



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# Δορυφορική βαθυμετρία

Διάλεξη 12

Γεωπληροφορική και εφαρμογές στο παράκτιο και  
θαλάσσιο περιβάλλον



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





www.aegean.gr  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Τμήμα  
Επιστημών της Θάλασσας



# Γεωπληροφορική και εφαρμογές στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον

**ΔΙΑΛΕΞΗ 12**

**Δορυφορική Βαθυμετρία**

Dr. Κωνσταντίνος Ν. Τοπουζέλης  
Λέκτορας Τμ. Επιστημών της Θάλασσας

# Δορυφορική Βαθυμετρία

Έχει χρησιμοποιηθεί για:

Επιχειρηματολογία σε λανθασμένους χάρτες

Βοηθώντας στη ερμηνεία υφαλογενών περιοχών

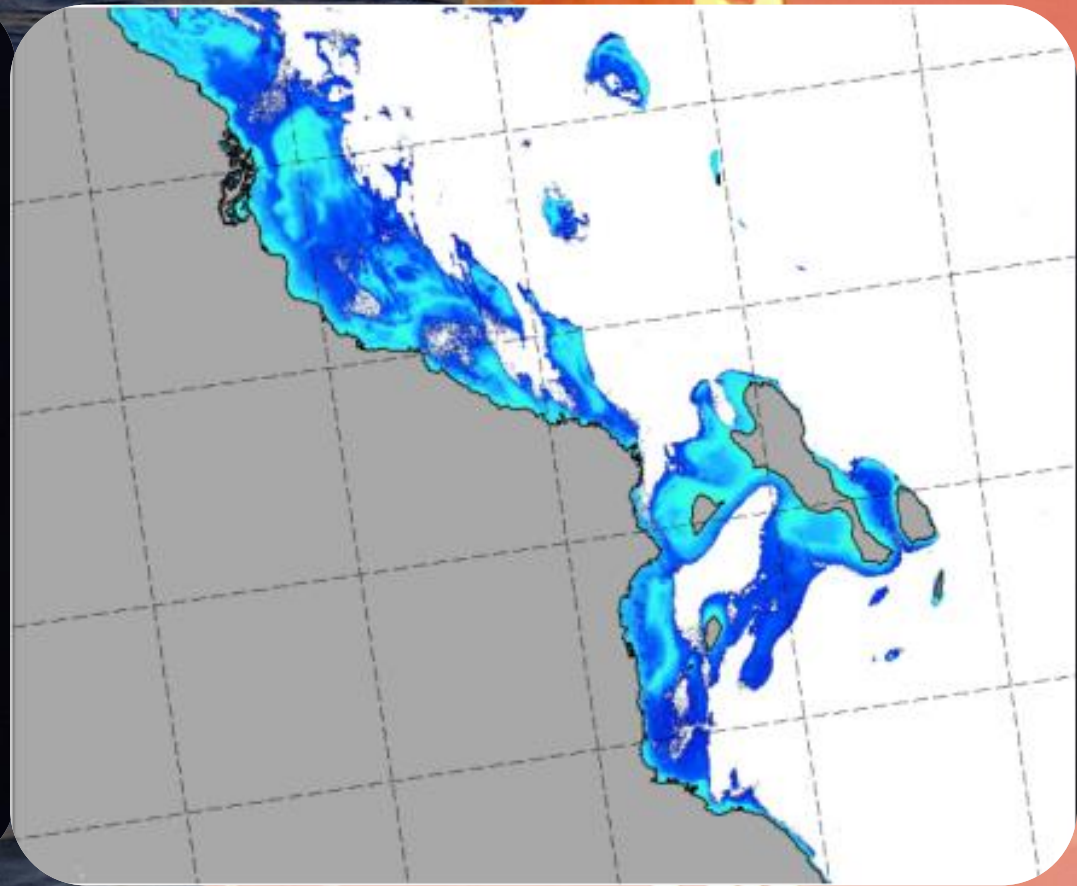
Δημιουργία ζωνών ναυτιλίας

Δε χρησιμοποιείται σαν κύρια πηγή βαθυμετρικών δεδομένων στη ναυτιλία λόγω χαμηλής χωρικής ανάλυσης και μη ικανοποιητικής ακρίβειας

IKONOS → 4 m multispectral 1m panchromatic  
Quickbird → 2,5 m multispectral 0,6m panchromatic  
WorldView-2 → 1,8 m multispectral 0,5m panchromatic  
GeoEye-1 → 1.65 m multispectral 0,41m panchromatic



# Δορυφορική Βαθυμετρία



# Δορυφορική Βαθυμετρία

## Μεθοδολογίες

Jupp 1988

Ζώνες διείσδυσης

$$z = \sum_{i=1}^N \frac{\ln(R)_i}{-2 \cdot K_i N} - \sum_{i=1}^N \frac{\ln(A_d)_i}{-2 \cdot K_i N}$$

Stumpf et al (2003)

Λόγος μπαντών

$$z = m_1 \frac{\ln[nR_w(\lambda_{blue})]}{\ln[nR_w(\lambda_{green})]} - m_0$$

Lyzenga 1978, 1981,  
1985

Ανακλαστικότητα βυθού

$$R(\lambda) = [A_d - R(\lambda, z = \infty)] \exp(-2K(\lambda) \cdot z) + R(\lambda, z = \infty)$$

$$z = \frac{1}{2K(\lambda)} [\ln(A_d - R(\lambda, z = \infty)) - \ln(R(\lambda) - R(\lambda, z = \infty))]$$

# Δορυφορική Βαθυμετρία

## Αρχή εξασθένησης του φωτός στη θάλασσα

Τα διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός διεισδύουν στο νερό σε διαφορετικά βάθη.

Το φως εξασθενεί όταν περνάει μέσα από τη θάλασσα με εκθετικό τρόπο.



### Beer–Lambert law

$$I_d = I_0 e^{-k d}$$

$I_d$  = η ένταση του φωτός που παραμένει μετά από βάθος  $d$

$I_0$  = η αρχική ένταση του φωτός

$k$  = συντελεστής εξασθένησης (εξαρτάται από το μήκος κύματος)

$$\log_e (I_d) = \log_e (I_0) - k d$$

$$\ln(I_d) = \ln(I_0) - k d$$

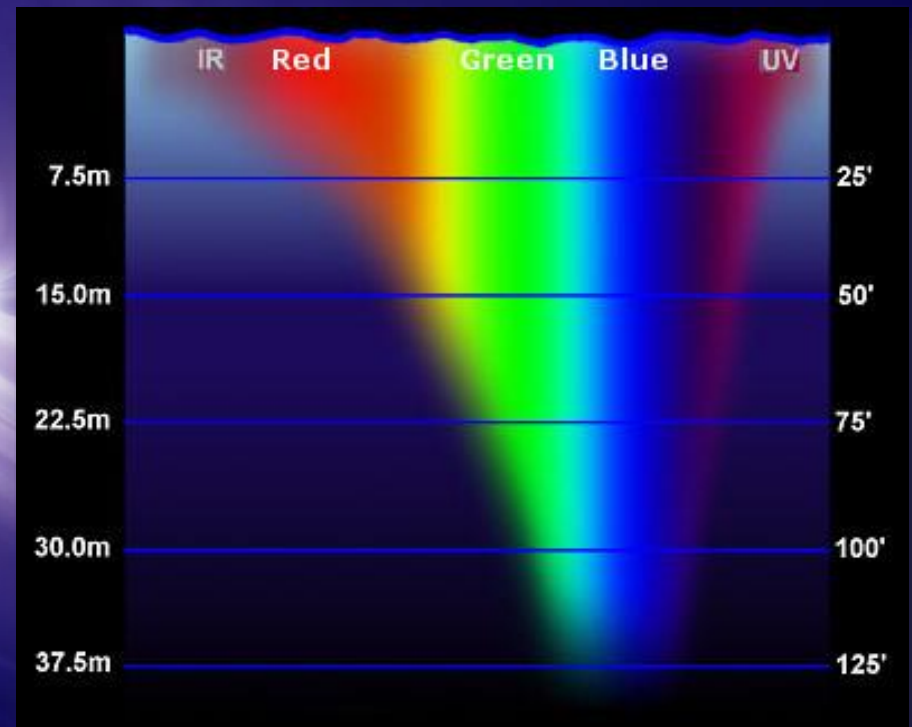
# Δορυφορική Βαθυμετρία

## Αρχή εξασθένησης του φωτός στη θάλασσα

Τα διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός διεισδύουν στο νερό σε διαφορετικά βάθη.

Το βάθος διείσδυσης εξαρτάται από τη θολερότητα του νερού.

**Αιωρούμενα σωματίδια, φυτοπλαγκτόν, διαλυμένες οργανικές ενώσεις.**

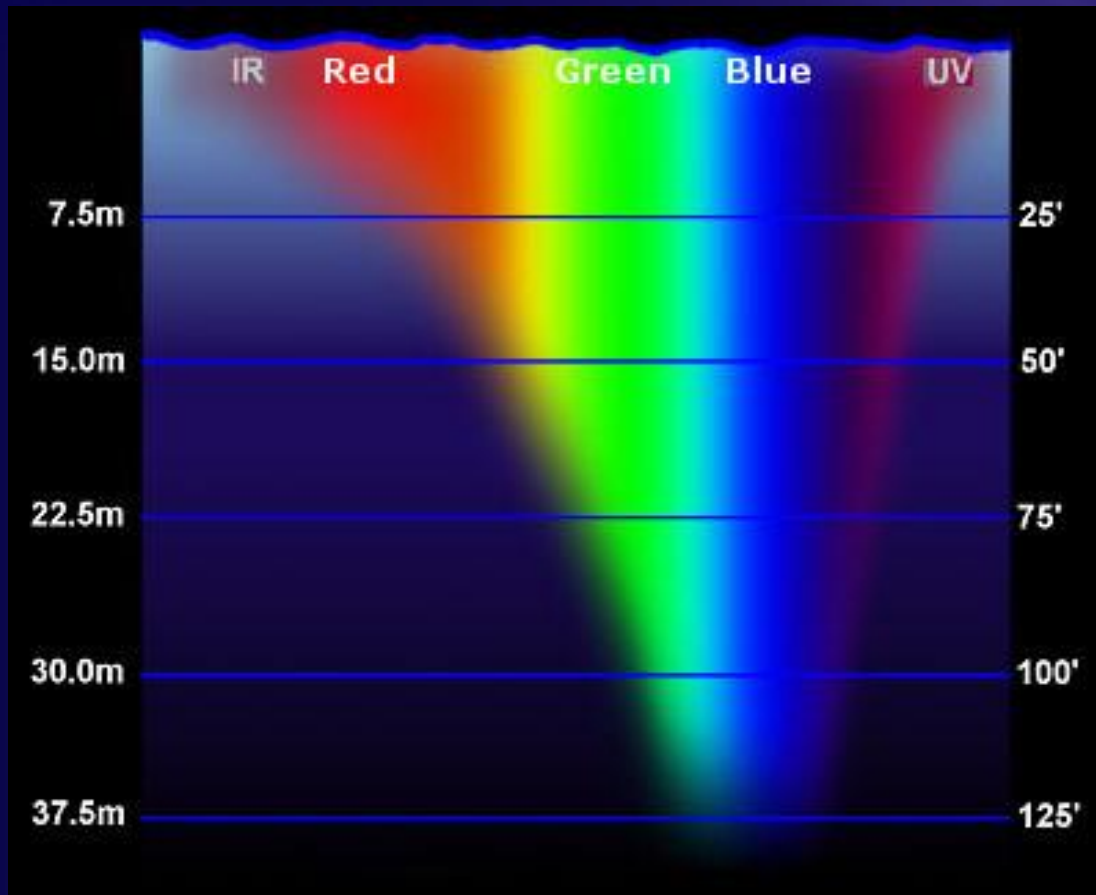


Patterns of light penetration into water.  
Source: Tom Morris, Fullerton College.



# Δορυφορική Βαθυμετρία

## Αρχή εξασθένησης του φωτός στη θάλασσα



Το κοντινό υπέρυθρο, δε διεισδύει περισσότερο από 1 m

Το κόκκινο εξασθενεί πολύ γρήγορα, δε διεισδύει περισσότερο από 5 m

Το μπλε διεισδύει περισσότερο και μπορεί να φτάσει περίπου στα 30 m

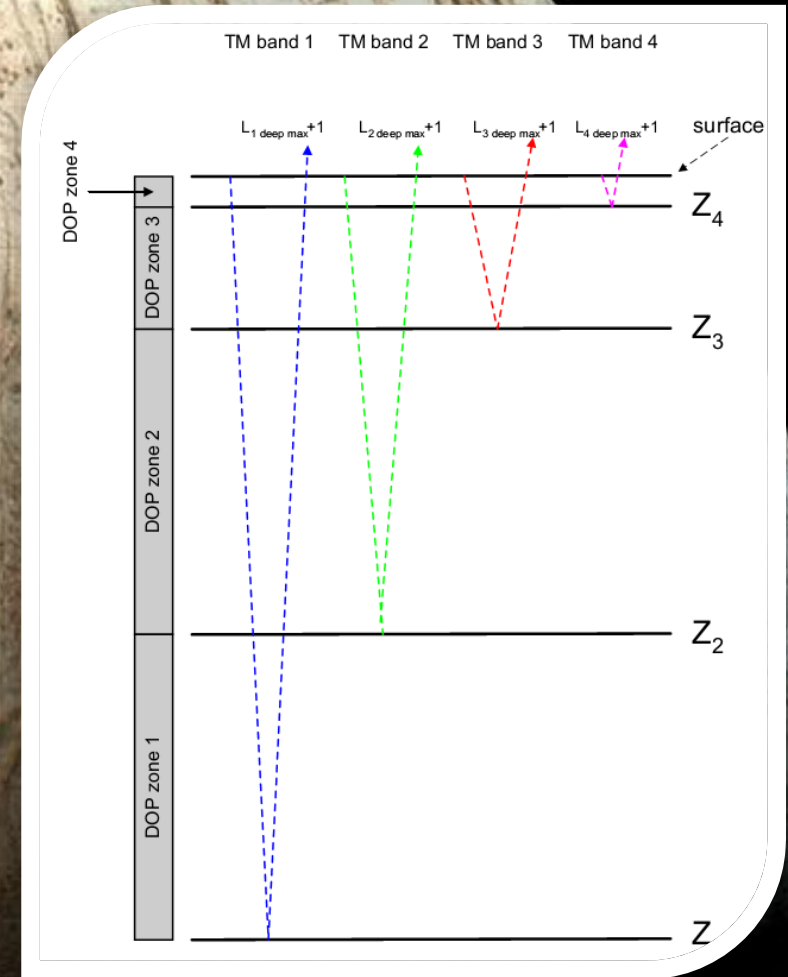
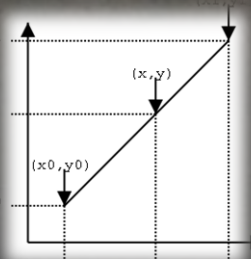
Patterns of light penetration into water.  
Source: Tom Morris, Fullerton College.



# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jurp 1988)

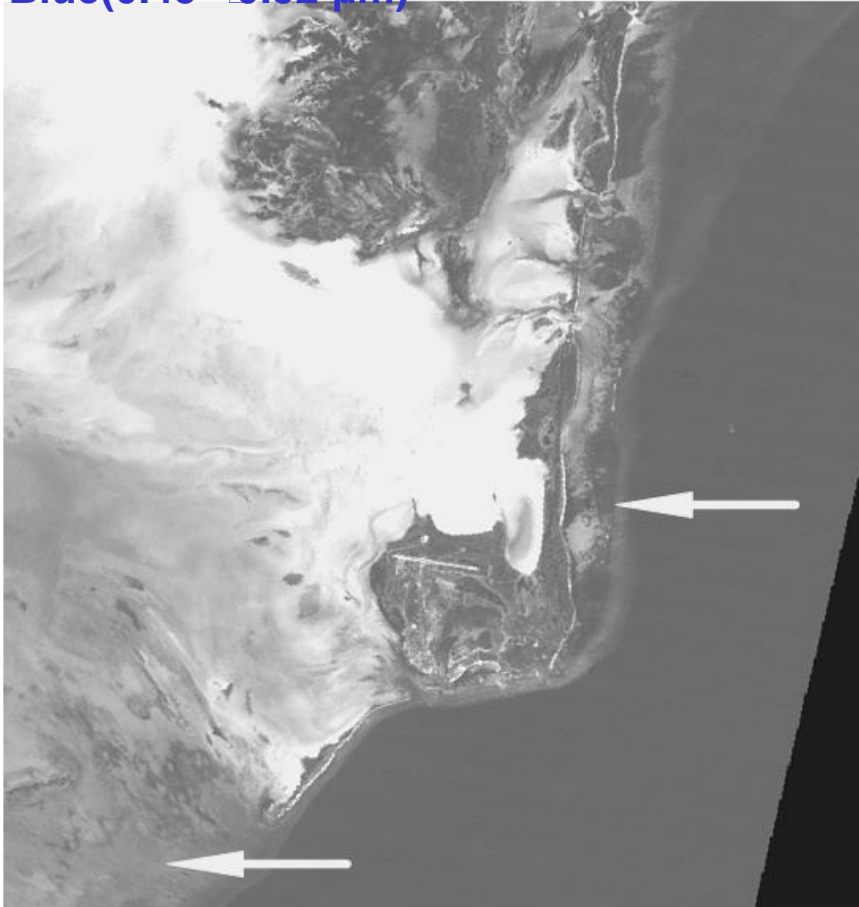
Δύο βήματα:

1. Υπολογισμός ζωνών διείσδυσης του φωτός (ανάλογα με τα διαθέσιμα φασματικά κανάλια).
2. Γραμμική παρεμβολή των βαθών σε κάθε ζώνη.



# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)

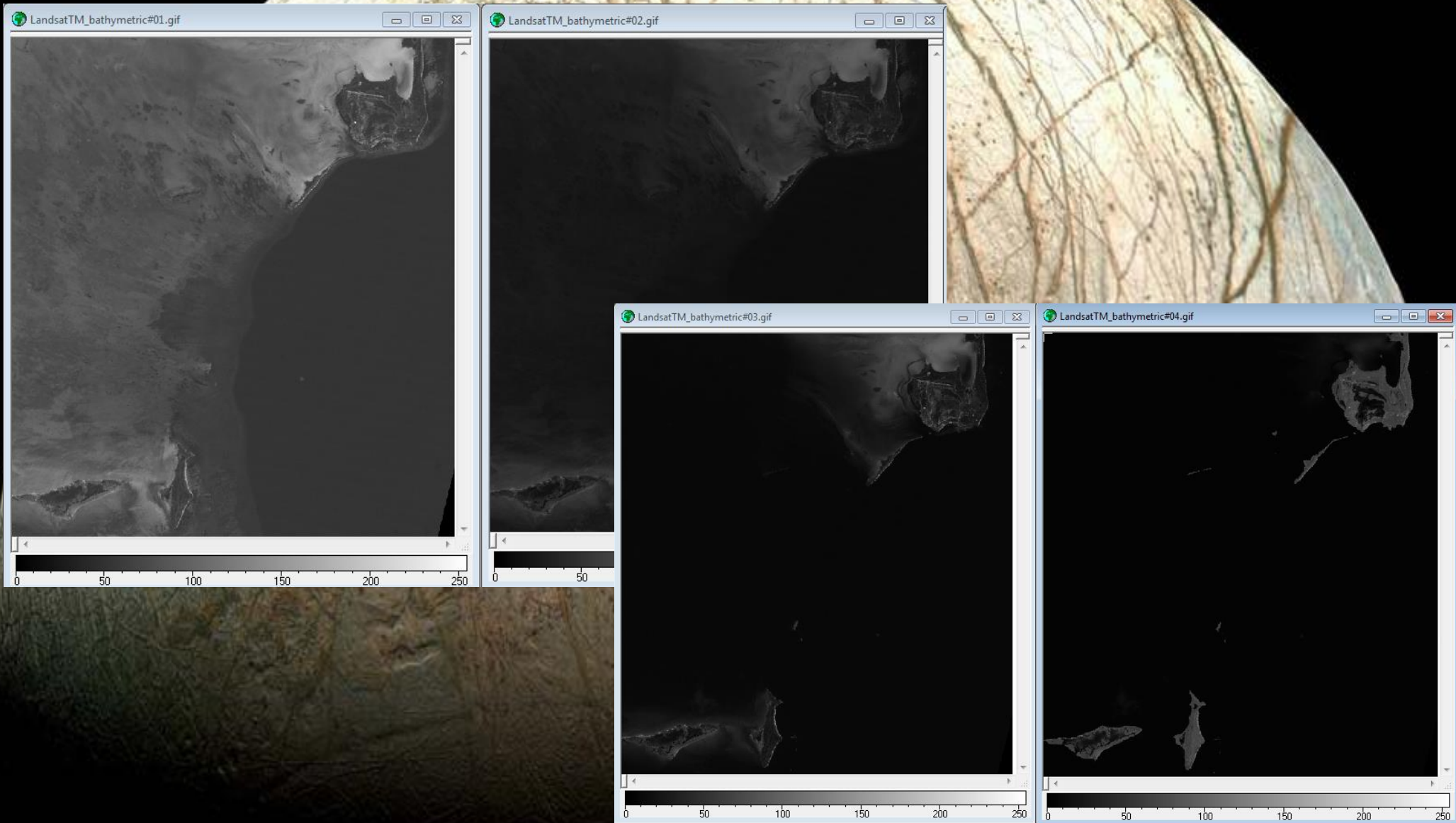
Landsat TM Band #1  
Blue(0.45 -0.52  $\mu\text{m}$ )



Landsat TM Band #4  
Near-Infrared (0.76 -0.90  $\mu\text{m}$ )



# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)



Πηγή: UNESCO, 1999. Applications of Satellite and Airborne Image Data to Coastal Management, Third Edition, Coastal Region and small island papers, 18, UNESCO, Paris, vi + 253 pp. <http://www.noc.soton.ac.uk/bilko/> <http://www.learn-eo.org/>



# Δεδομένα

Lansat 5 TM  
Turks and Caicos  
Day: 22 November 1990,  
14:33 GTM, 9:33 Τοπική, geometrically corrected

## Thematic Mapper (TM)

Seven spectral bands, including a thermal band:

**Band 1 Visible (0.45 - 0.52  $\mu\text{m}$ )**

**Band 2 Visible (0.52 - 0.60  $\mu\text{m}$ )**

**Band 3 Visible (0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$ )**

**Band 4 Near-Infrared (0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$ )**

**Band 5 Near-Infrared (1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$ )**

**Band 6 Thermal (10.40 - 12.50  $\mu\text{m}$ )**

**Band 7 Mid-Infrared (2.08 - 2.35  $\mu\text{m}$ )**

Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m reflective, 120 m thermal  
Scene size: 170 km x 185 km



## Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jurp 1988)

Δημιουργία Ζώνης «βάθους διείσδυσης» για κάθε κανάλι

Μέγιστα βάθη για Landsat MSS του Great Barrier Reef

Green light (band #1 0.50 – 0.60  $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  15m

Red light (band #2 0.60 – 0.70  $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  5m

Near infra-red (band #3 0.70 – 0.80  $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  0.5m

Infra-red (band #4 0.80 – 1.10  $\mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  0m

Μία ζώνη για βάθη όπου το πράσινο μπορεί να διεισδύσει αλλά όχι το κόκκινο  
(Ζώνη 1: 5-15m).

Μία ζώνη για βάθη όπου το κόκκινο μπορεί να διεισδύσει αλλά όχι το κοντινό  
υπέρουθρο (Ζώνη 2: 0.5-5m).

Μία ζώνη για βάθη όπου το κοντινό υπέρυθρο μπορεί να διεισδύσει αλλά όχι το  
υπέρουθρο (Ζώνη 3: 0-0.5m).

## Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jurp 1988)

### Τρεις Παραδοχές:

1. Η εξασθένιση του φωτός ακολουθεί μια εκθετική συνάρτηση του βάθους,
2. Η ποιότητα του θαλασσινού νερού (κατά συνέπεια και ο συντελεστής εξασθένησης  $k$ ) δεν μεταβάλλεται σε μια απεικόνιση,
3. Το χρώμα (κατά συνέπεια και οι ιδιότητες ανακλαστικότητας) του υποστρώματος δε μεταβάλλεται.



# Δεδομένα πεδίου - βιβλιογραφικά

## Echo-sounder → cm accuracy

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	Depth	Tide height	Depth below datum	Depth at	DN values						Depth	DN		
2	(m)	(m)	(m)	overpass (m)	TM#1	TM#2	TM#3	TM#4						
3	25.00	0.30	24.70	25.35	61	15	8	4						
4	23.00	0.45	22.55	23.20	61	15	10	4						
5	20.70	0.31	20.39	21.04	57	15	9	4						
6	20.60	0.24	20.36	21.01	60	16	9	4						
7	20.00	0.20	19.80	20.45	59	15	9	4						
8	20.00	0.51	19.49	20.14	62	16	9	4	> V deep max					
9	20.00	0.56	19.44	20.09	59	17	8	4	<= V deep max					
10	20.00	0.56	19.44	20.09	57	14	10	4						
11	18.50	0.45	18.05	18.70	56	14	9	4						
12	18.00	0.30	17.70	18.35	66	16	9	4						
13	18.00	0.56	17.44	18.09	58	15	9	4						
14	17.50	0.17	17.33	17.98	58	14	9	4						
15	17.75	0.74	17.01	17.66	64	15	10	3						
16	17.50	0.51	16.99	17.64	61	16	11	4						
17	17.50	0.51	16.99	17.64	62	16	9	4						
18	17.50	0.51	16.99	17.64	62	16	8	4						
19	17.34	0.68	16.66	17.31	66	15	9	4						
20	16.75	0.74	16.01	16.66	63	15	9	3						
21	16.00	0.50	15.50	16.15	61	15	9	4						
22	15.80	0.61	15.19	15.84	64	15	9	4						
23	15.80	0.61	15.19	15.84	64	15	9	4						
24	15.00	0.39	14.61	15.26	68	17	9	4						
25	14.50	0.17	14.33	14.98	60	15	8	4		Depth	DN			
26	14.50	0.45	14.05	14.70	58	14	9	4		13,14	20			
27	14.50	0.50	14.00	14.65	65	17	10	4		13,14	19			
28	14.00	0.45	13.55	14.20	62	16	9	4		15,26	17			
29	14.00	0.70	13.30	13.95	64	16	10	3		14,65	17			
30	13.50	0.30	13.20	13.85	62	16	9	4	> V deep max	13,50	17			
31	13.50	0.45	13.05	13.70	58	16	9	4	= V deep max	14,20	16			
32	13.50	0.65	12.85	13.50	68	16	9	4		13,50	16			
33	13.50	0.65	12.85	13.50	67	17	8	4		13,85	16			
34	13.00	0.39	12.61	13.26	68	17	9	4		13,70	16			
35	13.00	0.39	12.61	13.26	60	15	9	4		13,50	16			
36	13.00	0.50	12.50	13.15	61	16	10	4		13,15	16			
37	13.00	0.50	12.50	13.15	61	15	9	4		13,15	16			
38	13.00	0.50	12.50	13.15	63	16	9	4		12,98	16			
39	13.00	0.51	12.49	13.14	67	19	10	4		12,77	16			
40	13.00	0.51	12.49	13.14	67	20	11	4		12,65	16			
41	12.50	0.17	12.33	12.98	64	16	9	4		12,54	16			
42	12.50	0.38	12.12	12.77	58	16	9	4		12,48	16			
43	12.50	0.50	12.00	12.65	63	16	10	4		12,46	16			
44	12.50	0.61	11.89	12.54	61	16	9	4						
45	12.00	0.17	11.83	12.48	62	16	8	4						
46	12.50	0.69	11.81	12.46	64	16	9	4						

**Table 6.1.** For each band  $i$ , the maximum depth of penetration  $z_i$  is listed for the clear waters of the Great Barrier Reef (Jupp, 1988).

Landsat TM band $i$	Depth of penetration $z_i$
#1	25 m
#2	15 m
#3	5 m
#4	1 m

## Δεδομένα πεδίου

Echo-sounder → cm

GPS (Global Position System) → 18-30 m  
(2012: 7.8 m)

DGPS (Differential Global Position System) → 2-4 m  
(2012: 10 cm)

Landsat TM ανάλυση μετά τη  
γεωμετρική διόρθωση 33 x 33 m

Ανάκλαση στο δέκτη: στόχου, γειτονικών στόχων,  
ατμόσφαιρας (αναφορά μηδενικών τιμών στο υπέρυθρο)

**Χωρικά και ραδιομετρικά σφάλματα**

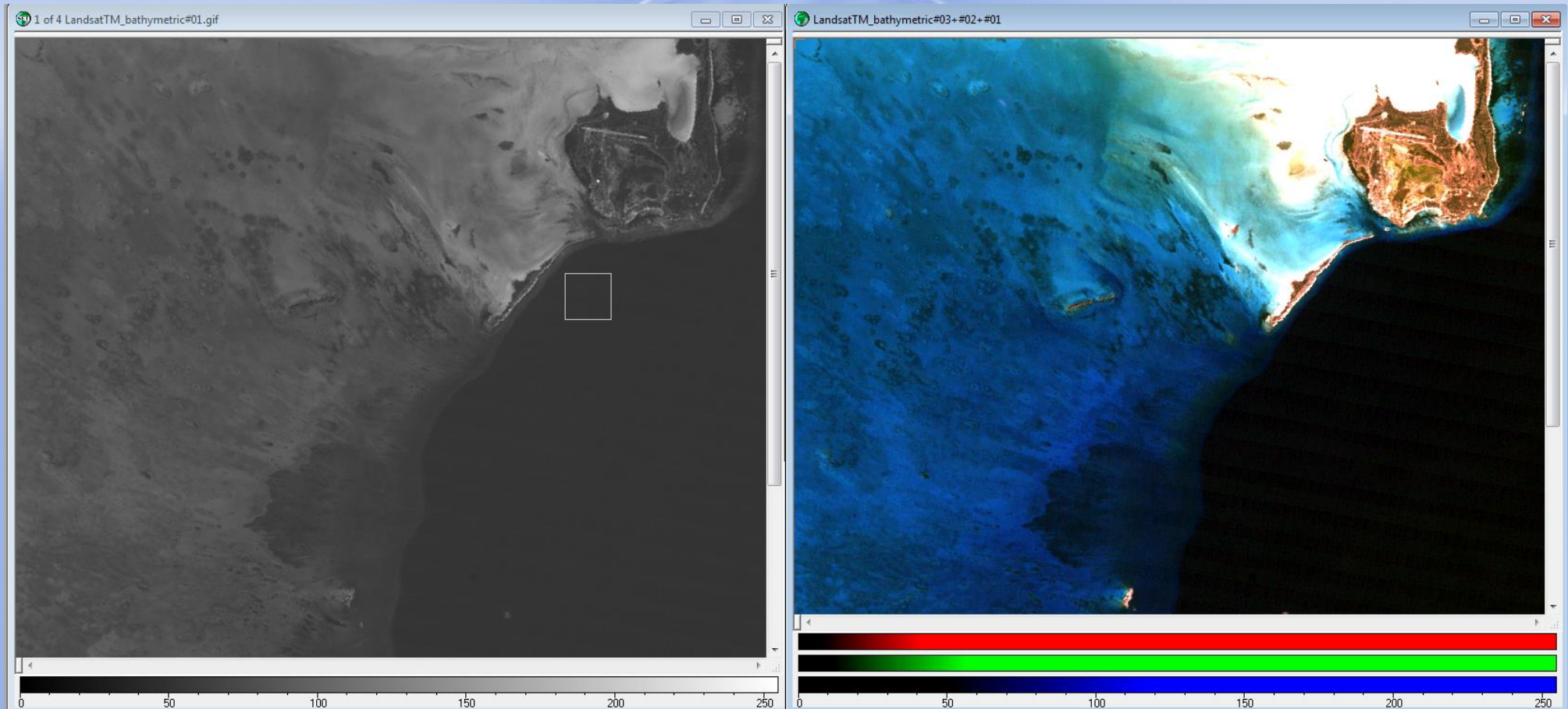


1. Υπολογισμός ζωνών διείσδυσης του φωτός  
(ανάλογα με τα διαθέσιμα φασματικά κανάλια).

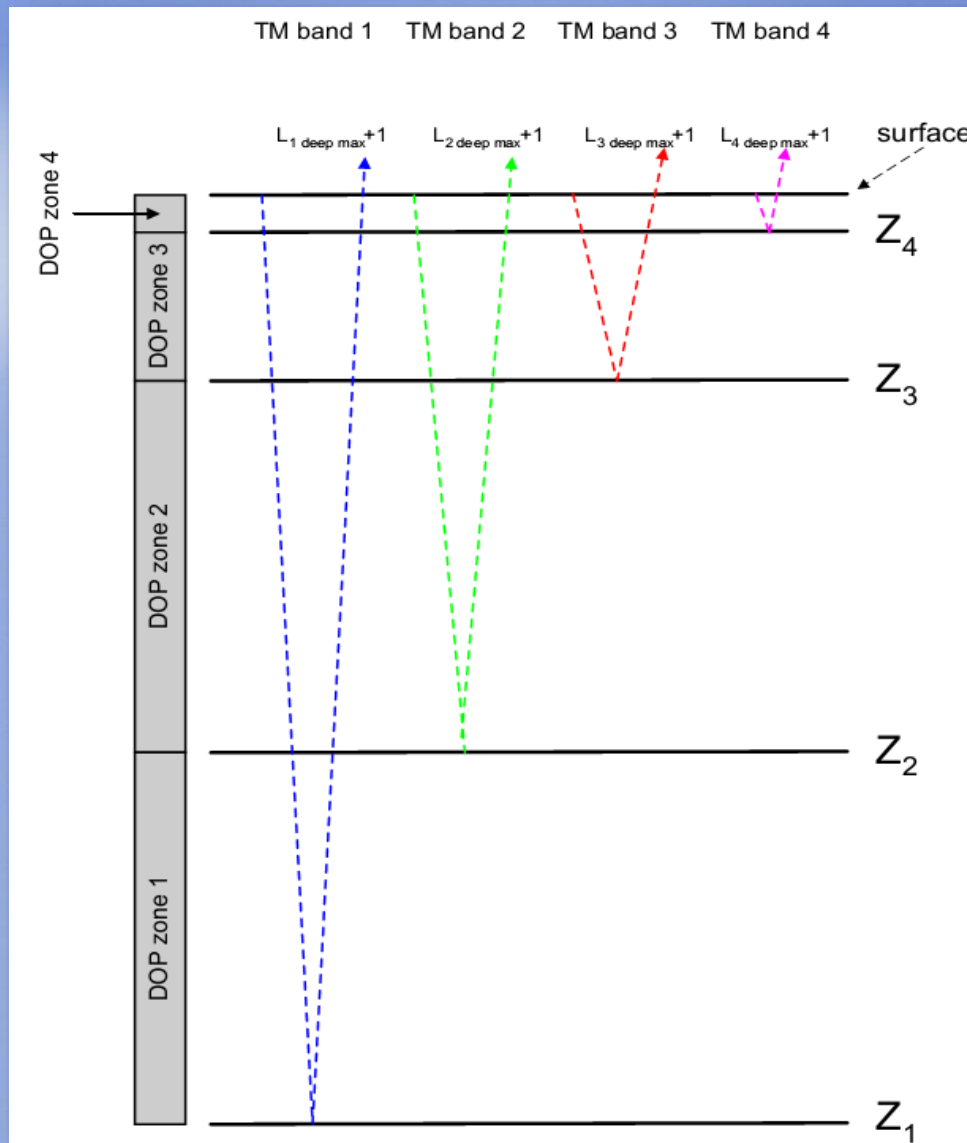


# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jurp 1988)

## Υπολογισμός DN σε μεγάλο βάθος

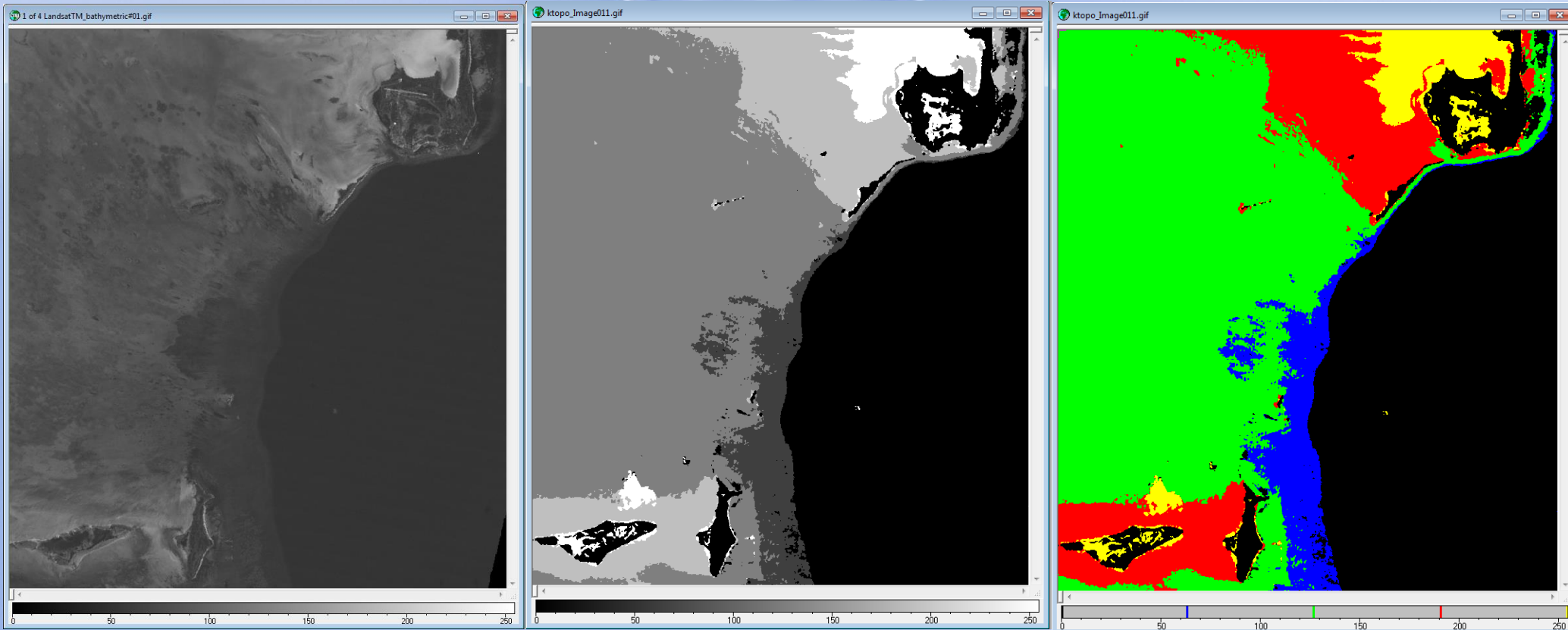


# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)



	Depth	DN		
	20.14	62		
	25.35	61		
	23.20	61		
	21.01	60	Average	
	20.45	59	depths	Z1
> V deep max	20.09	59	21.7	20.8
<= V deep max	21.04	57	19.9	
	20.09	57		
	18.70	56		

# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)





Δύο βήματα:

1. Υπολογισμός ζωνών διείσδυσης του φωτός (ανάλογα με τα διαθέσιμα φασματικά κανάλια).
2. Γραμμική παρεμβολή των βαθών σε κάθε ζώνη.



Μέθοδος εκτίμησης βάθους  
ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)

$$I_d = I_0 e^{-k d}$$

$$z = \frac{(A_i - X_i)}{2k_i}$$

## Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)

$$L_2 = L_{2\text{deepmean}} + (L_{2\text{surface}} - L_{2\text{deepmean}})e^{-2k_2z}$$

$$L_2 - L_{2\text{deepmean}} = (L_{2\text{surface}} - L_{2\text{deepmean}})e^{-2k_2z}$$

$$X_2 = \log_e(L_2 - L_{2\text{deepmean}})$$

$$X_2 = \log_e(L_{2\text{surface}} - L_{2\text{deepmean}}) - 2k_2z$$

for a given bottom type in TM band #2,  $\log_e(L_{2\text{surface}} - L_{2\text{deepmean}})$  will be a constant

$$X_2 = A_2 - 2k_2z$$

$$X_{2\text{min}} = A_2 - 2k_2z_2$$

$$X_{2\text{max}} = A_2 - 2k_2z_3$$



# Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)

$$X_2 = A_2 - 2k_2z$$

$$X_{2\min} = A_2 - 2k_2z_2$$

$$X_{2\max} = A_2 - 2k_2z_3$$

**Table 6.5.**  $L_{i\min}$  and  $L_{i\max}$  for each DOP zone  $i$  derived from Landsat TM image of the Caicos Bank. ( $k_i$  and  $A_i$  are calculated using Equations 6.9 and 6.10 below).

	TM Band #1	TM Band #2	TM Band #3	TM Band #4
DOP zone 1	58 – 69			
DOP zone 2				
DOP zone 3			12 – 53	
DOP zone 4				6 – 42
$k_i$	0.0797		0.4196	1.4722
$A_i$	4.9236		4.6234	3.6376

## Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)

$$X_2 = A_2 - 2k_2z$$

$$X_{2\min} = A_2 - 2k_2z_2$$

$$X_{2\max} = A_2 - 2k_2z_3$$

$$k_2 = \frac{(X_{2\max} - X_{2\min})}{2(z_2 - z_3)}$$

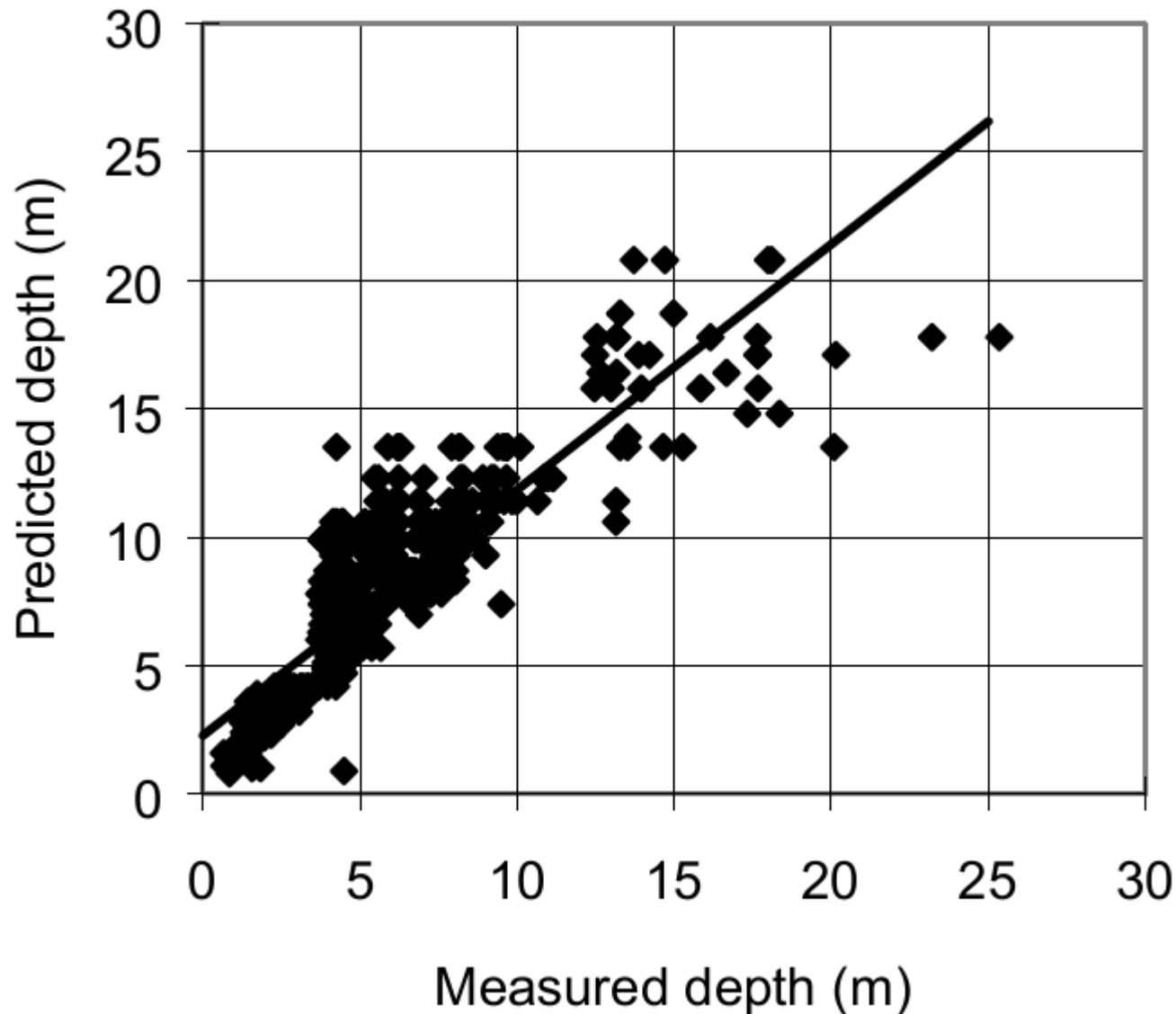
$$X_{2\max} = \log_e(L_{2\max} - L_{2\text{ deep mean}})$$

$$X_{2\min} = \log_e(L_{2\min} - L_{2\text{ deep mean}})$$

$$A_2 = X_{2\min} + 2k_2z_2$$

$$z = \frac{(A_i - X_i)}{2k_i}$$

## Μέθοδος εκτίμησης βάθους ανά ζώνες διείσδυσης του φωτός (Jupp 1988)





# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ