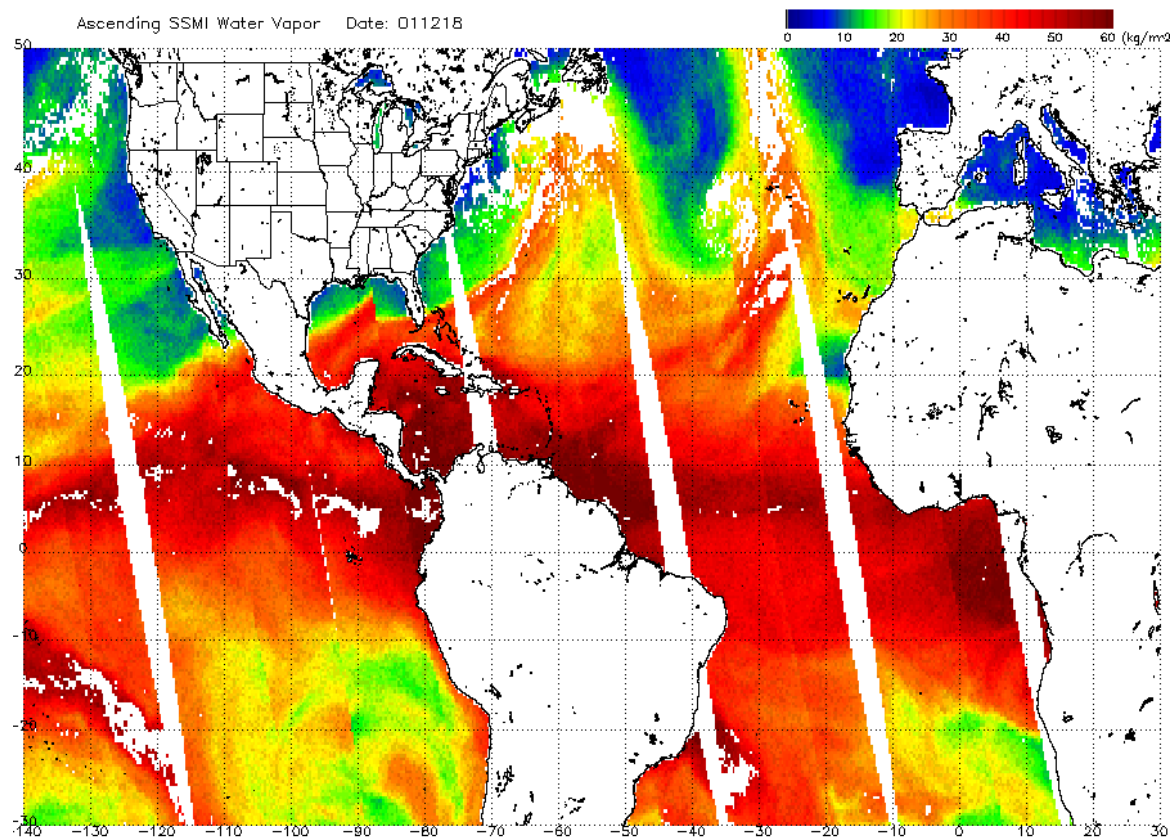


| POES Microwave Product Summary                                                                                                                                                                                                                                              |                     |            |                   |         |                          |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|---------|--------------------------|--------------------------|
| Ocean Parameter                                                                                                                                                                                                                                                             | Parameter Range     |            | Accuracy (rms, %) |         | Status / Links           |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | AMSU                | SSM / I    | AMSU              | SSM / I | AMSU                     | SSM / I                  |
| TPW                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0 - 75 mm           |            | 1.0 mm, 10%       | 5 - 10% | Operational <sup>1</sup> | Operational <sup>1</sup> |
| CLW (Cloud Liquid Water)                                                                                                                                                                                                                                                    | 0 - 6 mm            |            | 0.05 mm, 20%      | NA      | Operational              | Operational <sup>1</sup> |
| Sea Ice                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0 - 100%            |            | 25%               | NA      | Operational              | Operational              |
| Rain Rate                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0 - 35 mm / h       |            | 2 mm / h          | 20%     | Operational <sup>1</sup> | Operational <sup>1</sup> |
| Ocean Surface Wind                                                                                                                                                                                                                                                          | 0 - 30 m/s (58 kts) |            | TBD               | 2 m/s   | Developmental            | Operational              |
| Land Parameter                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |            |                   |         |                          |                          |
| Snow Cover                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0 - 100%            |            | 10%               | NA      | Operational <sup>1</sup> | Operational              |
| Rain Rate                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0 - 35 mm / h       |            | 3 mm / h          | 20%     | Operational              | Operational              |
| Land Surface Temp.                                                                                                                                                                                                                                                          | 225 - 325K          | 238 - 322K | TBD               | NA      | Developmental            | Operational              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | -48 - 52°C          | -35 - 49°C |                   |         |                          |                          |
| Surface Moisture                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |            |                   |         |                          |                          |
| • Soil Moisture (%)                                                                                                                                                                                                                                                         | TBD                 | 0 - 70%    | TBD               | NA      | Developmental            | Operational              |
| • Soil Moisture Index                                                                                                                                                                                                                                                       | NA                  | 0 - 50     | NA                | NA      |                          | Developmental            |
| TBD - to be determined<br>NA - not available at publishing date<br>1-Available on AWIPS, NWS Western Region at publishing date.<br>• For further product updates and additional information, visit the <a href="#">NESDIS GOES/Polar Product Information Tool</a> Web site. |                     |            |                   |         |                          |                          |

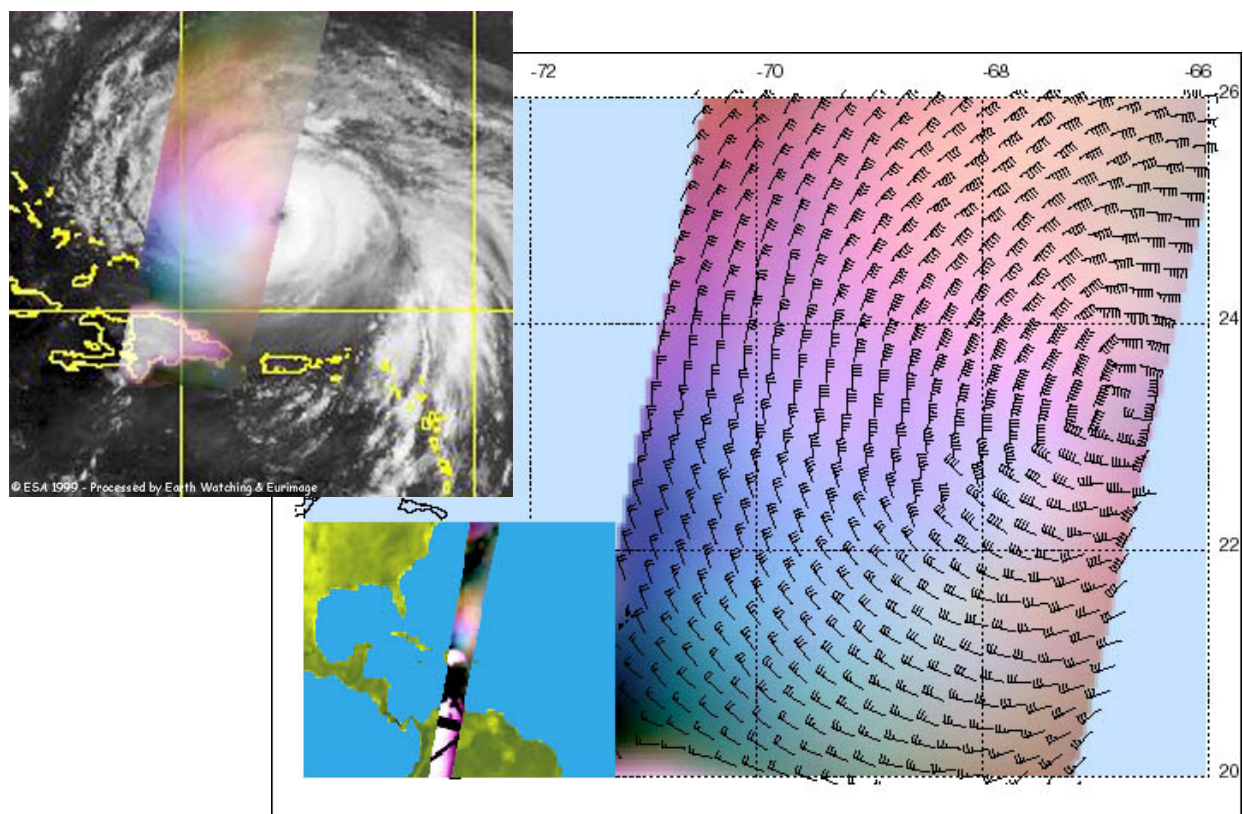
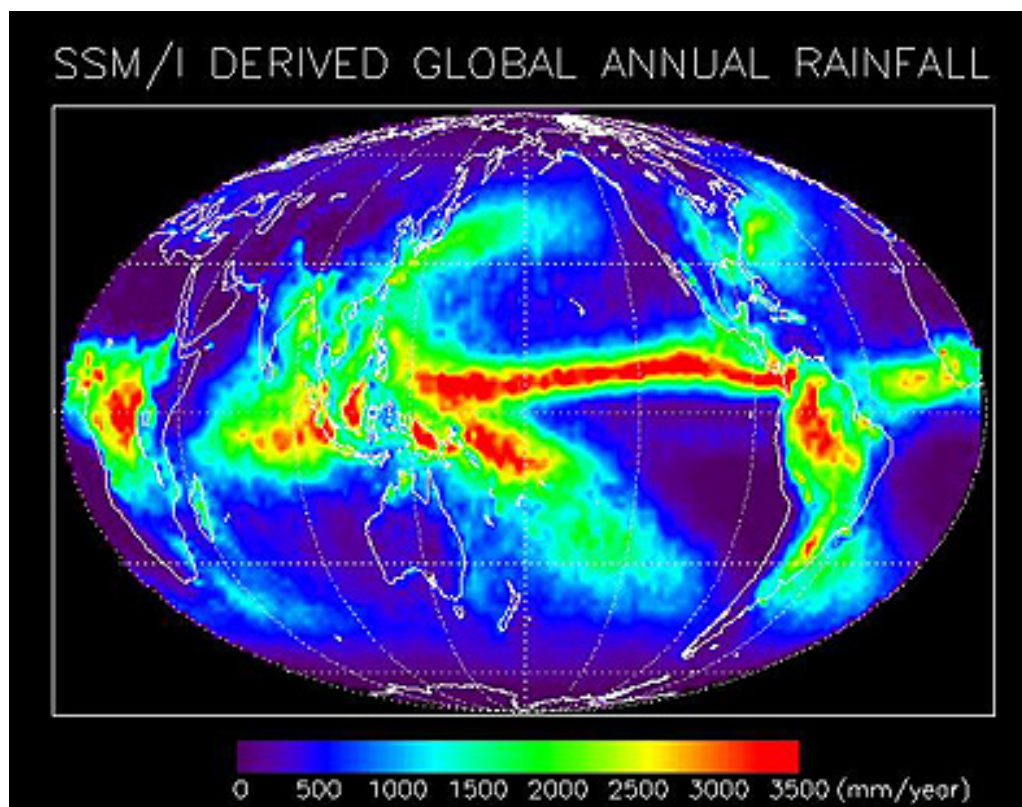
| Operational Satellites                                                                   | Instruments             | Subpoint Resolution (km)  | Primary Product Groups                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|
| NOAA (-14 & -15)                                                                         | AVHRR                   | 1.1                       | Surface, cloud, aerosol                                   |
|                                                                                          | AMSU-A <sup>(15)</sup>  | 48                        | Atmospheric temperature sounding, surface, precipitation  |
|                                                                                          | AMSU-B <sup>(15)</sup>  | 16                        | Atmospheric moisture sounding, surface, precipitation     |
|                                                                                          | DCS                     |                           | Collection and dissemination of hydro-meteorological data |
|                                                                                          | HIRS                    | 19                        | Atmospheric sounding, ozone                               |
|                                                                                          | MSU <sup>(12,14)</sup>  | 109                       | Atmospheric temperature sounding, ozone                   |
|                                                                                          | SAR                     |                           | Search and Rescue                                         |
|                                                                                          | SBUV <sup>(14,15)</sup> | 11                        | Ozone                                                     |
|                                                                                          | SEM                     |                           | Space Environment Monitor                                 |
|                                                                                          | SSU <sup>(14)</sup>     | 147                       | Stratospheric temperature sounding                        |
| (12): NOAA-12 (on standby)<br>(14): NOAA-14 (operational)<br>(15): NOAA-15 (operational) |                         |                           |                                                           |
| DMSP (-13 & -14)                                                                         | OLS                     | 0.55 (day)<br>2.7 (night) | Surface, clouds                                           |
|                                                                                          | SSB                     |                           | Solar, space environment data                             |
|                                                                                          | SSI <sub>ES</sub>       |                           | Solar data                                                |
|                                                                                          | SSJ                     |                           | Solar data                                                |
|                                                                                          | SSM                     |                           | Geophysical data                                          |
|                                                                                          | SSM/I                   | 13x15<br>43x69            | Surface, clouds, precipitation                            |
|                                                                                          | SSM/T                   | 174                       | Atmospheric temperature, moisture sounding                |
| The COMET Program                                                                        | SSM/T2                  | 48                        | Atmospheric moisture, precipitation, surface              |



SSMI





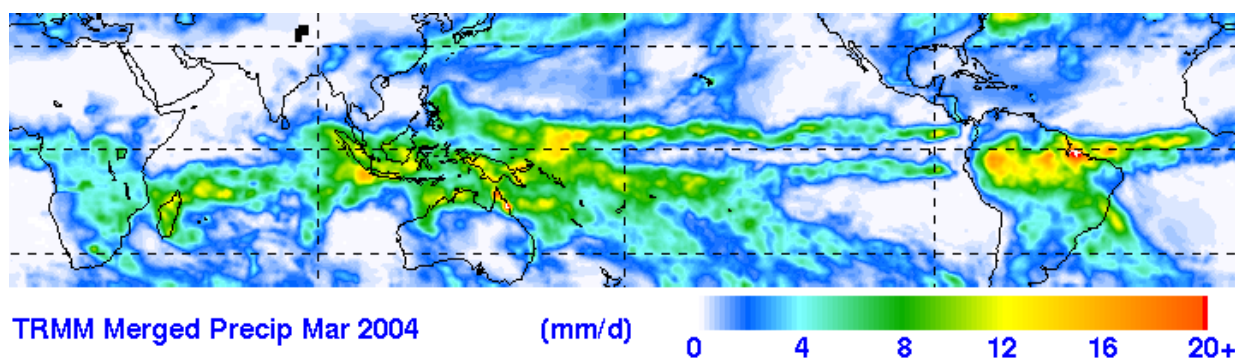


ERS scatterometer: Άνεμος επιφανείας

GOES infrared

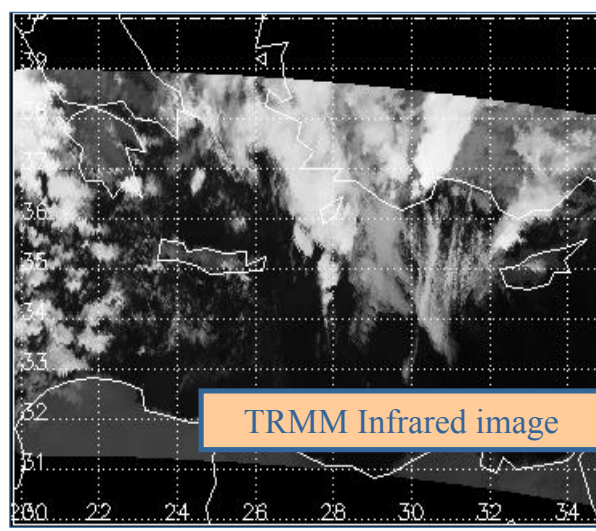
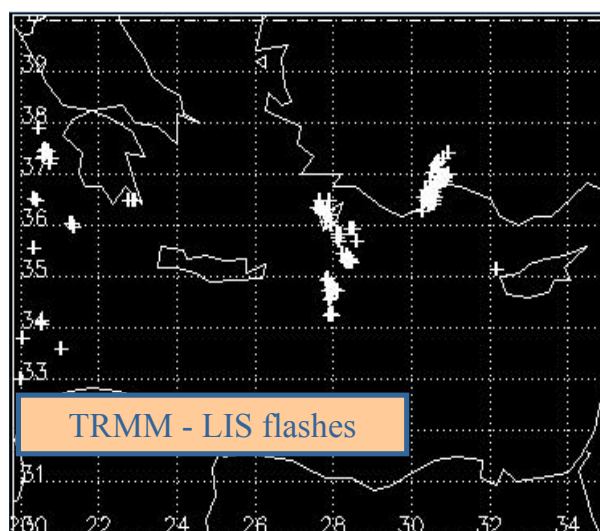


## TRMM – Tropical Rainfall Measurement Mission



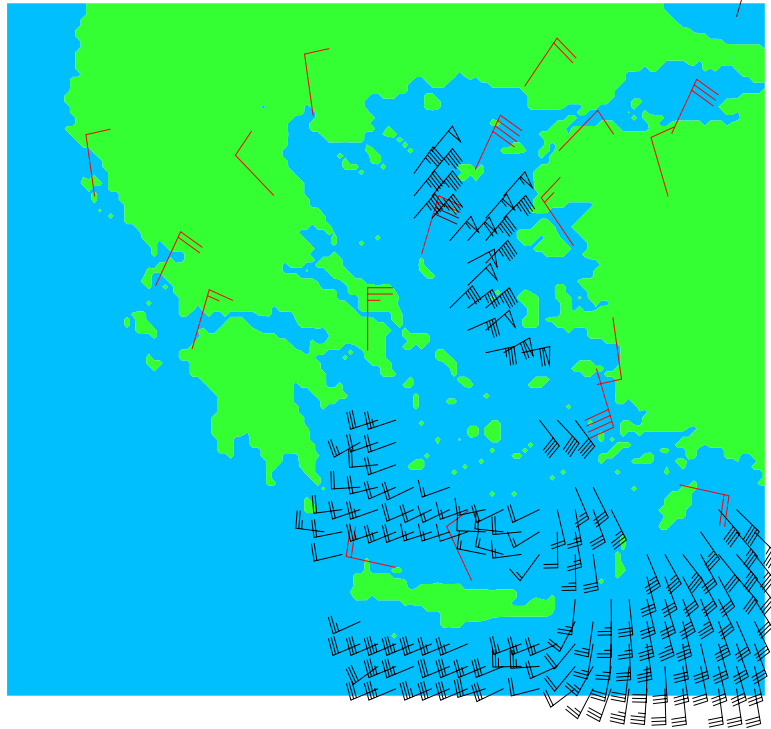
Η εκτίμηση της βροχής βασίζεται σε μετρήσεις του TRMM Microwave Imager, δεδομένα από γεωστάσιμους δορυφόρους στο υπέρυθρο (IR), και δεδομένα βροχομέτρων.

### TRMM ► 1807 UTC on 5 December 2002 – Antalya Storm

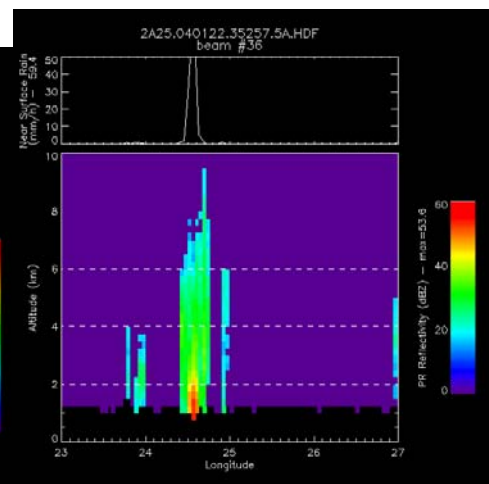
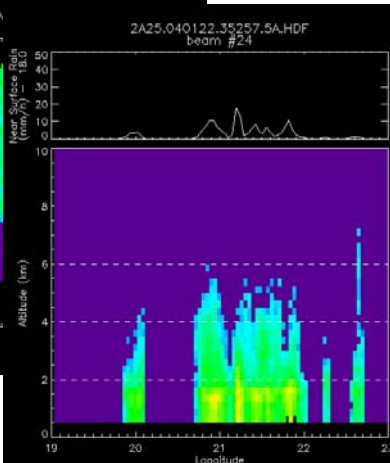
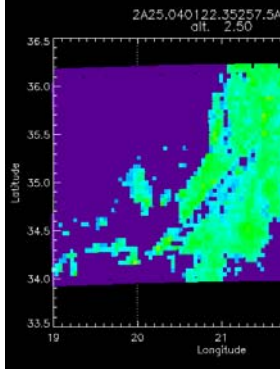
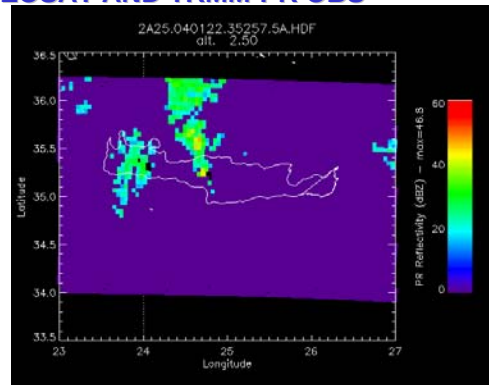
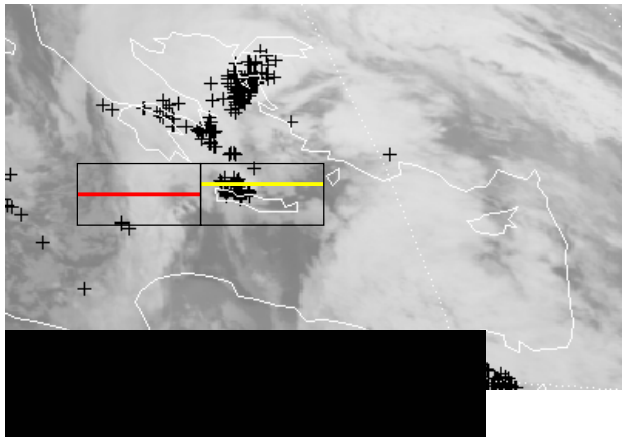


22 JANUARY 2004: 0300 UTC

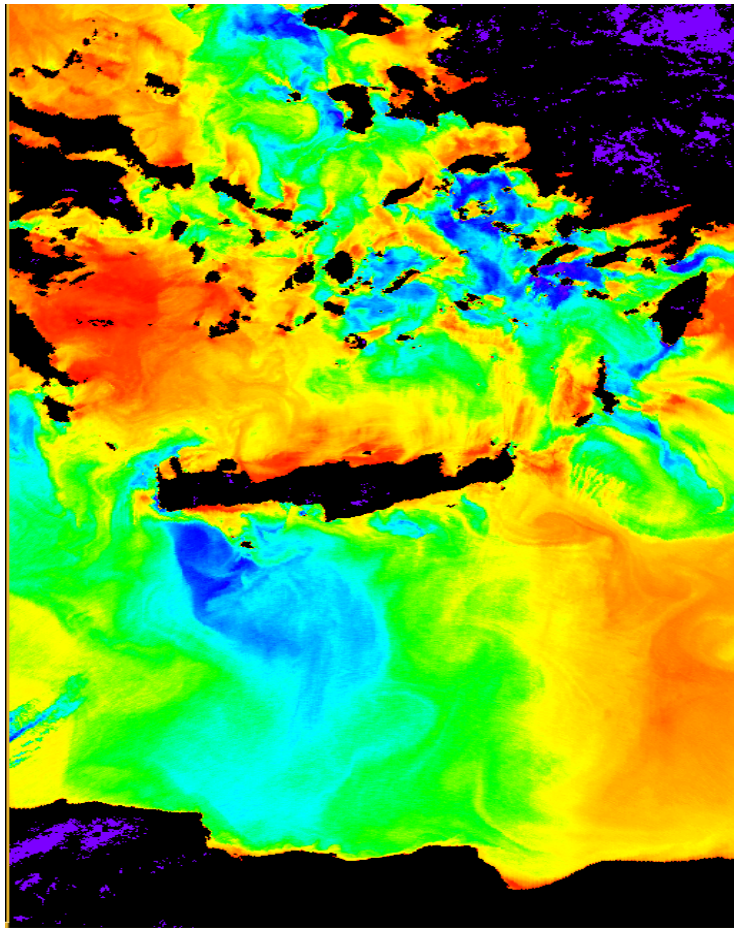
SYNOP + QUIKSCAT OBS



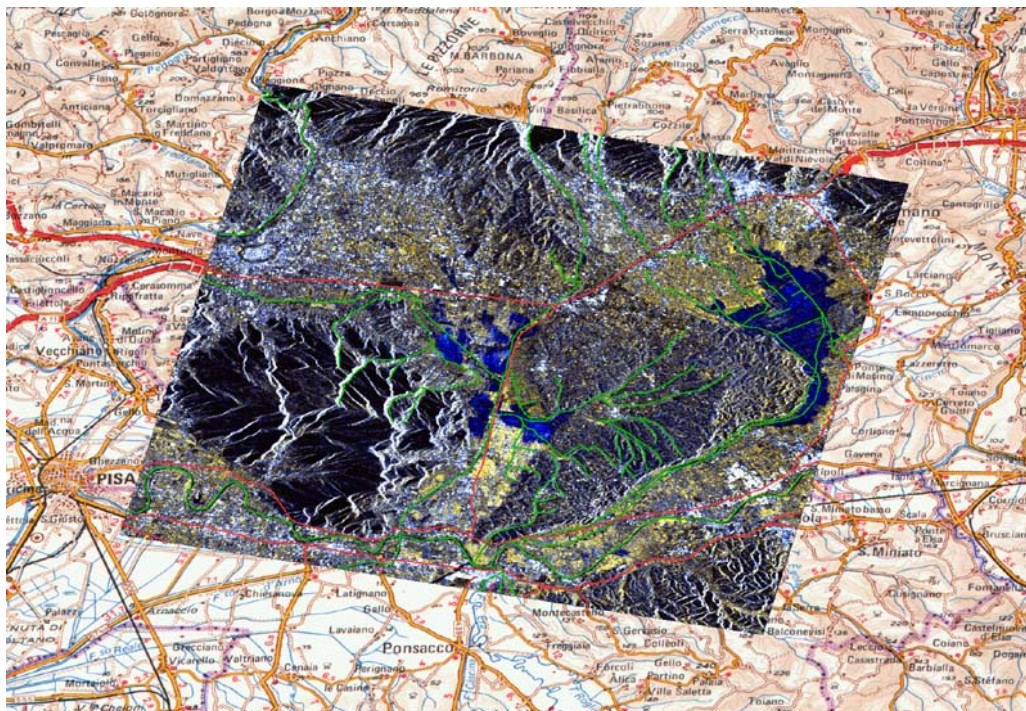
22 JANUARY 2004: 0100 UTC: LIGHTNING, METEOSAT AND TRMM-PR OBS







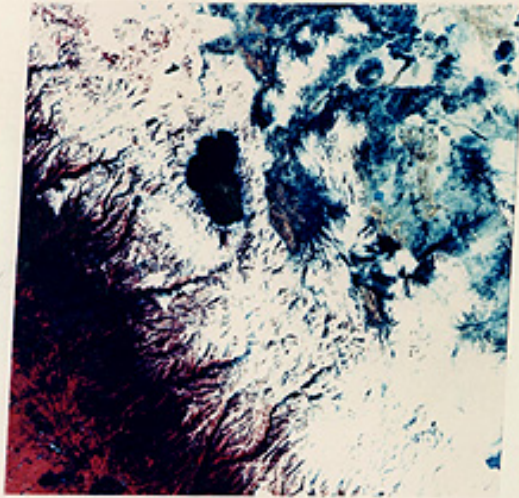
ATSR-2 (ERS-2) εικόνα της θερμοκρασίας της θάλασσας στις 9 Ιουλίου 1996 (9:10 utc). Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 21 C (μπλέ) ως 26C (κόκκινο).



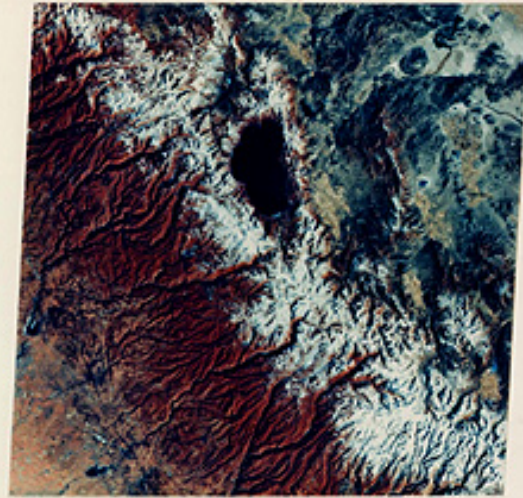
Synthetic Aperture Radar από τον ERS-2. Πλημμύρα στην Τοσκάνη Νοέμβριος 1992.



**Snowcover differences between a near normal runoff season (1975) and a drought year (1977) in the Sierra Nevada Mountains near Lake Tahoe, California as observed by LANDSAT.**



25 February 1975  
Average Snowline Elevation = 4500 ft.



14 February 1977  
Average Snowline Elevation = 6500 ft.

© ESA 2000 - Processed by Earth Watching Team



LANDSAT εικόνα στις 9 Ιουλίου 2000. Πυρκαϊά στην Σάμο.