



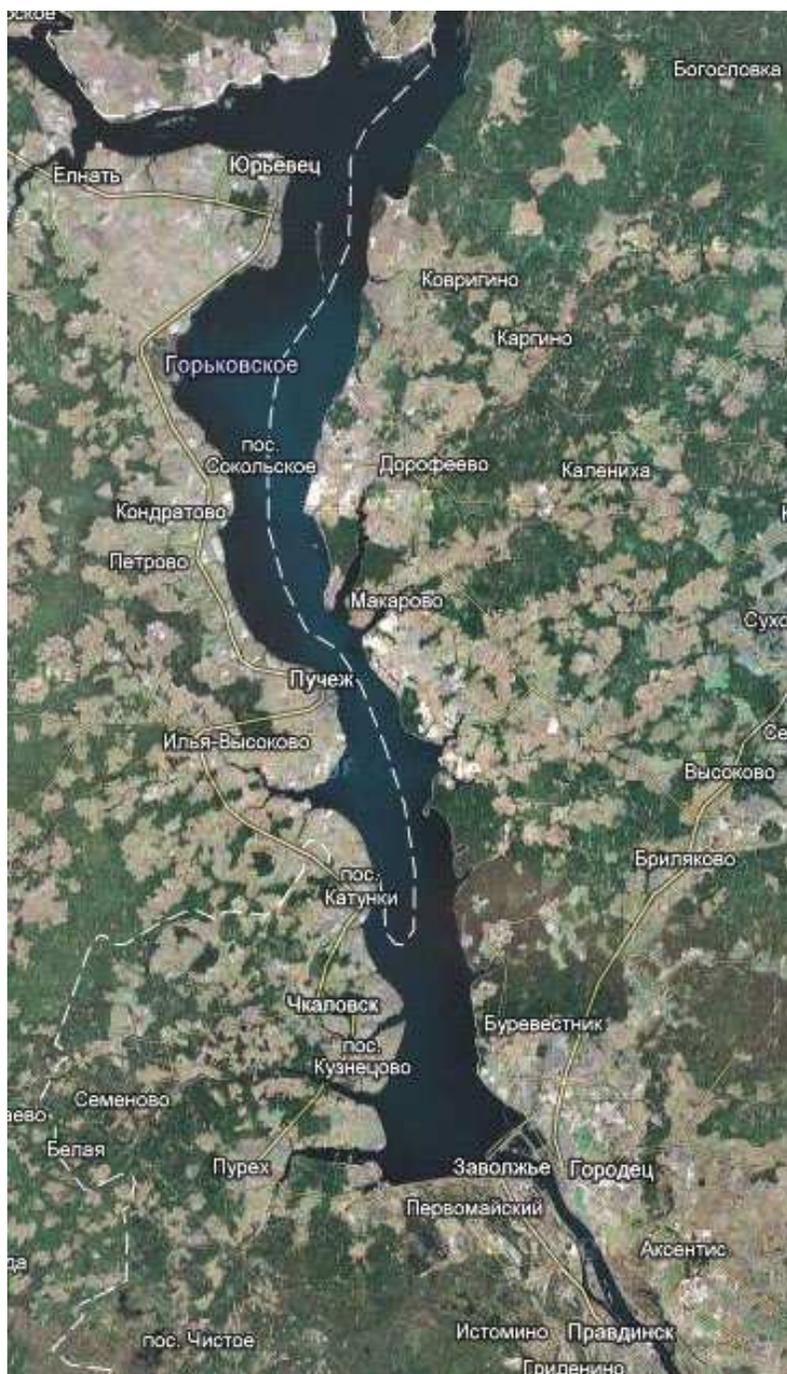
**Комплексные исследования
гидрологических процессов
Горьковского водохранилища
дистанционными методами**

С.А. Ермаков, И. А. Капустин*, О.Ю. Лаврова**,
Е.В. Макаров*, И.А. Сергиевская*, J. Da Silva****

*Институт прикладной физики РАН,

**Институт космических исследований РАН,

***University of Lisbon, Portugal



Горьковское водохранилище

Горьковское водохранилище на реке Волга образовано плотиной Нижегородской гидроэлектростанции в 1955-1957 годах.

Общая площадь – 1590 км²;

длина – 427 км;

ширина – 14-16 км;

средняя глубина – 3,6 м;

максимальная глубина – 22 м

Цель

Исследование возможностей мониторинга Горьковского водохранилища на основе многоуровневых наблюдений с использованием радиофизических и оптических средств судового и спутникового базирования

Конкретные задачи

Исследование физических и биохимических процессов в водохранилище:

- обнаружение и диагностика антропогенных загрязнений;
- исследование биогенных загрязнений (активное цветение водорослей);
- изучение динамических процессов в воде и в приповерхностном слое атмосферы;
- развитие методов дистанционного зондирования зон биогенного загрязнения

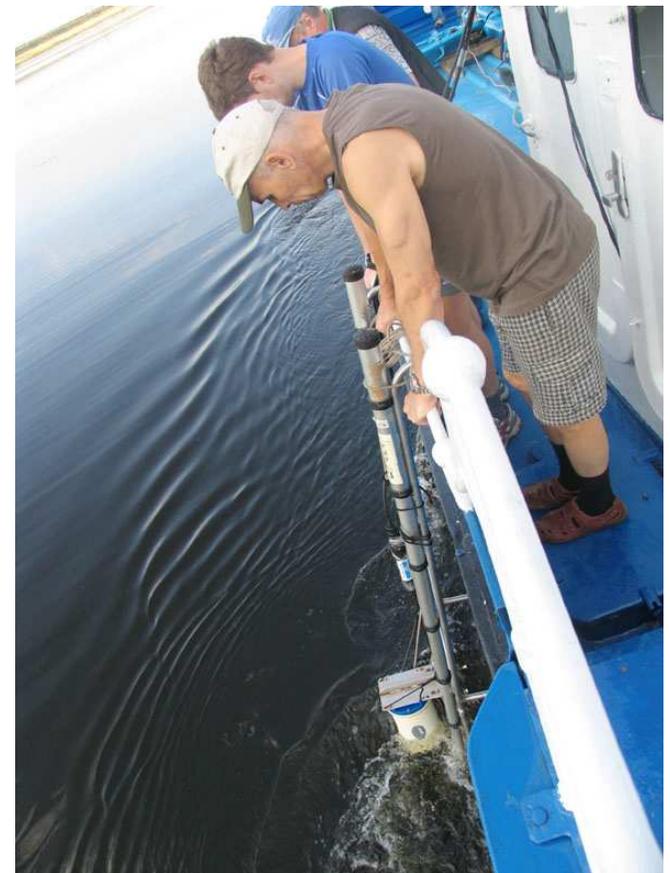
Аппаратура и методика измерений (Институт прикладной физики РАН)

Судно:

- комплексные СВЧ-радиолокаторы диапазонов 3 см и 8-мм, углы падения 65-70°;
- оптический анализатор спектра ветровых волн (ОСА);
- волнограф-акселерометр;
- анемометры WindSonic и чашечный;
- ADCP Workhorse Sentinel 600 кГц;
- GPS-приемники



X-скаттерометр



Аппаратура и методика измерений (Институт прикладной физики РАН)

катер и резиновая лодка :

- ADCP Workhorse Sentinel 600 кГц;
- GPS-приемники
- оборудование для взятия пробы пленок и воды.

Взятие проб пленок ПАВ производилось по сеточной методике с последующей реконструкцией пленок в лабораторных условиях и измерением упругости и коэффициента поверхностного натяжения с использованием развитого в ИПФ РАН метода параметрически возбуждаемых волн

Для определения концентрации биомассы в толще воды проводился отбор объемных проб в различных частях водохранилища. Измерения концентрации и состава биомассы производились в лабораторных условиях в Нижегородском ЦГМС-Р



Лабораторные исследования затухания ГКВ. Метод параметрически возбуждаемых волн (ИПФ РАН)

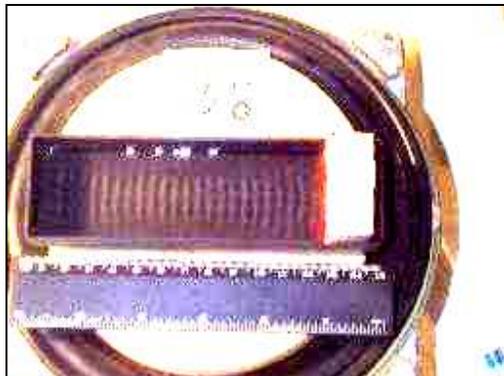
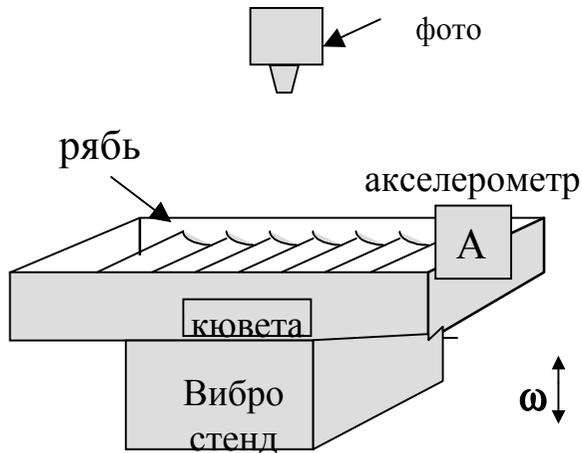


Схема метода и фото 25
Гц стоячих ГКВ

Коэф. затухания ГКВ ~
порогу параметрического
возбуждения волн

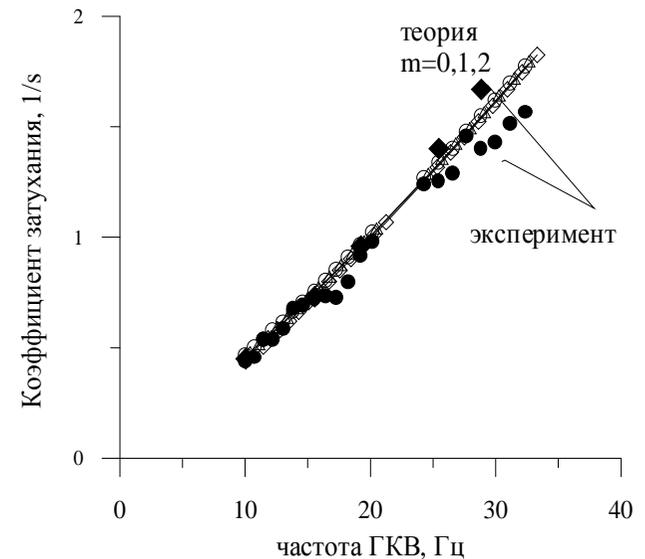
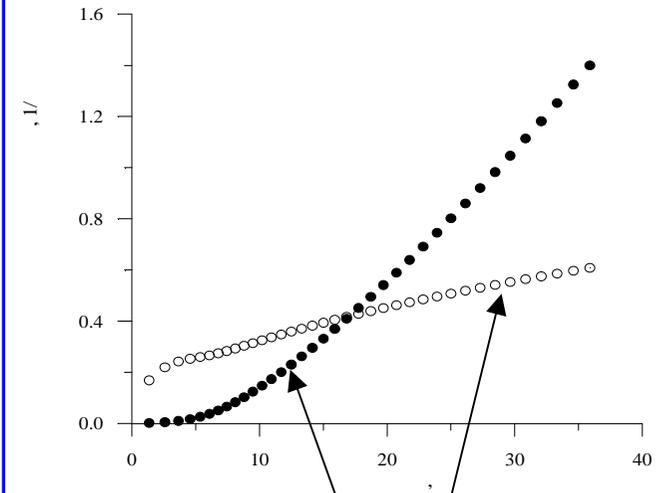
$$\gamma_{\Sigma} = \frac{\delta g \cdot k \cdot th(kh)}{4\omega}$$

δg – амплитуда порогового
ускорения

$$\omega = (gk + \sigma k^3 / \rho)^{1/2}$$

σ - коэф. поверх. натяжения

Коэффициент затухания
ГКВ в прямоугольном
бассейне с
дистиллированной водой.
Теория и эксперимент



Спутниковые данные

(Институт космических исследований РАН
University of Lisbon, Portugal)

РСА-изображения:

- ASAR Envisat высокого разрешения IMP и APP Mode, пространственное разрешение 12,5 м, вертикальная поляризация;
- TerraSAR-X, пространственное разрешение 3 м , вертикальная поляризация

Оптические изображения

- Landsat-5 TM (7 каналов);
- Landsat-7 ETM+ (8 каналов)

пространственное разрешение 30 м

Данные MERIS Envisat, ASAR Envisat WSM, MODIS Terra/Aqua оказались неэффективными из-за своего пространственного разрешения

Даты проведения экспериментов и спутниковых наблюдений

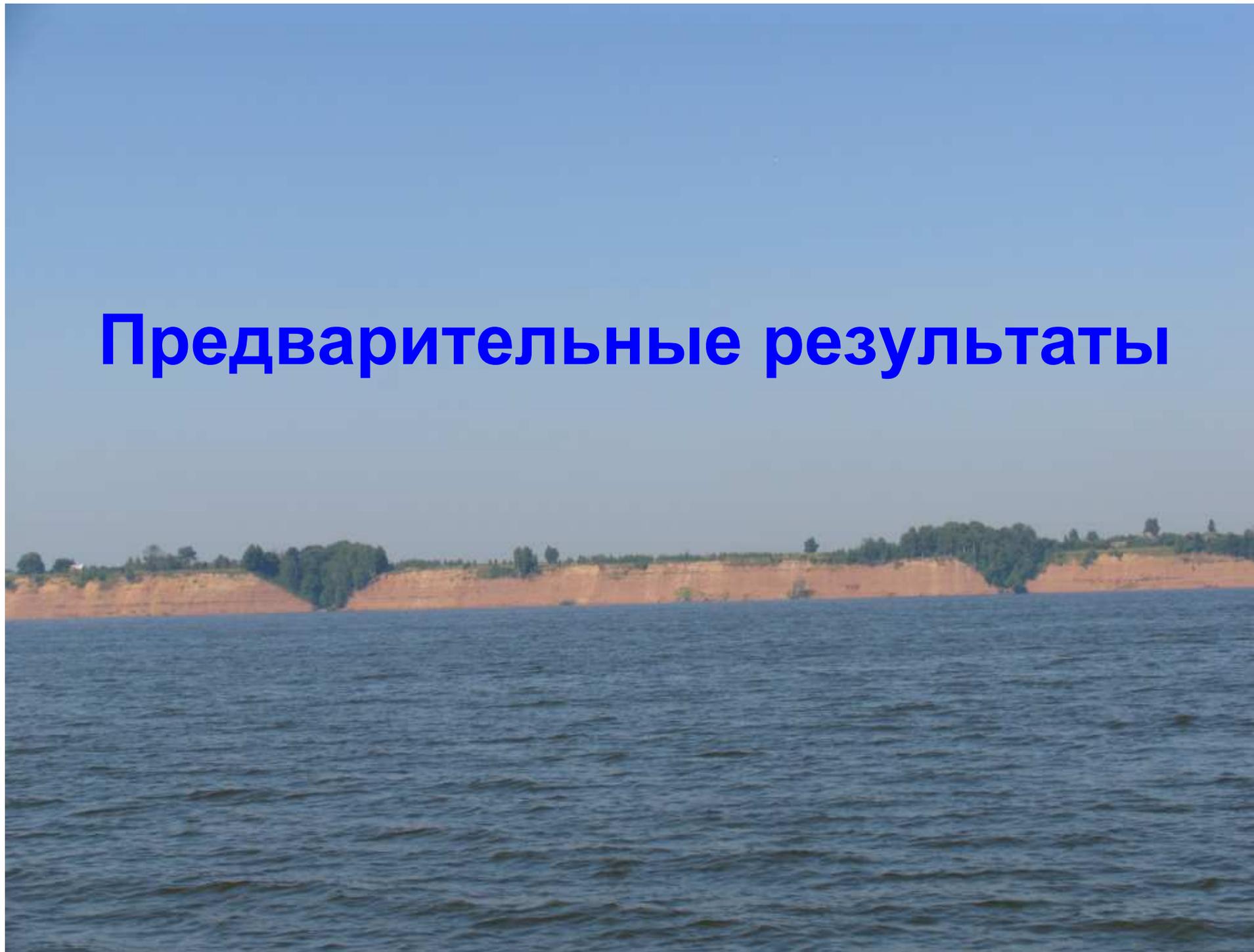
Дата	Тип измерений	Условия
19.07.2006	радиолокационная съемка ASAR Envisat IMP	Облачно, дождь, ветер 2 м/с, 160°
22.07.2008	с судна, лодки	Ясно, ветер 4 м/с, 165°
01.08.2008	с судна, лодки	Сплошная облачность, ветер 4-5 м/с, 210°
11.08.2008	с судна, лодки	Переменная облачность, штиль, сплошное покрытие поверхности СЗВ
20.08.2008	с судна, лодки	Переменная облачность, ветер 4-6 м/с, 280°
28.08.2008	с судна, лодки	Переменная облачность, ветер 2-3 м/с, 190°
02.10.2008	с судна, лодки, с маяка	Сплошная облачность, ветер 6-7 м/с, 200°
05.05.2009	оптическая съемка Landsat-7 ETM+	Ясно, ветер 2 м/с, 140°
26.06.2009	радиолокационная съемка TerraSAR-X, с судна, лодки	Ясно, ветер 3 м/с, 350°
02.07.2009	радиолокационная съемка TerraSAR-X, с судна, лодки	Переменная облачность, ветер 5-7 м/с, 270°
08.07.2009	оптическая съемка Landsat-7 ETM+	Ясно, ветер 1 м/с, 300°
14.07.2009	радиолокационные съемки TerraSAR-X, ASAR Envisat WSM, с судна, лодки	Переменная облачность, ветер 2-3 м/с, 290°
29.07.2009	с судна, лодки	Ясно, ветер 3-5 м/с, 0°

Даты проведения экспериментов и спутниковых наблюдений (продолжение)

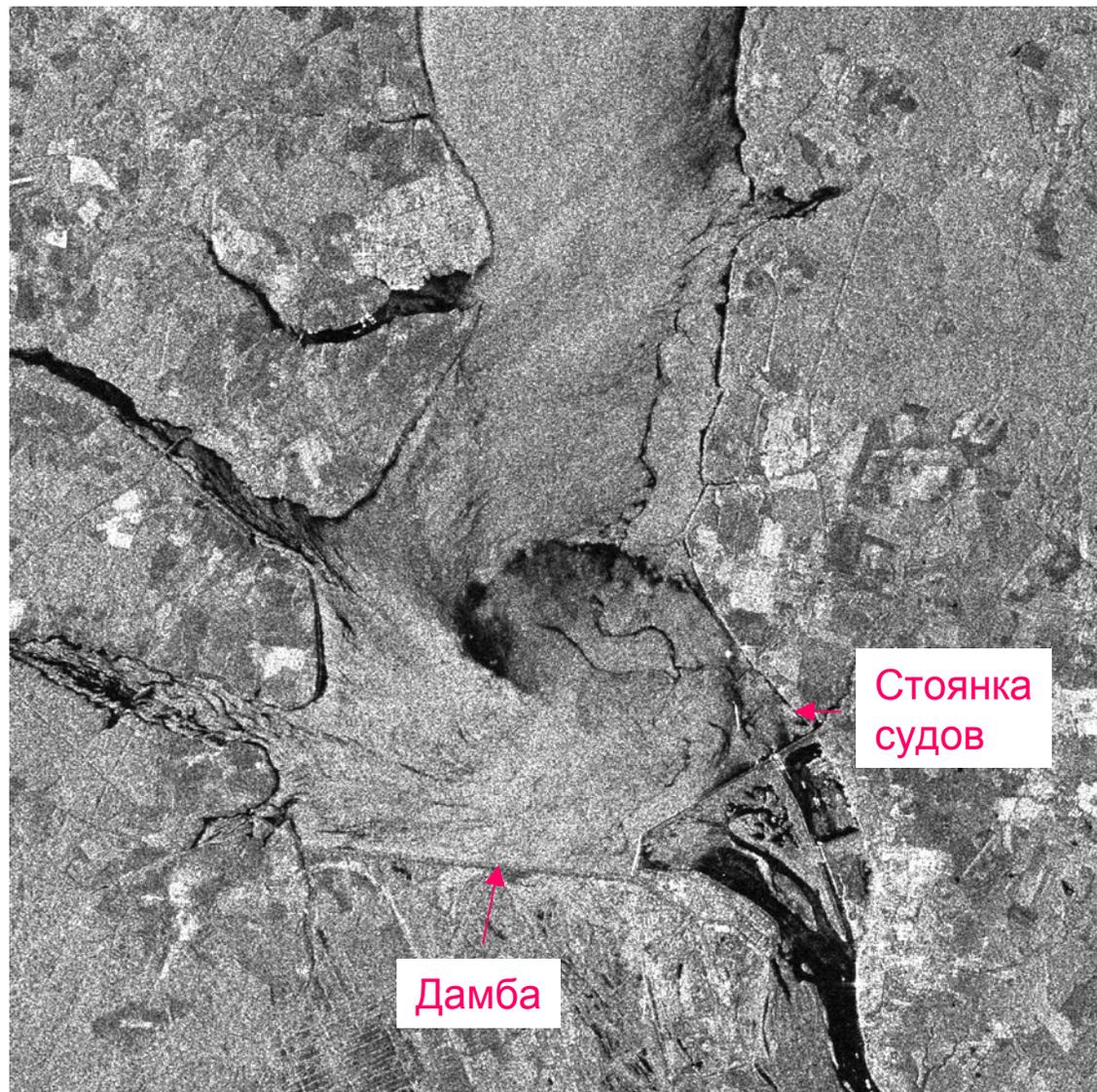
Дата	Тип измерений	Условия
02.08.2009	радиолокационная съемка ASAR Envisat IMP	Ясно, штиль
14.08.2009	радиолокационная съемка ASAR Envisat IMP, с судна, лодки	Переменная облачность, ветер 3-5 м/с, 180°
22.06.2010	радиолокационная съемка ASAR Envisat APP, с судна, лодки	Сплошная облачность, ветер 1 м/с, 140°
25.06.2010	радиолокационная съемка ASAR Envisat APP, с судна, лодки	Переменная облачность, ветер 1 м/с, 270°
03.07.2010	оптическая съемка Landsat-5 TM	Ясно, ветер 1 м/с, 140°
11.07.2010	радиолокационная съемка ASAR Envisat APP	Переменная облачность, ветер 1 м/с, 5°
19.07.2010	оптическая съемка Landsat-5 TM	Ясно, ветер 2 м/с, 90°

В общей сложности было проведено 6 подспутниковых экспериментов

Предварительные результаты

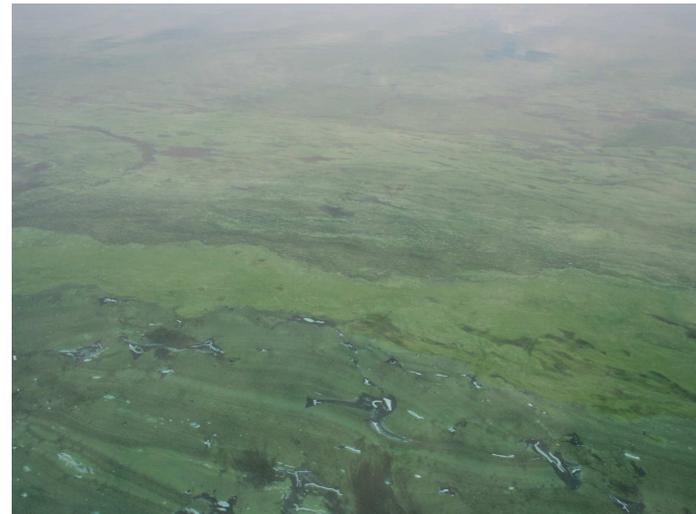


ASAR Envisat IMP изображение 19.07.2006

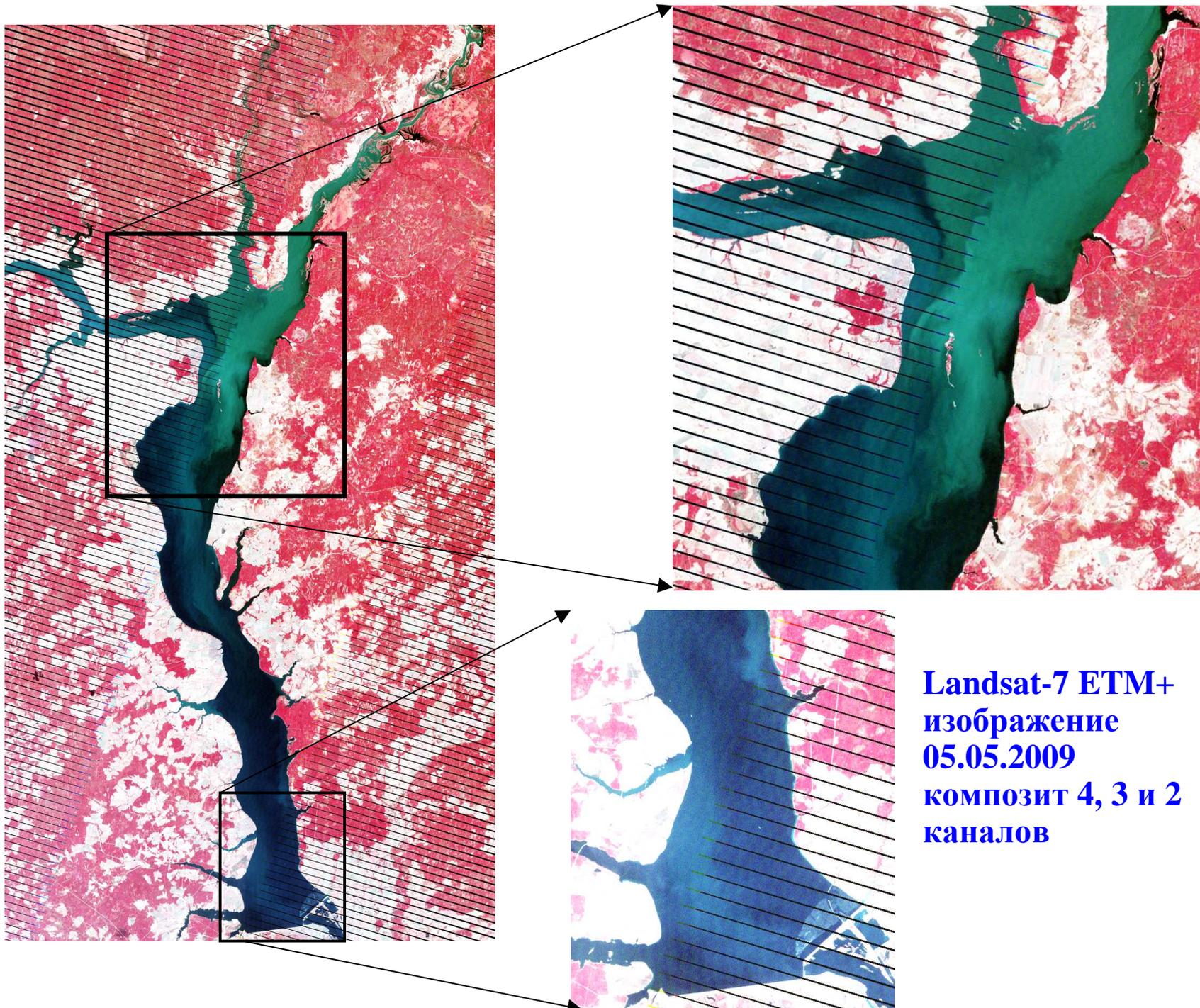


ветер 2 м/с, 160°

Цветение водорослей. Горьковское водохранилище, 2008 г.



Фотография поверхности воды, сделанная с борта судна, в условиях слабого ветра и интенсивного “цветения воды”



**Landsat-7 ETM+
изображение
05.05.2009
композит 4, 3 и 2
каналов**



Подспутниковый эксперимент 26.06.2009



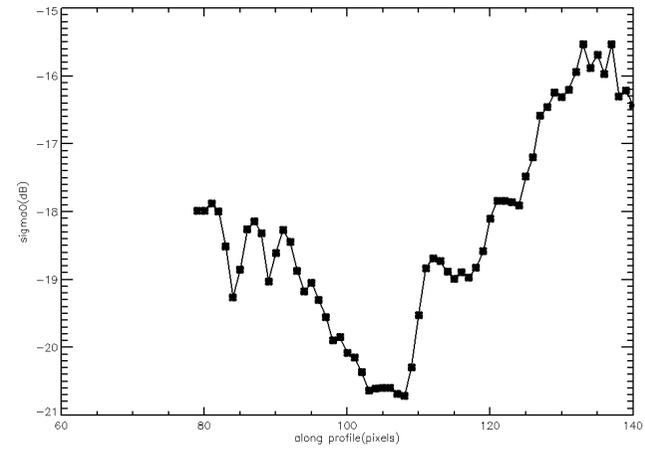
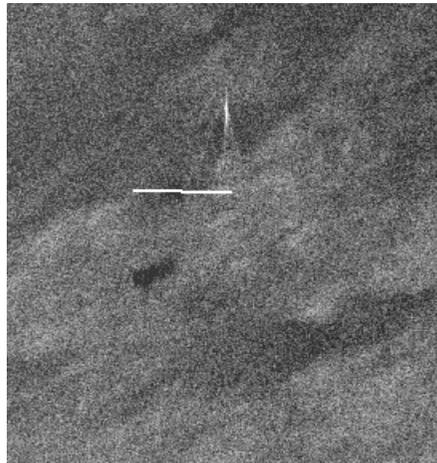
Подспутниковые эксперименты с искусственными сликами, создаваемыми с помощью олеиновой кислоты (OLE) и додецилового спирта (DA).

TerraSAR-X изображение, угол падения 36° . Ветер 3 м/с, 350°

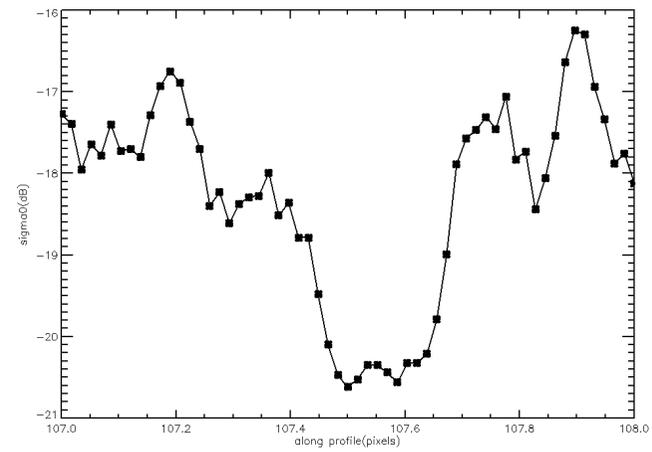
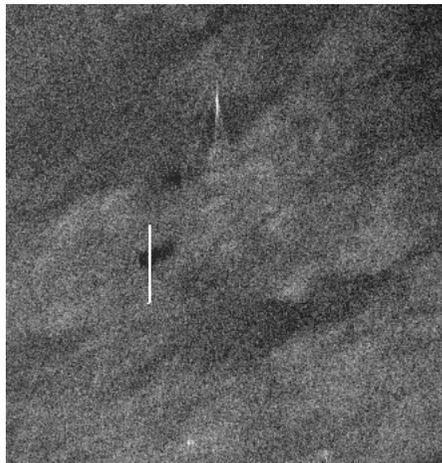


Подспутниковый эксперимент 26.06.2009

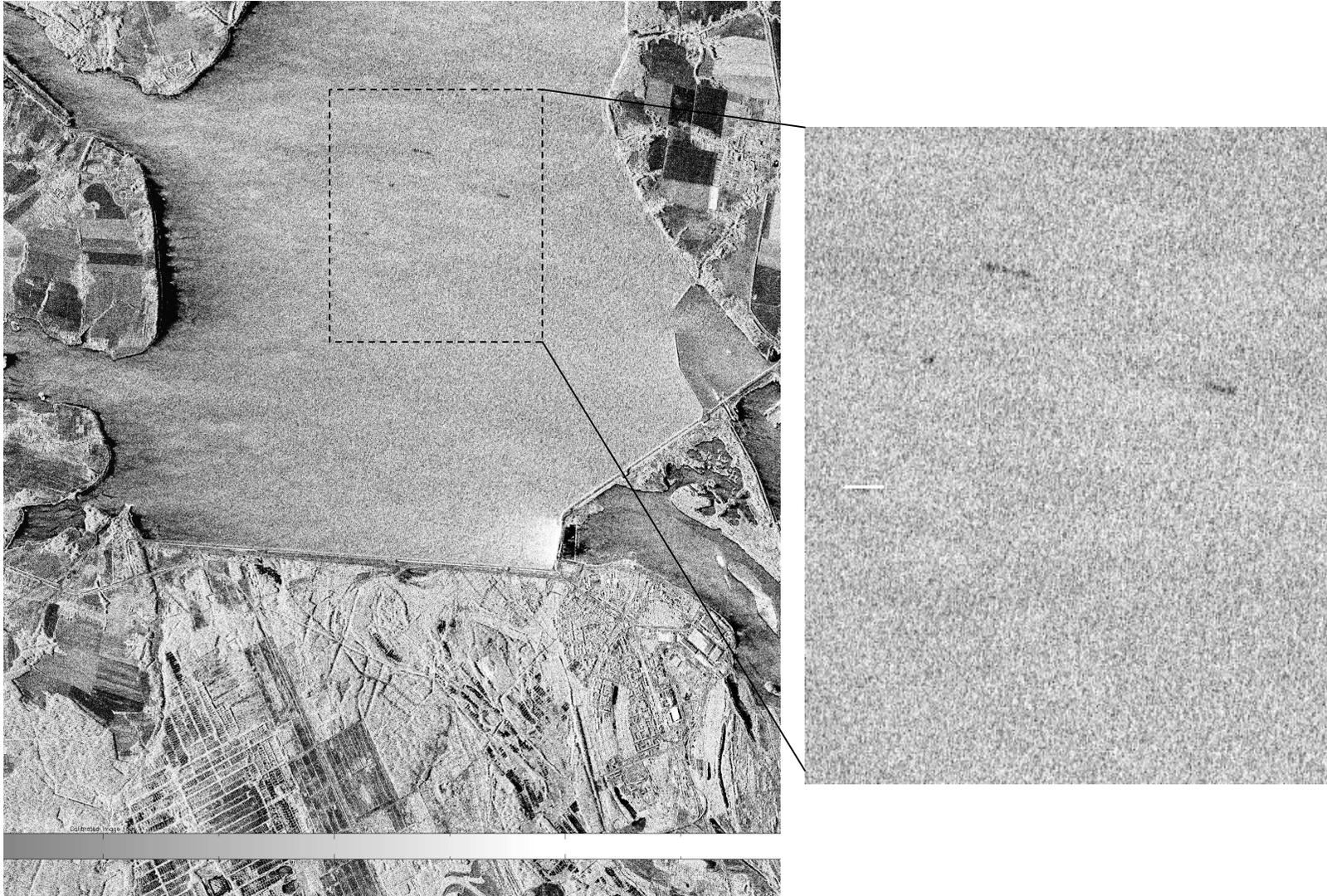
DA
slick



OLE
slick



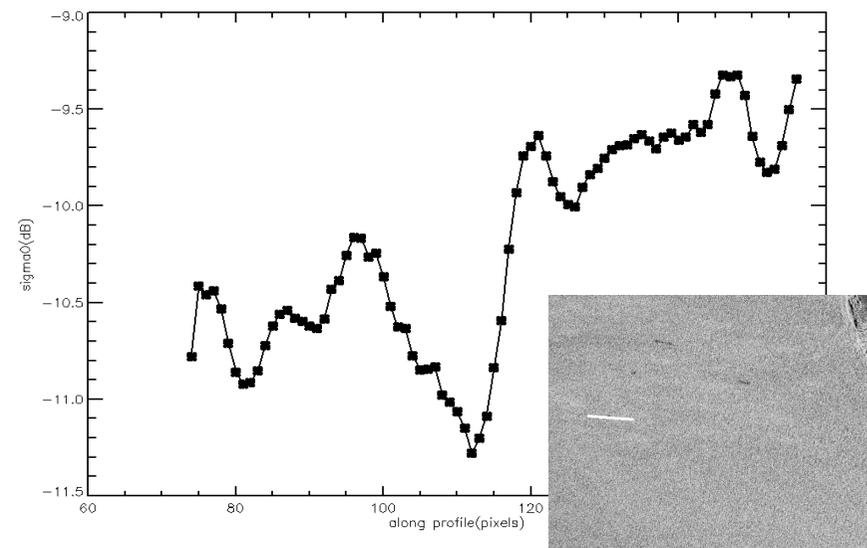
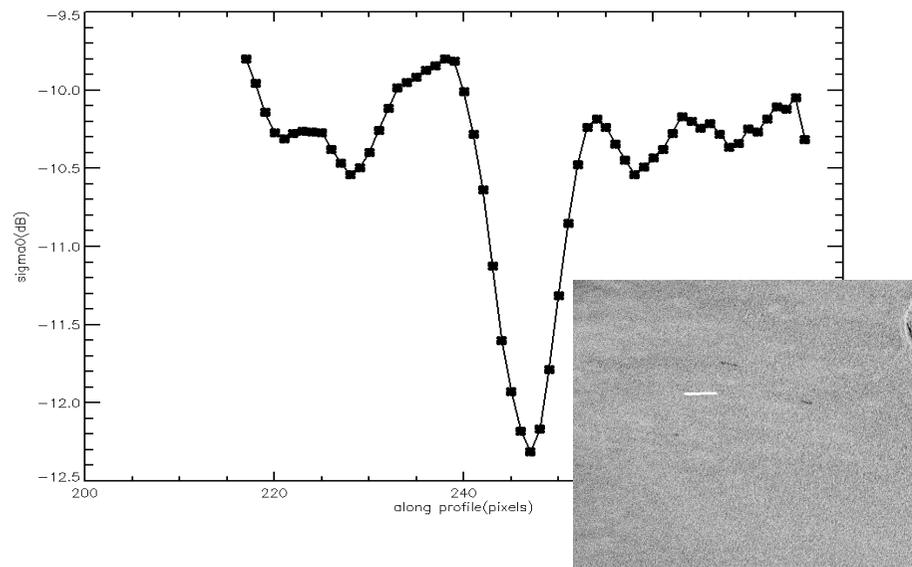
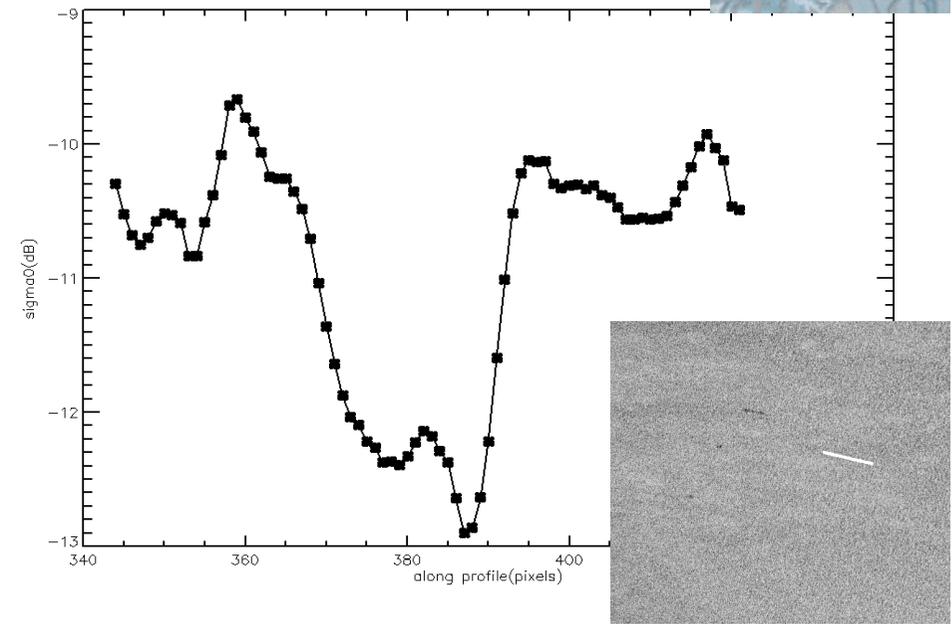
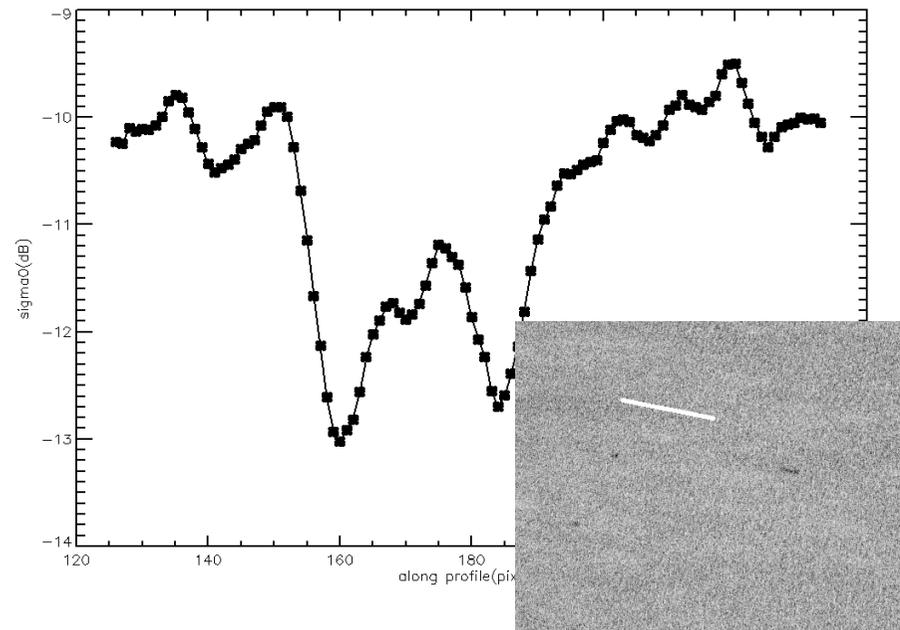
Подспутниковый эксперимент 02.07.2009



Подспутниковые эксперименты с искусственными сликами,
создаваемыми с помощью олеиновой кислоты (OLE) и
додецилового спирта (DA).

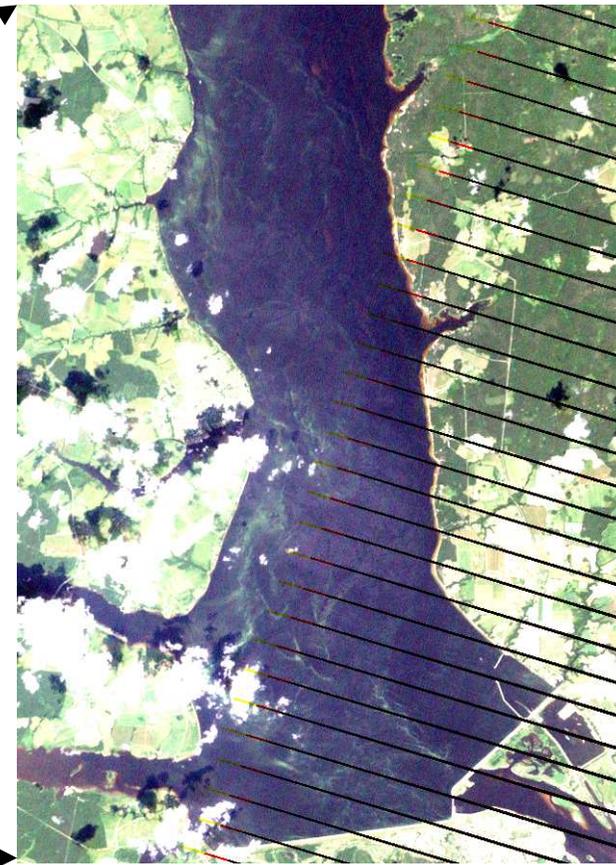
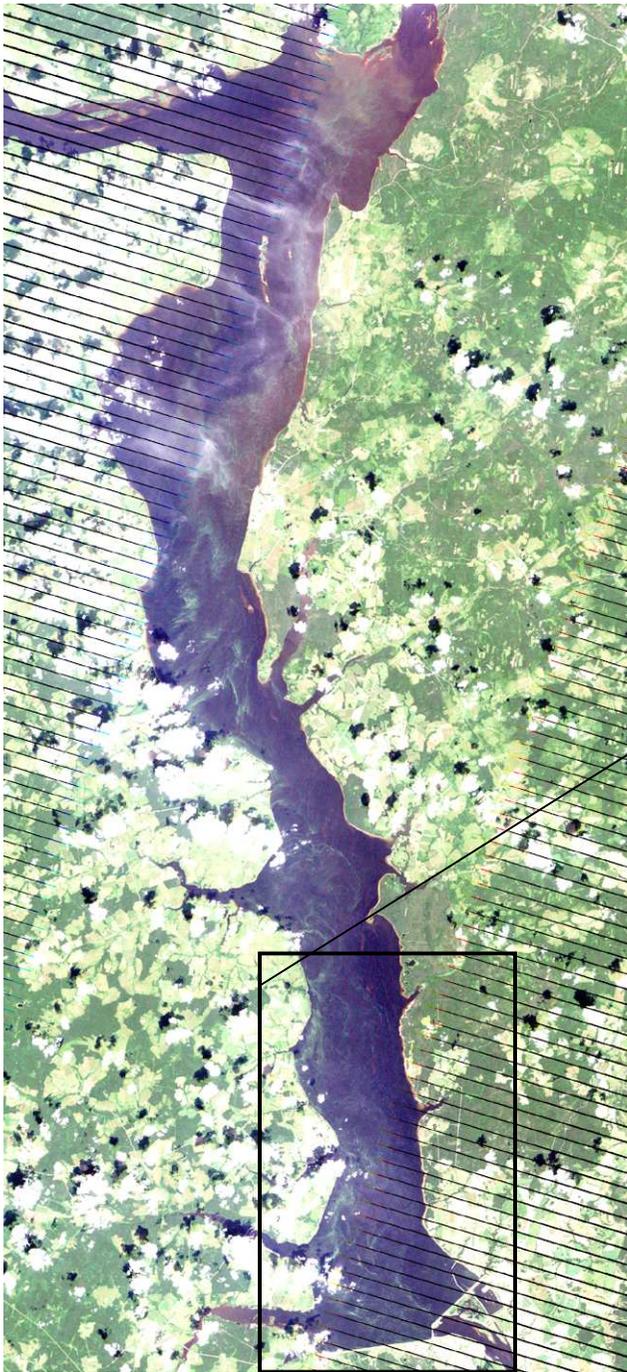
TerraSAR-X изображение, угол падения 22,5°. Ветер 4,5 м/с, 270°



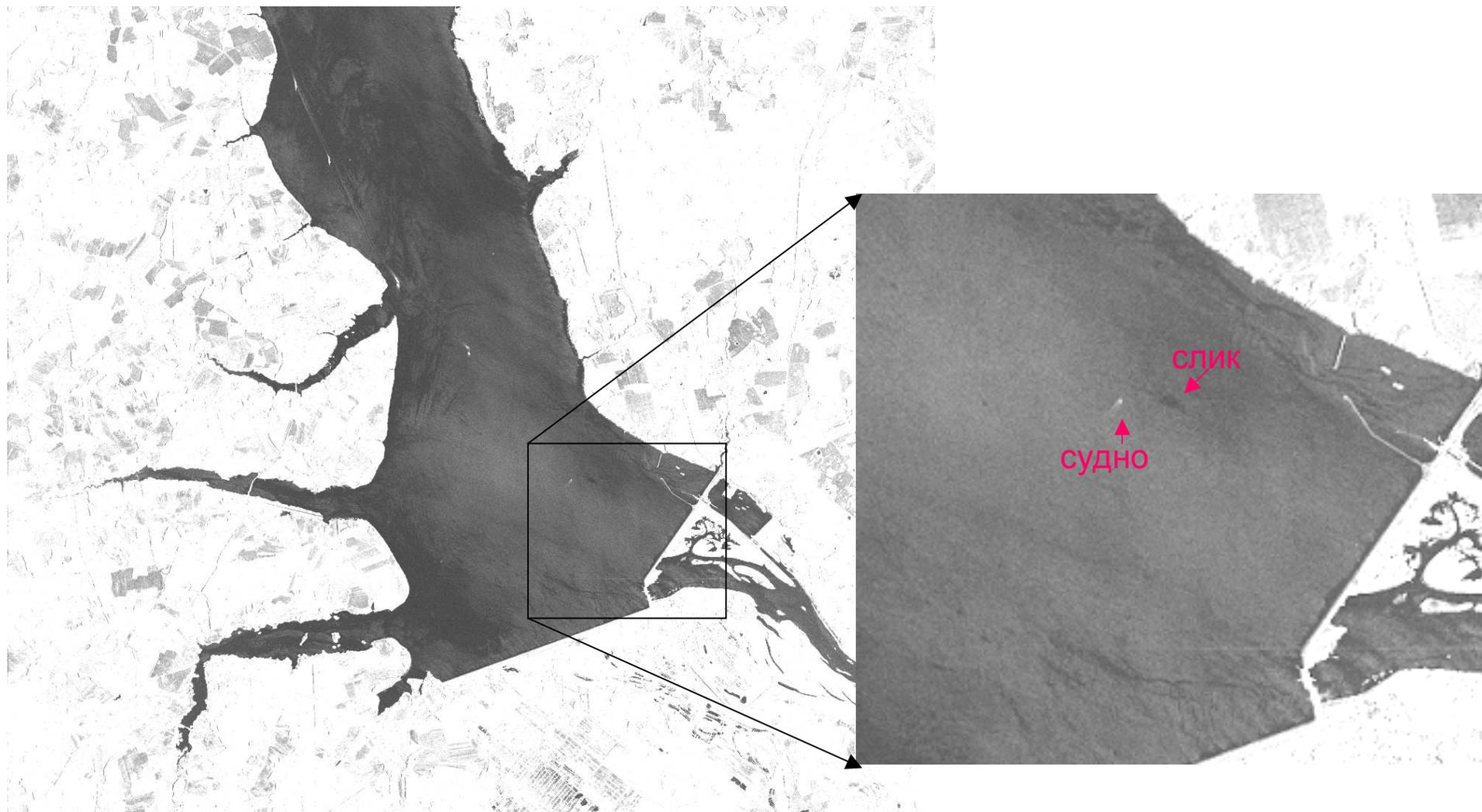


Начало интенсивного цветения водорослей

Landsat-7 ETM+
изображение
08.07.2009
композит 3, 2 и 1 каналов



Подспутниковый эксперимент 14.07.2009



Подспутниковые эксперименты с искусственными сликами, создаваемыми с помощью олеиновой кислоты (OLE) и додецилового спирта (DA).

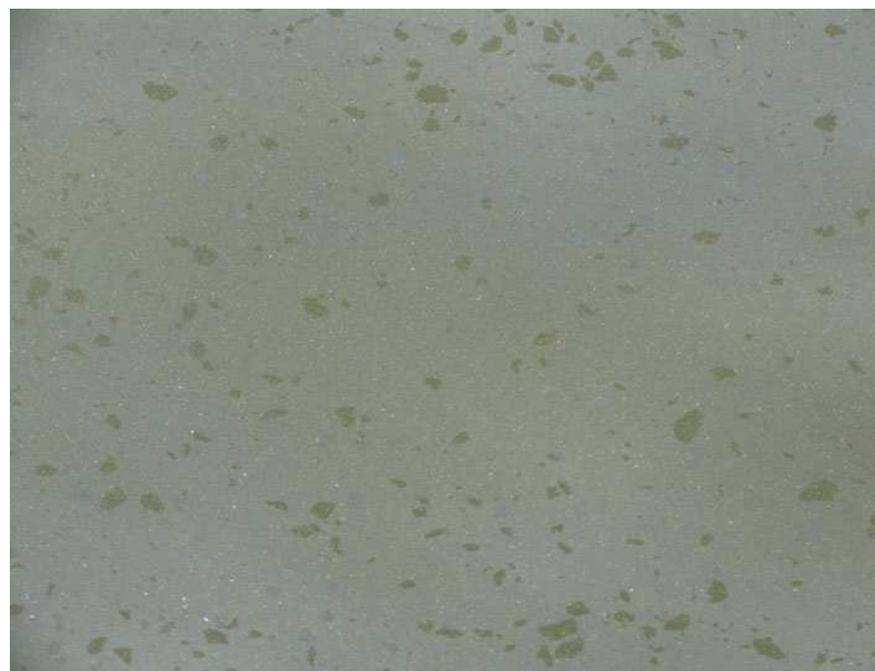
TerraSAR-X изображение, угол падения $31,9^\circ$. Ветер 2,5-3 м/с, 300°

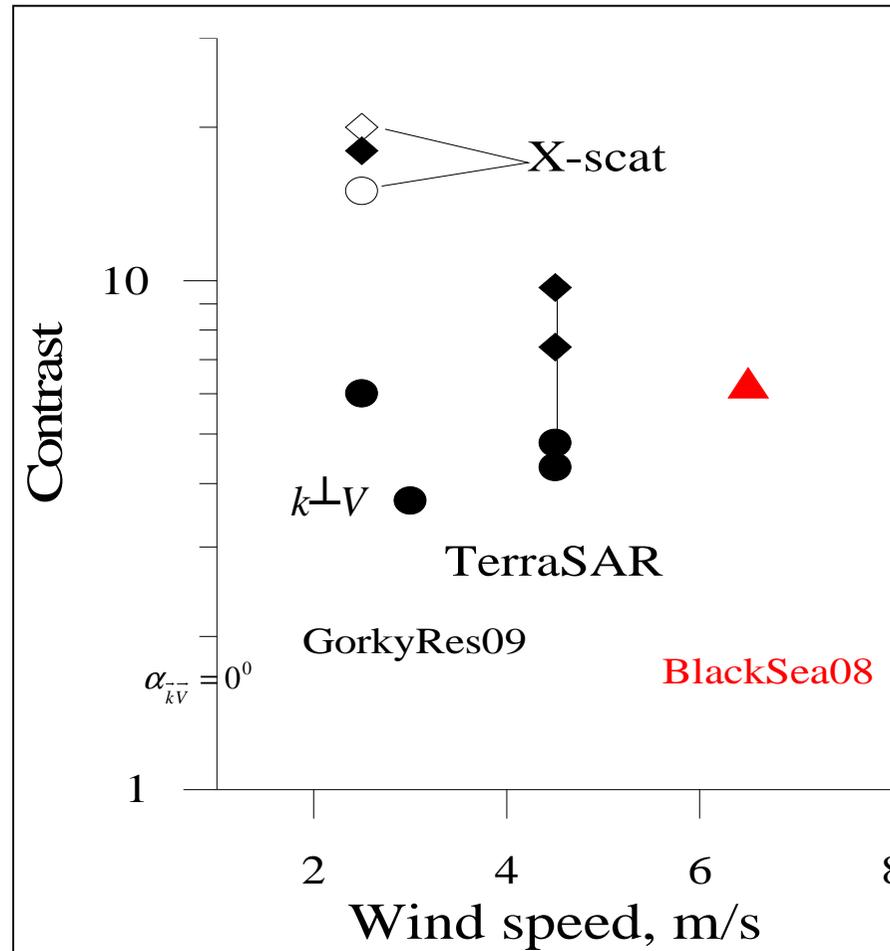
Эксперимент с искусственными сликами 14.07.2009



С.А. Ермаков (ИПФ РАН) создает искусственный слик
с помощью олеиновой кислоты (OLE)

Через 4 часа после искусственного разлива





Контрасты в пленочных снимках (отношение интенсивности радиолокационного сигнала в фоне и снимке OLE) в зависимости от скорости ветра по данным TerraSAR-X и судового скаттерометра. 26.06.09 – поперек ветра, 02.07.09, 14.07.09, 11.09.08 (Черное море) – по ветру. Угол падения $22,5 - 36^\circ$.

Контрасты в снимках, измеренные скаттерометром с судна, несколько выше восстановленных по спутниковым изображениям, это связано с различием в углах наблюдения, а также с особенностями формирования РСА-изображения

Схема экспериментов 29.07.2009 и 14.08.2009 г.



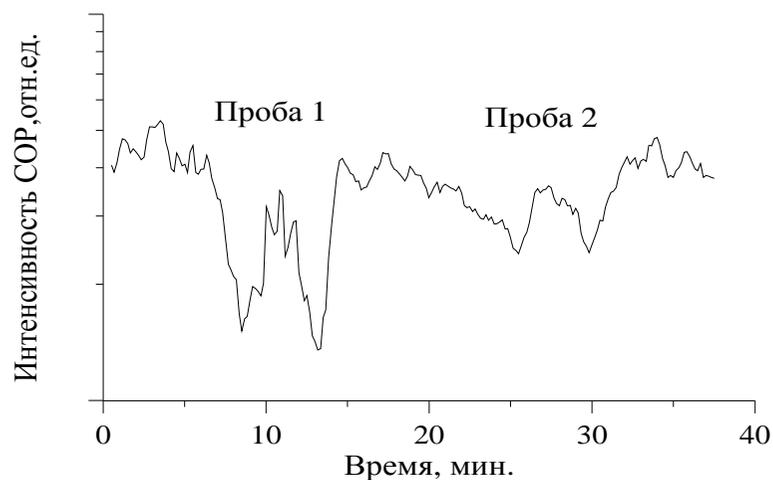
Схема акватории южной части водохранилища и траектории движения катера в экспериментах 29.07.2009 и 14.08.2009 г. Отмечены места взятия объемных проб воды и проб пленок.

Концентрация фитопланктона и его видовой состав

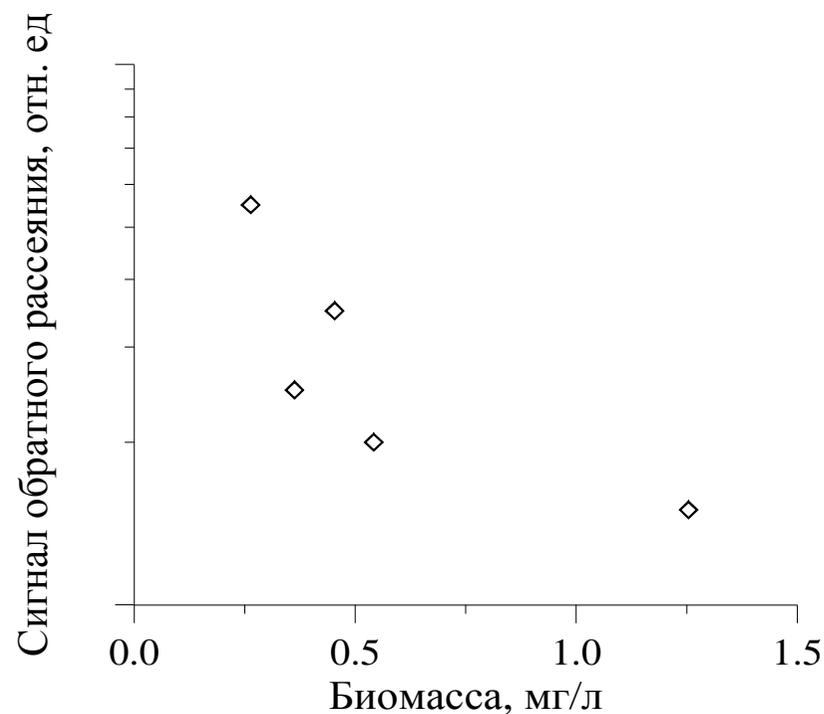
Концентрация биомассы водорослей, мг/л	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №4	Проба №5
Зеленые	0.073	----	0.013	0.044	0.051
Диатомовые	0.290	0.118	0.509	0.158	0.178
Пирофитовые	----	0.004	0.003	0.005	----
Золотистые	0.011	0.153	0.011	0.0002	0.001
Эвгленовые	0.002	0.007	----	----	----
Синезеленые	0.166	0.171	0.718	0.056	0.132
Суммарная биомасса	0.542	0.453	1.254	0.263	0.362

Объемные пробы. Концентрация биомассы и видовой состав 29.07.2009 г.

Вариации интенсивности РЛ сигнала в зонах эвтрофирования



Фрагмент записи интенсивности сигнала скаттерометра при движении судна через зоны с различным содержанием СЗВ (эксперимент 29 07.2009)



Интенсивность РЛ сигнала как функция концентрации фитопланктона в эксперименте 29.07.2009

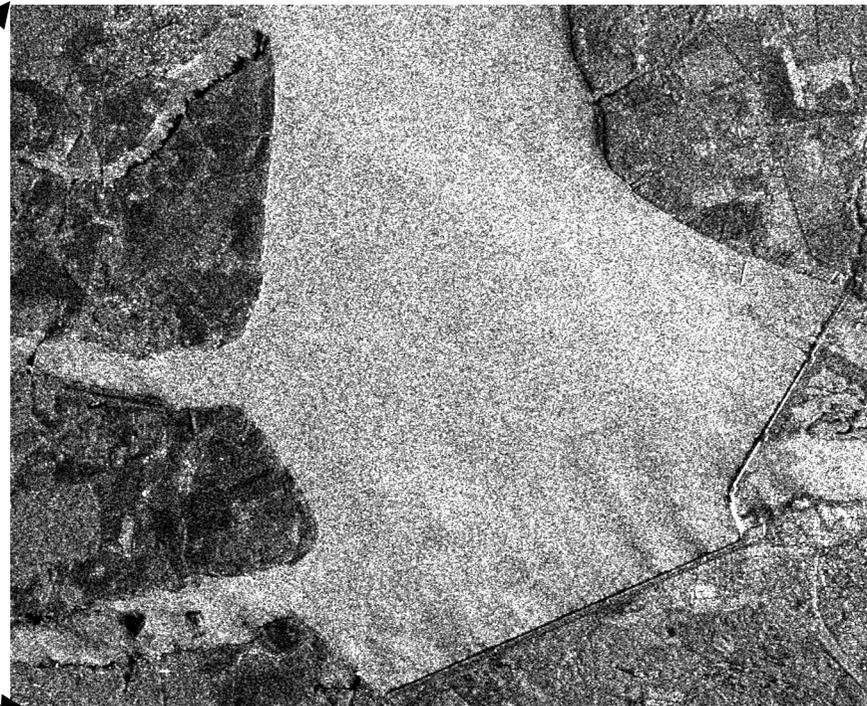
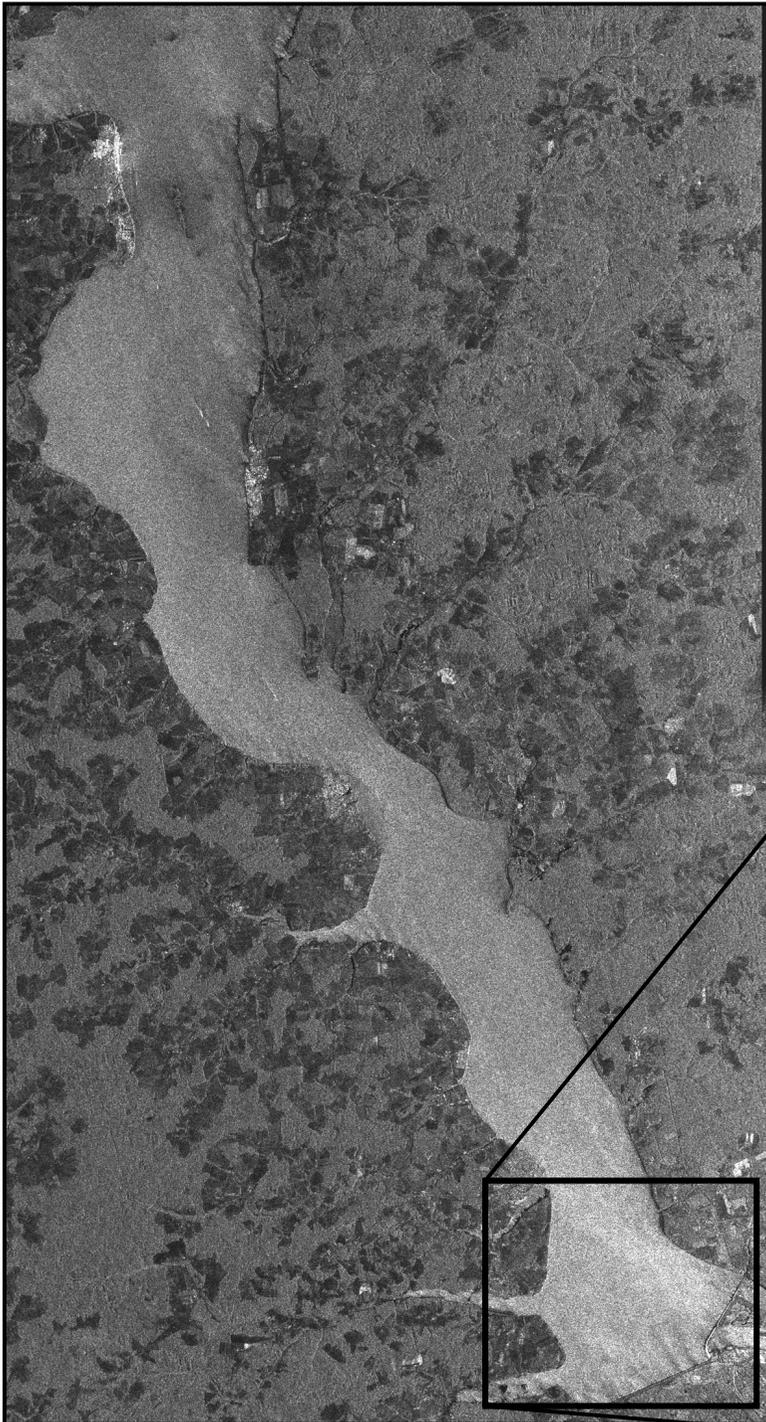
Интенсивность РЛ сигнала падает с ростом концентрации биомассы

Подспутниковый эксперимент 14.08.2009

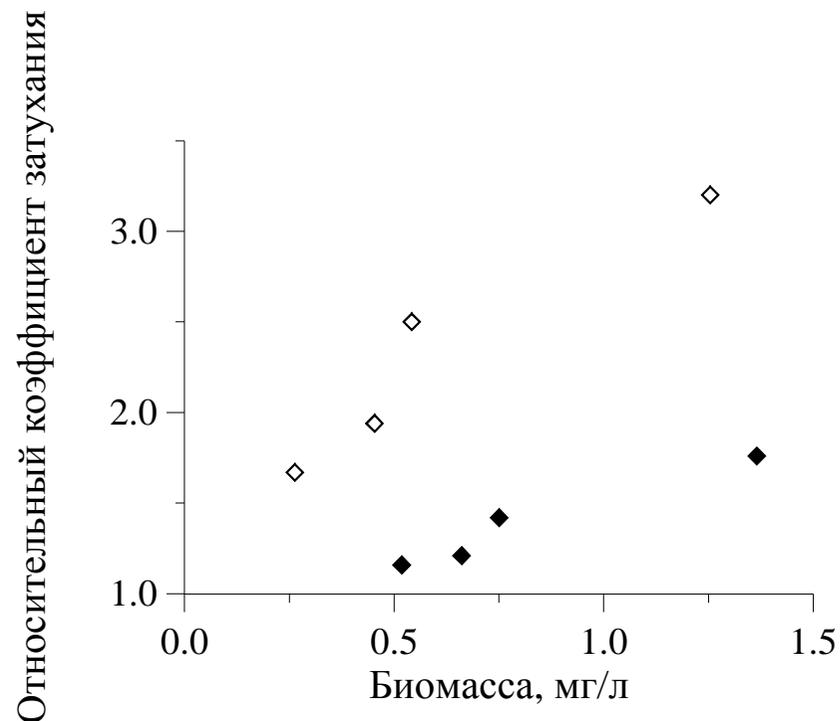
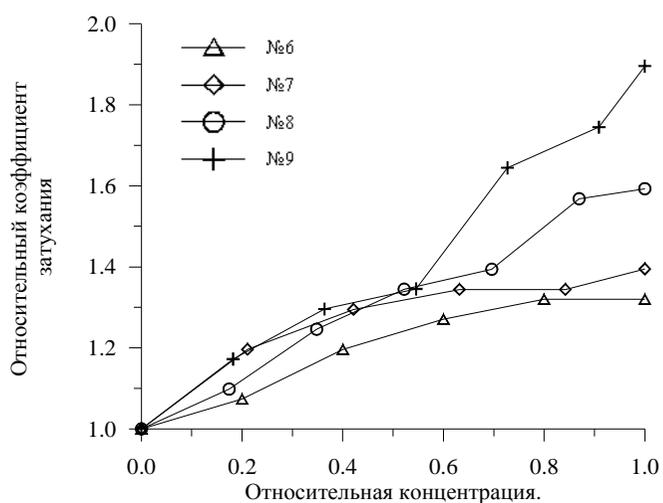
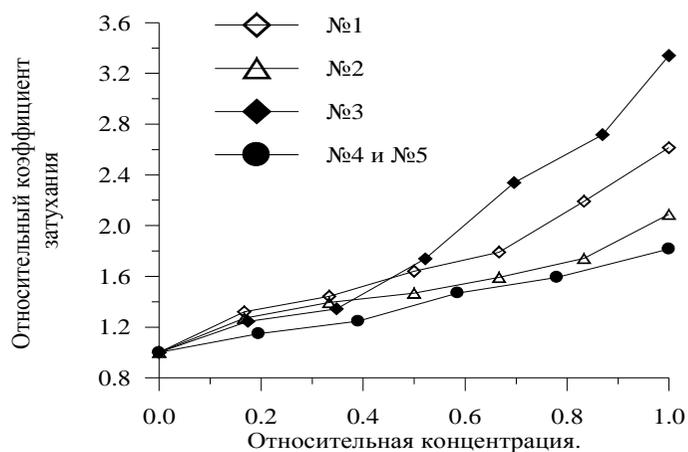
ASAR Envisat IMP изображение с разрешением 12,5 м.

Ветер 3-5 м/с, 180°

Струйные течения, которые на РЛИ видны у дамбы, были выявлены с помощью ADCP на большом удалении от нее



Затухание волн на поверхностных пленках в зонах эвтрофирования

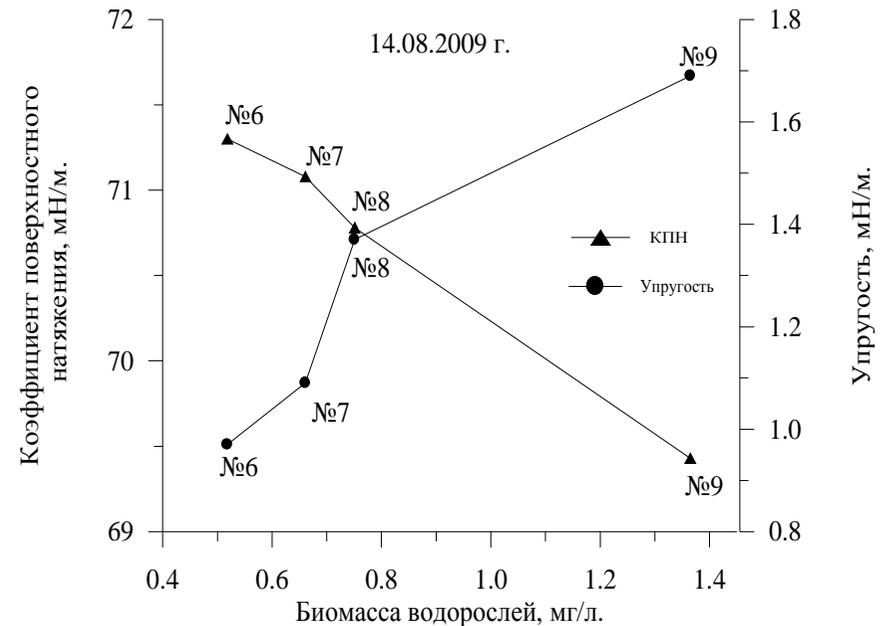
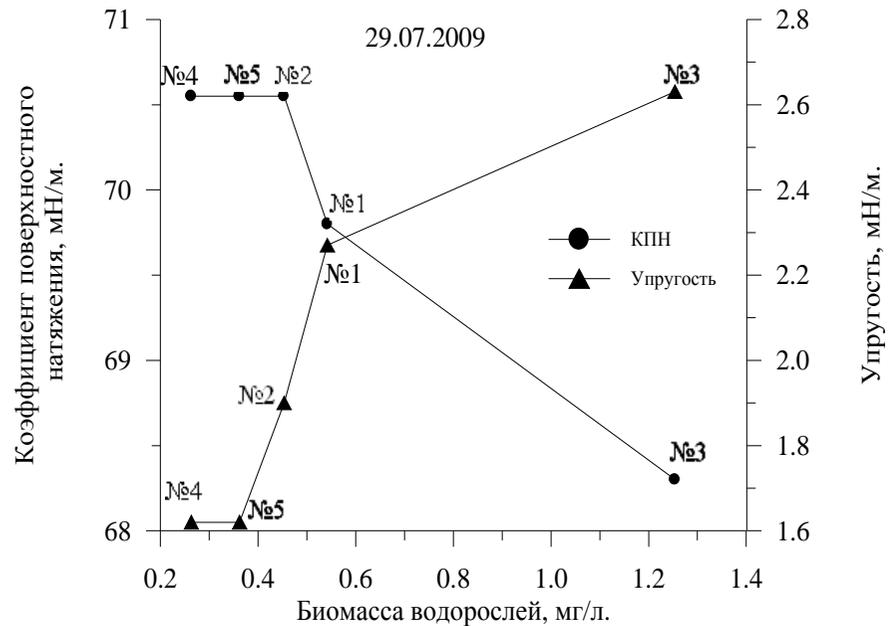


Коэффициент затухания ГКВ на пленках, как функция концентрации биомассы

Относительный коэффициент затухания ряби на образцах пленки (на дистил воде) из зон с различной интенсивностью цветения СЗВ. Эксперименты 29.07.2009 г. и 14.08.2009г.

Коэффициент затухания ряби на биогенных пленках растет с ростом концентрации биомассы.

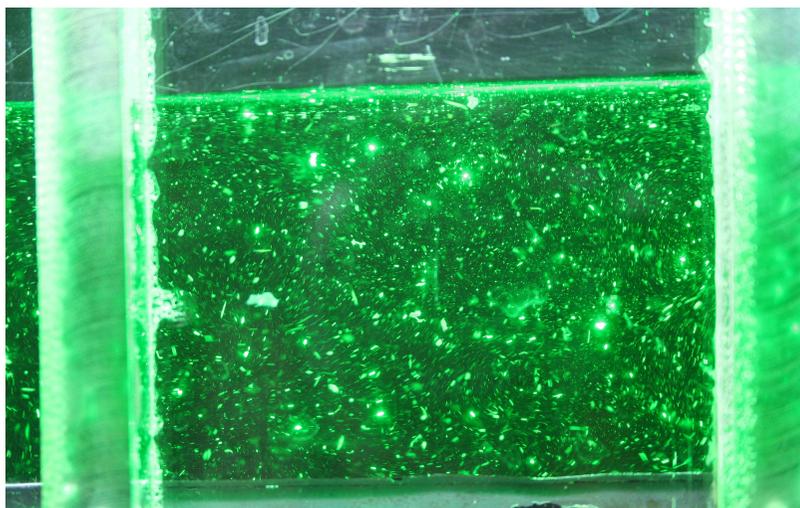
Связь характеристик биогенных пленок к концентрации фитопланктона



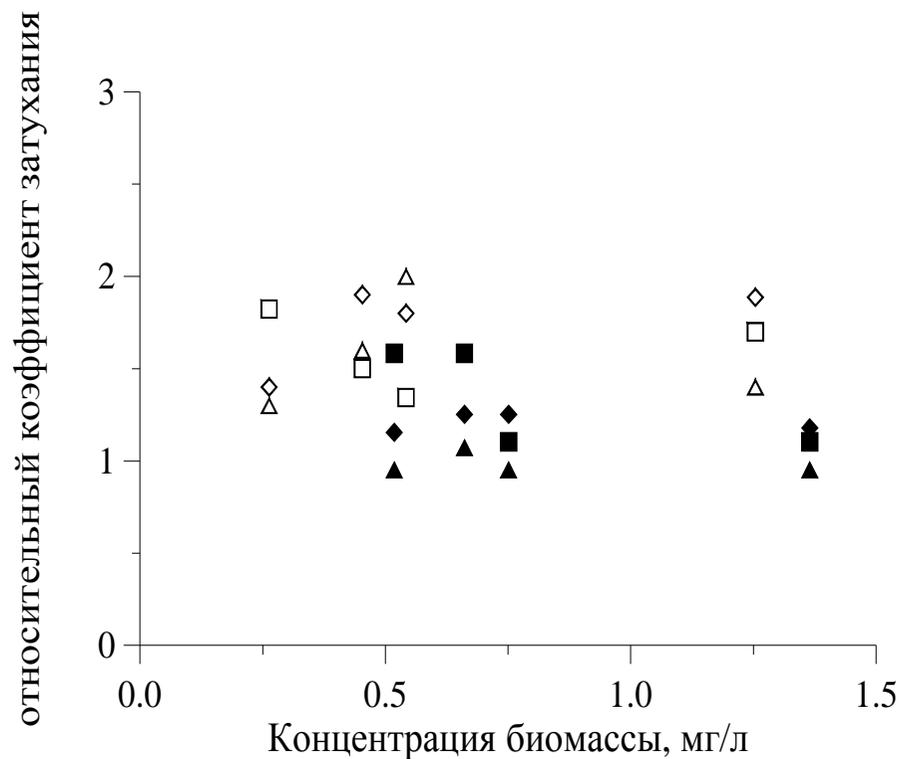
Упругость и коэффициент поверхностного натяжения (КПН) для биогенных пленок как функция концентрации фитопланктона

Упругость биогенных пленок возрастает, а КПН уменьшается с ростом концентрации фитопланктона, что свидетельствует о возрастании концентрации ПАВ на поверхности с ростом объемной концентрации биомассы

Затухание волн на объемных пробах воды. Эффективная вязкость воды в зонах эвтрофирования



Фотография воды с
фитопланктоном



Относительный (нормированный на чистую воду) коэффициент затухания
ГКВ или отношение вязкостей воды с взвесью и чистой воды.

Измерения для ГКВ с частотами 10, 15 и 20 Гц.

Объемные пробы: светлые точки – 29.07, темные точки -14.08

Наличие биомассы увеличивает вязкость воды и коэффициент затухания ряби

Landsat-5 TM изображение от 03.07.2010

композит 5, 3 и 1 каналов



Усиление цветения водорослей

Landsat-5 TM изображение от 19.07.2010
композит 3, 2 и 1 каналов





**Проявление корабельных следов в
условиях интенсивного цветения
водорослей**

**«Белые» следы за кораблями
в Балтийском море**



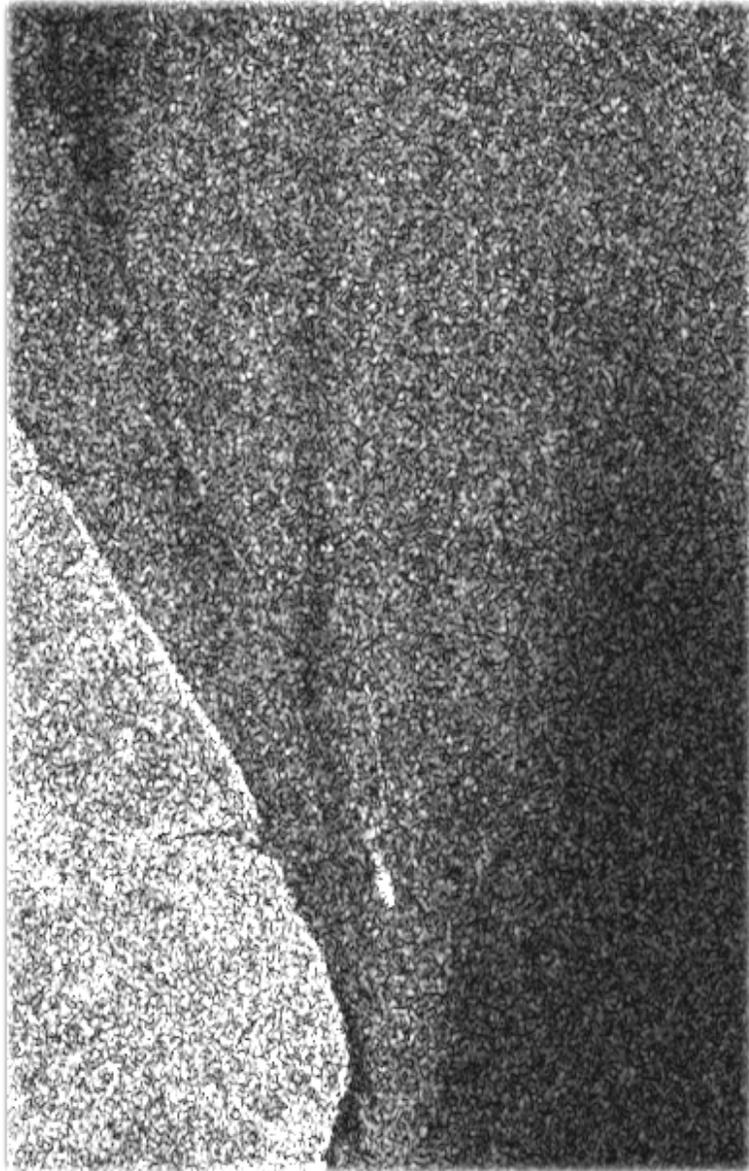


ASAR Envisat WSM изображение от 12.07.2010

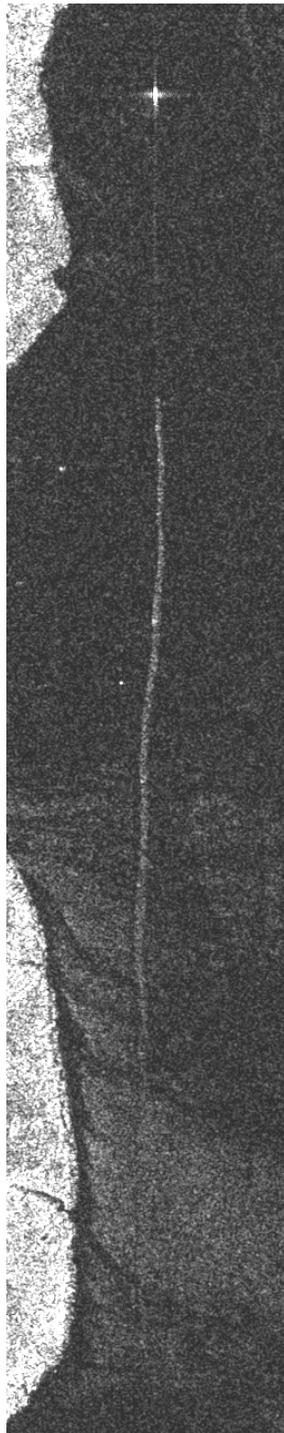
**«Белые» следы за кораблями протянулись
от о. Готланд на север на 120 км**

**Подобная ситуация наблюдается в Черном
и Каспийском морях во время
интенсивного цветения водорослей**

**ASAR Envisat APP изображение
от 22.06.2010
Горьковское водохранилище**

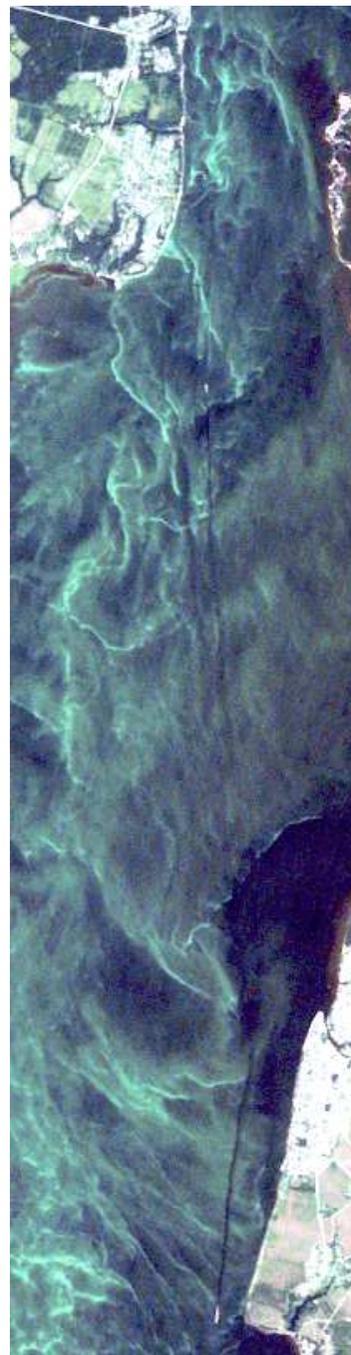


**«Обычный» кильватерный след за
кораблем. Ветер 1 м/с, 140°**



**«Белые» следы за
кораблями в
Горьковском
водохранилище**

**ASAR Envisat IMP
изображение
от 02.08.2009**



**Landsat-5 TM
изображение от
19.07.2010
композит 3, 2 и 1
каналов**

A scenic view of a lake with a dense forest on the shore under a clear blue sky. The text "Спасибо за внимание" is overlaid on the water in white serif font.

Спасибо
за
внимание