

# **TELEDETEKCJA**

## **Właściwości spektralne wody**

### **zastosowania w hydrologii i meteorologii**



**Jan Piekarczyk**

Zakład Kartografii i Geomatyki

Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

# **TELEDETEKCJA**

## **Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii**

- **Woda zajmuje 74% powierzchni Ziemi.**
- **Słona woda stanowi 97% całkowitych zasobów wody na Ziemi.**
- **W lodach uwięzionych jest 2,2% zasobów wody na Ziemi.**
- **Tylko 0,02% wody znajduje się w jeziorach, rzekach itp..**
- **Pozostała część wody to:**
  - **wody podziemne (0,6%),**
  - **para wodna w atmosferze (0,001%).**

# **TELEDETEKCJA**

## **Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii**

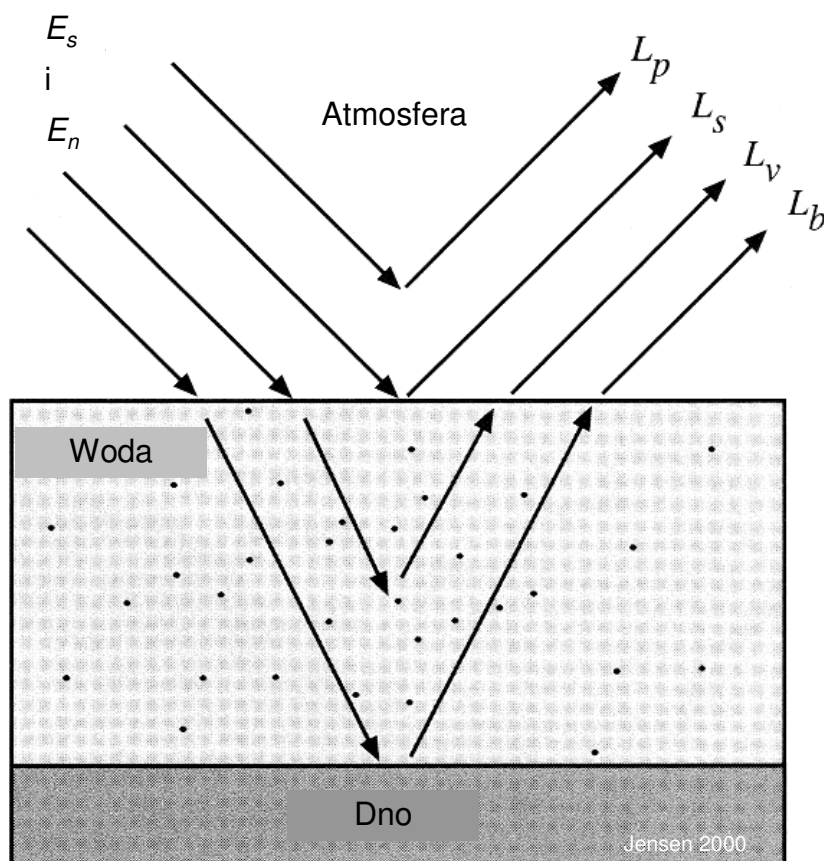
**Zastosowanie metod teledetekcyjnych w hydrologii obejmuje:**

- **Pomiar areалу wód powierzchniowych.**
- **Określanie stopnia zanieczyszczenia wody (organiczne i nieorganiczne),**
- **Szacowanie głębokości zbiorników wodnych (batymetria), temperatury powierzchni wody, areалу powierzchni pokrytych śniegiem i lodem.**
- **Szacowanie wielkości opadów i parowania.**
- **Szacowanie zawartości wody w pokrywie śnieżnej i lodowej.**
- **Szacowanie zawartości wody chmurach.**

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

Promieniowanie  
słoneczne i nieba  
docierające do  
powierzchni



$$L_t = L_p + L_s + L_v + L_b$$

$L_p$  – promieniowanie przechodzące przez atmosferę,

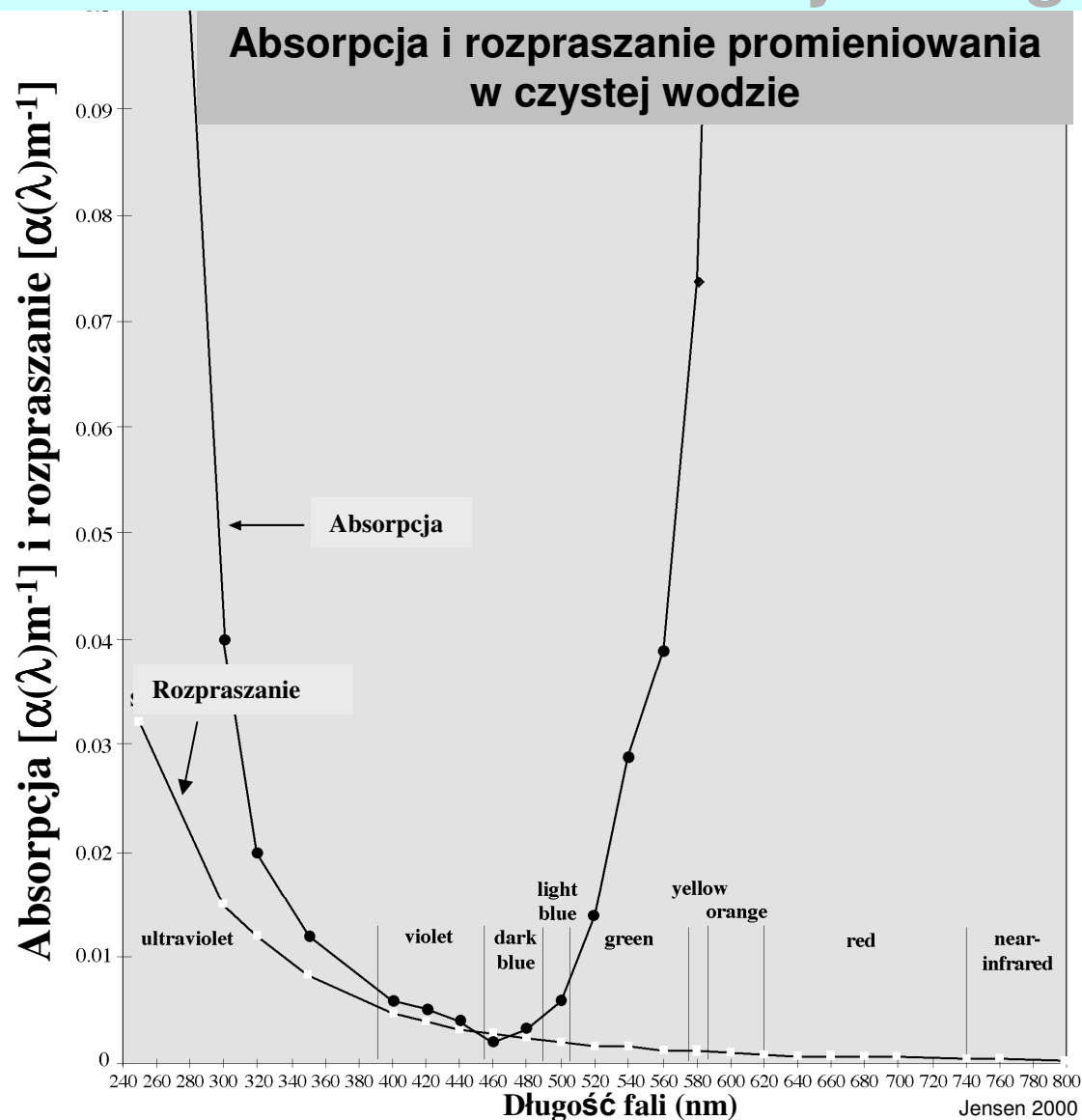
$L_s$  – promieniowanie odbite od powierzchni wody (warstwa ok. 1 mm),,

$L_v$  – promieniowanie wnikaające w głąb wody ale nie docierające do dna,

$L_b$  – promieniowanie odbite od dna zbiornika.

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii



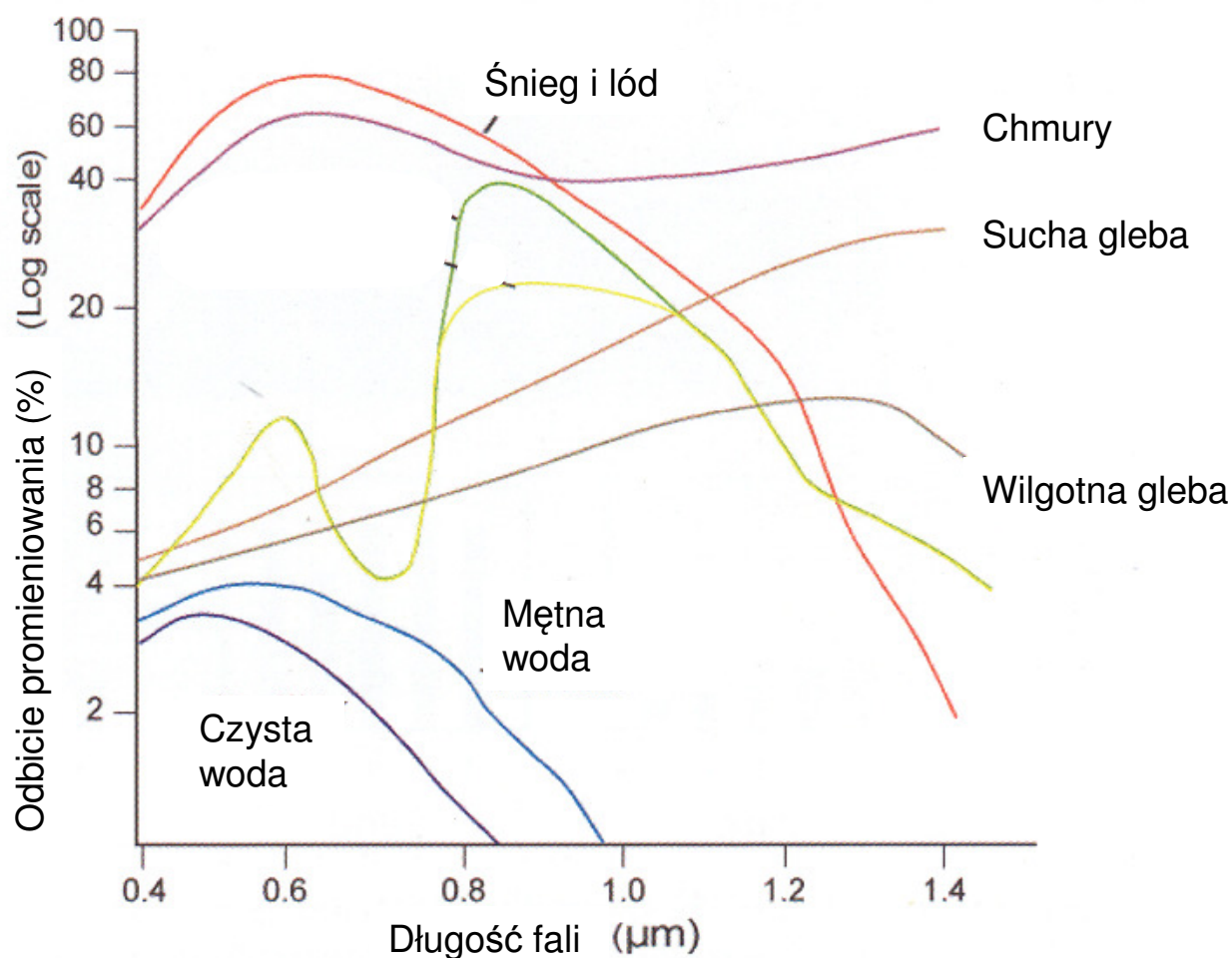
Najsłabsza absorpcja i rozpraszanie światła docierającego do powierzchni wody (a więc największa transmisja) występuje w zakresie fal niebieskich 400-500 nm (minimum 460-480 nm)

Czysta woda ma barwę niebieską dzięki rozpraszaniu fal fioletowych i niebieskich

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

**Krzywe spektralne = Charakterystyki spektralne**



# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Określanie powierzchni zbiorników wodnych



Czarno białe zdjęcia w podczerwieni

Najbardziej przydatnym zakresem spektralnym do odróżniania powierzchni lądowych od powierzchni wodnych jest przedział fal o długości od 740 – 2500 nm.

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Ocena czystości wody - osady

Ilość promieniowania opuszczającego wodę podpowierzchniową (nie odbitego od dna) zależy od stopnia zanieczyszczenia wody i intensywności tłumienia absorpcji i rozpraszania fal powodowanego głównie przez zanieczyszczenia.

$$L_v = [w_{c(\lambda)}, SM_{c(\lambda)}, Chl_{c(\lambda)}, DOM_{c(\lambda)}]$$

$L_v$  – promieniowanie opuszczające wodę podpowierzchniową  
(nie odbite od dna),

$w$  – czysta woda,

$SM$  – nieorganiczna zawiesina mineralna,

$Chl$  – chlorofil,

$DOM$  – rozpuszczony materiał organiczny,

$c(\lambda)$  – współczynnik tłumienia absorpcji i rozpraszania fal.

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Ocena czystości wody - osady



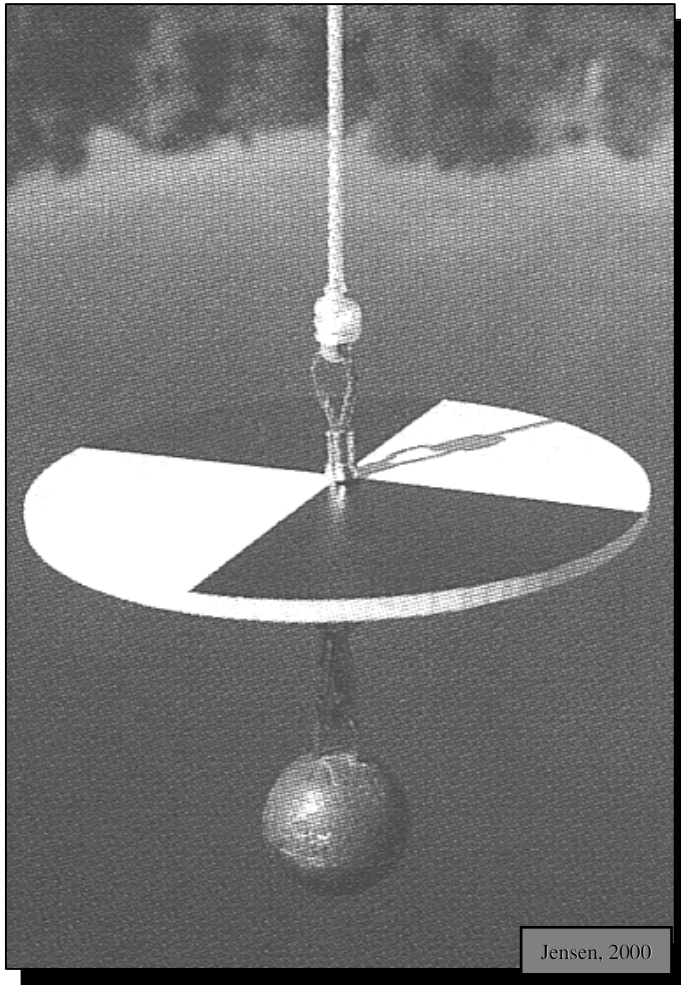
Osady zawieszone w wodzie przy ujściu Mississippi koło nowego Orleanu, Luizjana. Zdjęcie z promu kosmicznego.

W zawiesinach naturalnych zbiorników wodnych występują głównie **krzem**, **glin** i **tlenki żelaza** w postaci cząsteczek iłu ( $3-4\ \mu\text{m}$ ), pyłu ( $5-40\ \mu\text{m}$ ) drobnego piasku ( $41-130\ \mu\text{m}$ ) i grubego piasku ( $131-1250\ \mu\text{m}$ ). Ich źródłem jest erozja na polach rolniczych, wietrzenie skał, erupcje wulkaniczne.

# TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne wody  
zastosowania w hydrologii i meteorologii

Ocena czystości wody - osady



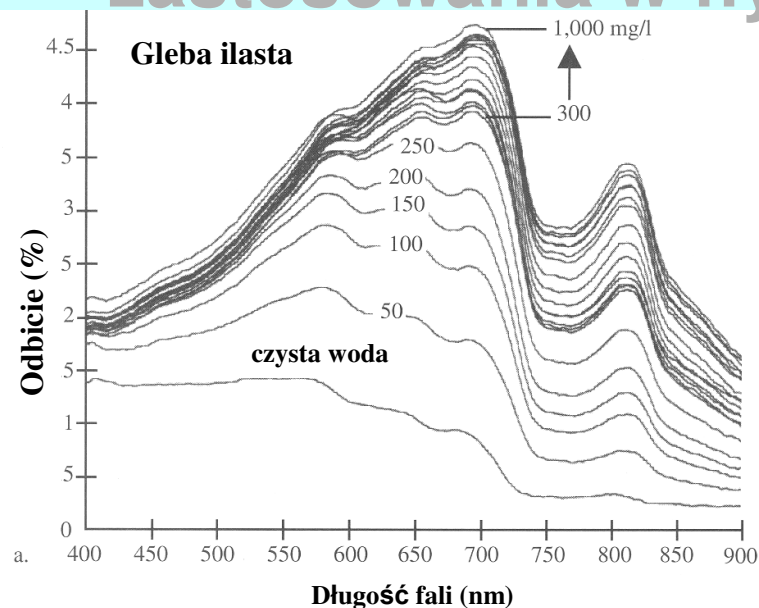
**Dysk Secchiego**



**Nephelometer**

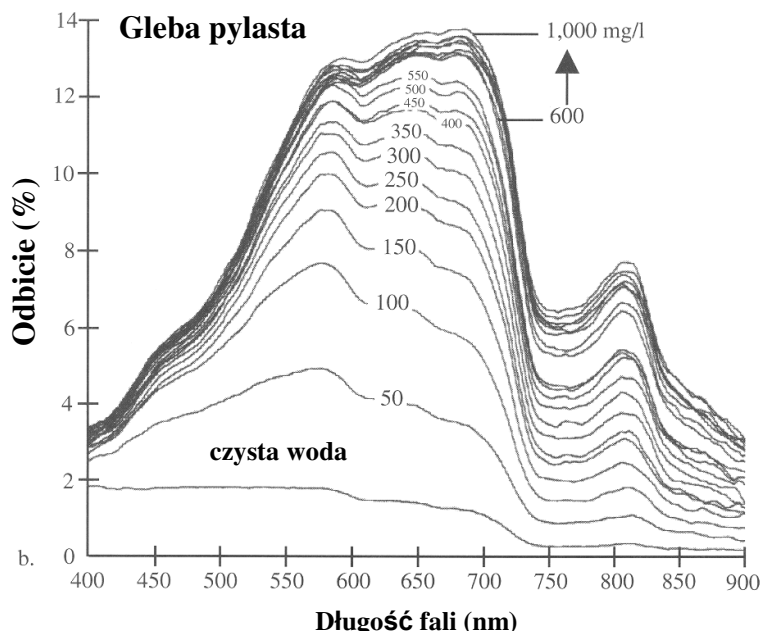
# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii



Odbicie od wody z zawiesiną dwóch gleb o różnej koncentracji

Maksimum odbicia przesuwają się w kierunku dłuższych fal w miarę zwiększania gęstości zawiesiny.

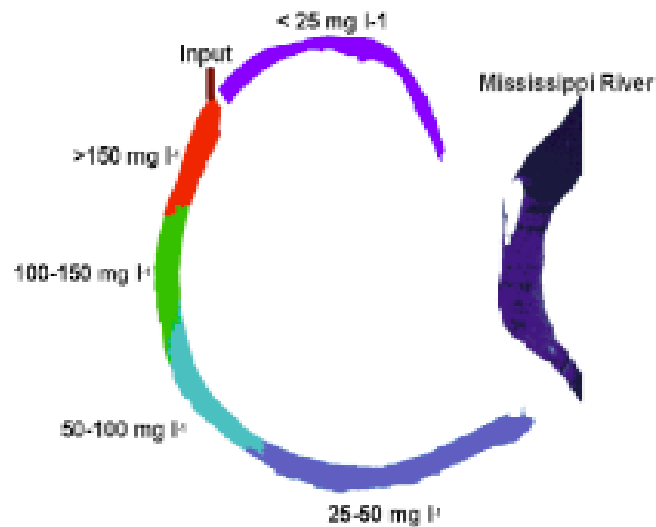
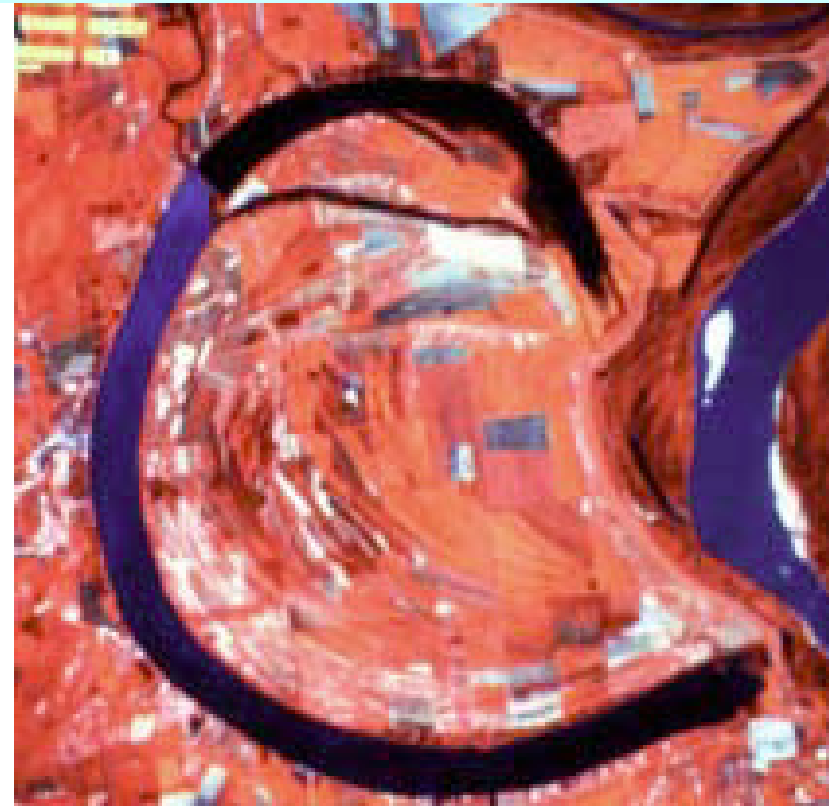
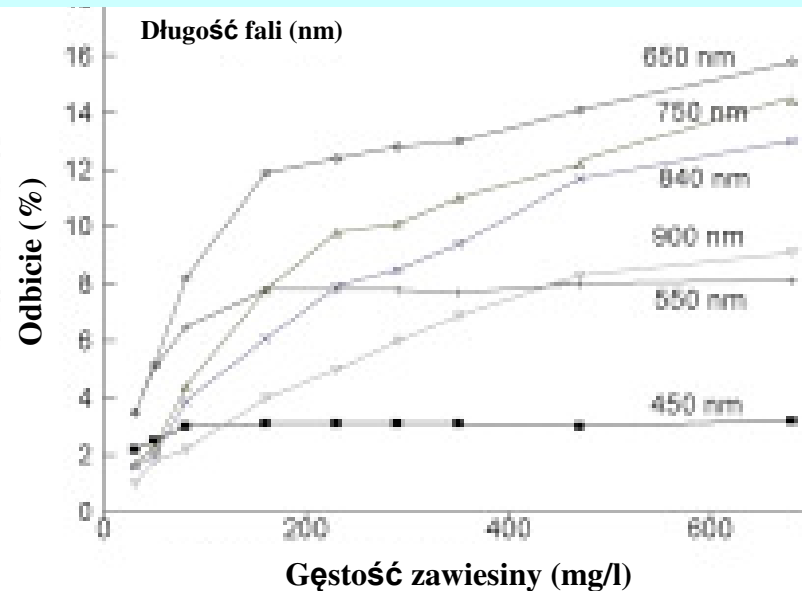


Najsilniejsza zależność ( $R > 0,90$ ) występuje między koncentracją zawiesiny i odbiciem fal 714-880 nm

Zakres fal 580 - 690 nm dostarcza informacje o rodzaju zawiesiny  
a zakres 714 - 880 nm informacje ilościowe o zawiesinie.

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii



Obraz Landsat Thematic Mapper (TM)  
Jezioro Chicot, Arkansas

# TELEDETEKCJA

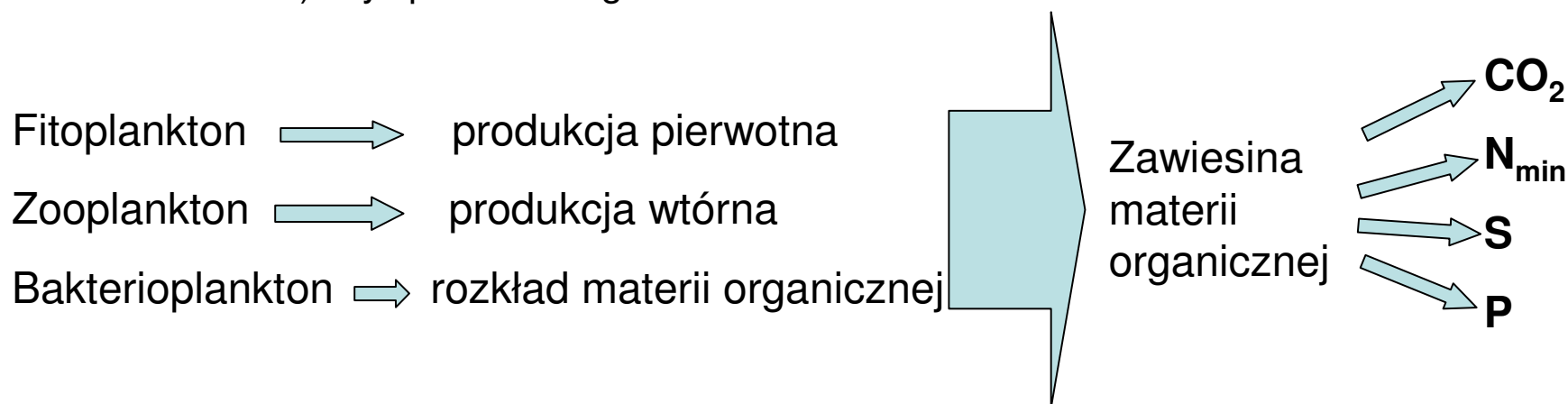
## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Odbicie od wody zanieczyszczzonej organicznie

**Głębokość optyczna** (grubość optyczna) – parametr ośrodka, opisujący zmianę natężenia światła podczas jego przechodzenia przez ośrodki takie jak gazy, chmury, fitoplankton w wodzie i inne zawiesiny.

Z grubością optyczną wiąże się głębokość przenikania światła w głąb oceanu.

**Strefa eufotyczna** w oceanie zdefiniowana jest jako głębokość, do której dochodzi 1% natężenia promieniowania używanego w fotosyntezie (*ang. photosynthetic available radiation - PAR*) czyli prom. o długości fali od 300 do 700 nm.



Kolorowa zawiesina materii organicznej

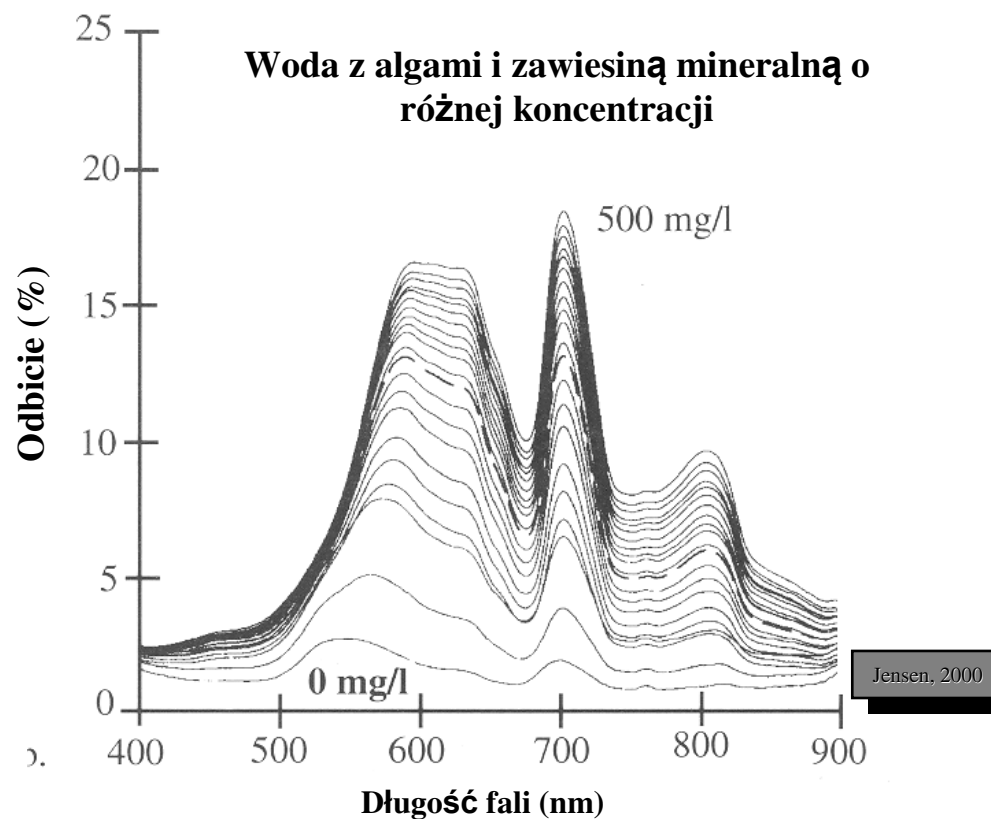
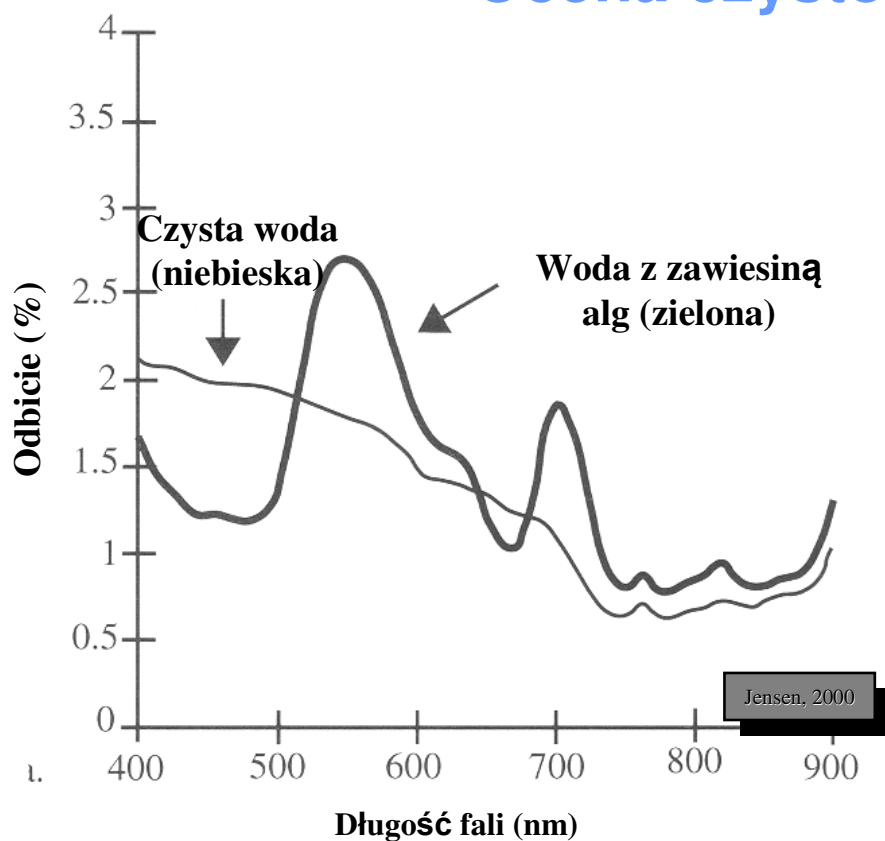
- związki humusowe (często żółta barwa),
- taniny (różne barwy - Choina kanadyjska

*Tsuga canadensis*)

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Ocena czystości wody - osady

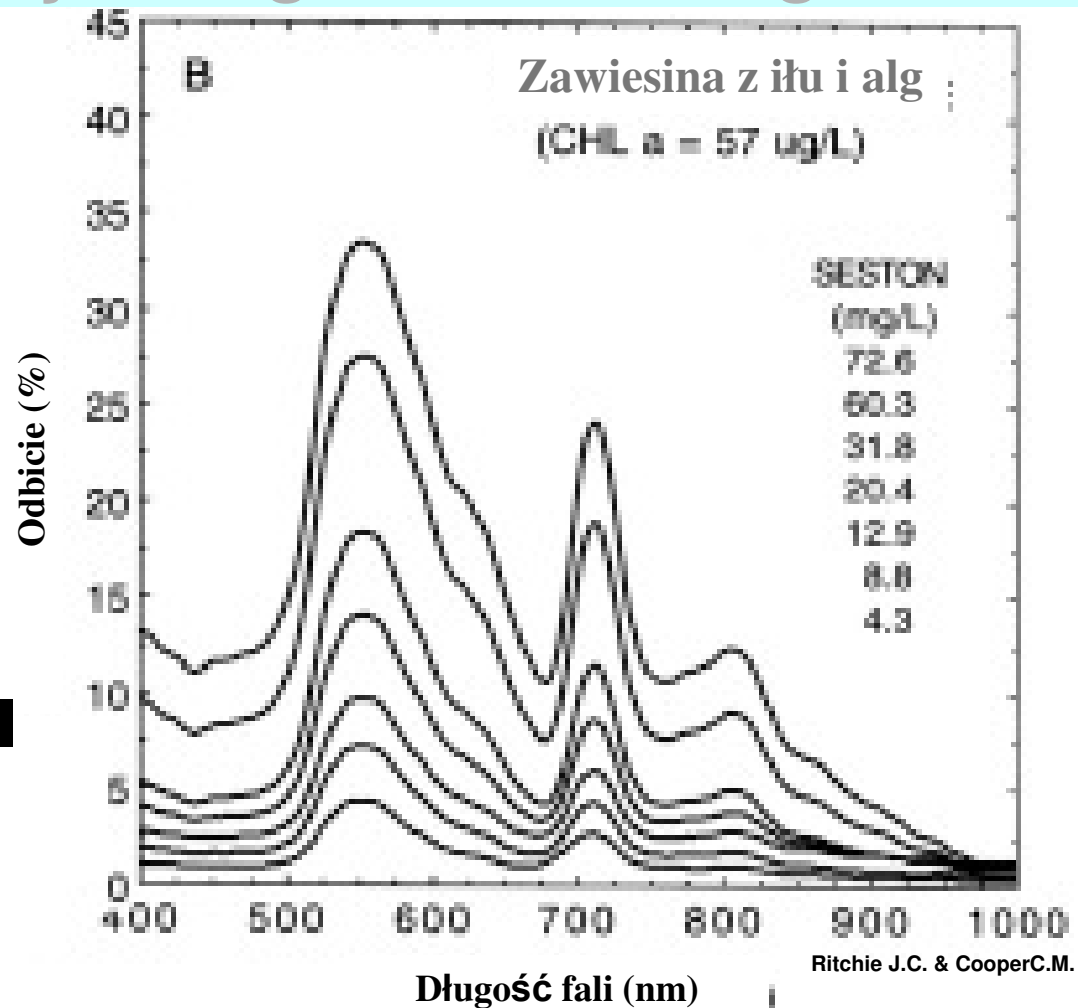
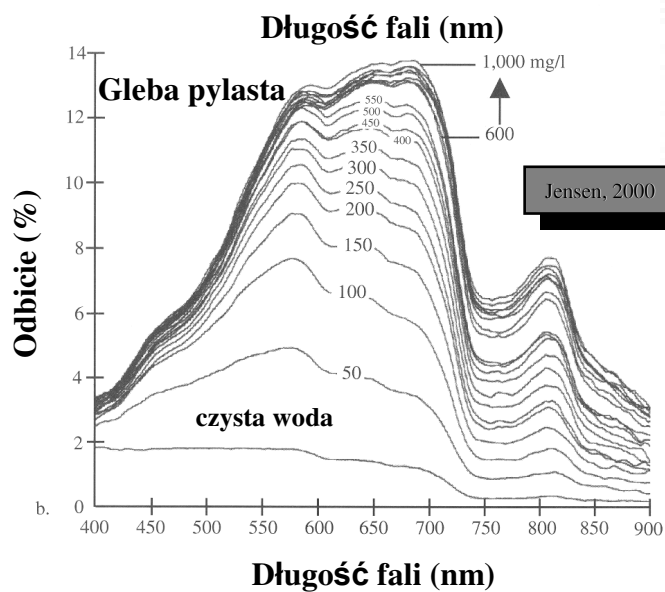
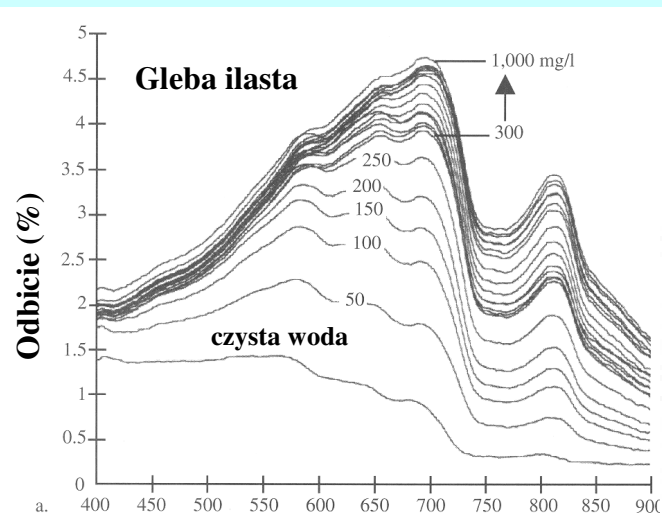


Silna absorpcja przez chlorofil *a* alg w zakresie 400-500 nm i fali o długości 675 nm.

Gdy koncentracja chlorofilu w wodzie jest mała najbardziej przydatny do jego estymacji jest wskaźnik  $R_{705}/R_{670}$ .

# TELEDETEKCJA

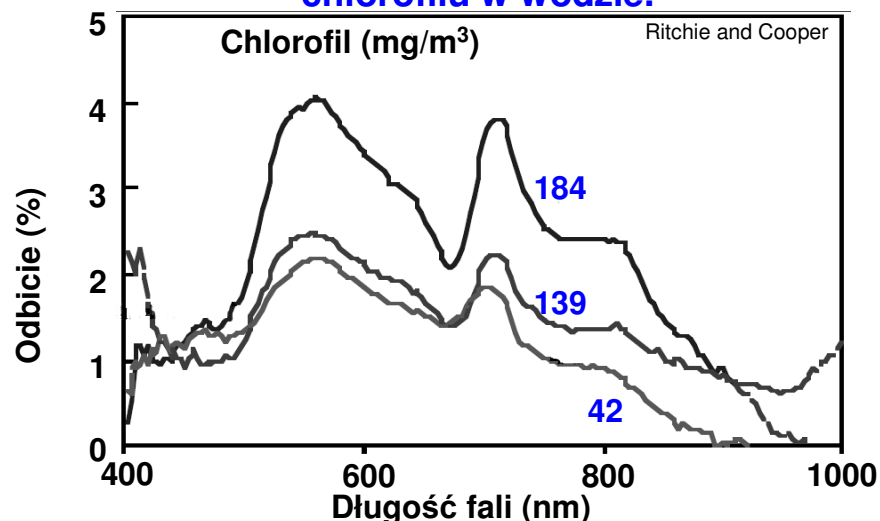
## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii



# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

Zależność między wielkością odbicia i zawartością chlorofilu w wodzie.



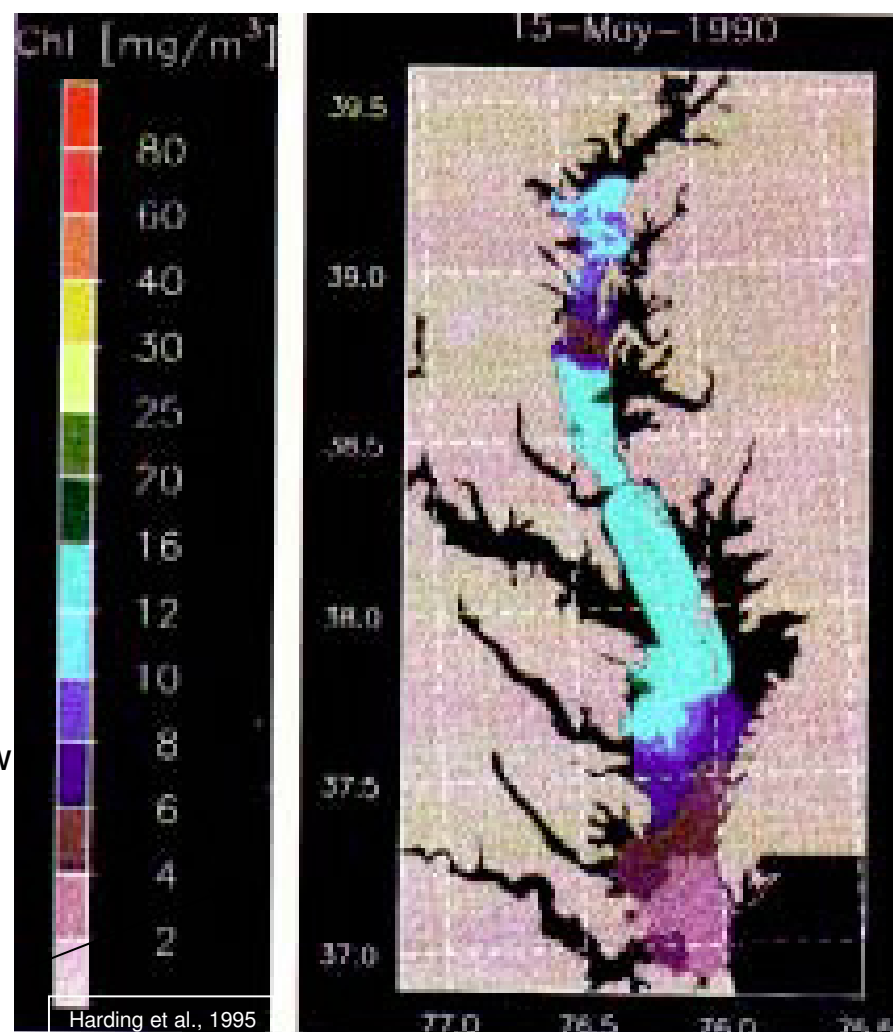
$$\text{Log}_{10} [\text{Chlorophyll}] = a + b (-\text{Log}_{10} G)$$

**a** i **b** stałe empiryczne uzyskane na podstawie pomiarów *in situ*.

$$G = [(R2)^2 / (R1 * R3)],$$

gdzie **R1**, **R2** and **R3** - wielkość odbicia fal o długości odpowiednio 460 nm, 490 nm i 520 nm.

Eutrofizacja – wzrost żyzności wód.



Mapa zawartości chlorofilu w wodach Zatoki Chesapeake na podstawie zdjęcia lotniczego

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

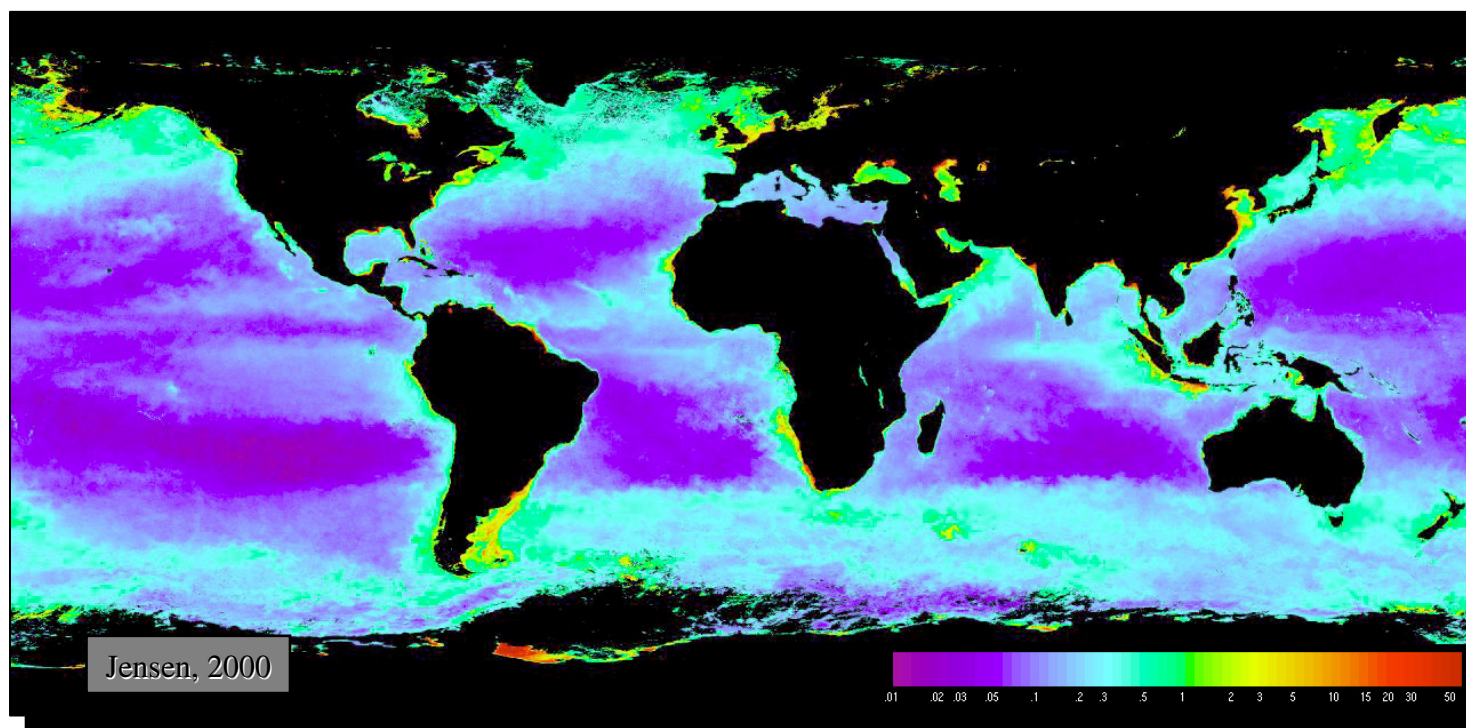
### Chlorofil w wodach oceanów

**Zależność między wielkością odbicia wybranych długości fal i koncentracją chlorofilu w wodzie:**

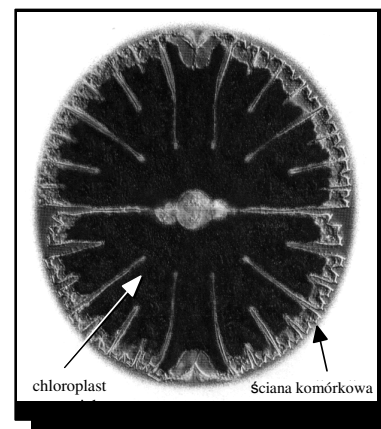
$$Chl = x [L(\lambda_1)/L(\lambda_2)]^y$$

gdzie:  $L(\lambda_1)$  i  $L(\lambda_2)$  - promieniowanie odbite w określonej długości fali,  
 $x$  i  $y$  - empirycznie ustalone stałe.

Algorytmy stosowane przy przetwarzaniu danych SeaWiFS wykorzystują fale 443/355 nm i 490/555 nm.



**Koncentracja chlorofilu  $a$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) na podstawie obrazu satelitarne-go SeaWiFS**

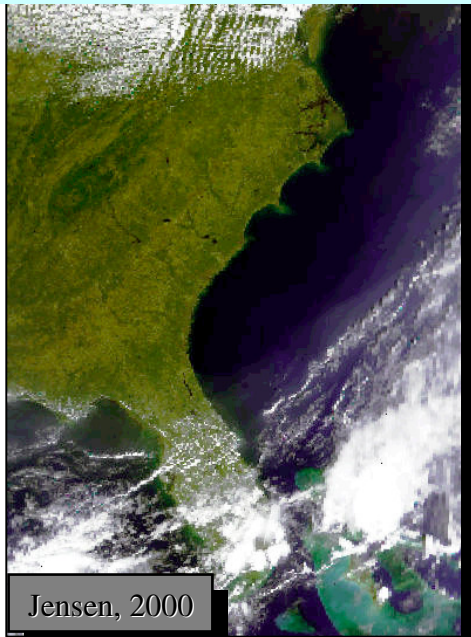


**Zdjęcie pojedynczej komórki algi w zakresie niebieskim**

# TELEDETEKCJA

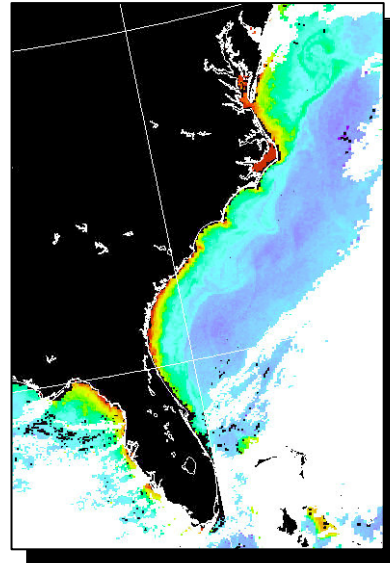
## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Chlorofil w wodach oceanów



Jensen, 2000

Obraz SeaWiFS przetworzony w barwach rzeczywistych (30 września 1997)



Rozkład przestrzenny chlorofilu a (30 września 1997)

### Czujnik SeaWiFS satelita OrbView-2 *CoastWatch Ocean Color Program* 1997

**Orbita:** synchroniczna ze Słońcem, zstępująca, 90 minut, wys. 702 km.

**Szerokość ścieżki:** w zależności od sposobu transmisji LAC (w czasie rzeczywistym) 2 801 km i GAC 1 502 km.

**Rozdzielczość przestrzenna:** w zależności od sposobu transmisji LAC 1,1 km i GAC 4,5 km.

**Przekroczenie równika:** południe +20 minut.

**Rewizyta:** 1 dzień.

- |   |                              |                                       |
|---|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 402-422 (fiolet)             | zawiesiny organiczne,                 |
| 1 | 423-443 (niebieski)          | absorpcja przez chlorofil,            |
| 2 | 480-500 (niebiesko-zielony)  | absorpcja przez inne barwniki,        |
| 3 | 500-520 (niebiesko-zielony)  | absorpcja przez chlorofil,            |
| 4 | 545-565 (zielony)            | stos. niska absorpcja przez barwniki, |
| 5 | 660-680 (czerwony)           | korekcja atmosferyczna                |
| 6 | 745-785 (bliska podczerwień) | korekcja atmosferyczna, aerozole      |
| 7 | 845-895 (bliska podczerwień) | korekcja atmosferyczna, aerozole      |

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody

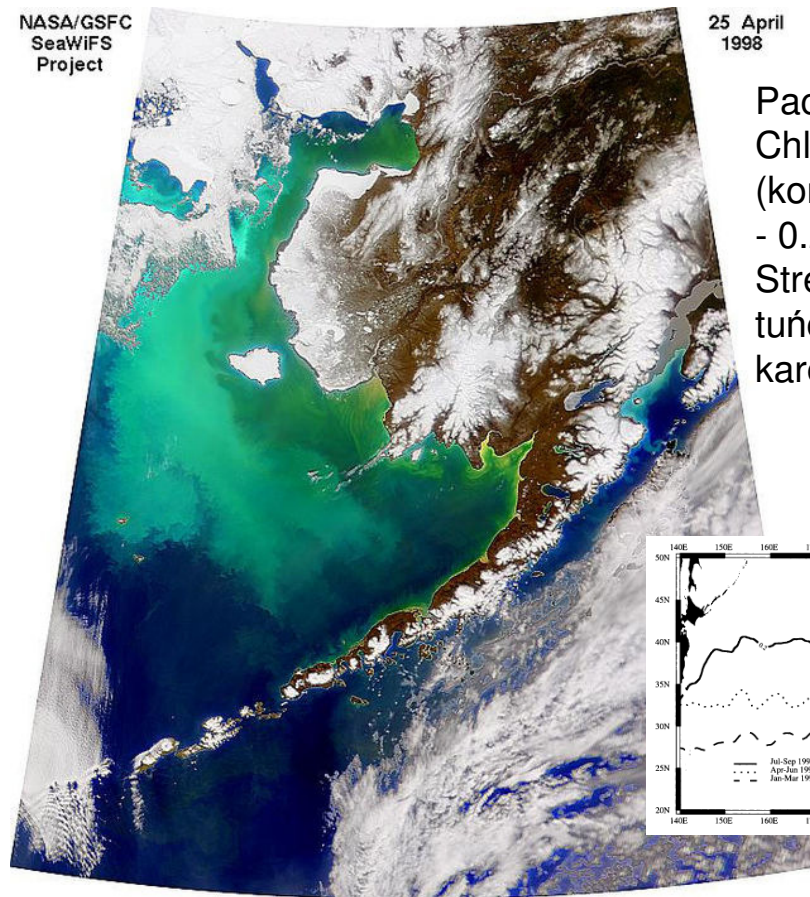
### zastosowania w hydrologii i meteorologii

NASA/GSFC  
SeaWiFS  
Project

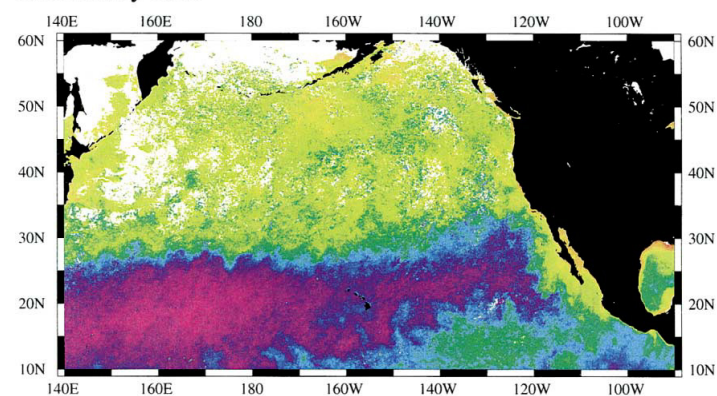
25 April  
1998

**SeaWiFS**

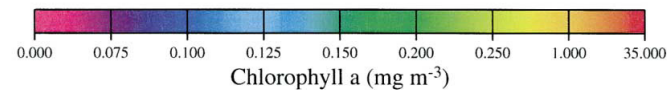
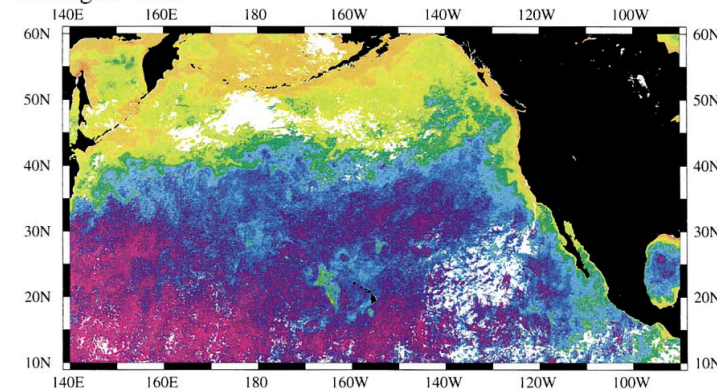
Pacific's Transition Zone  
Chlorophyll Front  
(koncentracja chlorofilu  
-  $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ )  
Strefa migracji  
tuńczyków i żółwi  
karetta.



A. February 1998



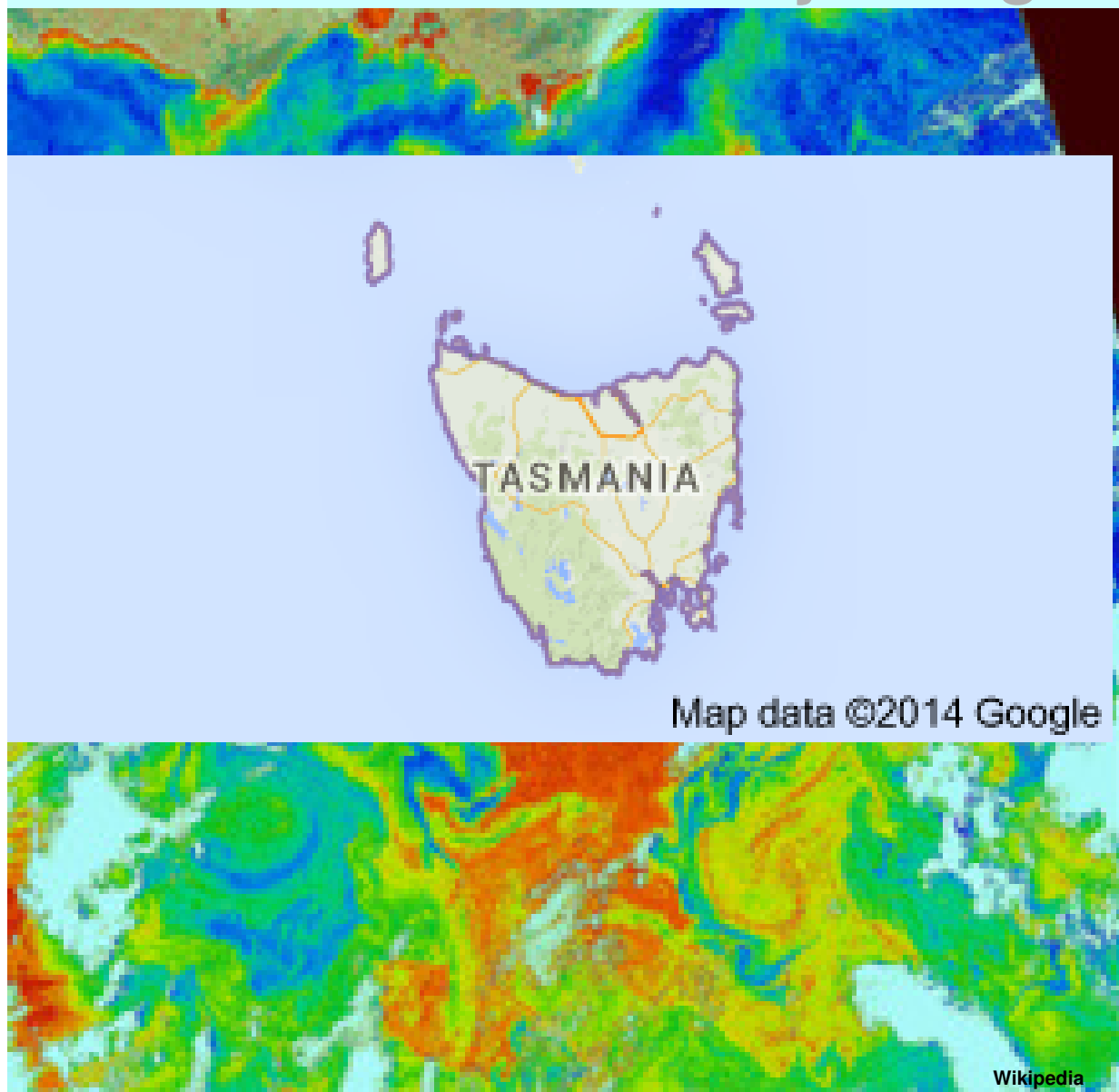
B. August 1998



Szacowanie zasobności łowisk jest  
możliwe w oparciu o zależność  
między koncentracją chlorofilu w  
wodzie ( $\text{mg/m}^3$ ) i masą ryb –  $R^2=0,87$

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii



Kompozycja barwna na podstawie danych z czujnika Zone Color Scanner (satelita: Nimbus-7; 1978-86). Kolory czerwony i pomarańczowy – wysoka koncentracja chlorofilu.

### Czujnik:

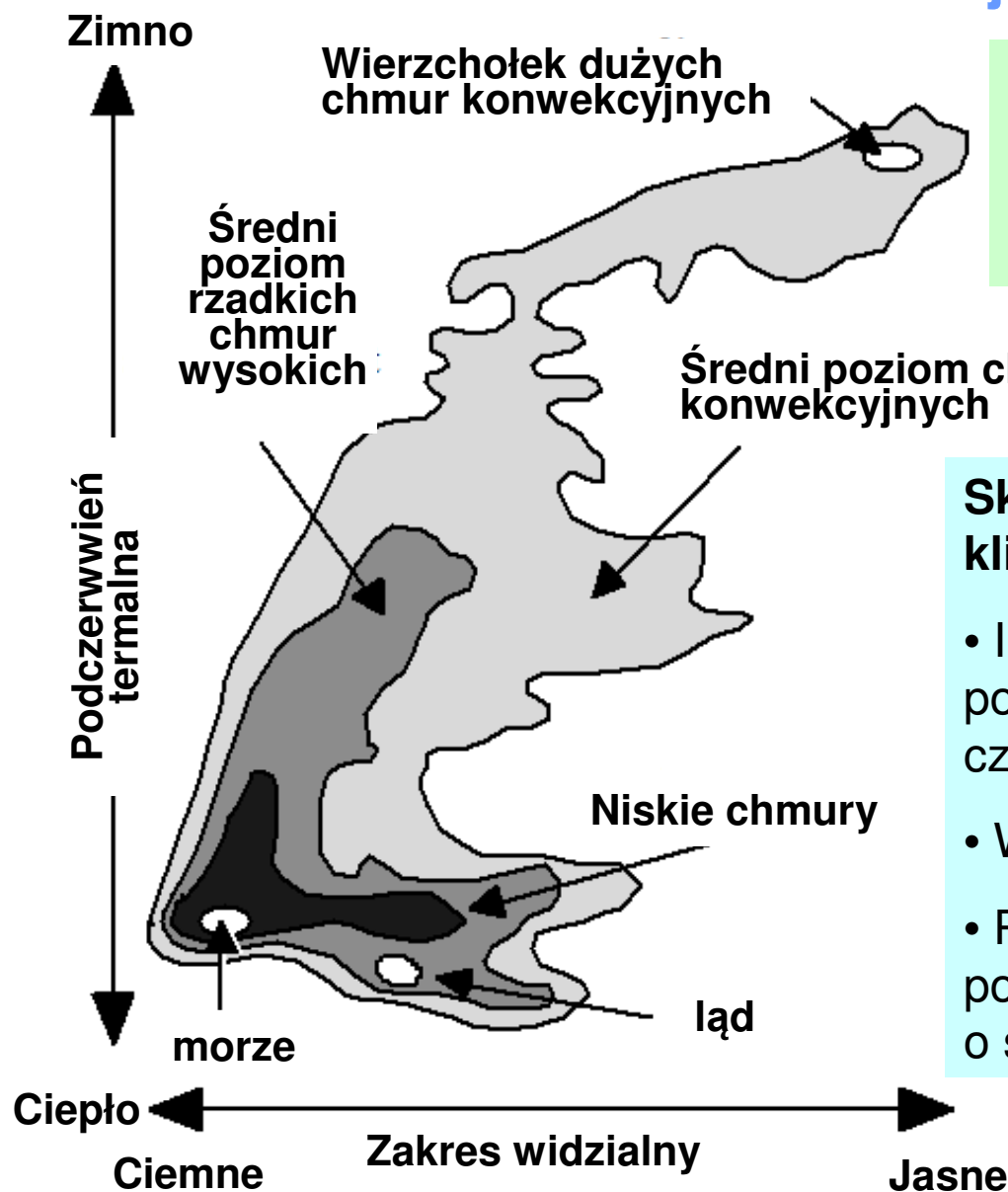
- 443 i 670 nm: max. absorpcja chlorofilu,
- 550 nm: min. absorpcja,
- 750 nm: fitoplankton.
- 11 500 nm: temp. wód przybrzeżnych i prądów morskich,
- Rozdzielczość przestrz.: 800m

### Kartowanie:

- koncentracji chlorofilu,
- rozkładu osadów,
- zasolenia wody,
- temperatury wody.

# Właściwości spektralne wody

## Teledetekcja chmur



*Określanie typu chmur na podstawie danych wielospektralnych z zakresu widzialnego i podczerwieni termalnej widma.*

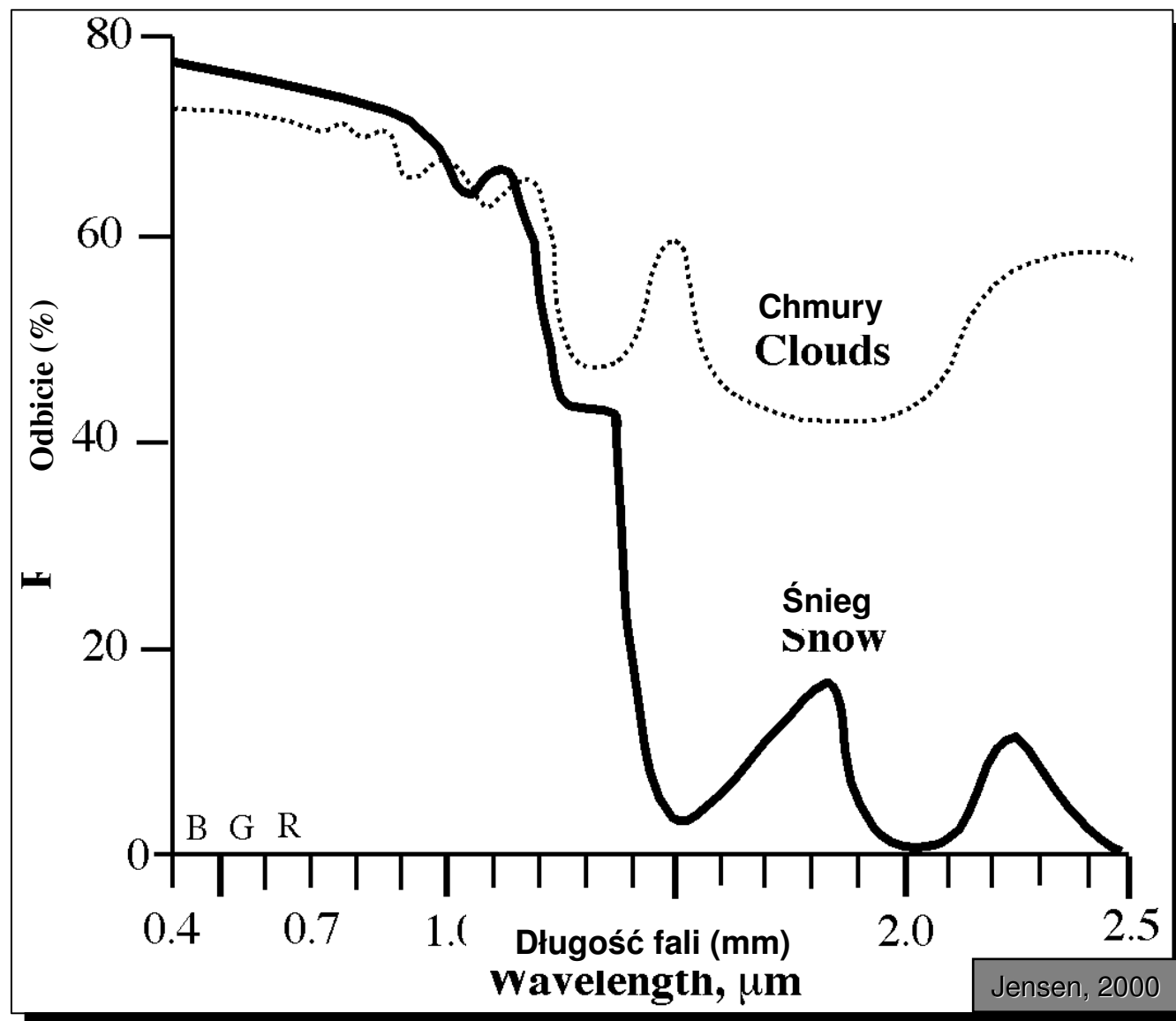
**Skuteczne modelowanie globalnego klimatu wymaga informacji o:**

- Ilości i rodzaju aerozoli w atmosferze pochodzenia naturalnego i antropogenicznego.
- Wielkości, typu i wysokości chmur.
- Przestrzennym zróżnicowaniu pokrycia powierzchni Ziemi (włącznie z informacją o strukturze roślinności).

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

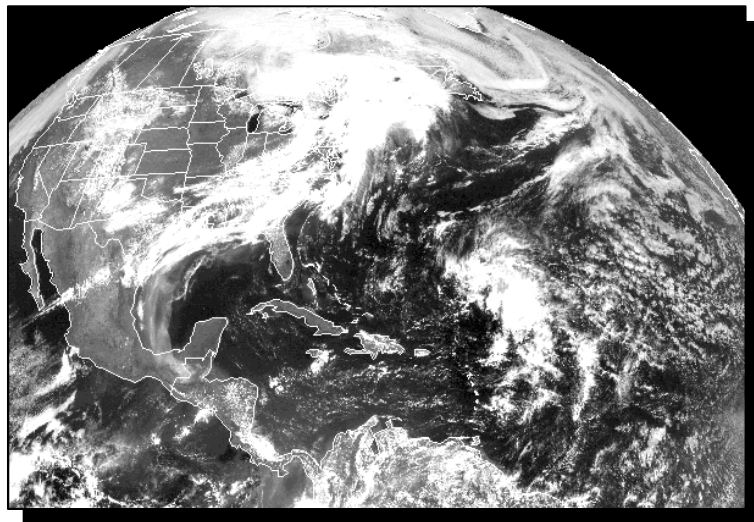
Chmury



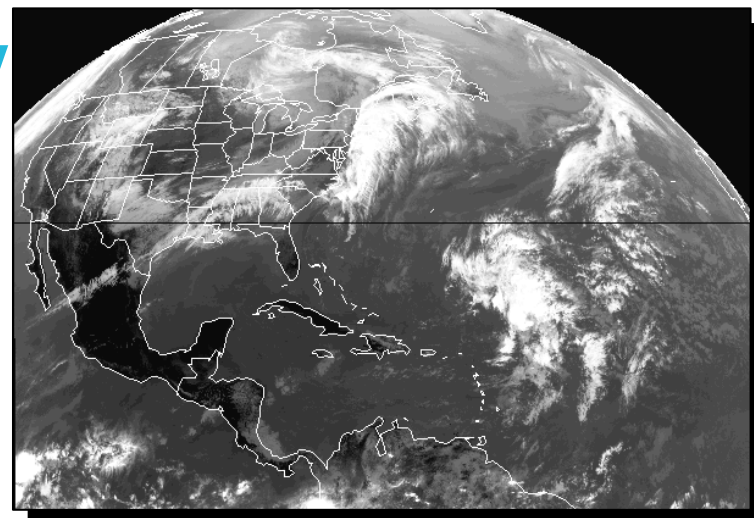
# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

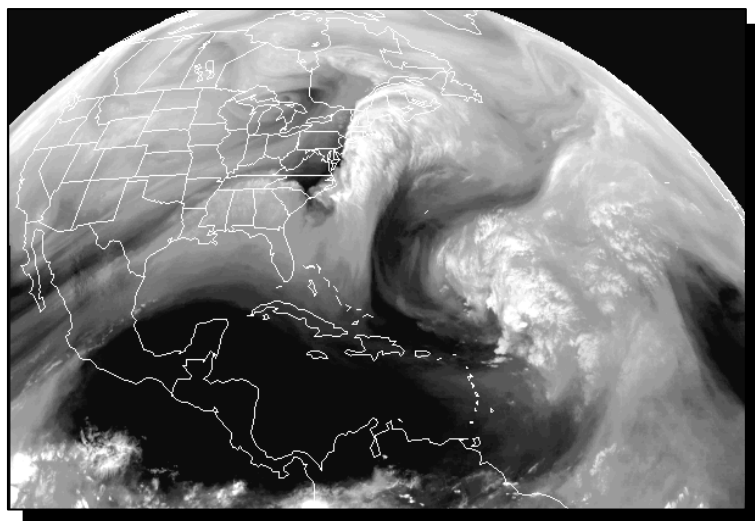
### Chmury



**GOES-East Visible**



**GOES-East Thermal Infrared**



**GOES-East Water Vapor**

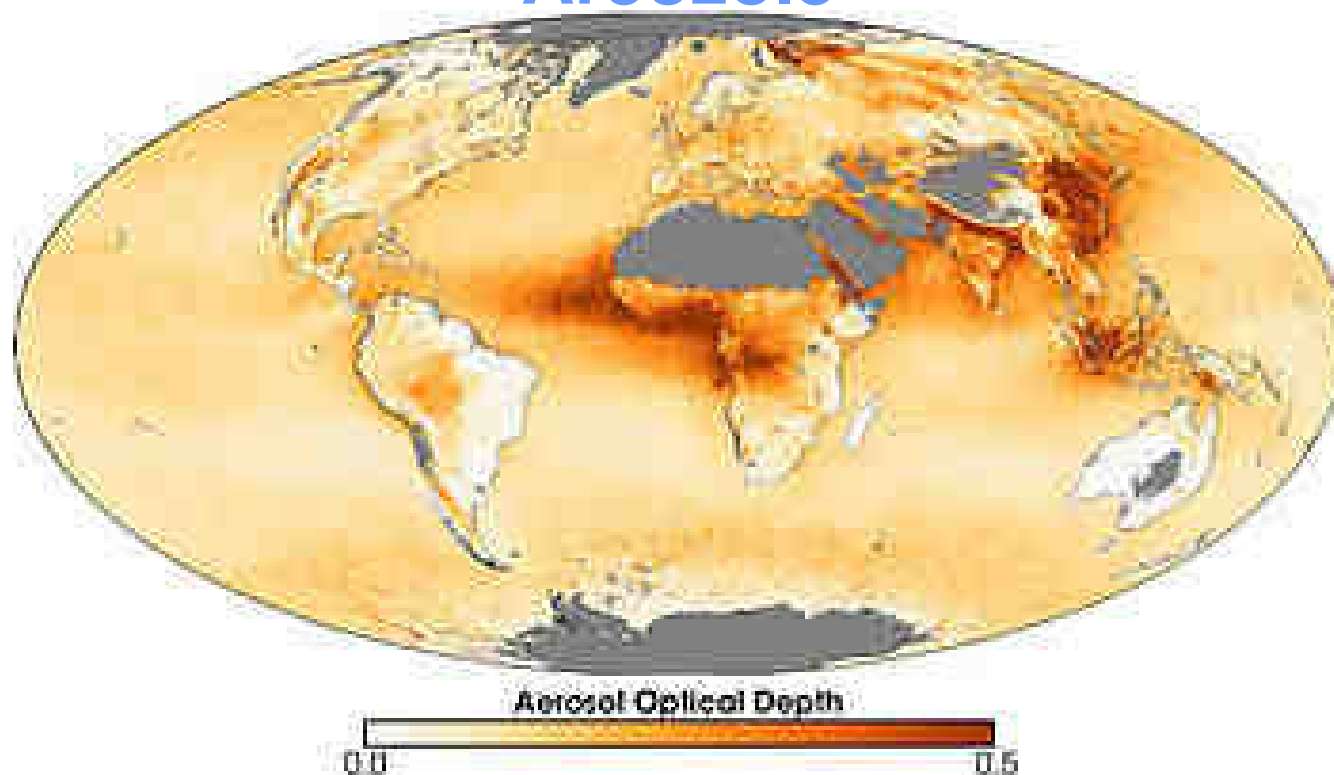
### Obraz z trzech kanałów satelity geostacjonarnego GOES-East

Teledetekcyjne metody określania wielkości opadów mają charakter pośredni i polegają na pomiarach odbicia od chmur, temperatury wierzchołków chmur i zawartości wody w powietrzu w postaci zamrożonej.

# TELEDETEKCJA

## Właściwości spektralne wody zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Areozole



Aerozolowa grubość optyczna z pomiarów satelitarnych (czujnik MODIS).

Współczynnik Angstroma - w atmosferze typowa wartość grubości optycznej w długości fali 500nm nad czystymi obszarami oceanu wynosi około 0,2. Rejony o grubości optycznej 0,5 są znacznie zanieczyszczone.

# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Opady

#### Teledetekcyjne metody prognozowania opadów:

- Szacowanie grubości warstwy chmur na podstawie odbitego od nich promieniowania z zakresu VIS-NIR.
- Temperatura wierzchołków chmur.

**TRMM** *Tropical Rainfall Measuring Mission*

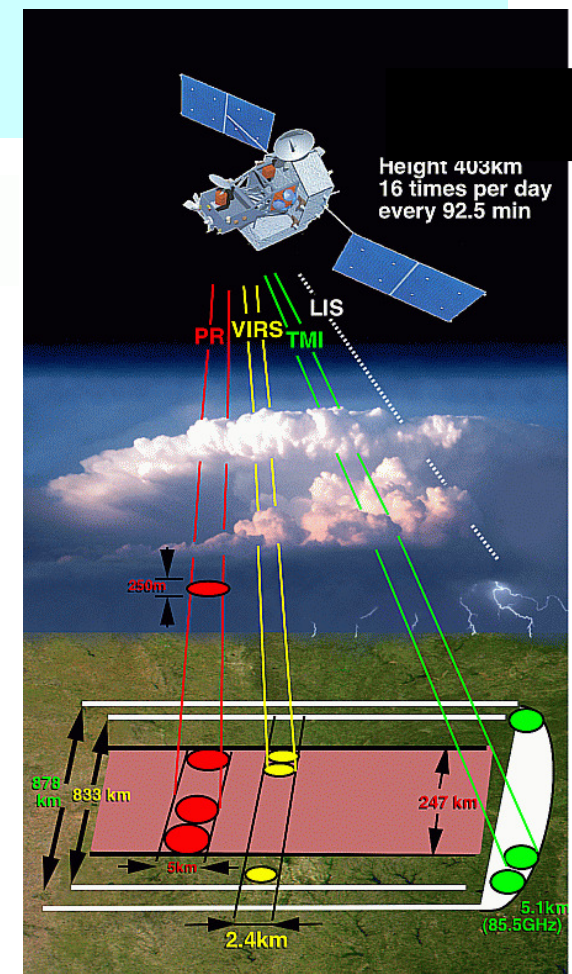
#### Satelita TRMM

Orbita: wysokość 350 km  
nachylenie 35

5 czujników:

- Precipitation Radar (PR),
- TRMM Microwave Imager (TMI),
- Visible Infrared Scanner (VIRS),
- Lightning Imaging Sensor (LIS),
- Clouds and Earth's Radiant Energy System (CERES).

Opady



# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Opady

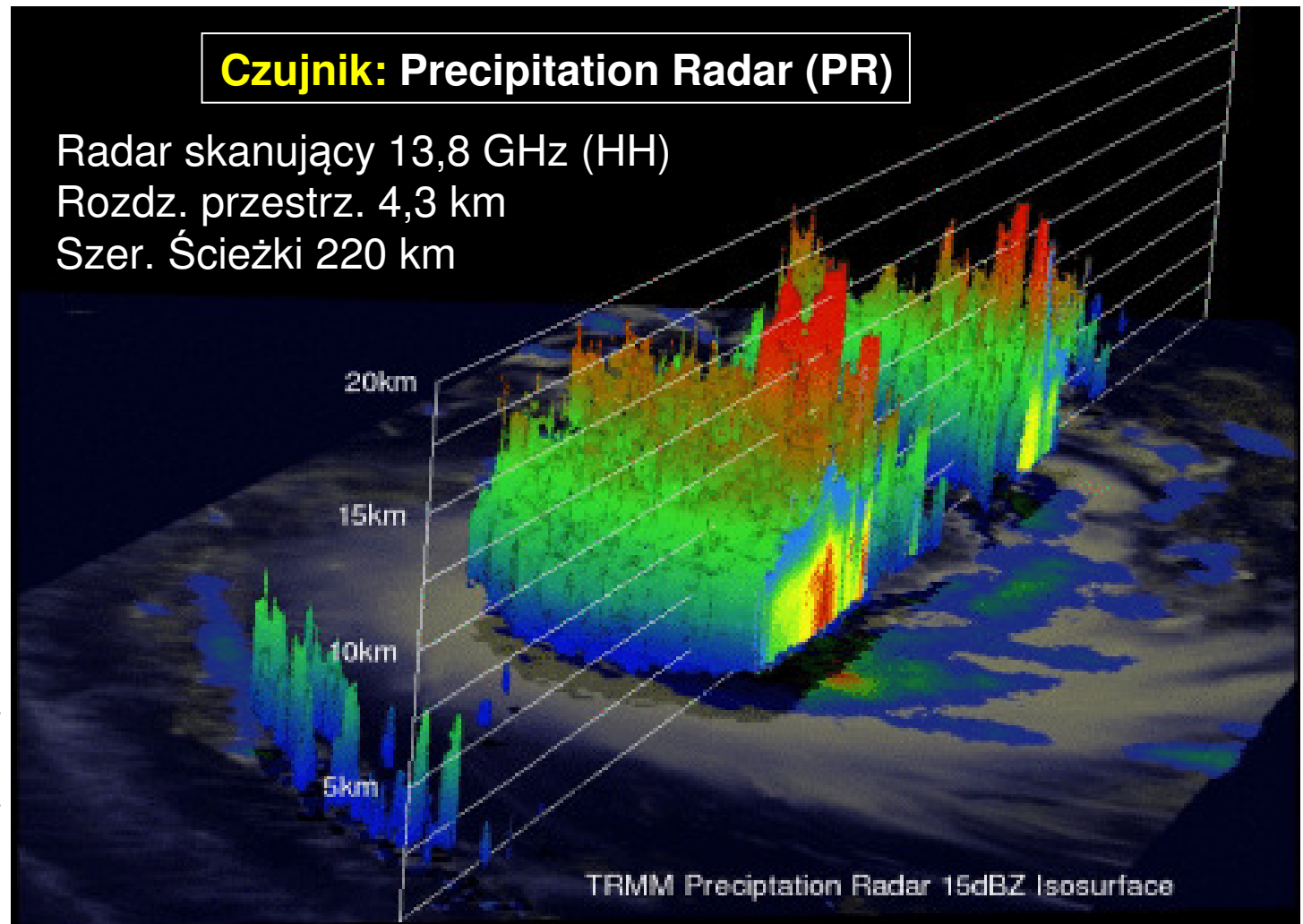
**TRMM** Tropical Rainfall Measuring Mission

Dostarcza informacji o opadach docierających do powierzchni Ziemi, co pozwala określić ilość ciepła utajonego.

Pomiar opadów nad lądami i wodami w przestrzeni trójwymiarowej.

**Czujnik: Precipitation Radar (PR)**

Radar skanujący 13,8 GHz (HH)  
Rozdz. przestrz. 4,3 km  
Szer. Ścieżki 220 km



# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Opady

#### TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission

**Czujnik:** Microwave Imager (TMI) radar pasywny

*Szacowanie opadów nad oceanami – weryfikacja modeli klimatycznych*

**Od 2001 roku**

**Rozdzielczość czasowa:** okrążenie - 92,5 minuty,  
16 okrążeń na dobę.

**Rozdzielczość horyzontalna:** 5,1 km przy 85,5 GHz.

**Rozdzielczość pionowa:**

0.5 km od powierzchni do 4 km,

1.0 km od 4 do 6 km,

2.0 km od 6 do 10 km,

4.0 km od 10 do 18 km.

**Szerokość ścieżki:** 878 km.

**Częstotliwości:**

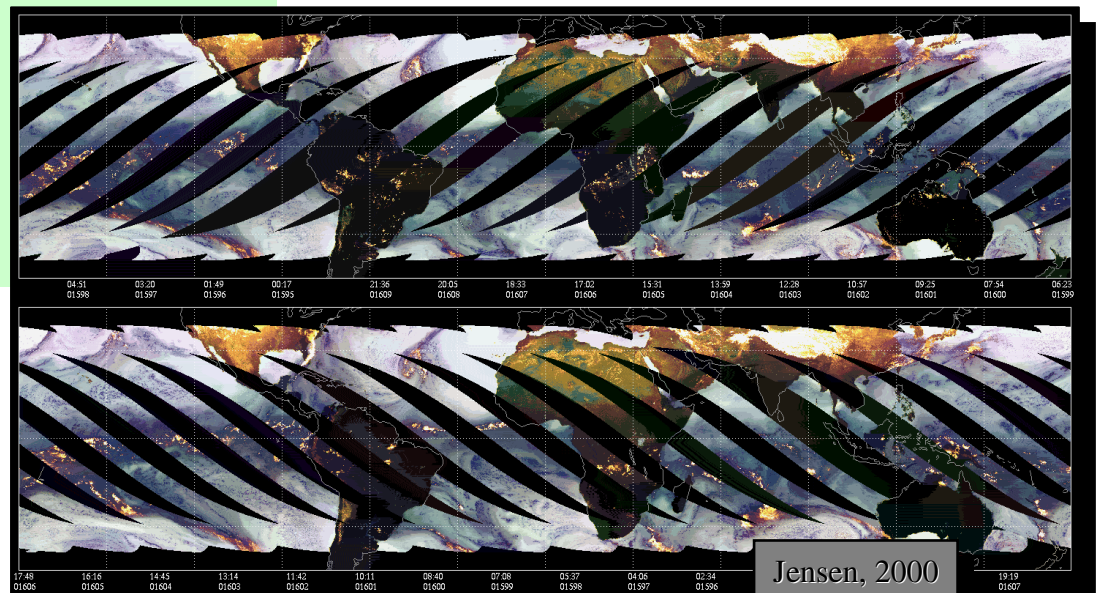
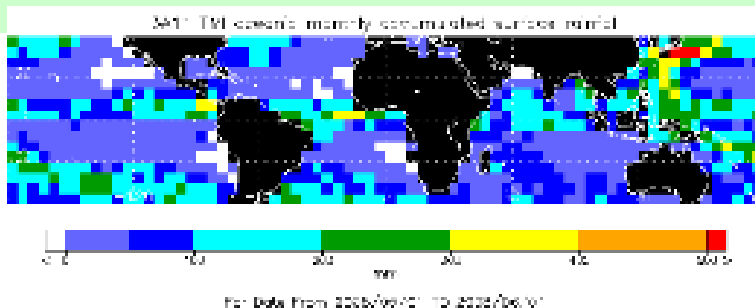
10,7 GHz – 45 km

19,4 GHz

21,3 GHz – 5 km

37,0 GHz

85,5 GHz



# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

**TRMM** Tropical Rainfall Measuring Mission

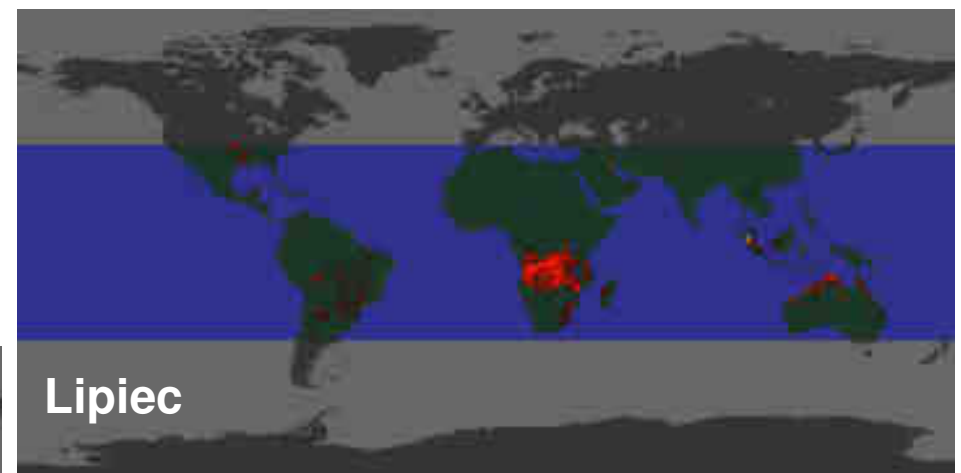
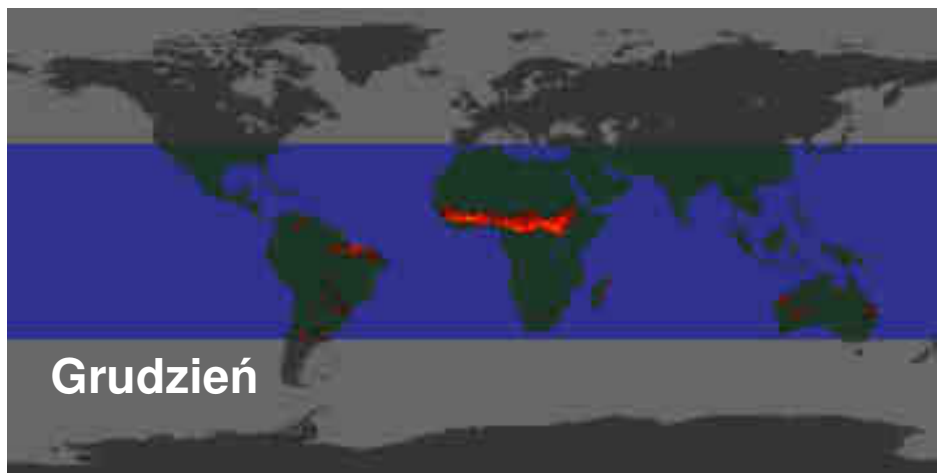
**Czujnik:** Visible Infrared Scanner (VIRS)

*Szacowanie stopnia zachmurzenia i temperatury wierzchołków chmur*

**Kanały:** 1 - VIS 630 nm,  
2 - NIR 1 600 nm,  
3 - NIR 3 750 nm,  
4 - NIR 10 800 nm,  
IR 12 000 nm.

**Rozdzielczość przestrzenna:** 2,4 km.

**Szerokość ścieżki:** 833 km.



Pożary - dane miesięczne

# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

**TRMM** Tropical Rainfall Measuring Mission

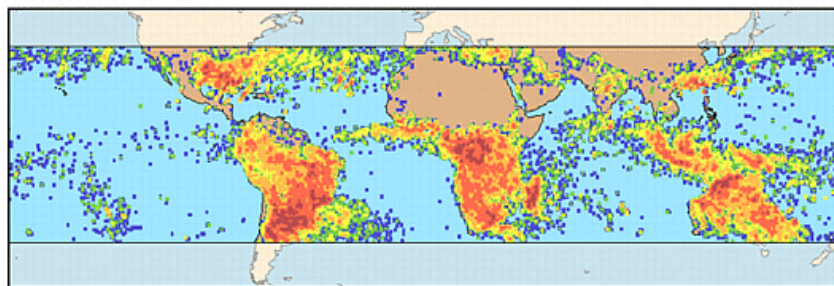
### Czujnik: Lightning Imaging Sensor (LIS)

- Wykrywanie obszarów burzowych (wyładowania elektryczne),
- Charakterystyka chmur,
- Badanie cykli hydrologicznych.

**Kanał:** VIS 777 nm,

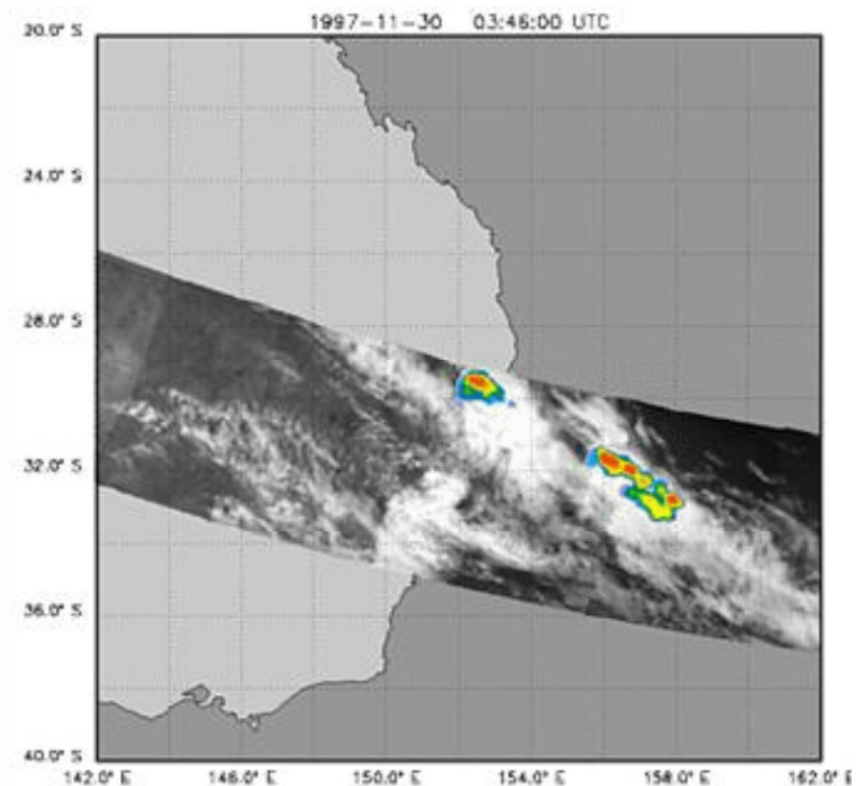
**Rozdzielczość przestrzenna:** 5 km.

**Szerokość ścieżki:** 590 km.



Częstotliwość wyładowań (wyładowanie/km<sup>2</sup>/miesiąc)

0.01 0.03 0.10 0.30 1.0 3.0 10.0



Aktywność burzowa



Niska

Średnia

Wysoka

# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Bilans energetyczny Ziemi

**TRMM** Tropical Rainfall Measuring Mission

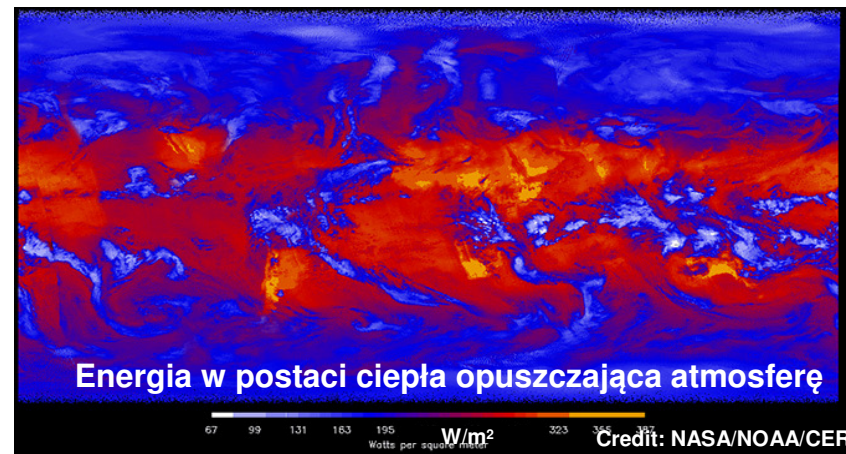
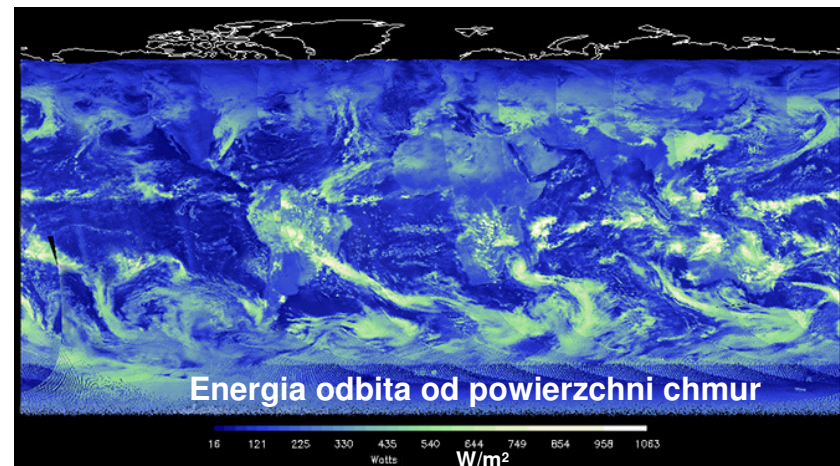
**Czujnik:** Clouds and Earth's Radiant Energy System (CERES).

*Pomiar emitowanego i odbitego promieniowania od powierzchni Ziemi oraz atmosfery i znajdujących się w niej chmur i aerozoli.*

**Kanały:** Total 300 – 100 000 nm,  
VIS 300 – 500 nm,  
IR 800 – 12 000 nm.

Powierzchnie żółte są najcieplejsze i emitują w przestrzeń kosmiczną najwięcej energii.

Powierzchnie ciemno niebieskie i białe chmury są chłodne i emitują mało energii.

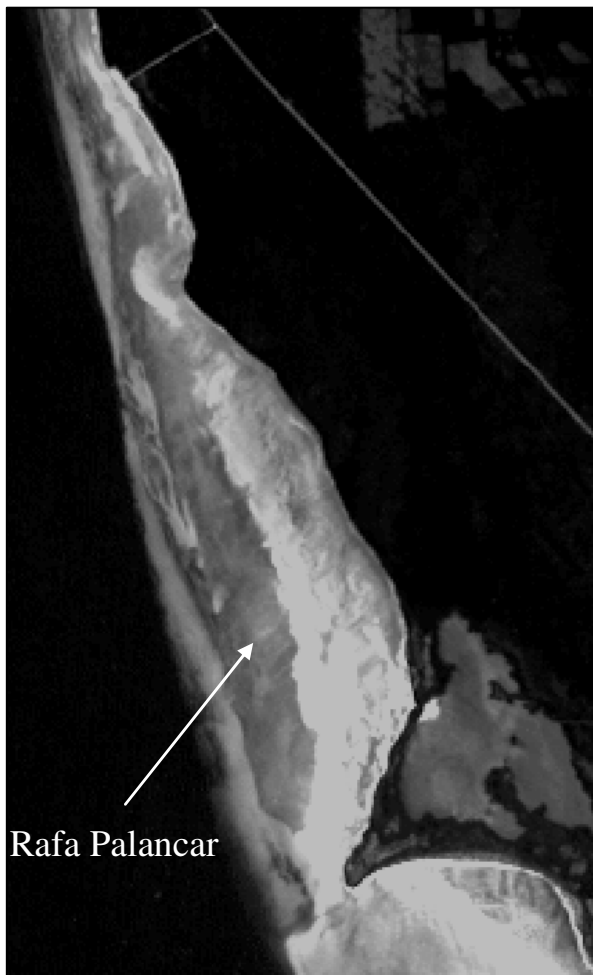


# TELEDETEKCJA

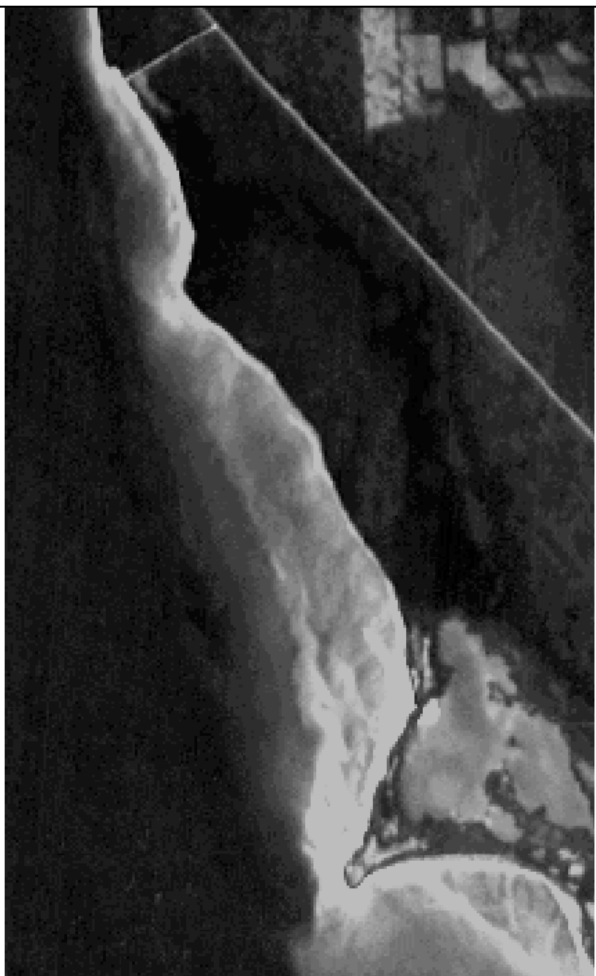
## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Batymetria

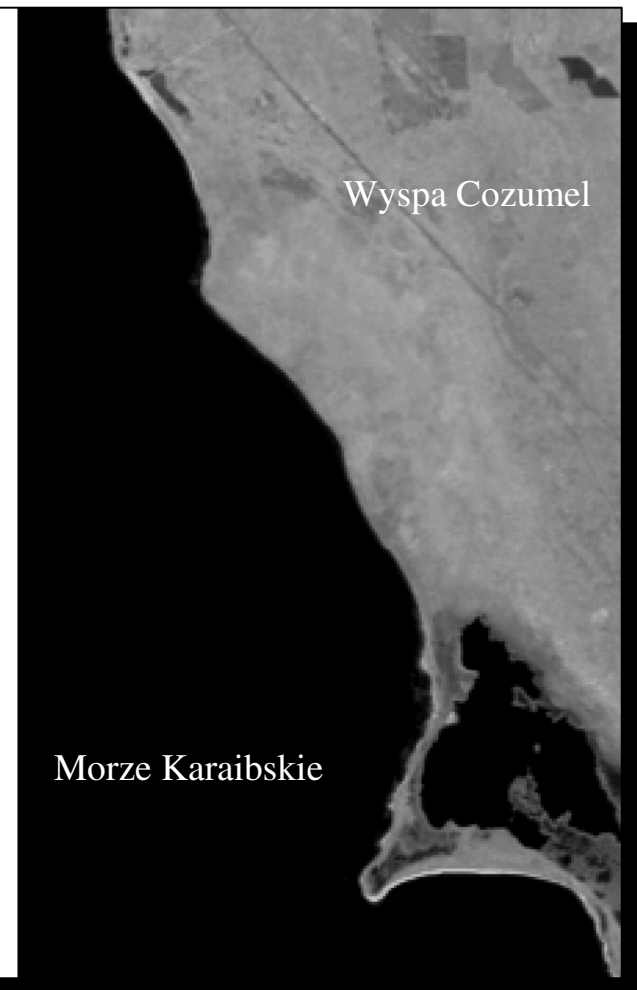
Przezroczystość wody 25 - 40 m.



SPOT Band 1 (0.5 - 0.59 mm) green



SPOT Band 2 (0.61 - 0.68 mm) red



SPOT Band 3 (0.79 - 0.89 mm) NIR

Najbardziej przydatna dł. fali do badań batymetrycznych: 480 nm

# TELEDETEKCJA

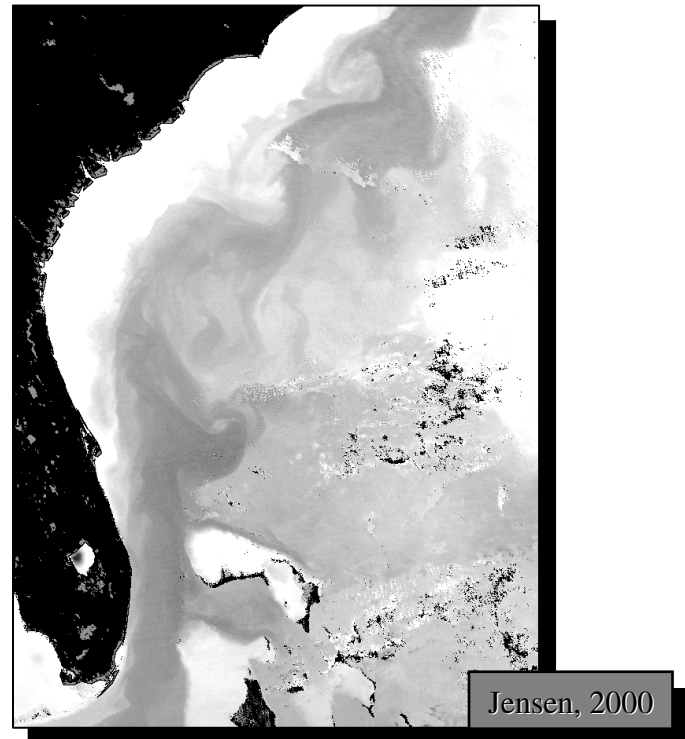
## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Temperatura wód powierzchniowych

Temperatura powierzchni morza (SST), mapa uzyskana z trzydniowej kompozycji obrazów NOAA AVHRR w zakresie podczerwonym



Obraz tak przetworzony aby podkreślić zróżnicowanie temperatury wód przybrzeżnych

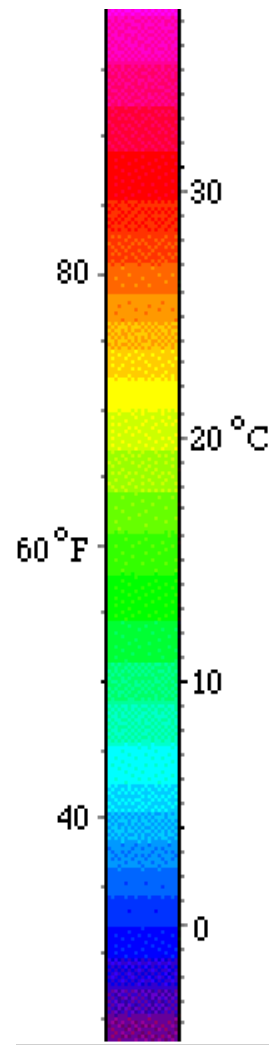
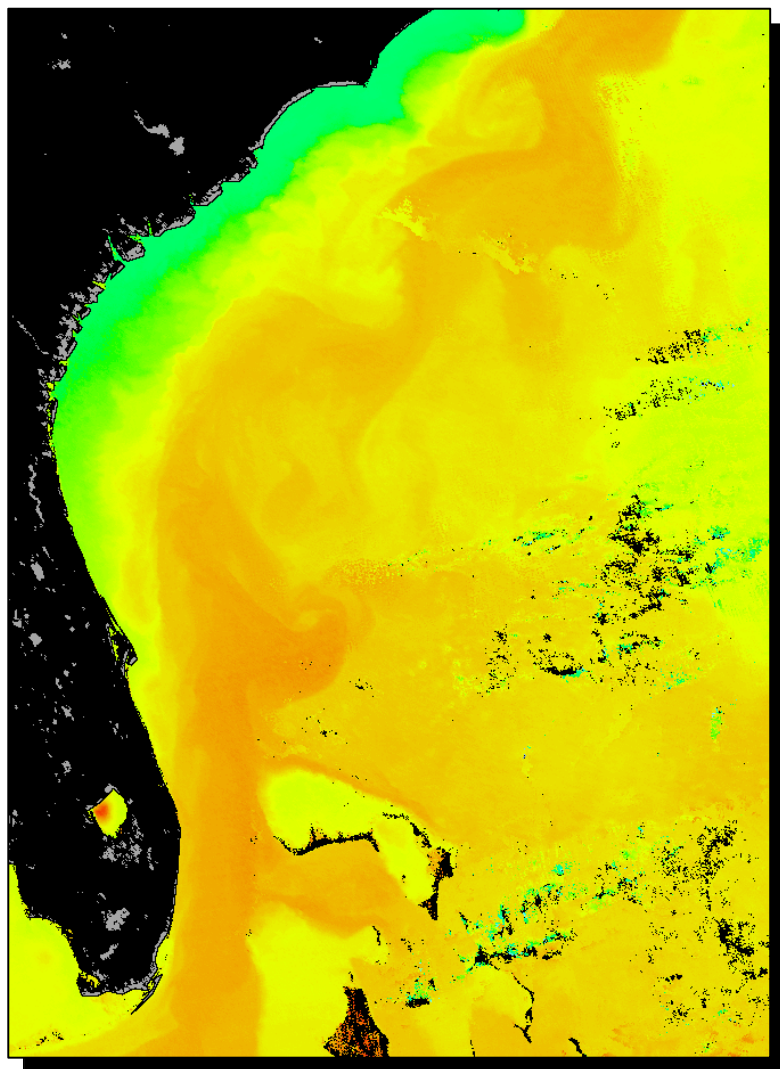


Obraz tak przetworzony aby podkreślić zróżnicowanie temperatury wód Golsztromu

# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Temperatura wód powierzchniowych



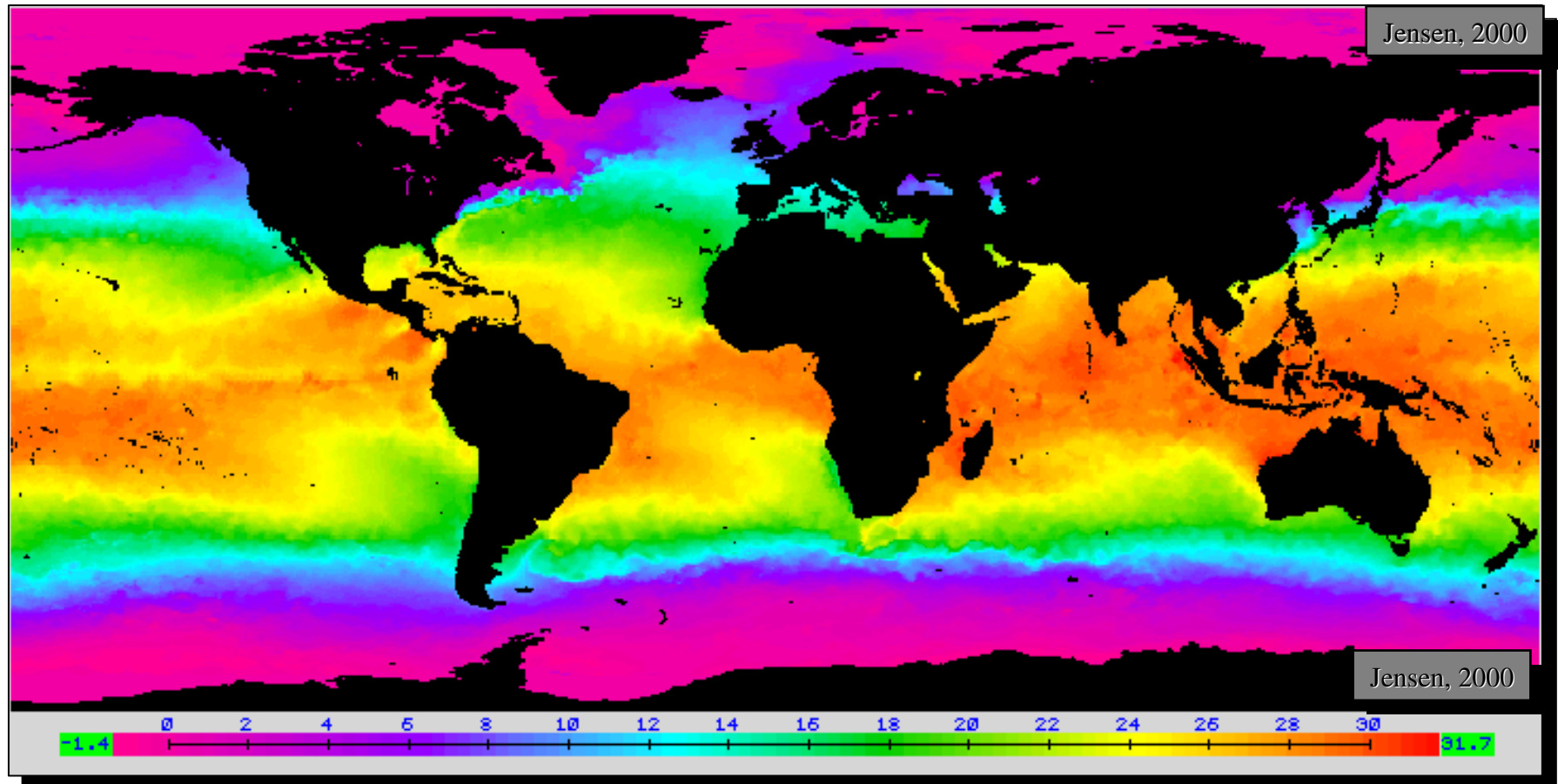
Kompozycja rozkładu temperatury powierzchniowej wody na podstawie zobrażeń termalnych NOAA AVHRR południowo-wschodniego wybrzeża USA

# TELEDETEKCJA

## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### **Temperatura wód powierzchniowych**

Dane: NOAA-14 AVHRR

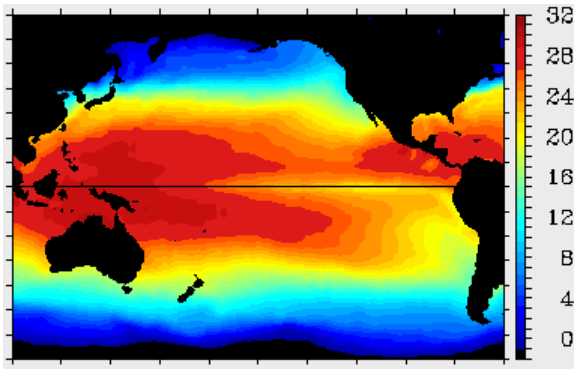


Kompozycja trzydniowa danych termalnych. Każdy piksel przedstawia najwyższą temperaturę zarejestrowaną w ciągu 3 dni (3-5 marca 1999 r)

# TELEDETEKCJA

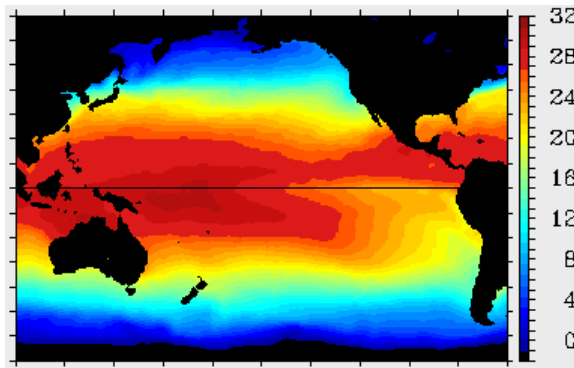
## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Temperatura wód powierzchniowych

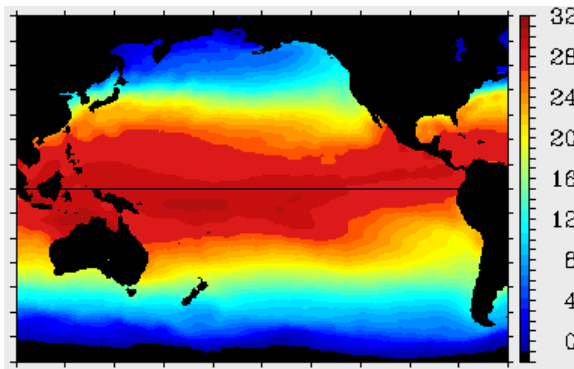


La Nina,  
grudzień 1988

**Mapy miesięcznych temperatur powierzchni morza (°C) sporządzone na podstawie danych *In situ* (boje meteo) i danych teledetekcyjnych.**



grudzień 1990

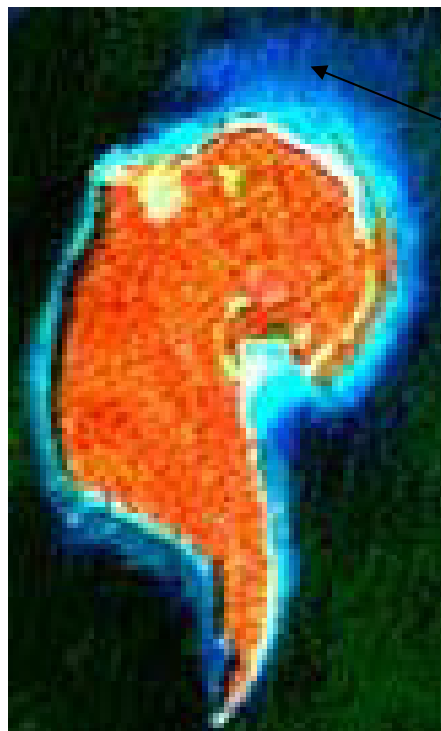


El Nino,  
grudzień 1997

# TELEDETEKCJA

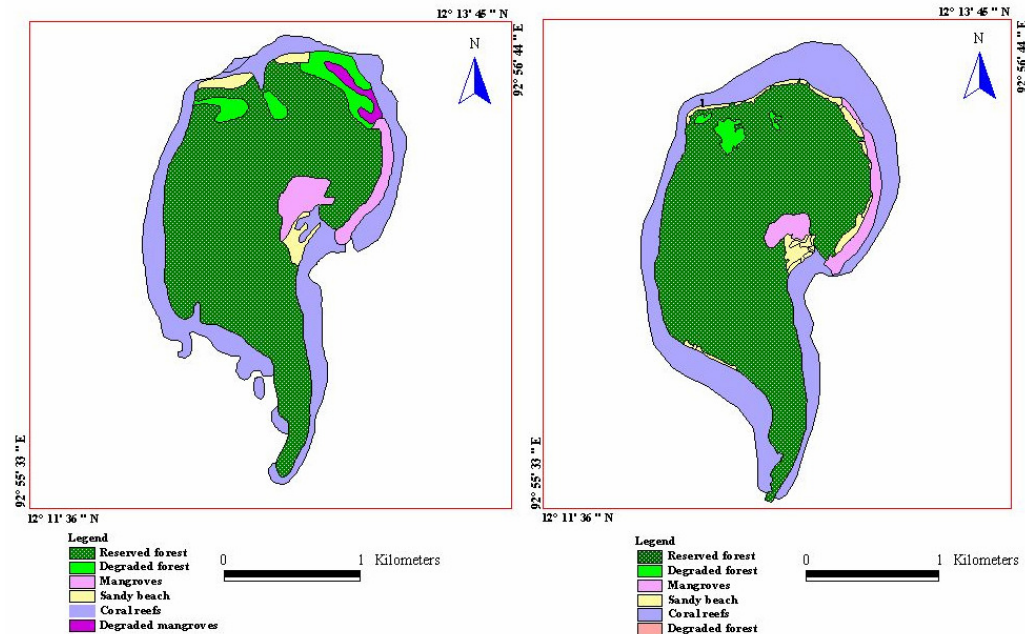
## zastosowania w hydrologii i meteorologii

### Ocena czystości wód



Coral Reef

Dane IRS LISS II



Changes in Coral Reef Area in Andaman Islands

| S. No. | Island        | Area in ha. (1993) | Area in ha. (2003) | Change in area (ha.) | % Change |
|--------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------|
| 1.     | Havelock      | 2062.30            | 1846.00            | -216.30              | (-) 10   |
| 2.     | Neil          | 270.47             | 459.01             | +188.54              | (+) 70   |
| 3.     | North Passage | 384.73             | 435.84             | +51.11               | (+) 13   |
| 4.     | Interview     | 1818.63            | 2764.51            | +945.88              | (+) 52   |
| 5.     | East          | 197.36             | 177.46             | -19.9                | (-) 10   |
| 6.     | Strait        | 90.80              | 127.28             | +36.48               | (+) 40   |
| 7.     | Ross & Smith  | 272.76             | 459.81             | +187.07              | (+) 68   |
| 8.     | Long          | 232.45             | 179.43             | -53.02               | (-) 23   |