

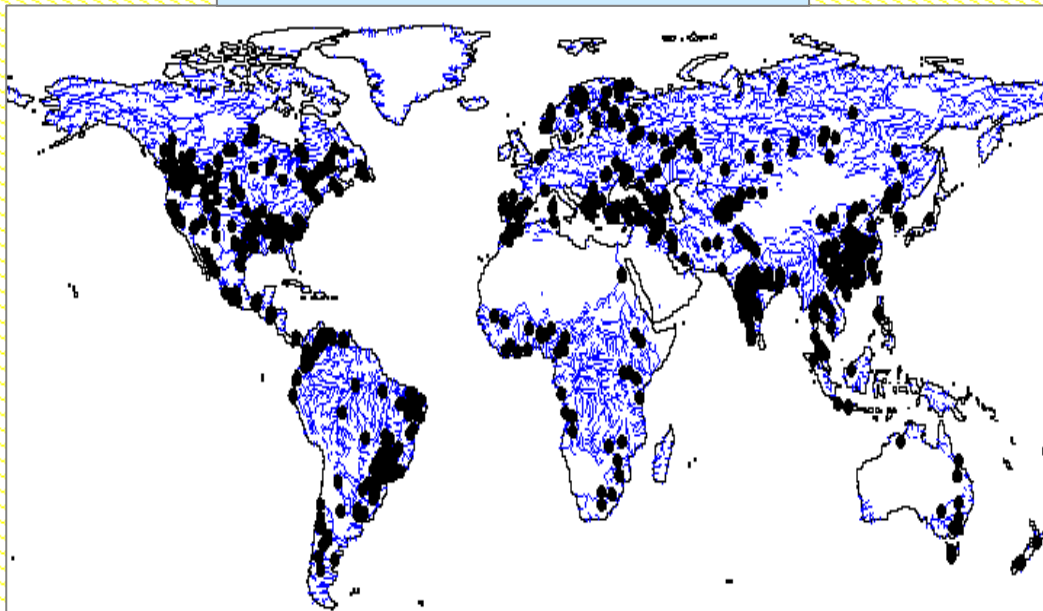
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИН НА ОСНОВЕ  
МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА  
НОВОСИБИРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

**Ковалевская Н.М., Хабидов А.Ш., Фёдорова Е.А.**

***Институт водных и экологических проблем СО РАН***

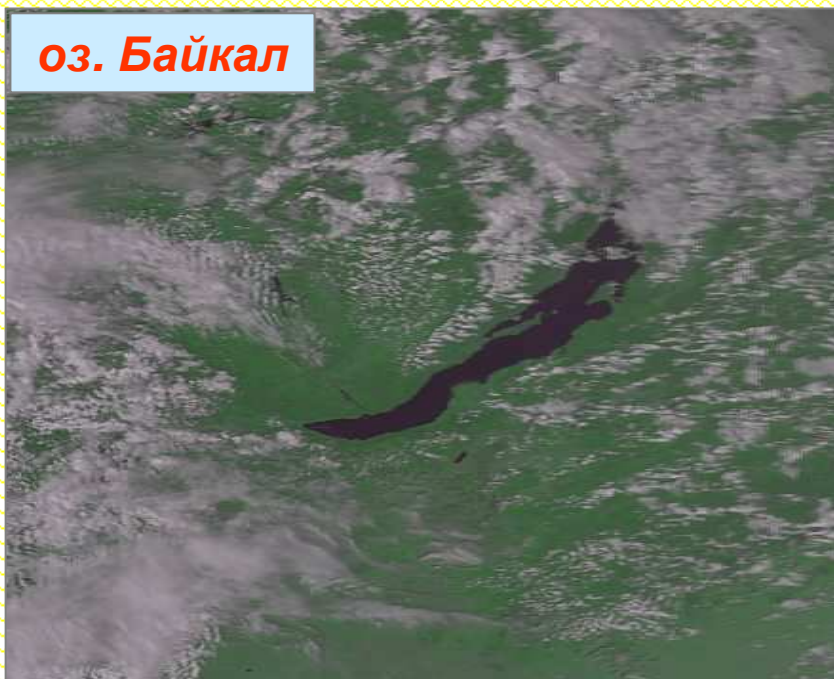
Десятая всероссийская открытая ежегодная конференция  
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»  
(Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды,  
природных и антропогенных объектов)  
Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2012 г.

## Водохранилища мира



*Камское вдхр.*

*оз. Байкал*



Среди тысяч водохранилищ мира 2260 водоемов с полным объемом  $> 1$  млн  $\text{м}^3$  – водохранилища России



*Саратовское вдхр.*



Новосибирское водохранилище было создано в 1957-1959 годах в результате частичного затопления долины р. Обь.

Водоем простирается в генеральном направлении с юго-запада на северо-восток от г. Камень-на-Оби до г. Новосибирска.

Он имеет линейно-вытянутую, простую в плане форму и следующие основные паспортные морфометрические характеристики:

**Нормальный подпорный уровень (НПУ) – 113.5 м БС;**

**полный объем – 8.8 км<sup>3</sup>;**

**полезный объем – 4.4 км<sup>3</sup>;**

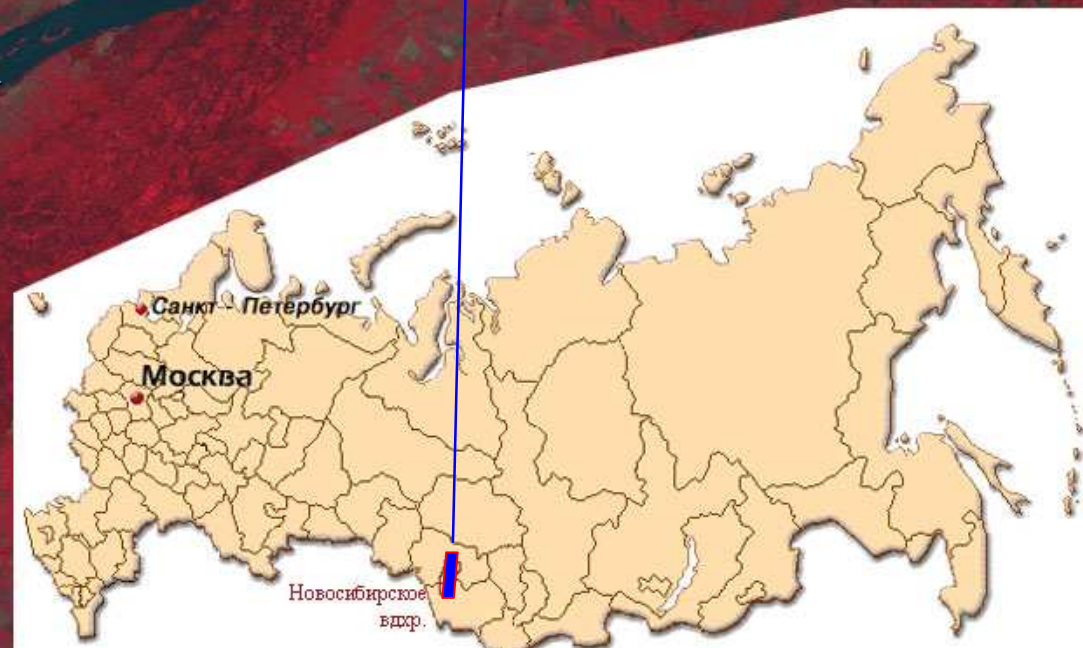
**минимальная, средняя и максимальная ширина при НПУ – 2, 10 и 22 км соответственно;**

**средняя и максимальная глубина – 9 и 25 м;**

**площадь акватории при НПУ – 1070 км<sup>2</sup>;**

**длина береговой линии – 550 км;**

**протяженность вдхр. – 220 км.**





Эхолот на катере  
Ярославец

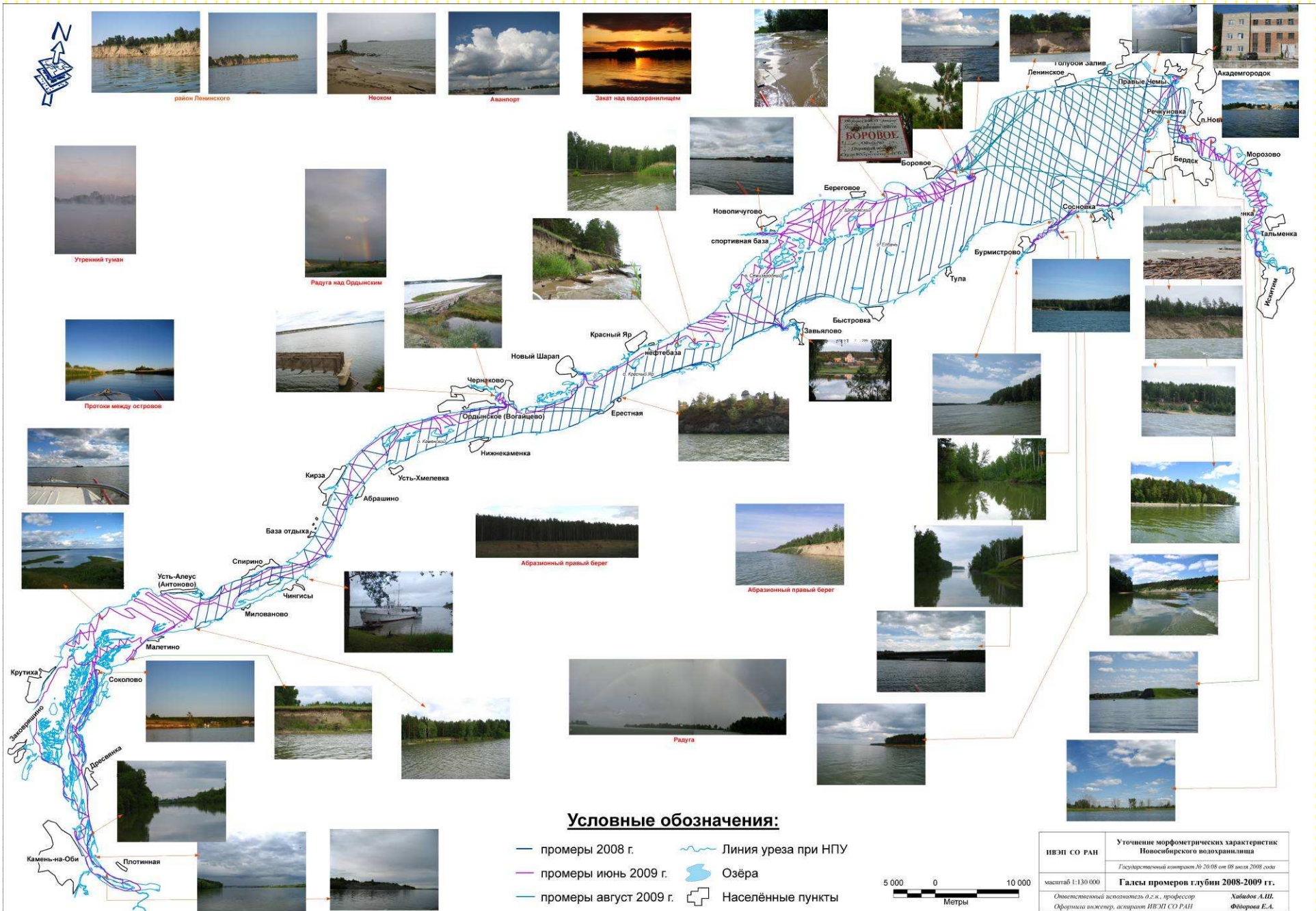
Съемка рельефа дна Новосибирского водохранилища проводилась в 2008-2009 гг. в соответствии с «Правилами гидрографической службы. Съемка рельефа дна: требования и методы». Промерные работы выполнялись навигационным эхолотом Lowrance 117-03 LMS 480M на теплоходах и маломерных судах ИВЭП СО РАН.



Эхолот на лодке  
Прогресс

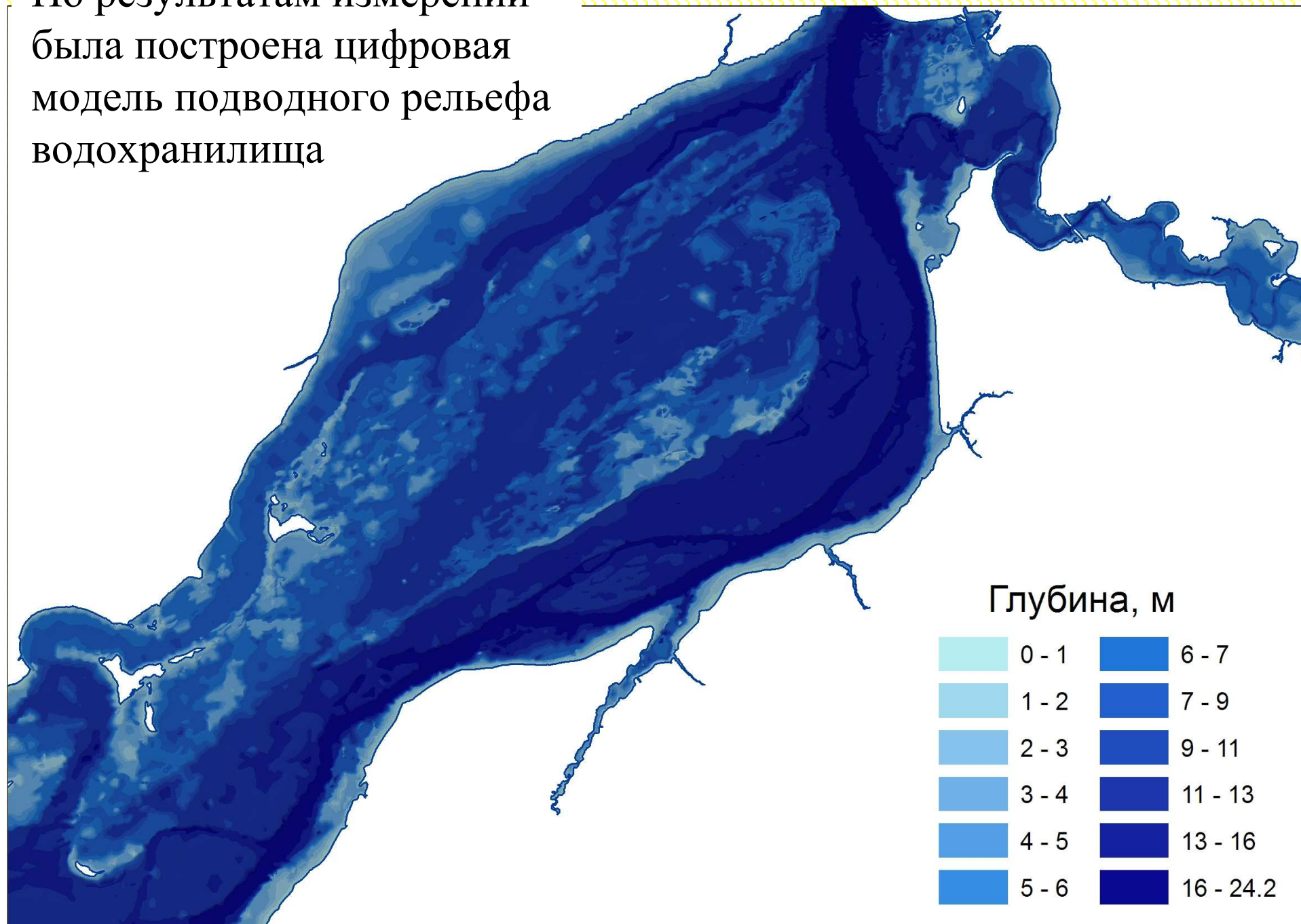
Технические  
характеристики эхолота:  
частота излучения – 200  
кГц, глубина измерений –  
0.5÷305 м, точность  
измерения – 0.1 м с  
антенной LGC-3000  
(GPS/WAAS)





Во время промеров было получено около 1 млн. точек с измеренными глубинами дна и определенными географическими координатами.

По результатам измерений  
была построена цифровая  
модель подводного рельефа  
водохранилища



Со времен использования первой аэрофотографической съемки было признано, что глубины можно оценивать с помощью данных дистанционного зондирования, в частности многоспектральных снимков достаточно хорошего разрешения. Теоретический подход для такого оценивания был развит в 1978-1981 гг., а обоснование проблемы нахождения соответствующих параметров – в 1989-1994 гг.

В частности, стандартный линейный алгоритм для нахождения глубины:

$$Z = a_0 + a_i x_i + a_j x_j, \quad (1)$$

где  $x_i = \ln [ R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i) ]$ ,

$x_j = \ln [ R_w(\lambda_j) - R_\infty(\lambda_j) ]$ ,

$R_w(\lambda_i)$  – отражение водного столба в диапазоне  $\lambda_i$ ,

$R_w(\lambda_j)$  – отражение водного столба в диапазоне  $\lambda_j$ ,

требует нахождения пяти параметров:

$a_0, a_i, a_j$  - неизвестные коэффициенты линейного уравнения,

$R_\infty(\lambda_i), R_\infty(\lambda_j)$  – отражения водного столба в диапазонах  $\lambda_i, \lambda_j$ .

Оценка параметров на основе (1) оказывается проблематичной:

1. Для больших областей
2. Для областей с низким альбедо (водоросли, морская трава).



Поэтому для нахождения относительных глубин Новосибирского водохранилища используется альтернативный (эмпирический) подход, основанный на отношении интенсивностей [Stampf, 2003]:

$$Z = a_1 x + a_0, \quad (2)$$

где

$$x = \frac{\ln[nR_w(\lambda_i)]}{\ln[nR_w(\lambda_j)]}$$

$n$  – фиксированное постоянное значение,

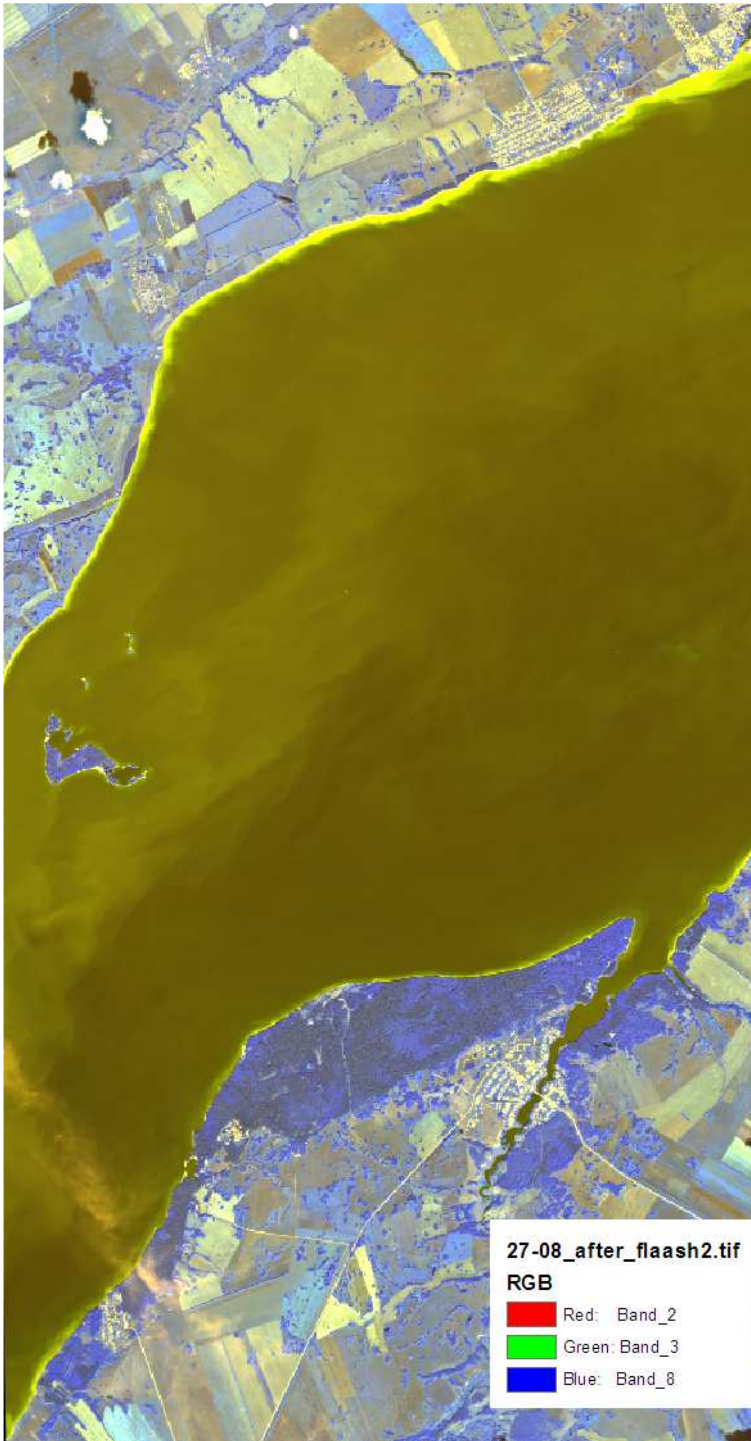
$a_1, a_0$  – параметры уравнения (2) ( $a_0$  - смещение, соответствующее  $Z=0$ )

$R_w(\lambda_i)$  – отражение водного столба в диапазоне  $\lambda_i$ ,

$R_w(\lambda_j)$  – отражение водного столба в диапазоне  $\lambda_j$ .

Подход использует только два параметра для оценивания ( $a_1, a_0$ ) и может быть использован в областях с низким альбедо.

*Stampf R., Holdereid K., Sinclair M. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. Limnol. Oceanogr., 48 (1\_part\_2), 2003, 547-556.*



**Многоспектральный  
СНИМОК ВЫСОКОГО  
разрешения  
WordView-2.**

## Характеристики используемых снимков WordView-2

Дата съемки 19/08/2010 и 27/08/2010

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,50–0,90	0,40–0,45 (фиолетовый или coastal) 0,45–0,51(синий) 0,51–0,58 (зеленый) 0,585–0,625 (желтый) 0,63–0,69 (красный) 0,705–0,745 (крайний красный или red-edge) 0,77–0,895 (ближний ИК-1) 0,86–1,04(ближний ИК-2)
Пространственное разрешение (в надира), м	0,46	1,84
Максимальное отклонение от надира, град		40
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель		11
Точность геопозиционирования, м		CE90 mono = 5
Ширина полосы съемки, км		16,4
Производительность съемки, млн кв. км/сутки		0,75
Периодичность съемки, сутки	1,1–3,7 (в зависимости от широты области съемки)	
Возможность получения стереопары		Да
Формат файлов		GeoTIFF, NITF
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/с		800

Снимки получены от компании DigitalGlobe (<http://www.digitalglobe.com/>)

Традиционно в алгоритмах для определения глубин использовались 4 спектральных диапазона. Данные WorldView-2 позволяют использовать большее количество диапазонов, включая новые:

- Фиолетовый (*coastal*)
- Желтый (*yellow*)
- Крайний красный (*red-edge*)
- два ближних ИК (*NIR1, NIR2*).

Спектральная область	Спектральные диапазоны (nm)		
	Landsat	IKONOS	Worldview-2
Blue	450-520	445-515	400-450, 450-510 ( <i>coastal</i> )
Green	530-610	510-595	510-580, 585-625 ( <i>yellow</i> )
Red	630-690	630-700	630-690, 705-745 ( <i>red-edge</i> )
Near-infrared	780-900	760-850	770-895(NIR1), 860-1040 (NIR2)

Результат использования  
метода отношения  
интенсивностей



# Relative Water Depth

7 Scroll (0.05097)

Reference Image:  
Reference Image: Natural Color

Bathymetry Data:  
Bathymetry Source: Log Ratio Depths

Display Results:

Density Slice

Color Table

Base Image:	Log Ratio Depths
Very Shallow:	0.24 <input type="checkbox"/> On/Off
Shallow:	0.54 <input type="checkbox"/> On/Off
Moderate:	0.57 <input type="checkbox"/> On/Off
Deep:	0.63 <input type="checkbox"/> On/Off

Load Image  
Restore Defaults  
Save to File

Help

#7 Zoom [1x]

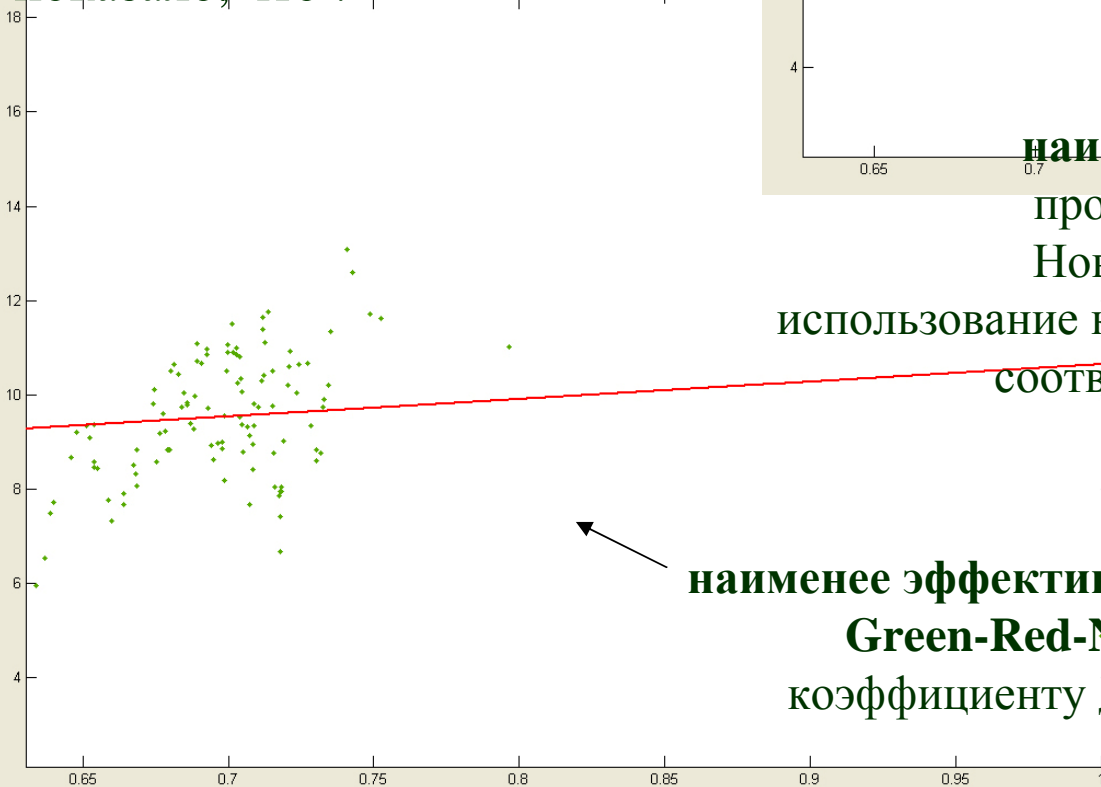
The main window displays a bathymetry map of the coastal area, where colors represent different depth levels. The map shows a gradient from light blue (shallow) to dark blue (deep). A red bounding box on the map corresponds to the area shown in the zoomed-in view. The zoomed-in view shows a detailed view of the bathymetry data, with a color scale from red (shallow) to blue (deep).

[knm@iwep.ru](mailto:knm@iwep.ru)

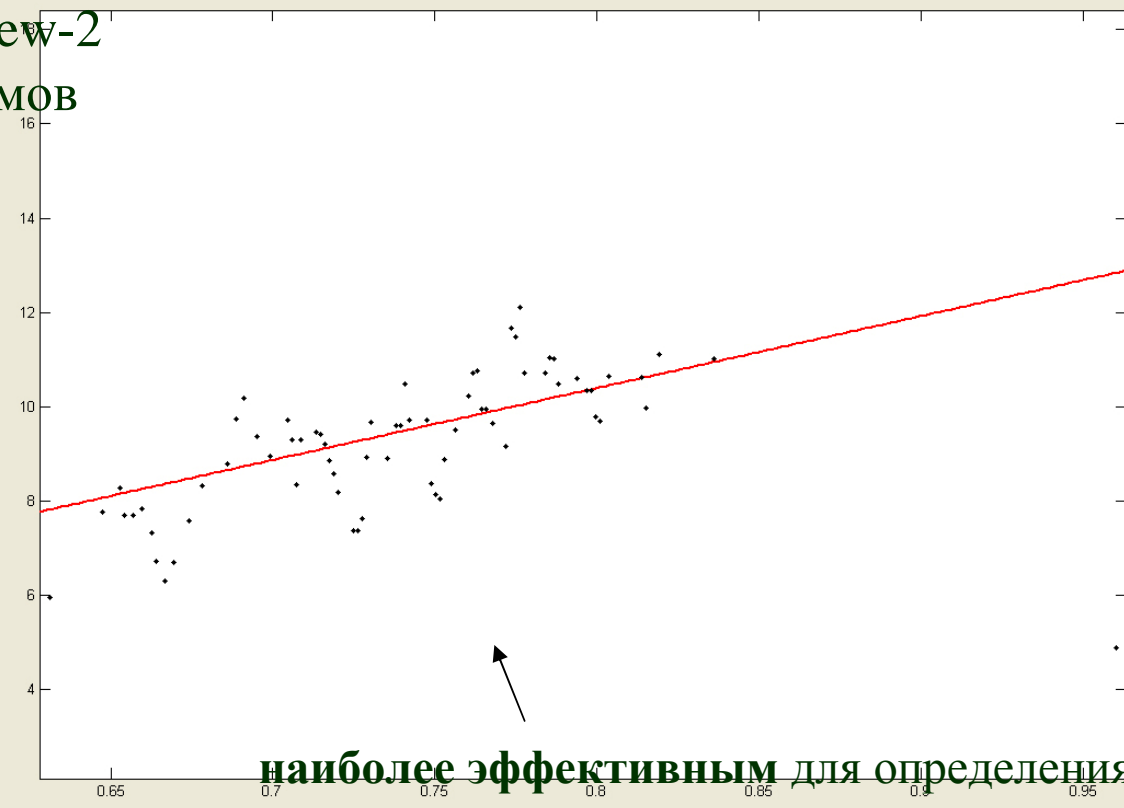
Использование каналов Worldview-2  
в алгоритме отношения логарифмов  
интенсивностей, а именно -  
следующих сочетаний:

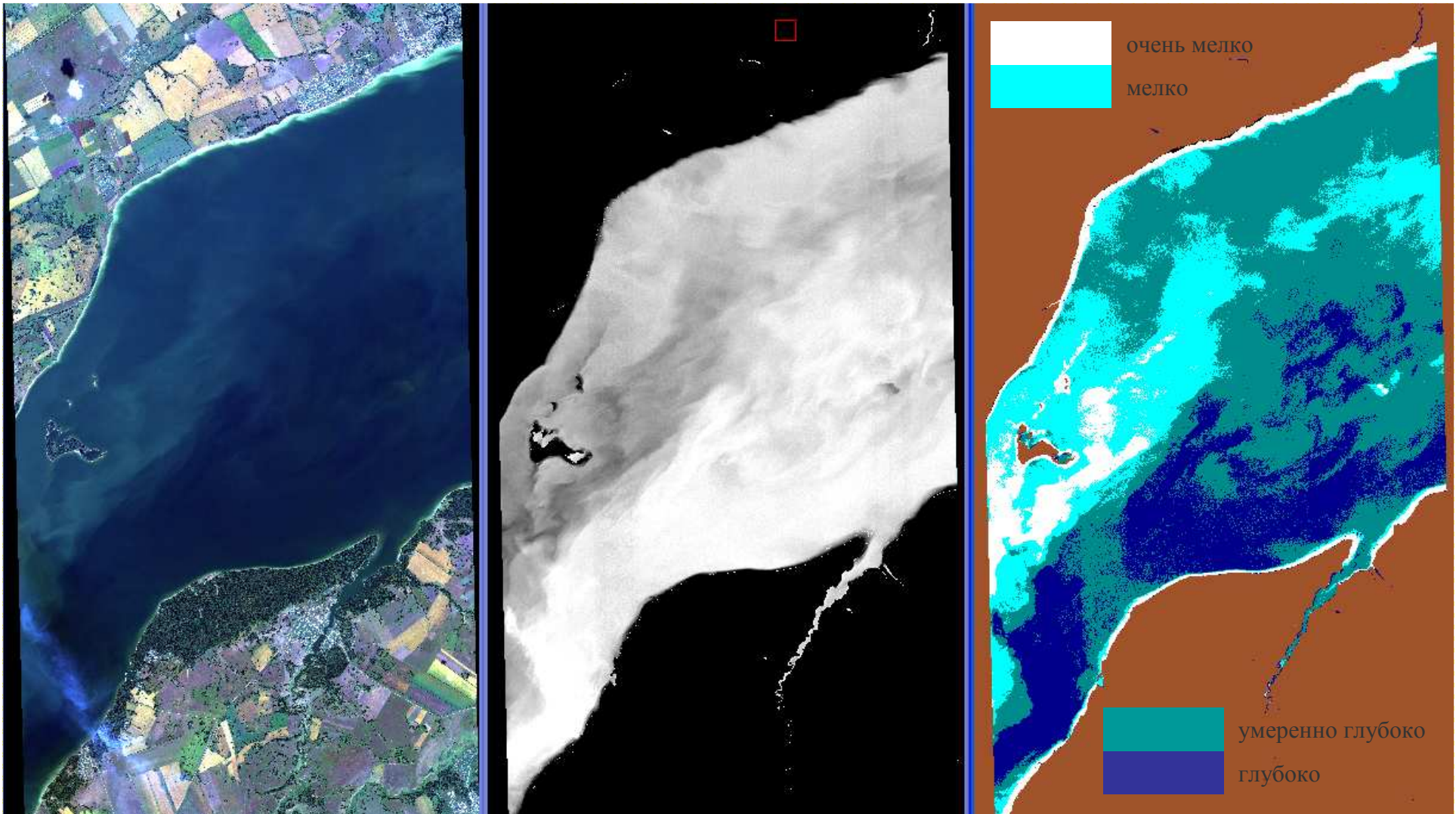
**Blue-Green-Red-NIR1**  
**Blue-Green-Red-NIR2**  
**Coastal-Green-Red-NIR1**  
**Coastal-Green-Red-NIR2**

показало, что :



**наиболее эффективным** для определения  
пространственного распределения глубин  
Новосибирского водохранилища является  
использование каналов **Coastal-Green-Red-NIR1**, что  
соответствует наибольшему коэффициенту  
детерминации R-square и наименьшей  
среднеквадратичной ошибке RMSE  
**наименее эффективным** - использование каналов **Blue-  
Green-Red-NIR2**, что соответствует наименьшему  
коэффициенту детерминации R-square и наибольшей  
среднеквадратичной ошибке RMSE





Таким образом, для получения батиметрических данных на **мелководных участках** Новосибирского водохранилища основными оказываются **NIR1-** и **Red-**диапазоны, на **глубоководных участках** – **Coastal-** и **Green-**диапазоны.

1. визуальное представление исходного снимка (слева); 2. относительные глубины в соответствии с алгоритмом – в черно-белом представлении – чем глубже, тем светлее тон (в центре); 3. в цветовом представлении (справа).

A photograph of a sunset. The sky is a mix of orange, yellow, and light blue. In the foreground, there is a dark silhouette of a building and a flagpole with a flag. The text "Благодарим за внимание!" is overlaid in the bottom right corner in a 3D, orange-to-yellow gradient font.

**Благодарим  
за внимание!**