ΡΑΝΤΑΡ

και

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

στην υπηρεσία της

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ

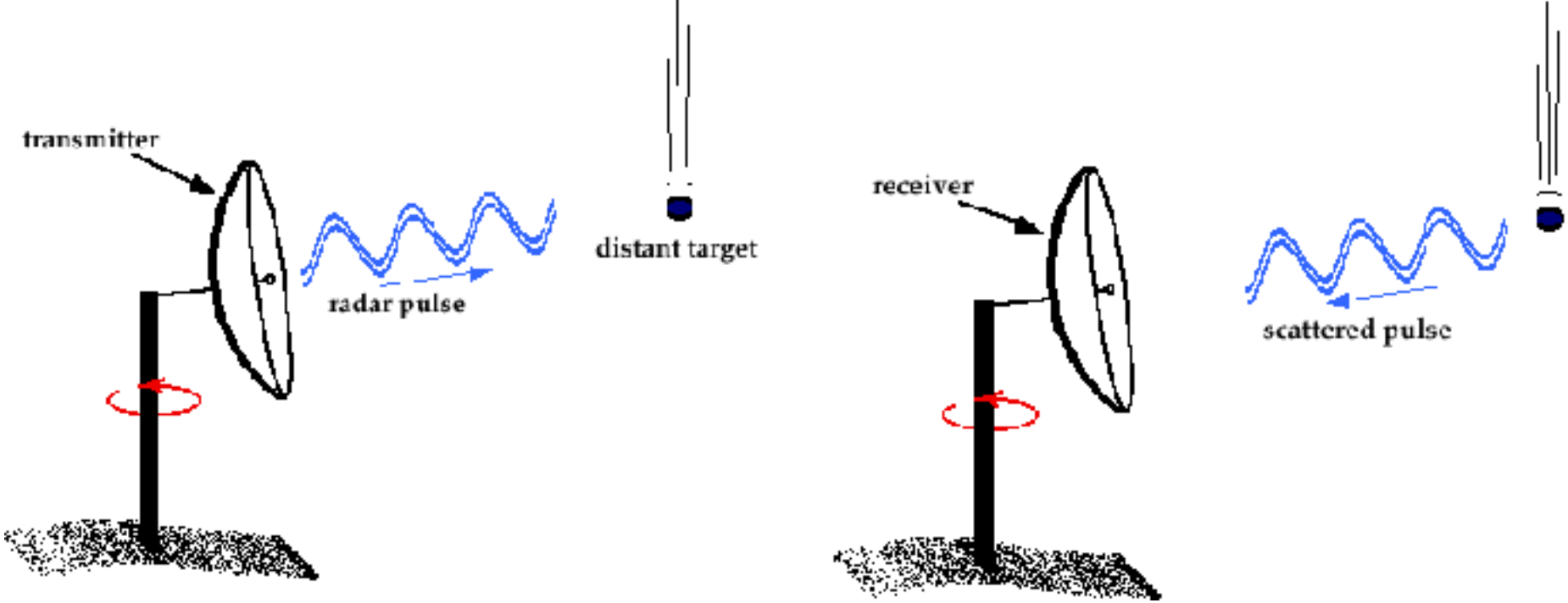
RAdio Detection And Ranging

ραντάρ ➔ μετάδοση, διάδοση, σκέδαση και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Η πρώτη επιστροφή ραδιοκύματος: Appletton 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).

Ζώνη συχνότητας	*Συχνότητα*	*Μήκος κύματος*
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 λ : $f=c/\lambda$

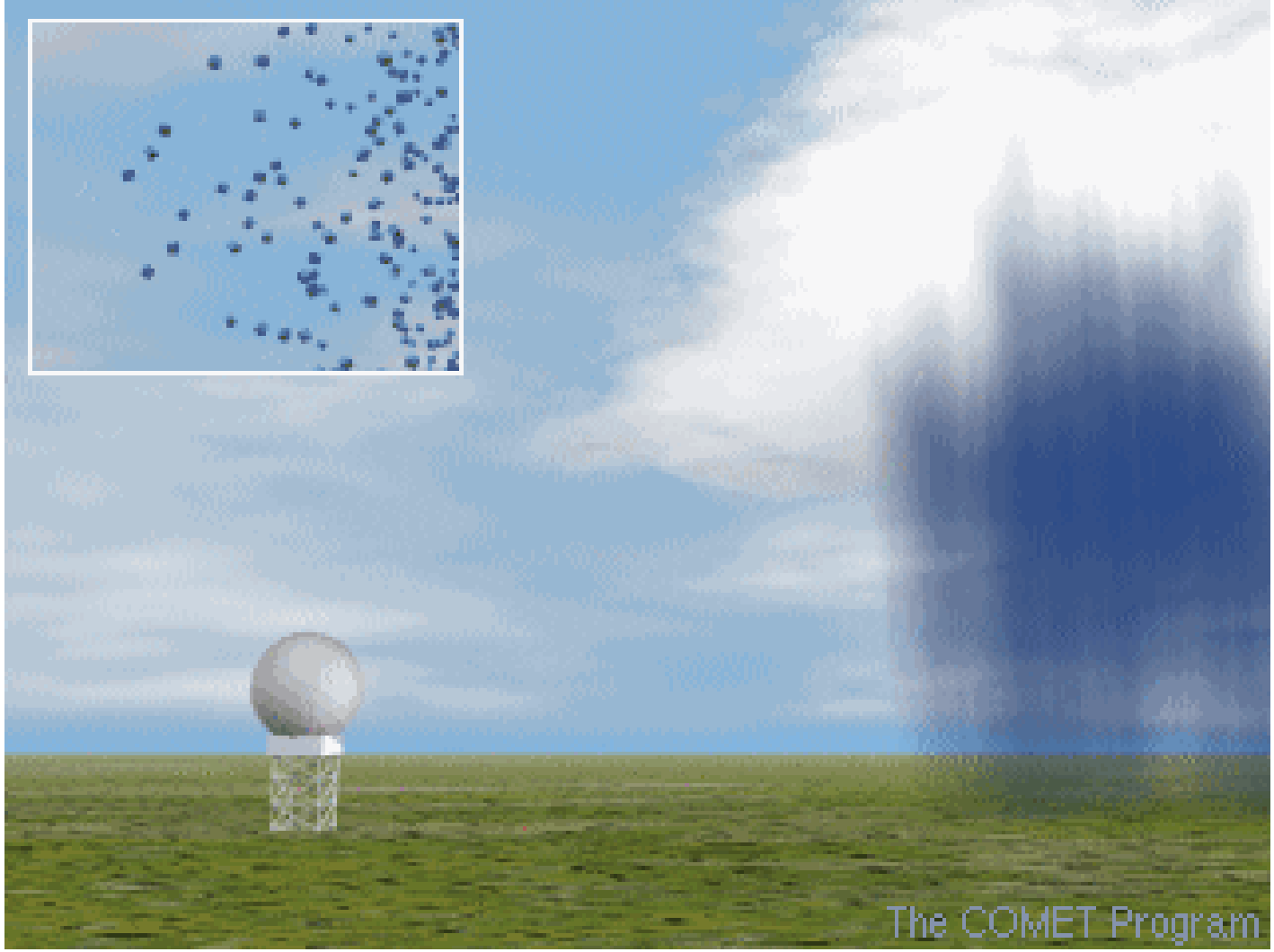


Κεραία: χαρακτηρίζεται από την απολαβή της.

■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 λ= 5 cm και για δέσμη 1° ➔ κεραία διαμέτρου 5 m)



Σκέδαση

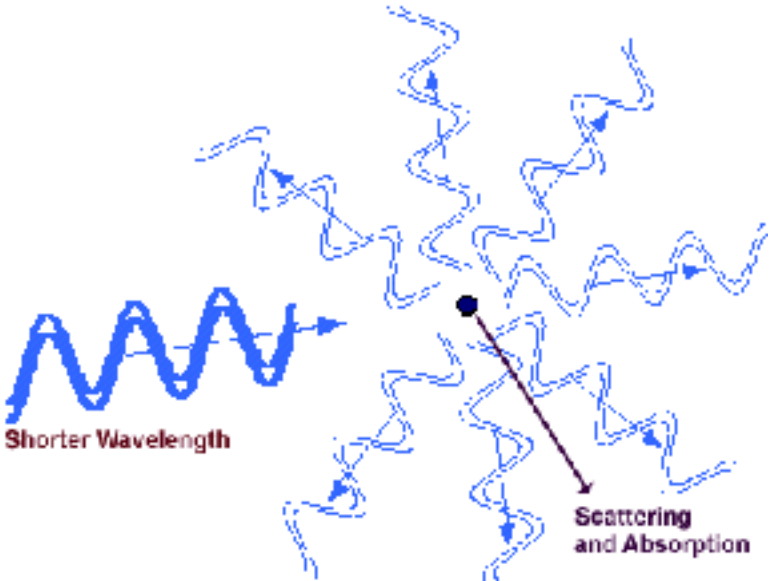
Οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια ➔ διηλεκτρικές ιδιότητες σκεδαστή και προσανατολισμό, σχήμα και μέγεθος (κλάσμα του μήκους κύματος προς το μέγεθος του σκεδαστή)

Εξασθένηση

dB/km *τόσο πιο έντονη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος*

ατμοσφαιρικά αέρια
οι μικρές σταγόνες βροχής ➔ εξασθένηση λόγω απορρόφησης
τα σταγονίδια νεφών

μεγάλες σταγόνες βροχής
το χιόνι ➔ εξασθένηση λόγω απορρόφησης
το χαλάζι και σκέδασης

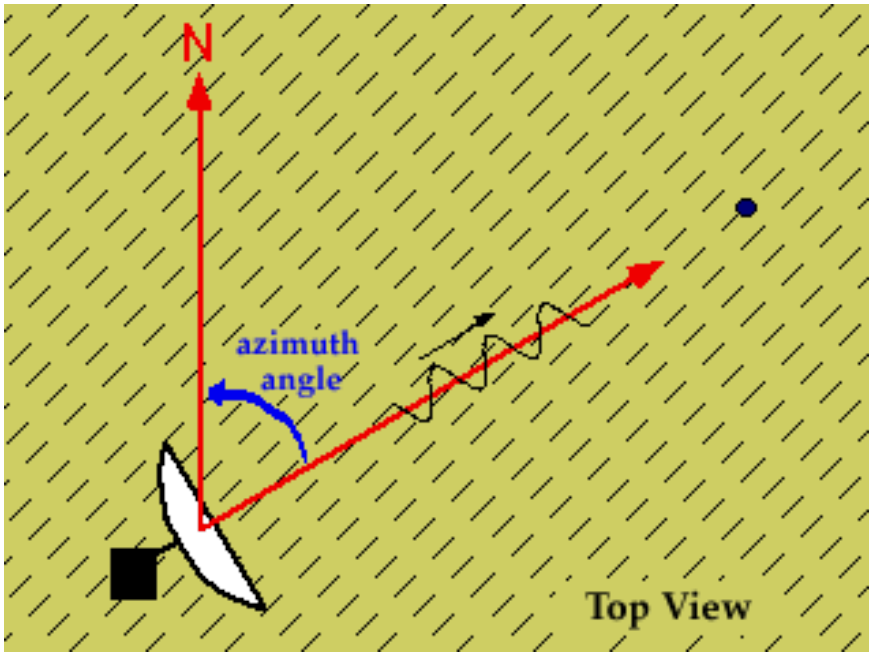


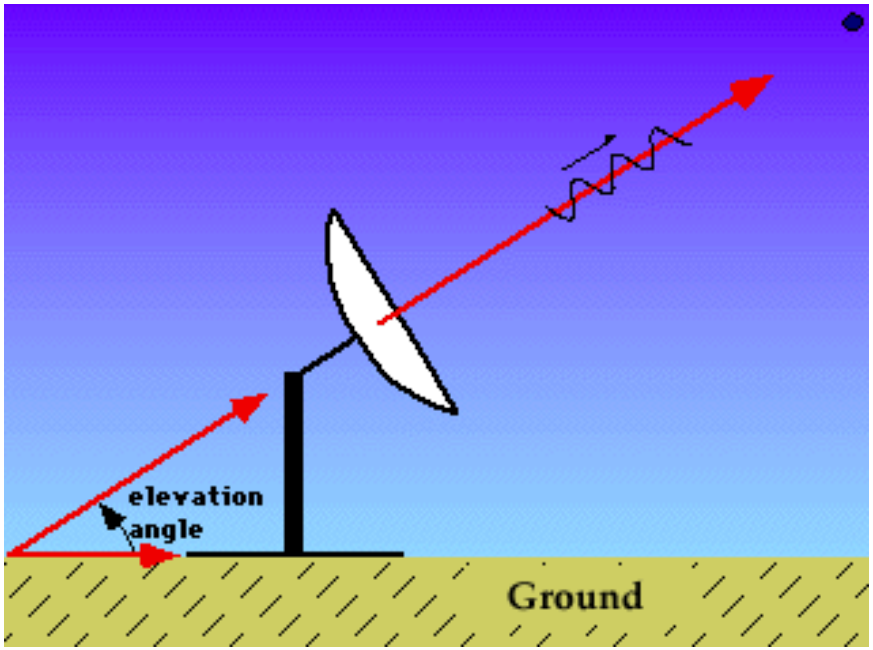
Για λ<10 cm εξασθένηση από την βροχή και τα νέφη λαμβάνεται υπόψη, σημαντικότερη για λ=3cm.

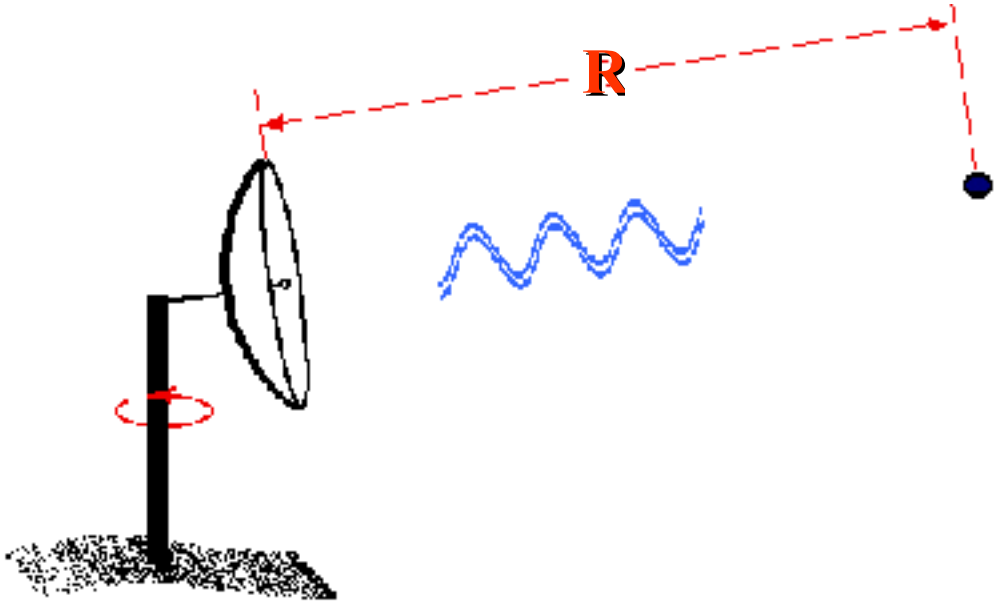
Εξασθένηση (λ=3 cm) = 6 x εξασθένηση (λ=5 cm)

= 40 x εξασθένηση (λ=10 cm)

Προσδιορισμός Στόχου



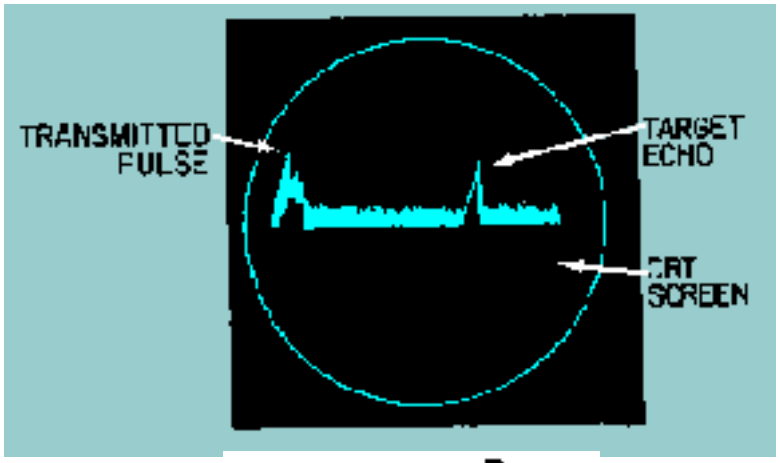




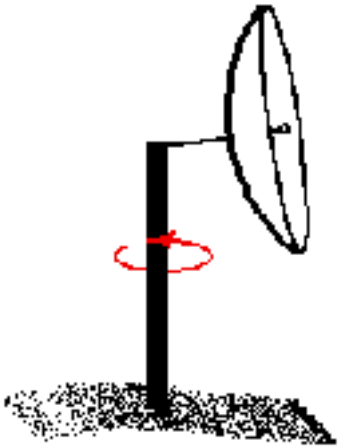
$$R=ct/2$$

Σύστημα ενδείκτη ραντάρ

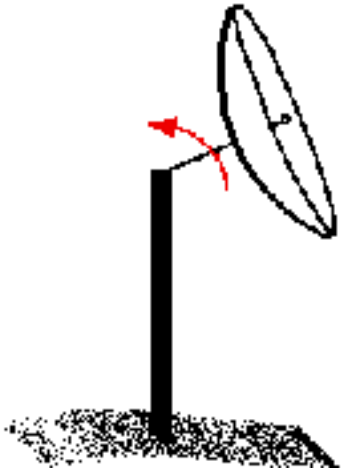
- **SCOPE A**



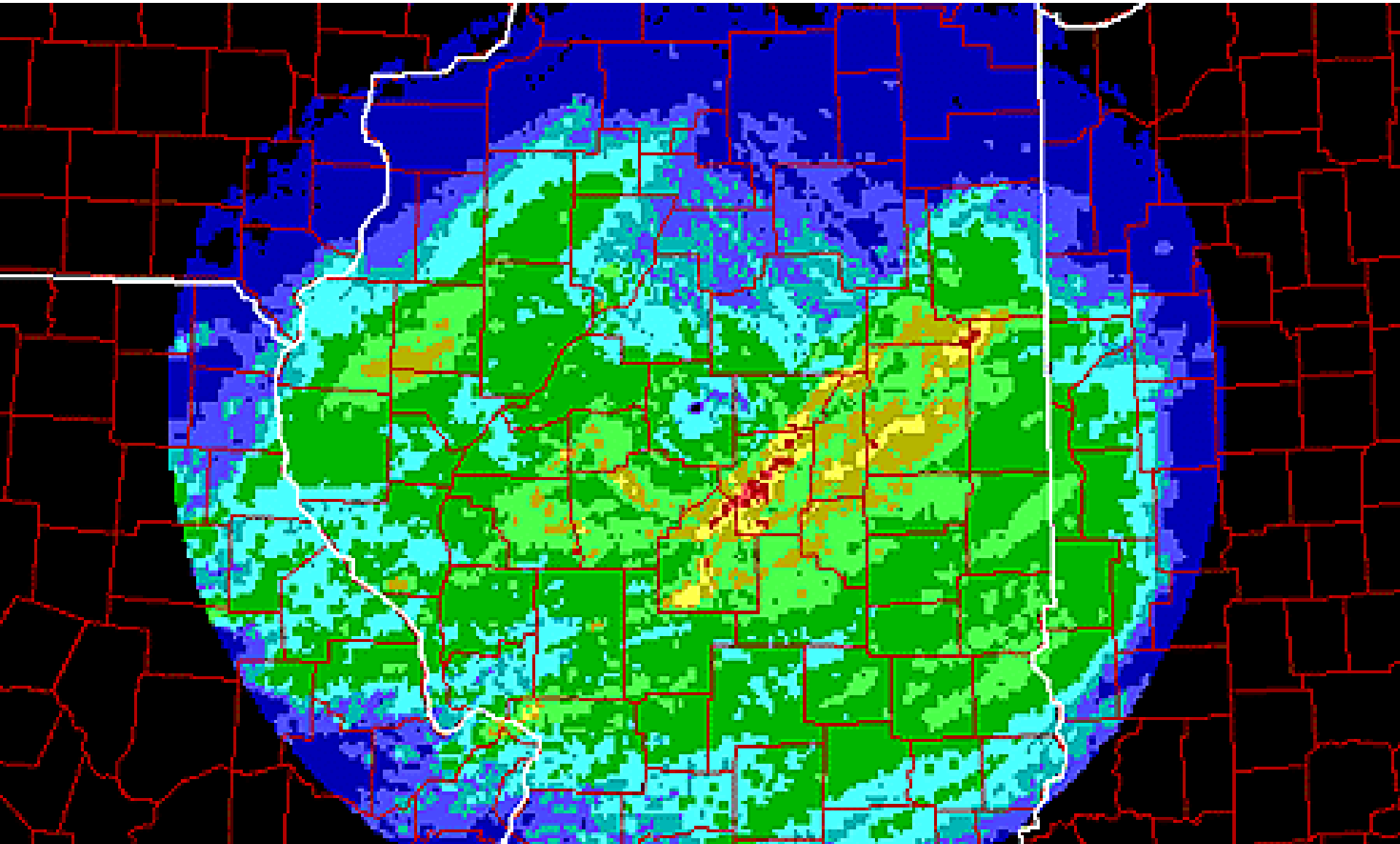
- **PPI (Plan Position Indicator)**



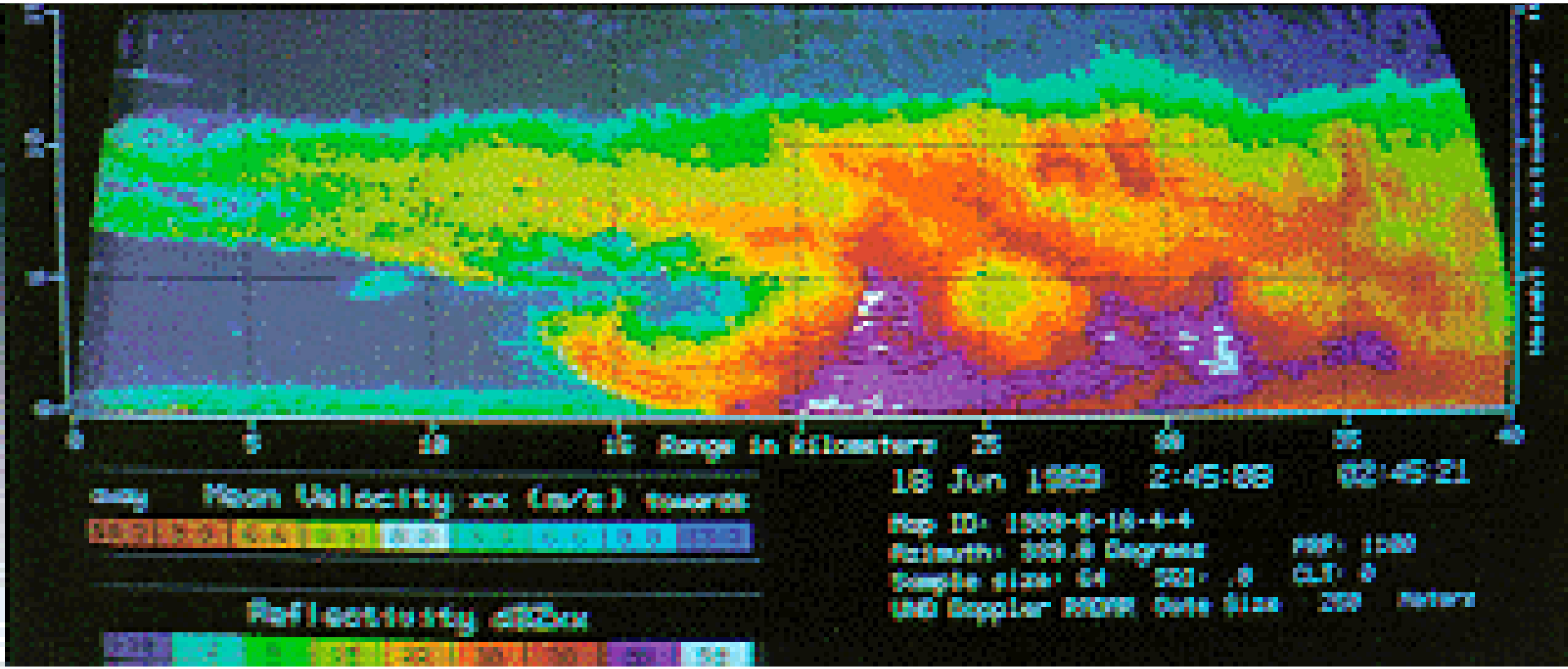
- **RHI (Range Height Indicator)**



PPI



RHI


Range in Kilometers
Mean Velocity xx (m/s)
Reflectivity dBZxx
18 Jun 1989
2:45:08
02:45:21

Εξίσωση Ραντάρ

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

P_Λ είναι η λαμβανόμενη ισχύς

P_E είναι η εκπεμπόμενη ισχύς

G η απολαβή της κεραίας

σ διατομή οπισθοσκέδασης

λ μήκος κύματος

R απόσταση

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

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

Παράγοντας Ανακλαστικότητας

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

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

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

Χρήση ραντάρ για μέτρηση βροχής

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

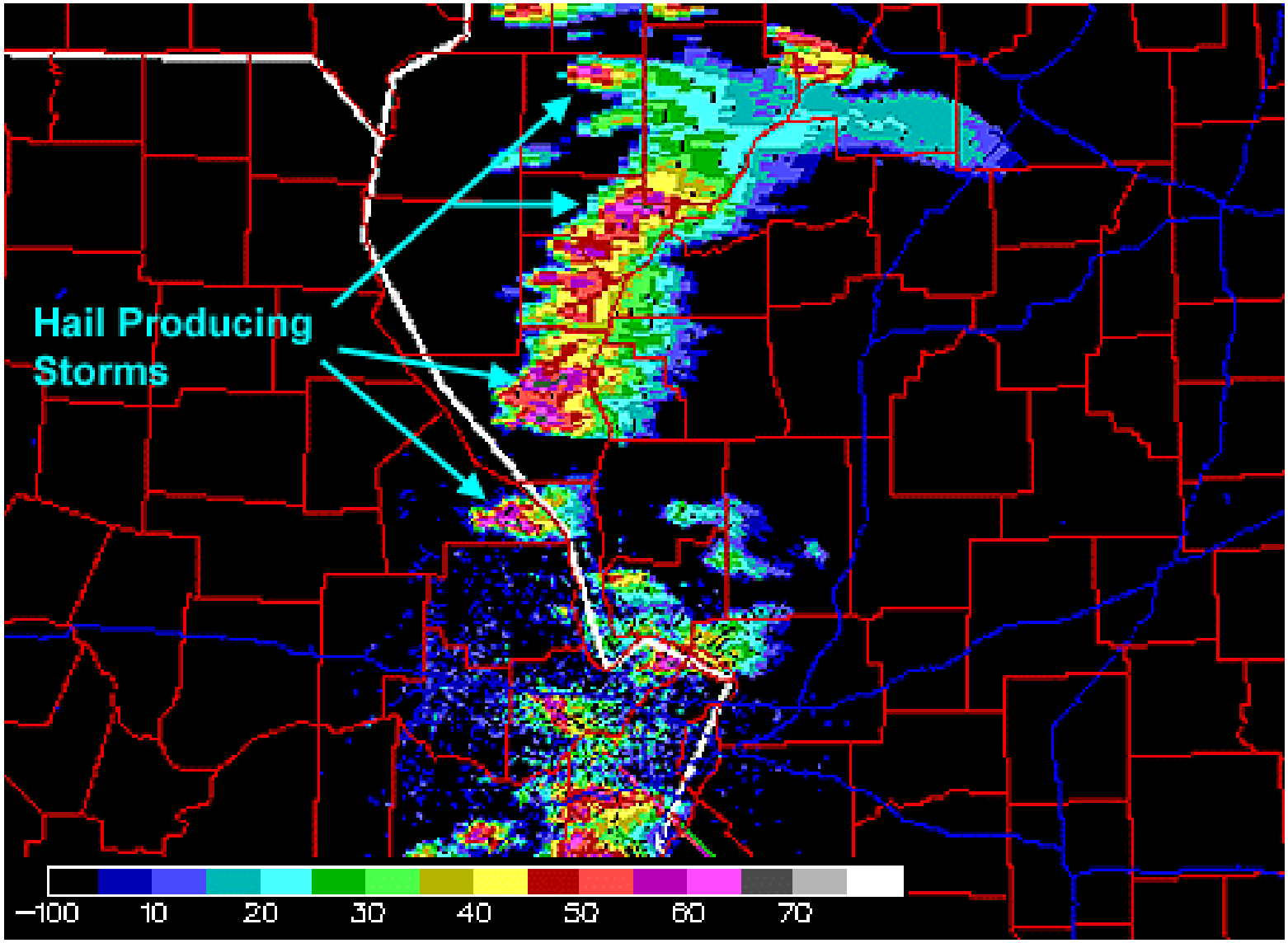
$$Z = 200\, R^{1.6}$$

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

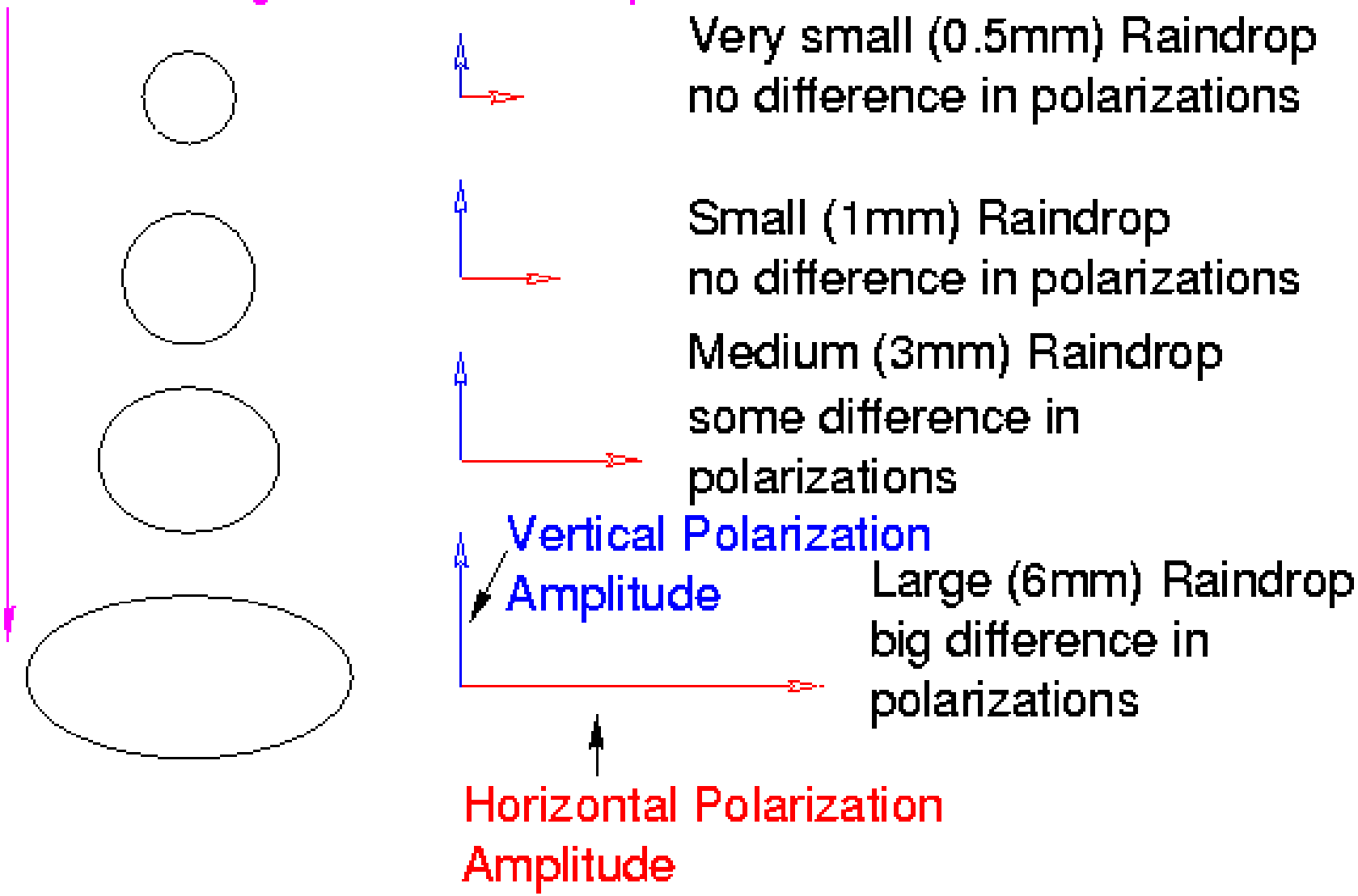
όταν η διάμετρος των σταγόνων βροχής αυξάνεται, οι σταγόνες πλαταίνουν (γίνονται ελλειψοειδείς) με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πιο μεγάλη ανακλαστικότητα σε οριζόντια πόλωση από ότι σε κατακόρυφη.

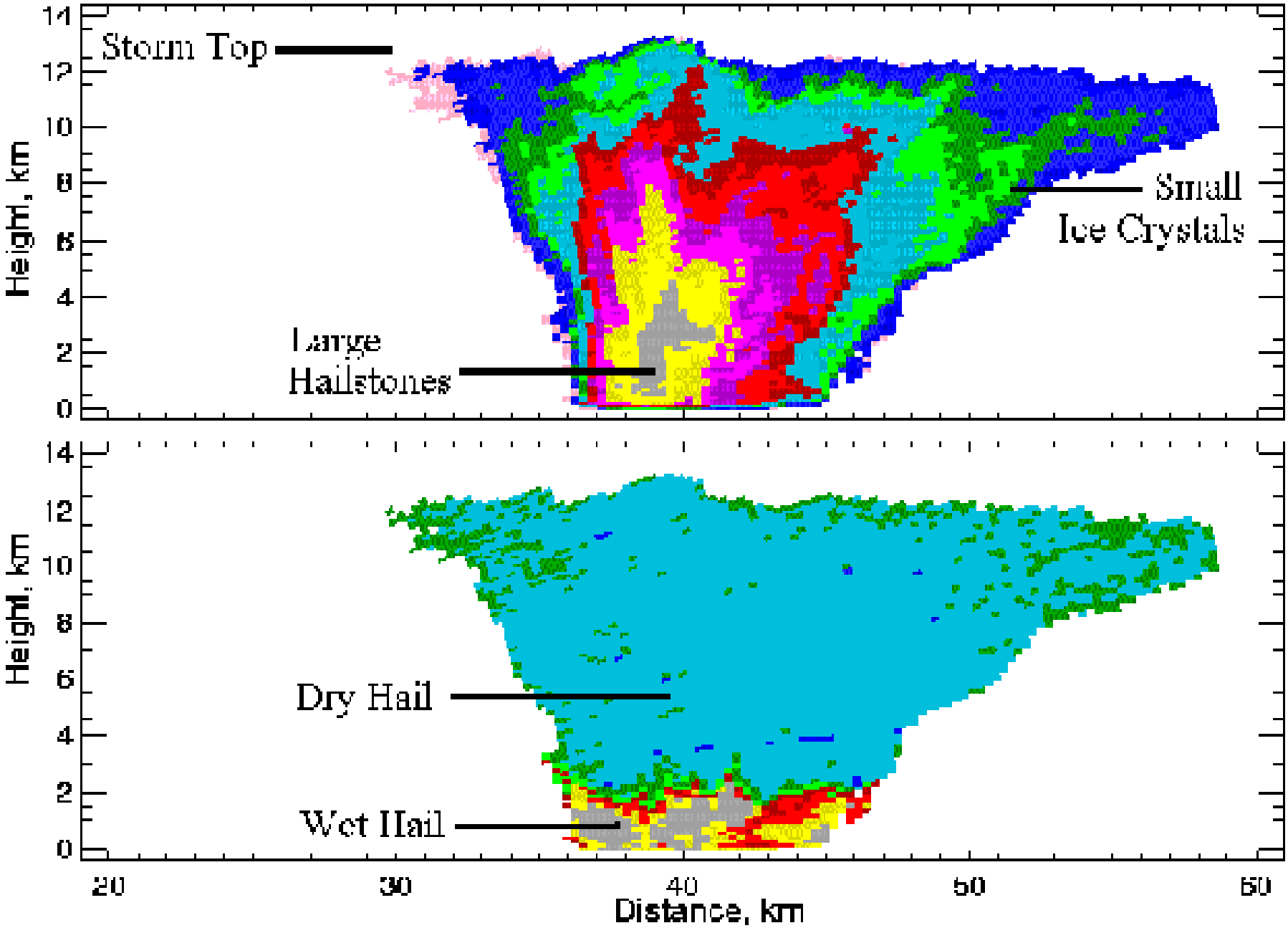
Διαφορική ανακλαστικότητα Z_{DR} :

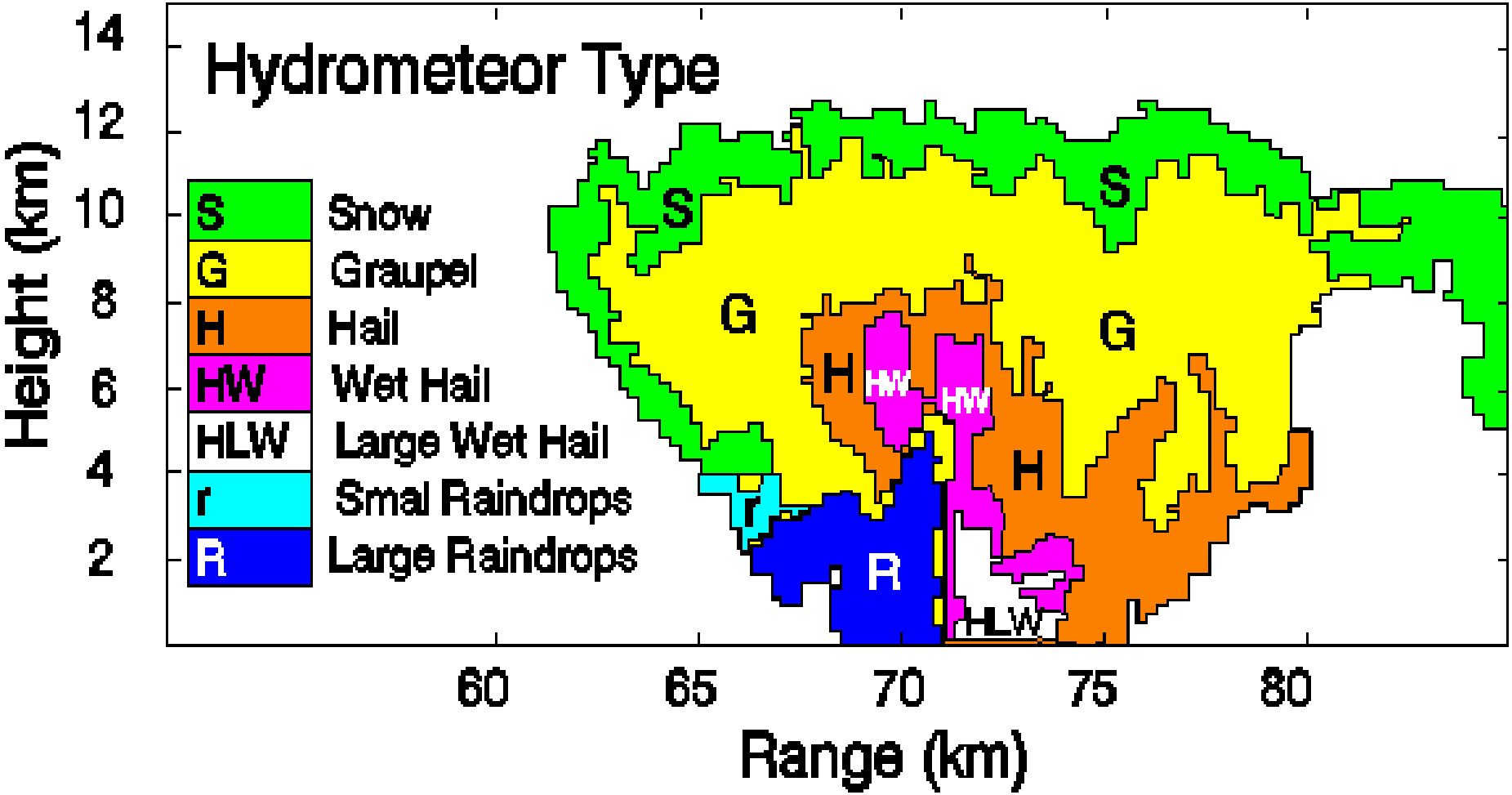
$$Z_{DR}(dBZ) = Z_{HH}(dBZ) - Z_{VV}(dBZ)$$

σταγόνες βροχής παρουσιάζουν $Z_{DR}>0$

σωματίδια πάγου παρουσιάζουν $Z_{DR}<0$

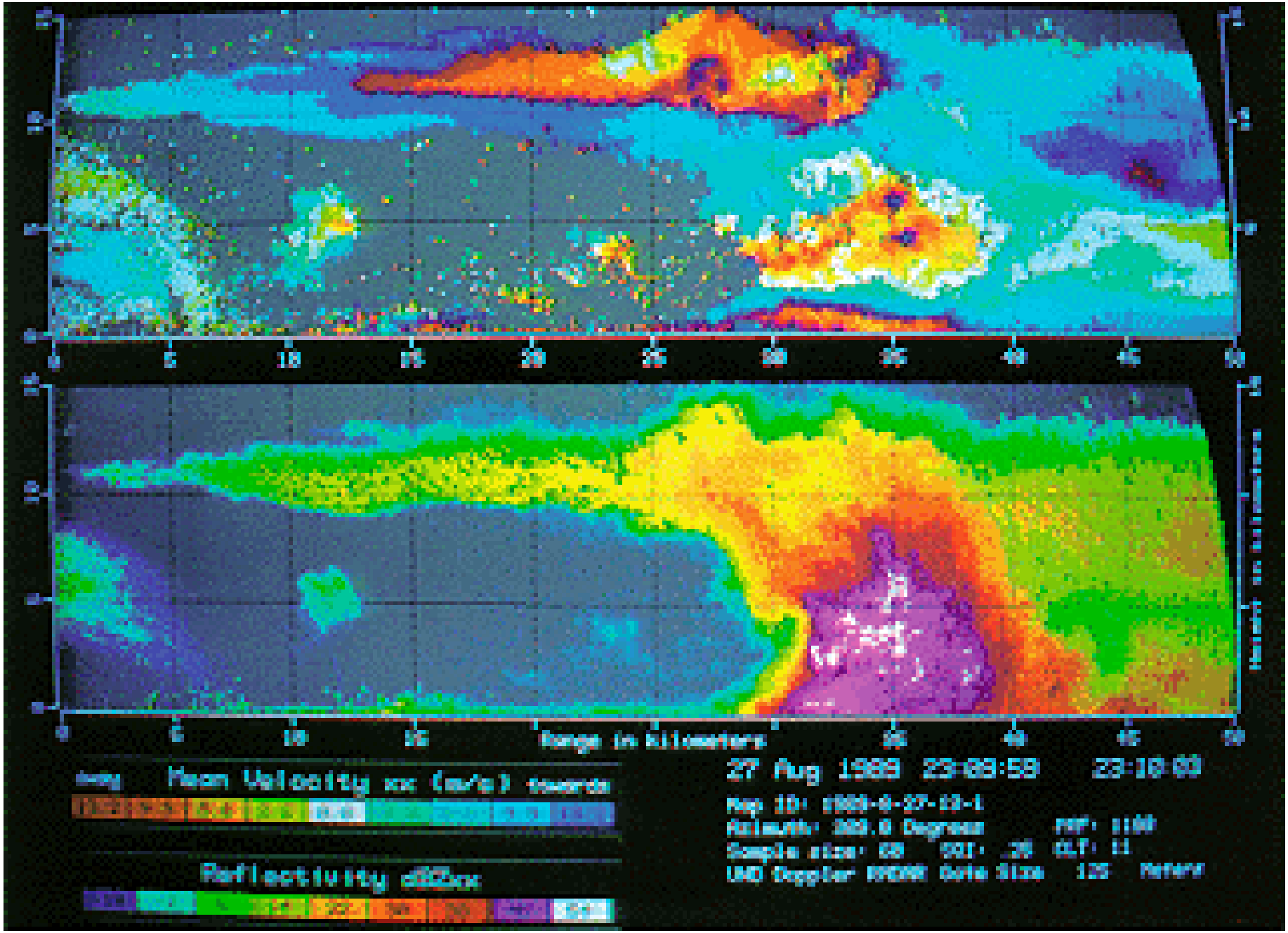

Increasing Drop Size
Increasing Deformation (oblateness)
Increasing Polarization Amplitude Difference
Very small (0.5mm) Raindrop
no difference in polarizations
Small (1mm) Raindrop
no difference in polarizations
Medium (3mm) Raindrop
some difference in
polarizations
Vertical Polarization
Amplitude
Large (6mm) Raindrop
big difference in
polarizations
Horizontal Polarization
Amplitude

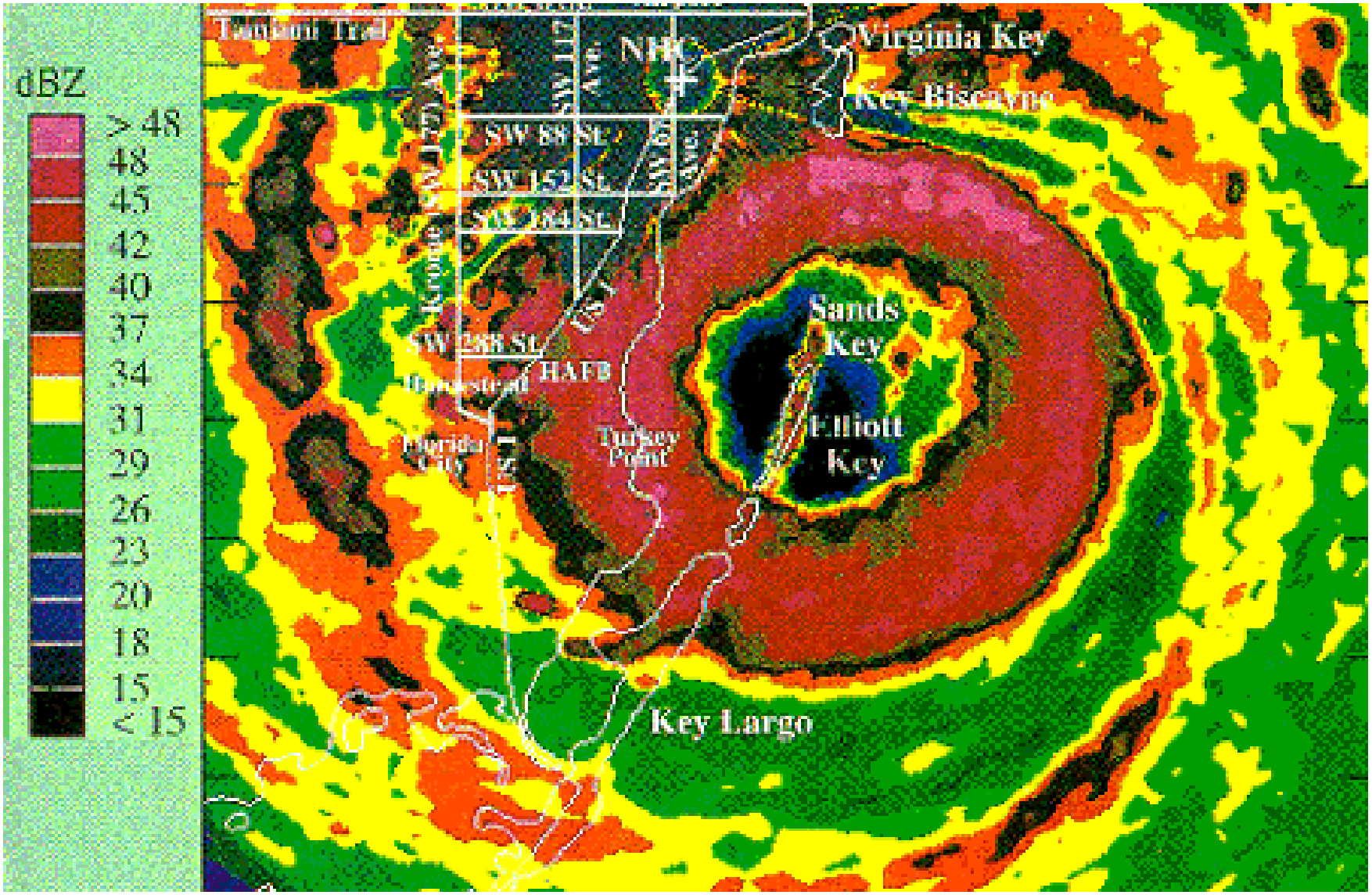

Storm Top
Small
Ice Crystals
Large
Hailstones
Dry Hail
Wet Hail
Height, km
Height, km
Distance, km
0
2
4
6
8
10
12
14
20
30
40
50
60



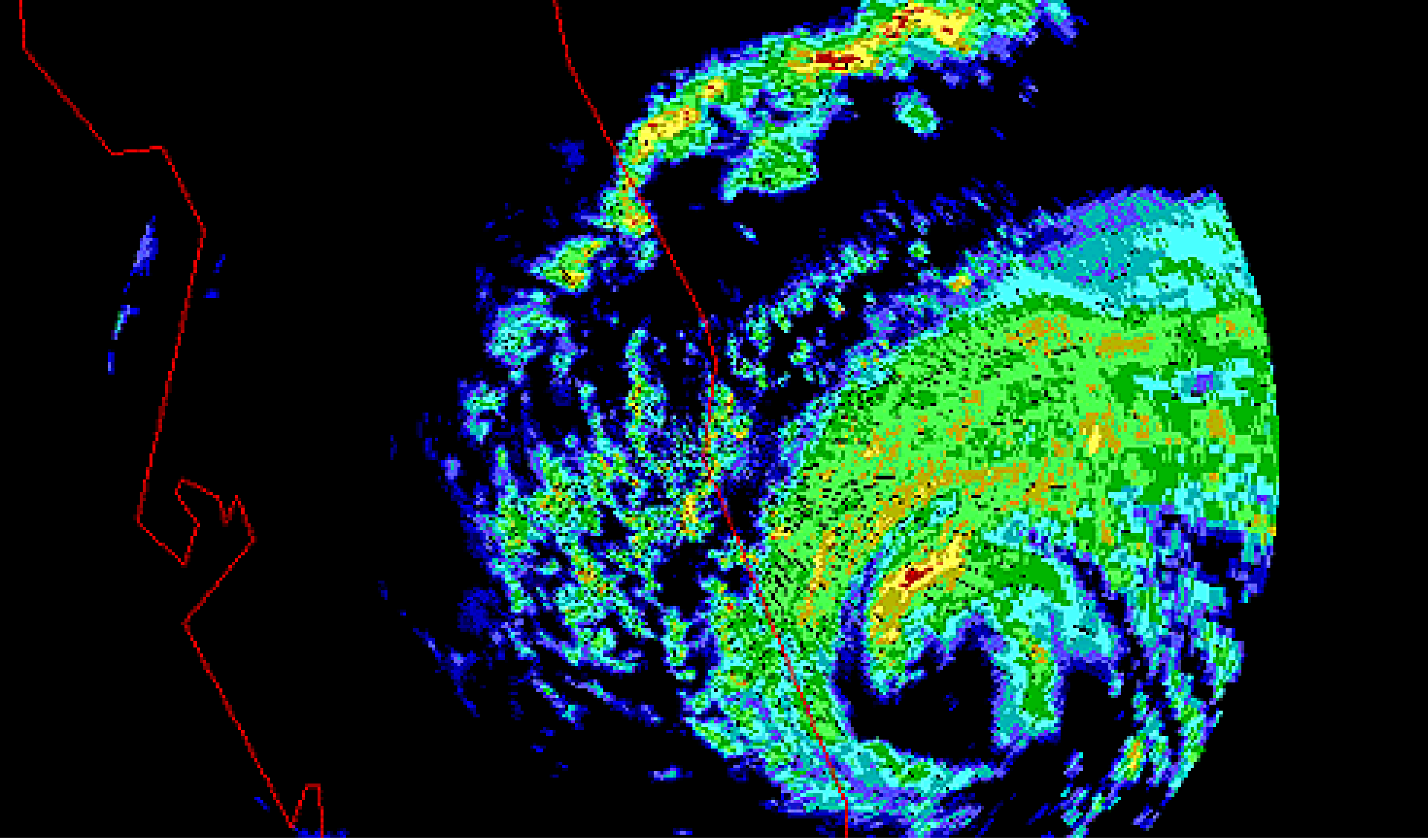
30 June 1990, 1414 UTC Höller et al., JAS 1994

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

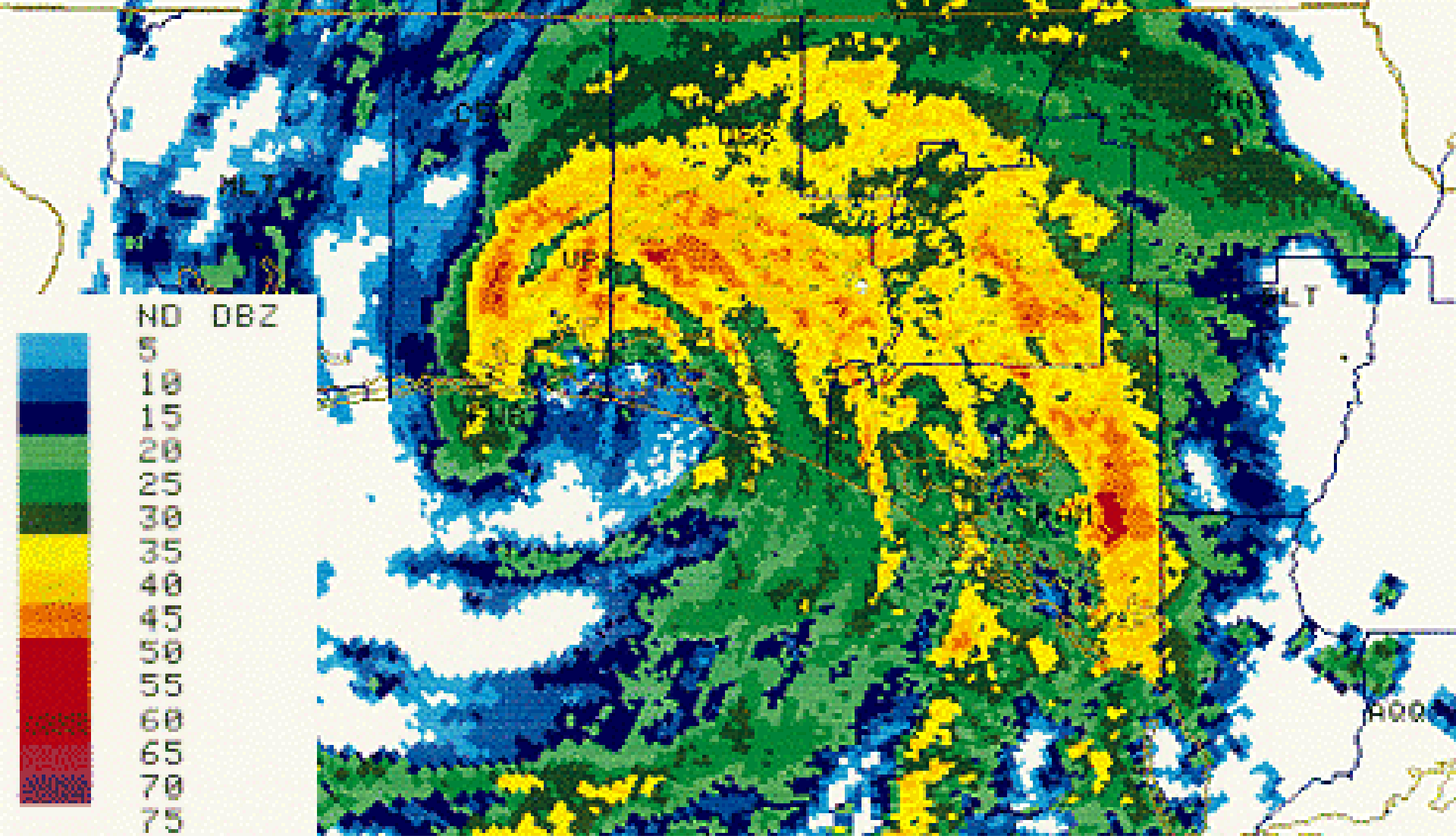

Range in Kilometers
Mean Velocity xx (m/s) towards
Reflectivity dBZxx
27 Aug 1989 23:08:59
23:10:09
Azimuth: 308.0 Degrees
Sample size: 80
Gate Size 125



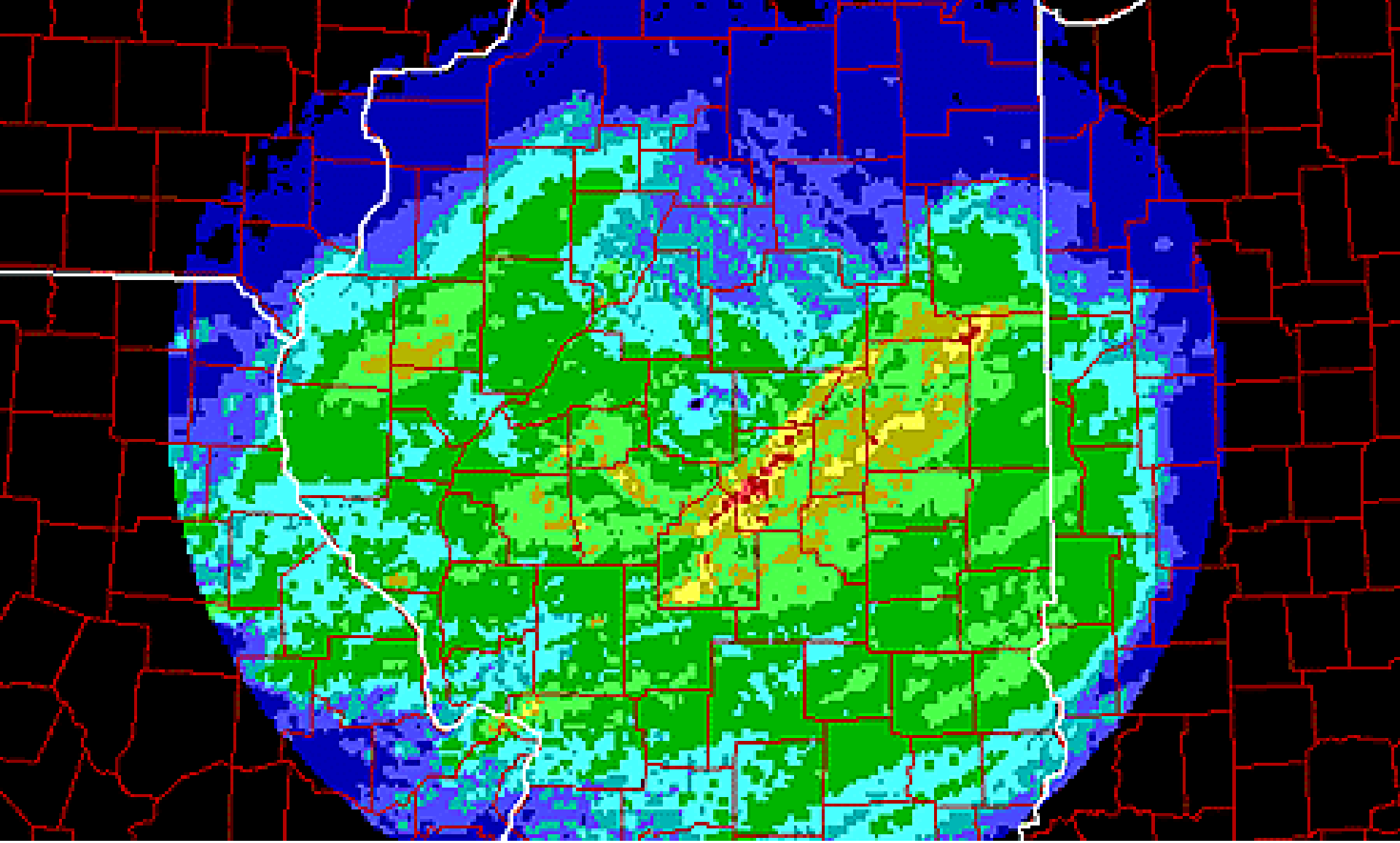
Κυκλώνας Andrew (Aug. 1992)



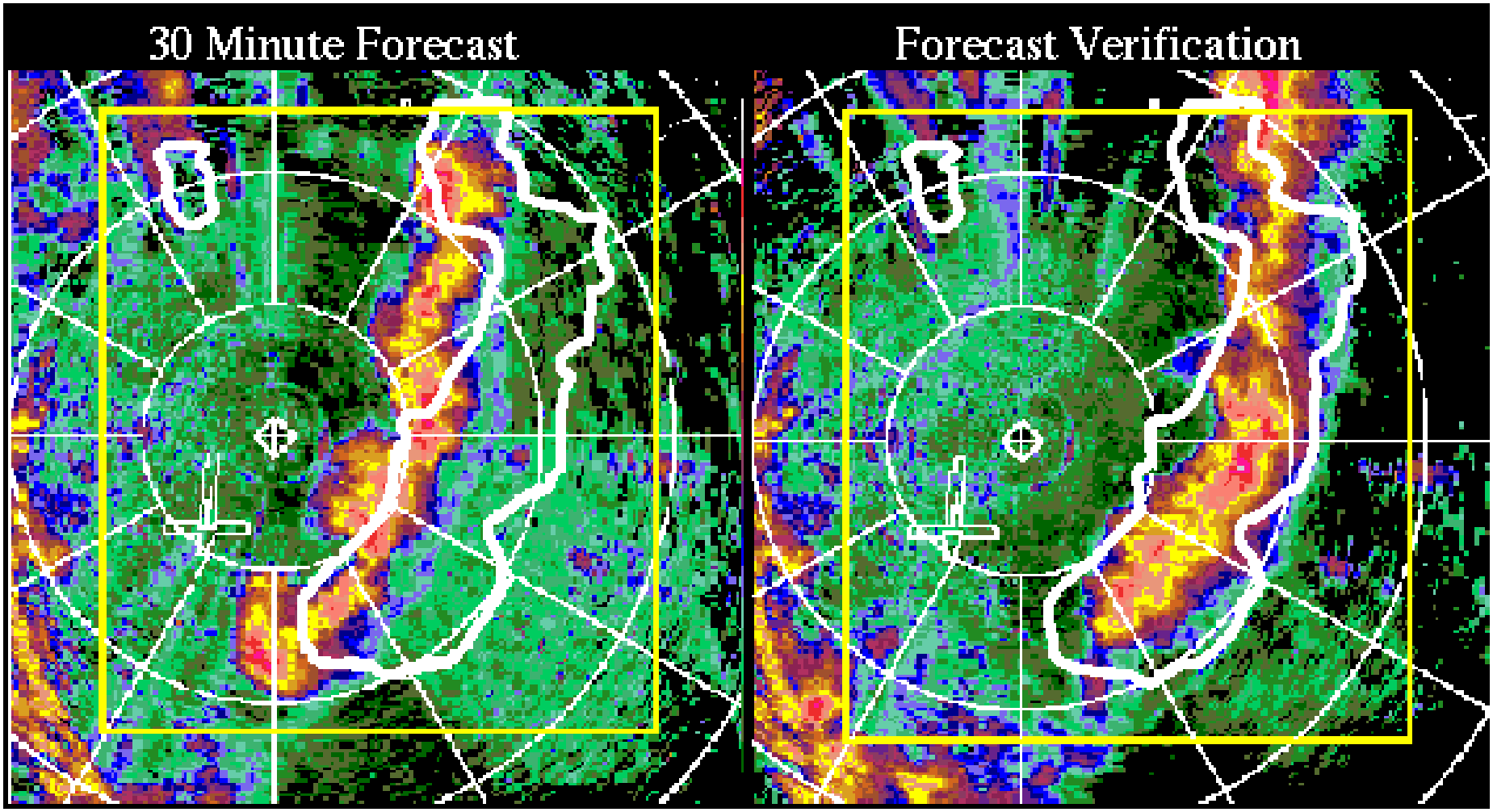
Κυκλώνας Erin (Aug. 1995)



Κυκλώνας Roxanne (Oct. 1994)

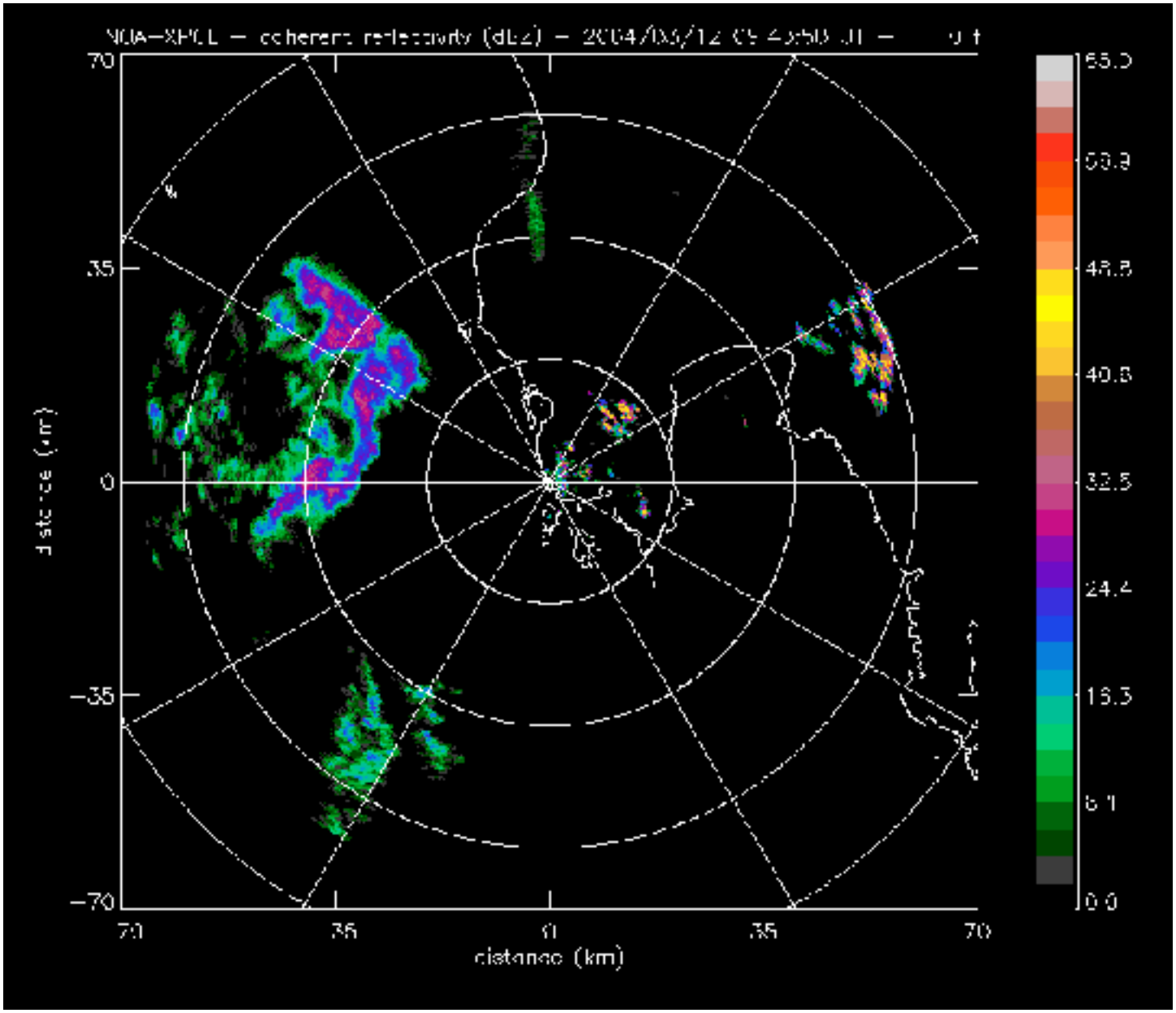


Χάρτης αθροιστικής βροχόπτωσης 12-h (εκτίμηση radar μέσω της σχέσης ανακλαστικότητας- ρυθμού βροχόπτωσης). Οδηγός για επικινδυνότητα πλημμύρας για αντίστοιχες λεκάνες.



Άμεση πρόγνωση - Nowcasting

X-POL Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών


70
35
0
−35
−70
distance (km)
65.0
56.8
48.6
40.5
32.5
24.4
16.3
8.1
0.0

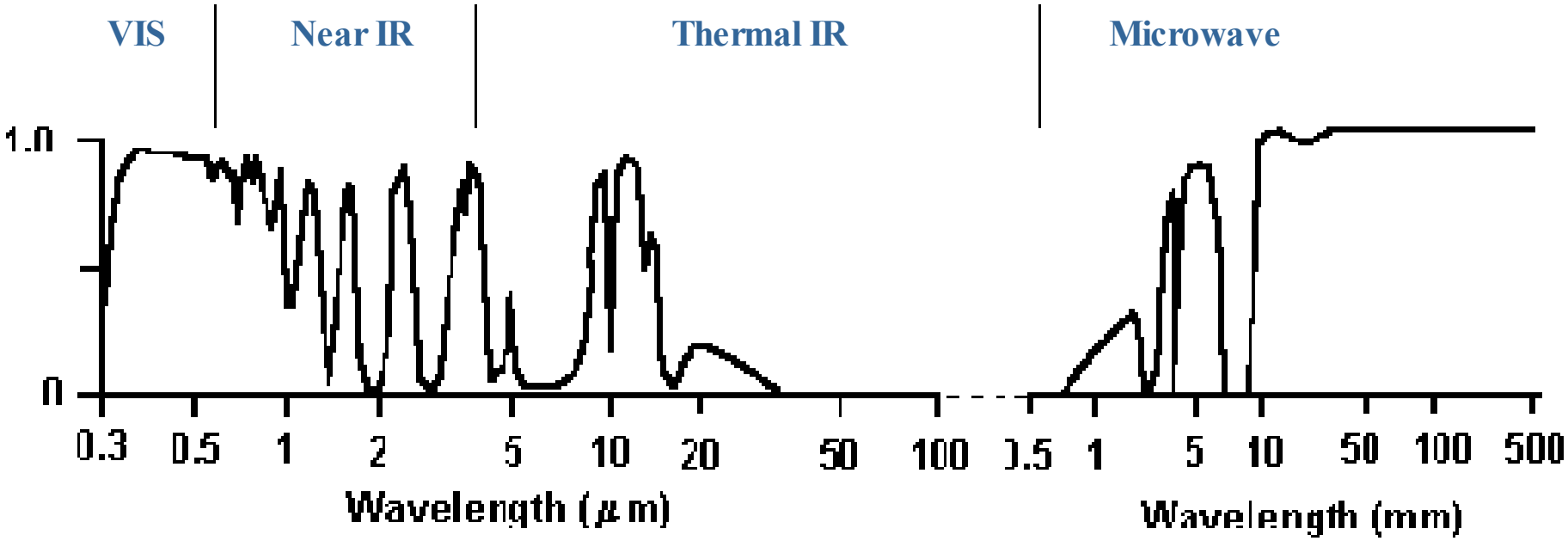
Μέρος Β’

Δορυφόροι και μετεωρολογία

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

λmax (μm)= 2832/T(K) νόμος Wien

Ήλιος (T=6000 K) λmax=0.48 μm
Γή (T=300 K) λmax=9.4 μm

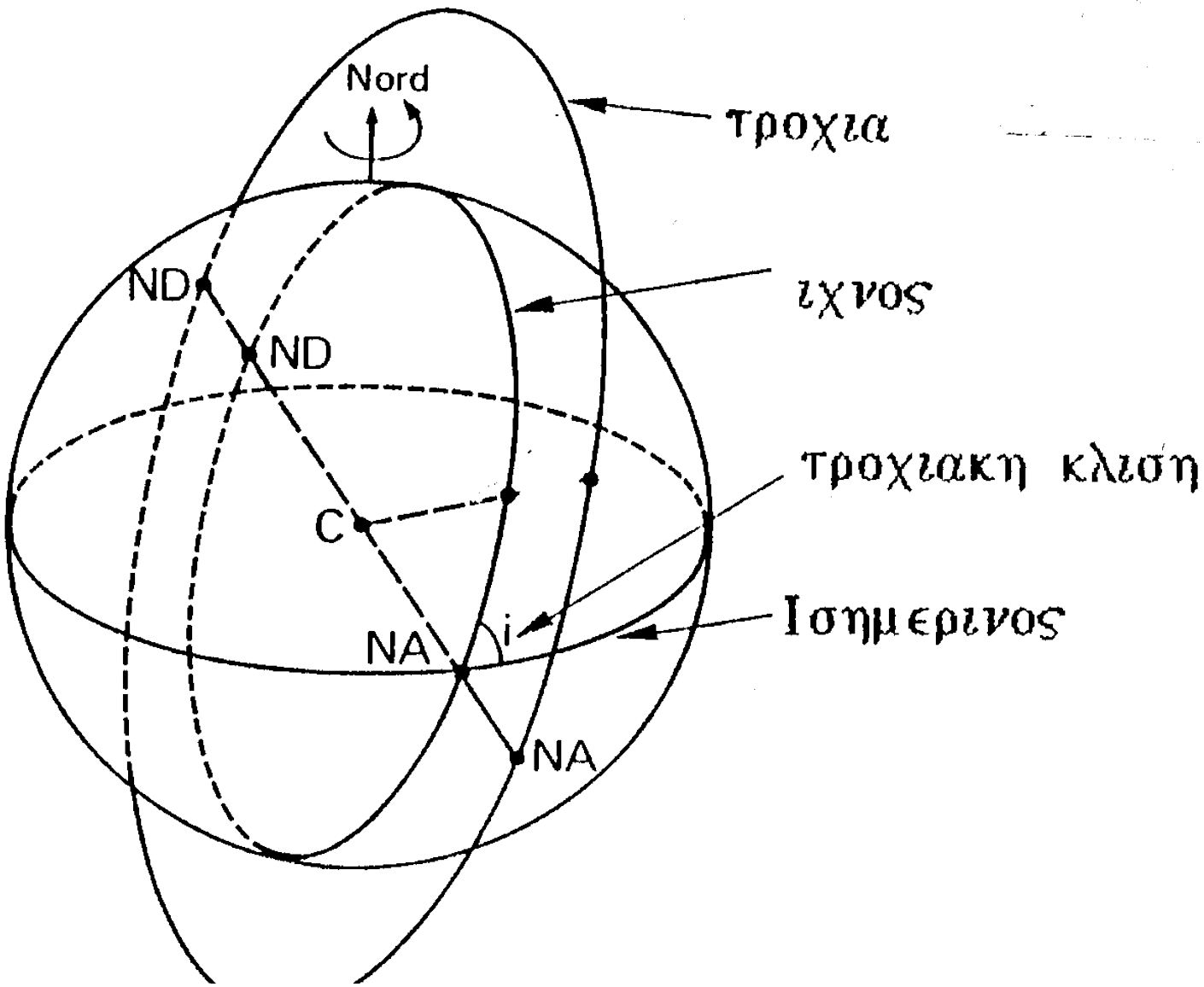


Μετεωρολογικοί δορυφόροι

- 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
  - καλλιεργειών, περιοχών αποψίλωσης δασών
  - ηφαιστειακών εκρήξεων, ανίχνευση κίνησης νεφών στάχτης

- Οι δορυφόροι λαμβάνουν και επανεκπέμπουν μετρήσεις επίγειων σταθμών.

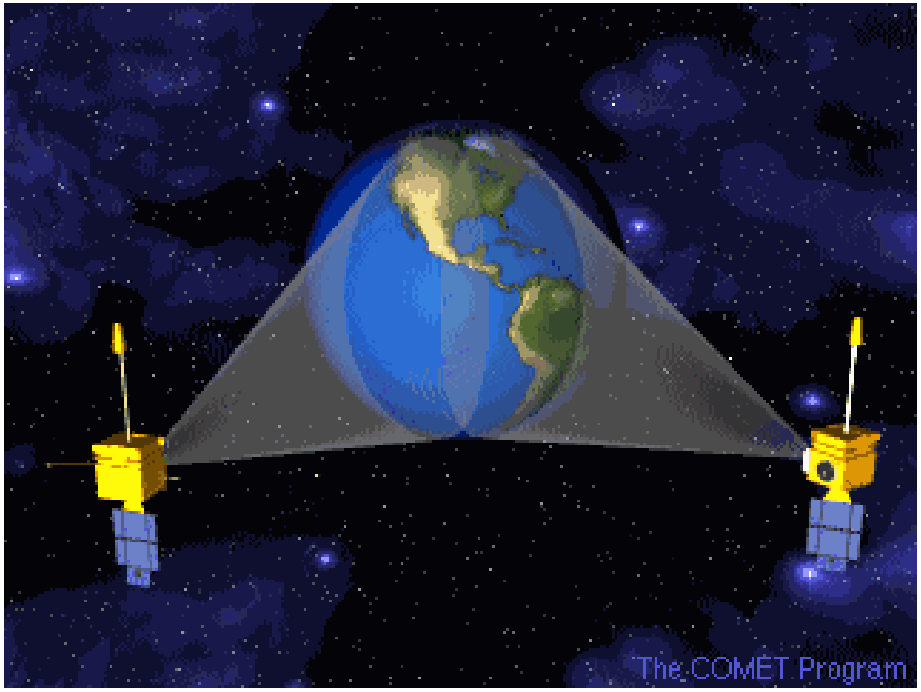
Χαρακτηριστικά τροχιάς δορυφόρων



Κατηγορίες δορυφόρων

Γεωστάσιμοι δορυφόροι:

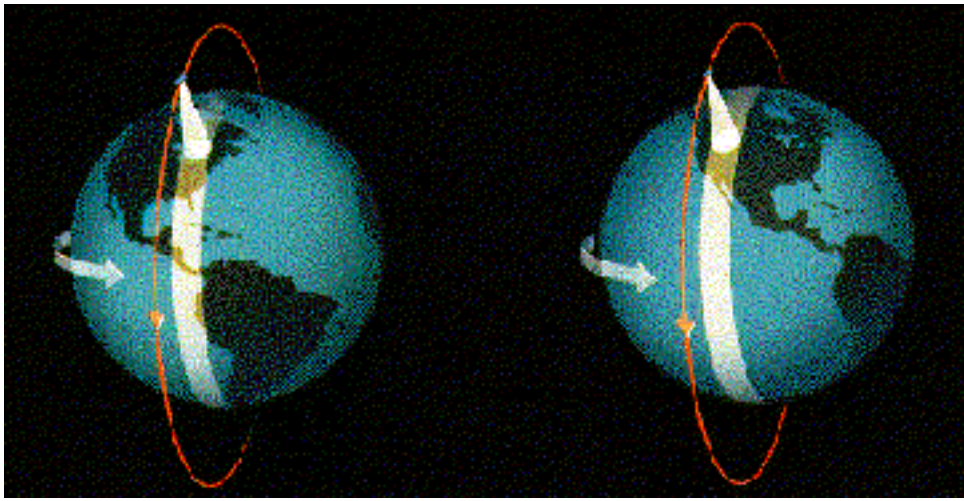
- τοποθετημένοι πάνω από τον Ισημερινό
- περιστρέφονται γύρω από τη Γη με την ίδια γωνιακή ταχύτητα
- βρίσκονται συνεχώς πάνω από ένα προκαθορισμένο σημείο της Γήινης επιφανείας σε ύψος ~ 36000 km



Κατηγορίες δορυφόρων

Δορυφόροι πολικής τροχιάς:

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



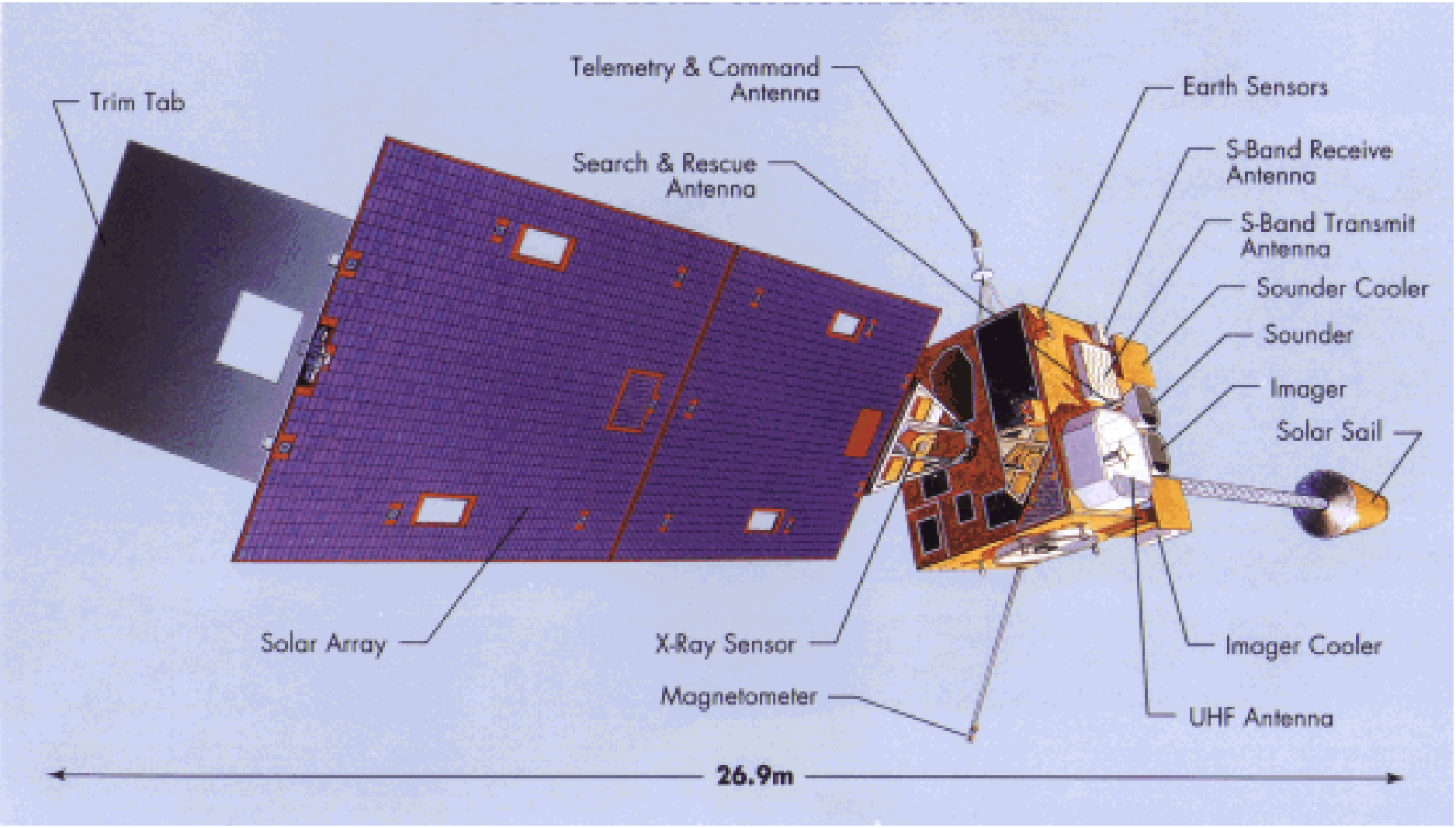
Μετρήσεις μετεωρολογικών δορυφόρων

Δορυφορική φωτογράφηση ➔ ραδιόμετρο

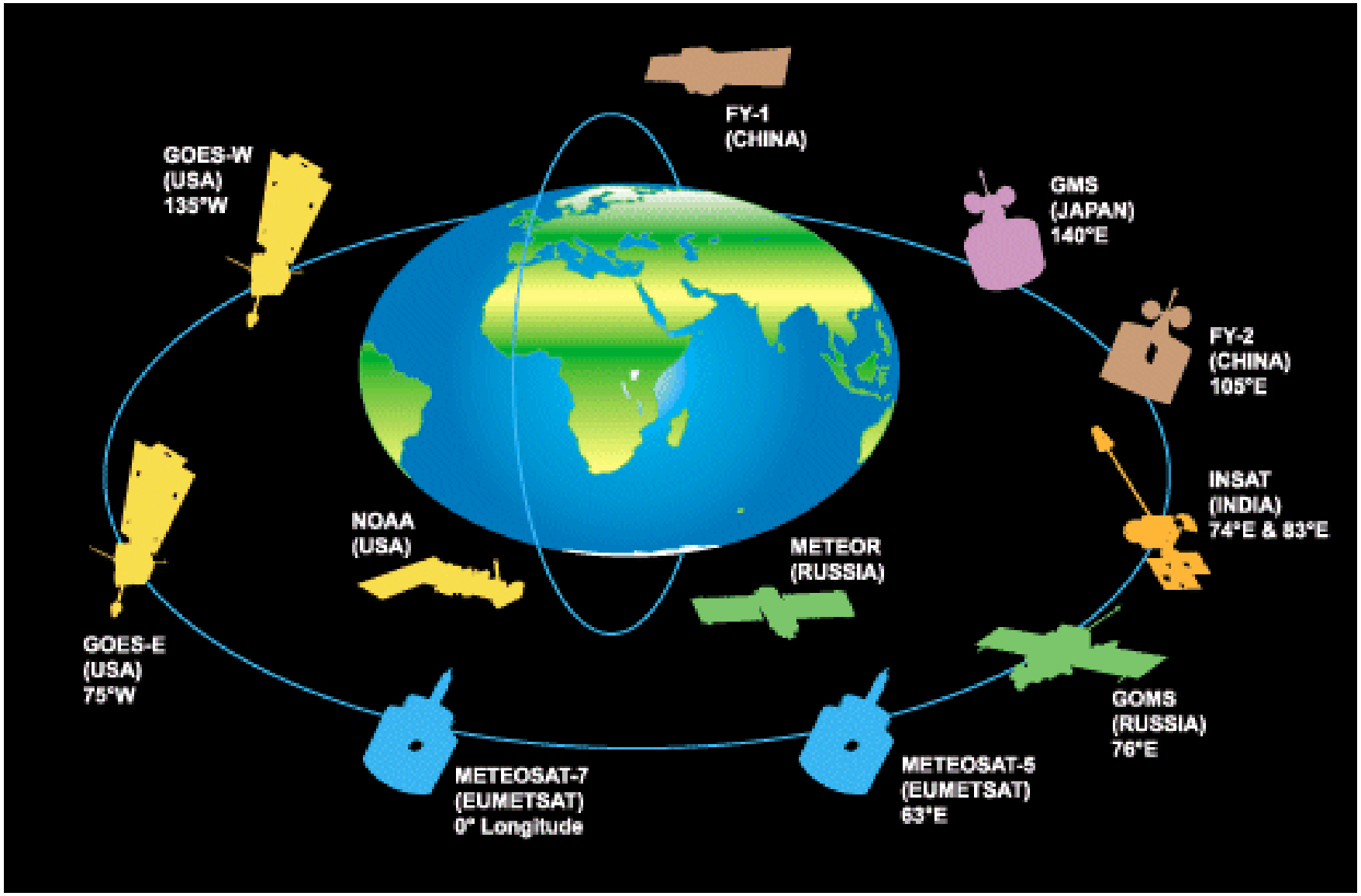
- κανάλι ορατής ακτινοβολίας 0.5-0.7 μm
- κανάλι υπέρυθρης ακτινοβολίας 10.5-12.5 μm
- κανάλι υδρατμών 5.5-7.1 μm

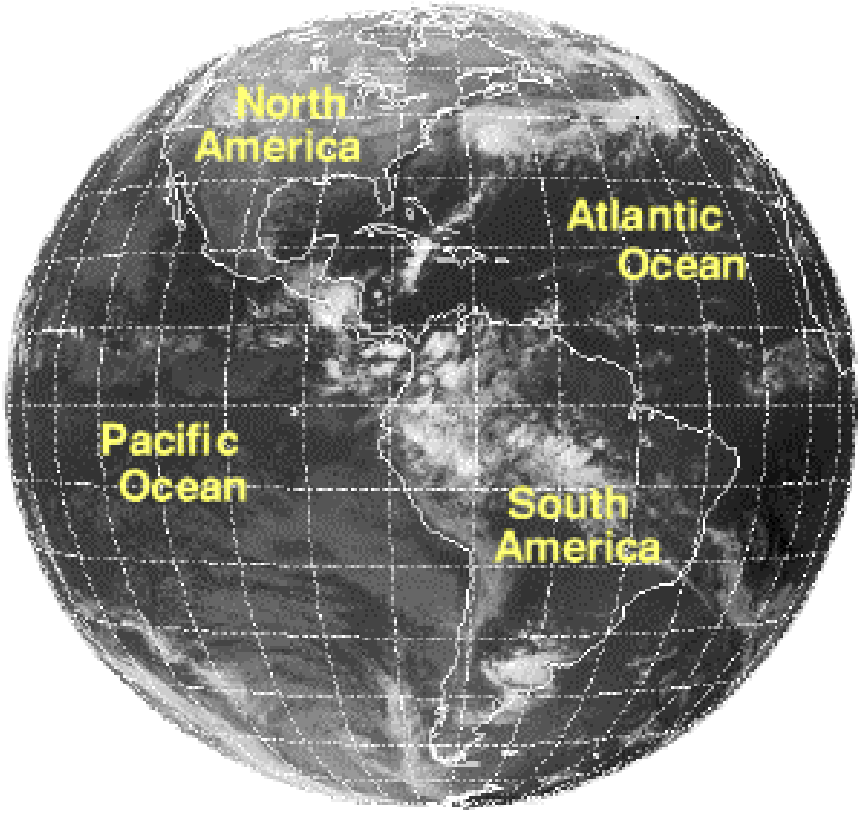
Βόλιση της ατμόσφαιρας

- 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 CO2 (ομοιόμορφα κατανεμημένο στην ατμόσφαιρα).

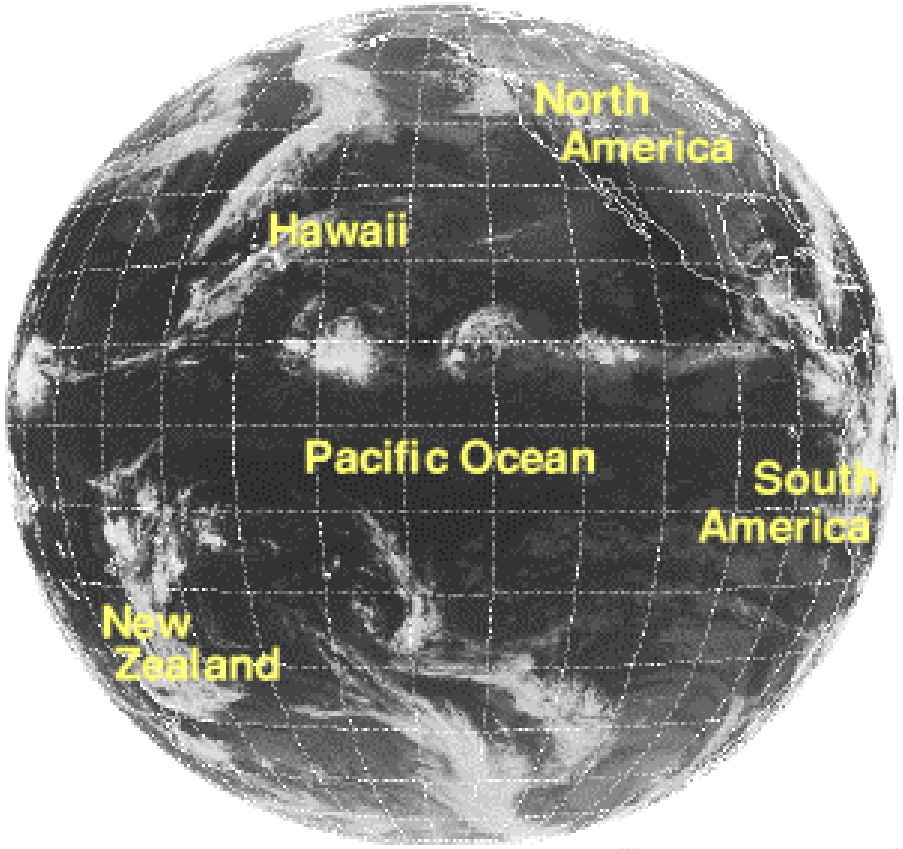


GOES-8 γεωστάσιμος δορυφόρος

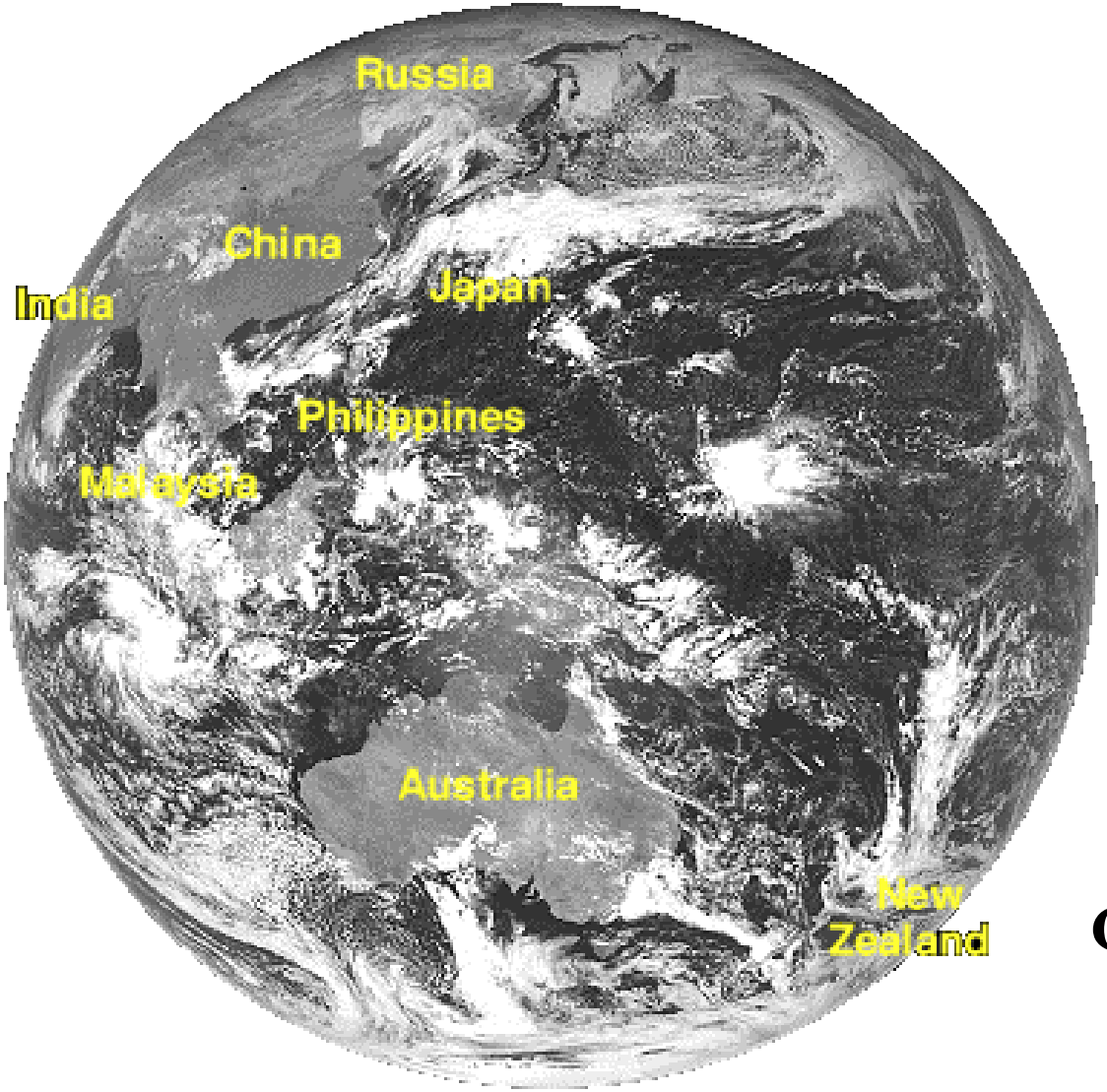

FY-1
(CHINA)
GOES-W
(USA)
135°W
GMS
(JAPAN)
140°E
FY-2
(CHINA)
105°E
INSAT
(INDIA)
74°E & 83°E
NOAA
(USA)
METEOR
(RUSSIA)
GOES-E
(USA)
75°W
GOMS
(RUSSIA)
76°E
METEOSAT-7
(EUMETSAT)
0° Longitude
METEOSAT-5
(EUMETSAT)
63°E



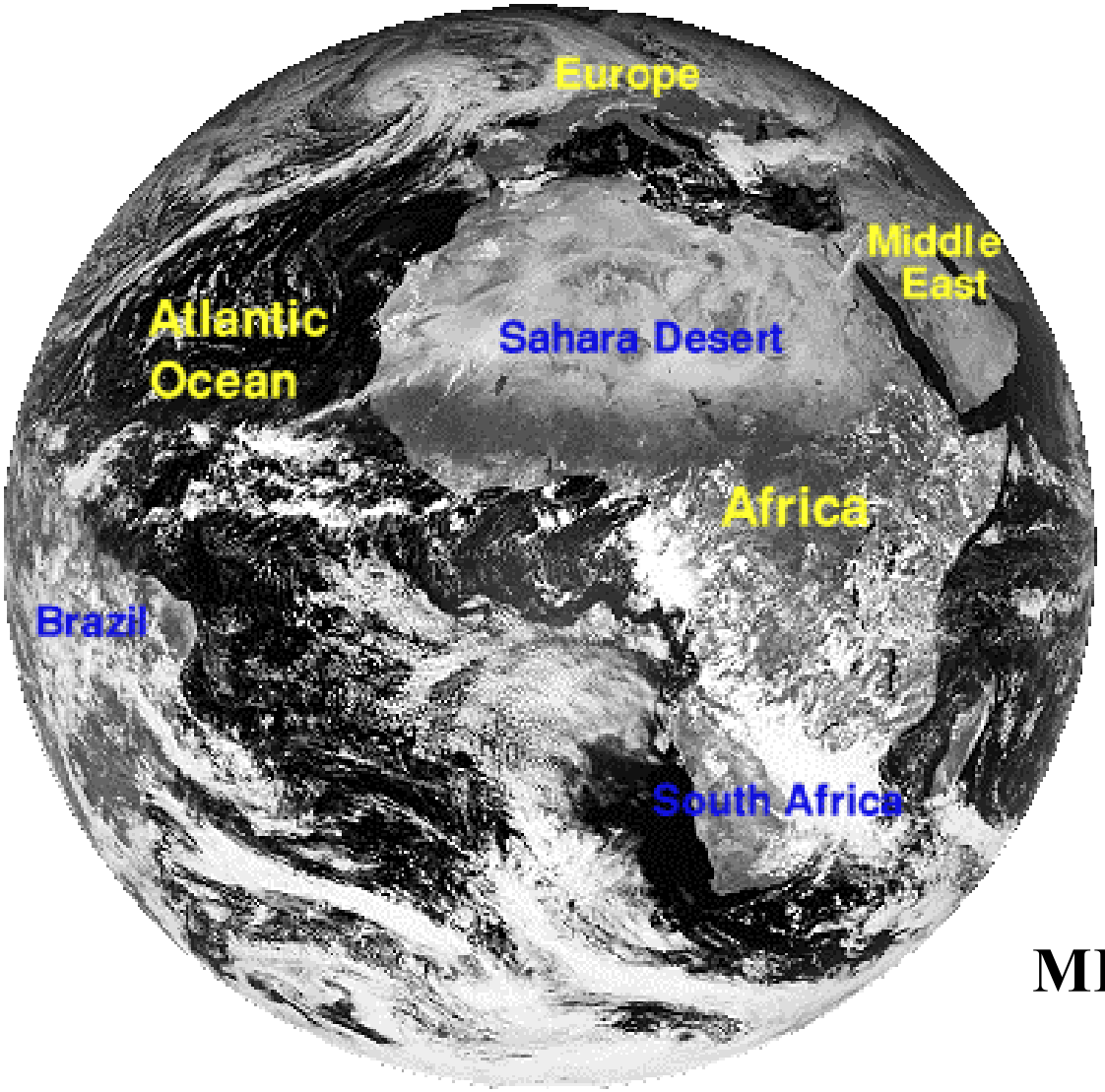
GOES
EAST



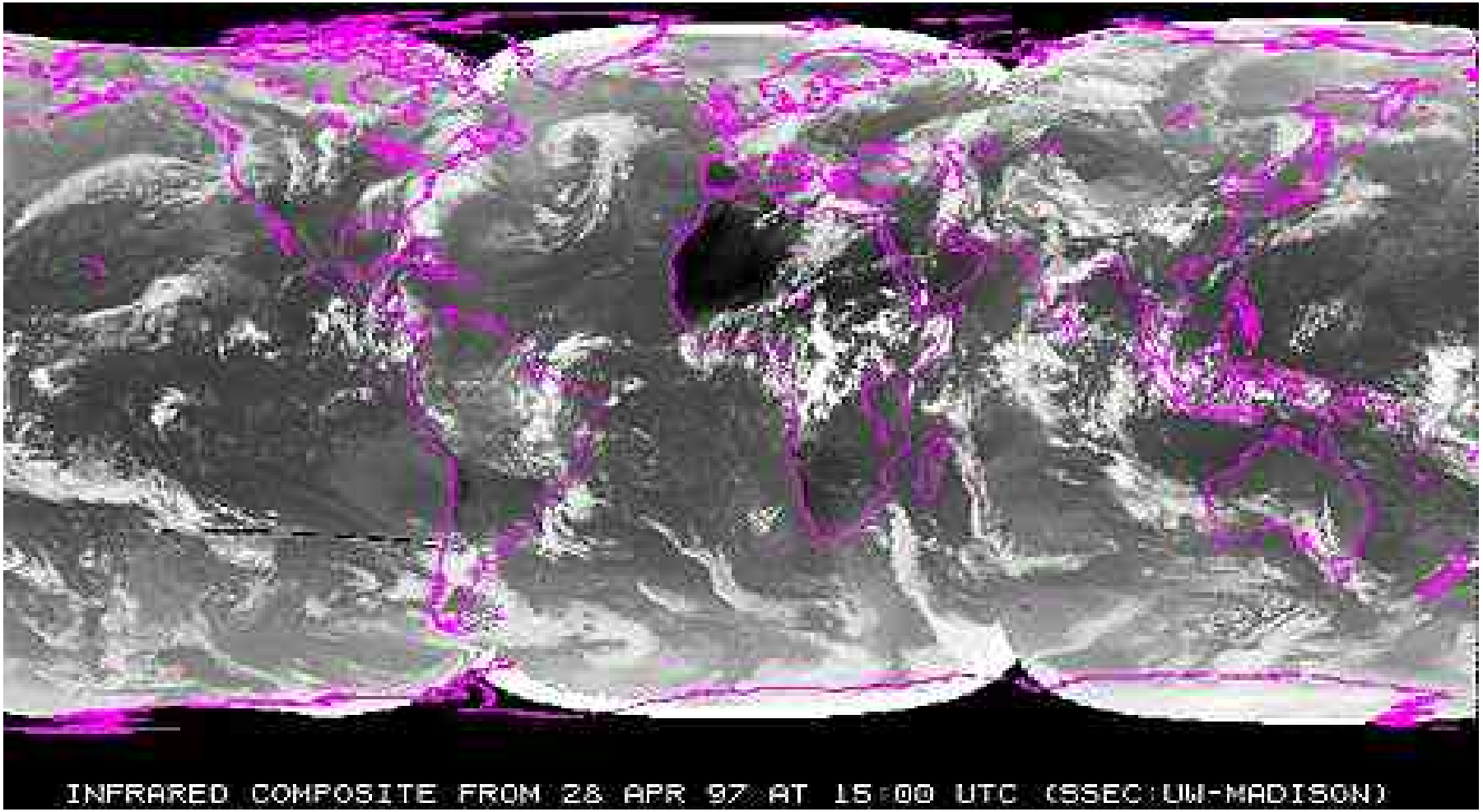
GOES
WEST


Russia
China
India
Japan
Philippines
Malaysia
Australia
New
Zealand

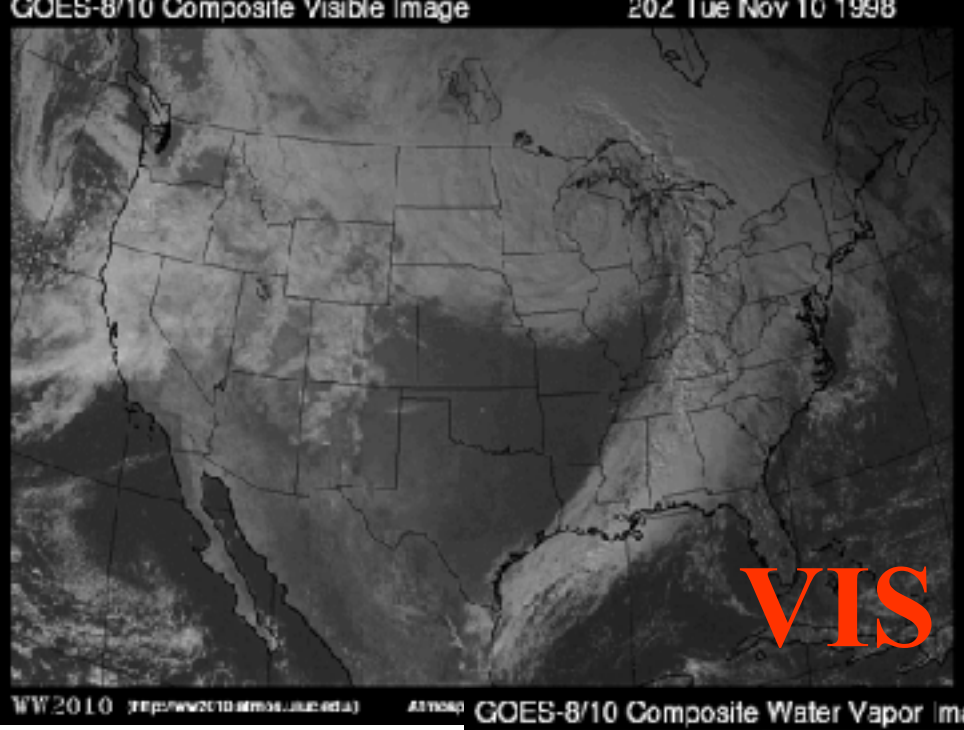
GMS

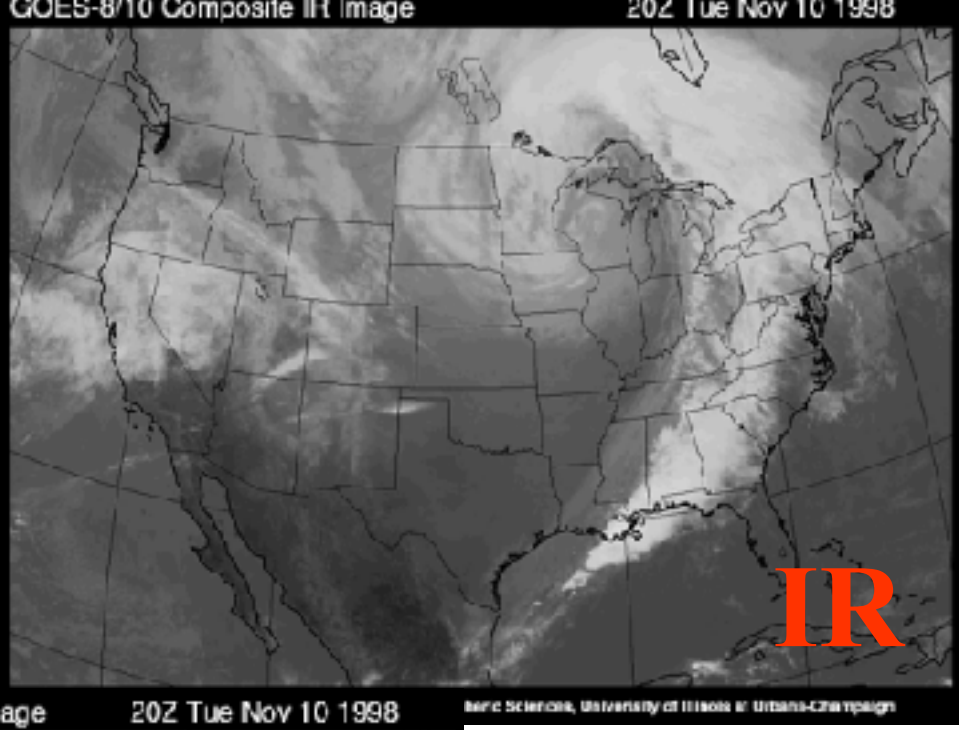

Europe
Middle East
Atlantic Ocean
Sahara Desert
Africa
Brazil
South Africa

METEOSAT

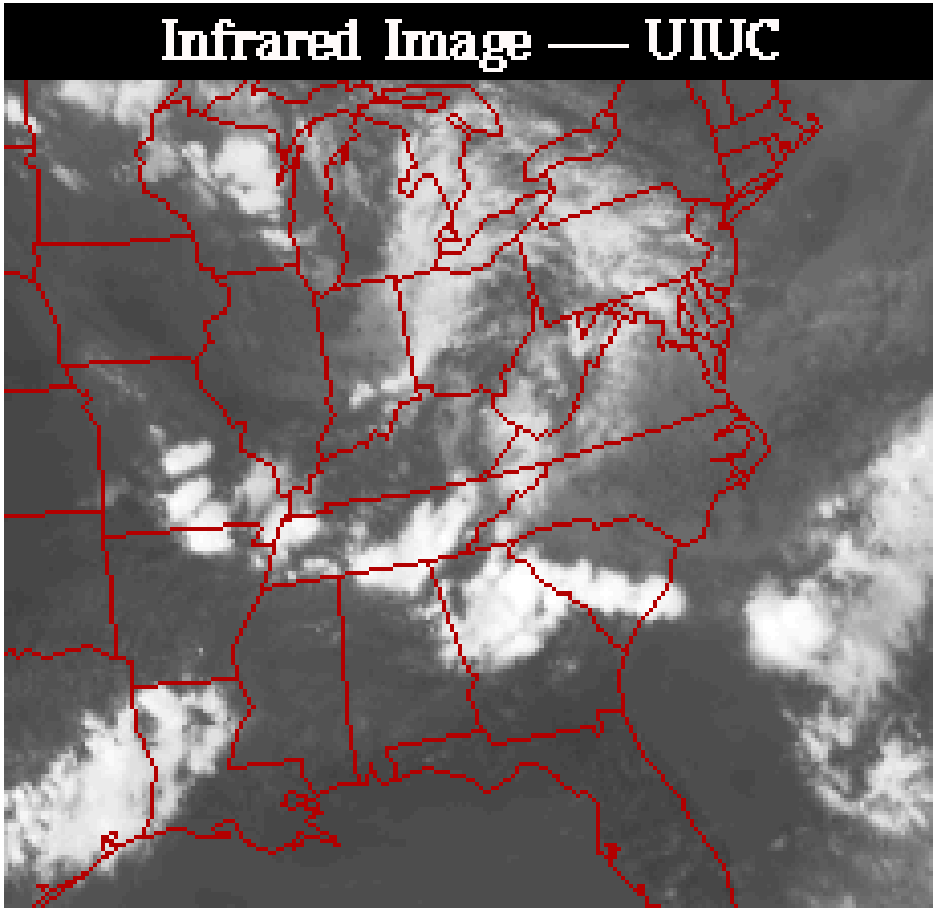


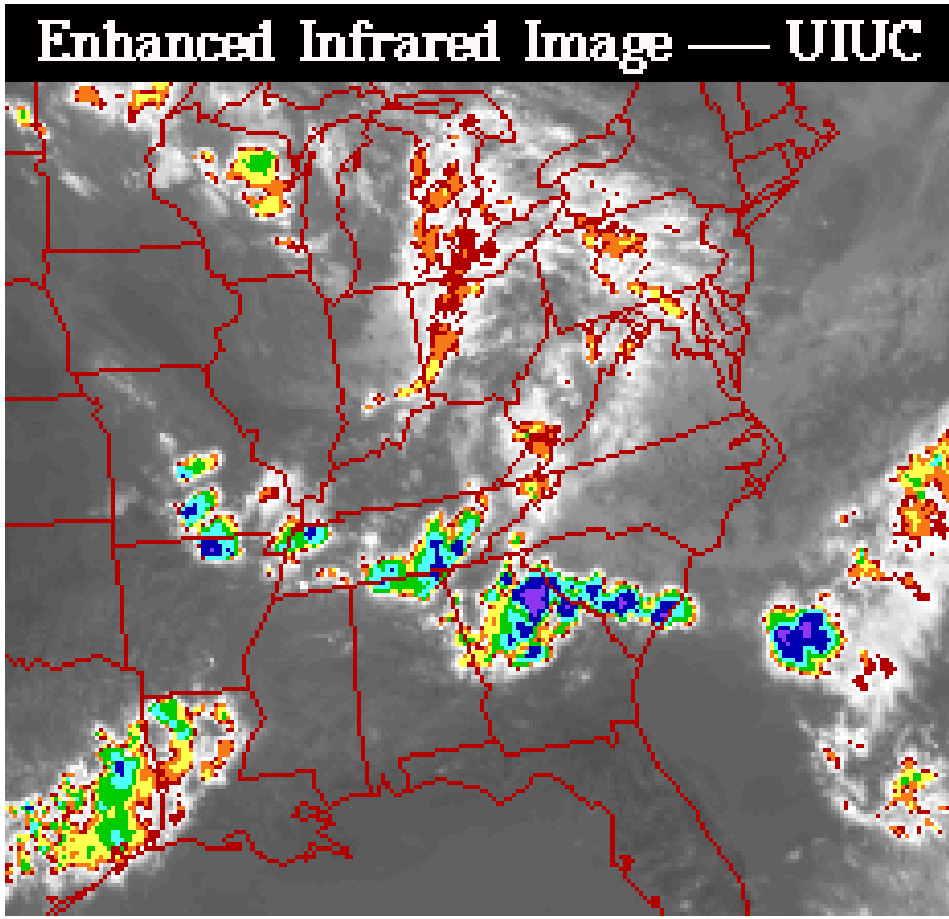
Συνδυάζοντας εικόνες από τους δορυφόρους GOES, Meteosat, και GMS, δημιουργούνται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο εικόνες που καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης.

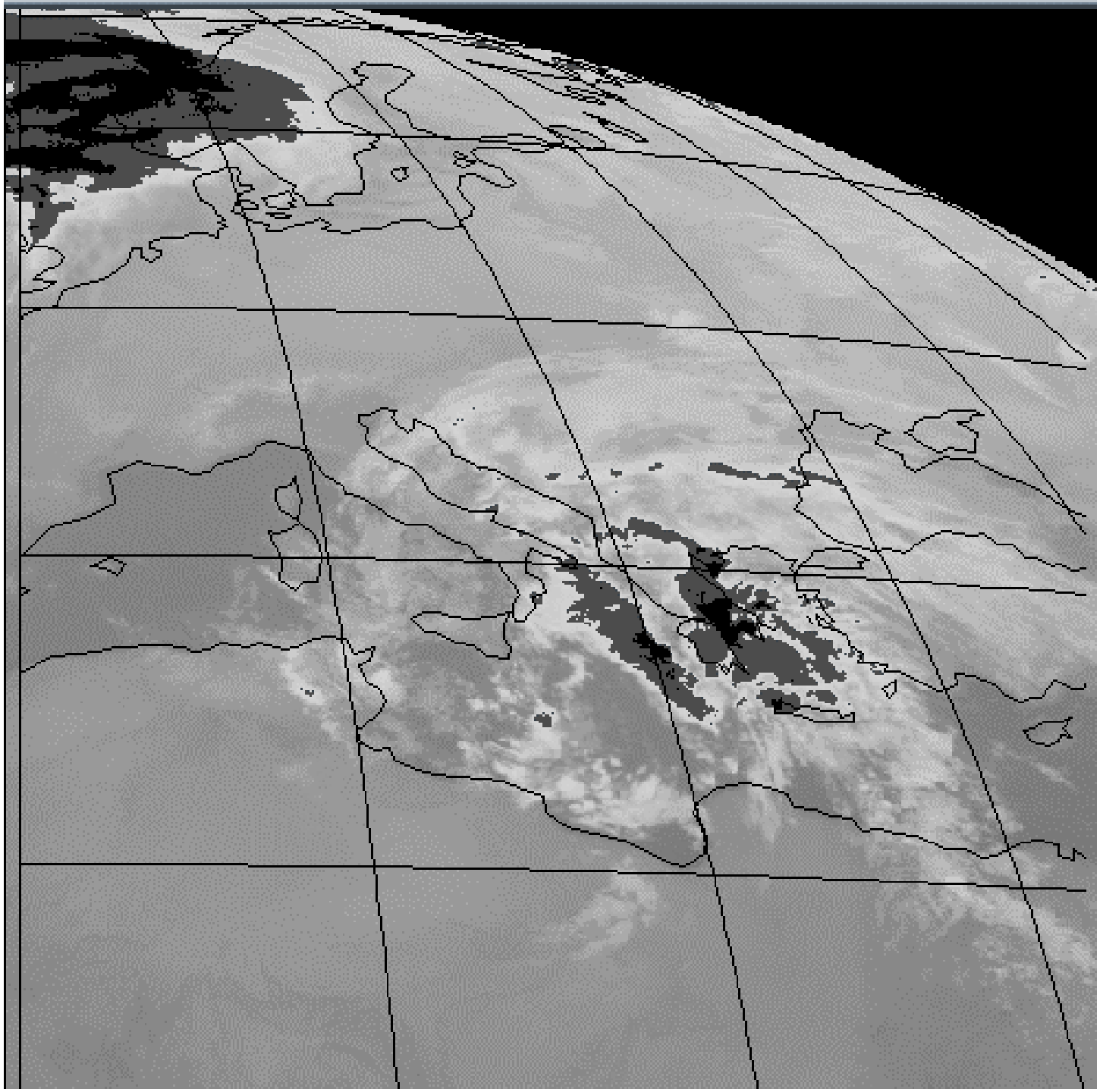

GOES-8/10 Composite Visible Image
202 Tue Nov 10 1998
VIS
WW2010

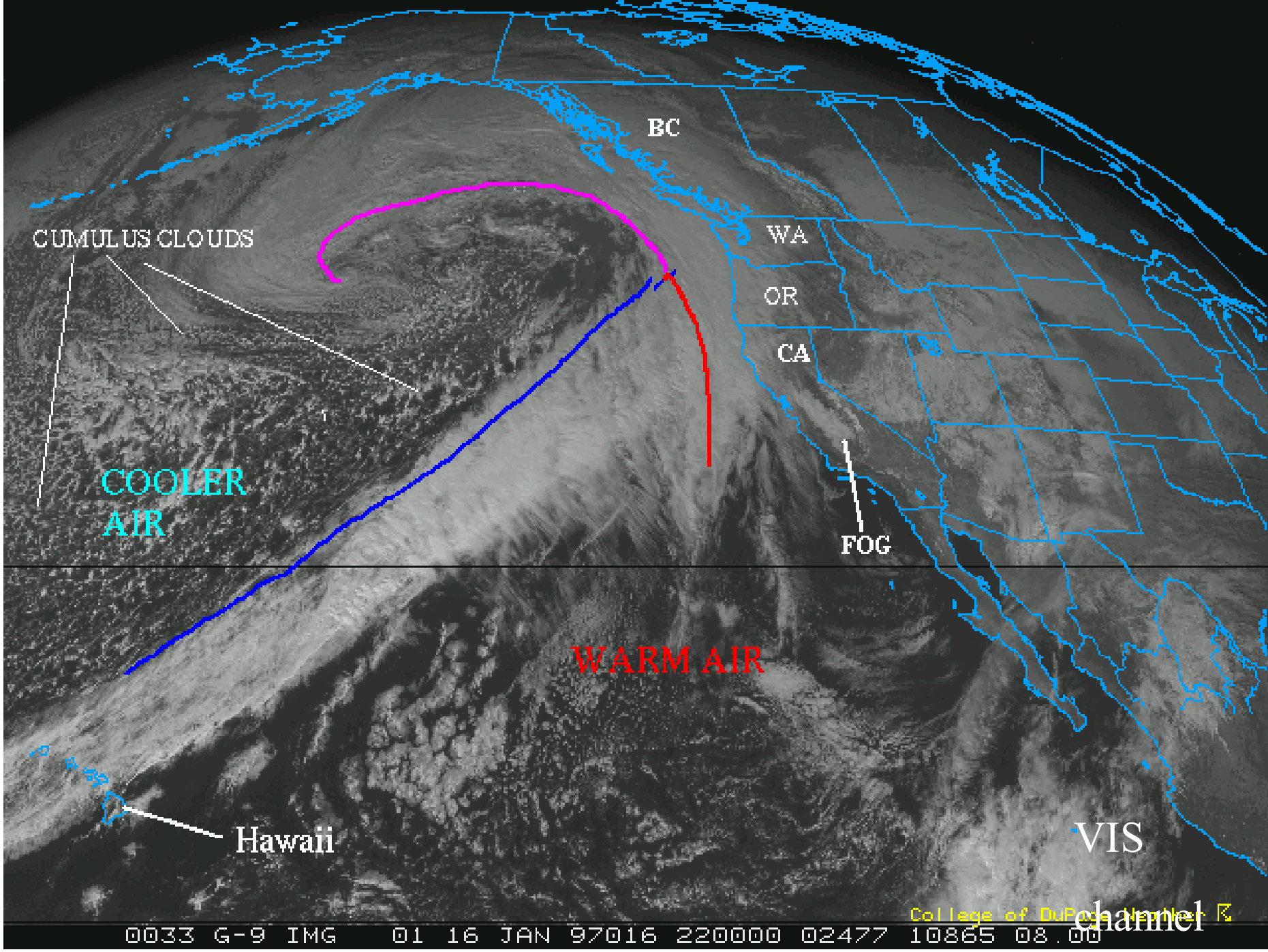

GOES-8/10 Composite IR Image
202 Tue Nov 10 1998
IR

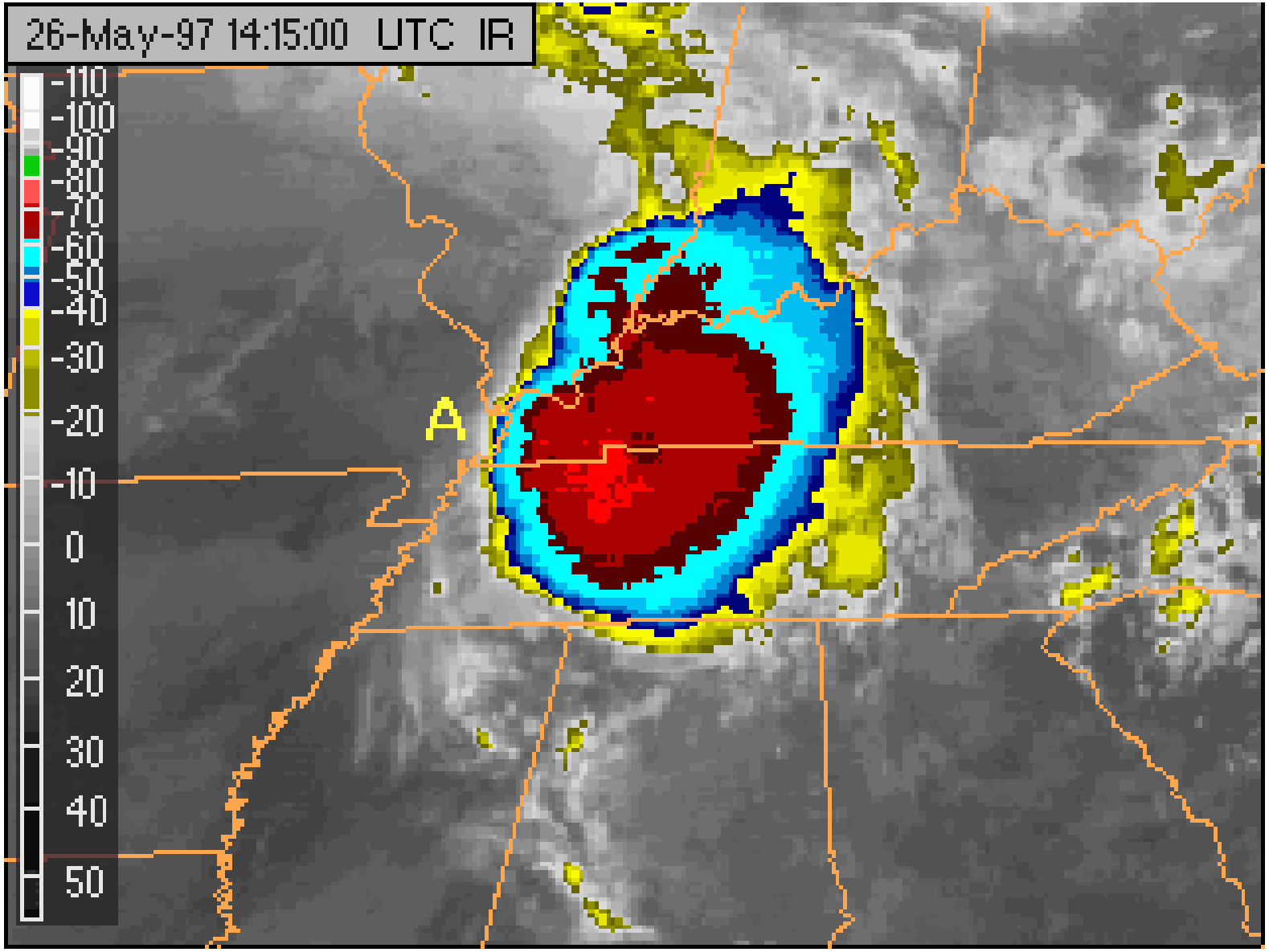
GOES-8/10 Composite Water Vapor Image
20Z Tue Nov 10 1998
WV
WW2010

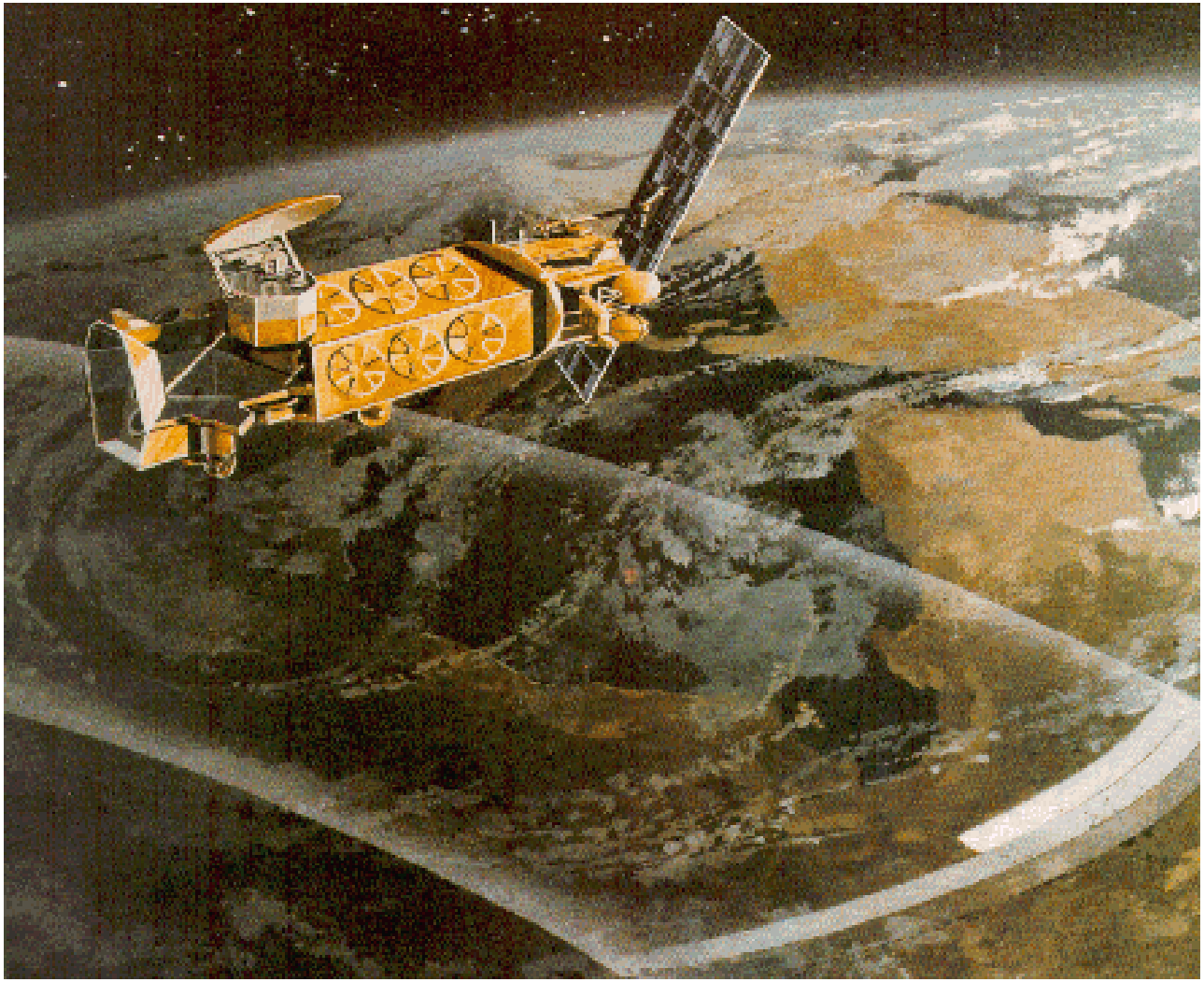

Infrared Image — UIUC


Enhanced Infrared Image — UIUC



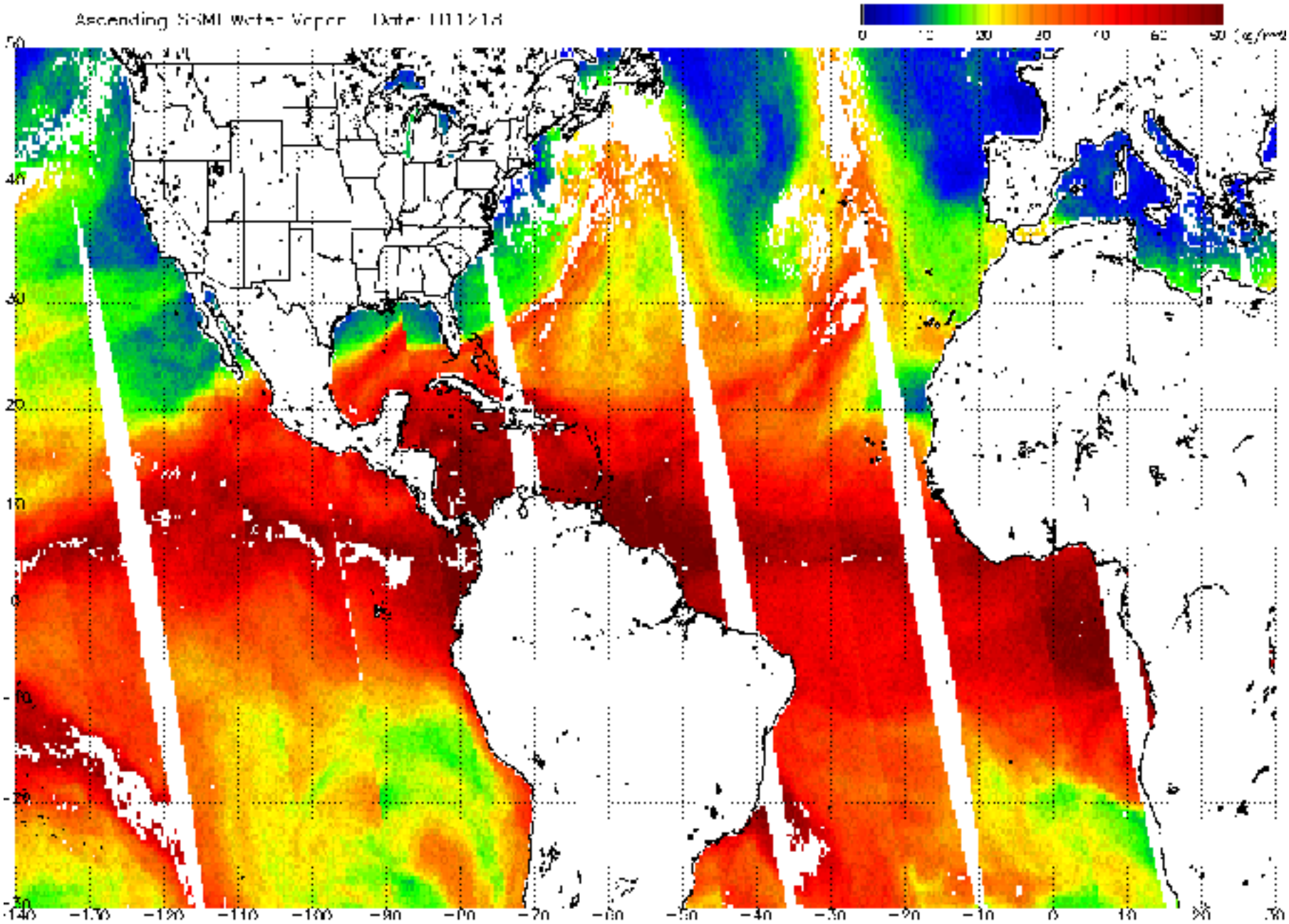

BC
WA
OR
CA
CUMULUS CLOUDS
COOLER AIR
FOG
WARM AIR
Hawaii
VIS channel
College of DuPage Meteorology
0033 G-9 IMG 01 16 JAN 97016 220000 02477 10865 08.00

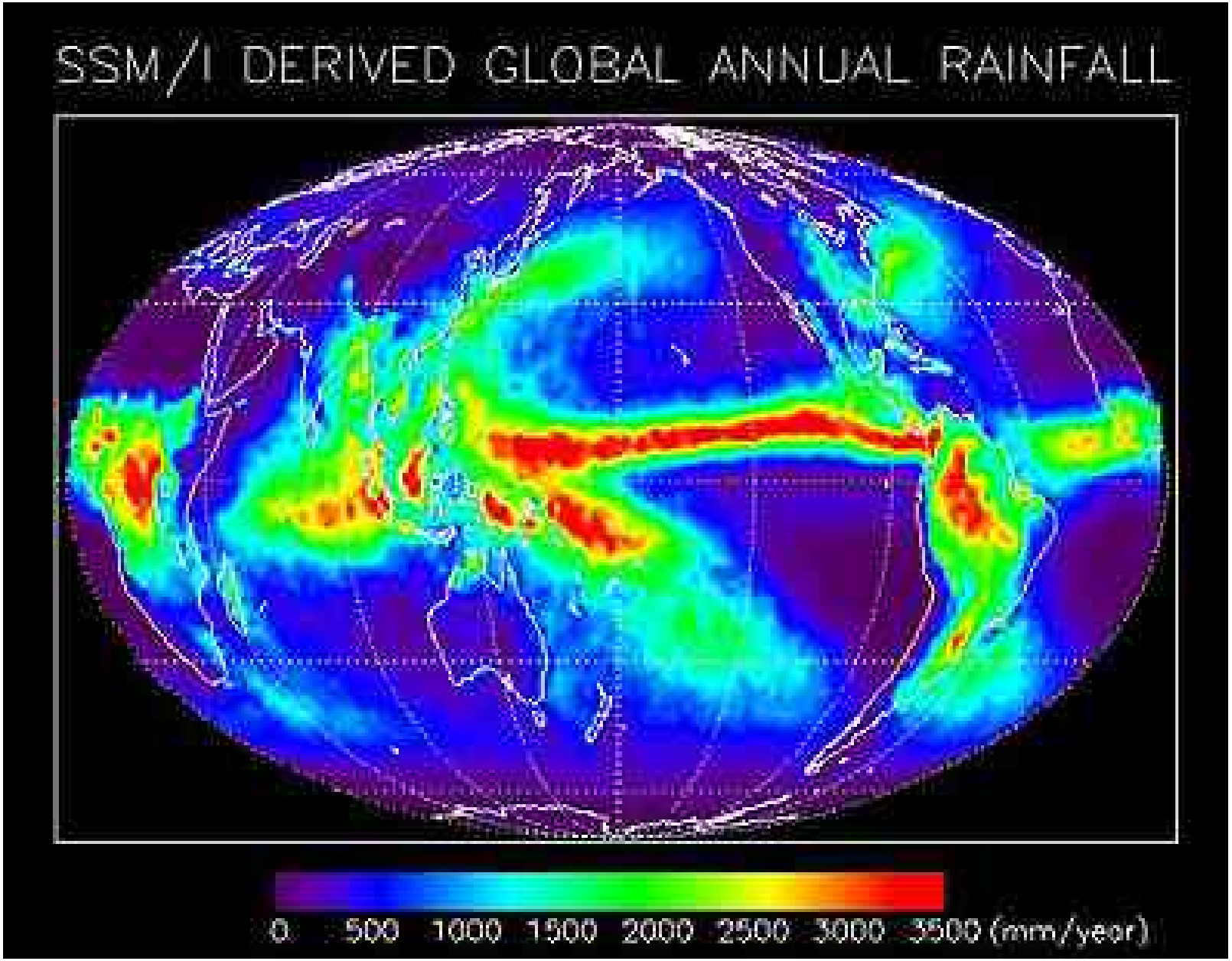

26-May-97 14:15:00 UTC IR
-110
-100
-90
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50
A

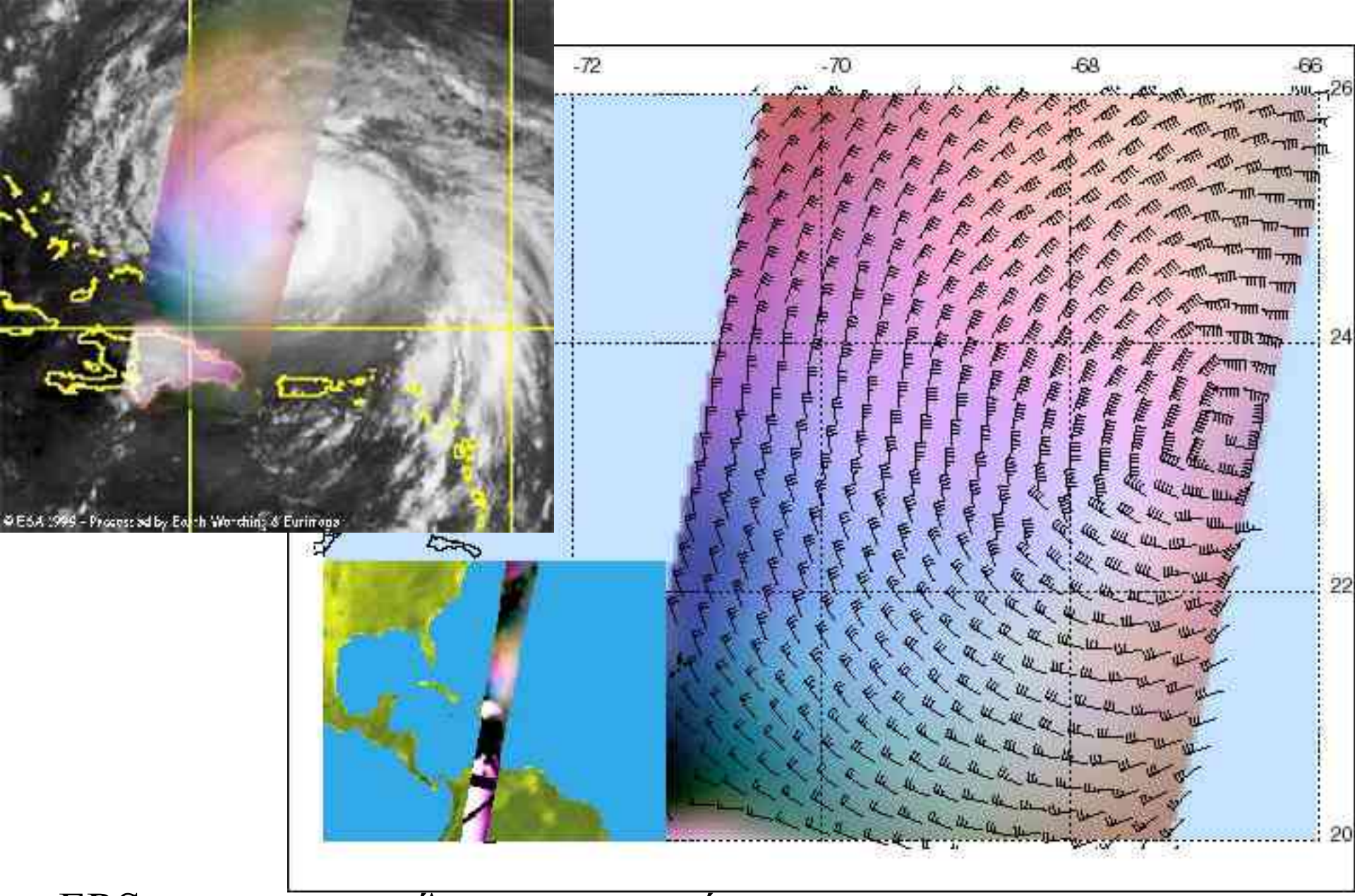


SSM/I

Special Sensor Microwave Imager (SSM/I)του Αμερικάνικου Υπουργείου Αμύνης ➔ εκτίμηση βροχοπτώσεως και ταχύτητας του ανέμου στη επιφάνεια της θάλασσας μόνο

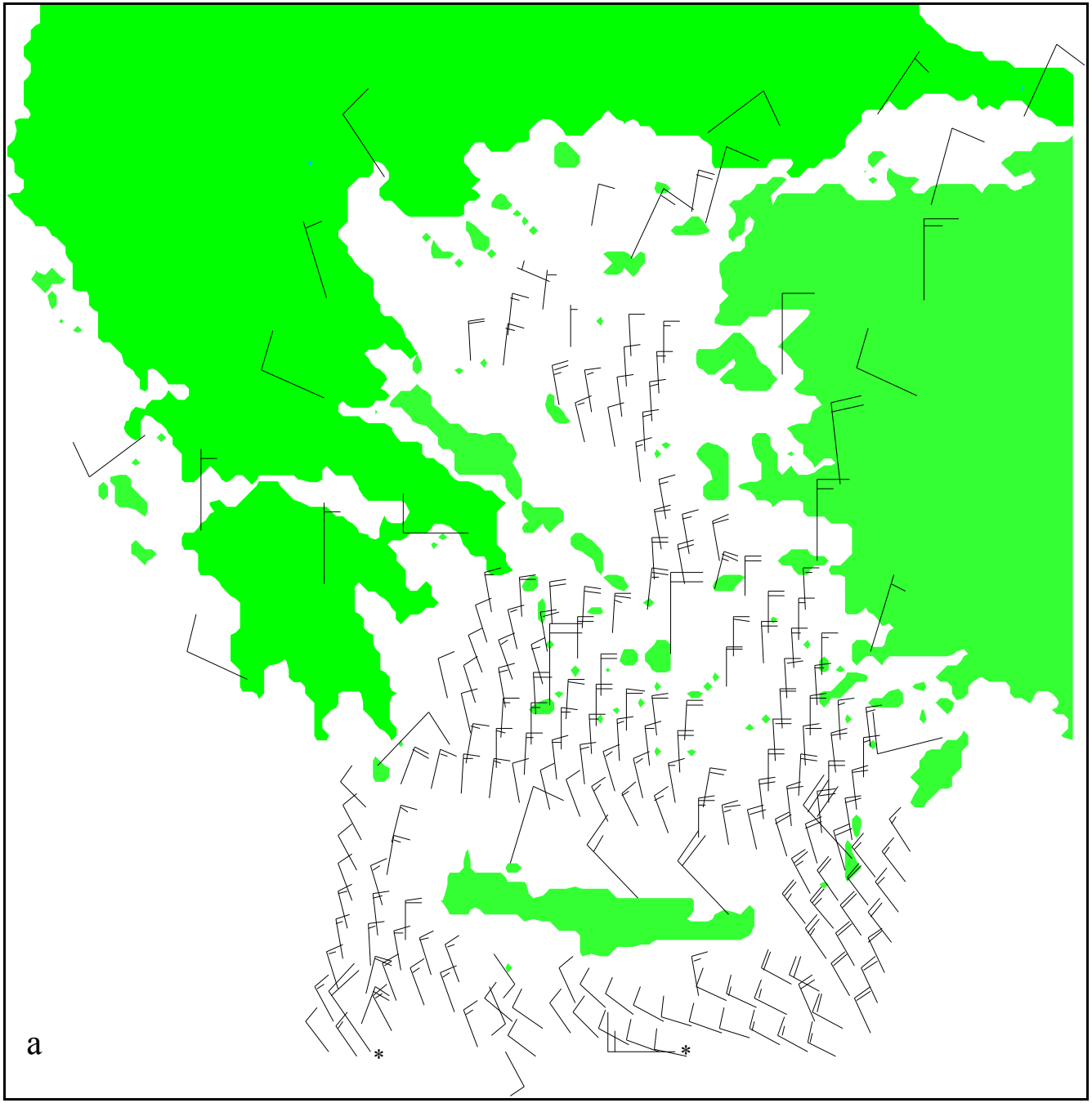

Ascending SSMI Water Vapor Date: 111213
0
20
40
60
80 (g/m2)
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-140
-130
-120
-110
-100
-90
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30


SSM/I DERIVED GLOBAL ANNUAL RAINFALL
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 (mm/year)



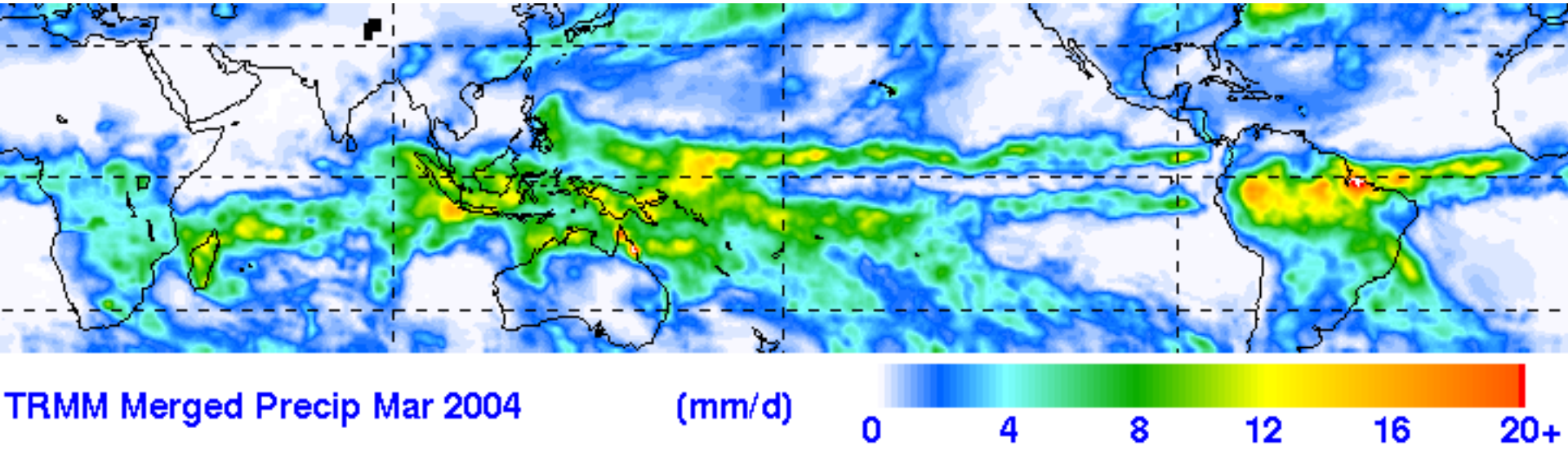
ERS scatterometer: Άνεμος επιφανείας

GOES infrared



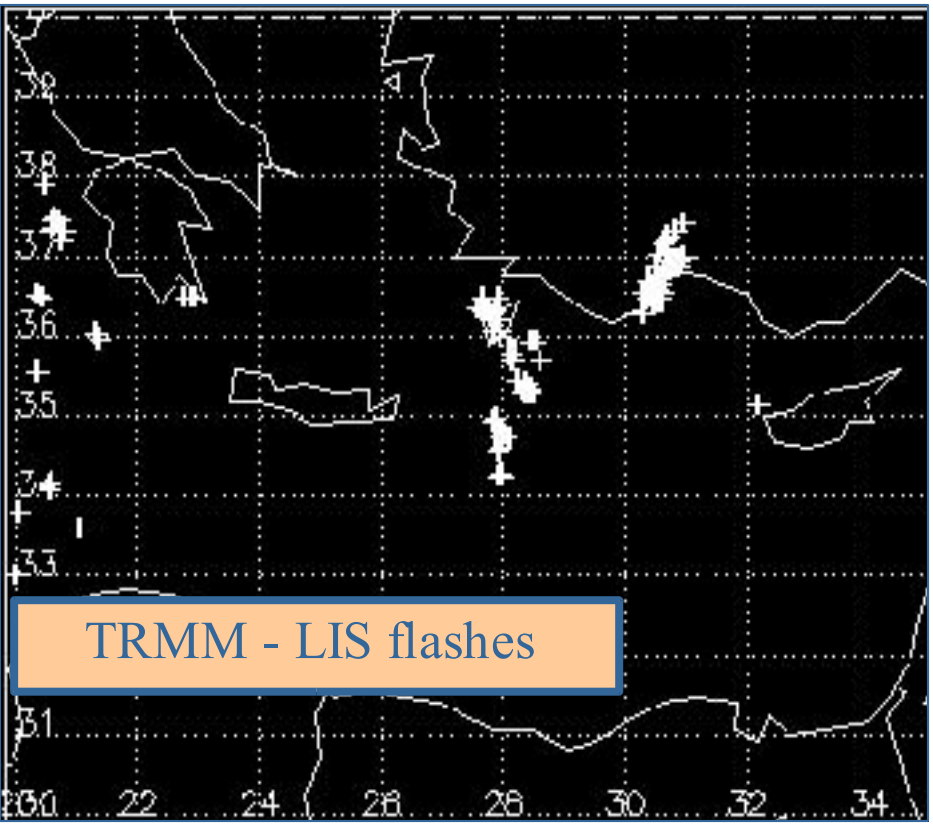
5 August 1997

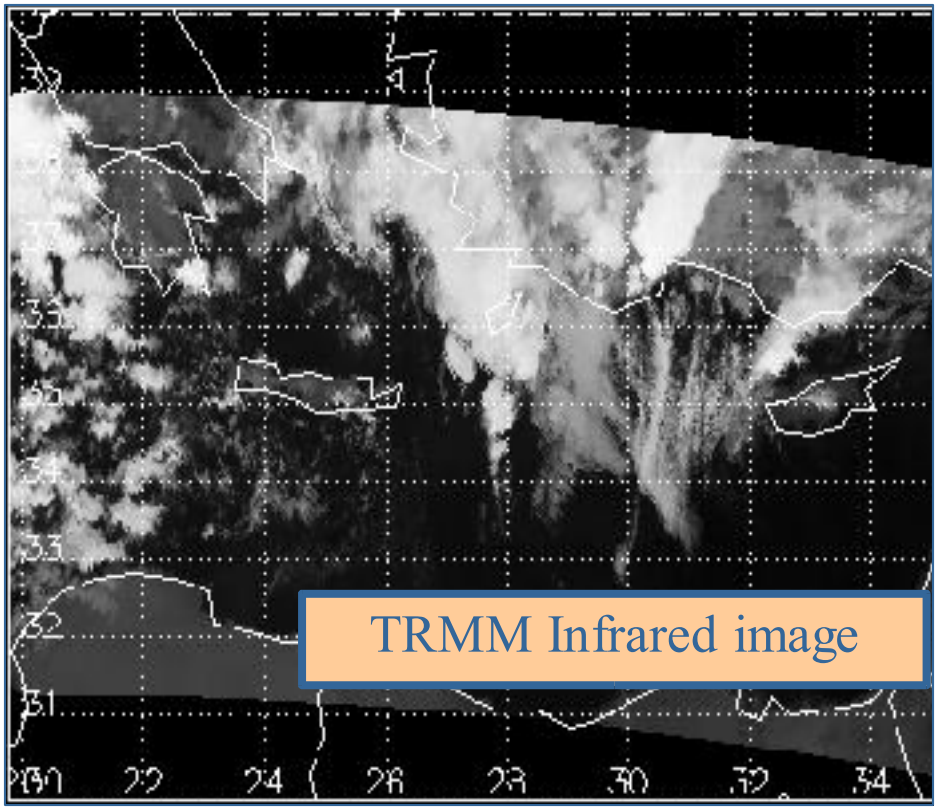
TRMM – Tropical Rainfall Measurement Mission

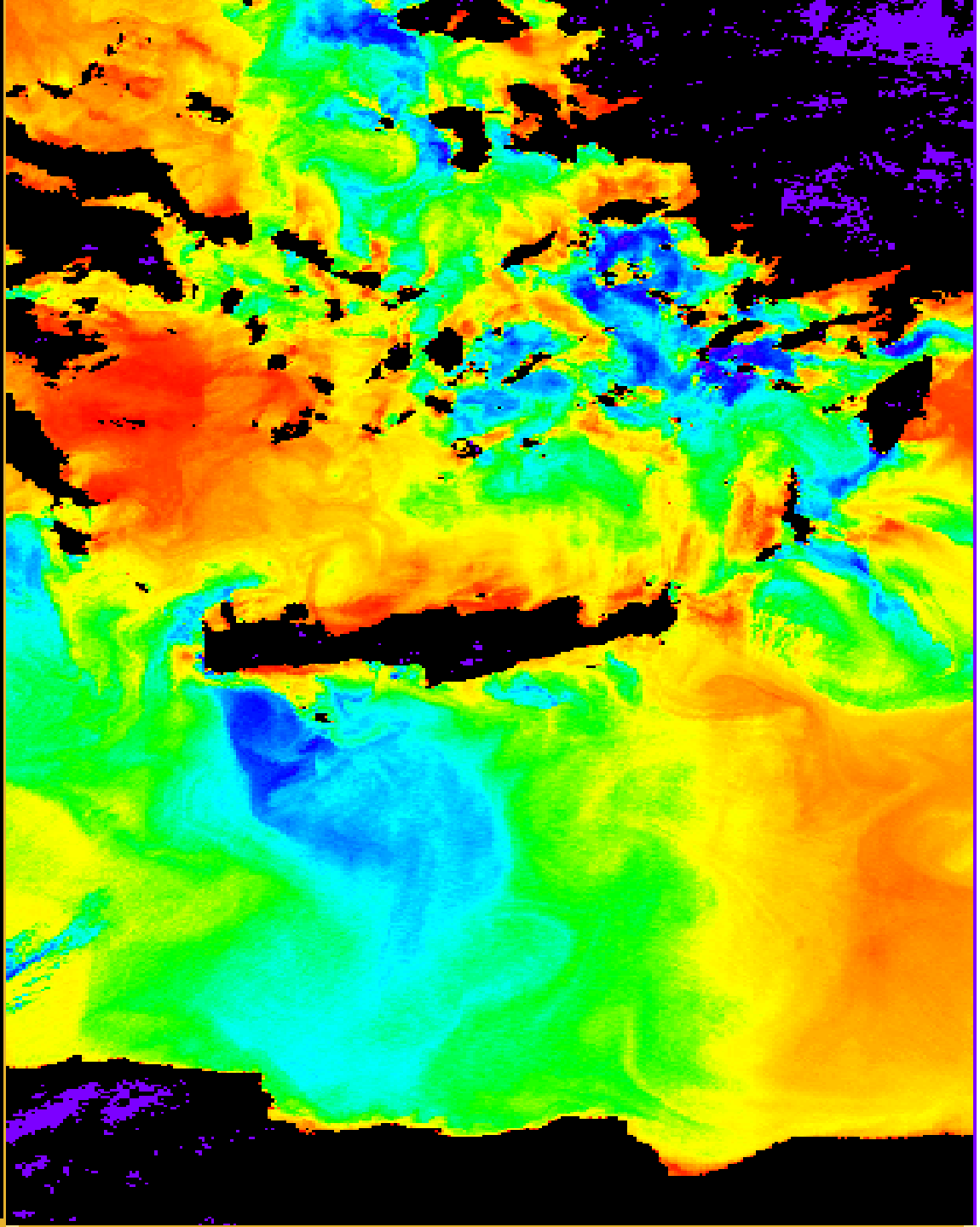


Η εκτίμηση της βροχής βασίζεται σε μετρήσεις του TRMM Microwave Imager, δεδομένα από γεωστάσιμους δορυφόρους στο υπέρυθρο (IR), και δεδομένα βροχομέτρων.

TRMM ▸ 1807 UTC on 5 December 2002 – Antalya Storm







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).