

Выявление и мониторинг зон экологического риска морских акваторий на основе спутниковых данных

Лаврова О.Ю.

Институт космических исследований РАН

olavrova@iki.rssi.ru



**Восьмая международная Школа-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
03.04 - 07.04.2017, г. Таруса**

Основные участники проведения исследований

- Митягина Марина Ивановна (ИКИ РАН)
- Костяной Андрей Геннадьевич (ИО РАН им. П.П. Ширшова, Московский университет им. С.Ю. Витте)
- Строчков Алексей Яковлевич (ИКИ РАН)
- Назирова Ксения Равильевна (ИКИ РАН)
- Краюшкин Евгений Владимирович (ИКИ РАН, компания «Технополь»)
- Булычева Елена Владимировна (АО ИО РАН им. П. П. Ширшова, Калининград)
- Соловьев Дмитрий Маркович (МГИ РАН, Севастополь)

Актуальность

- Увеличение нефтяного загрязнения вследствие расширения деятельности нефтегазовой отрасли: строительство морских нефтедобывающих платформ, нефтяных терминалов, морские перевозки;
- повышение интенсивности судоходства при несоблюдении правил сброса балластных вод;
- повышение концентрации взвешенного вещества в воде, что приводит к увеличению мутности вод и снижению биопродуктивности;
- аномальное цветение вод, которое с каждым годом охватывает всё большие площади, становится более продолжительным и возникает в тех районах, где ранее не наблюдалось.

Выявление зон экологического риска базировалось на результатах следующих исследований:

- **Выявление и распознавание различных типов антропогенных и биогенных загрязнений.**
- **Выявление зон пространственной локализации поверхностных загрязнений пленками нефтеуглеводородов.**
- **Выявление зон пространственной локализации поверхностных биогенных пленок.**
- **Определение зон интенсивного цветения фитопланктона.**
- **Выявление зон распространения стока рек**
- **Выявление акваторий с повышенной мутностью**

Незаменимость спутниковых данных

На современном этапе исследование Мирового океана невозможно без использования спутниковой информации из-за:

- огромных размеров морских акваторий;
- высокой стоимости контактных измерений с судов;
- невозможности проводить постоянный мониторинг с самолета.

В последнее время во всем мире запущено большое количество спутников с научной аппаратурой на борту, работающей в разных диапазонах электромагнитного спектра. Только Европейское космическое агентство запускает в последние годы 7(!) серий различных спутников Sentinels



«Семейство» Sentinels

Точность и разрешающая способность этих приборов постоянно растёт, расширяется и набор параметров, характеризующих состояние океанов и морей, которые могут быть измерены из космоса. **Доступность данных!!!**

Используемые спутниковые данные

- *ERS-1/2 SAR, Envisat ASAR, Radarsat-2, TerraSAR-X, Tandem-X*

Данные были предоставлены космическими агентствами в рамках нескольких научных проектов

- *Sentinel-1 A,B SAR-C*

Данные скачивались в автоматическом режиме в системе

See the Sea из открытого архива

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Используемые спутниковые данные

➤ *Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI*

Данные скачивались в автоматическом режиме в системе See the Sea из открытого архива <http://glovis.usgs.gov/>

➤ *Envisat MERIS/ASAR*

Данные спутника Envisat были предоставлены Европейским космическим агентством в рамках нескольких научных проектов

➤ *Terra/Aqua MODIS*

Данные прибора MODIS скачивались в автоматическом режиме в системе See the Sea из открытого архива

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>

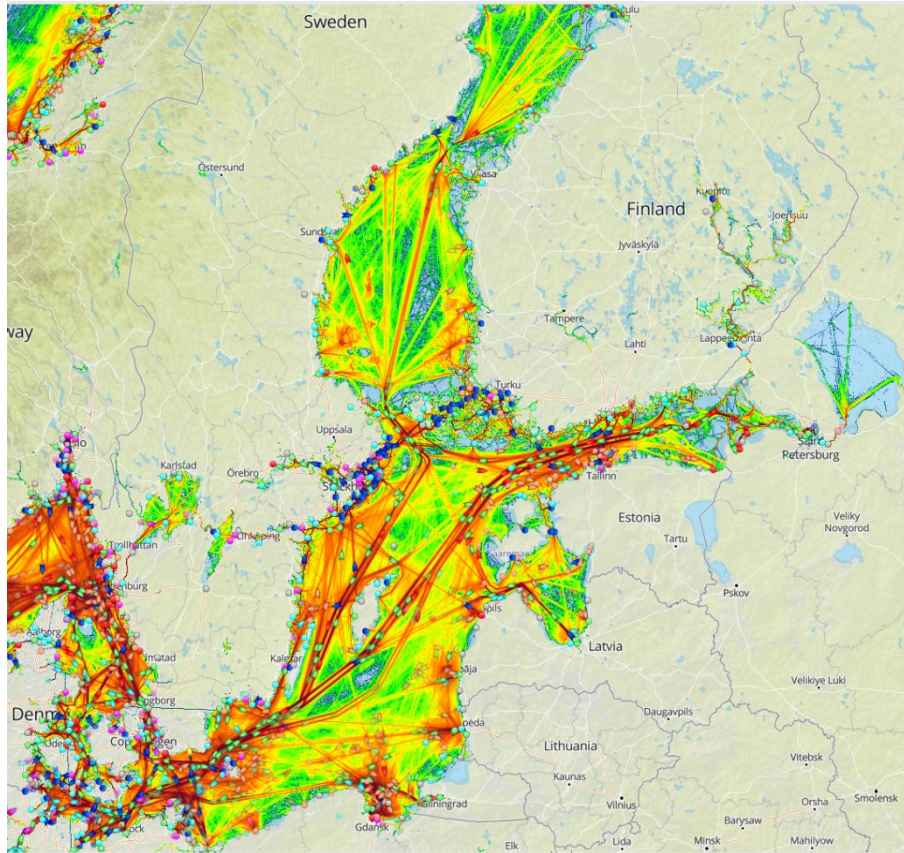
➤ *Sentinel-2A MSI*

Данные скачивались в автоматическом режиме в системе See the Sea из открытого архива <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Балтийское море

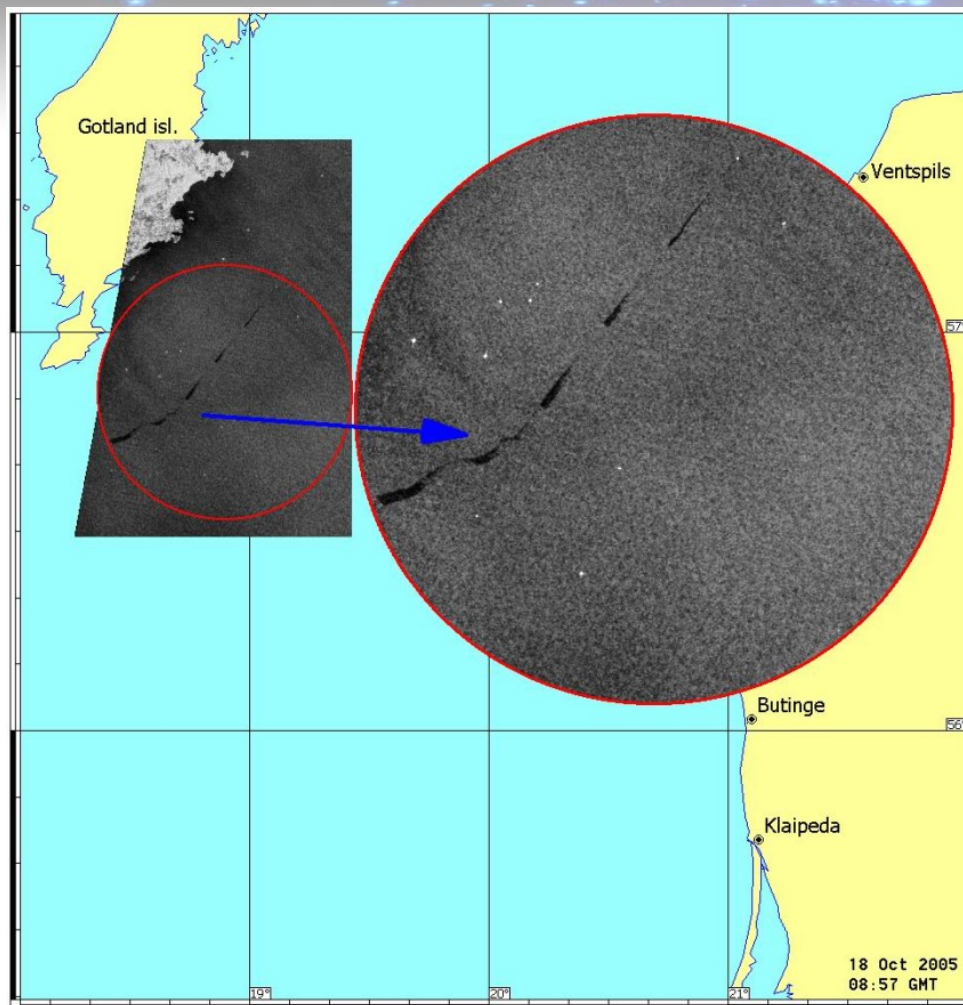
Особенности Балтийского моря:

- является внутриконтинентальным шельфовым бассейном Атлантического океана;
- затруднённый водообмен между Балтийским и Северным морями из-за мелководности проливов;
- омывает берега 9 стран: Дании, Германии, Польши, России, Финляндии, Швеции, Литвы, Латвии и Эстонии;
- активное судоходство;
- высокоразвитая хозяйственная деятельность по берегам;
- нефтяные платформы в море.



**Карта интенсивности судоходства в
Балтийском море**
(<http://www.marinetraffic.com>)

Проявления пленок нефтепродуктов на спутниковых изображениях

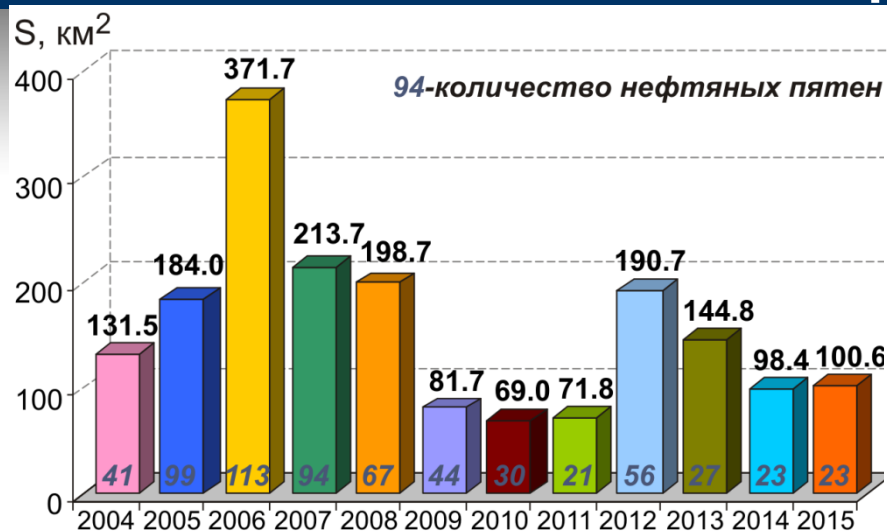


Проявление нефтяных пленок на РЛИ ASAR Envisat. Сброс нефтепродуктов с движущегося судна 18.10.2005 вблизи о. Готланд (длина шлейфа - 50 км, площадь пятна – 33 км²)

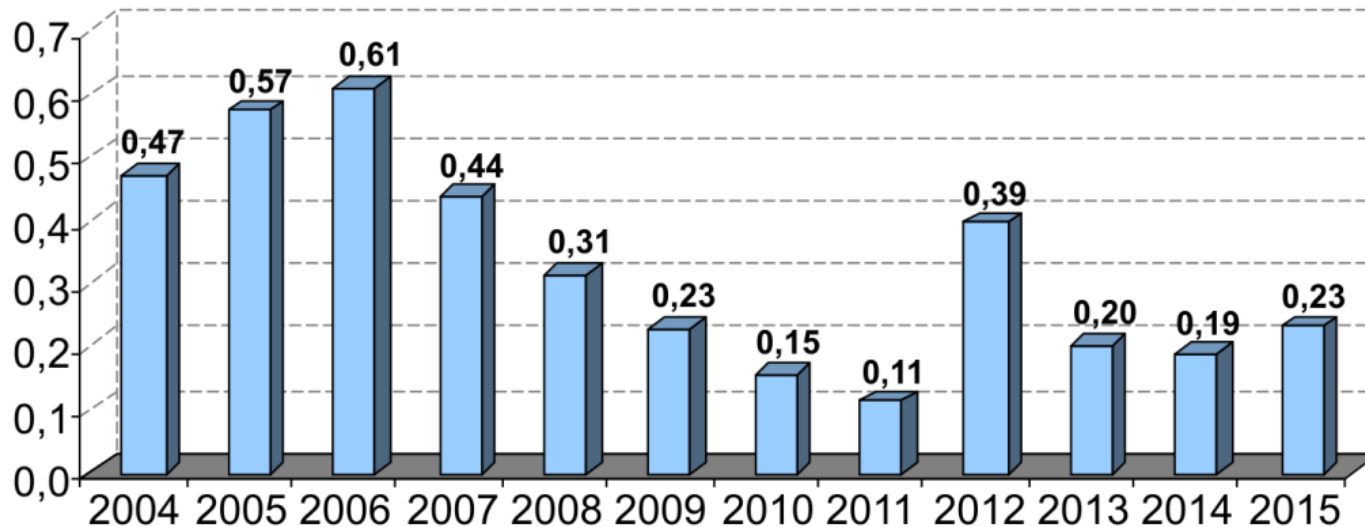


Проявление нефтяных пленок на изображении видимого диапазона в зоне солнечного блик, полученного в районе выноса Дуная.
TM Landsat-5 от 19.07.2009

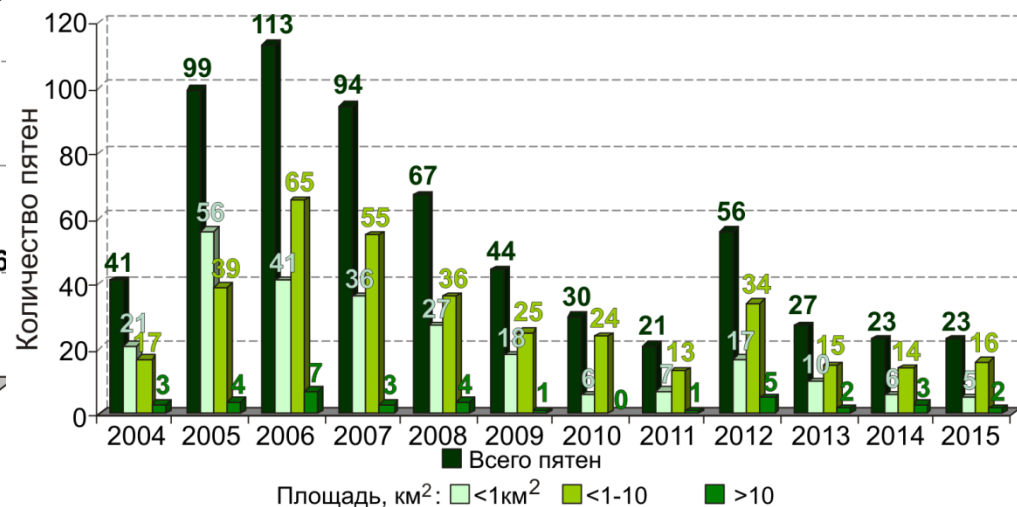
Юго-восточная Балтика: поверхностные загрязнения пленками нефтеуглеводородов



Межгодовая изменчивость площади нефтяного загрязнения и количества нефтяных пятен (указано в основании столбцов) в 2004-2015 гг.

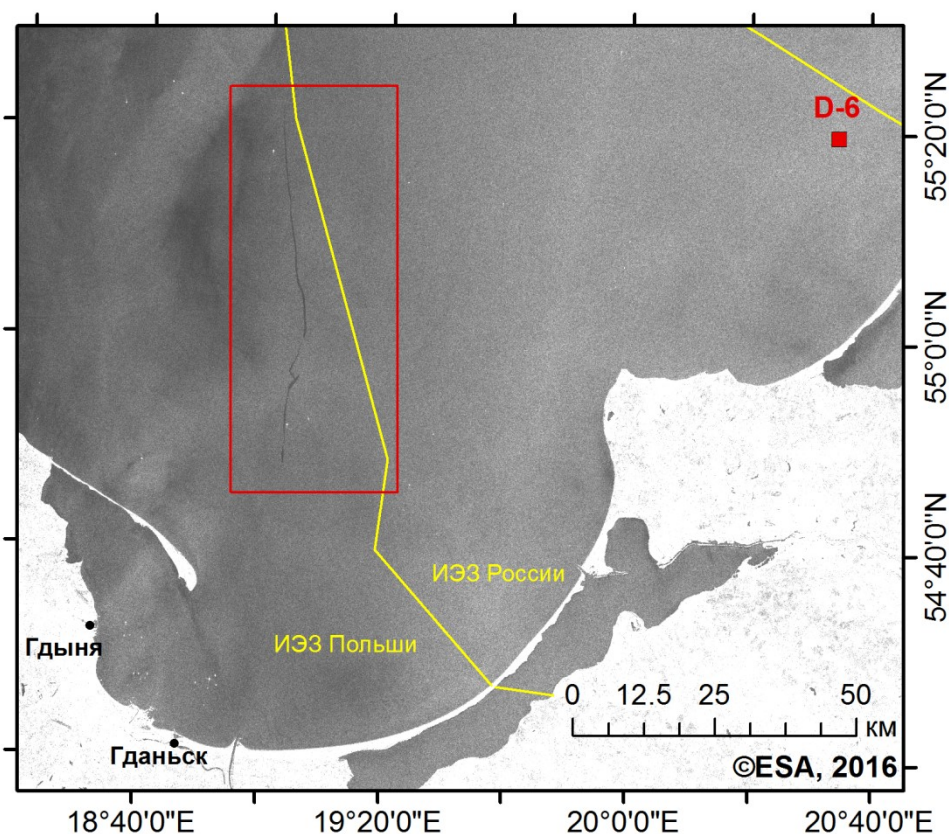


Межгодовая изменчивость количества нефтяных пятен, нормированное на количество проанализированных РЛИ в 2004-2015 гг.

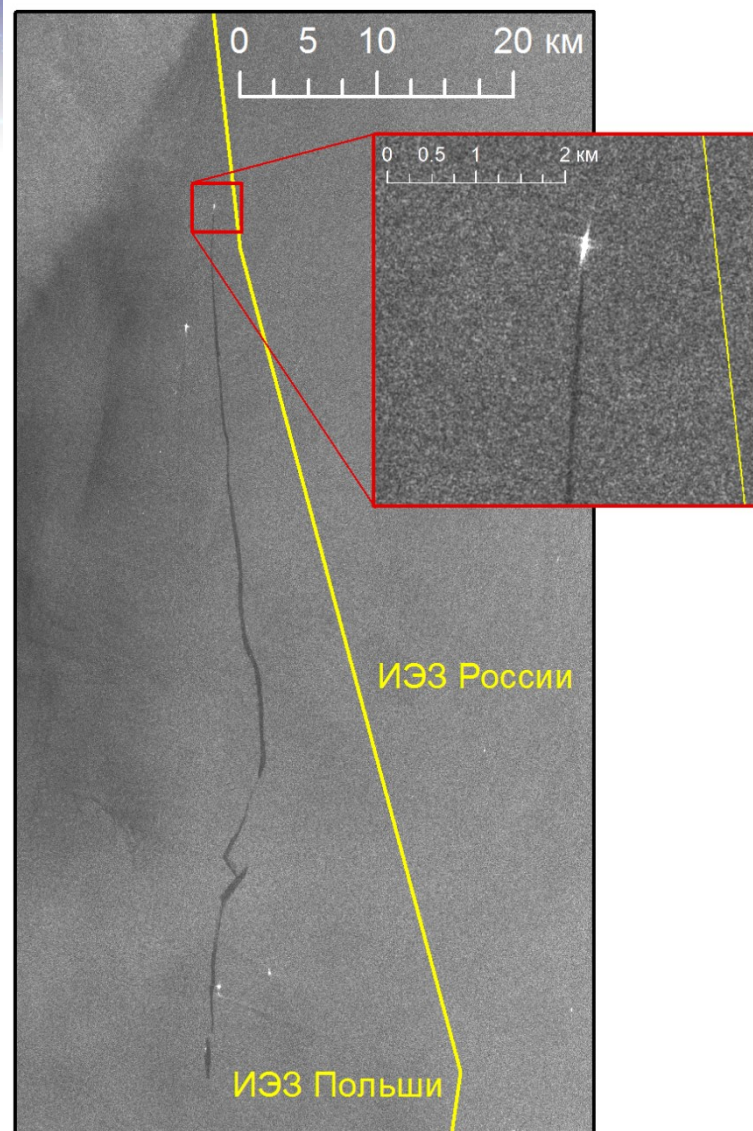


Распределение обнаруженных нефтяных пятен по площади

Беспрецедентный случай нефтяного загрязнения морской поверхности с судна в Юго-Восточной Балтике 23 июля 2016 г.

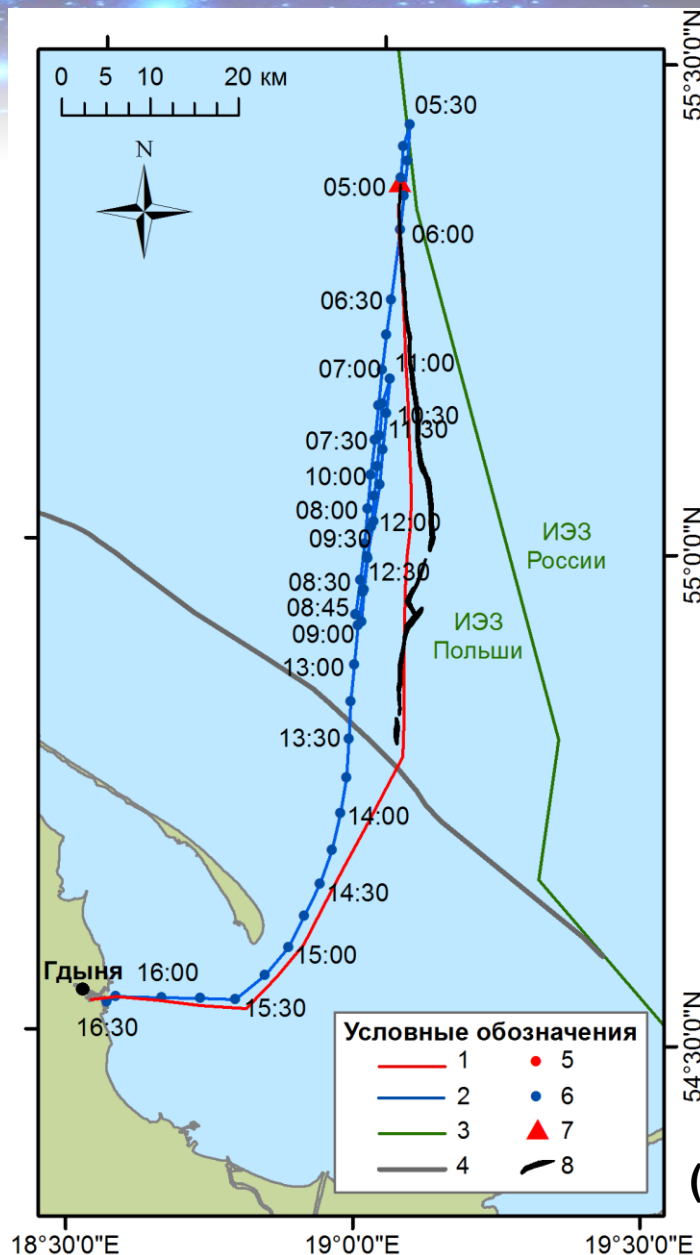
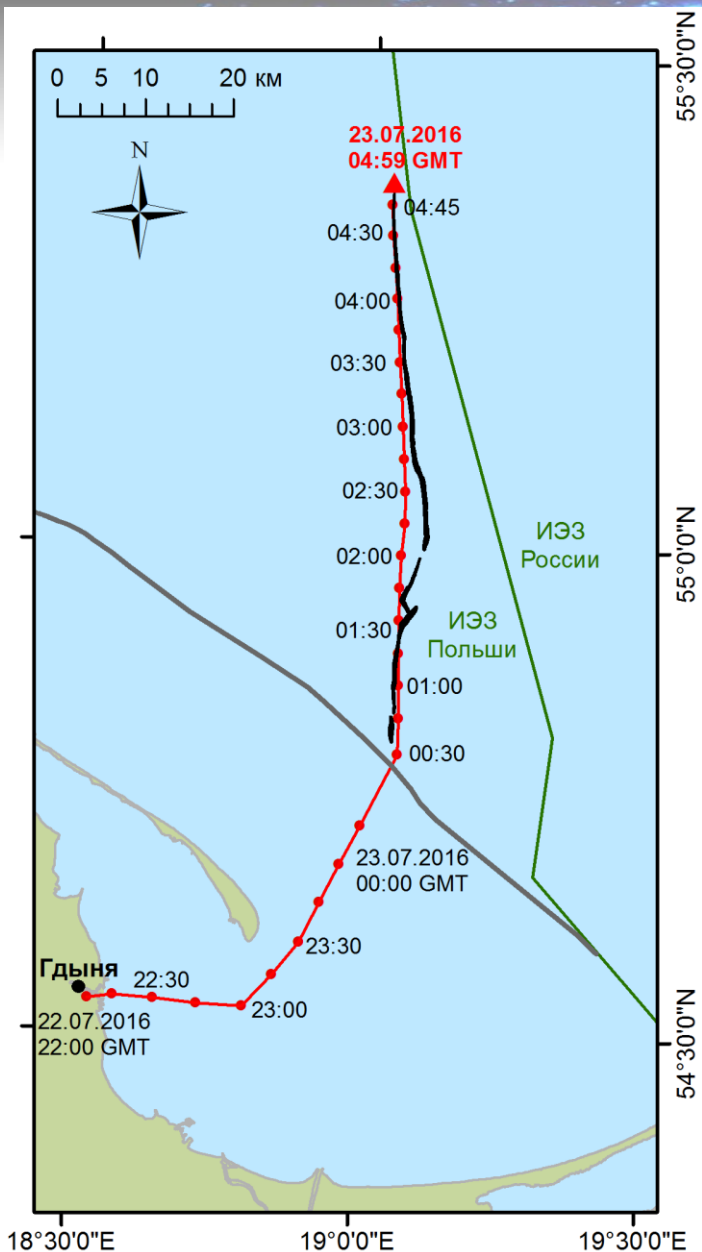


Пятно протяженностью 64,97 км занимало площадь 16,9 км², что примерно оценивается в 17 тонн нефтесодержащих вод. Это одно из самых протяженных пятен, которое было зафиксировано за 12 лет спутникового мониторинга этого района



(Костяной и др., 2016)

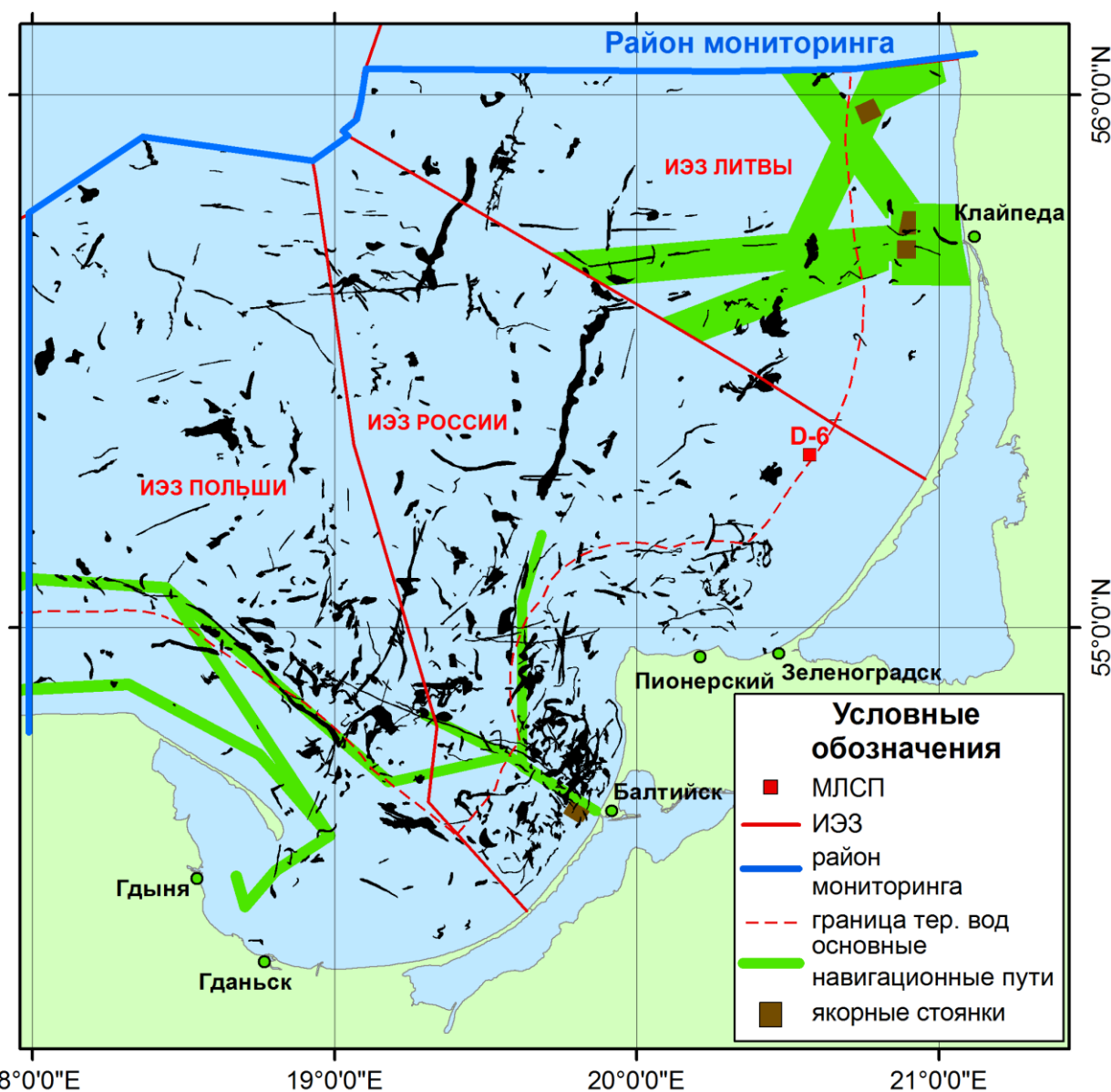
Беспрецедентный случай нефтяного загрязнения морской поверхности с судна в Юго-Восточной Балтике 23 июля 2016 г.



Благодаря внедренной в модель Seatrack Web системе AIS удалось достоверно установить, что источником нефтяного загрязнения являлся химовоз «Амарант», шедший под флагом Вануату (oil/chemical tanker “Amaranth”)

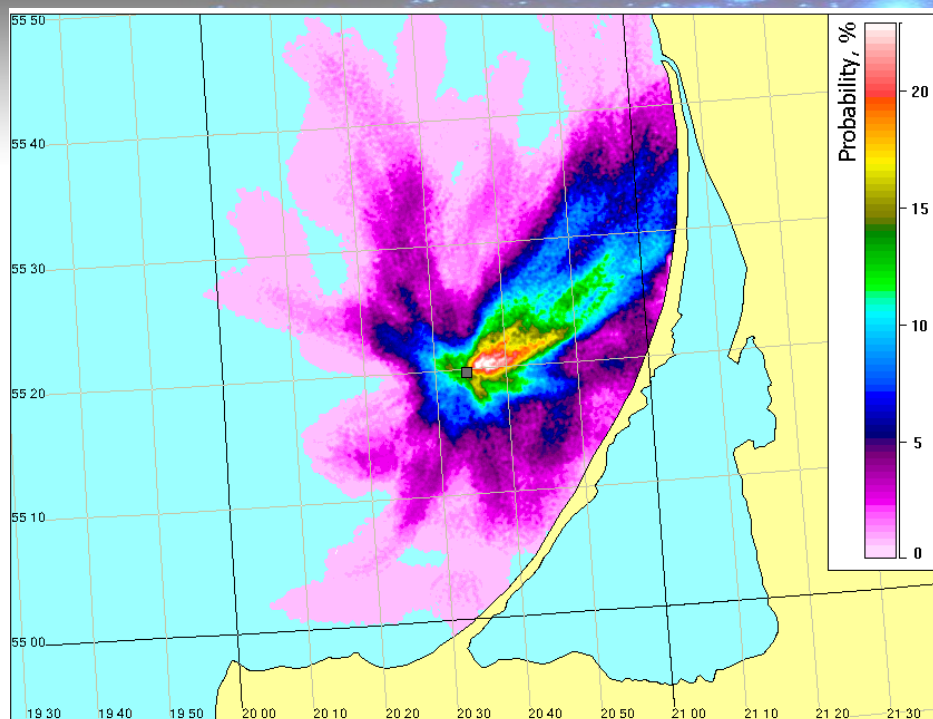
(Костяной и др., 2016)

Юго-восточная Балтика: поверхностные загрязнения пленками нефтеуглеводородов



Сводная карта всех нефтяных пятен, обнаруженных на РЛИ в Юго-восточной Балтике в 2004-2015 гг. Представлена реальная форма пятен (Булычева и др., 2016)

Прогноз распространения потенциального нефтяного загрязнения с платформы D-6 на основе модели Seatrack Web SMHI

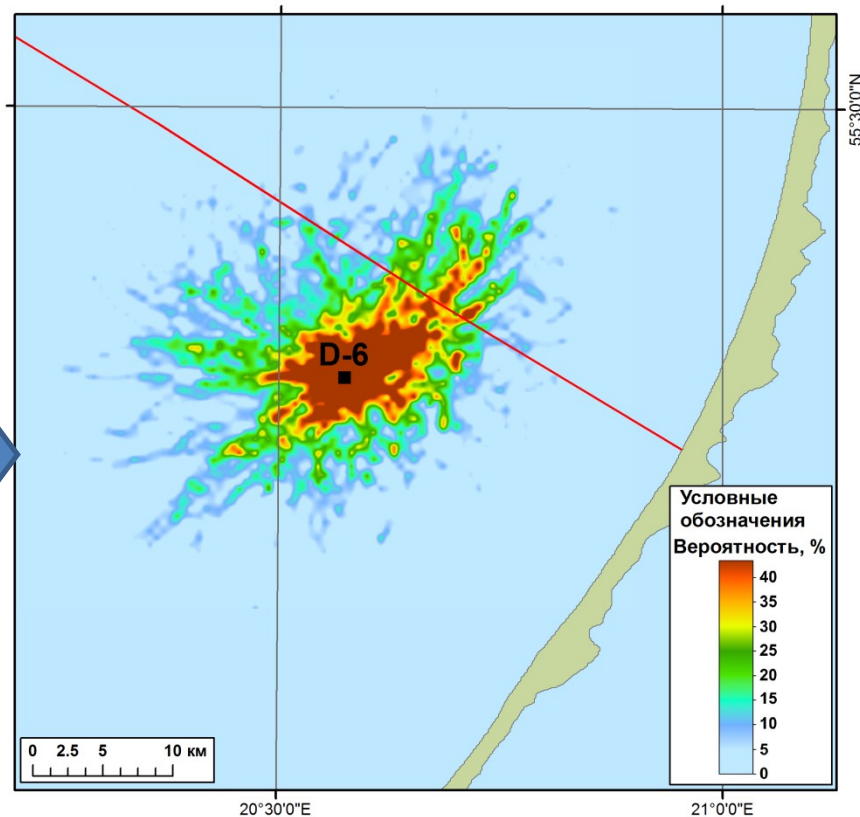


Вероятность распространения (%) в течение 48 ч потенциального нефтяного загрязнения с платформы D-6 с июля по декабрь 2004 г.

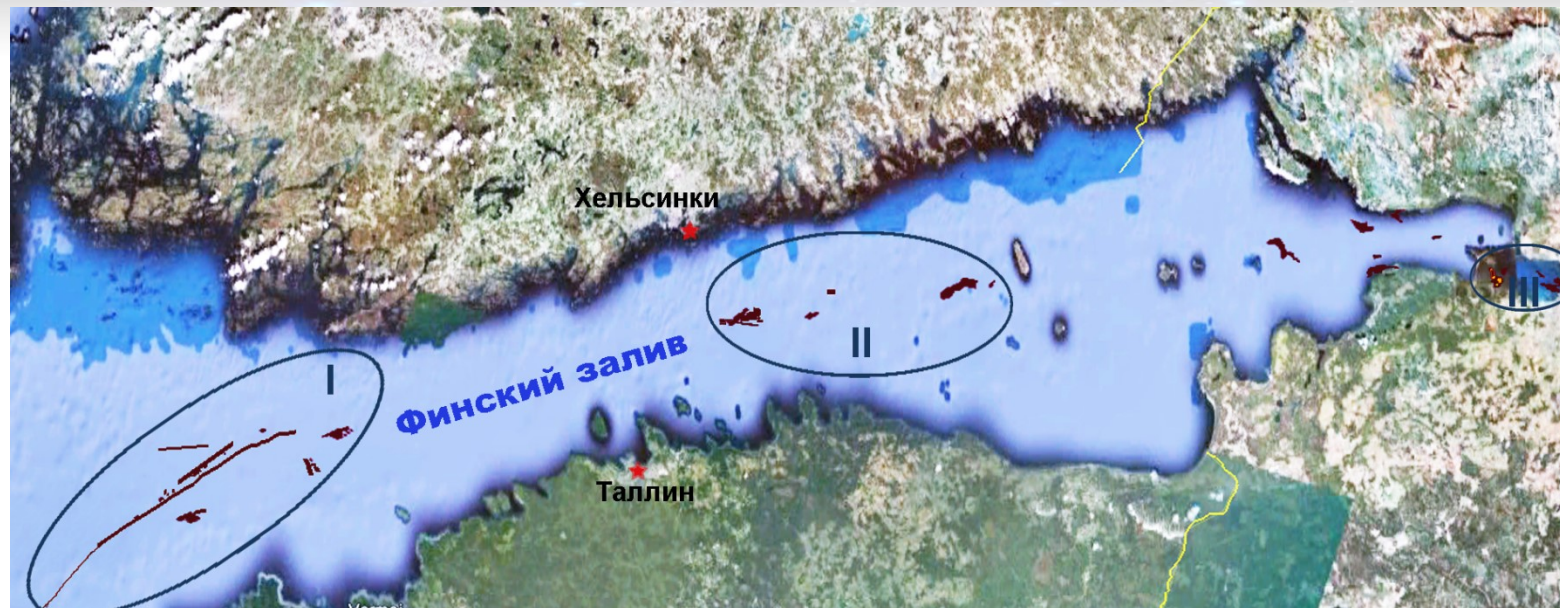
Вероятность распространения (%) в течение 48 ч с января по декабрь 2013 г.

За 10 лет произошло существенное изменение регионального климата, которое проявилось в изменении скорости и направления преобладающих ветров, и, как следствие, привело к существенному изменению поля вероятности нефтяного загрязнения. Если в 2004 г. существовал реальный риск (хоть и в разной степени) нефтяного загрязнения Куршской косы в течение 48 ч после виртуальной аварии на платформе D-6, то в 2013 г. такой риск полностью исчез

Платформа D-6



Финский залив: поверхностные загрязнения пленками нефтеуглеводородов

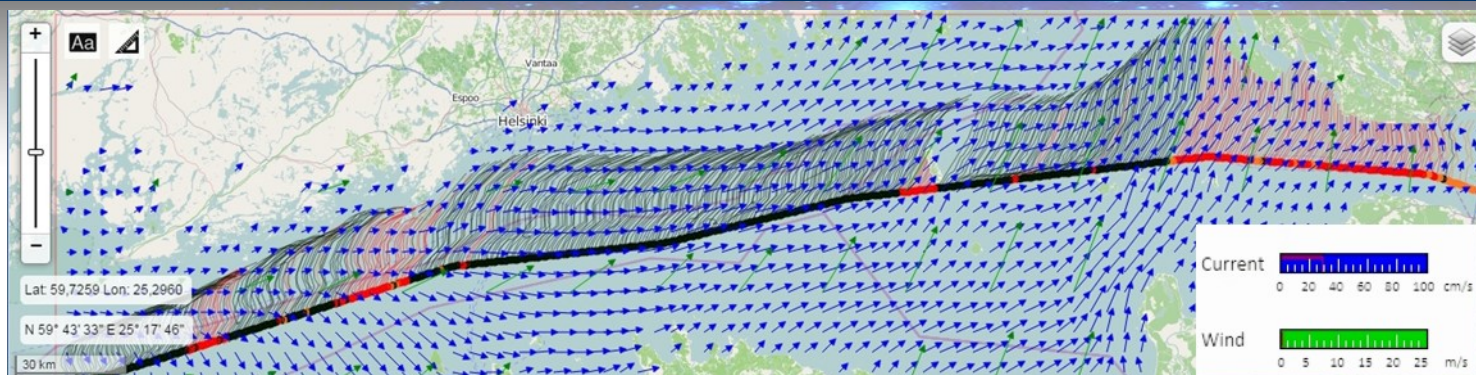


Сводная карта нефтяных пятен в Финском заливе Балтийского моря, выявленных на РЛИ в 2009-2012 гг.

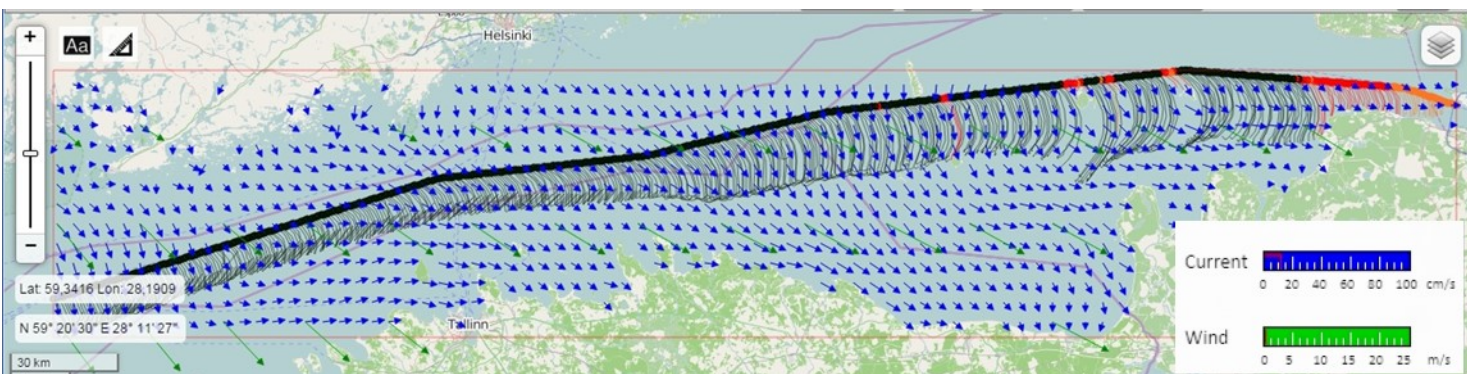
Районы, подверженные наибольшему загрязнению:

- I - Участок акватории вблизи входа в Финский залив
- II - Центральная часть Финского залива, восточнее судоходной трассы Хельсинки – Таллинн
- III – Невская губа

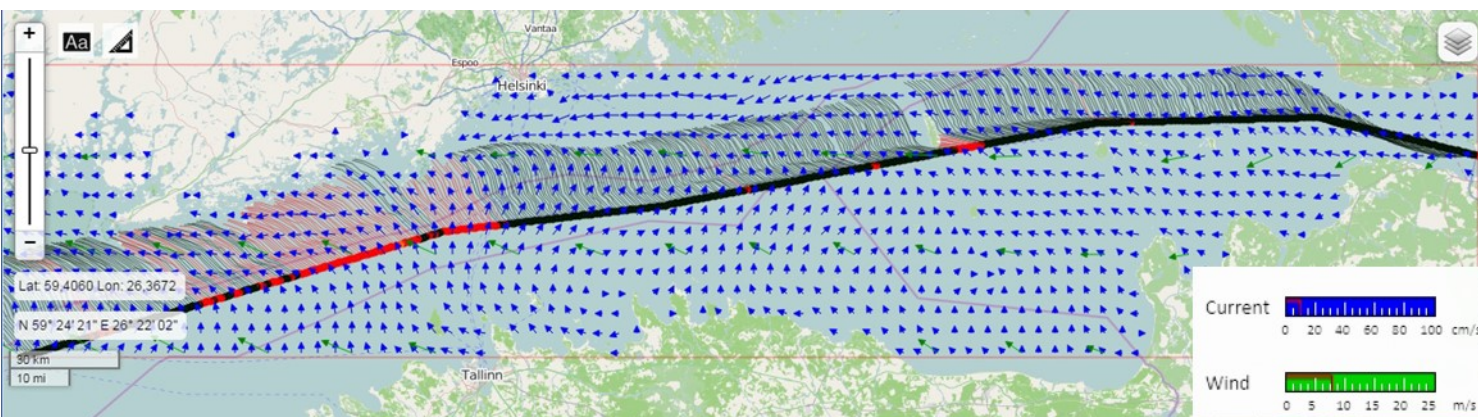
Финский залив: прогноз распространения поверхностных загрязнений пленками нефтепродуктов



Юго-западный ветер

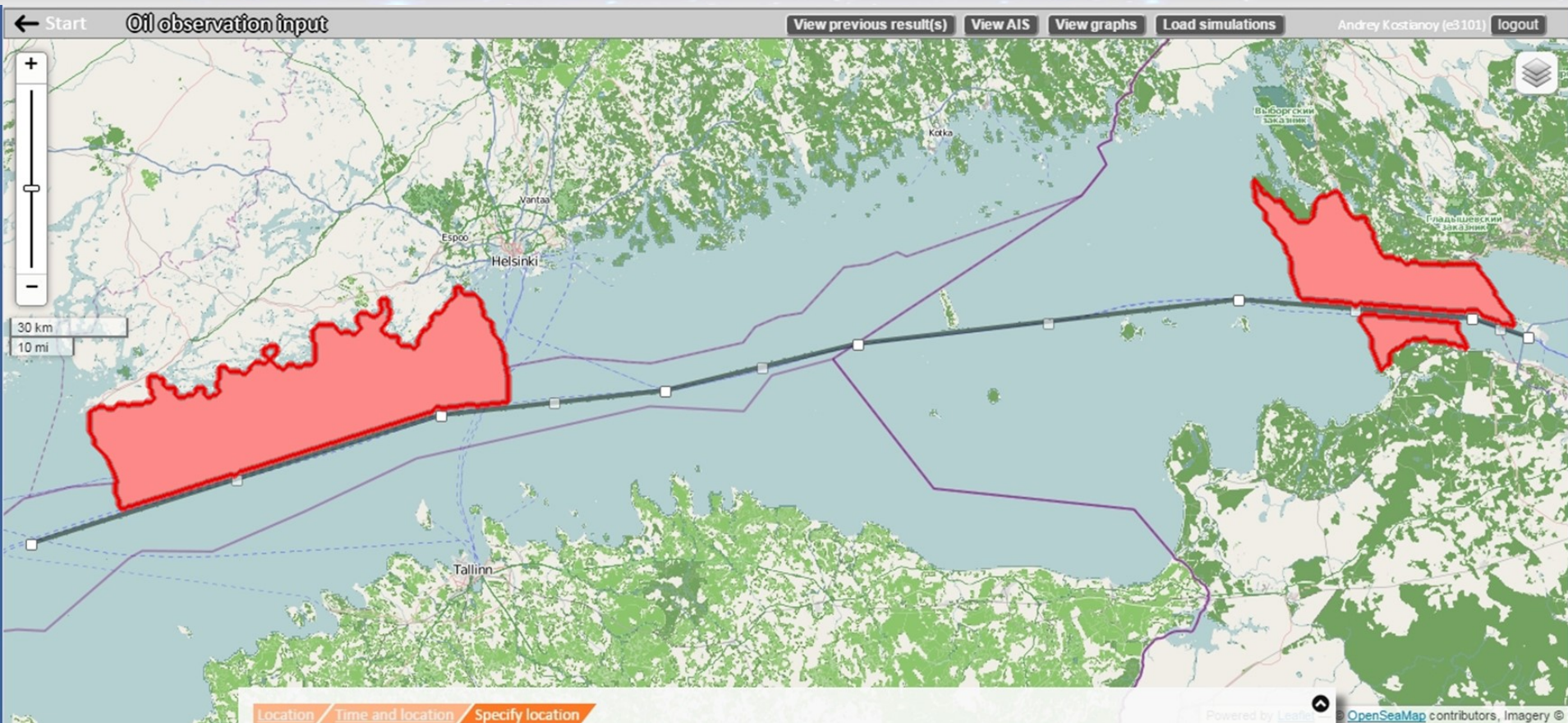


Северный ветер



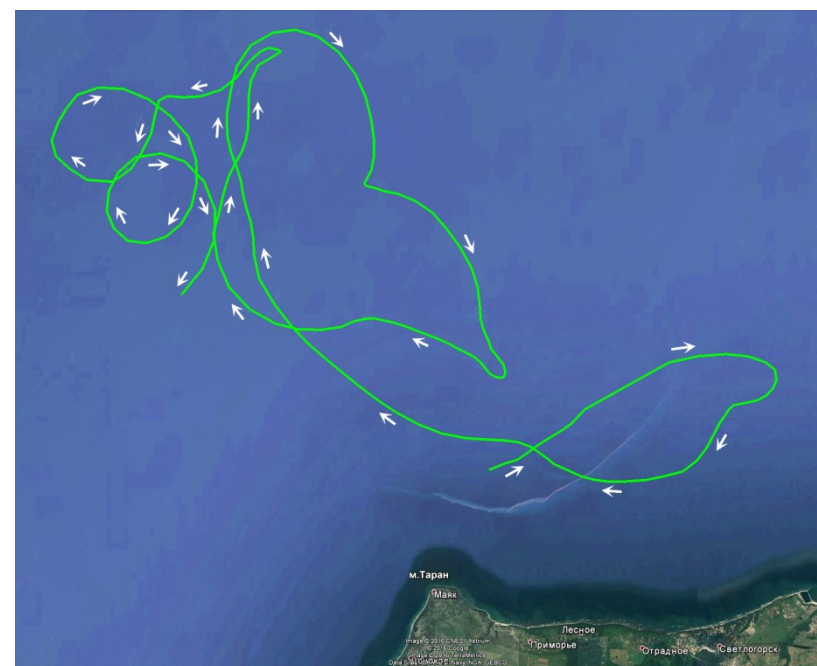
Юго-восточный ветер

Финский залив: прогноз распространения поверхностных загрязнений пленками нефтепродуктов

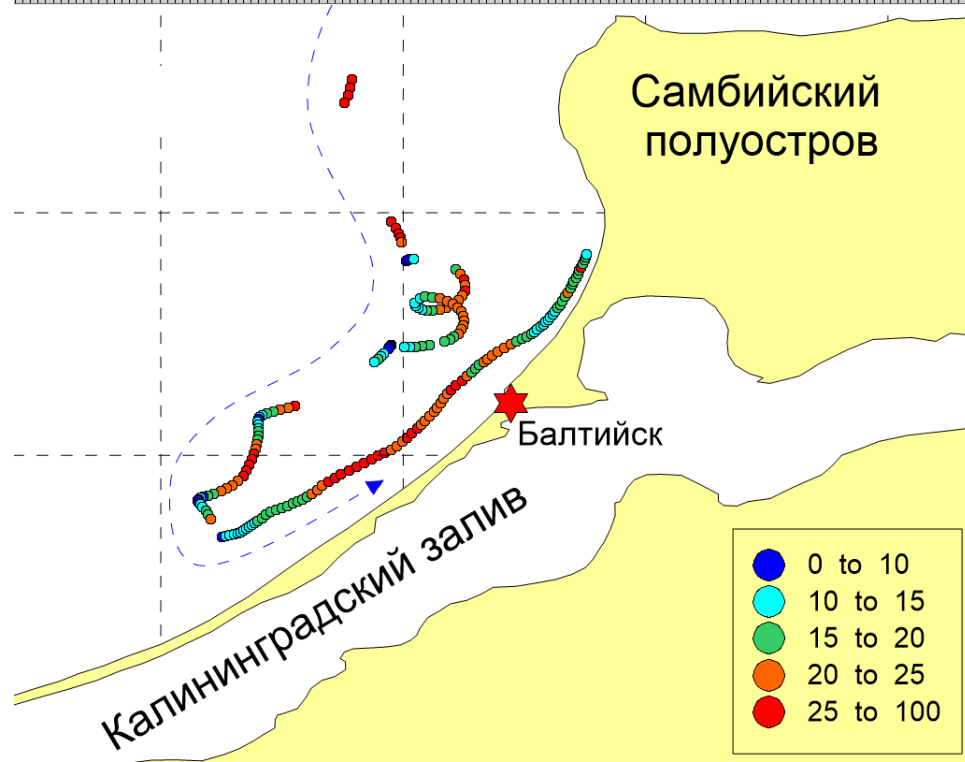
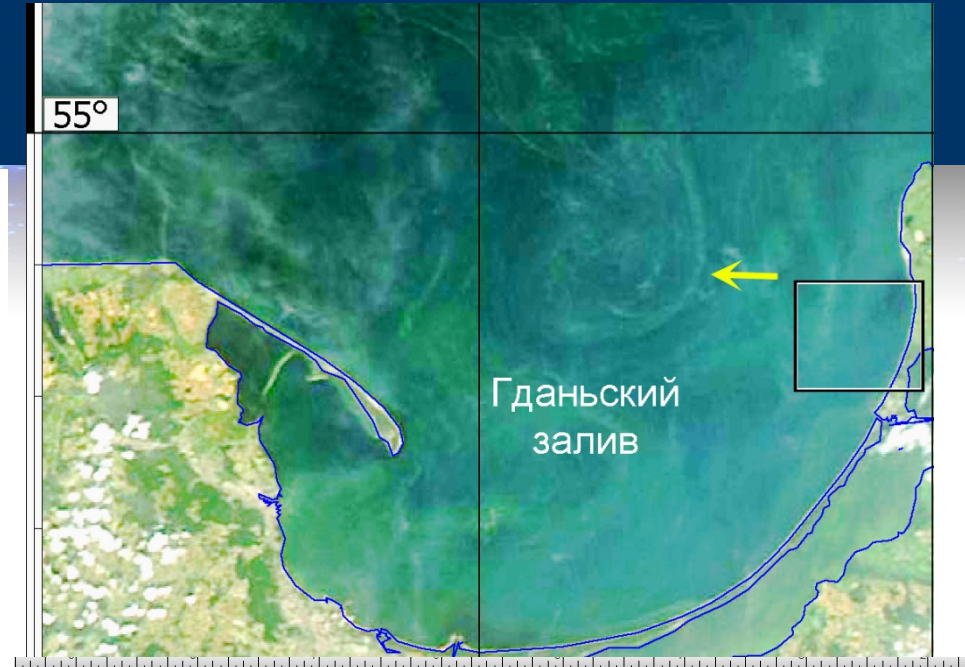
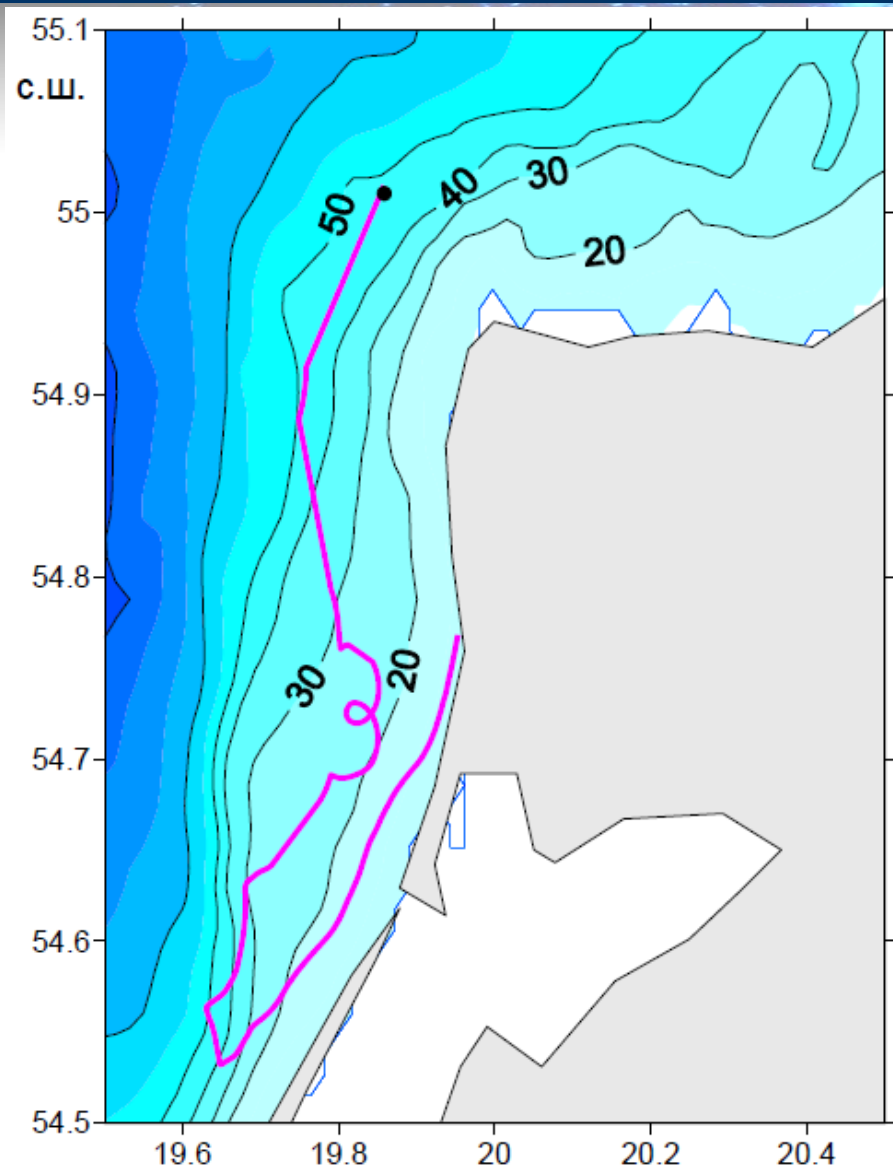


Зоны экологического риска (красным), выявленные в результате моделирования распространения нефтяных загрязнений, вызванных нелегальным сбросом с судов вдоль судоходной трассы (черная линия) в Финском заливе

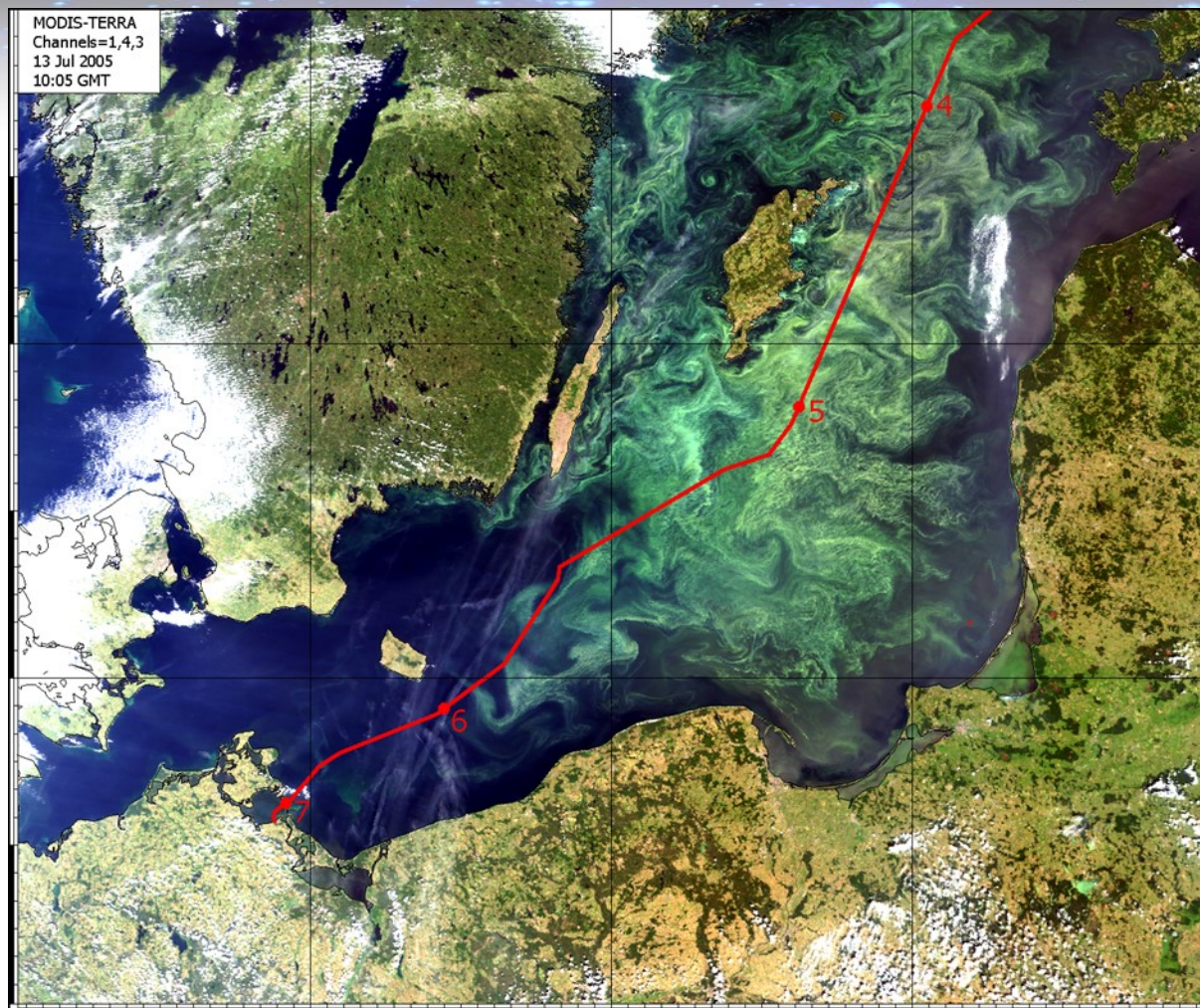
Дрифтерные эксперименты: 2015 г.



Дрифтерные эксперименты: 2016 г.

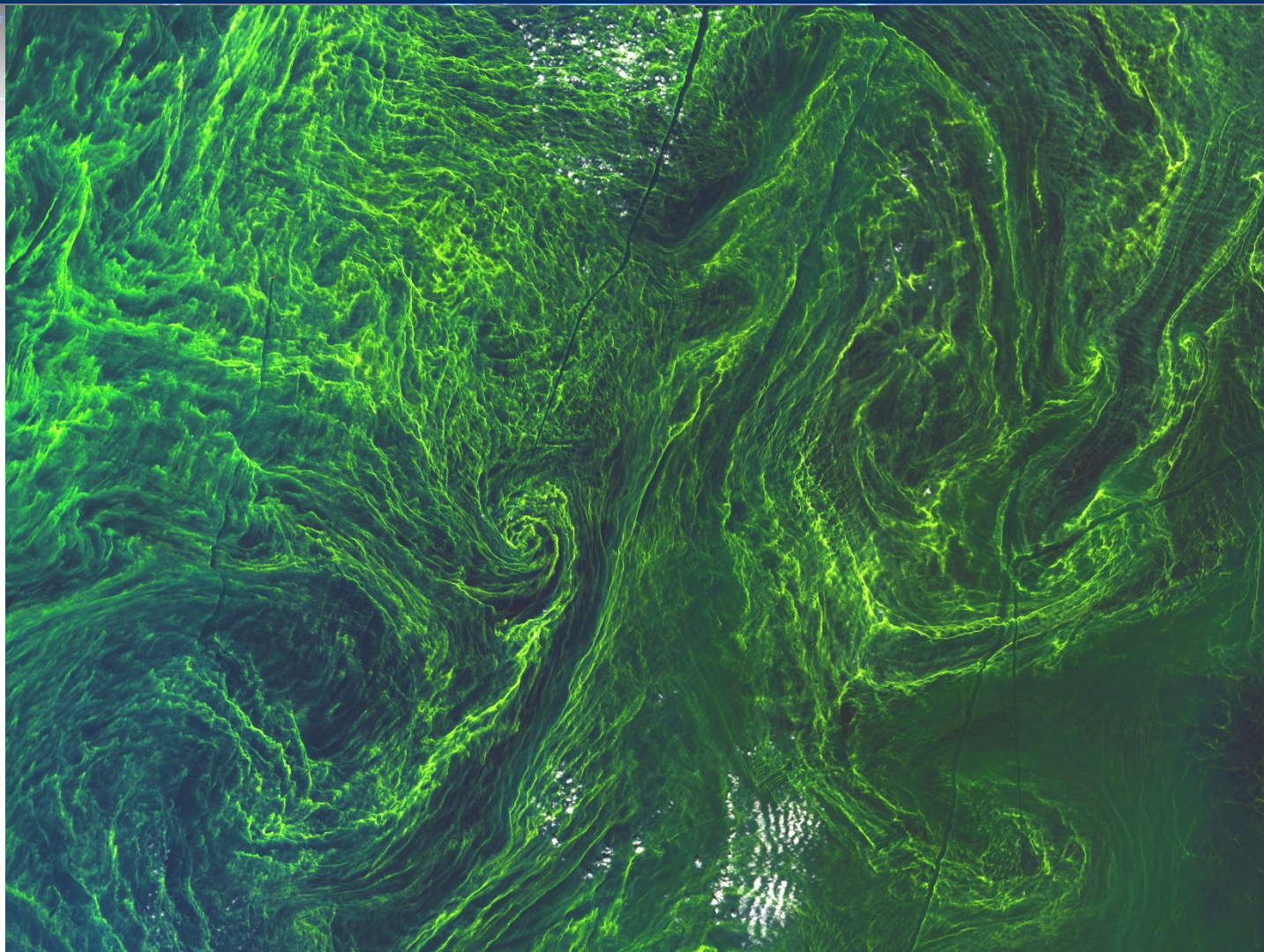


Определение зон интенсивного цветения фитопланктона



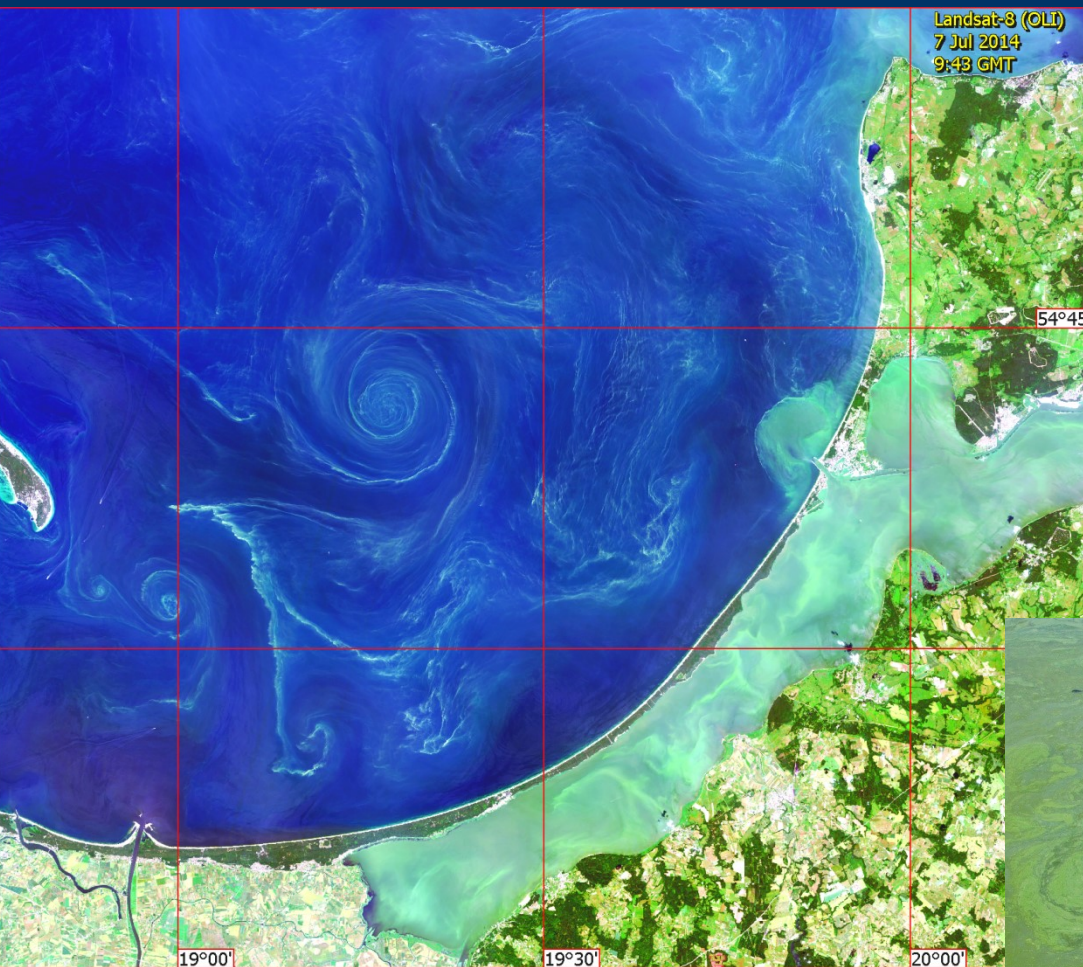
Оптические характеристики (цветение вод) поверхности южной и центральной Балтики (в псевдоцвете по комбинации каналов 1, 4, 3, разрешение 500 м) по данным MODIS-Terra 13 июля 2005 г.

Определение зон интенсивного цветения фитопланктона



**Интенсивное цветение цианобактерий в Балтийском море.
Фрагмент цветосинтезированного изображения, полученного MSI Sentinel-2A
7 августа 2015 г. с разрешением 10 м. (©Copernicus Sentinel data (2015)/ESA)**

Определение зон интенсивного цветения фитопланктона

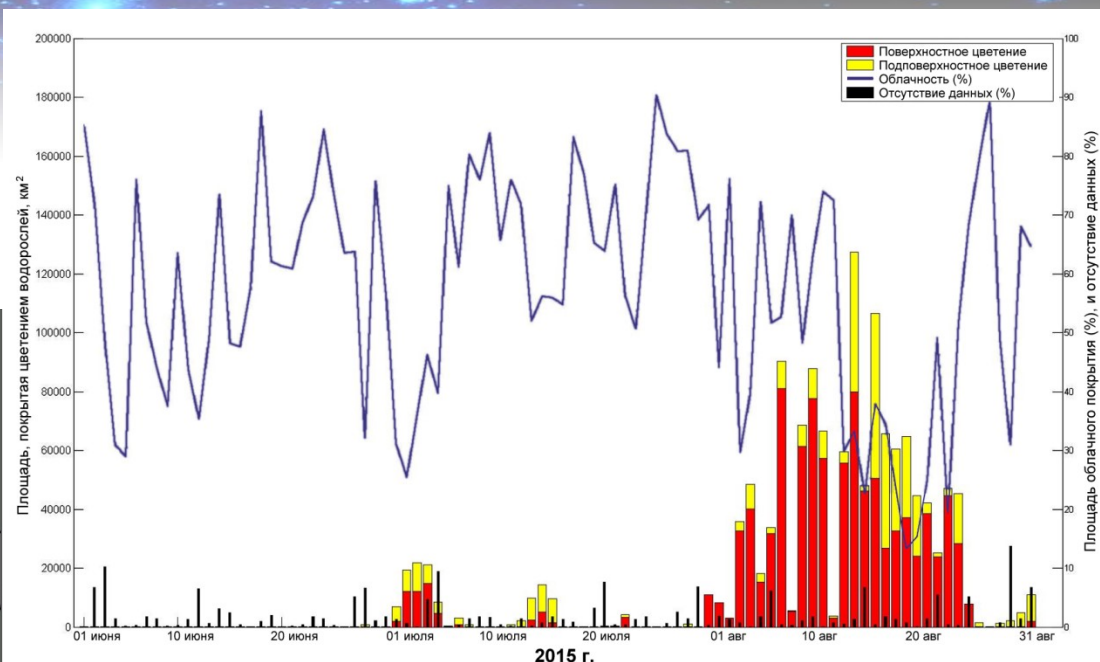
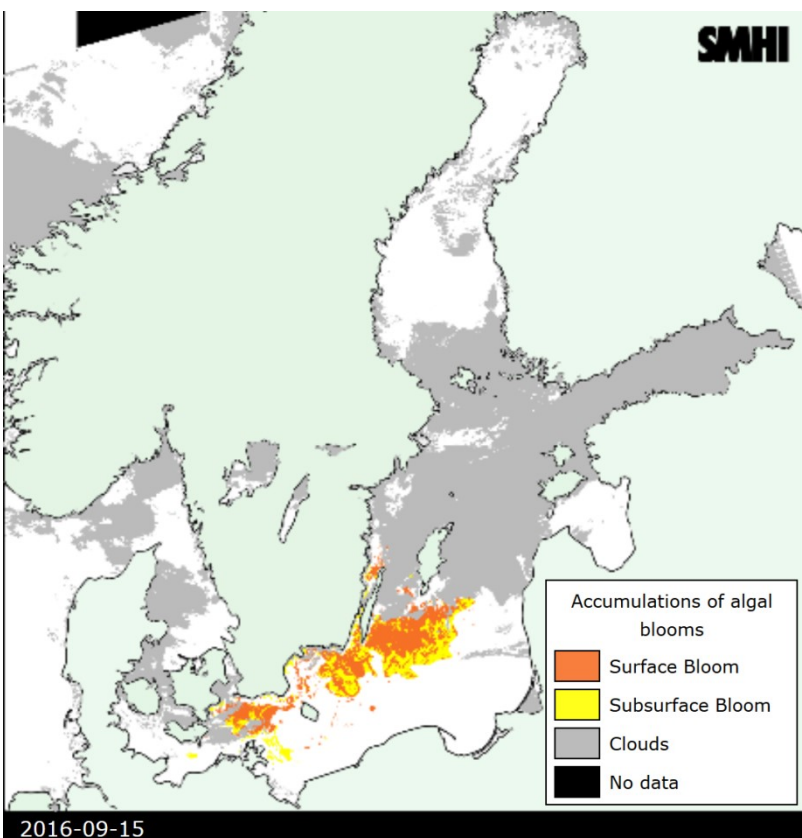


Вихревые структуры в Гданьском заливе, проявляющиеся на цветосинтезированном изображении OLI Landsat-8 (4-3-2 спектральные каналы) от 7 июля 2014 г. за счет рассеяния на гидрозолях – фитопланктоне и взвешенных минеральных частицах



Поверхность воды в Калининградском заливе во время интенсивного цветения цианобактерий, 29 июля 2014 г. (Фотография Лавровой О.Ю.)

Определение зон интенсивного цветения фитопланктона по данным сканеров цвета

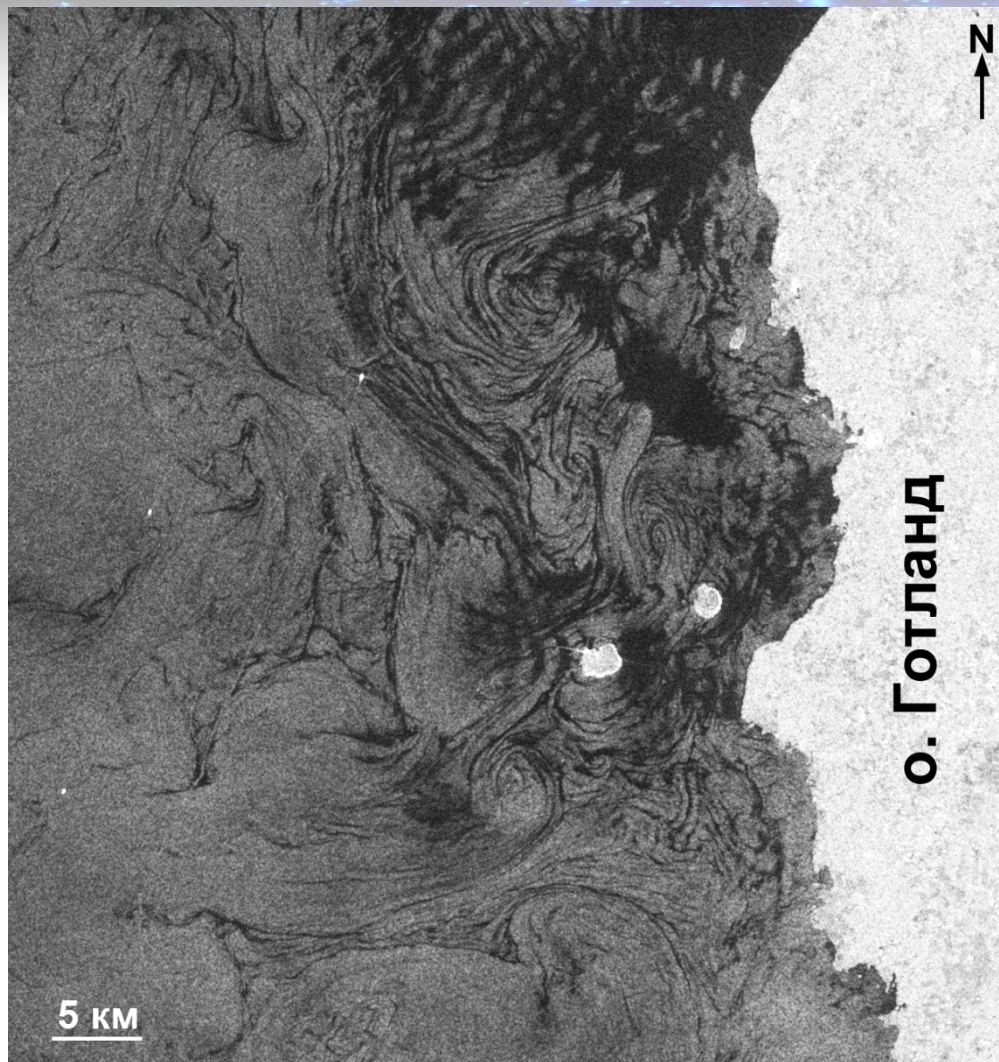


Площади, покрытые поверхностным (красные столбики) и подповерхностным (желтые) цветением цианобактерий в июне-августе 2015 г. Синяя линия показывает интегральное значение облачного покрова в % от общей площади Балтийского моря, черные линии отмечают отсутствие данных (©HELCOM, 2016)

Облачность – основная помеха!

Карта проявления поверхностного и подповерхностного цветения водорослей за 15 сентября 2016 г. по данным прибора MODIS (©SMHI, 2016)

Определение зон интенсивного цветения фитопланктона по радиолокационным данным

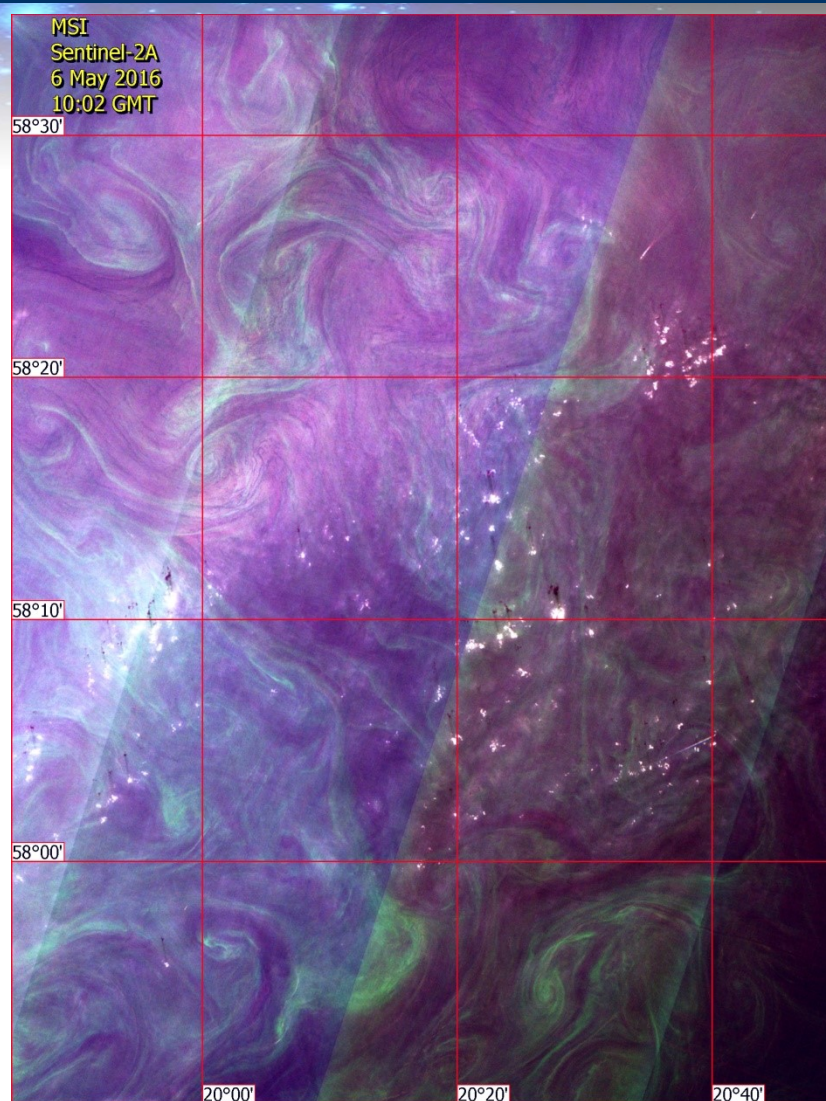
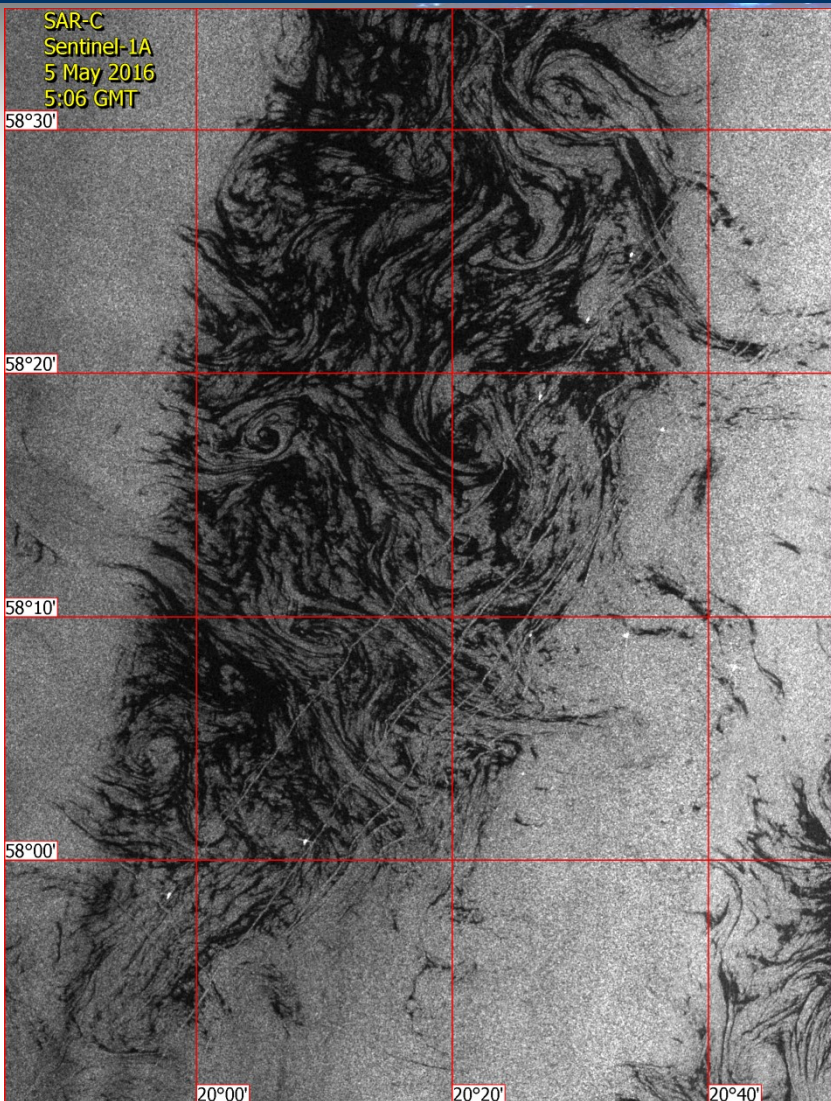


Субмезомасштабные вихревые структуры, проявляющиеся за счет сликовых полос на РЛИ SAR-C Sentinel-1A, полученном 4 апреля 2016 г.

Скопление темных полос пониженного радиолокационного рассеяния (так называемых сликов) может служить индикатором наличия областей цветения водорослей. Использование данных спутникового радиолокационного зондирования позволяет выявить области цветения не только цианобактерий, но и любых других типов фитопланктона, выделяющих высокомолекулярные соединения, формирующие поверхностную пленку.

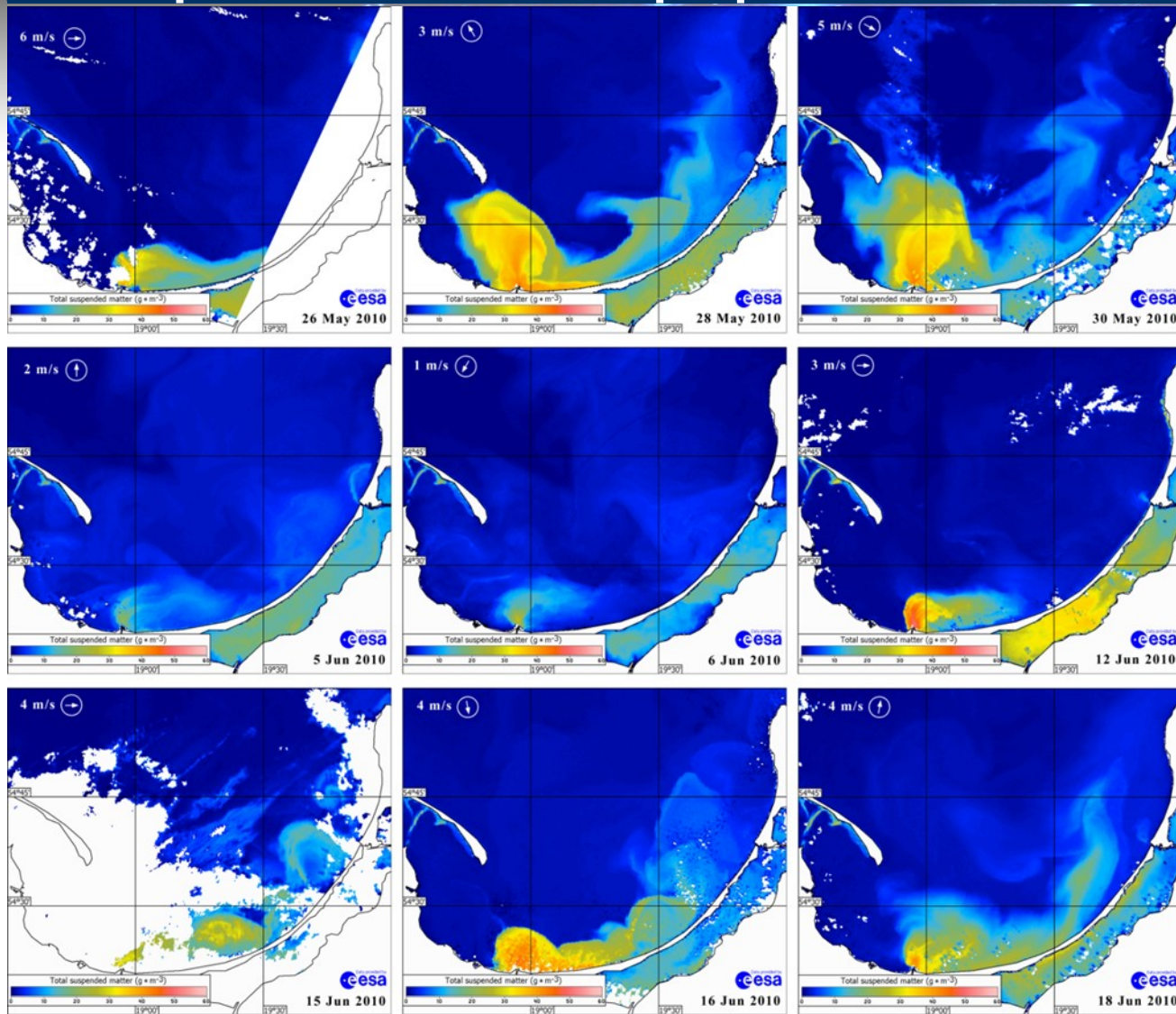
Ограничения: слики не различимы в областях поверхностных проявлений ослабления приповерхностного ветра (областях штиля или ветровой тени) и разрушаются при скорости ветра более 10 м/с

Определение зон интенсивного цветения фитопланктона по проявлениям следов за кораблями на РЛИ



Слева: проявления долгоживущих корабельных следов на Sentinel-1A SAR изображении от 5 мая 2016 г.; справа: проявление интенсивного цветения цианобактерий на цветосинтезированном изображении MSI Sentinel-2A (4; 3; 2 спектральные каналы), полученном 6 мая 2016 г.

Распространение вод Вислы по акватории Гданьского залива в период после катастрофического паводка в мае 2010 г.



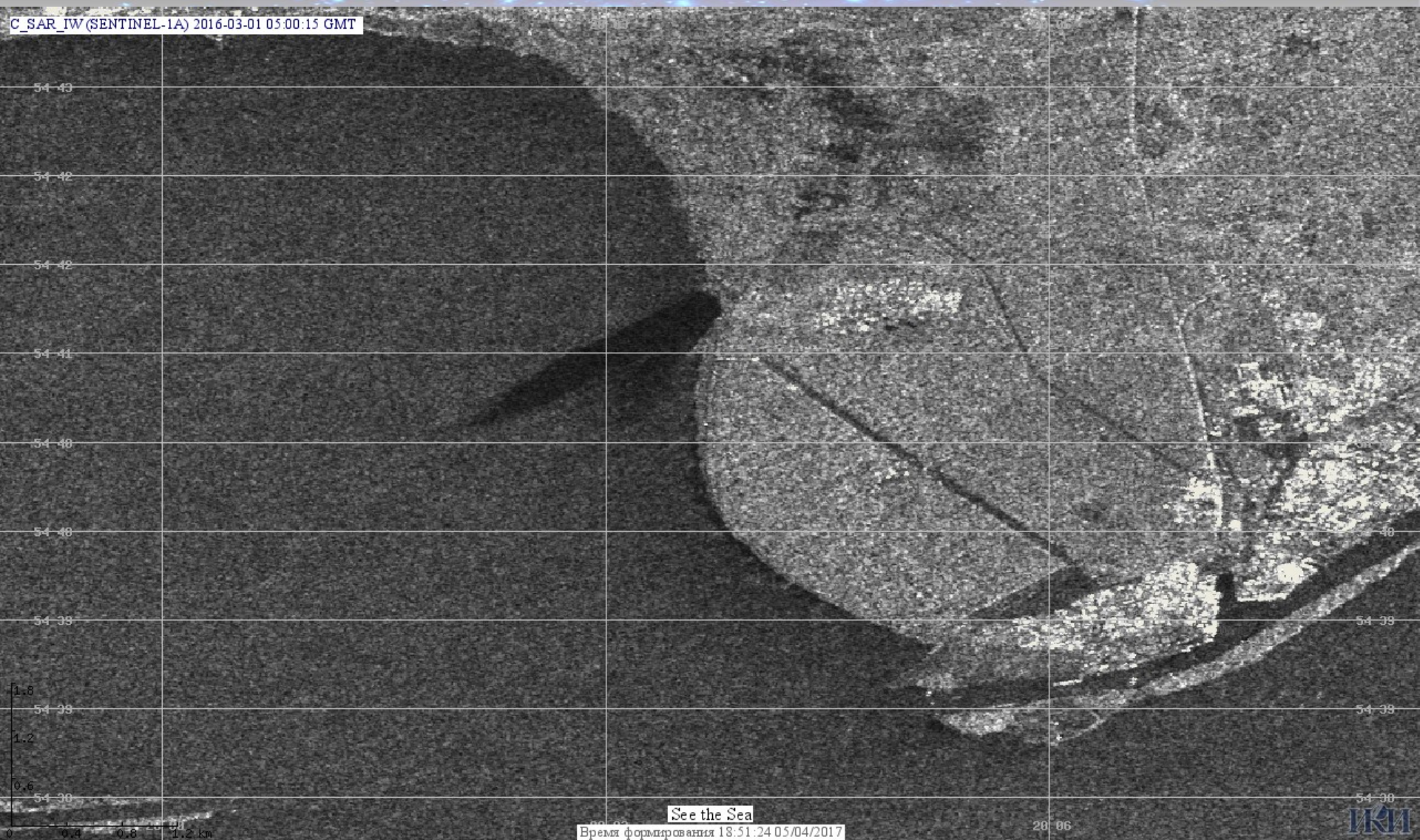
Воды с высокой концентрацией взвешенного вещества (Класс 1 и 2) распространяются под действием ветра.

Воды с низкой концентрацией (класс 3) почти всегда распространяются параллельно берегу под действием вдоль берегового циклонического течения

Серия карт концентрации взвешенного вещества, построенных по данным Envisat MERIS, на период 26 мая – 18 июня 2010.

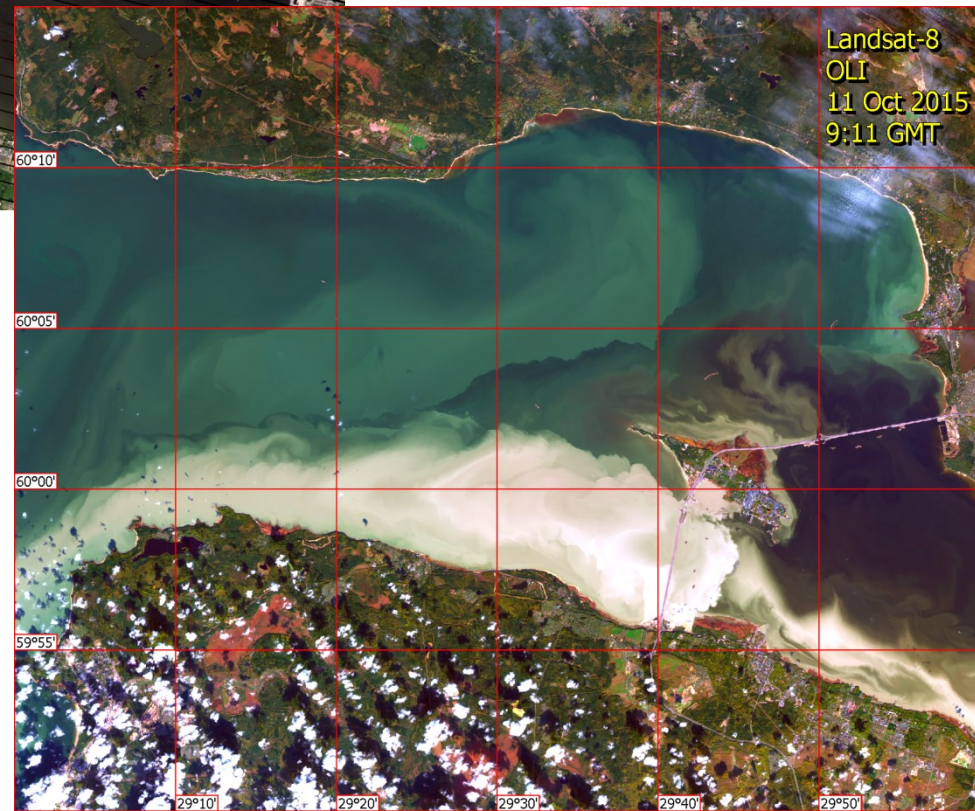
Стрелки указывают направление ветра

Сброс сточных вод из Калининградского отводного канала

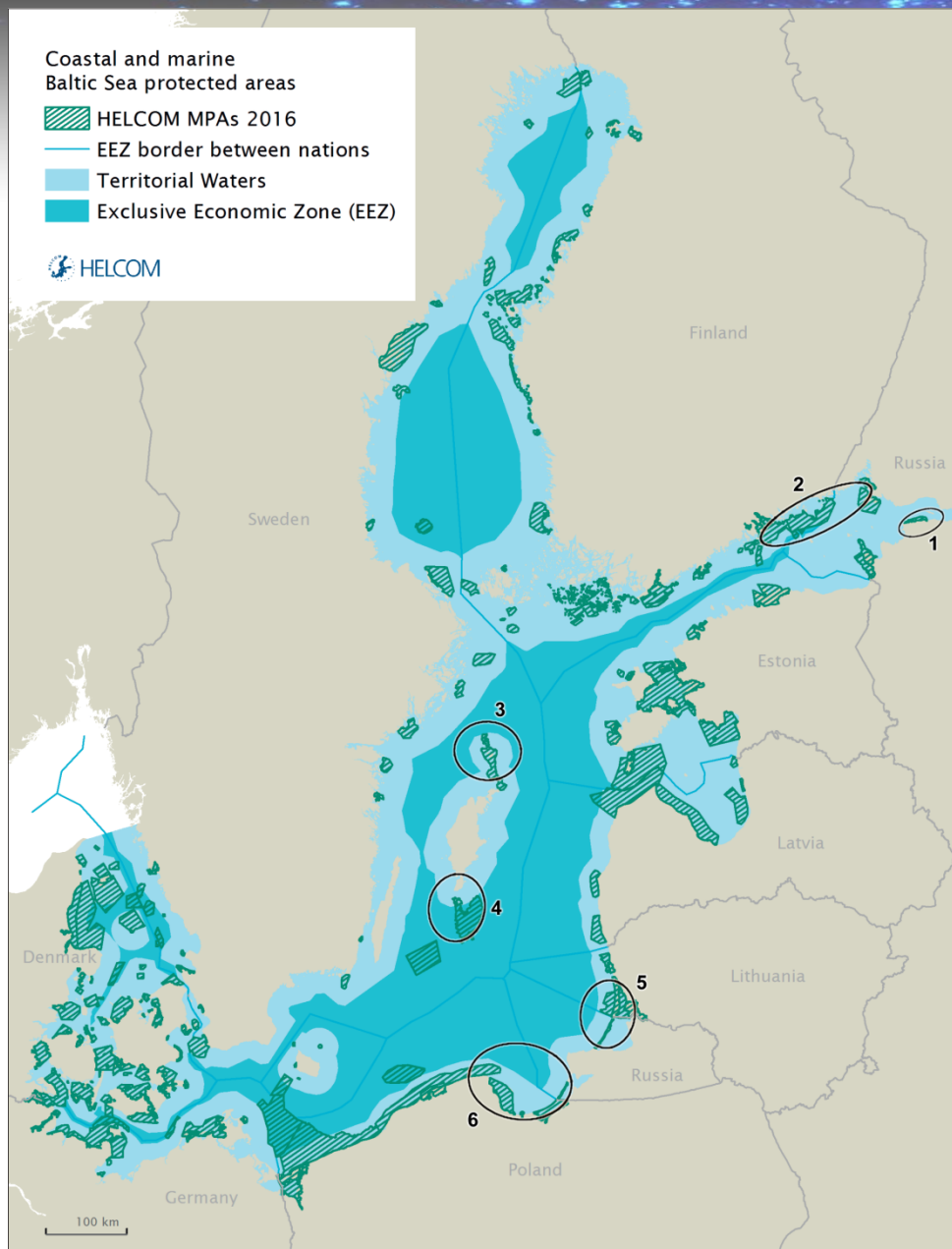


SAR-C Sentinel-1A от 01.03.2016

Распространение взмученных вод, вызванных строительством аванпорта Бронка



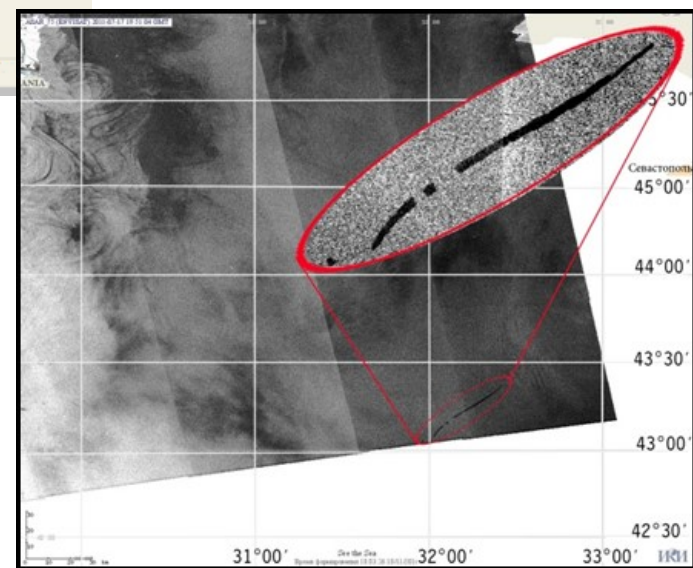
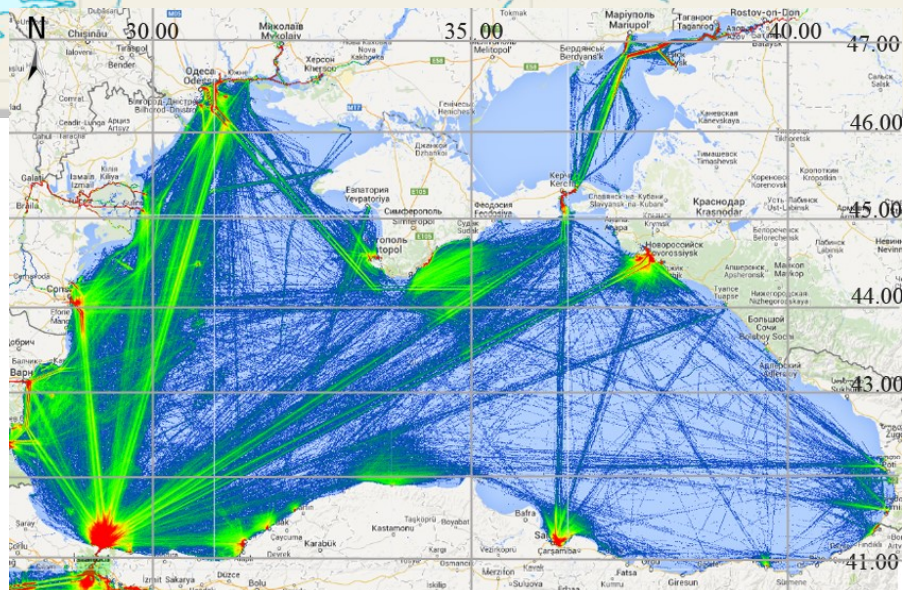
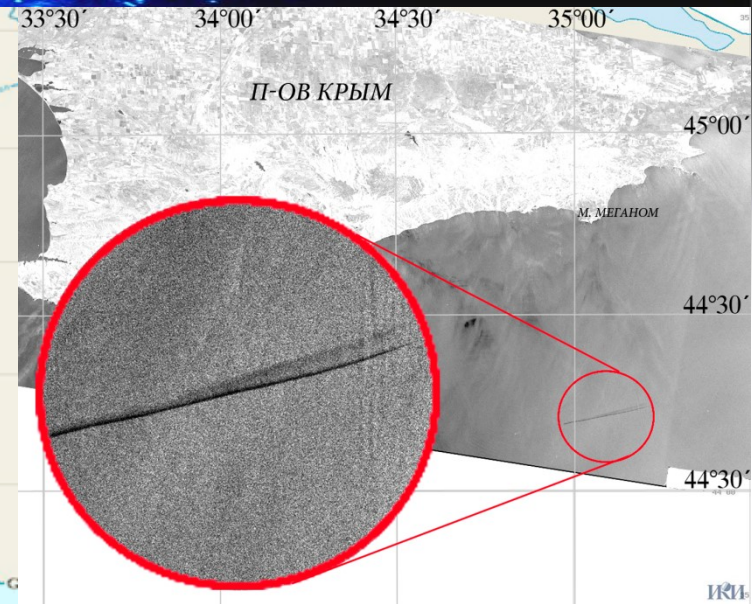
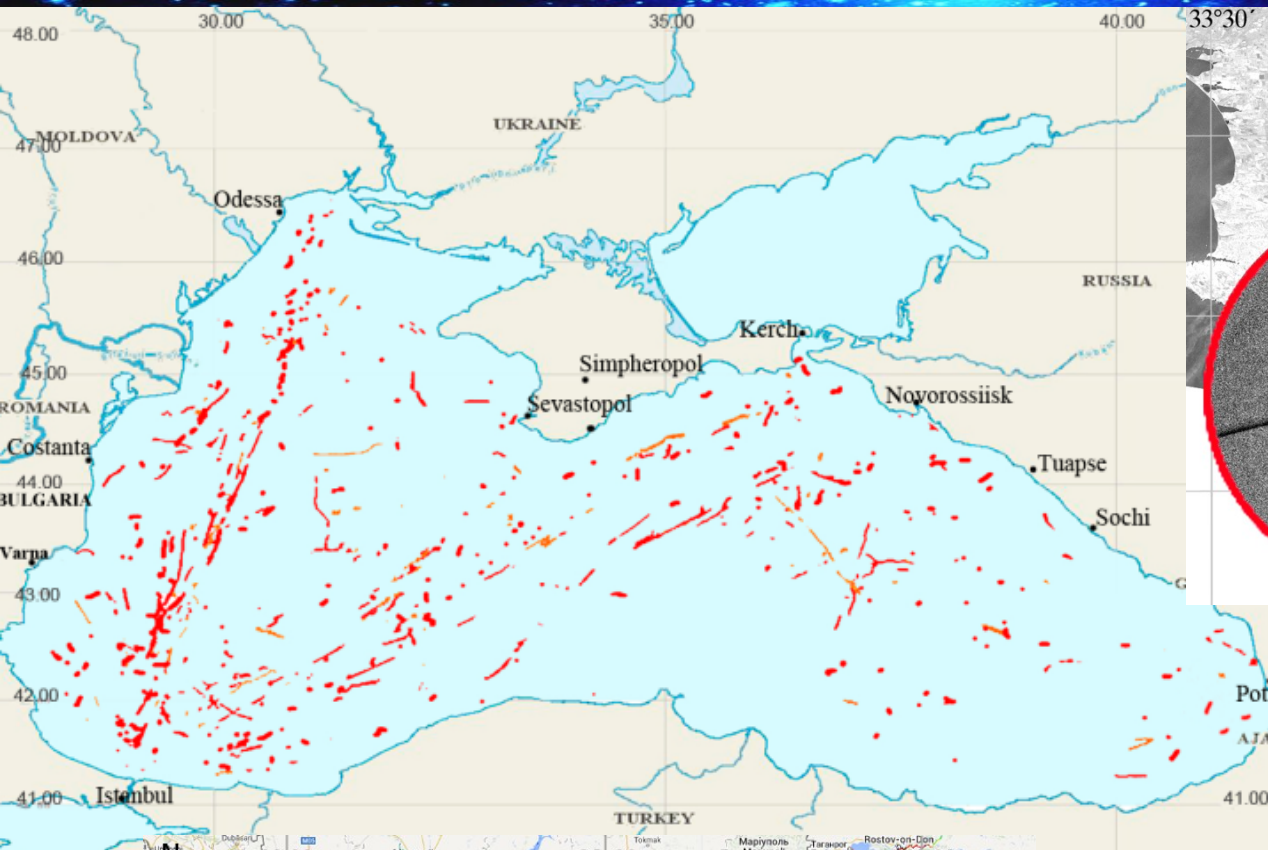
Зоны экологического риска в Балтийском море



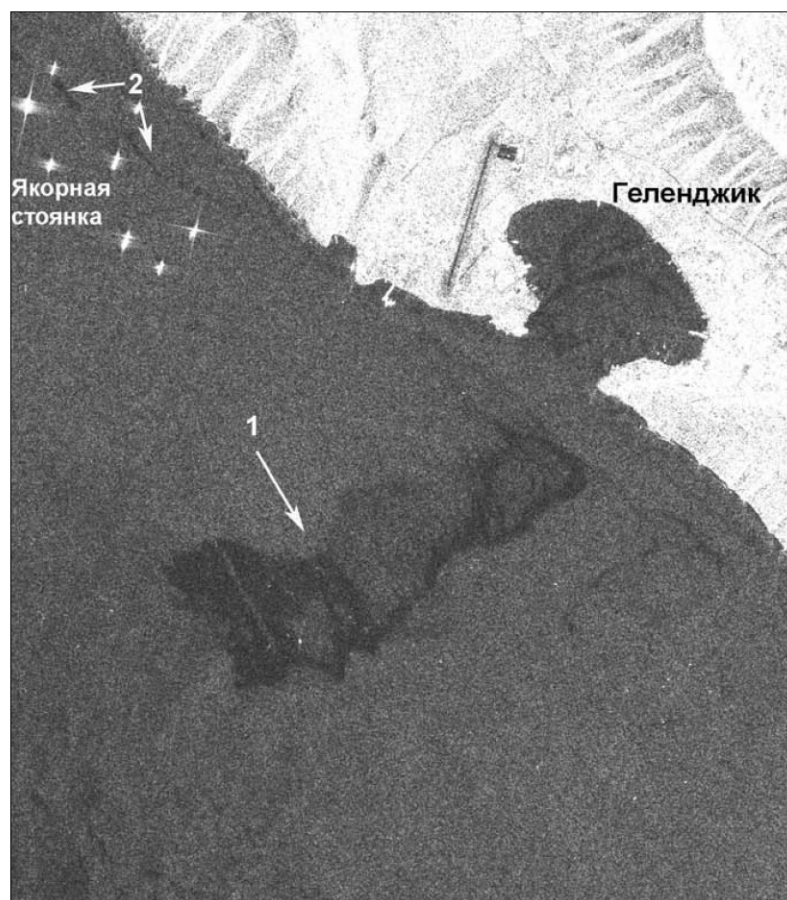
- 1 — юго-восточная часть Финского залива;
- 2 — северо-западная акватория Финского залива;
- 3 — северная часть Готландского бассейна;
- 4 — акватории южнее и восточнее о. Готланд;
- 5 — Куршская коса, Куршский залив;
- 6 — Хельская коса, Гданьский и Вислинский заливы.

Зелёной штриховкой отмечены признанные HELCOM в 2016 г. [HELCOM, 2016с] морские охраняемые районы

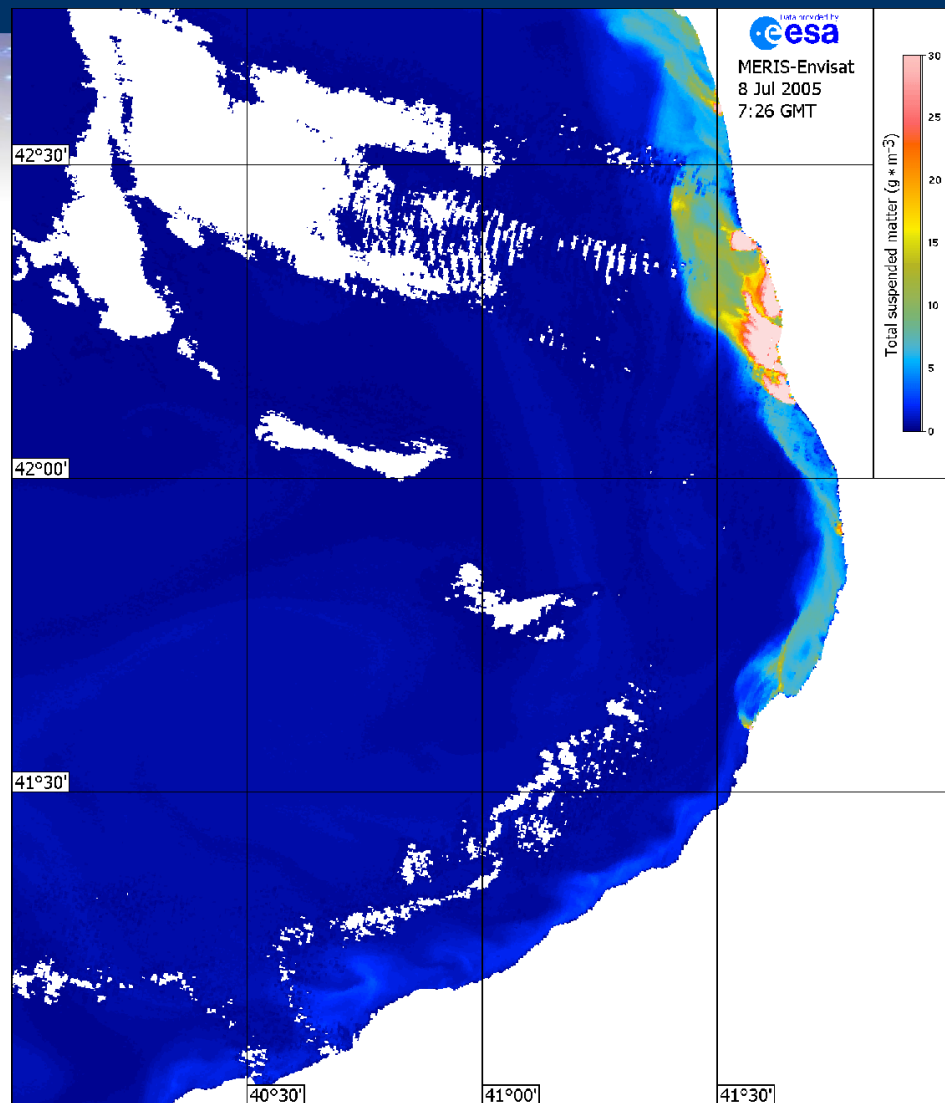
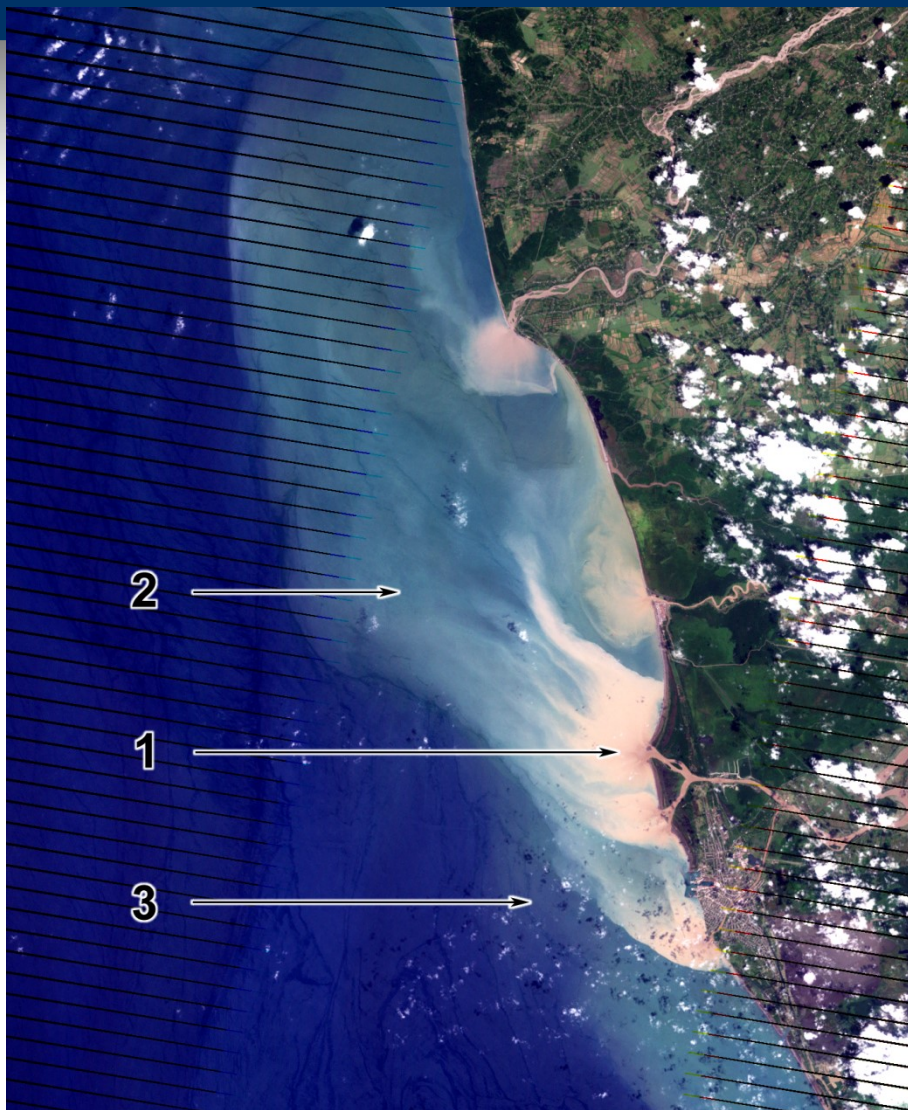
Выявление и мониторинг зон экологического риска в Черном море



Загрязнения в районе Геленджикской бухты

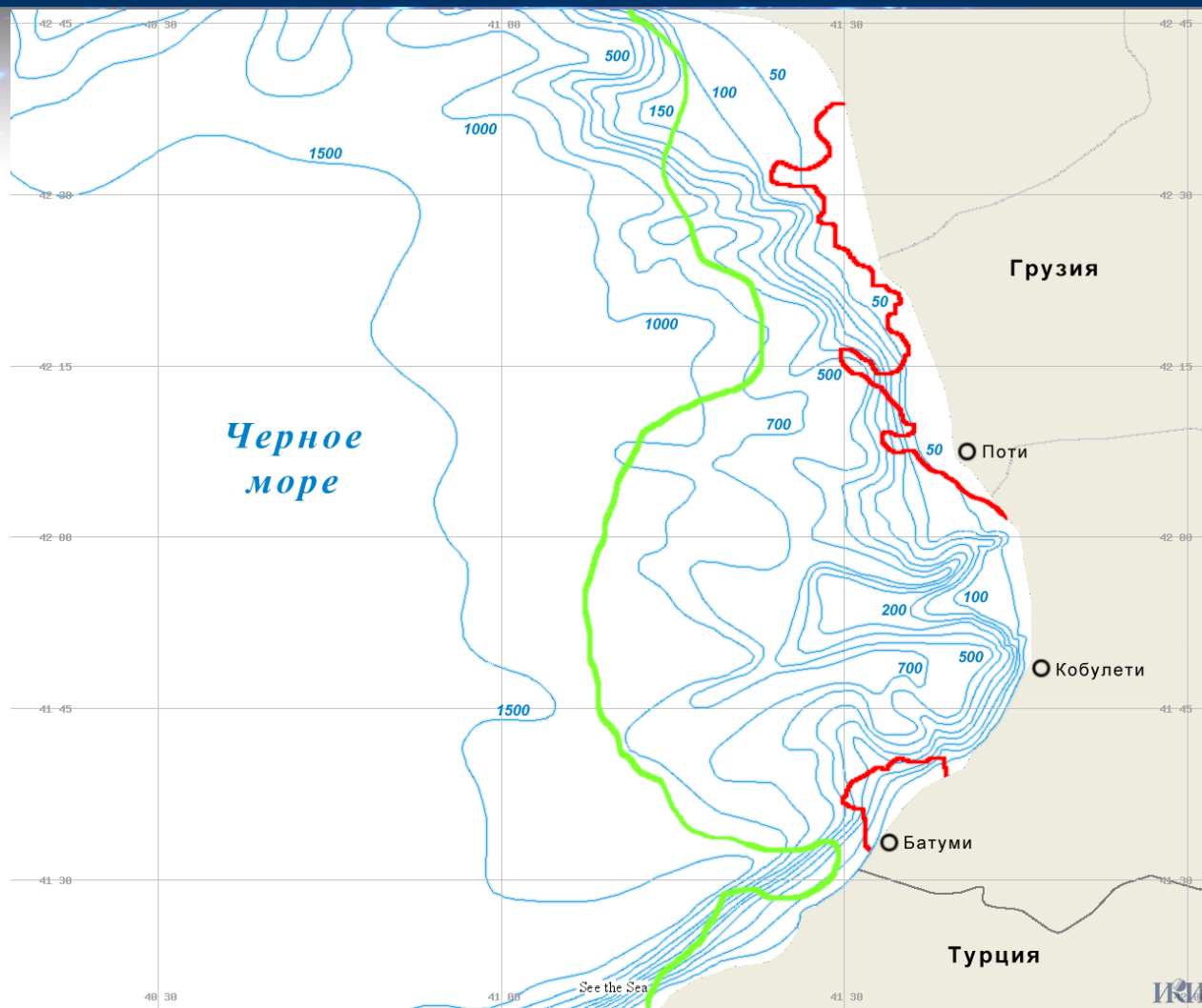


Выносы рек



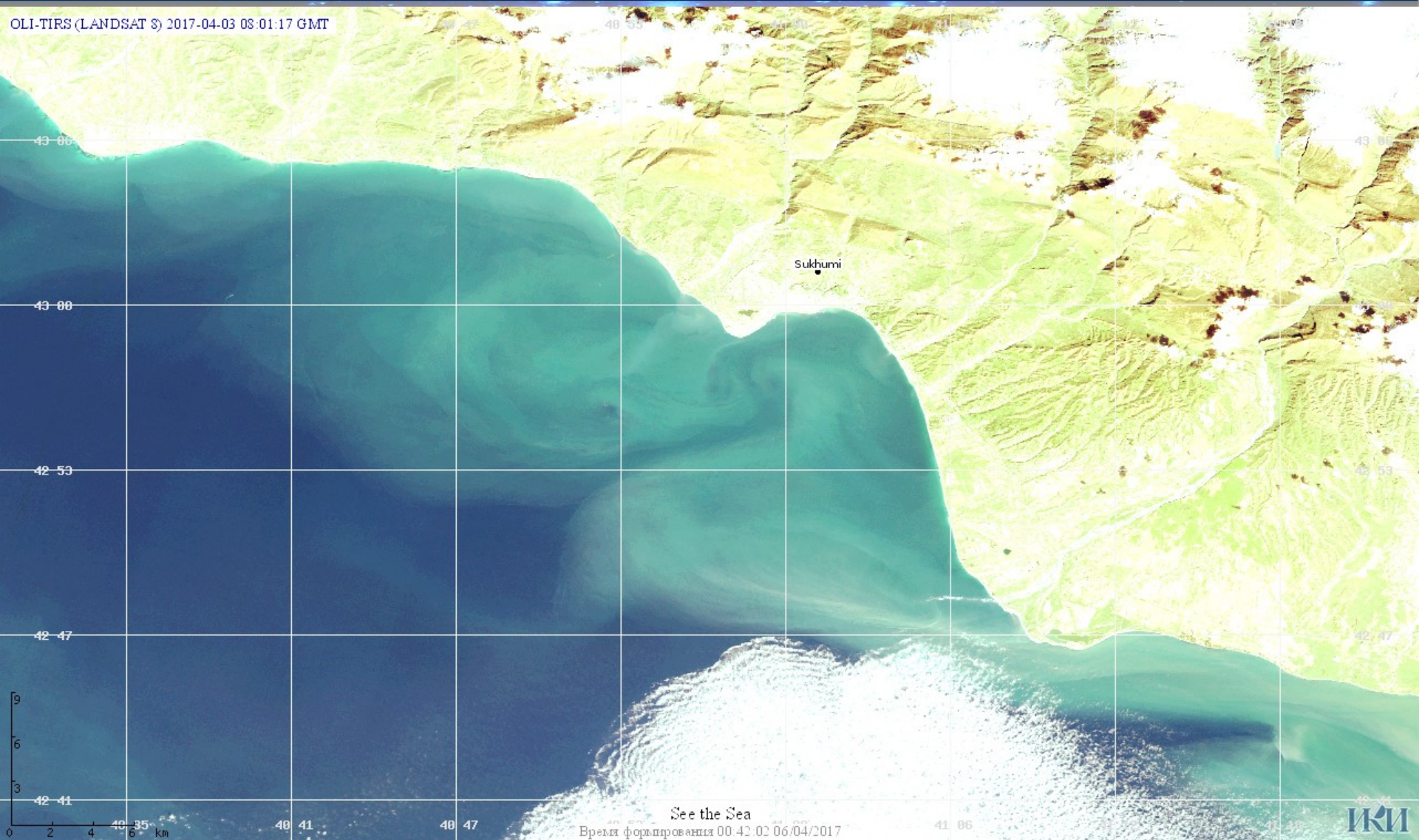
Три основных области плуа: а — Landsat-7 ETM+ от 08 июля 2005 г., 07:45 GMT. Стрелки указывают на три области плуа, различающиеся количеством взвешенного вещества; б - карта TSM, построенная на основе данных MERIS Envisat от 8 июля 2005 г., 07:26 GMT

Выносы рек



Области, соответствующие максимальному распространению взвешенных веществ в восточной части Чёрного моря: зелёная линия отмечает границу наибольшего распространения области 3; красная — области 1

Выносы рек



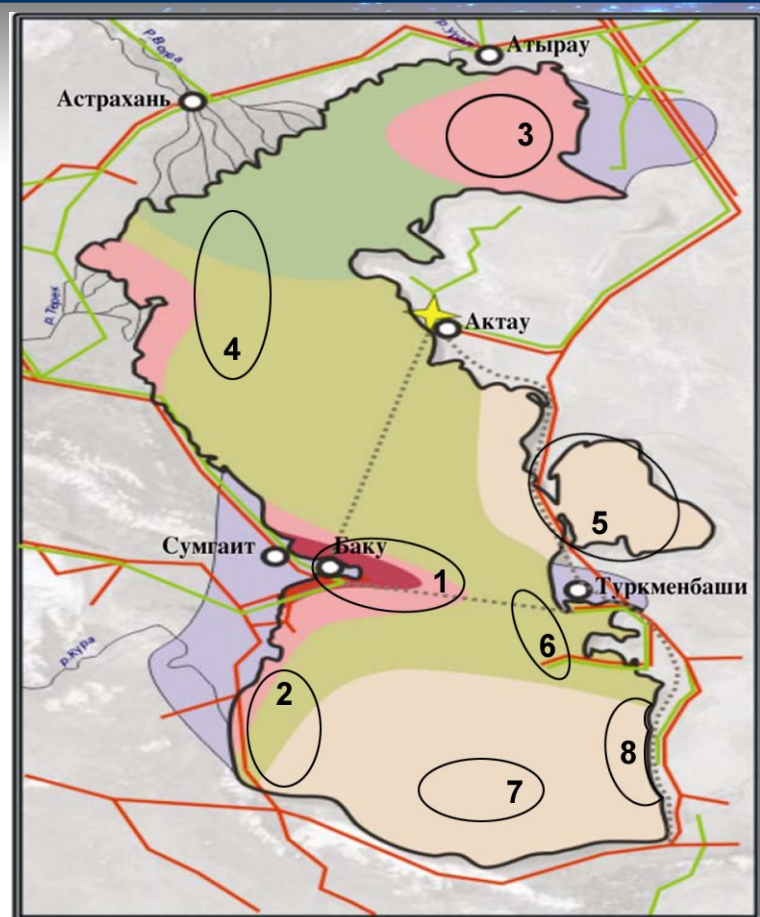
Изображение OLI Landsat-8 от 03.04.2017, полученное вблизи Сухума

Зоны экологического риска в Черном море



- 1 — судходная трасса Стамбул-Варна; 2 — судходная трасса Стамбул-Констанца; 3 — судходная трасса Стамбул-Одесса; 4 — судходные трассы Стамбул – Керченский пролив и Стамбул-Новороссийск; 5 — судходные трассы, ведущие в порты Грузии; 6 — акватория вблизи дельты Дуная; 7 — район интенсивного цветения водорослей на северо-западном шельфе; 8 — Севастопольская бухта; 9 — Керченский пролив; 10 — Цемесская бухта; 11 — Геленджикская бухта; 12 — порт Туапсе; 13 — акватория вблизи Сочи; 14 — район интенсивных метановых сипов; 15 — прибрежная зона крайней восточной части Черного моря

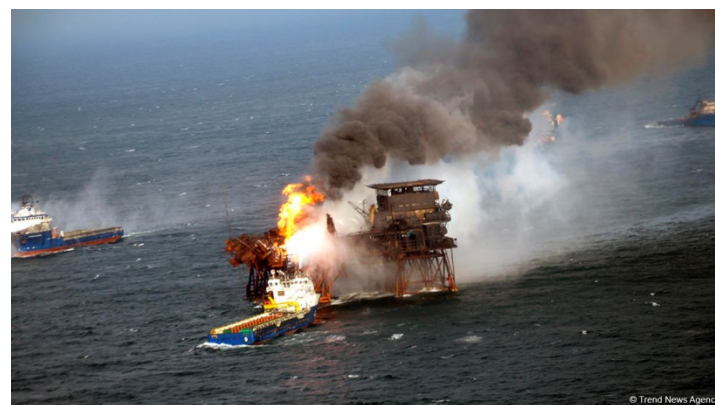
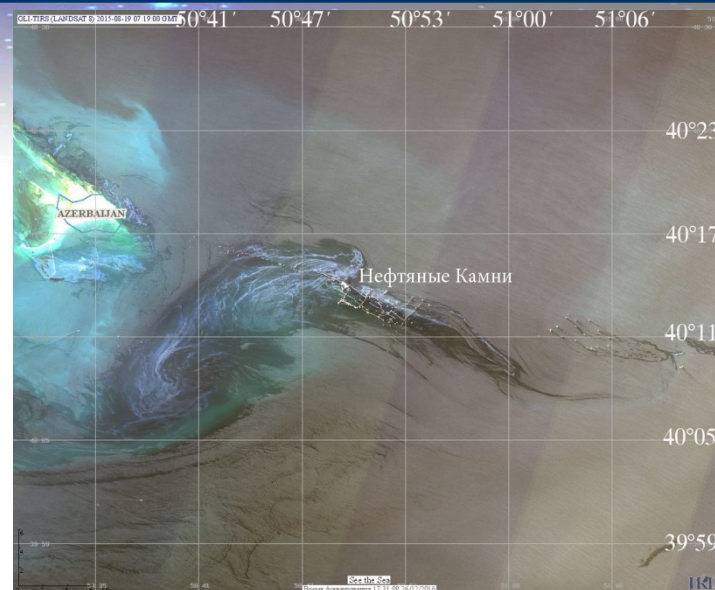
Зоны экологического риска в Каспийском море



Степень нефтегазового загрязнения моря (в ПДК):



- Сильно загрязненные прибрежные районы
- Нефтяной трубопровод
- Газовый трубопровод
- Проектируемый трубопровод
- Могильник радиоактивных отходов



1 — Апшеронский порог и Бакинский архипелаг; 2 — западная часть Южного Каспия; 3 — северо-восточный шельф Казахстана; 4 — северо-западный шельф РФ; 5 — залив Кара-Богаз-Гол; 6 — восточный шельф Туркменистана; 7 — Южный Каспий; 8 — Юго-восточная часть Каспия

По результатам исследований издана монография

ИКИ

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ЗОН ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ



Лаврова Ольга Юрьевна — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая лабораторией Института космических исследований Российской академии наук. Специалист в области дистанционного зондирования поверхности океана из космоса, исследования процессов и явлений в океане и атмосфере над ним, мониторинга антропогенных загрязнений. Является членом нескольких международных научных организаций, членом секретариата Восточноевропейского общества экологической конвенции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» и заместителем главного редактора одноименного журнала. Автор более 250 научных публикаций, в том числе 7 книг, большинство из которых посвящено изучению Черного, Каспийского, Балтийского морей и северо-западной части Тихого океана.



Митягина Марина Ивановна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института космических исследований Российской академии наук. Специалист в области дистанционного зондирования Земли из космоса, исследования процессов и явлений в океане и атмосфере над ним, а также мониторинга антропогенных загрязнений методами спутниковой радиолокации.

Автор более 250 научных работ, в том числе 6 монографий, большинство из которых посвящено изучению Черного, Каспийского, Балтийского морей и северо-западной части Тихого океана.



Костяной Андрей Геннадьевич — профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Шершова Российской академии наук, профессор Лынского Университета (Бельгия), профессор Московского Университета им. С.Ю. Витте. Специалист в области физической океанологии, дистанционного зондирования океана и внутренних морей, регионального изменения климата.

В 2010–2013 годах был членом Мониторинг-экспертной группы экспертов по изменению климата (IPCC AR5). Является членом нескольких международных научных организаций и редколлегии международных журналов, главный редактор научной серии «The Handbook of Environmental

Семестры» издательства «Шпрингер» (Германия).

Автор более 600 научных публикаций, включая 50 книг, большинство из которых посвящены изучению Черного, Каспийского, Аральского и Балтийского морей.



ISBN 978-5-00015-004-7



ИКИ
ДЛЯ НАУКИ

ИКИ

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ
ВЫЯВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА
ЗОН ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА
МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

О.Ю. ЛАВРОВА, М.И. МИТЯГИНА, А.Г. КОСТЯНОЙ

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ЗОН ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ



МОСКВА
2016

<http://iki.cosmos.ru/books/2016lavrova.pdf>

ИКИ

Благодарности

- Авторы выражают благодарность Соловьеву Д.М. (МГИ РАН, Севастополь) за подготовку спутниковых изображений к печати
- Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 14-17-00555
- Усовершенствование информационной системы "See The Sea" выполнялось при поддержке РАН и ФАНО (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164)

A photograph of a sunset over a body of water. The sun is on the right, low on the horizon, casting a golden glow across the sky and water. The sky is filled with soft, orange-tinted clouds. In the foreground, a blue metal buoy or marker is visible in the water. The water has small ripples and reflects the sunset light.

Спасибо за внимание

olavrova@iki.rssi.ru

