

Результаты оперативного спутникового мониторинга Черного, Балтийского и Каспийского морей в 2009-2011 годах

Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Каримова С.С., Бочарова Т.Ю., Строчков А.Я.

Институт космических исследований РАН

olavrova@iki.rssi.ru

# Спутники и сенсоры, используемые для мониторинга

- Радиолокаторы с синтезированной апертурой ASAR ИСЗ Envisat, SAR ИСЗ ERS-2, пространственное разрешение в точке 12,5; 75 м. РЛИ в режиме реального времени скачиваются с ftp трех европейских станций приема и первичной обработки данных: ESRIN, MATERA и KIRUNA и заказываются в рамках научных проектов
- Многоканальный сканирующий спектрорадиометр MERIS ИСЗ Envisat; разрешение на местности 260 м. В основном используются композиты 7, 5 и 2 каналов и карты взвешенного вещества
- Сканирующие спектрорадиометры MODIS ИСЗ Terra/Aqua; Используются композиты 3, 2 и 1 каналов, с разрешением 250 м. выставляемые в режиме реального времени на сайте http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov
- Сканирующие радиометры ETM+ ИСЗ Landsat 7. и TM Landsat-5. Данные скачиваются с сайта http://glovis.usgs.gov. Разрешение 15, 30 и 60 м
- Kapmы SST, WLR CHR-а скачиваются с сайтов http://dvs.net.ua/mp/index.shtml u http://smiswww.iki.rssi.ru/
- карты ледового покрова http://www.smhi.se/oceanografi/iceservice/is\_prod\_en.php





# Районы интереса

## Моря: Черное, Азовское, Мраморное, восточная часть Средиземного моря





## Каспийское море



# КИ Балтийское море и Датские проливы



### Методика проведения спутникового мониторинга

- > получение спутниковой информации с соответствующих серверов;
- координатная привязка радиолокационных изображений по навигационным данным, содержащимся в служебной информации к каждому кадру, в результате изображение представляется в координатах долгота-широта;
- подбор гистограммы с целью наилучшего визуального восприятия основных информативных сигнатур на морской поверхности;
- нанесение координатной сетки;
- Географическая привязка и приведение данных различных приборов дистанционной диагностики, полученных в разных диапазонах зондирования и обладающих различным пространственным разрешением к виду, позволяющему проведение их совместного анализа;
- комплексная обработка и совместный анализ разнородных спутниковых изображений и интеграция результатов обработки спутниковых данных с информацией, полученной из других источников.
- тематическая обработка спутниковых данных, включающая в себя: интерактивное дешифрирование многозональных спутниковых изображений.

Вся информация об имеющихся данных и результаты тематической обработки заносятся в каталог. Все полученные радиолокационные данные сведены в альбомы, содержащие как сами изображения, так и результаты их дешифровки. Исходные данные и результаты их тематической обработки будут представлены в разрабатываемом в ИКИ РАН сервере See the Sea (будет представлен в докладе Уварова Ивана, ИКИ РАН)

# Сводная таблица радиолокационных изображений, полученных и тематически обработанных в 2009-2011 г.г.

Район	2009 г		2010 г		2011 г	
	ERS-2 SAR IMM	Envisat ASAR WSM, IMM	ERS-2 SAR IMM	Envisat ASAR WSM, IMM	ERS-2 SAR IMM (в июле 2011 закончил работу)	Envisat ASAR WSM, IMM
Черное море	88	261	101	263	71	358
Каспийское море	Съемка не осуществ- лялась	166	Съемка не осуществ- лялась	163	Съемка не осуществ- лялась	178
Балтийское море	72	261	132	507	47	547

Общее количество РЛИ - 3215



## Результаты мониторинга



### Основные изучаемые процессы и явления

Внутренние волны в неприливных морях

> Атмосферные гравитационные внутренние

волны

▶ Вихри и вихревые диполи

> Мониторинг ледяного покрова

> Мониторинг антропогенных загрязнений

> Наблюдения за судами

#### Внутренние волны в неприливных морях

Внутренние волны в морях без приливов существенно менее интенсивны, чем их аналоги в океане или в морях с приливами, но более разнообразны с точки зрения механизмов своего происхождения. Зарождение внутренних волн в этих морях возможно при протекании активных динамических процессов, связанных:

> с возникновением и релаксацией прибрежного апвеллинга;

≻сгонно-нагонными явлениями;

>инерционными колебаниями;

≻вихрями различных масштабов;

>осцилляциями гидрологических фронтов

>движущейся прибрежных вод поверхностной интрузией распре

распресненных

### Основные районы спутниковых наблюдений поверхностных проявлений внутренних волн в Черном море



http://www.iki.rssi.ru/asp/iw\_images/index.html



Цуг внутренних волн в районе Севастополя. Фрагмент РЛИ ASAR Envisat IMP VV, полученного 07.08.2009 в 08:05UTC с разрешением 12,5 м Длина фронта ведущей волны 21800 м, максимальная длина волны 370 м



Поверхностные проявления внутренних волн в районе дельты Дуная Цветосинтезированное изображение TM Landsat 5 от 6 июня 2010

Поверхностные проявления многочисленных пакетов внутренних волн, распространяющихся в разных направлениях





Внутренние волны в районе дельты Дуная

Фрагмент Landsat-5 ТМ от 09.07.2011

#### Фрагмент ASAR Envisat от 08.06.2010

Вынос вод Дунаем

Распространение цугов внутренних волн происходит как по направлению выноса вод Дуная, так и в противоположном направлении



### Обобщенная карта-схема распределения ППВВ, выявленных по данным спутниковой радиолокации в центральной части Каспийского моря



КИ

http://www.iki.rssi.ru/asp/iw\_images/index.html



Цуг внутренних волн в Среднем Каспии Фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH, полученного 11.09.2010 в 06:52 UTC с разрешением 75 м. Протяженность фронта передней волны 82 км (!) Примеры поверхностных проявлений нелинейных взаимодействий цугов внутренних волн в Каспийском море







# Внутренние волны в Балтийском море



Внутренние волны в южной части Ботнического залива. Фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH, полученного 24.07.2010 в 09:07 UTC с разрешением 75 м





Пример взаимодействующих цугов внутренних волн в проливе Скагеррак. Фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH, полученного 25.03.2011 в 09:42 UTC с разрешением в точке 75 м

# КИ Атмосферные гравитационные внутренние волны





Поверхностные проявления атмосферных гравитационных внутренних волн в Каспийском море, протяженность фронта лидирующей волны 600 км. Фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH, полученного 09.03.09 в 18:28 UTC с разрешением 75 м. Поверхностные проявления пересекающихся атмосферных внутренних волн в районе о. Борхольм. Фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH, полученного 26.04.10 в 20:33 UTC с разрешением 75 м.

# Различение ОВВ и АГВВ



а) Цуг внутренних волн в Среднем Каспии. Фрагмент РЛИ Envisat ASAR WSM HH, полученного 24.07.09 в 18:23 UTC с разрешением 75 м.

б) Поверхностные проявления мелкомасштабных атмосферных гравитационных внутренних волн в восточной части Азовского моря. Фрагмент РЛИ Envisat ASAR WSM VV, полученного 24.07.09 в 18:23 UTC с разрешением 75 м.

в) и г) Вариации радиолокационного сигнала вдоль обозначенных на РЛИ линий разреза

Радиолокационные образы двух этих явлений очень похожи. Отличия, видные на глаз: ОВВ проявляются в виде ярких светлых полос (сулоев) фронты которых искривлены, а АГВВ – в виде параллельных темных линий (сликов). Учитывая, что разрешение обоих снимков одинаково, видно, что ширина каждой полосы сулоя меньше, чем полосы слика. Поверхностные проявления АГВВ как бы несколько сглажены.



Узкий корабельный след (ширина ~ 200м, длина ~ 75км) и сулои от внутренних солитонов. Увеличенный фрагмент ASAR Envisat изображения от 13.04.2011

#### AB = 52,4 BC = 3,7 CD = 3,6 DE = 2,3 EF = 14,6 км











Поле ветра наложенное на РЛИ

#### Причины излома следа

- повороты судна не могут быть столь резкими (супертанкер!)
- снос ветром –потребовалась бы резкое изменение направления ветра, привязанное(?) к сулою на фронте внутреннего солитона!
  - снос течением потребовалась бы нереальная скорость!
- снос орбитальными течениями внутренних солитонов — возможен, если передний фронт солитона наткнулся на препятствие, которым может быть встречный солитон



## Мелкомасштабные вихри



# Механизмы проявления вихрей на радиолокационных изображениях

#### Вихри проявляются посредством:

- нитевидных сликов, образованных скоплениями пленок ПАВ в результате орбитального движения в вихре (темные полосы)
- полос сулоя, очерчивающих вихрь (яркие полосы) в результате сдвига течения
- ▶ плавучего молодого льда в роли пассивного трассера

# Проявление вихрей за счет сликового механизма



Фрагмент снимка SAR ERS-2 IMM VV от 21.06.2009. Балтийское море к северу от о. Готланд. Разрешение 75 м.

## КИ Проявление вихрей за счет сликового и сдвигово-волнового механизма



1 – вихри, очерченные сликами

2 – вихри, очерченные полосами сулоя

Фрагмент снимка ASAR Envisat IMM VV от 24.03.2010. Скорость ветра 1-8 м/с

При больших скоростях ветра, 8-12 м/с, слики разрушаются. Вихри могут проявляться в виде ярких «арочных» структур, очерчивающих вихрь или его часть



### Проявление вихрей за счет «ледового механизма»



Фрагмент снимка ASAR Envisat WSM HH от 26.01.2010

Плавучий молодой лед в роли пассивного трассера

КИ HODIS-AQUA VASA 20 May 2009 11:10 GMT MHI NASU OceanColo прибрежного Проявление антициклонического вихря на картах нормализованной яркости восходящего излучения (WRL, хлорофилла-А (Chlr-a, слева), слева) температуры внизу морской поверхности (SST, внизу справа). Вихрь обозначен стрелкой. 40

dater-leaving radiance (0.551 μm), mW·cm<sup>-</sup>2·μm<sup>-</sup>1·sr<sup>-</sup>

47

45

28



# 7 октября 2011



Карта пространственного распределения взвешенного вещества, построенная на основе данных MERIS Envisat Д.М. Соловьевым (МГИ). Размеры вихря: диаметр большой оси – 35 км; малой – 16 км

# КПроявление вихрей на оптических снимках



Сигнал формируется благодаря неоднородностям шероховатости морской поверхности, например, поверхностным пленкам в роли трассеров, как в случае радиолокационных изображений

Фрагмент снимка Envisat MERIS от 01.05.2010. Проявление вихрей в зоне солнечного блика



Мелкомасштабные вихри





Фрагмент снимка ASAR Envisat WSM VV от 29.08.2009 в районе дельты реки Дунай. Разрешение 75 м

Фрагмент карты Chlr-а, полученной на базе данных MODIS Aqua. Разрешение 1 км. Прямоугольник соответствует положению РЛИ



Мелкомасштабные вихри и фронт (1)

B



возмущение приводном слое атмосферы

возмущение в верхнем слое моря, быстро убывающее с глубиной

приповерхностная плотностная стратификация, суточный термоклин

возмущения в море становятся существенно двумерными

«Двумерная» турбулентность характеризуется увеличением масштаба и одновременно завихренностью

# Мелкомасштабные вихри и фронт (3)



Фрагмент снимка SAR ERS-2 IMM VV от 02.02.2010, Черное море. Стрелками указано положение фронта. Возможно, фронт блокирует распространение вихрей Более подробно вопрос исследования вихревых процессов на основе спутниковой информации будет рассмотрен в докладе Каримовой Светланы

# КИ Мониторинг ледяного покрова (1)



Ледовая обстановка в районе ледостойкой нефтедобывающей платформы Д-6 09.02.2010.

а) Фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH, полученного 09.02.2010 в 08:54 UTC с разрешением 75 м (© ESA). Звездочкой отмечена платформа Д-6.

б) Карта ледового покрова юго-восточной части Балтийского моря за данное число (http://www.smhi.se)

# Мониторинг ледяного покрова (2)



Вынос льда из реки Висла. Фрагмент ASAR Envisat WSM НН изображения от 27.01.2010, 09:05 UTC. Пространственное разрешение 75 м.





Проявление вихревых диполей в Финском заливе ASAR Envisat от 04.02.2012

Карта ледяного покрова за 04.02.2012 *(http://www.smhi.se)* 



# **К**И Мониторинг ледяного покрова (3)



Корабельные следы во льдах в Финском заливе. Фрагмент снимка ASAR Envisat WSM HH от 17.02.2010, 19:31 UTC. Размер пикселя 75 м. (© ESA)

#### Мониторинг антропогенных и естественных загрязнений морской поверхности (Подробно будет рассмотрено в докладе Митягиной Марины Ивановны)

# Мониторинг антропогенных загрязнений. Черное море



Обобщенная карта-схема значительных нефтяных загрязнений российского сектора Черного моря, составленная на основе дешифрирования данных спутниковой радиолокации высокого разрешения, полученных в 2006 – 2010 гг.

# Мониторинг антропогенных загрязнений. Балтийское море



Обобщенные карты-схемы всех нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа РЛИ: а) с июня 2004 г. по ноябрь 2005 г.; б) с января 2009 по август 2010. Кружочки – 2009 г., квадратики – 2010. Зеленый квадратик – нефтедобывающая платформа Д-6

#### Нефтяные загрязнения у Нефтяных камней



а



б

Загрязнения акватории нефтяных платформ в районе Нефтяных камней, проявляющиеся на РЛИ при различных метеорологических условиях: а) Ветер северный 8 м/с. Фрагмент Landsat 5 ТМ изображения от 30.05.2009 07:07 UTC, зона солнечного блика. Композит 7, 4 и 2 каналов. Разрешение 30 м. (http://glovis.usgs.gov/)

б) Ветер северный 5м/с с переходом на южный.
Фрагмент РЛИ Envisat ASAR WSM HH от 31.05.09 18:20 UTC.

в) Умеренный юговосточный ветер 4 м/с.
Фрагмент РЛИ Envisat ASAR WSM HH от 28.07.10 18:26 UTC.

г) Сильный северный ветер 12 м/с. Фрагмент РЛИ Envisat ASAR WSM HH от 19.06.09 18:23 UTC. Разрешение всех РЛИ 75 м. (© ESA)



### Мониторинг антропогенных загрязнений. Черное море



Загрязнения в районе сброса сточных вод. Фрагмент ASAR Envisat IMP VV изображения от 29.09.2010, 07:28 UTC. Пространственное разрешение 12,5 м

## 8 октября 2011



Фрагмент ASAR Envisat изображения, полученного 08.10.11 в 07:51 UTC с разрешением в точке 75 м. Темная область вдоль берега не является ветровой тенью. Справа - фото с высокого берега: Верхнее фото – в сторону выглаженной ПАВами воды, нижнее фото содержит проявления мелкомасшабной ряби и вихрей

# КИ

 $\succ$ 

### Заключение (1)

- При проведении ежедневного оперативного спутникового мониторинга, который осуществляется над акваториями Черного, Балтийского и Каспийского морей начиная с 2009 года, получено огромное количество спутниковой информации.
- Только радиолокационных данных высокого разрешения ASAR Envisat и SAR ERS-2 за три года получено 3215 изображений (!).
  - Практически ко всем из них была подобрана сопутствующая информация: данные оптических и ИК сенсоров и данные метеостанций.
  - Огромный массив данных требует тщательной совместной обработки и осмысления.
  - Остро назрела необходимость создания полноценной базы данных всех результатов мониторинга



### Заключение (2)

Предварительный анализ накопленных данных уже на настоящем этапе позволил:

> выявить и детально изучить внутренние волны в бесприливных морях, определить районы их наиболее частых поверхностных проявлений, высказать предположения об источниках их генерации;

≻ провести исследование мелкомасштабных вихревых структур и выявить их связь с фронтальными зонами в атмосфере и море;

≻ продолжить мониторинг антропогенных загрязнений морской поверхности и провести сравнение современного состояния с предыдущими годами;

≻ начать работу по мониторингу ледового покрова в Балтийском, Азовском морях и в северной части Каспийского моря



### Заключение (3)

Остро назрела необходимость проведения хорошо организованных подспутниковых наблюдений, измерений и экспериментов.

Необходимообъединитьусилияученыхразличныхорганизаций,активнопроводитьсовместныеэксперименты,обмениватьсярезультатами дистанционныхи контактныхизмерений.



### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 08-05-00831-а и 10-05-00428-а). Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов С1Р.6342, АОВЕ 2775 u C1P.1027. Тематическая обработка данных MODIS Aqua/Terra и AVHRR NOAA выполнена Дмитрием Соловьевым и Сергеем Станичным, Морской гидрофизический институт, Севастополь



**3a** 

