

Определение зон интенсивного цветения фитопланктона на основе комплексного использования спутниковых данных

О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина

Институт космических исследований РАН

Москва, Россия

e-mail: olavrova@iki.rssi.ru



Аннотация

Интенсивное цветение фитопланктона наблюдается в последнее время практически во всех морях и внутренних водоемах. В докладе рассматривается задача выявления зон интенсивного цветения в Балтийском море. Использовались данные многоспектральных сенсоров MODIS Aqua/Terra, MERIS Envisat, MSI Sentinel-2A, и спутников серии Landsat, гиперспектральных сенсоров Hyperion и HICO. Выявление зон пространственной локализации поверхностных биогенных пленок, наличие которых резко возрастает в период интенсивного цветения, проводилось на основе данных радиолокаторов спутников Sentinel-1, Envisat, ERS-2 и оптических сенсоров спутников серии Landsat в зоне солнечного блика. Интегральная оценка биогенных загрязнений состояла в определении пространственной локализации биогенных пленок (идентифицируемых по радиолокационным и оптическим данным) и областей интенсивного цветения водорослей (выявляемых по цветосинтезированным изображениям видимого диапазона) и вычислении площади, занимаемой этими загрязнениями.

Предложена методика выявления районов и определения сроков интенсивного цветения фитопланктона по проявлениям долгоживущих следов за кораблями. При этом видимая длина следов может служить опосредованным параметром, выявляющим площадь акватории, занятую цветением. Проведено сравнение полученных нами результатов для Балтийского моря с отчетами HELCOM (Хельсинская комиссия)

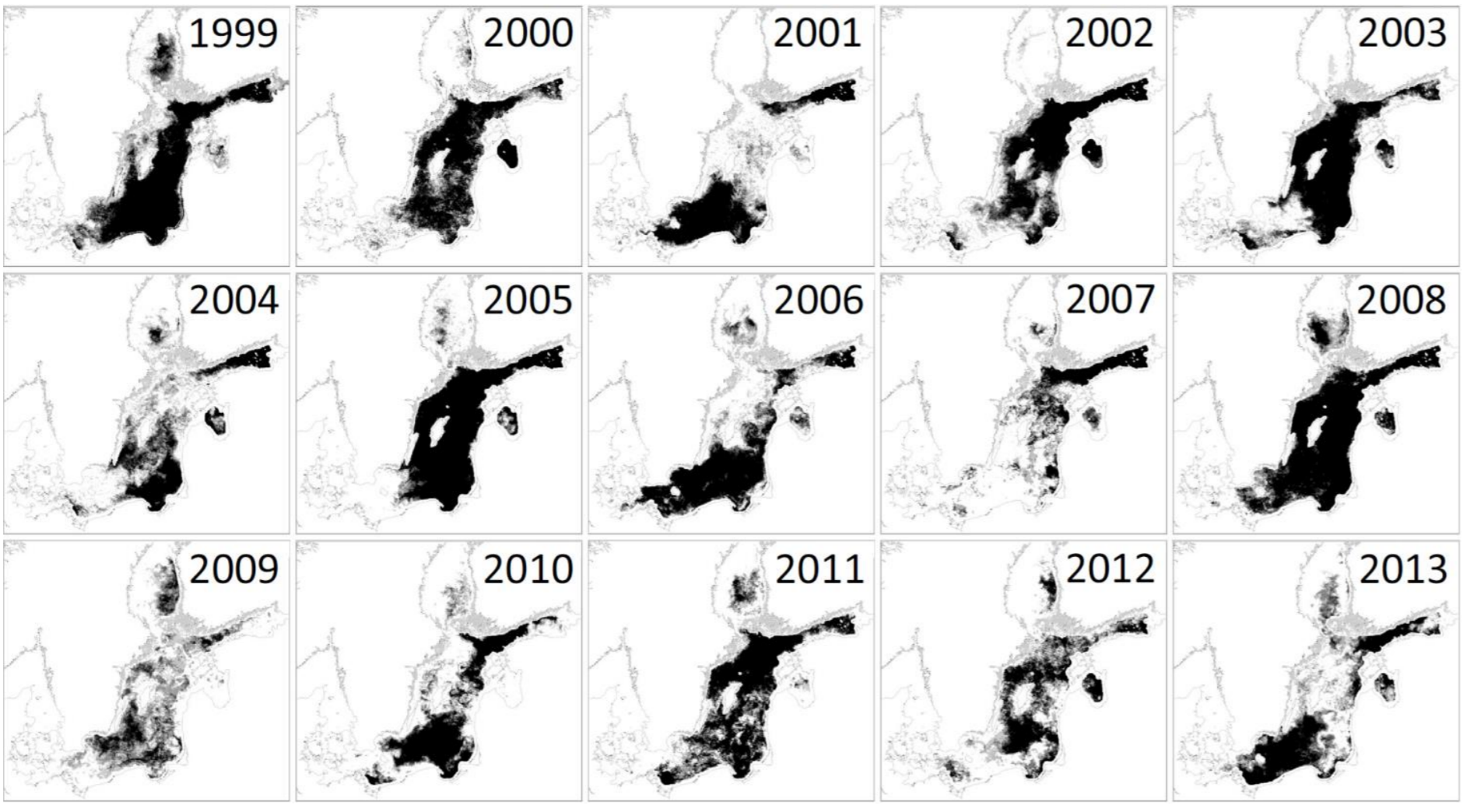
Особенности цветения водорослей в Балтийском море

Одной из наиболее актуальных экологических проблем Балтийского моря является эвтрофикация. В Балтийском море раньше, чем в других морских акваториях были выявлены ее основные признаки. Уже к концу 60-х годов были замечены первые признаки эвтрофикации в открытом море. С тех пор концентрации биогенных элементов в поверхностных водах открытой части Балтики быстро увеличивались, но со значительными межгодовыми вариациями.

Источники, механизмы и проявления эвтрофикации связаны с географическими, физическими, химическими и биологическими условиями:

- Балтийское море окружено экономически высокоразвитыми странами, в его бассейне живут более 85 млн. человек, в том числе 40 млн. непосредственно на побережье;
- мелководные пороги ослабляют водообмен с Северным морем и между основными заливами;
- положительный водный баланс и эстуарный тип циркуляции вод поддерживают постоянную стратификацию вод, ослабляющую вертикальный обмен;
- на водосборной площади Балтийского моря находятся многочисленные промышленные предприятия, и ведется интенсивное сельское хозяйство.

Наибольшее видовое разнообразие характерно для сине-зеленых и диатомовых водорослей.



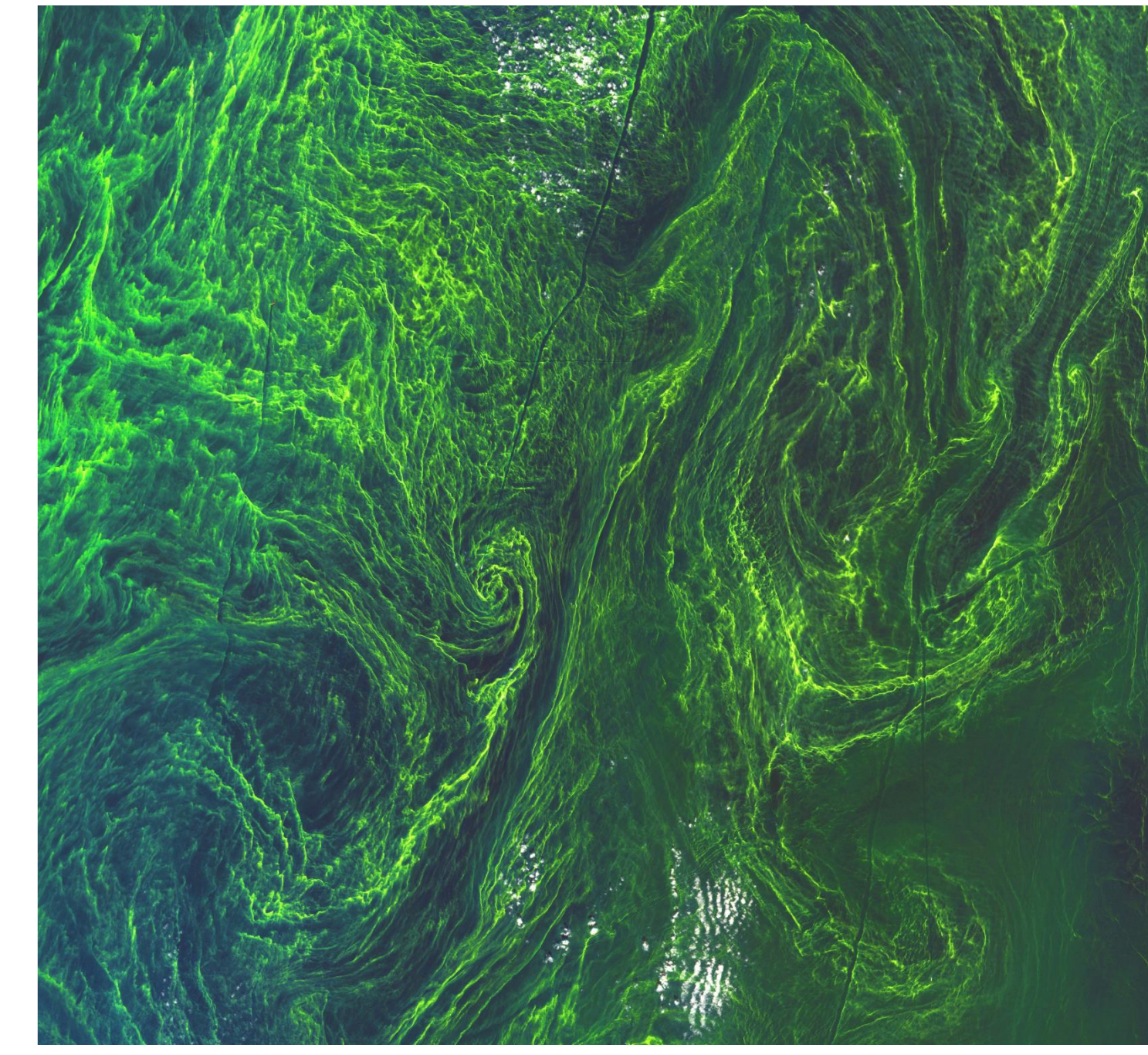
Межгодовая пространственная изменчивость областей цветения цианобактерий, выявленная по спутниковым данным за июль-август 1999 – 2013 гг. (Kahru, Elmgren, 2014)

Мониторинг интенсивного цветения воды сканерами цвета

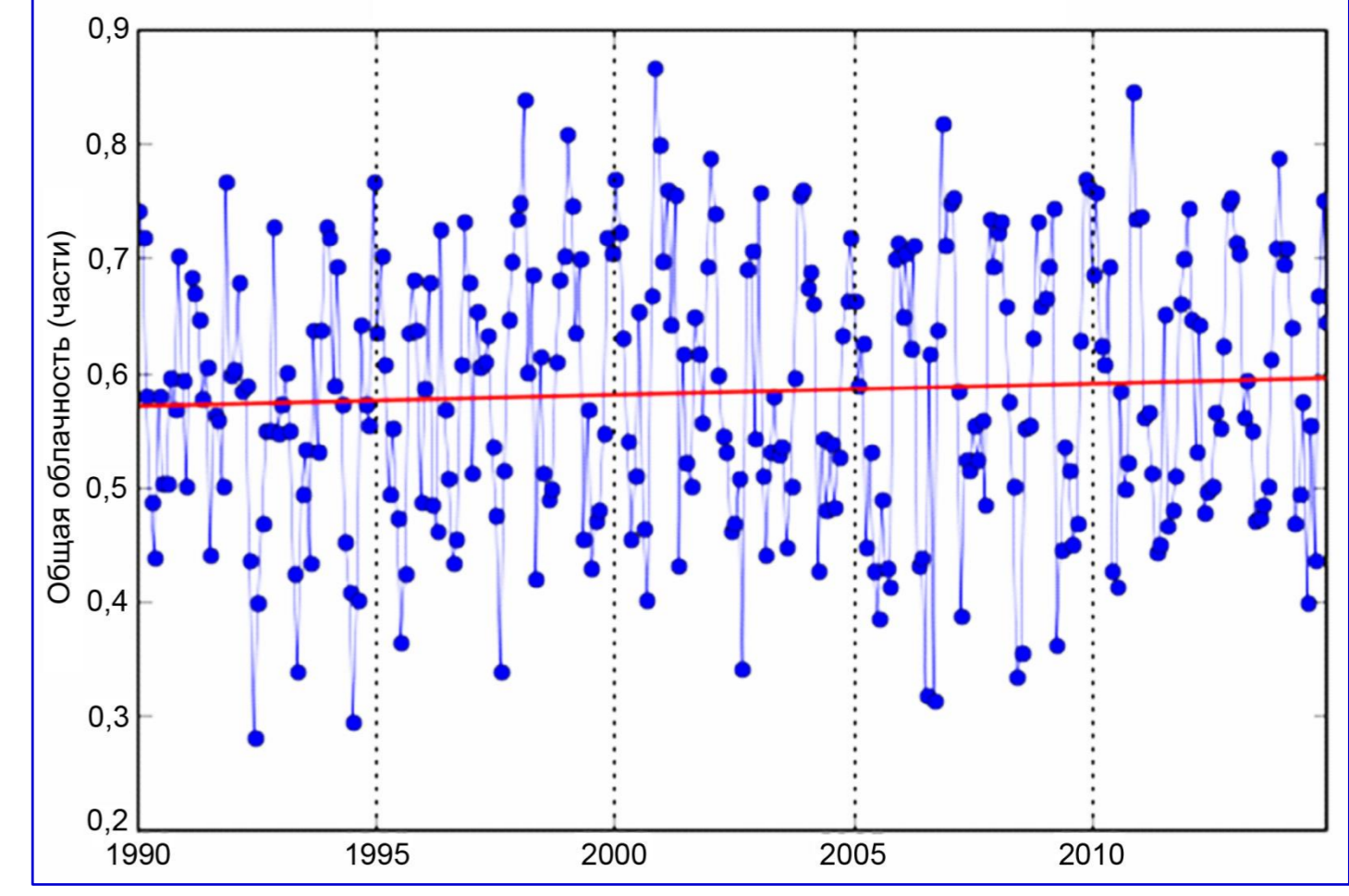
Изменение цветности и мутности воды в результате интенсивного развития цианобактерий открывает широкие возможности для спутникового мониторинга экологического состояния Балтийского моря, в первую очередь с помощью оптических сенсоров, предоставляющих информацию в видимом и ИК-диапазонах электромагнитного спектра. Спутниковые спектрометрические регистрируют величины яркости рассеянного и отраженного излучения, восходящего с поверхности моря, которое обусловлено наличием в морской воде оптически активных компонентов: хлорофилла-а, взвешенного неорганического вещества и окрашенного растворенного органического вещества - «желтого вещества».

Преимуществами современных многоканальных сенсоров оптического диапазона является их высокое пространственное разрешение при широкой полосе обзора, однако основным ограничением возможности их применения является зависимость от освещенности и погодных условий (облачность). Существуют естественные ограничения на использование спутниковых данных оптического диапазона для выявления районов интенсивного цветения на Балтике, так как акватория Балтийского моря достаточно часто полностью или частично покрыта облачностью.

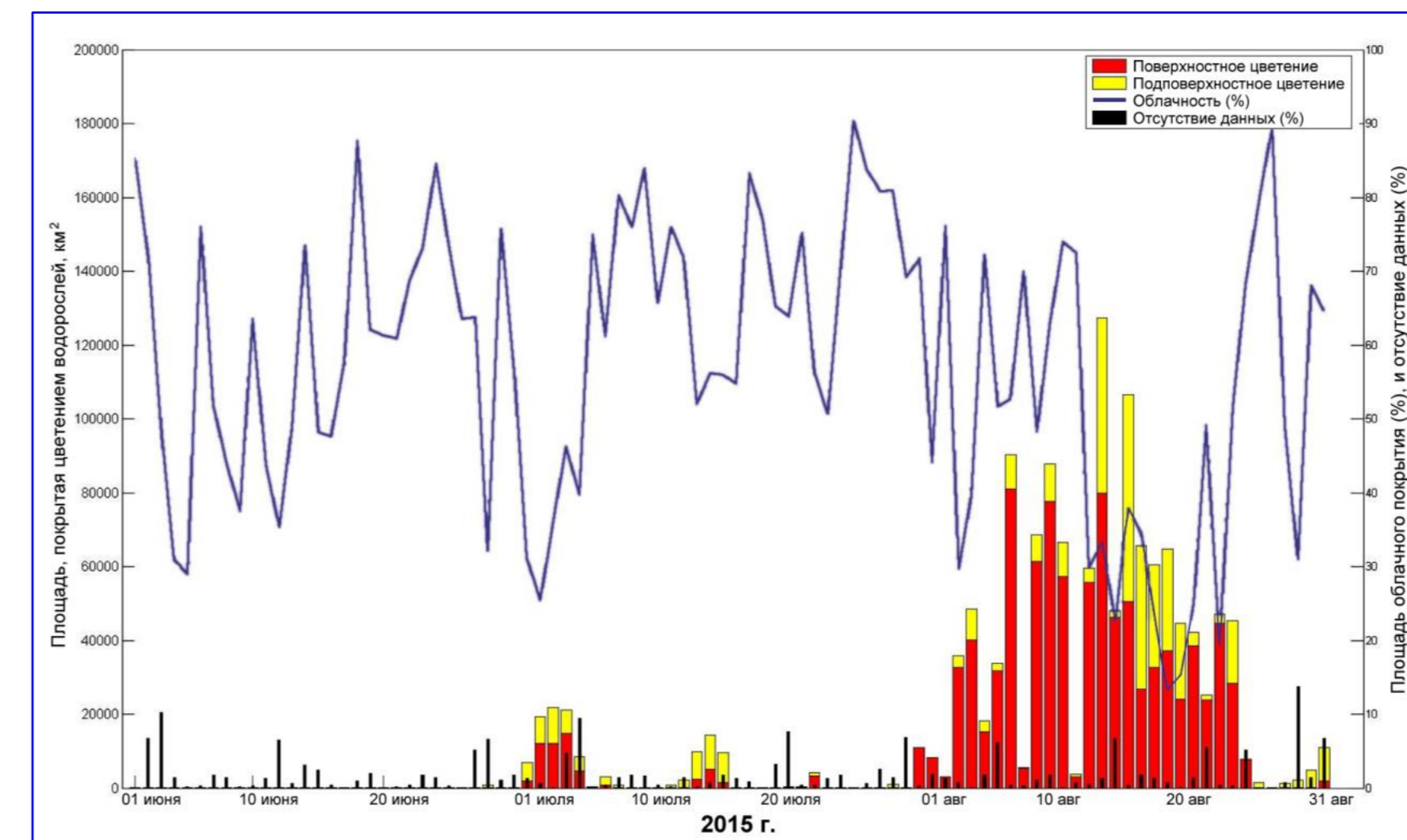
Исследование межгодовой изменчивости облачного покрова в Юго-Восточной Балтике с января 1990 г. по декабрь 2014 г. по ежемесячным данным NASA MERRA показало, что облачность в среднем покрывает 60% исследуемой акватории, причем только летом она охватывает от 30 до 50% акватории, а зимой превышает 70%.



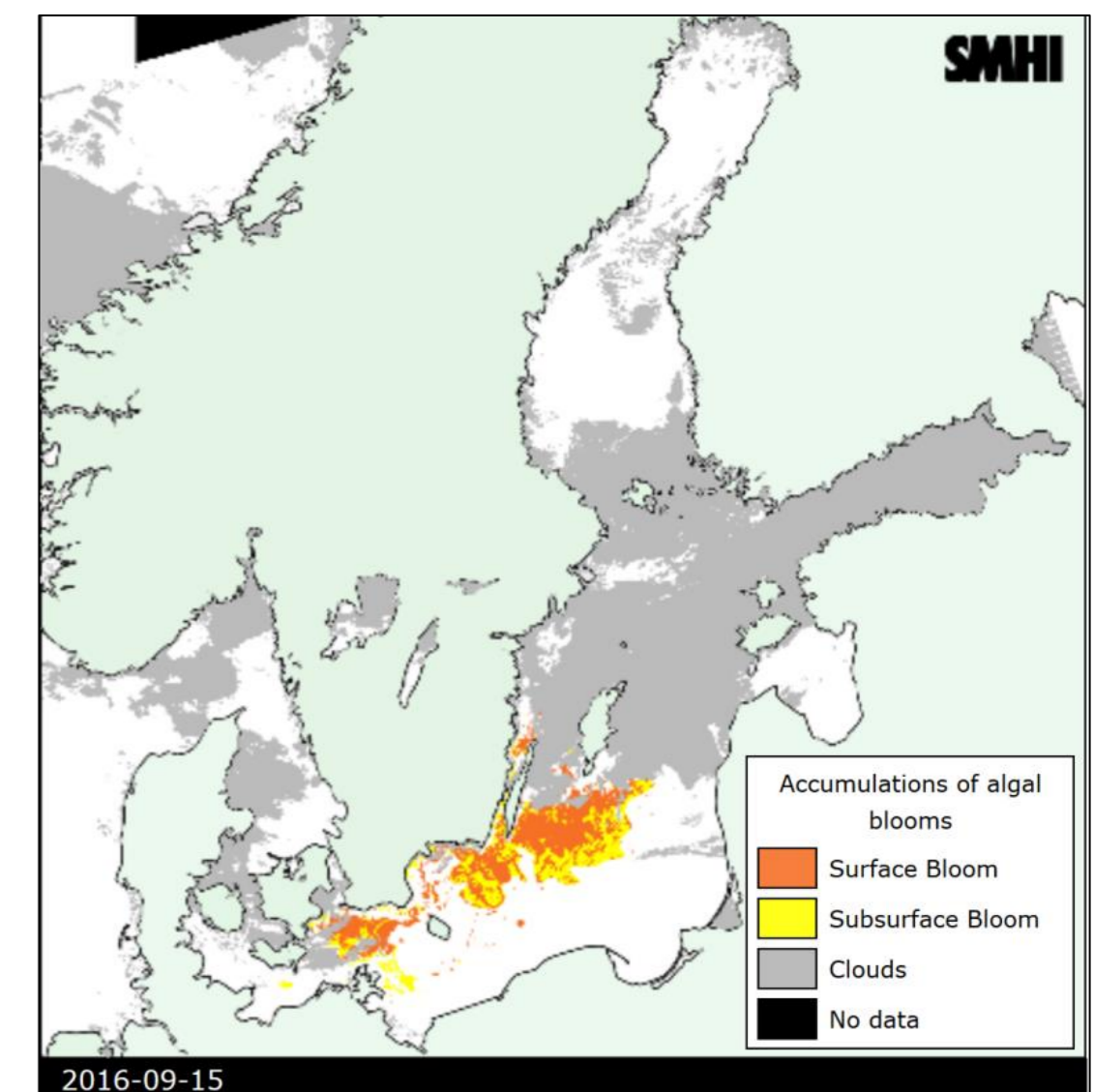
Интенсивное цветение цианобактерий в Балтийском море. Фрагмент MSI Sentinel-2A изображения от 7 августа 2015 г. (©Copernicus Sentinel data (2015)/ESA)



Сезонная и межгодовая изменчивость общей облачности (в частях) в районе Юго-восточной Балтики (18-21° в.д.; 54,5-56,5°с.ш.) за период с января 1990 по декабрь 2014 г. Синие точки – исходные данные, красная линия – линейный тренд (по данным NASA MERRA)



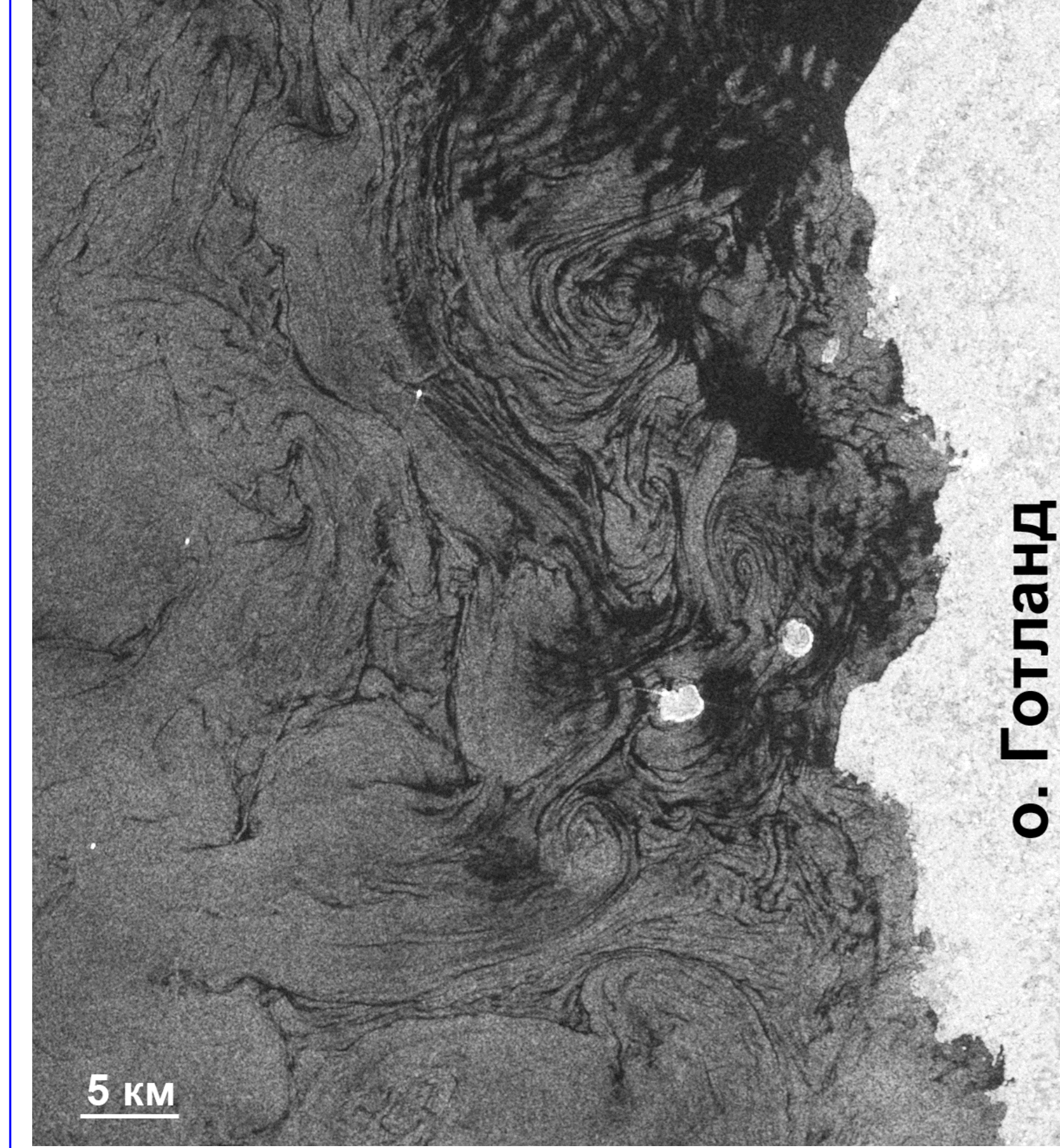
Площади, покрытые поверхностным (красные столбики) и подповерхностным (желтые) цветением цианобактерий в июне-августе 2015 г. (по данным MODIS Aqua). (©HELCOM, 2016)



Карта проявления цветения водорослей за 15.09.16 по данным MODIS (©SMHI, 2016)

Выявление областей интенсивного цветения водорослей по данным спутниковой радиолокации

Как известно, радиолокационные наблюдения могут проводиться вне зависимости от наличия облачности и солнечной освещенности. В период интенсивного цветения водорослей на поверхности моря образуется большое количество биогенной пленки, которая выглаживает морскую поверхность за счет подавления мелкомасштабной составляющей волнения. Скопление темных полос пониженного радиолокационного рассеяния (так называемых сликов) может служить индикатором наличия областей цветения водорослей.

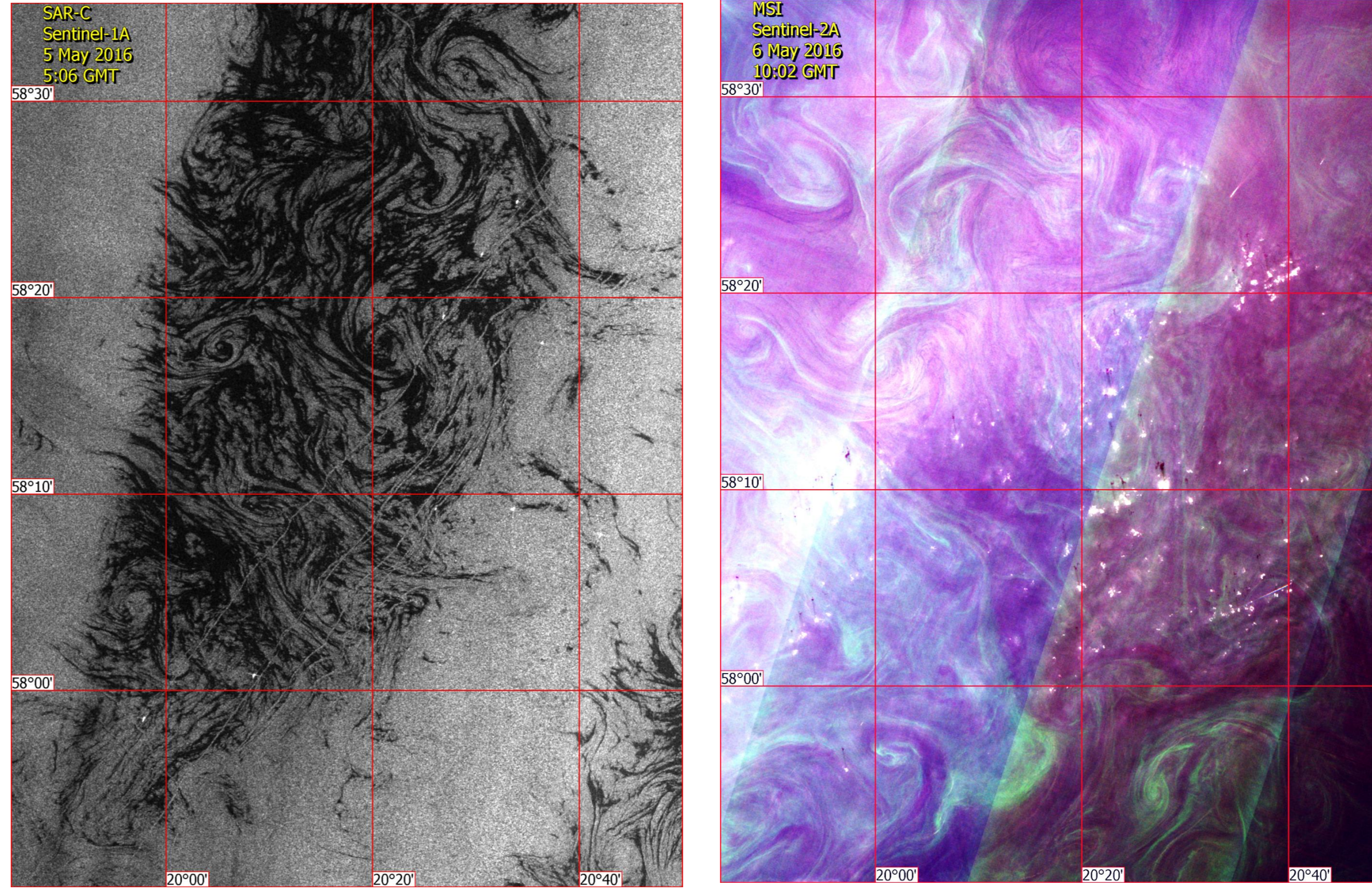


о. Готланд

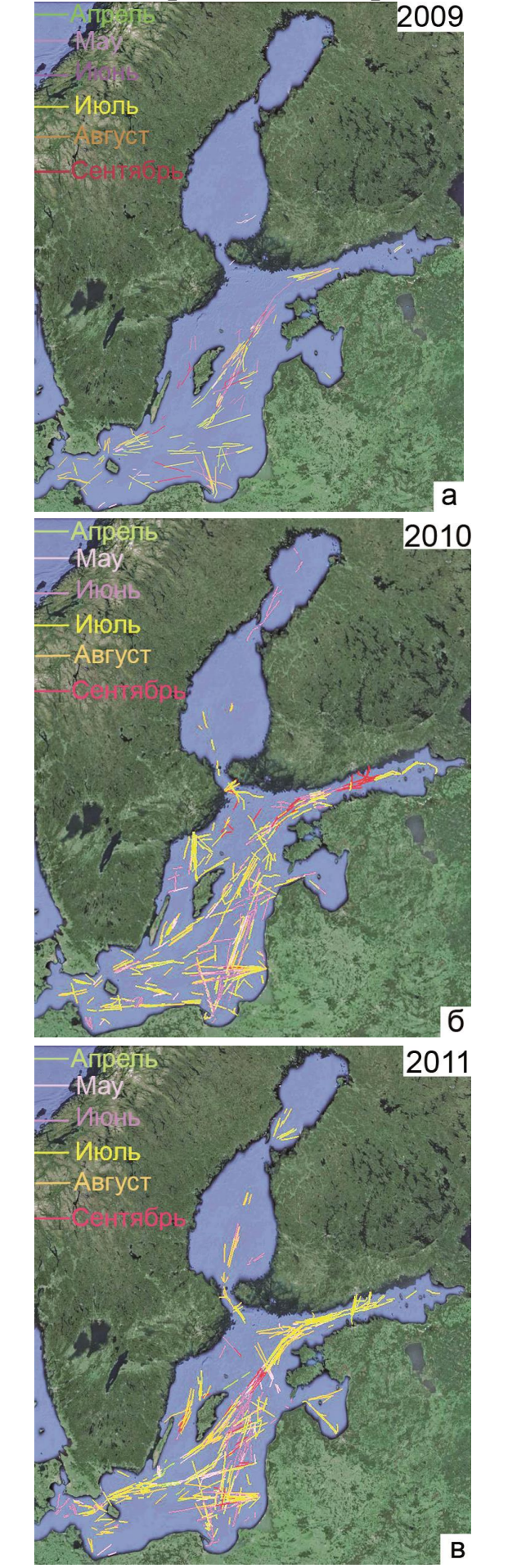
Данный метод имеет свои ограничения: слабый или сильный ветер. Использование данных спутникового радиолокационного зондирования позволяет выявить области цветения не только цианобактерий, но и любых других типов фитопланктона, выделяющих высокомолекулярные соединения, формирующие поверхностную пленку. Опираясь на данный метод диагностики наличия цветения, определялись сроки начала цветения фитопланктона и районы его распространения. По нашим оценкам, например, в 2016 г. цветение началось в конце марта в Западном и Восточном Готландских бассейнах; в этом районе на РЛИ наблюдалось обширное скопление сликов биологического происхождения. Биогенные пленки являются пассивными трассерами поверхностных течений на радиолокационных изображениях.

Вовлекаясь в орбитальные движения, они достаточно детально прорисовывают вихри и вихревые диполи. Это дает возможность не только выявить области цветения, но и оценить направление их распространения под действием приповерхностных течений.

Предлагается оригинальный метод выявления областей интенсивного цветения водорослей на основе данных спутниковой радиолокации, который может применяться и при малых скоростях приповерхностного ветра. Метод базируется на выявлении особых типов долгоживущих следов за судами, которые идентифицируются на радиолокационных изображениях (РЛИ) в зонах интенсивного цветения фитопланктона. Этот тип корабельных следов отображается на спутниковых РЛИ в виде длинных светлых полос усиления обратного-рассеянного сигнала. По спутниковым радиолокационным данным были восстановлены их пространственные и временные характеристики: корабельные следы являются относительно долгоживущими структурами, а их длины могут достигать сотен километров. В начале следа может выделяться яркая точка, соответствующая положению движущегося судна. Существенного расширения следа в направлении от судна, как правило, не наблюдается.



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



Обобщенные карты-схемы распределения долгоживущих следов за кораблями, выявленных на РЛИ Балтийского моря: (а) 2009 г.; (б) 2010 г.; (в) 2011 г.