

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)**

Кафедра ЮНЕСКО дистанционного зондирования и моделирования в океанографии

Определение глубины в водах I типа по спутниковым данным



Сычев В.И.

Из числа параметров состояния Финского залива практический интерес представляют цвет морской воды (количественные характеристики хлорофилла “а”, мутности и др.), а также глубина мелководных участков прибрежной зоны

Цвет морской воды

Для определения цвета морской воды из космоса используются данные, главным образом синего, зеленого (красного) каналов, соотношение между которыми определяет значение хлорофилла “а”, растворенного органического вещества и минеральной взвеси.

Алгоритмы для перевода данных о цвете морской воды основаны на сравнении с измеренной концентрацией пигмента хлорофилла в пробах воды, взятых с борта корабля в том же месте и в то же время.

В таком эмпирическом уравнении концентрация хлорофилла “а” в столбе воды рассчитывается, исходя из соотношения излучения L_w , измеренного спутником в двух частотных каналах. Одним из первых получено соотношение для Coastal Zone Color Scanner, (Гордон и др., 1983)

$$C_{13} = 1.1298 \left[\frac{L_w(443)}{L_w(550)} \right]^{-1.71}$$

$$C_{23} = 3.3266 \left[\frac{L_w(520)}{L_w(550)} \right]^{-2.40}$$

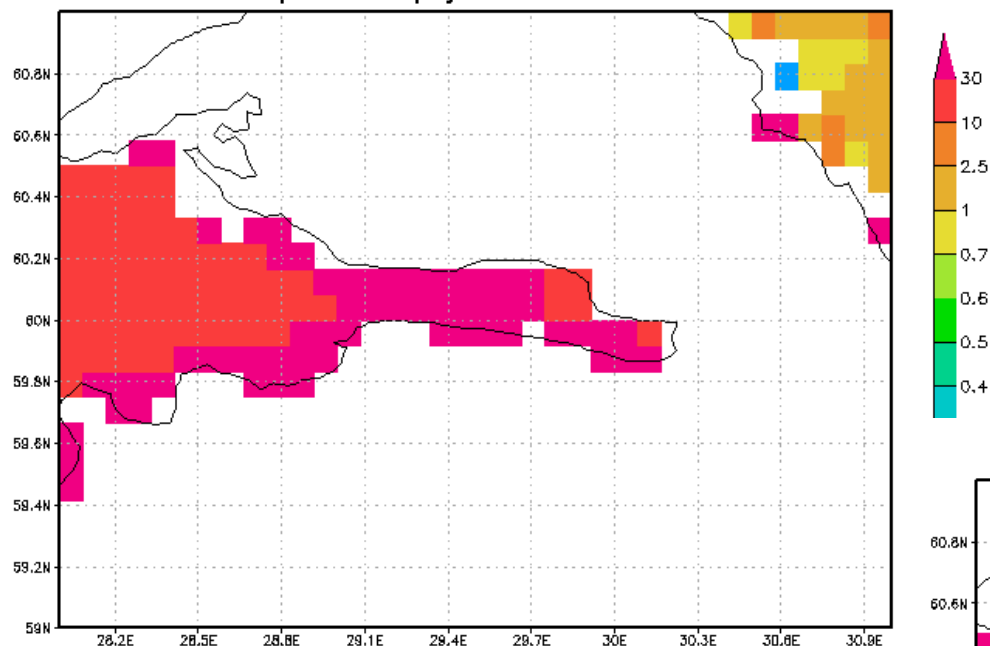
где C – концентрация хлорофилла в поверхностных слоях в мг пигмента /м³, а $L_w(443)$, $L_w(520)$, и $L_w(550)$ излучение на длинах волн 443 (синего канала), 520, и 550 нм (зеленого канала). C_{13} используется при $C_{13} < 1.5$ мг/м³; в других случаях используют C_{23} .

Этот способ позволяет рассчитывать концентрацию хлорофилла с точностью 50% в широком диапазоне от 0,01 до 10 мг/м³

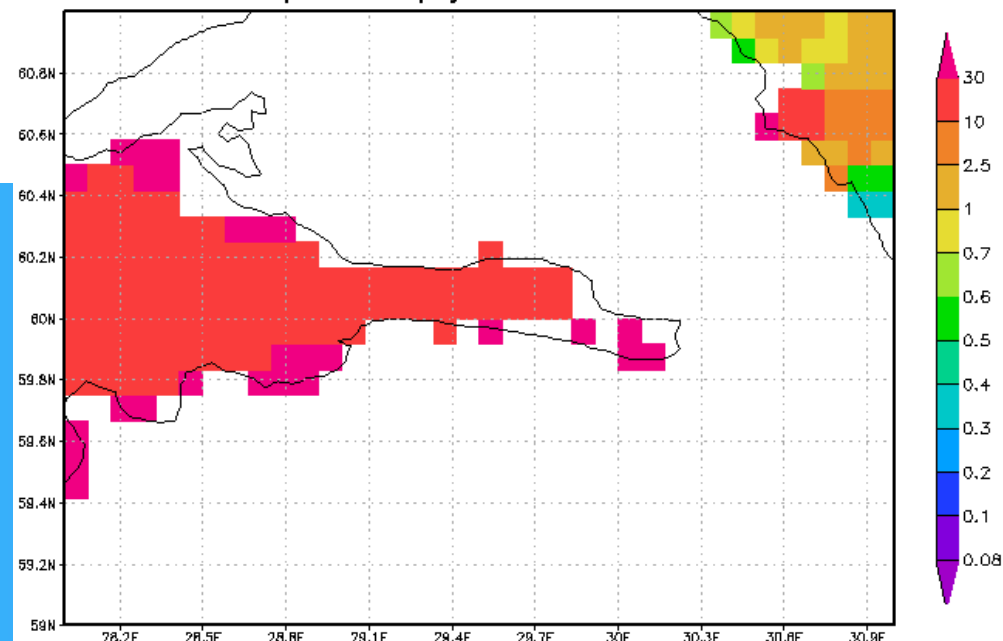
Концентрация хлорофилла в восточной части Финского залива в июле 2006 и 2007 гг.

OBPG MODIS-Aqua Monthly Global 9-km Products

[mg/m³] (Jul2006)
Aqua Chlorophyll a concentration

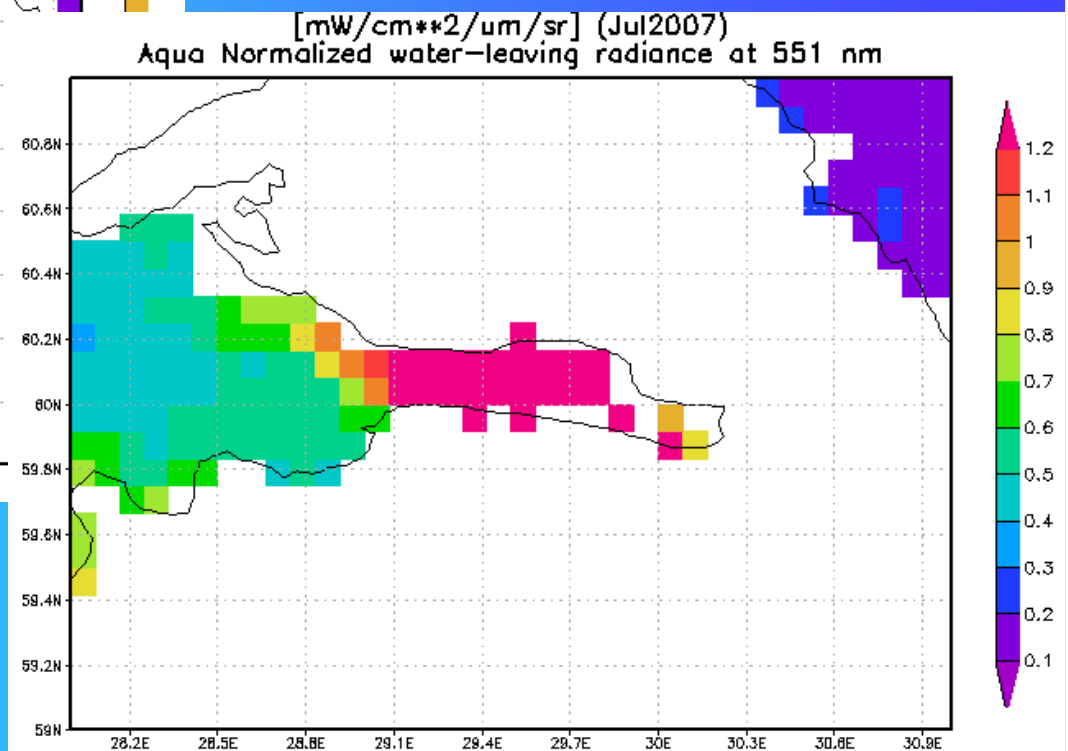
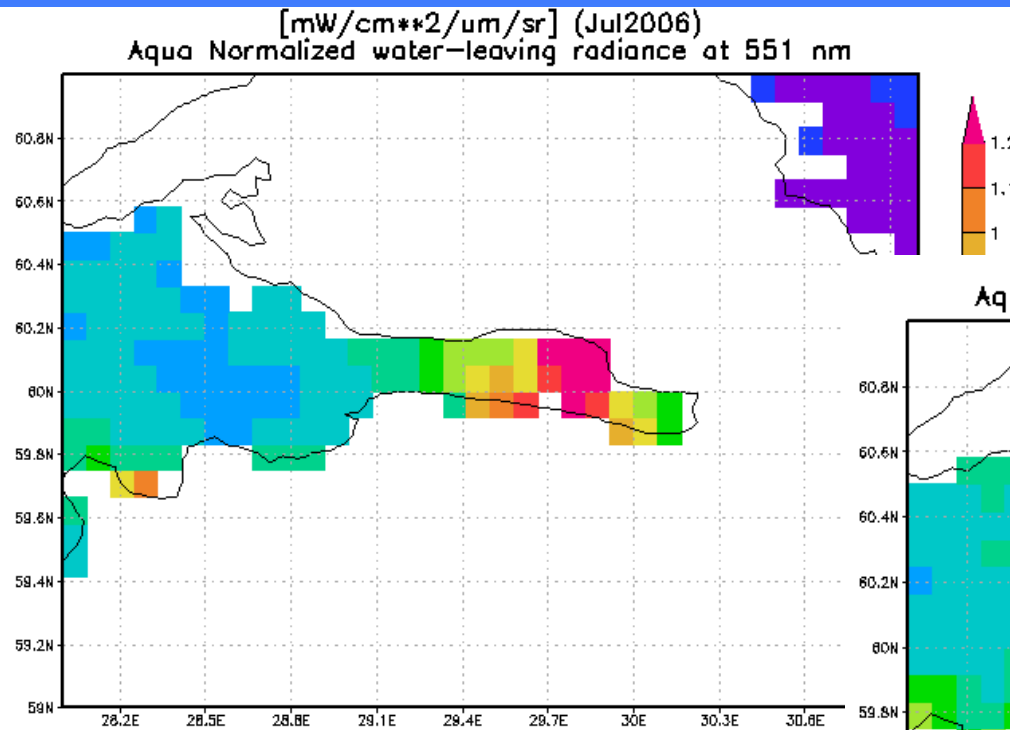


[mg/m³] (Jul2007)
Aqua Chlorophyll a concentration



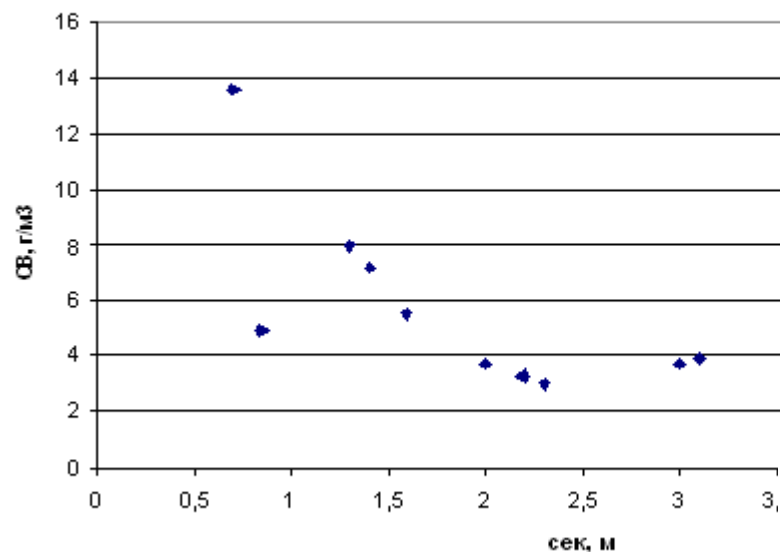
Мутность можно оценить по излучению, рассеянному на взвешенных в воде частицах в диапазоне (например, 551 нм, прибор MODIS спутников Terra и Aqua).

Это может быть минеральная взвесь, детрит, терригенный осадок, фитопланктон и др. В основном в этом диапазоне показано распределение минеральной и детритной компонент взвешенного в воде вещества

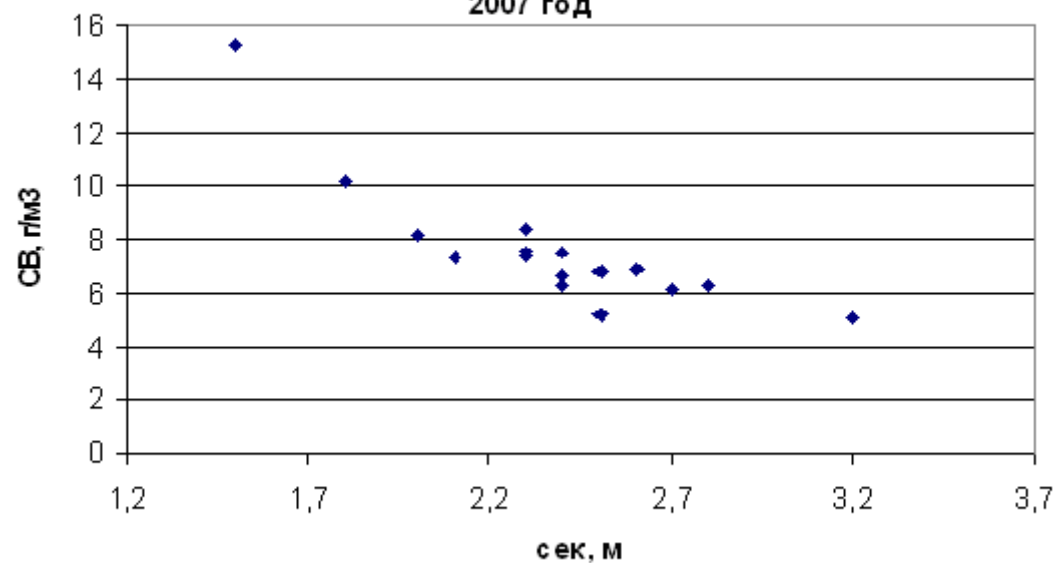


Сравнительная оценка данных в восточной части Финского залива в июле 2006 и 2007 гг.

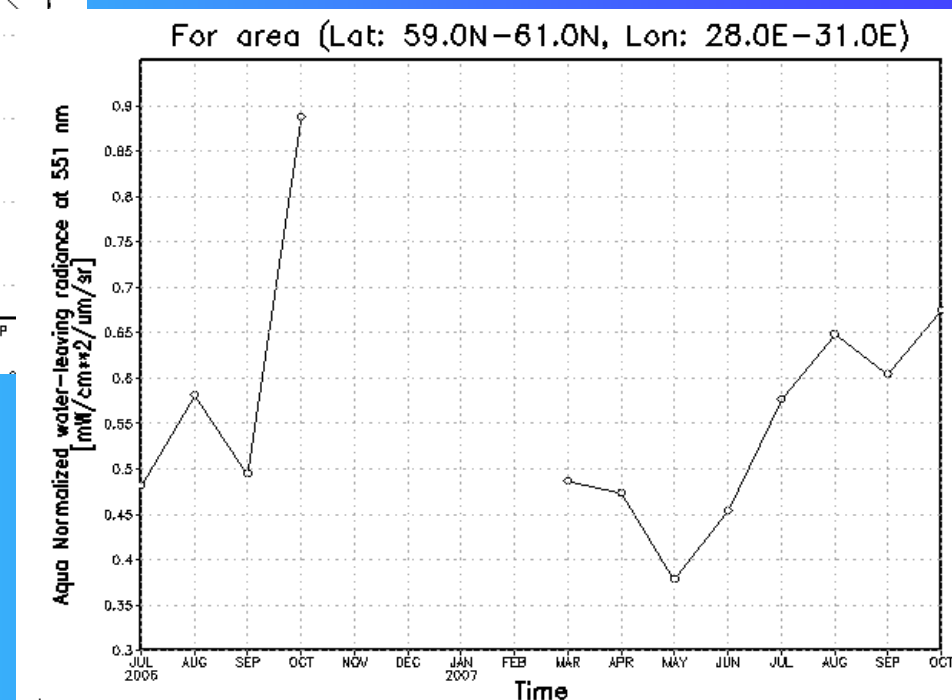
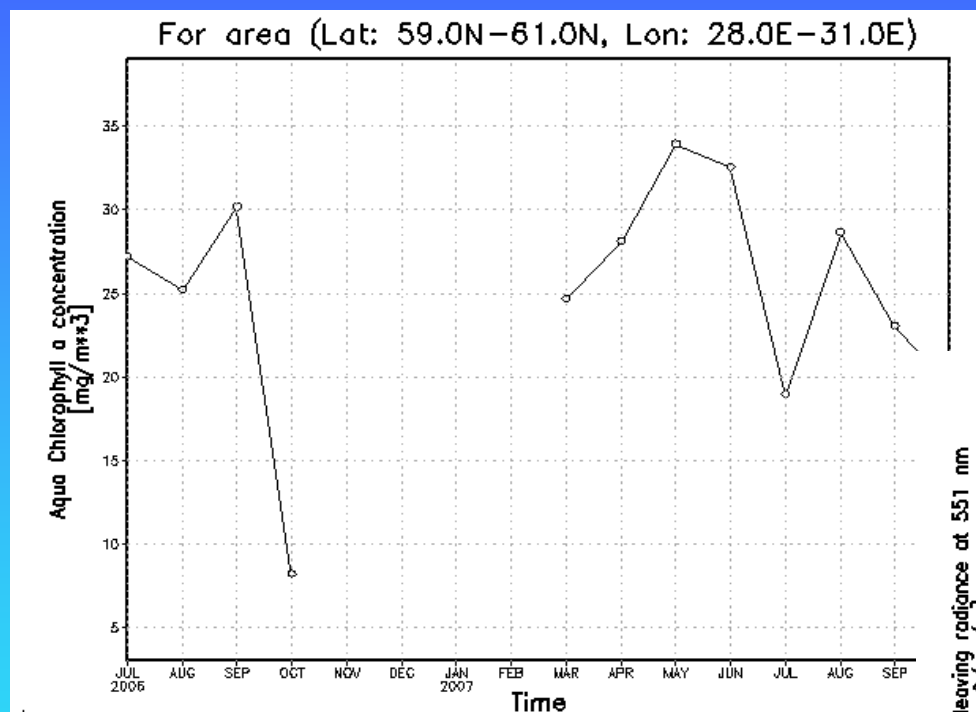
Прозрачность и концентрация взвешенных веществ за 2006 год



Прозрачность и концентрация взвешенных веществ за 2007 год



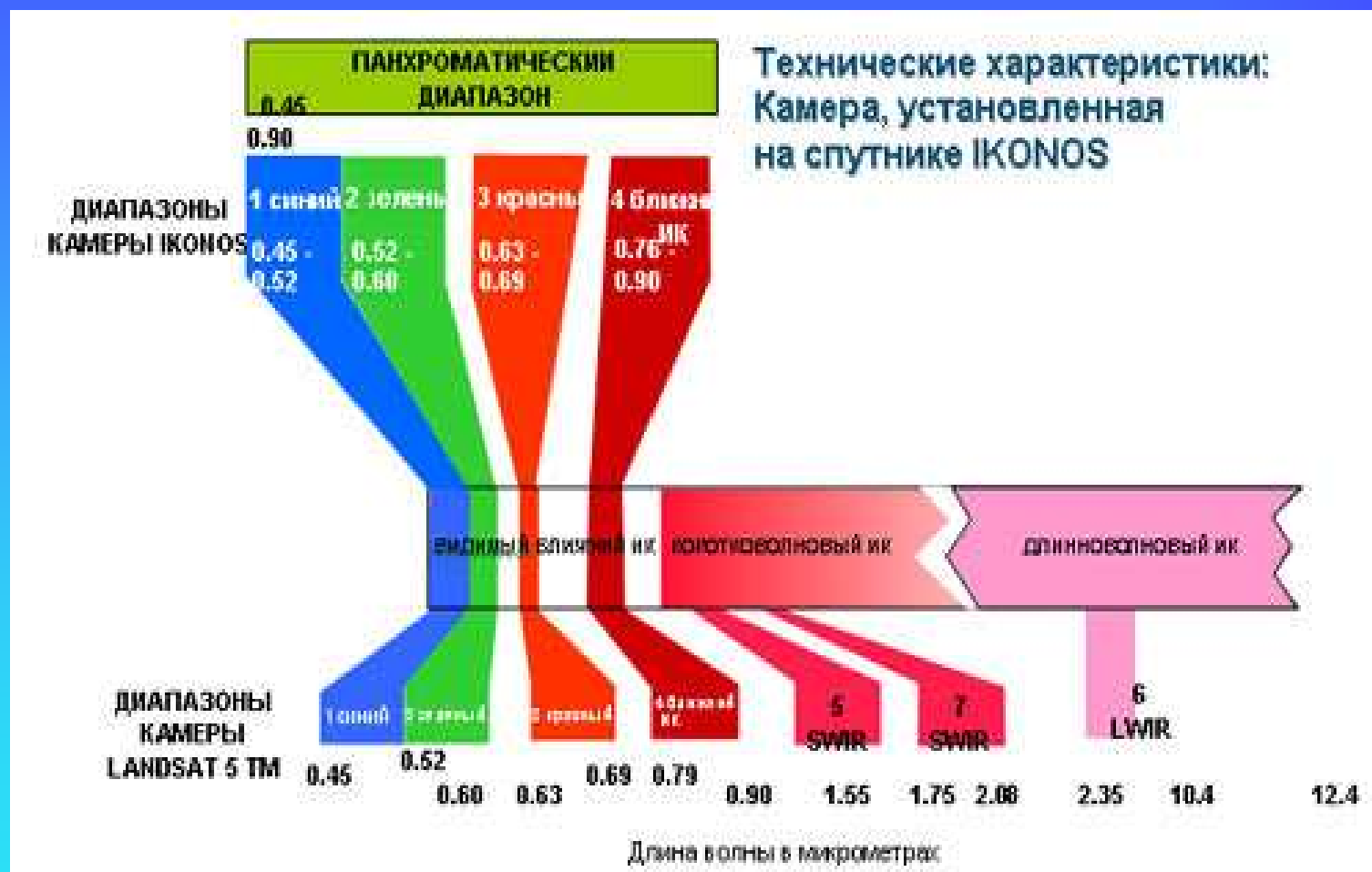
Концентрация хлорофилла и нормализованное восходящее излучение воды в диапазоне 551 нм, в восточной части Финского залива летом 2006 и 2007 гг.



Определение глубины мелководных участков

Информация о глубине по данным ДЗ используется часто используется для восполнения данных (Bullard, 1983; Pirazolli, 1985) для мелководных участков, при определении контуров береговой линии (Джапп и др., 1985) и для навигационных целей. Такая информация не может быть основным источником о неоднородностях рельефа дна. Основным ограничивающий фактор – недостаточно высокое пространственное разрешение. Мелководные участки малых масштабов часто не регистрируются из-за того, что их размеры меньше размера пиксела.

Спутниковые датчики, используемые для определения глубины моря



Принцип измерения глубины

Принцип, используемый при картировании глубин с помощью данных дистанционного зондирования, основан на том, что в зависимости от длины волны излучение проникает в воду на различную глубину:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-pk}$$

I_0 - интенсивность излучения, входящего в слой,

p - путь, пройденный световыми лучами,

k - коэффициент ослабления, зависящий от длины волны.

I_d - интенсивность излучения после ослабления при прохождении слоя воды толщиной d

Уравнение линеаризуется логарифмированием по e

$$\ln(I_d) = \ln(I_0) - 2dk$$

Принцип измерения глубины (метод Лизенга, 1978 г.)

Восходящее излучение R_w определяется как функция альбедо дна

$$R_w = (A_d - R_\infty)\exp(-gz) + R_\infty$$

R_w – нормированное восходящее излучение глубоководных участков,

A_d – альбедо дна

g – функция коэффициента диффузного ослабления для приходящего и восходящего излучения

Глубина z по данным одного диапазона видимого излучения

$$z = g^{-1}[\ln(A_d - R_\infty) - \ln(R_w - R_\infty)]$$

Уточнение производят по комбинации двух каналов в виде уравнения регрессии

$$Z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j$$

где

$$X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)]$$

Метод определения глубины зоны проникновения (ЗП)

Метод Джанпа предполагает, что:

- 1) ослабление света является экспоненциальной функцией глубины,
- 2) качество воды (и следовательно k) не изменяется,
- 3) альбедо дна является постоянным (однородная поверхность)

Анализ данных IKONOS показал, что для различных диапазонов максимальная глубина проникновения в водах I типа:

синий цвет (канал 1: 445-516 нм) - до 30 м,

зелёный цвет (канал 2: 506-595 нм) – до 15 м,

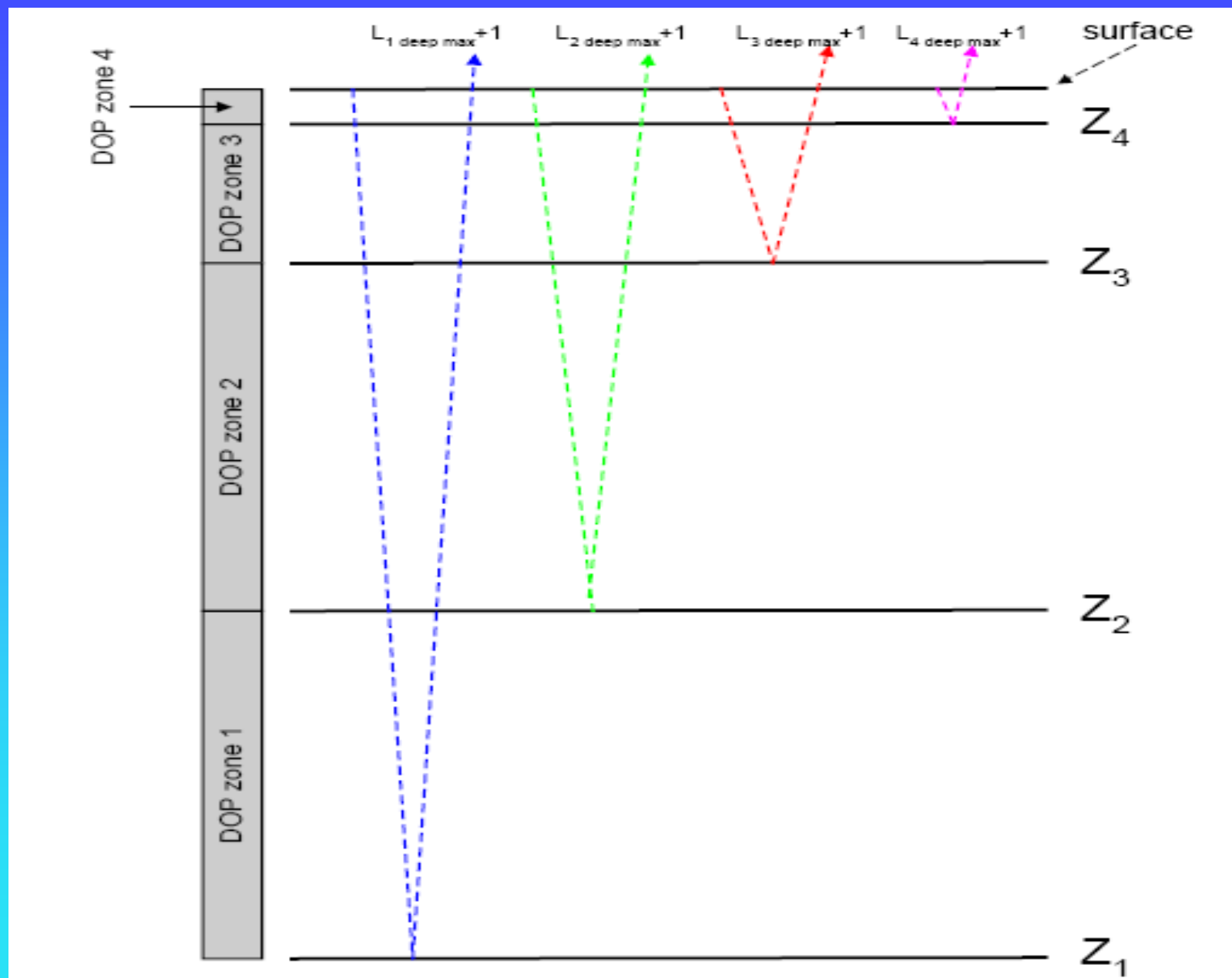
красный цвет (канал 3: 632-698 нм) – до 5 м,

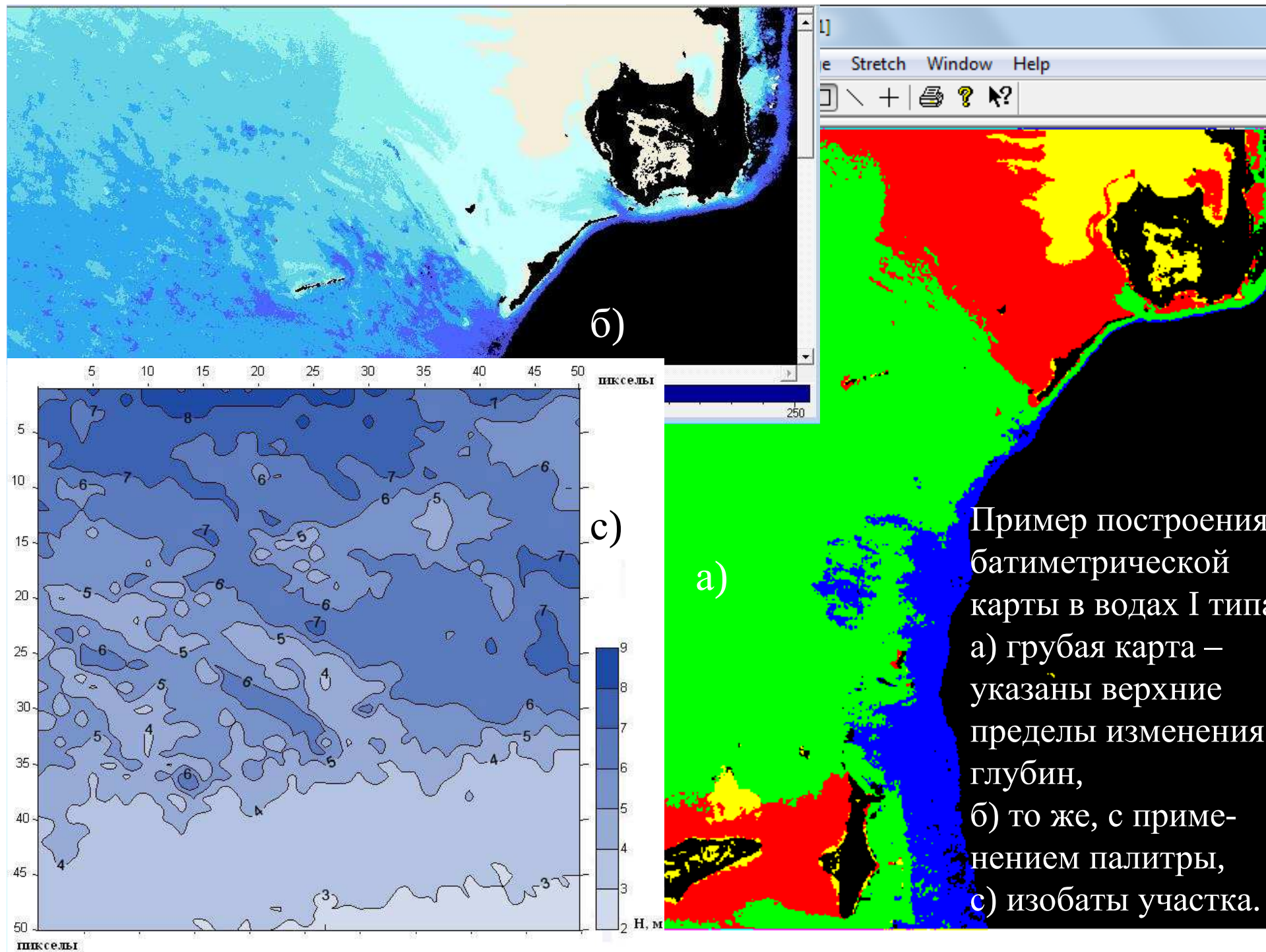
ближний инфракрасный диапазон (канал 4: 757-853 нм) – до 0,5м.

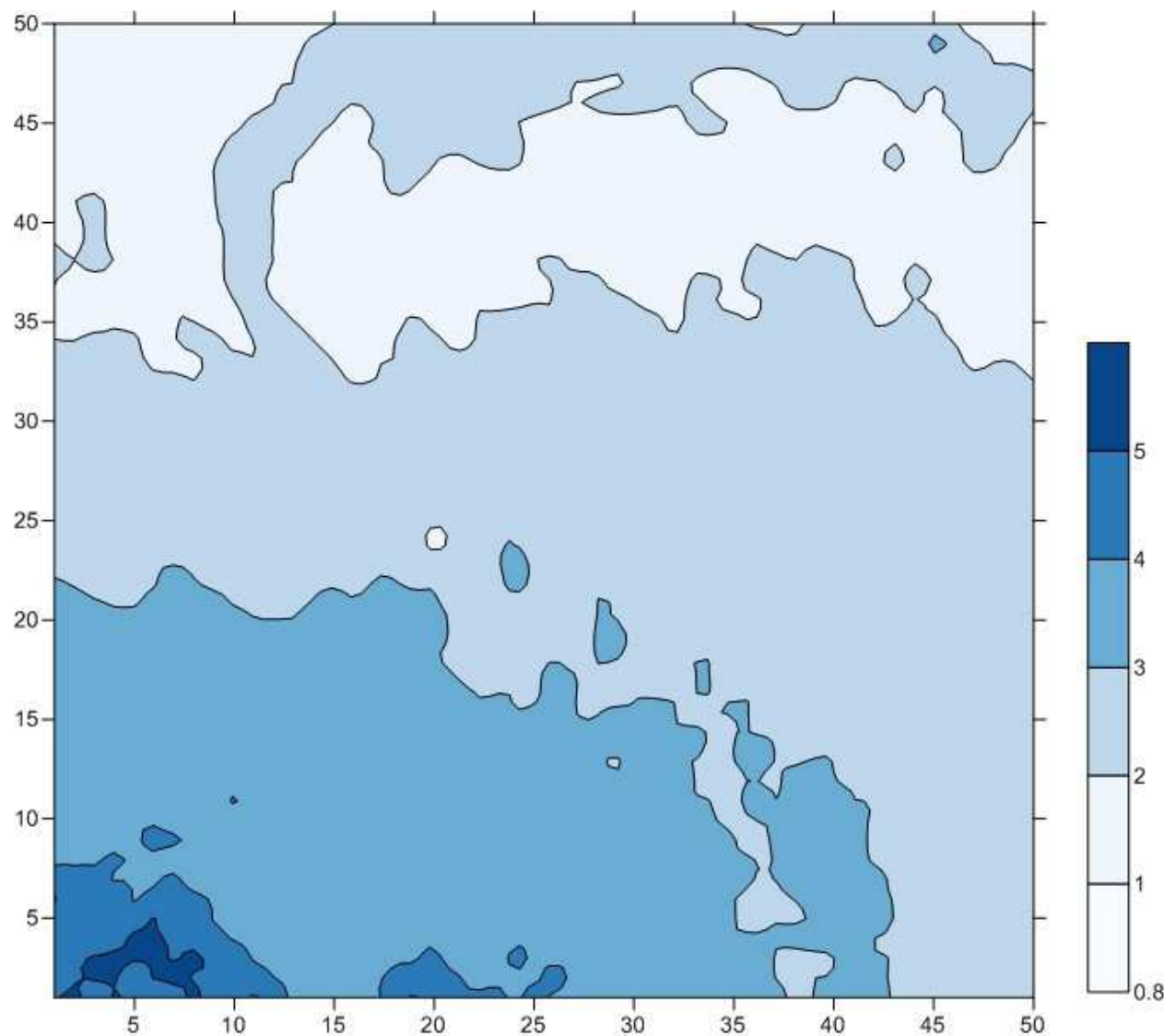
Спектральные характеристики спутников IKONOS и LANDSAT

Многозональные диапазоны	Размер пиксела (м) IKONOS/Landsat	Спектральный диапазон (нм) IKONOS/Landsat
1: Синий	4 / 3.2	445-516 / 450-520
2: Зелёный	4 / 3.2	506-595 / 530-610
3: Красный	4 / 3.2	632-698 / 630-690
4: Ближний ИК	4 / 3.2	757-853 нм / 780-900
Панхроматический	1 / 0,82	526-929

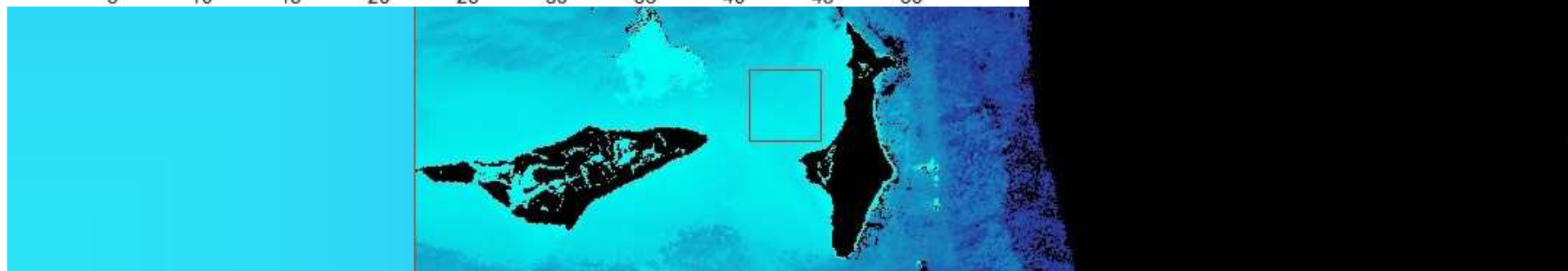
Схема глубин проникновения по Джаппу



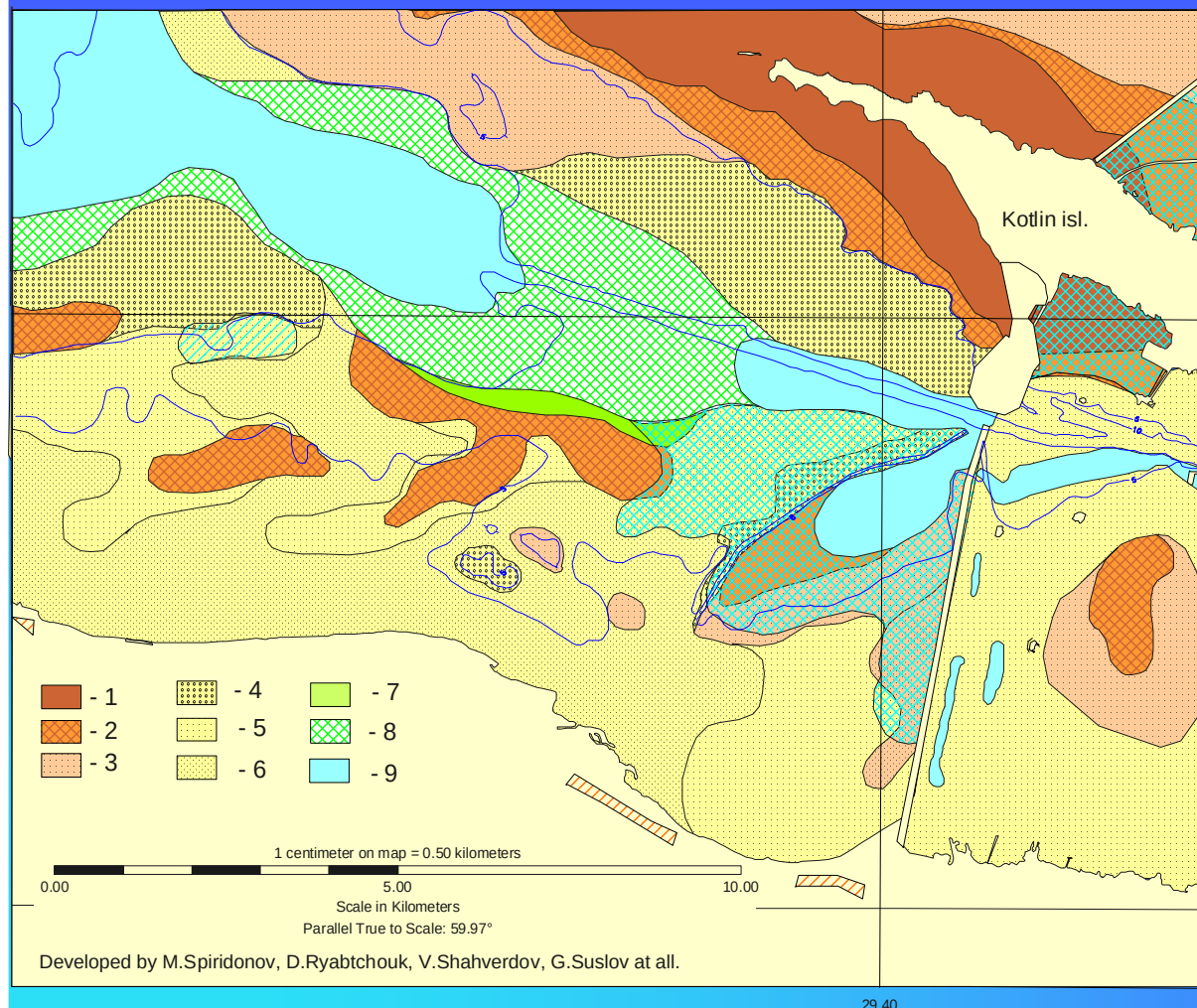




Пример построения
изобат выделенного
участка

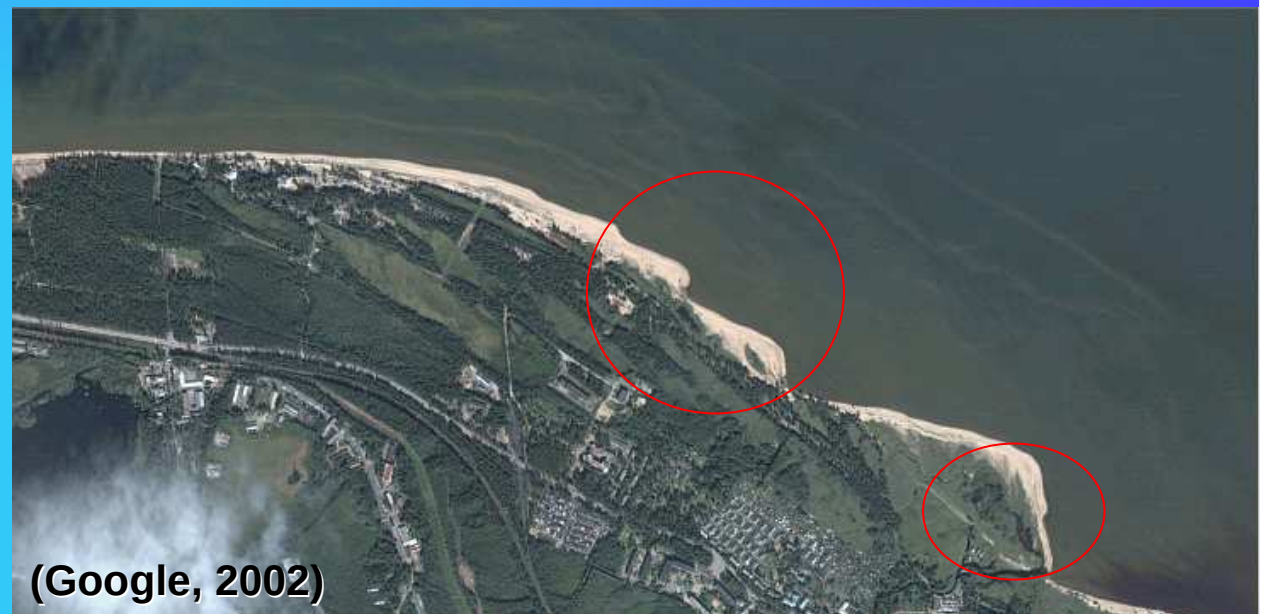
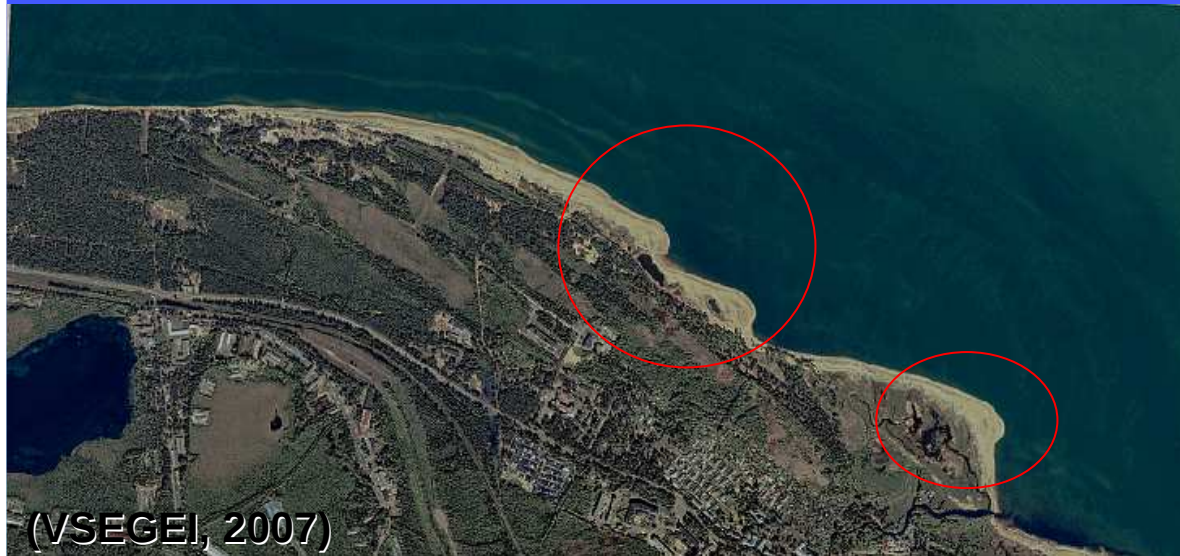


Карта грунтов восточной части Финского залива (по данным VSEGEI, 2005)



- 1 - валуны, галька, гравий;
- 2 - песок с гравием;
- 3 - песок;
- 4 - грубый песок;
- 5 - средний и мелкий песок;
- 6 - мелкозернистый песок;
- 7 - илистый песок;
- 8 - песчано-илистые глины;
- 9 - грязь, илистые глины.

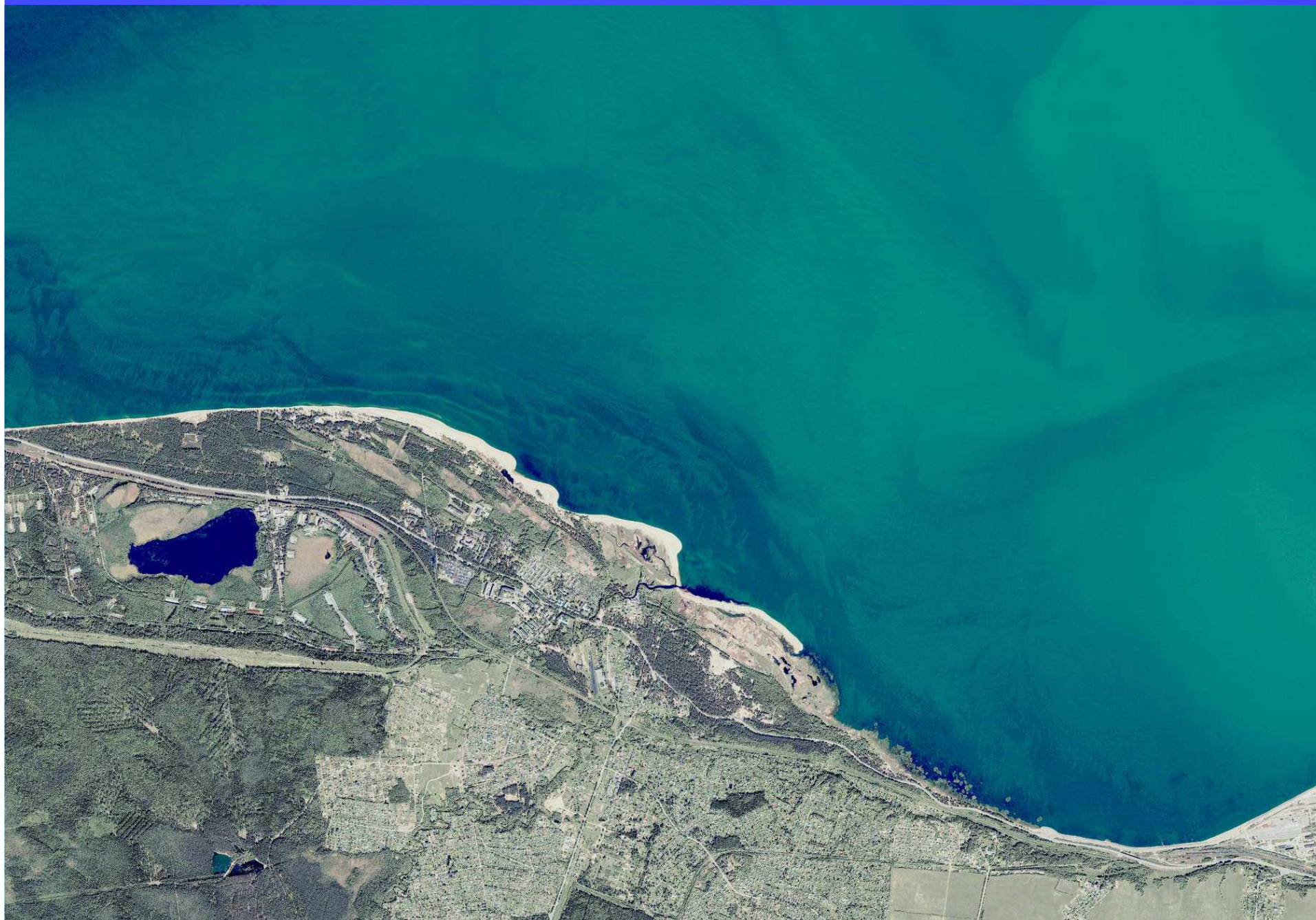
Изменение очертаний береговой линии. Лебяжье.



Исследуемый район. Лебяжье



Исследуемый район. Полигон Лебяжье



3 июня 2007 года, прибор MODIS спутников Aqua и Terra



Исходные изображения

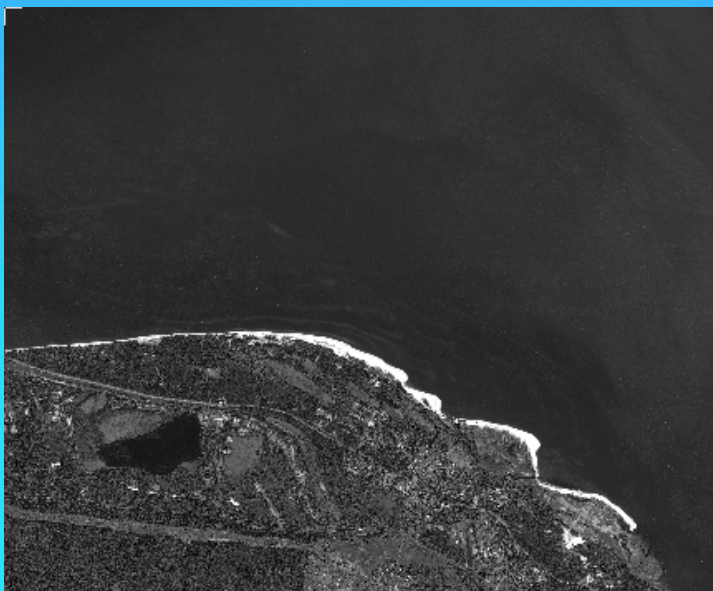
1 канал



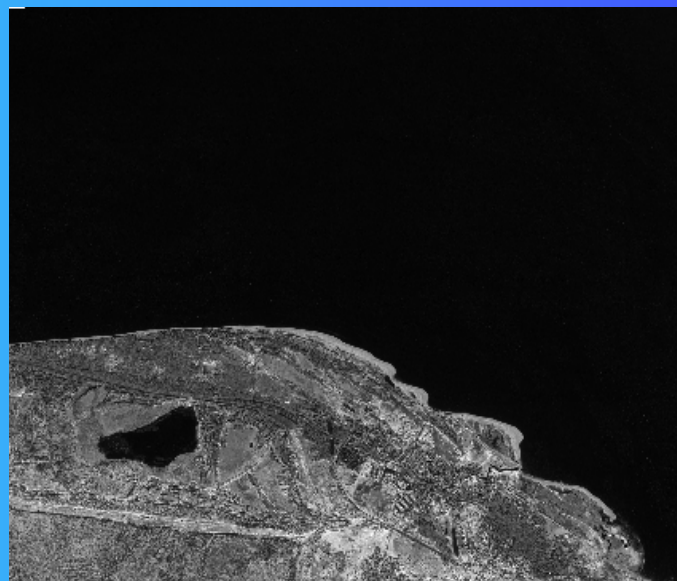
2 канал



3 канал



4 канал



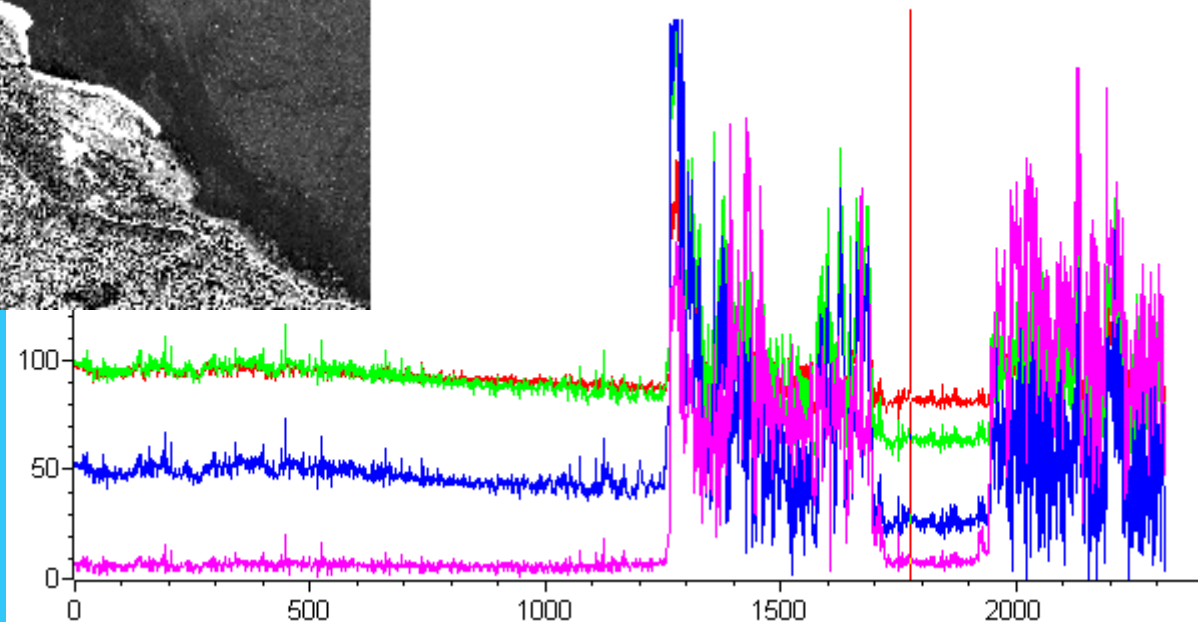
Характеристики восходящего излучения



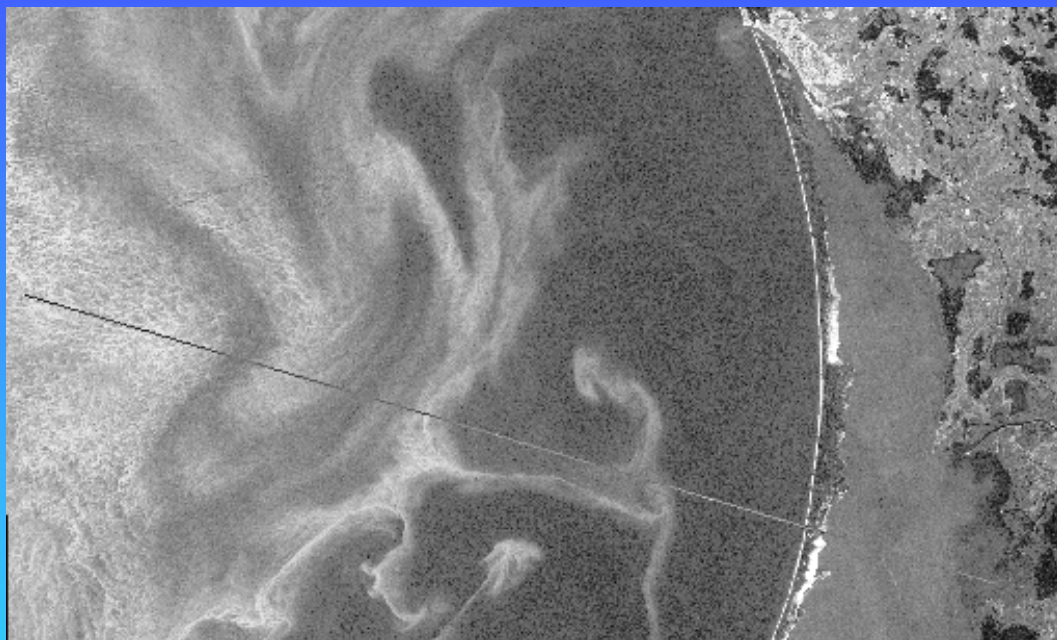
kanal_1 : From (2533, 323) To (218, 2288)
Minimum **Maximum** **Mean value**
61.0000 192.0000 95.1580

Selector

@1 kanal_1

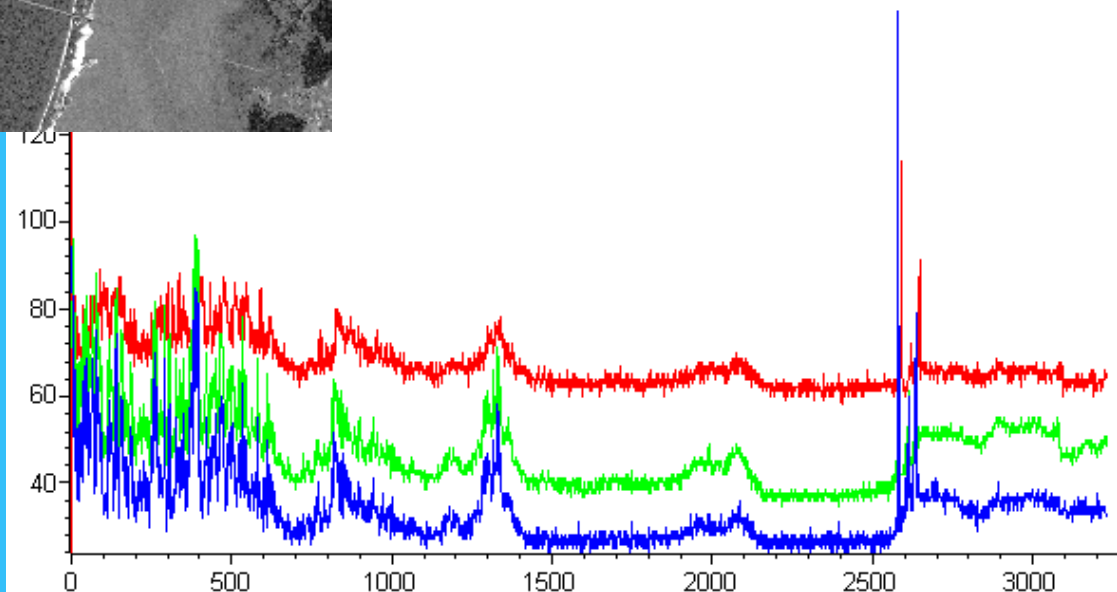


Пример отражательных свойств двух типов вод



channel 1 : From (68, 955) To (3296, 1911)

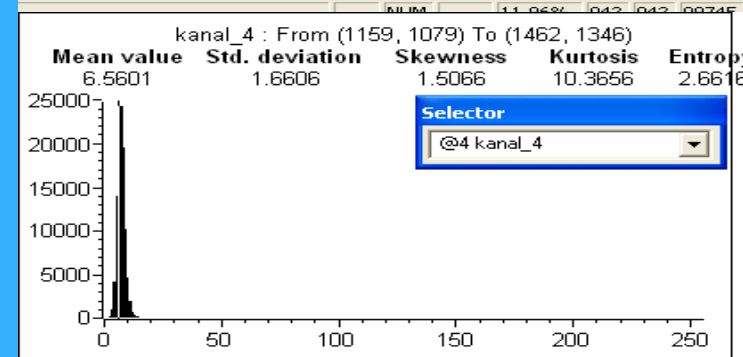
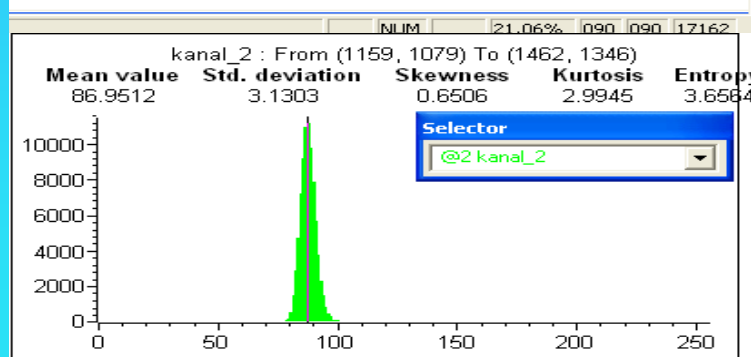
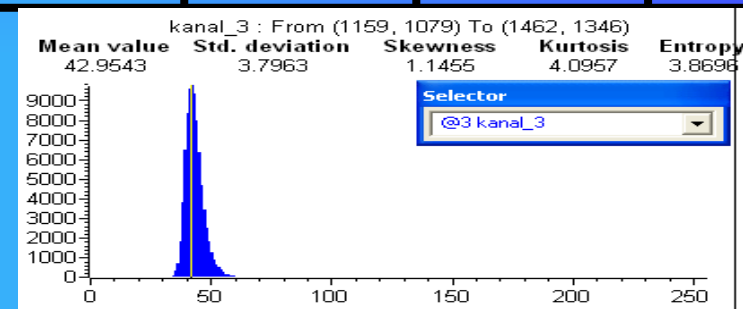
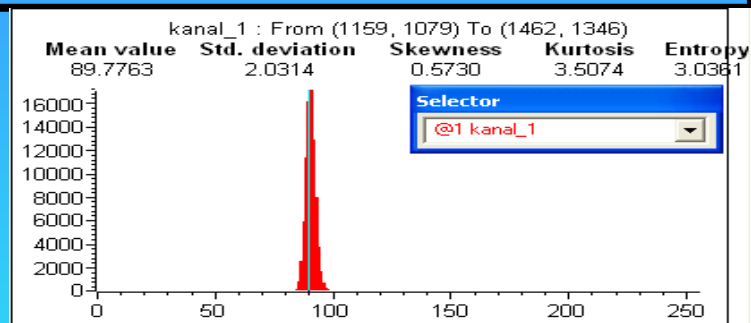
Minimum	Maximum	Mean value
58.0000	114.0000	67.6590



Определение глубины зоны проникновения

Таблица №1. Значение глубоководных пикселей (304×268 пикселей)

	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
Максимальное значение DN $L_{deep\ max}$	90	87	42	6
Минимальное значение DN $L_{deep\ min}$	84	79	35	3
Среднее значение DN $L_{deepmean}$	89,7763	86,9512	42,9543	6,5601



**Таблица №2. Расчёт максимальной глубины
проникновения z_1, z_2, z_3, z_4 в метрах.**

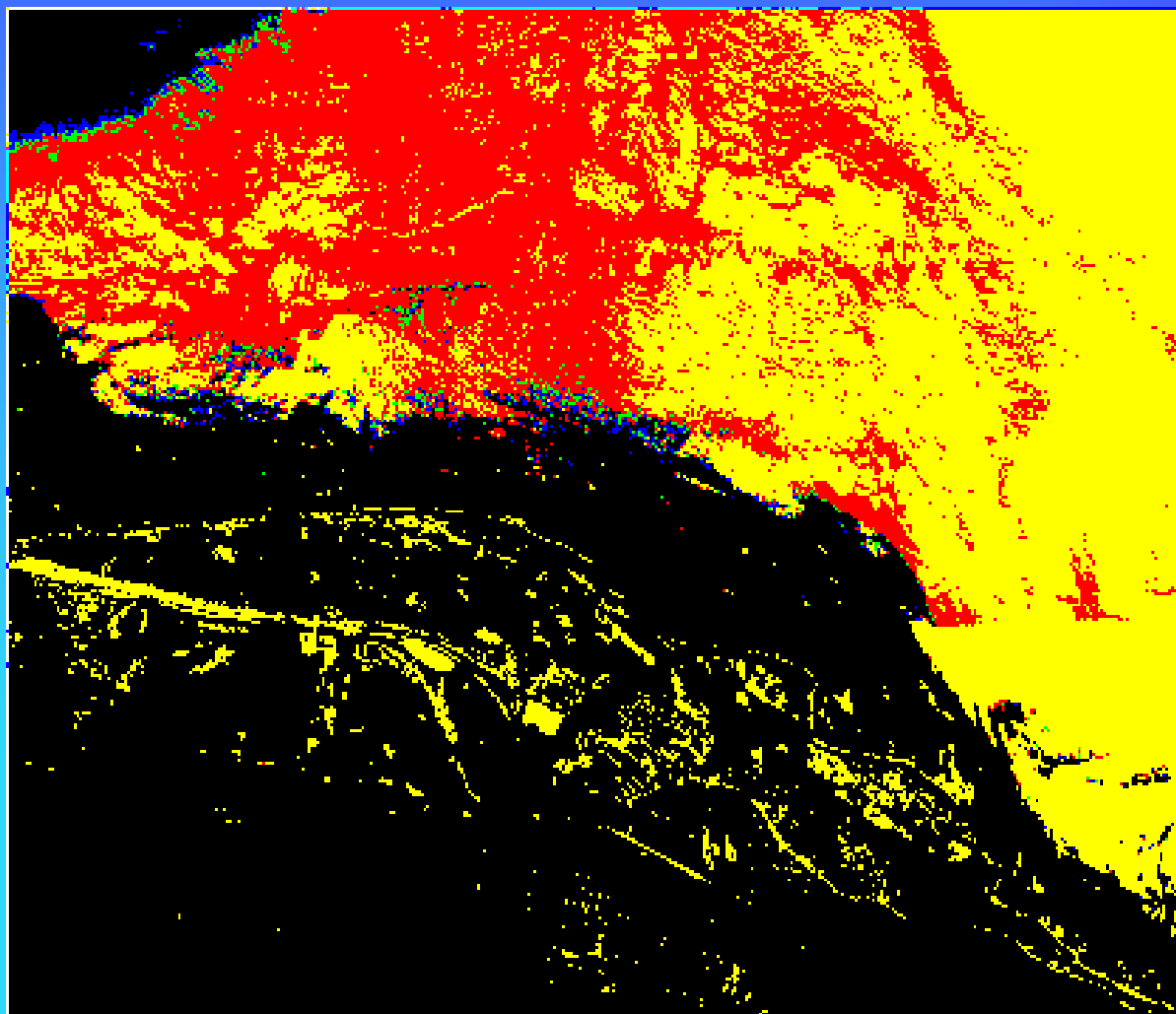
	1	2	3	4
Максимальная глубина пиксела со значением $DN > L_{deep\ max}$	6,87	1,91	1,29	0,84
Минимальная глубина пиксела со значением $DN \leq L_{deep\ max}$	7,97	2,04	1,26	0,78
Средняя глубина пикселей со значением $DN > L_{deep\ max}$	7,41	2,00	1,29	0,84
Средняя глубина пикселей со значением $DN = L_{deep\ max}$	7,43	1,74	1,14	0,76
Максимальная глубина проникновения	8,04	2,03	1,2	0,84

**Таблица №3. Блок-схема для связывания
пикселей с определённой ЗП**

Каналы IKONOS	1	2	3	4	ЗП
Глубоководный максимум DN	90	87	42	6	Глубина >5,5 м
Значение DN (Li) пиксела	≤90	≤87	≤42	≤6	Глубина=4,1-5,5 м (зона 1)
Значение DN (Li) пиксела	>90	≤87	≤42	≤6	Глубина=3-4,1 м (зона 2)
Значение DN (Li) пиксела	>90	>87	≤42	≤6	Глубина=1,2-3 м(зона 3)
Значение DN (Li) пиксела	>90	>87	>42	>6	Глубина=0-1,2 м(зона 4)

Грубая батиметрическая карта

Красным и желтым цветами выделены воды II типа.
Преобладает излучение, рассеянное и отраженное на взвешенных органических и неорганических элементах



Интерполяция глубины зоны проникновения

Таблица 4. Li_{max} и Li_{min} для каждой i -той ЗП изображения, полученного IKONOS. (k_i и A_i рассчитаны по формулам)

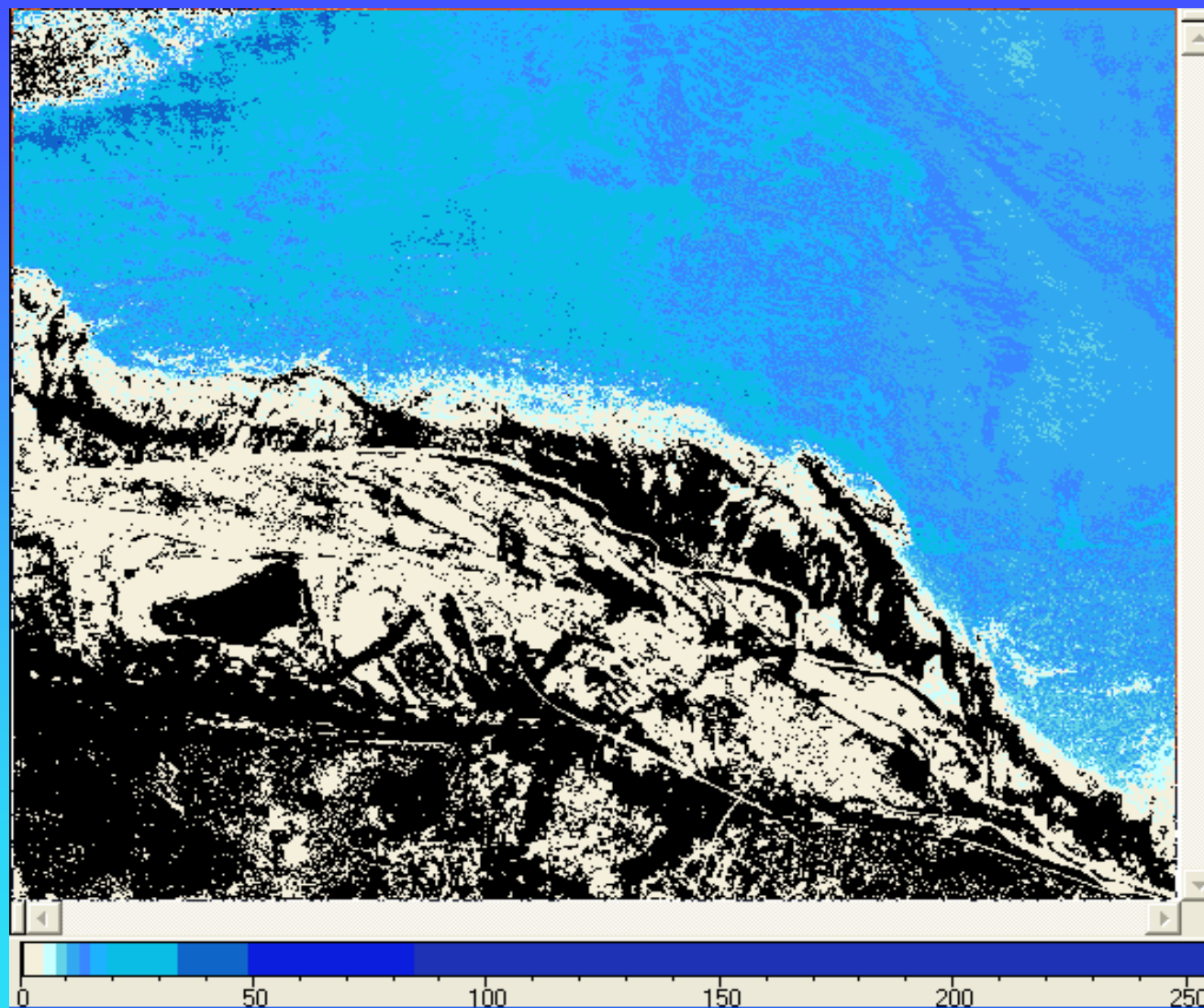
	Канал ТМ 1	Канал ТМ 2	Канал ТМ 3	Канал ТМ 4
ЗП 1	91-93			
ЗП 2		89-92		
ЗП 3			45-57	
ЗП 4				7-164
k_i	0,079009	0,727336	2,140594	3,50015
A_i	1,472344	3,495677	6,238521	5,059044

$$A_2 = X_{2\min} + 2k_2 z_2$$

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

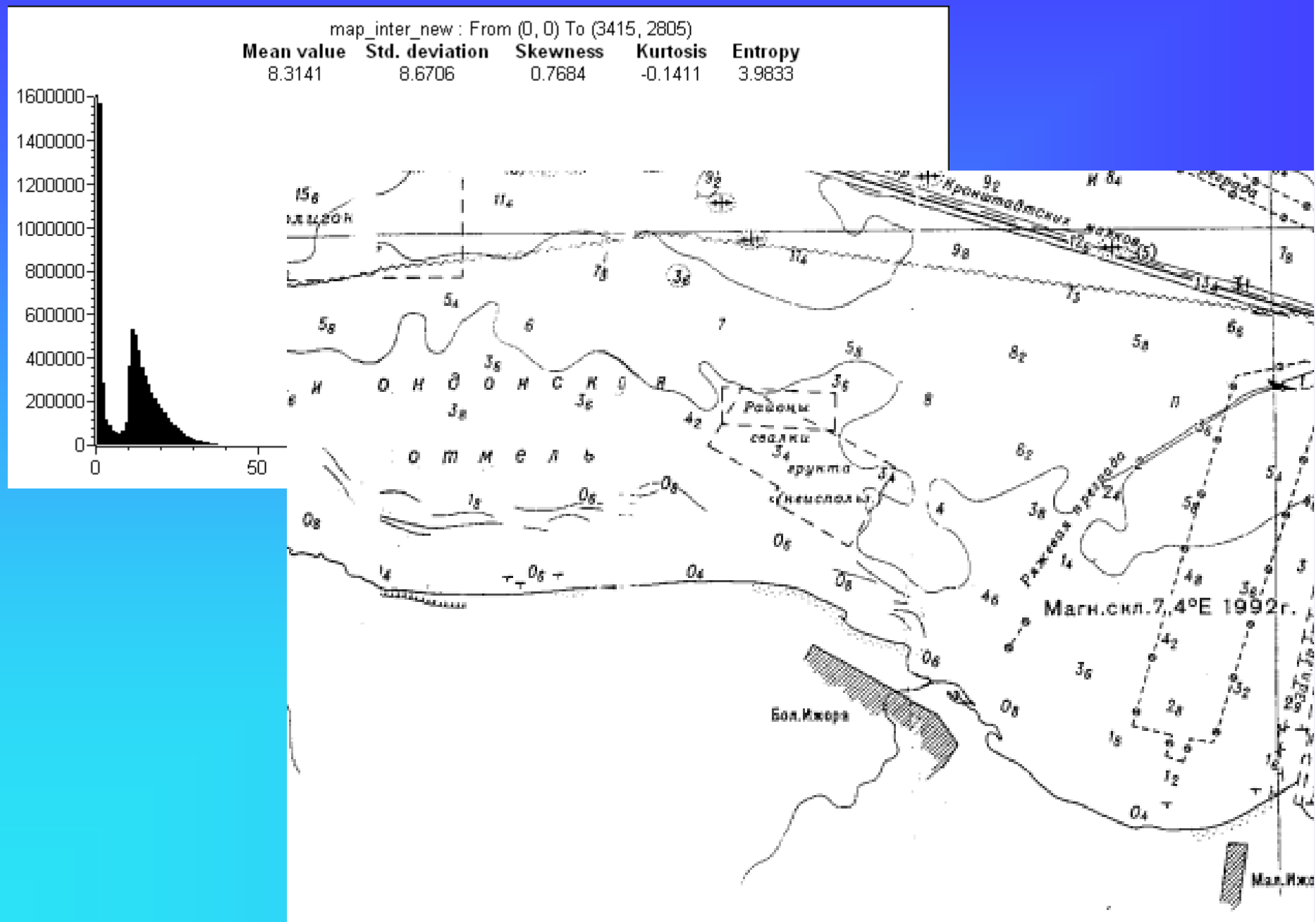
$$z = \frac{(A_i - X_i)}{2k_i}$$

Карта без маски более глубоких районов

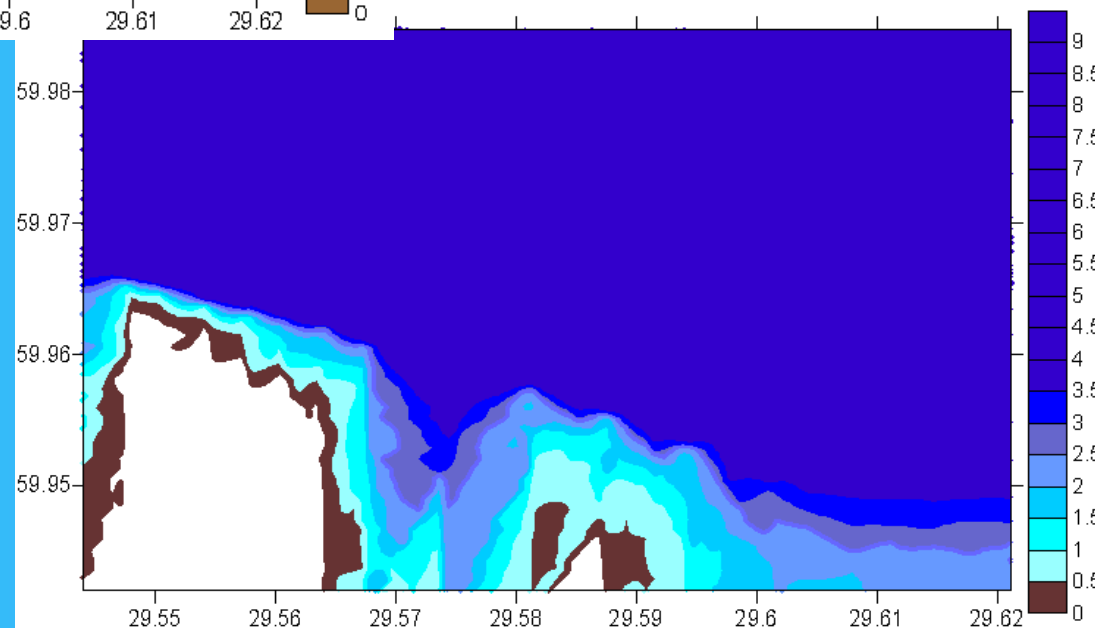
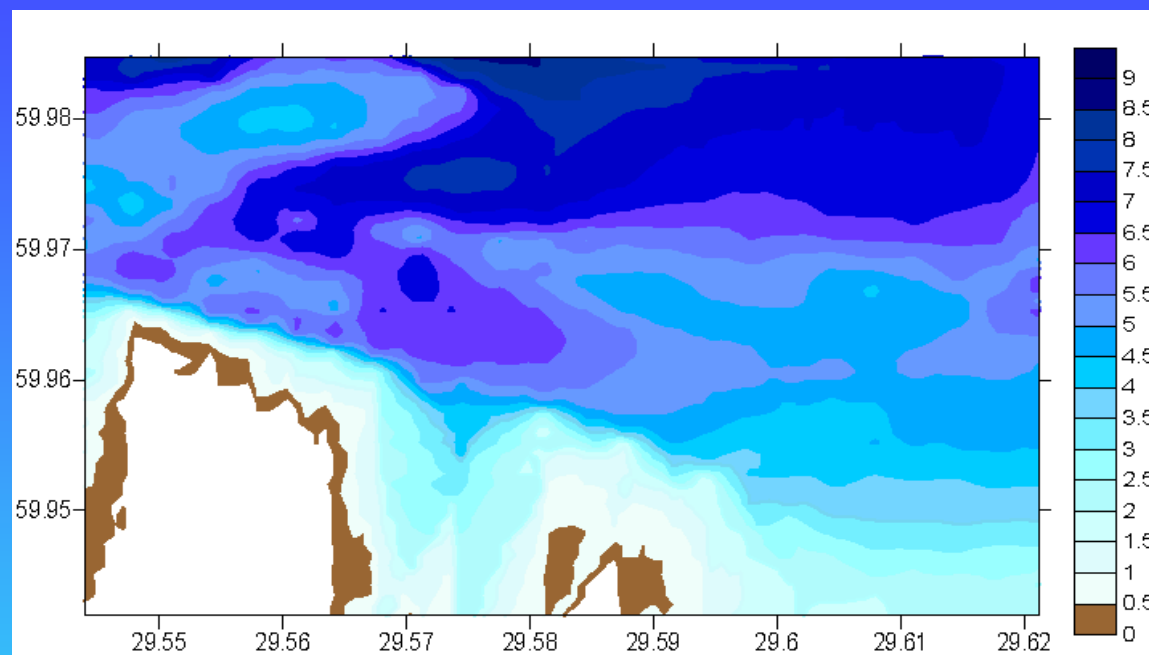


0-0,5м; 0,5-0,8м; 0,8-1м; 1-1,3м; 1,3-1,5м; 1,5-1,9м; 1,9-3,5м; 3,5-5м; 5-8,5м и больше 8,5м.

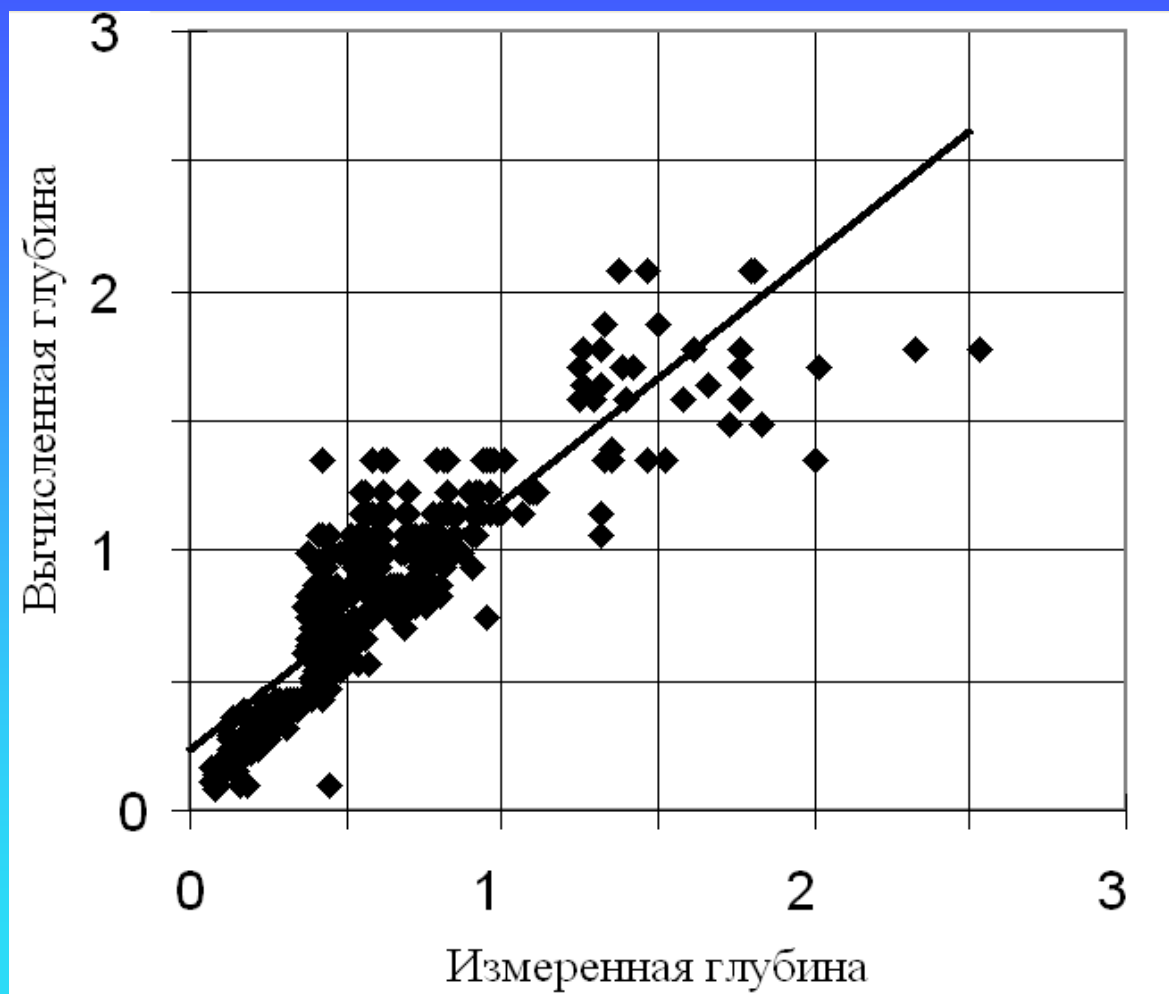
Интерполированные глубины



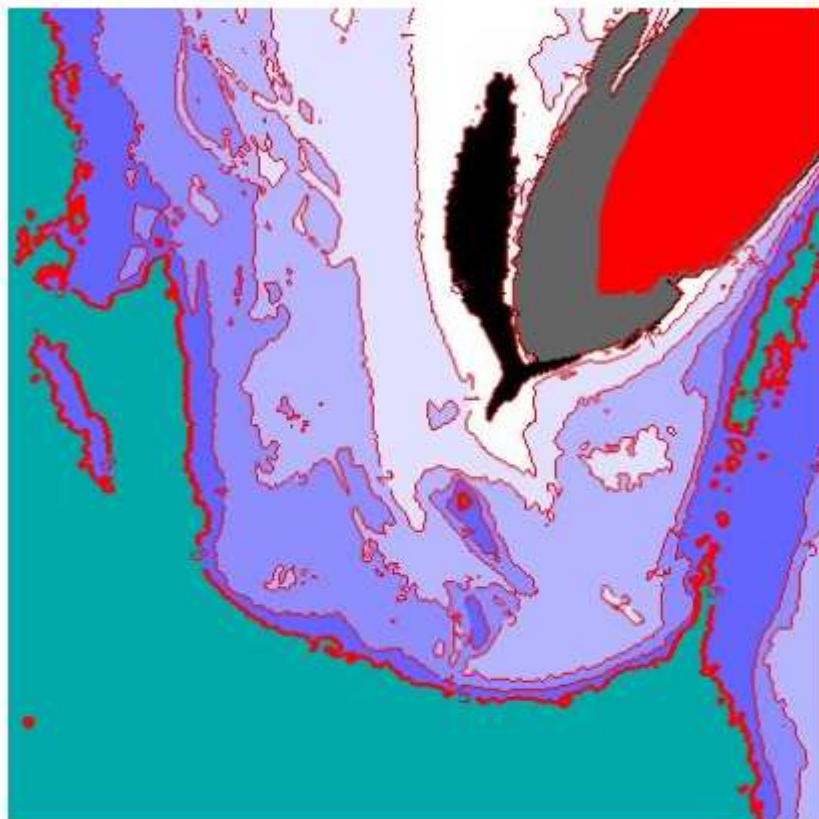
Карта рассчитанных глубин



Сравнение результатов расчетов



Пример для побережья Индонезии (SPOT)



Depth retrieved from a scene acquired 22 January, 1998, 03:40:42 UTC, using a scene acquired on 27 March, 1998, 03:38:52 UTC as a reference. The color coding:

Land	Mud	0-1m
1-2m	2-3m	3-4m
4-5m	5-10m	10-15m
15-20m	negative depth	

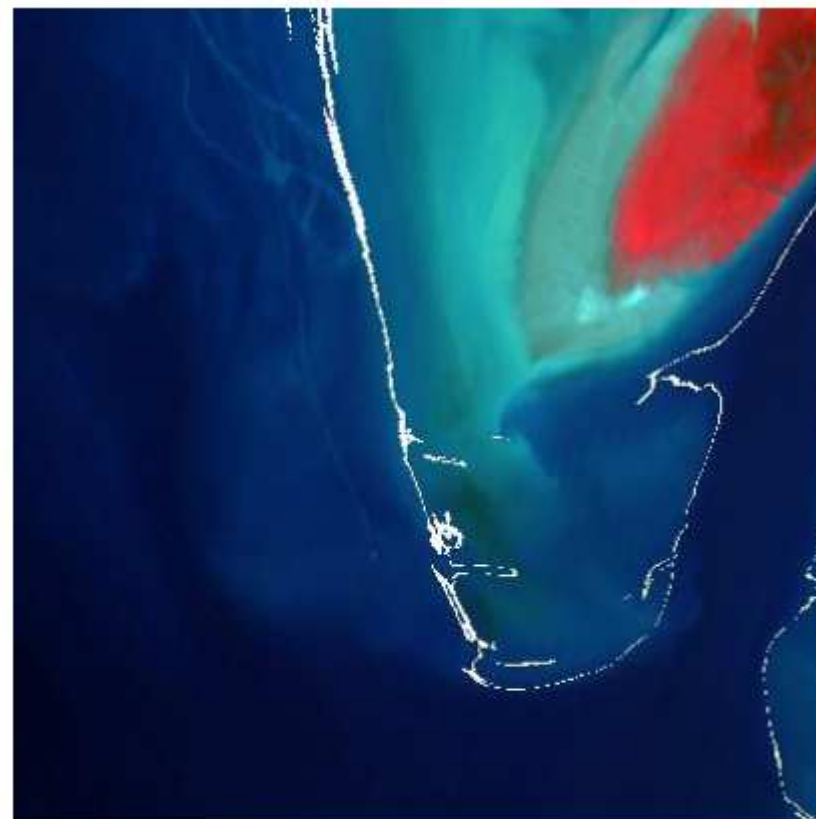
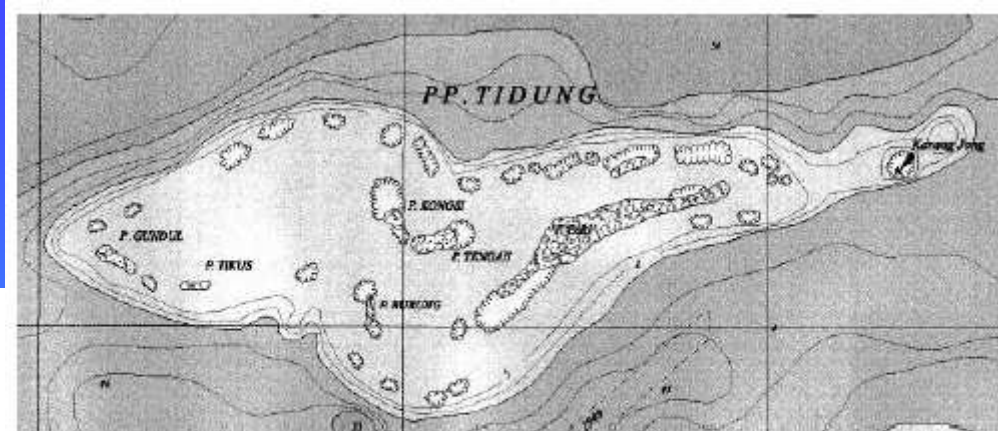
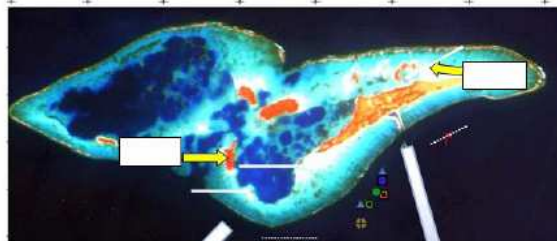


Image from which depth was retrieved (22 January, 1998, 03:40:42 UTC), with the pixels that are at the water line the reference scene in white. This should correspond to the 2.7 m depth contour.
© CNES 1998

Пример для островов у Индонезии (SPOT)



Bathymetry Map of Indonesia Seawater at Pari Islands at 1999, Bakosurtanal scale map 1 : 50.000

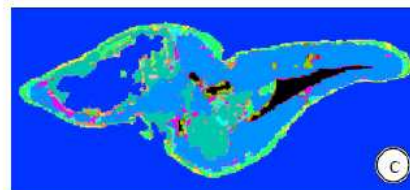


Coral reef coverage



Schooling coral fish at conserve area at Pari Islands

Line Transect (LIT 1 and LIT2) of coral reef coverage location at Pari Islands and sample of coral reef coverage using



Result of depth chart using lyzenga Algorithm (1978) has resulted 5 depth classes.



Result of depth chart using DOP of Jupp (1988) has resulted 4 depth classes.

Zone of DOP division based on Pixel Digital Num

Formosat 2 band	1	2	3	Zone DOP
DN of MaximumDepth	136	121	12	
If DN value (L_i) of pixel ≤ 136	≤ 121	≤ 12		then depth > 25.02 m
If DN value (L_i) of pixel > 136	≤ 121	≤ 12		then depth = 15.64-25.02 m (zone 1)
If DN value (L_i) of pixel > 136	> 121	≤ 12		then depth = 3.32-15.64 m (zone 2)
If DN value (L_i) of pixel > 136	> 121	> 12		then depth = 0-3.32 m (zone 3)

Плохой пример для островов у Индонезии (SPOT)

