

О роли вихрей в распространении нефтяных загрязнений по акватории Юго-Восточной Балтики (по данным спутникового мониторинга)

А.И. Гинзбург¹, Е.В. Булычева², А.Г. Костяной^{1,3}, Д.М. Соловьев^{1,4}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия*

E-mail: ginzburg@ocean.ru, kostianou@gmail.com

² *Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

Калининград, 236022, Россия

E-mail: bulycheva.lena@gmail.com

³ *Институт космических исследований РАН, 117997, Москва, Россия*

⁴ *Морской гидрофизический институт, Севастополь, 299002, Россия*

E-mail: solmit@gmail.com

На основе анализа радиолокационных изображений (РЛИ) ASAR Envisat и квазисинхронных оптических изображений радиометров MODIS спутников Terra и Aqua рассмотрены возможные пути распространения пятен нефтепродуктов, обнаруженных на РЛИ 30 июля и 11 августа 2004 г. в юго-восточной части Балтийского моря, с учетом локальной мезомасштабной вихревой динамики и сопутствующей информации о скорости и направлении ветра. Показано, что в период с 28 июля по 11 августа 2004 г. течения в Гданьском заливе определялись эволюцией мезомасштабного антициклонического вихря с размерами примерно 35 и 20 км (по продольной и поперечной осям) и циклонов на его периферии. Направление дрейфа нефтяного пятна, оказавшегося в районе этой вихревой системы и находящегося под совместным влиянием вихревого движения и ветра, неизбежно будет отличаться от прогноза распространения пятна в результате использования модели Seatrack Web, которая не разрешает мезомасштабные вихри.

Ключевые слова: Юго-Восточная Балтика, радиолокационные изображения, оптические изображения, нефтяное загрязнение, вихри, вихревые диполи, прогноз дрейфа нефтяных пятен

Введение

Юго-восточная часть Балтийского моря – район интенсивного судоходства. Следствием этого является потенциально высокое нефтяное загрязнение данной акватории из-за утечки нефтепродуктов с морских судов, оказывающее негативное воздействие на морскую окружающую среду и береговую зону моря (Булычева, Костяной, 2011, 2014; Lavrova et al., 2014; Kostianou et al., 2015). Это диктует необходимость оперативного мониторинга нефтяных загрязнений в море. Комплексный спутниковый мониторинг, организованный в 2004 г. с целью экологического мониторинга нефтяного месторождения «Кравцовское» и продолжающийся по настоящее время для всей Юго-Восточной Балтики, включает оперативный прием и анализ разного рода спутниковой информации (радиометры видимого и ИК диапазонов, радиолокаторы с синтезированной апертурой) для обнаружения нефтяных пятен и слежения за их распространением, сбор и анализ метеорологической информации (скорости и направления ветра, температуры воздуха, облачности и т.д.), прогноз направления и скорости переноса нефтяных пятен с помощью интерактивной численной модели Seatrack Web Шведского института метеорологии и гидрологии (SMHI), учитывающей обновляющийся каждые 3 часа прогноз поля ветра и ряда других метеорологических параметров (Kostianou et al., 2006; Лаврова и др., 2011; Булычева, Костяной, 2011; Немировская и др., 2011; Костяной, Булычева, 2014; Kostianou, Lavrova, 2014; Kostianou et al., 2014; Lavrova et al., 2014; Bulycheva et al., 2014; Bulycheva, Kostianou, 2015; Kostianou et al., 2015).

Наиболее эффективным средством обнаружения нефтяных пятен на поверхности моря является спутниковая радиолокация, преимуществом которой является всепогодность съемки (облачность не является помехой), независимость от времени суток (освещенности) и высокое пространственное разрешение (от 25 до 75 м) в широкой полосе обзора от 100 до 400 км (Лаврова и др., 2011). Образующиеся при разливе нефти/нефтепродуктов пленки гасят гравитационно-капиллярное ветровое волнение и формируют на радиолокационных изображениях (РЛИ) области пониженного рассеяния/выглаживания (слики). Наилучшие условия для детектирования нефтяных пленок на РЛИ – скорость ветра от 3 до 9 м/с, волнение – до 4 баллов (Лаврова и др., 2011). При принятии решения о связи обнаруженного на РЛИ слика с нефтяными пленками важна экспертная оценка, основанная на опыте распознавания нефтяных пятен по их форме и на анализе сопутствующей гидрометеорологической обстановки, поскольку области пониженного рассеяния на РЛИ могут быть также результатом ряда процессов, не имеющих отношения к нефтяному загрязнению – апвеллинга, ветровых теней, цветения вод, льда и др. (Лаврова и др., 2011). Наиболее благоприятным для обнаружения нефтяных пятен является весенне-летний период, когда не наблюдается очень сильных ветров (Булычева, Костяной, 2014).

Для зарегистрированных на РЛИ пятен различных нефтепродуктов модель Seatrack Web дает прогноз их дрейфа с хорошим пространственным (1 морская миля) и временным (15 мин) разрешением. Однако при этом не учитываются течения, обусловленные вихрями и струями – типичными элементами нестационарной динамики вод Юго-Восточной Балтики (Лаврова, 2005; Lavrova et al., 2008; Лаврова и др., 2011; Каримова и др., 2011; Гинзбург и др., 2015). Например, при скорости ветра 9 м/с, предельной для обнаружении нефтяных пленок на РЛИ, и используемом в модели ветровом коэффициенте 0,03 скорость «модельного» дрейфа пятна будет равна 27 см/с, что соизмеримо с орбитальной скоростью на периферии мезомасштабных вихрей, а при скоростях ветра на другом конце диапазона, благоприятного для обнаружения пятен нефти на РЛИ, вклад мезомасштабных вихревых движений в направление и скорость распространения пятна будет определяющим.

Попадание нефтяного пятна в область мезомасштабных вихрей – процесс случайный, поэтому наблюдения захвата пятен вихрями редки, тем более что время жизни пятен нефтепродуктов на поверхности моря может быть всего лишь одни сутки (Manual..., 2005). В данной статье продемонстрированы два случая наблюдения нефтяных пятен, «встроенных» в структуру мезомасштабных вихрей в Гданьском заливе.

Анализ спутниковой информации

Оба случая обнаружения нефтяных пятен имели место в период с 30 июля по 11 августа 2004 г. в рамках оперативного комплексного спутникового мониторинга юго-восточной части Балтийского моря, проводимого в связи с началом добычи нефти на платформе D-6 ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» (Kostianoy et al., 2006; Лаврова и др., 2011). Для этого периода были характерны частые изменения скорости и направления ветра. В безоблачные

или малооблачные дни была получена серия информативных изображений водной поверхности с радиометров MODIS спутников Terra и Aqua с высоким пространственным разрешением (250 м), которые позволили проследить изменчивость мезомасштабной динамики вод (трассером являлся фитопланктон в период его интенсивного цветения). Было установлено, что в течение примерно двух недель с 28 июля по 11 августа на рассматриваемой акватории находился мезомасштабный антициклонический вихрь с размерами примерно 35 и 20 км вдоль продольной и поперечной осей (рис. 1б, 1в, 3б).

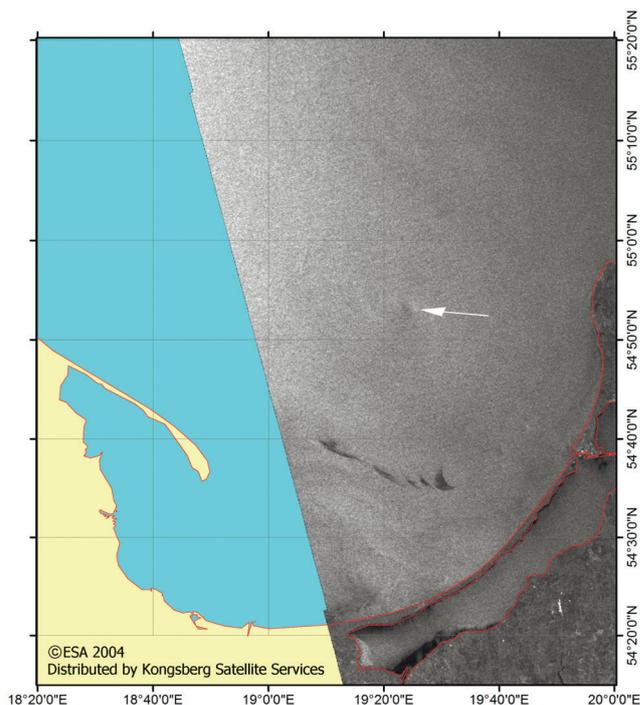
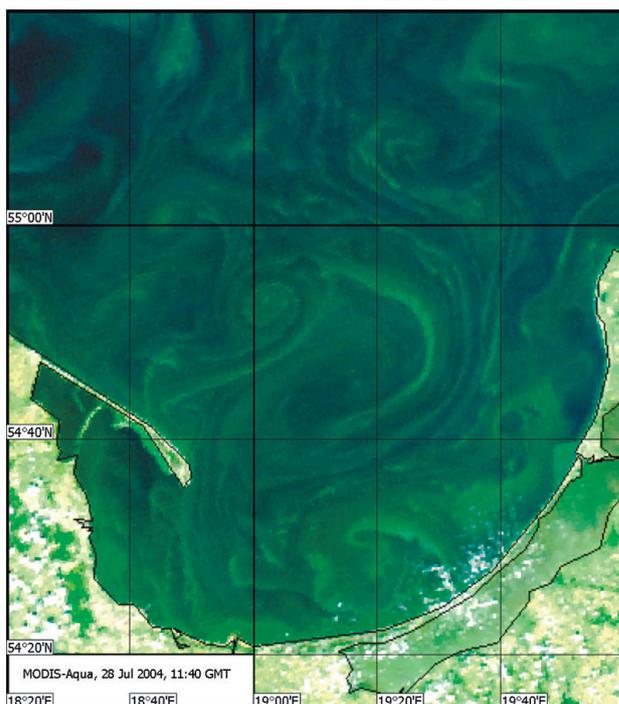


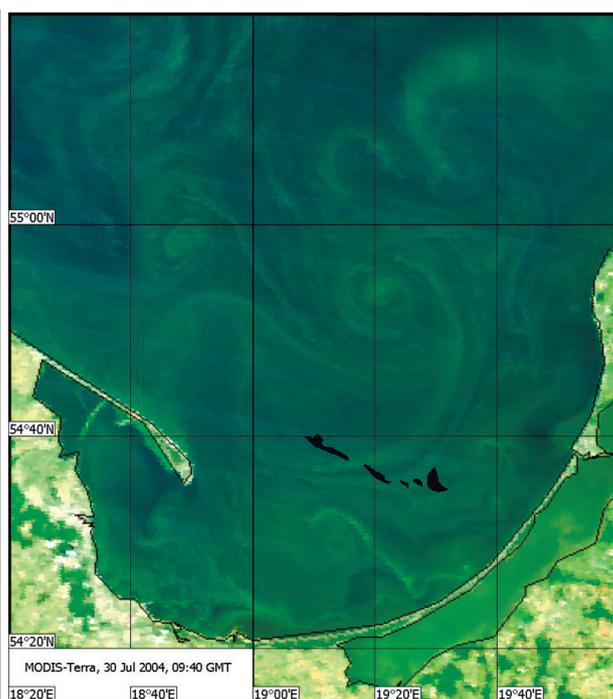
Рис. 1. Фрагменты:
 а) РЛИ ASAR Envisat, 30.07.2004, 20:08 GMT;
 б) оптических изображений радиометров
 MODIS-Aqua, 28.07.2004, 11:40 GMT и
 в) MODIS-Terra 30.07.2004, 09:40 GMT.

На рис. 1а стрелкой показано положение центра циклонического вихря.
 На рис. 1в наложена цепочка нефтяных пятен в соответствии с их положением на рис. 1а

а



б



в

Эволюция этого антициклона сопровождалась образованием на его периферии одного или двух циклонов, причем система антициклон–циклон (или антициклон – циклоны) поворачивалась по часовой стрелке, с изменением положения центра антициклона за период наблюдения в пределах примерно 24 км в меридиональном и 10 км в зональном направлениях (не однонаправленно).

Первое обнаружение нефтяного пятна на РЛИ имело место 30 июля 2004 г. (*рис. 1а*). Пятно представляло собой цепочку из пяти фрагментов, площади которых слева направо составляли: 6,42; 3,80; 0,89; 1,69 и 7,53 км². Общая площадь пятен – 20,33 км². Длина цепочки пятен – 26 км. Поскольку информативных радиолокационных изображений рассматриваемого района в предыдущие дни не было, точную дату сброса нефтепродуктов с судна установить не удалось.

Согласно карте ветра для открытой части моря по ежедневным прогнозам Междисциплинарного центра математического и компьютерного моделирования Варшавского университета (http://www.meteo.pl/index_en.php), утром 30 июля наблюдался умеренный (более 5–6 м/с) ветер, что подтверждается и характером РЛИ (*рис. 1а*): равномерный серый тон, отсутствие проявления вихревой динамики, хорошо заметной на изображениях радиометра (*рис. 1б и 1в*); различим лишь центр циклонического вихря к северо-востоку от антициклона (см. *рис. 1в*), что типично для проявления вихрей на РЛИ при скоростях ветра более 5 м/с (Каримова и др., 2011).

Как следует из сравнения *рис. 1б и 1в* (и изображения радиометра за 29 июля, не приведенного здесь), картина течений в центре Гданьского залива в течение двух дней (28–30 июля) заметно изменялась. Диполь (или грибовидная структура, состоящая из пары циклон – антициклон и струи между ними) развернулся по часовой стрелке примерно на 90°. Наложение цепочки нефтяных пятен, обнаруженных на РЛИ 30 июля (*рис. 1а*), на оптическое изображение радиометра, полученное в тот же день, но примерно на 10 часов раньше (*рис. 1в*), показывает, что пятна располагались преимущественно вдоль южной периферии антициклонического вихря. Не располагая последовательными РЛИ с момента сброса нефтепродуктов в море и ежедневными изображениями радиометра MODIS (изображения с 31 июля по 4 августа отсутствовали), невозможно определить, в каком направлении могло происходить распространение пятен за счет вихревого поля. Результирующее движение пятен должно было быть обусловлено совместным действием течения, связанного с вихревой динамикой и направленного на северо-запад, и дрейфого течения на юг под влиянием ветра (в период с 28 по 30 июля наблюдался северный ветер). Численное моделирование с помощью модели Seatrack Web с момента обнаружения пятен и до 00:00 GMT 3 августа, с учетом северного ветра, показало дрейф размывающихся пятен на юг (*рис. 2*). Несоответствие модельного прогноза дрейфа пятен наблюдениям связано с тем, что модель Seatrack Web не разрешает мезомасштабные вихревые особенности динамики вод (Kostianoy et al., 2014).

Второе нефтяное пятно с центром 54°38' с.ш., 19°12' в.д. и площадью 23 км² проявилось практически одновременно (с разницей в час) на РЛИ и изображении MODIS 11 августа 2004 г.

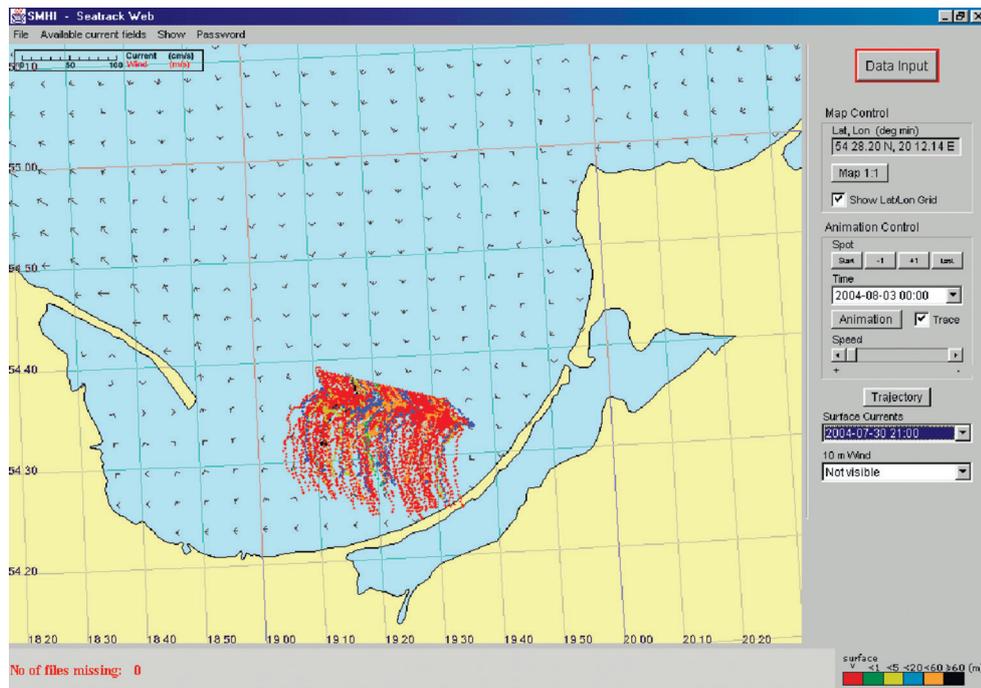


Рис. 2. Траектория дрейфа цепочки нефтяных пятен по результатам численного моделирования (Seatrack Web, SMHI) с 30 июля по 3 августа 2004 г.

В соответствии с экспертной оценкой, оно образовалось как минимум сутки назад. В этот день течения на рассматриваемой акватории определяла упаковка из двух диполей с общим антициклоническим вихрем: циклон с диаметром, соизмеримым с антициклоном, находился к северо-западу от антициклонического вихря, и струя между ними была направлена на северо-восток, обеспечивая отток вод от косы Хель в данном направлении; к юго-востоку от антициклона находился циклон значительно меньшего размера (примерно 9 км), и струя между ним и антициклоническим вихрем была ориентирована на юго-запад. Нефтяное пятно оказалось, как следует из рис. 3, на периферии циклонической части «восточного» диполя, и можно было бы ожидать, что при слабом (1–2 м/с) северо-восточном ветре, наблюдавшемся в этот день, оно перемещалось, в соответствии с вихревым движением, на северо-восток. Однако с учетом возможного поворота системы из антициклона с двумя циклонами на его периферии по часовой стрелке, которое имело место с 6 августа, положение пятна могло оставаться на прежнем месте или смещаться на северо-запад, в зависимости от соотношения скоростей течения в циклонической части «восточного» диполя и во вращающейся вихревой системе.

Численное моделирование дрейфа и трансформации пятна нефти, обнаруженного 11 августа в 9:06 GMT, под действием прогнозируемого ветра и течений на период до 14 августа показало, что оно будет дрейфовать сначала в западном направлении, а затем должно перемещаться вдоль косы Хель на северо-запад, если к тому времени кардинально не изменится поле ветра и течений (рис. 4). И в этом случае численный прогноз дрейфа нефтяного пятна не учитывал наличие системы из двух вихревых диполей в Гданьском заливе.

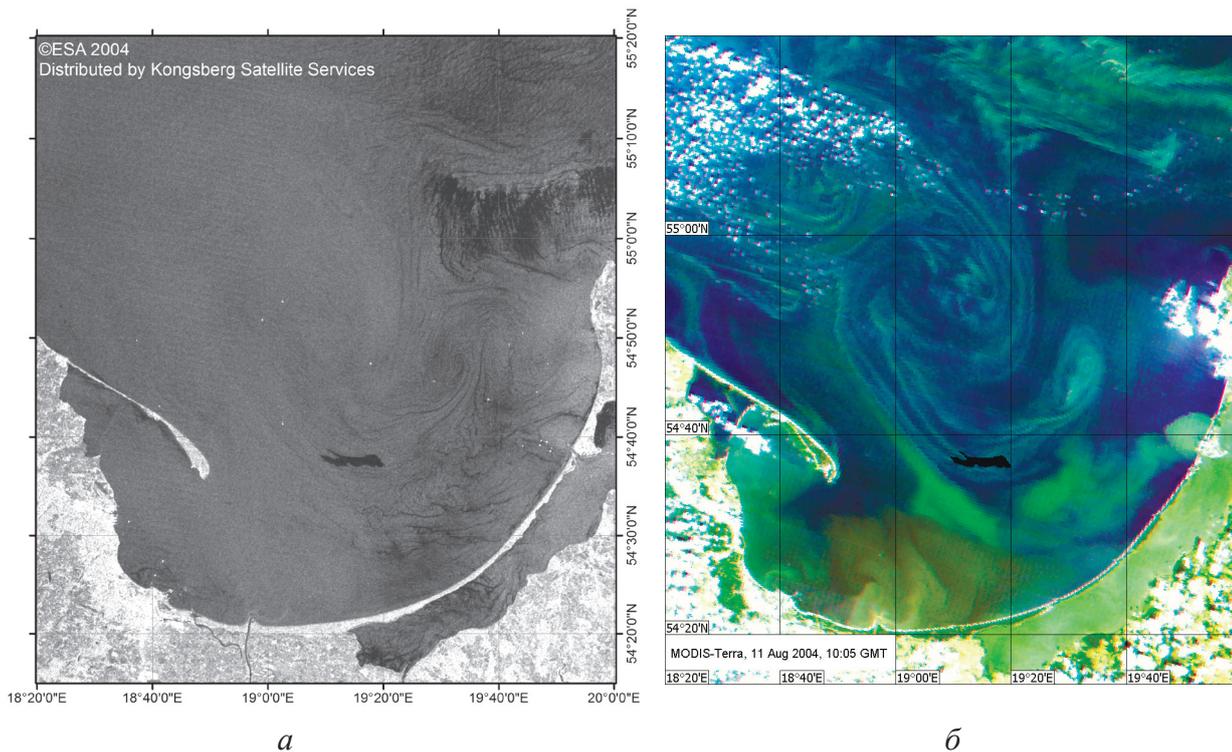


Рис. 3. Фрагменты РЛИ ASAR Envisat, 11.08.2004, 09:06 GMT (а) и изображения радиометра MODIS-Terra, 11.08.2004, 10:05 GMT (б).
 На рис. 3б наложено нефтяное пятно в соответствии с его положением на рис. 3а

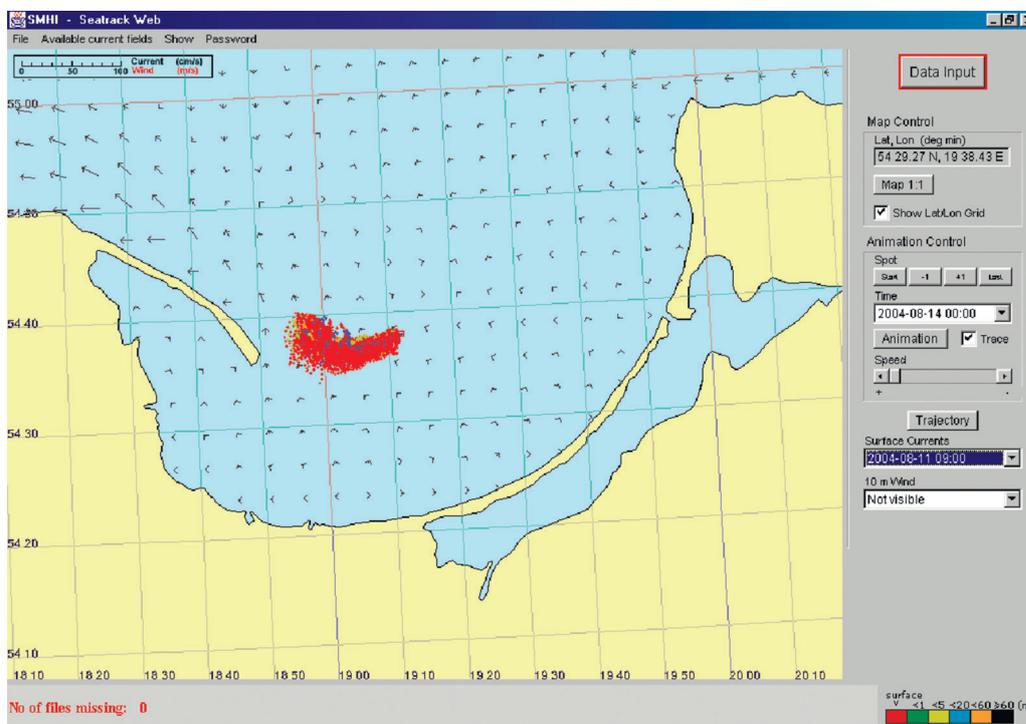


Рис. 4. Численный прогноз дрейфа нефтяного пятна с 11 августа (9:06 GMT) по 14 августа (00:00 GMT) 2004 г., выполненный на основе модели Seatrack Web (SMHI)

Заключение

Юго-восточная часть Балтийского моря – акватория с интенсивной и изменчивой вихревой динамикой. Нефтяные пятна, являющиеся результатом утечки или сброса нефтепродуктов с многочисленных судов, могут оказаться вовлеченными в вихревое движение. В таких случаях дрейф нефтяного пятна будет определяться совместным действием ветра и течения в вихревой системе, поэтому прогноз дрейфа нефтяного пятна на основе численной модели Seatrack Web, не учитывающей соответствующую локальную мезомасштабную вихревую динамику вод, может отличаться от наблюдаемого распространения пятна. Аналогичный вывод о причинах расхождения результатов численного моделирования распространения взвеси из Калининградского залива и наблюдаемой по спутниковым данным картины был сделан в работе (Лаврова и др., 2014). Эти факты лишним раз доказывают необходимость комплексного спутникового мониторинга экологического состояния морских акваторий.

Авторы выражают благодарность ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» за предоставленные радиолокационные данные. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00555).

Литература

1. Булычева Е.В., Костяной А.Г. Результаты спутникового мониторинга нефтяного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря в 2006-2009 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 74–83.
2. Булычева Е.В., Костяной А.Г. Итоги спутникового мониторинга нефтяного загрязнения морской поверхности Юго-Восточной Балтики за 2004-2013 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 111–126.
3. Гинзбург А.И., Булычева Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. Вихревая динамика в Юго-Восточной Балтике по данным спутниковой радиолокации // Океанология. 2015. Т. 55. № 6 (в печати).
4. Каримова С.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М. Наблюдения вихревых структур Балтийского моря с помощью радиолокационных и радиометрических спутниковых данных // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 5. С. 1–9.
5. Костяной А.Г., Булычева Е.В. Численное моделирование рисков нефтяного загрязнения в юго-восточной части Балтийского моря и в Финском заливе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 56–75.
6. Лаврова О.Ю. Снимки как индикаторы вихревой активности в прибрежной зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Вып. 2. Т. 2. С. 118–123.
7. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
8. Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Соловьев Д.М., Голенко М.Н., Голенко Н.Н., Калашикова Н.А., Демидова А.Н. Влияние ветрового воздействия и гидродинамических процессов на распространение вод Калининградского залива в акватории Балтийского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 76–99.
9. Немировская И.А., Сивков В.В., Булычева Е.В. Содержание и состав углеводородов в районе месторождения Кравцовское Балтийского моря // Доклады РАН. 2011. Т. 436. № 4. С. 520–525.
10. Bulycheva E.V., Kostianoy A.G. Spatial and temporal variability of oil pollution by satellite radar data in South-eastern Baltic Sea in 2004-2014 // Abstracts, 47 International Liege Colloquium on Ocean Dynamics “Marine environmental monitoring, modelling and prediction”. 4–8 May 2015, Liege, Belgium.
11. Bulycheva E., Kuzmenko I., Sivkov V. Annual sea surface oil pollution of the south-eastern part of the Baltic Sea by satellite data for 2006–2013 // Baltica. 2014. Vol. 27. P. 9–14.
12. Kostianoy A.G., Bulycheva E.V., Semenov A.V., Krainyukov A.V. Satellite monitoring systems for shipping, and offshore oil and gas industry in the Baltic Sea // Transport and Telecommunication. 2015. Vol. 16. No. 2. P. 117–126.
13. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu. (Eds.) Oil pollution in the Baltic Sea. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2014. Vol. 27. 268 p.
14. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Solovyev D.M., Lebedev S.A. Satellite monitoring of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea // Oil Pollution in the Baltic Sea. / A.G. Kostianoy and O.Yu. Lavrova (Eds.). Springer-Verlag, 2014. Vol. 27. P. 125–154.

15. Kostianoy A.G., Litovchenko K.Ts., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu., Lebedev S.A., Stanichny S.V., Soloviev D.M., Sirota A.M., Pichuzhkina O.E. Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months experience // *Environmental Research, Engineering and Management*. 2006. No. 4 (38). P. 70–77.
16. Lavrova O., Mityagina M., Bocharova T., Gade M. Multisensor observation of eddies and mesoscale features in coastal zones // *Remote Sensing of the European Seas / V. Barale, M. Gade (Eds.)*. Springer Verlag, 2008. P. 463–474.
17. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostianoy A.G., Semenov A.V. Oil pollution in the southeastern Baltic Sea in 2009-2011 // *Transport and Telecommunication*. 2014. Vol. 15. No. 4. P. 322–331.
18. Manual on oil pollution. Section IV. Combating oil spills. London: IMO Publication, 2nd edition, 2005. 228 p. ISBN 978-92-801-4177-1.

On the role of vortices in the transport of oil pollution in the southeastern Baltic Sea (according to satellite monitoring)

A.I. Ginzburg¹, E.V. Bulycheva², A.G. Kostianoy^{1,3}, D.M. Solovyev^{1,4}

¹ P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, 117997, Russia
E-mail: ginzburg@ocean.ru, kostianoy@gmail.com

² Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS
Kaliningrad, 236022, Russia
E-mail: bulycheva.lena@gmail.com

³ Space Research Institute RAS, 117997, Moscow, Russia

⁴ Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol, 299002, Russia
E-mail: solmit@gmail.com

Based on the analysis of radar images of ASAR Envisat and quasi-synchronous optical imagery from radiometers MODIS Terra and Aqua, possible pathways of oil slicks detected in radar images of 30 July and 11 August 2004 in the southeastern part of the Baltic Sea are discussed with consideration of local mesoscale vortex dynamics and related information on wind speed and direction. It is shown that in the period from the 28 July to 11 August 2004, currents in the Gdansk Bay were determined by the evolution of a mesoscale anticyclonic vortex with dimensions of approximately 35 and 20 kilometers (along the longitudinal and transverse axes) and cyclones at its periphery. The direction of drift of the oil slicks, caught in the area of the vortex system and being under the combined influence of vortex motion and wind, will inevitably differ from the forecast of slicks spreading as a result of using the Seatrack Web numerical model, which does not resolve mesoscale vortices.

Keywords: southeastern Baltic Sea, radar images, optical images, oil pollution, vortices, vortex dipoles, forecast of oil spill drift

References

1. Bulycheva E.V., Kostianoy A.G. Rezultaty sputnikovogo monitoringa nefnjanogo zagriaznenija yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morja v 2006-2009 gg. (Results of satellite monitoring of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2006-2009), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 2, pp. 74–83.
2. Bulycheva E.V., Kostianoy A.G. Itogi sputnikovogo monitoringa nefnjanogo zagriaznenija morskoy poverkhnosti Yugo-Vostochnoj Baltiki za 2004-2013 gg. (Results of satellite monitoring of sea surface oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2004-2013), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 111–126.
3. Ginzburg A.I., Bulycheva E.V., Kostianoy A.G., Solovyev D.M. Vikhrevaya dinamika v Yugo-Vostochnoj Baltike po dannym sputnikovoj radiolokatsii (Vortex dynamics in the Southeastern Baltic Sea from satellite radar data), *Okeanologiya*, 2015, Vol. 55, No. 6 (in press).
4. Karimova S.S., Lavrova O.Yu., Solovyev D.M. Nabljudeniya vikhrevykh struktur Baltijskogo morja s pomoshju radiolokatsionnykh I radiometricheskikh dannykh (Observation of vortical structures in the Baltic Sea by satellite radar and radiometer data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2011, No. 5, pp. 1–9.
5. Kostianoy A.G., Bulycheva E.V. Chislennoe modelirovaniye riskov nefnjanogo zagriaznenija v yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morja I v Finskom zalive (Numerical modeling of oil pollution risks in the southeastern part of the Baltic Sea and in the Gulf of Finland), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 56–75.

6. Lavrova O.Yu. Sliki kak indikatorj vikhrevoj aktivnosti v pribrezhnoj zone (Slicks as indicators of vortical activity in the coastal zone), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Issue 2, Vol. 2, pp. 118–123.
7. Lavrova O.Yu., Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Mitiagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N.A. *Kompleksnyj sputnikovyj monitoring morej Rossii* (Integrated satellite monitoring of Russian seas), Moscow: IKI RAN, 2011, 470 p.
8. Lavrova O.Yu., Krayushkin E.V., Solovyev D.M., Golenko M.N., Golenko N.N., Kalashnikova N.A., Demidova A.N. Vlijanije vetrovogo vozdeistvija i gidrodinamicheskikh processov na rasprostraneniye vod Kaliningradskogo zaliva v akvatorii Baltijskogo morja (Influence of wind forcing and hydrodynamic processes on the distribution of the Kaliningrad Bay waters in the Baltic Sea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 76–99.
9. Nemirovskaya I.A., Sivkov V.V., Bulycheva E.V. Soderzhanie i sostav uglevodorodov v rajone mestorozhdenija Kravtsovskoe Baltijskogo moria (Content and composition of hydrocarbons in the Kravtsovskoe oil field region, the Baltic Sea), *Doklady RAN*, 2011, Vol. 436, No. 4, pp. 520–525.
10. Bulycheva E.V., Kostianoy A.G. Spatial and temporal variability of oil pollution by satellite radar data in South-eastern Baltic Sea in 2004–2014, *47 International Liege Colloquium on Ocean Dynamics “Marine environmental monitoring, modelling and prediction”*, 4–8 May 2015, Liege, Belgium, Book of Abstracts.
11. Bulycheva E., Kuzmenko I., Sivkov V. Annual sea surface oil pollution of the south-eastern part of the Baltic Sea by satellite data for 2006–2013, *Baltica*, 2014, Vol. 27, pp. 9–14.
12. Kostianoy A.G., Bulycheva E.V., Semenov A.V., Krainyukov A.V. Satellite monitoring systems for shipping, and offshore oil and gas industry in the Baltic Sea, *Transport and Telecommunication*. 2015, Vol. 16, No. 2, pp. 117–126.
13. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu. (Eds.), *Oil pollution in the Baltic Sea*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2014, Vol. 27, 268 p.
14. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Solovyev D.M., Lebedev S.A. Satellite monitoring of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea, In: *Oil Pollution in the Baltic Sea*, Eds. A.G. Kostianoy and O.Yu. Lavrova, Springer-Verlag, 2014, Vol. 27, pp. 125–154.
15. Kostianoy A.G., Litovchenko K.Ts., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu., Lebedev S.A., Stanichny S.V., Soloviev D.M., Sirota A.M., Pichuzhkina O.E. Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months experience, *Environmental Research, Engineering and Management*, 2006, No. 4 (38), pp. 70–77.
16. Lavrova O., Mityagina M., Bocharova T., Gade M. Multisensor observation of eddies and mesoscale features in coastal zones, In: *Remote Sensing of the European Seas*, Eds. V. Barale, M. Gade, Springer-Verlag, 2008, pp. 463–474.
17. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostianoy A.G., Semenov A.V. Oil pollution in the southeastern Baltic Sea in 2009–2011, *Transport and Telecommunication*, 2014, Vol. 15, No. 4, pp. 322–331.
18. *Manual on oil pollution. Section IV. Combating oil spills*, London: IMO Publication, 2nd edition, 2005, 228 p., ISBN 978-92-801-4177-1.