

**ЭВОЛЮЦИЯ МЕЗОМАСШТАБНОГО АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОГО ВИХРЯ
И ВИХРЕВЫХ ДИПОЛЕЙ/МУЛЬТИПОЛЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ
(СПУТНИКОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ: МАЙ–ИЮЛЬ 2015 г.)**

А.И. Гинзбург¹, Е.В. Крек¹, А.Г. Костяной¹, Д.М. Соловьев^{2,1}

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: ginzburg@ocean.ru, kostianoy@gmail.com, elenka_krek@mail.ru*
²*Морской гидрофизический институт, 299002,
г. Севастополь, e-mail: solmit@gmail.com*

Статья поступила в редакцию 06.11.2017, одобрена к печати 25.12.2017

На основе анализа последовательных спутниковых оптических (MODIS-Aqua/Terra, AVHRR NOAA-18, VIIRS-SNPP, TIRS и OLI Landsat-8, ETM+ Landsat-7) и радиолокационных (Sentinel-1A, Radarsat-2) изображений прослежена эволюция мезомасштабного антициклонического вихря диаметром около 35 км с присоединенными циклонами (от двух до четырех) на его периферии на протяжении более полутора месяцев (с 15 мая по 7 июля 2015 г.) в Юго-Восточной Балтике. В течение примерно месяца положение антициклона мало менялось (центр – в среднем на 54°55' с.ш., 19°15' в.д.), однако в интервале 22 июня – 1 июля вихревой диполь, образованный этим антициклоном и циклоном на его северной периферии с диаметром, соизмеримым с диаметром антициклона, двигался в восточном направлении со средней скоростью около 4 км/сут. Предполагается, что такому перемещению квазисимметричного вихревого диполя способствовали его расположение севернее Гданьского залива и свойство диполя (грибовидного течения) двигаться в направлении его струйной части при ветровом воздействии (в данном случае при усилении западного ветра).

Ключевые слова: Юго-Восточная Балтика, радиолокационные изображения, оптические изображения, мезомасштабные вихри, вихревые диполи, горизонтальное перемешивание вод

Введение

Вихревые диполи (грибовидные течения) – одна из наиболее распространенных форм когерентных движений вод в океане/море (Федоров и Гинзбург, 1988, 1992). Перенос воды в направлении струйной части структуры с вовлечением окружающих вод внутрь вихрей диполя, а также свойство грибовидных течений образовывать сложные мультипольные структуры (упаковки и разветвление первоначальных вихрей пары во вторичные диполи) делают эти течения эффективным механизмом перемешивания в океане/море. Вихревой механизм перемешивания особенно важен для внутренних морей с ограниченным водообменом с открытым океаном, подверженных интенсивному антропогенному воздействию за счет стока рек, отходов курортных зон и промышленных центров на берегах, нефти и т. д. Таким является внутреннее Балтийское море и особенно его юго-восточная часть – аква-

тория интенсивного судоходства, следствием чего является ее нефтяное загрязнение из-за утечки или сброса нефтепродуктов с морских судов (см., например, (Булычева и др., 2016; Лаврова и др., 2016)). В Балтийском море отсутствуют интенсивные постоянные течения, а скорость непостоянных по направлению дрейфовых течений, вызванных ветром, чаще всего не превышает 10–15 см/с (Гидрометеорология..., 1992). В таком случае вклад вихревых течений в процесс горизонтального перемешивания может быть определяющим (Гинзбург и др., 2015б).

Спутниковыми наблюдениями разных лет установлено, что Балтийское море – акватория с интенсивным вихреобразованием (Horstmann, 1983; Лаврова, 2005; Lavrova et al., 2008; Каримова и др., 2011; Гурова и Иванов, 2011; Лаврова и др., 2011; Гурова, 2012; Gurova and Chubarenko, 2012; Гинзбург и др., 2015 а, б; Tavri et al., 2016). При этом характерным элементом как мезомасштабных, так и субмезомасштабных вихревых движений (диаметр соответственно больше или меньше бароклинного радиуса деформации Россби, не превышающего в Балтике 10 км и 5–6 км в районе Гданьского залива) являются вихревые диполи и их упаковки (Гинзбург и др., 2015а). Однако информация о времени жизни мезомасштабных вихрей в Балтийском море практически отсутствует: известно лишь одно наблюдение существования мезомасштабного антициклона в юго-восточной части Балтики в течение двух недель в июле–августе 2004 г. (Lavrova et al., 2008; Гинзбург и др., 2015б). Неизвестны также пути перемещения вихрей по рассматриваемой акватории и механизмы вихреобразования. В данной статье на основе последовательных спутниковых изображений прослежена эволюция мезомасштабного антициклонического вихря с присоединенными циклонами на его периферии на протяжении более полутора месяцев, в том числе перемещение образовавшегося на его основе квазисимметричного вихревого диполя в восточном направлении.

Данные

В целях прослеживания эволюции мезомасштабного антициклонического вихря анализировались оптические и радиолокационные (РЛИ) спутниковые изображения, полученные в мае–июле 2015 г.: последовательные оптические изображения радиометров MODIS спутников Terra и Aqua (пространственное разрешение $R = 250$ м) и VIIRS-SNPP ($R = 750$ м) с временным интервалом, в основном, 1–2 дня в периоды с 15 по 31 мая, с 3 по 17 июня, с 22 по 28 июня и с 1 по 7 июля, AVHRR NOAA-18 (9–11 июня, $R=1$ км), TIRS Landsat-8 (8 июня, $R = 100$ м), ETM+ Landsat-7 (2 июля, $R = 60$ м) и OLI Landsat-8 (3 июля, $R = 30$ м); РЛИ радаров с синтезированной апертурой (SAR) спутников Sentinel-1A (3 июля, $R = 10$ м) и Radarsat-2 (24 мая, $R = 100$ м).

Отметим, что на майских и июньских изображениях в поле хлорофилла вихревые структуры проявлялись менее четко, чем в поле температуры поверхности воды, поэтому для анализа использовались в основном ИК-изображения (трассер – прогретые воды прибрежной зоны, вовлекаемые вихрями). Нечеткое проявление вихрей на майских–июньских изображениях видимого диапазона связано с

пространственной неоднородностью цветения водорослей и, возможно, с необычно поздним началом массового цветения цианобактерий в 2015 году (обычно оно приходится на июнь) из-за холодной погоды (Oberг, 2016; Лаврова и др., 2016). Температура поверхностного слоя моря летом (в июле) 2015 г. была одной из наиболее низких за период с 2003 по 2015 гг., а соленость – самой высокой за этот период в результате мощного затока североморских вод зимой 2014–2015 гг. (Щука Т. и Щука С., 2016).

Скорость и направление ветра определялись по метеорологическим данным для открытой части моря по ежедневным прогнозам Междисциплинарного центра математического и компьютерного моделирования Варшавского университета (http://www.meteo.pl/index_en.php).

Эволюция мезомасштабного антициклонического вихря с присоединенными циклонами

Последовательность спутниковых изображений оптического диапазона дает возможность проследить эволюцию антициклона в течение полутора месяцев – с 15 мая до 7 июля 2015 г. (отсутствие изображений до 15 мая не позволяет определить дату его появления в данном регионе, а разрыв в имеющейся информации между 7 и 16 июля, когда вихрь уже не проявлялся на изображениях, – дату его диссипации). Некоторые из проанализированных последовательных оптических спутниковых изображений представлены на рис. 1–11.

На рис. 1 хорошо виден антициклонический вихрь диаметром D примерно 35 км с центром на $54^{\circ}58'$ с.ш., $19^{\circ}10'$ в.д. и два присоединенных циклона на его

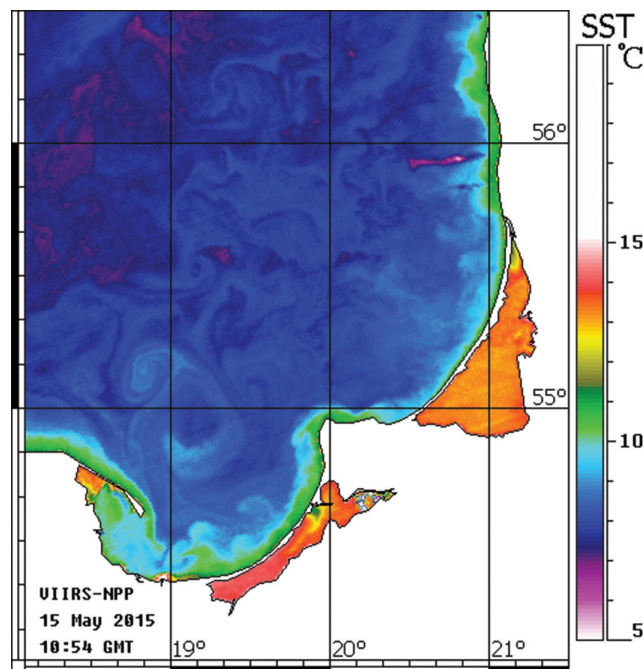


Рис. 1. Фрагмент ИК-изображения радиометра VIIRS-SNPP, 15.05.2015, 10:54 GMT.

северо-западной и юго-восточной периферии ($D \approx 15\text{--}20$ км). Образовавшаяся структура поворачивалась по часовой стрелке, и к 25 мая струйная часть диполя из антициклона и циклона на его северной периферии приобрела зональную ориентацию (рис. 2) (на РЛИ Radarsat-2 видна только часть антициклона). На изображении 31 мая (рис. 3) различим триполь со струйной частью примерно юго-восточного (северо-западного) направления между антициклоном и циклоном на северо-востоке (юго-западе).

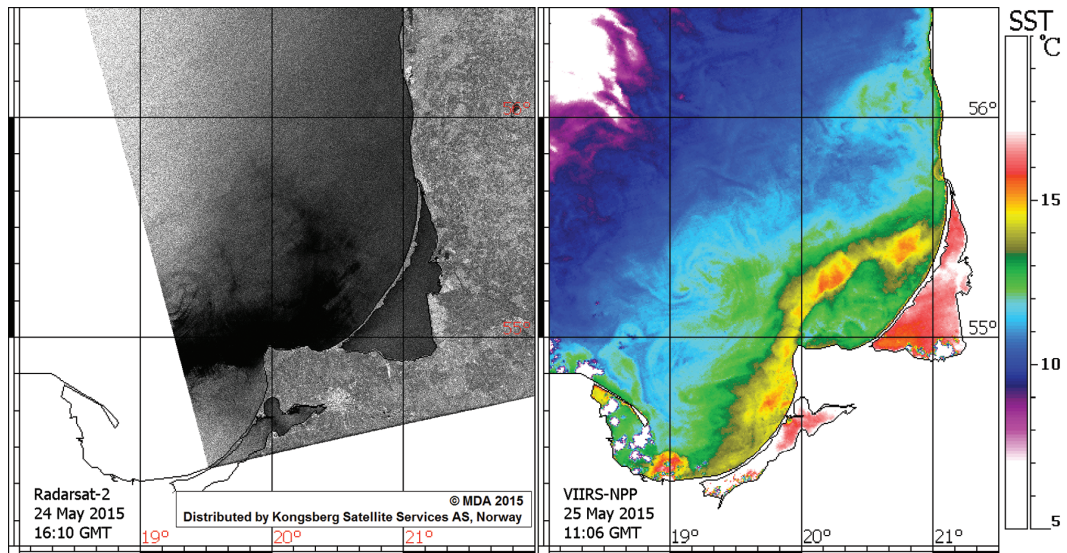


Рис. 2. Фрагменты РЛИ SAR Radarsat-2 24.05.2015, 16:10 GMT (слева) и ИК-изображения радиометра VIIRS-SNPP, 25.05.2015, 11:06 GMT (справа).

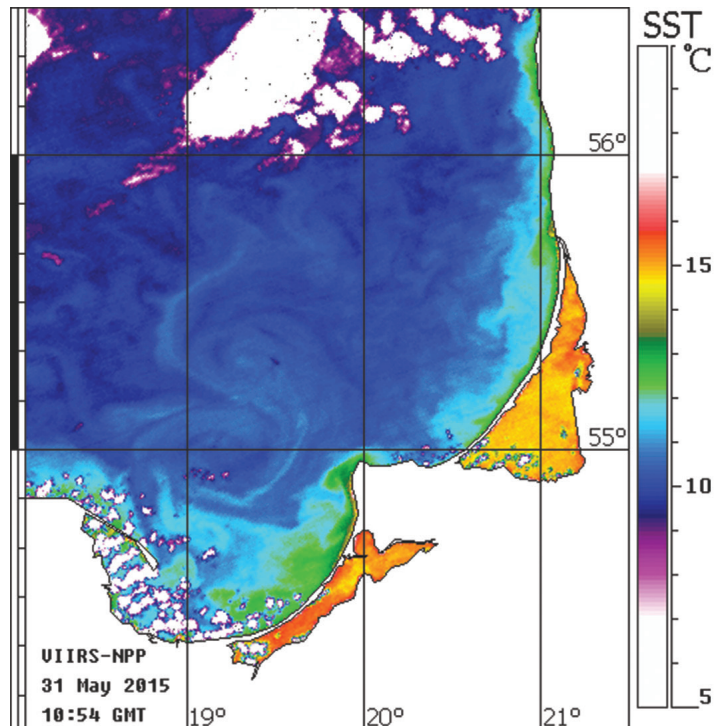


Рис. 3. Фрагмент ИК-изображения радиометра VIIRS-SNPP, 31.05.2015, 10:54 GMT.

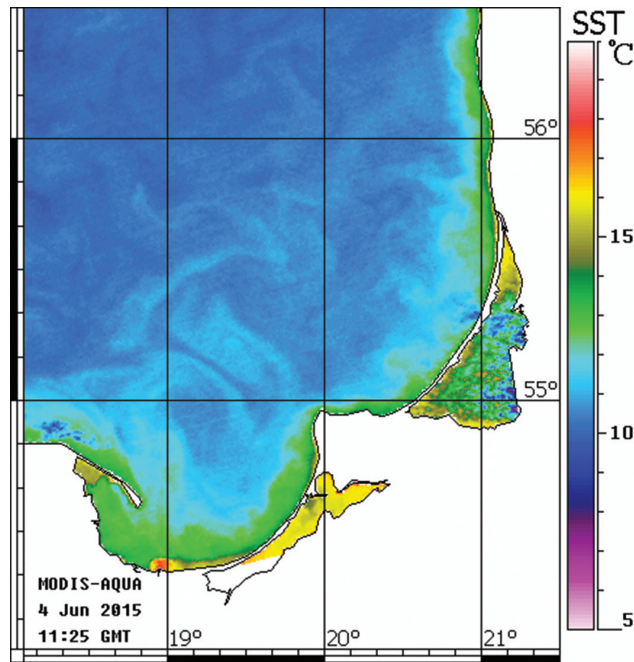


Рис. 4. Фрагмент ИК-изображения радиометра MODIS-Aqua, 04.06.2015, 11:25 GMT.

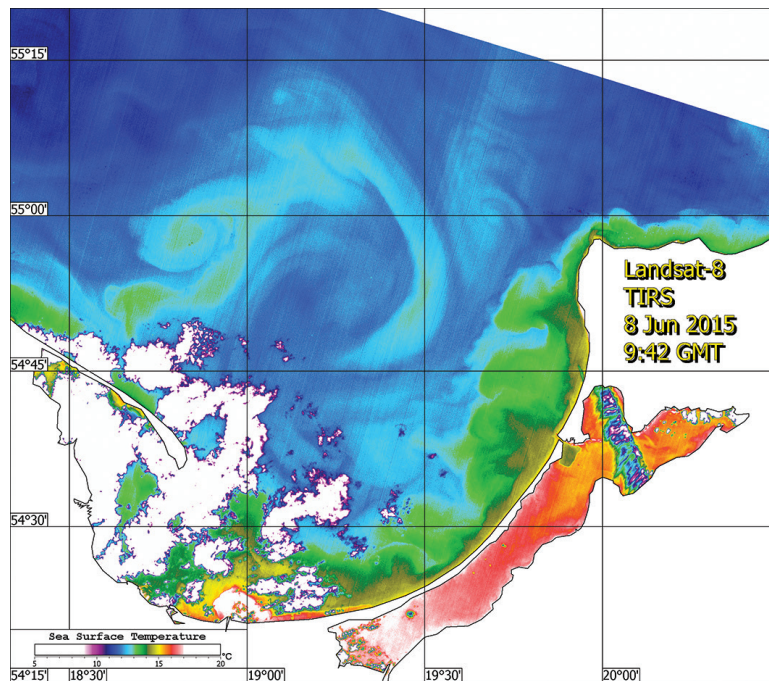


Рис. 5. Фрагмент ИК-изображения радиометра TIRS Landsat-8, 08.06.2015, 09:42 GMT.

С 3 по 10 июня (рис. 4–5) антициклон практически сохранял свое положение с координатами центра примерно на $54^{\circ}55'$ с.ш., $19^{\circ}15'$ в.д. (со смещениями в меридиональном направлении в пределах примерно 10 километров). При этом на изображении Landsat-8 с высоким разрешением (рис. 5) можно видеть четыре присоединенных циклона на западной, северной, восточной и южной пери-

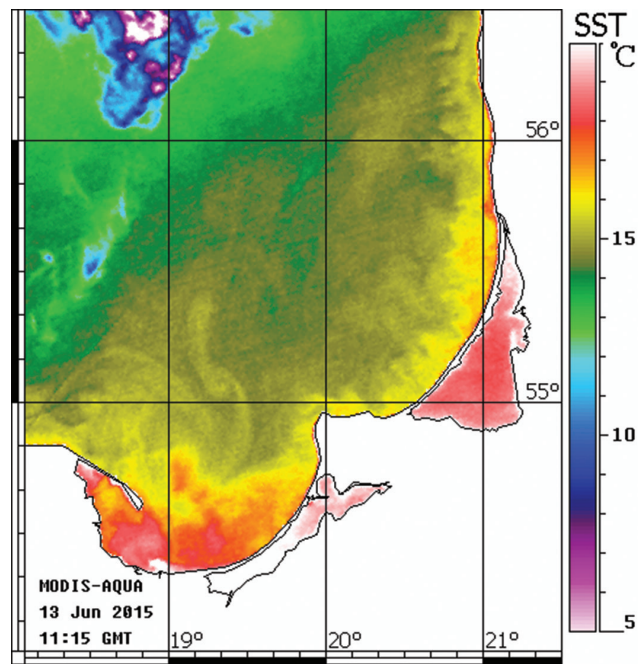


Рис. 6. Фрагмент ИК-изображения радиометра MODIS-Aqua, 13.06.2015, 11:15 GMT.

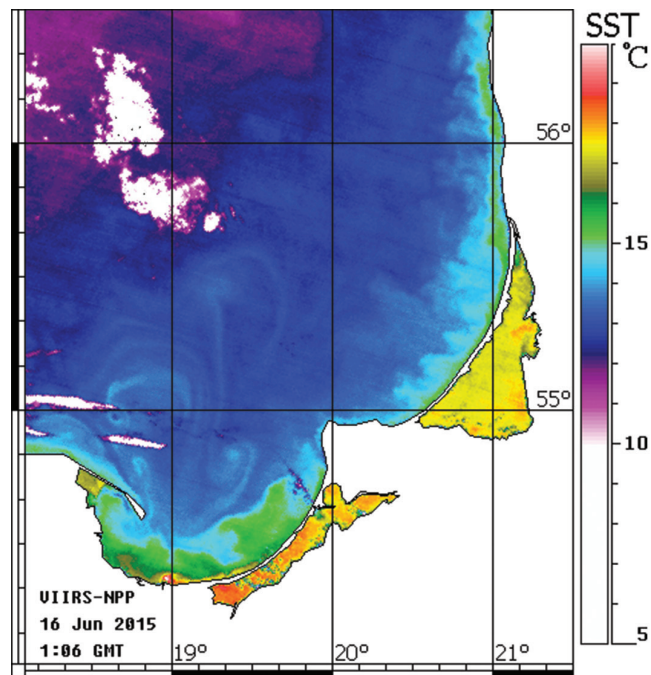


Рис. 7. Фрагмент ИК-изображения радиометра VIIRS-SNPP, 16.06.2015, 01:06 GMT.

ферии антициклона. Два дня спустя (12 июня) центр антициклонического вихря сместился немного на юг, 13 июня – на запад (рис. 6), а 16 июня (рис. 7) вихрь приблизился к косе Хель (центр антициклона – примерно на $54^{\circ}55'$ с.ш., $18^{\circ}55'$ в.д.) и на его западной периферии появился небольшой циклон. Через сутки (17 июня, изображение не показано) вихревой диполь (комбинация этого антициклона и циклонического вихря на его юго-восточной периферии), имевший 16 июня

почти меридиональную ориентацию струйной части (рис. 7), развернулся примерно на 45° в антициклоническом направлении; центр его антициклонической части оказался примерно на $55^\circ 00'$ с.ш., $19^\circ 00'$ в.д., а диаметр присоединенного циклона на северо-западной периферии увеличился. Между 17 и 22 июня спутниковая информация отсутствовала, однако тот же размер антициклона и те же координаты его центра на

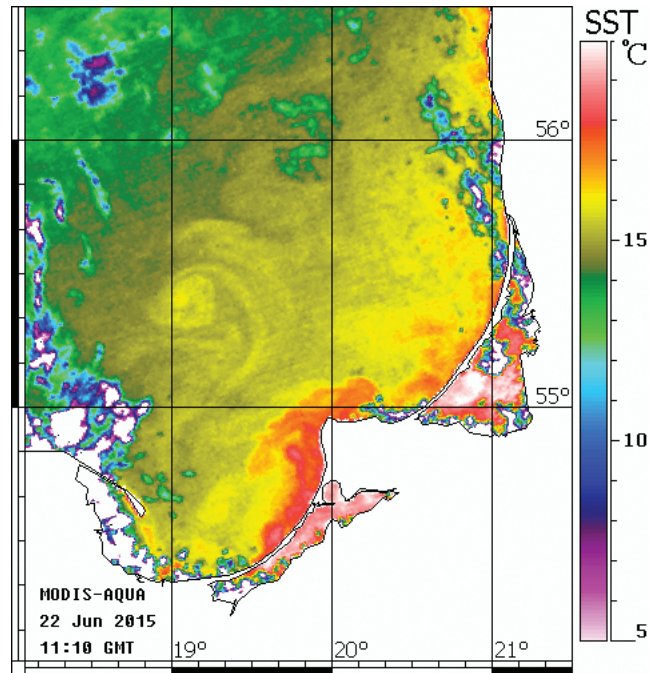


Рис. 8. Фрагмент ИК-изображения радиометра MODIS-Aqua, 22.06.2015, 11:10 GMT.

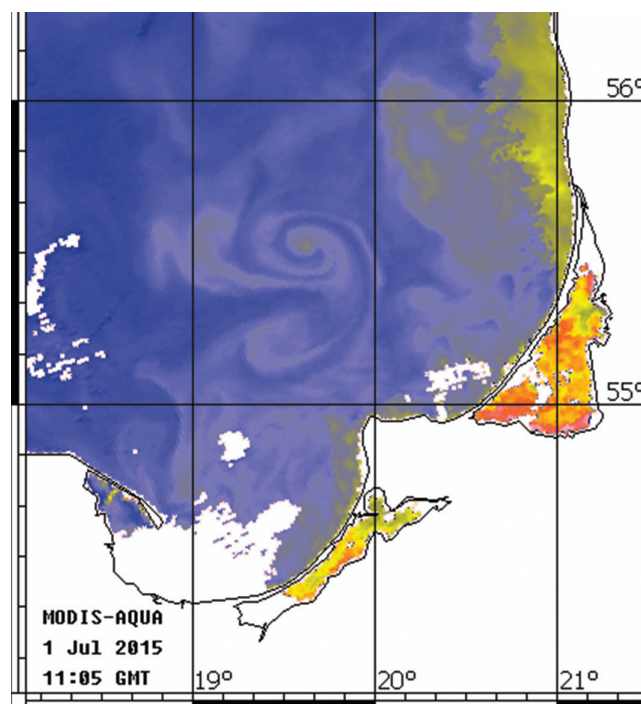


Рис. 9. Фрагмент оптического изображения радиометра (восходящее излучение) MODIS-Aqua, 01.07.2015, 11:05 GMT.

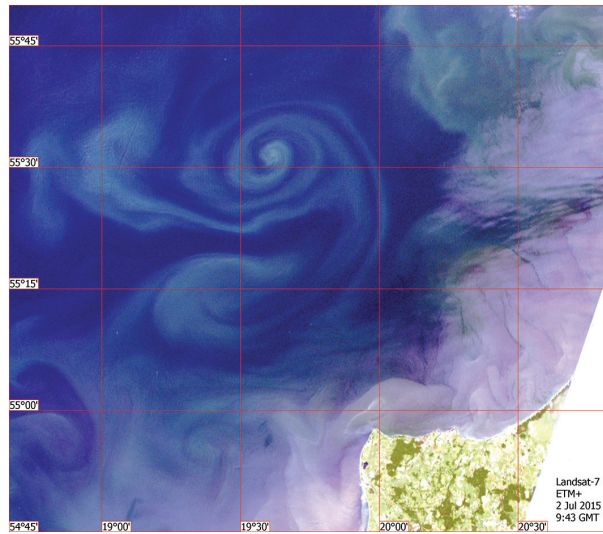


Рис. 10. Фрагмент оптического изображения радиометра ETM+ Landsat-7, 02.07.2015, 09:43 GMT.

рис. 8, что и на изображении 17 июня, позволяют полагать, что это один и тот же мезомасштабный вихрь.

На северной периферии этого антициклона виден интенсивный циклон с четко выраженной спиралевидной структурой и диаметром (≈ 30 км), соизмеримым с диаметром антициклона (рис. 8). Вновь образовавшийся квазисимметричный диполь, фронт «шляпки» которого 22 июня находился на $19^{\circ}35'$ в.д., начал перемещаться в восточном направлении. К 26 июня фронт диполя достиг $19^{\circ}50'$ в.д., к 1 июля – 20° в.д. (рис. 9) и далее до 7 июля заметно не продвигался; центр антициклона оказался на $55^{\circ}15'$ с.ш., $19^{\circ}30'$ в.д. Этот диполь отчетливо проявился на спутниковом изображении ETM+ Landsat-7 2 июля (рис. 10), а также OLI Landsat-8 и РЛИ SAR-C Sentinel-1A 3 июля (рис. 11). Средняя скорость перемещения фронта диполя и центра антициклона за период с 22 июня по 1 июля составила примерно

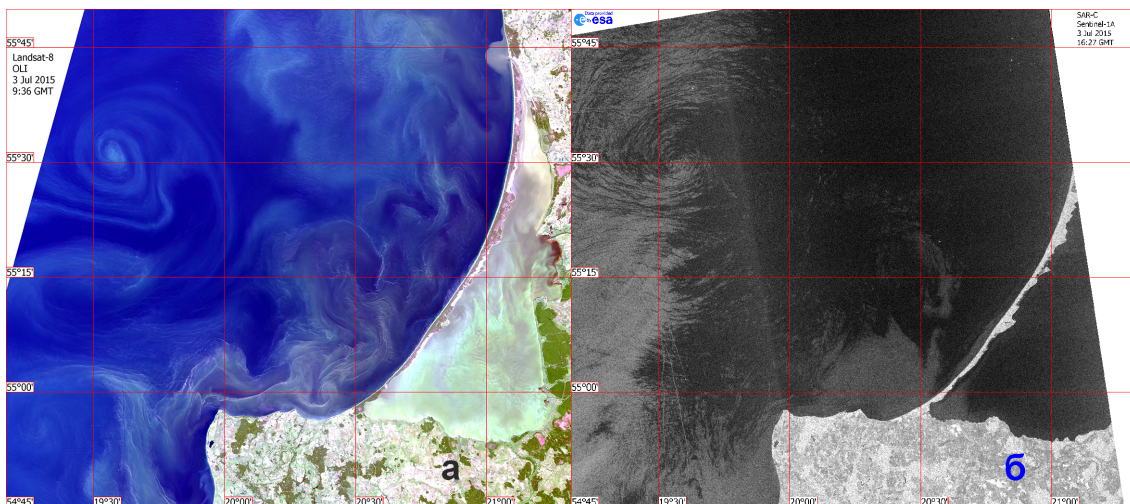


Рис. 11. Фрагменты оптического изображения радиометра OLI Landsat-8, 03.07.2015, 09:36 GMT (а) и РЛИ SAR-C Sentinel-1A 03.07.2015, 16:27 GMT (б).

4 км/сут. К 7 июля (изображение не показано) этот диполь изменил ориентацию – повернулся примерно на 45° в антициклоническом направлении. При этом центр антициклона немного сместился к югу ($55^\circ 10'$ с.ш., $19^\circ 30'$ в.д.). На изображении 16 июля проявление данной вихревой структуры отсутствовало.

Обсуждение

Анализ последовательных оптических и радиолокационных спутниковых изображений в мае–июле 2015 г. показал, что время жизни мезомасштабного антициклонического вихря с диаметром примерно 35 км в Юго-Восточной Балтике может быть более полутора месяцев (время его наблюдения – с 15 мая по 7 июля). В течение этого времени центр антициклона менял свое положение в пределах $54^\circ 50'–55^\circ 15'$ с.ш., $18^\circ 55'–19^\circ 30'$ в.д., причем большую часть своего жизненного цикла (до начала перемещения в восточном направлении, т.е. до 22 июня) центр антициклона находился в пределах $54^\circ 50'–55^\circ$ с.ш., $18^\circ 55'–19^\circ 15'$ в.д. с глубиной около 100 м (на акватории Гданьского залива, ограниченной с запада и востока резкими изменениями глубины от 20 до 100 м). Заметим, что антициклонические вихри с диаметром 20–35 км и координатами центра примерно в том же диапазоне координат неоднократно наблюдались нами на единичных спутниковых изображениях, полученных в июне–августе в разные годы (Horstmann, 1983; Лаврова, 2005; Lavrova et al., 2008; Гинзбург и др. 2015а, б). Четко прорисованная спиралевидная форма, как уже отмечалось в работе (Гинзбург и др., 2015а), характерна только для циклонической составляющей диполя.

Эволюция антициклонического вихря в мае–июле 2015 г., как и в июле–августе 2004 г. (Гинзбург и др., 2015б), сопровождалась образованием на его периферии присоединенных циклонов 10–20 км в диаметре, в данном случае от двух до четырех (см. рис. 5), перемещавшихся по его периферии в антициклоническом направлении. Характерные места образования присоединенных циклонов – западный (мористее косы Хель) и юго-восточный участки периферии антициклона, что обусловлено, по-видимому, конфигурацией рельефа дна Гданьского залива и горизонтальным сдвигом скорости между антициклоническим движением вод и склонами дна залива.

Время жизни наиболее крупного циклона (примерно 30 км) на северной периферии антициклонического вихря составило по крайней мере 15 дней (формирование – не позже 22 июня, последнее наблюдение – 7 июля). Возможно, что движению диполя в восточном направлении в интервале 22 июня – 1 июля со средней скоростью около 4 км/сут способствовало несколько факторов: (i) образование квазисимметричного вихревого диполя из соизмеримых по размеру антициклона и циклона с зонально ориентированной струйной частью (рис. 8–10); (ii) расположение диполя за пределами (севернее) Гданьского залива и, соответственно, возможность перемещения на восток; (iii) свойство диполя (грибовидного течения) перемещаться в направлении его зонально ориентированной (в данном случае) струйной части при ветровом воздействии (усиление ветра западного направления до 11–13 м/с

имело место 24 июня). Вопрос о причинах, вызывающих перемещения диполей по акватории, требует дальнейших исследований.

Вовлечение вод по периферии присоединенного циклона нередко приводит к образованию нового диполя, антициклон нового диполя образует следующий диполь и т. д., т. е. образуются компактные упаковки вихревых диполей (см. схему на рис. 5.7 в работе (Федоров и Гинзбург, 1988)). Примеры подобных короткоживущих (несколько дней) образований можно видеть на представленных изображениях. Так, на рис. 8 упаковка из вихревых диполей примерно меридиональной ориентации прослеживается до 56° с.ш. На рис. 10 циклон сравнительно «долгоживущего» диполя образует новый диполь с небольшим антициклоническим вихрем на его западной периферии и струйной частью южного направления. Таким образом осуществляется горизонтальный водообмен на площади, превышающей размер исходной вихревой структуры.

Благодарности: Авторы выражают благодарность ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» за предоставленные радиолокационные данные. А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной и Д.М. Соловьев проводили исследование за счет бюджетного финансирования (тема № 3 «Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, дистанционного зондирования, численного и лабораторного моделирования»). Е.В. Крек выполняла исследования по теме № 0149-2018-0012 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия».

Литература

- Булычева Е.В., Костяной А.Г., Крек А.В. Межгодовая изменчивость нефтяного загрязнения морской поверхности Юго-Восточной Балтики в 2004-2015 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 74–84.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект “Моря СССР”. Т. III. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиева, В.А. Рожкова, А.И. Смирновой. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 450 с.
- Гинзбург А.И., Булычева Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. Вихревая динамика в Юго-Восточной Балтике по данным спутниковой радиолокации // Океанология. 2015а. Т. 55. № 6. С. 893–902.
- Гинзбург А.И., Булычева Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. О роли вихрей в распространении нефтяных загрязнений по акватории Юго-Восточной Балтики (по данным спутникового мониторинга) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015б. Т. 12. № 3. С. 149–157.
- Гурова Е.С. О формировании и динамике вихря у побережья Юго-Восточной Балтики по данным дистанционного зондирования // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. Вып. 1. С. 16–21.
- Гурова Е.С., Иванов А.Ю. Особенности проявления гидродинамических структур в Юго-Восточной части Балтийского моря по данным спектрорадиометров MODIS и

А.И. Гинзбург и др.

- космической радиолокации // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 4. С. 41–54.
- Каримова С.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М.* Наблюдение вихревых структур Балтийского моря с помощью радиолокационных и радиометрических спутниковых данных // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 5. С. 15–23.
- Лаврова О.Ю.* Стики как индикаторы вихревой активности в прибрежной зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 2. С. 118–123.
- Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А.* Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
- Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г.* Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 335 с.
- Федоров К.Н., Гинзбург А.И.* Приповерхностный слой океана. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 303 с.
- Федоров К.Н., Гинзбург А.И.* Грибовидные течения (вихревые диполи) – одна из наиболее распространенных форм когерентных движений в океане // Когерентные структуры и самоорганизация океанских движений. М.: Наука, 1992. С. 12–20.
- Щука Т.А., Щука С.А.* Динамика количественных характеристик чужеродных видов зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря в июле 2003-2015 гг. в связи с термохалинными условиями // ПЭММЭ. 2016. Т. XXVII. №. 1. С. 86–108.
- Gurova E., Chubarenko B.* Remote sensing observations of coastal sub-mesoscale eddies in the south-eastern Baltic // *Oceanologia*. 2012. Vol. 54. No. 4. P. 631–654.
- Horstmann U.* Distribution Patterns of Temperature and Water Colour in the Baltic Sea as recorded in Satellite Images: Indicators for Phytoplankton Growth. *Berichte Institute fur Meereskunde, Kiel*. 1983. Vol. 1. No. 106. 147 p.
- Lavrova O., Mityagina M., Bocharova N., 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.
- Oberg J.* Cyanobacteria blooms in the Baltic Sea, HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets, 2016. URL: <http://helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/eutrophication/cyanobacterial-blooms-in-the-baltic-sea/>.
- Tavri A, Singha S, Lehner S, Topouzelis K.* Observation of sub-mesoscale eddies over Baltic Sea using TERRASAR-X and oceanographic data. Proc. ‘Living Planet Symposium 2016’, Prague, Czech Republic, 9–13 May 2016. (ESA SP-740, August 2016).

**EVOLUTION OF MESOSCALE ANTICYCLONIC VORTEX AND VORTEX
DIPOLES/MULTIPOLES ON ITS BASE IN THE
SOUTH-EASTERN BALTIC
(SATELLITE INFORMATION: MAY–JULY 2015)**

A.I. Ginzburg¹, E.V. Krek¹, A.G. Kostianoy¹, D.M. Solovyev^{2,1}

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskiy prospect,
Moscow, 117997, Russia, e-mail: ginzburg@ocean.ru, kostianoy@gmail.com,
elenka_krek@mail.ru

² Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol, 299002, Russia
e-mail: solmit@gmail.com

Submitted 06.11.2017, accepted 25.12.2017

Based on the analysis of a sequence of optical (MODIS-Aqua / Terra, AVHRR NOAA-18, VIIRS-SNPP, TIRS and OLI Landsat-8, ETM + Landsat-7) and radar (Sentinel-1A, Radarsat-2) satellite images, the evolution of mesoscale anticyclonic vortex with a diameter of about 35 km and associated cyclones (two to four) at its periphery was traced for more than a month and a half (from May 15 to July 7, 2015) in the South-Eastern Baltic. Within about a month the position of the anticyclone varied little (center – at about 54° 55' N, 19° 15' E), but in the interval from June 22 to July 1 the vortex dipole formed by this anticyclone and the cyclone at its northern periphery with a diameter comparable with the diameter of the anticyclone moved eastward with an average speed of about 4 km/day. It is assumed that such movement of this quasisymmetric vortex dipole was due to its location to the north of the Gdansk Bay and the property of a dipole (mushroom-like current) to move in the direction of its jet part under wind forcing (in this case, with the strengthening of the westerly wind).

Keywords: the South-Eastern Baltic, radar images, optical images, mesoscale vortices, vortex dipoles, horizontal water mixing

References

- Bulycheva E.V., Kostianoy A.G., Krek V.* Mezhgodovaya izmenchivost neftianogo zagriazneniya morskoy poverkhnosti Yugo-Vostochnoj Baltiki v 2004–2015 gg. (Interannual variability of sea surface oil pollution in the southeastern Baltic Sea in 2004–2015), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 74–84.
- Fedorov K.N., Ginzburg A.I.* Pripoverkhnostnyi sloi okeana (The Near-surface layer of the ocean), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 303 p.
- Fedorov K.N., Ginzburg A.I.* Gribovidnye techeniya (vikhrevye dipoli) – odna iz naibolee rasprostranennykh form kogerentnykh dvizhenii v okeane (Mushroom-like currents (vortex dipoles) – one of the most common forms of coherent movement in the ocean), *Kogerentnyye struktury i samoorganizatsiya okeanskikh dvizhenii*, Moskva: Nauka, 1992, pp. 12–20.
- Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei SSSR. Proekt “Moria SSSR” (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Project “The seas of the USSR”), Vol. III, The Baltic Sea, Issue 1, Hydrometeorological conditions / ed. F.S. Terziev, V.A. Rozhkov, A.I. Smirnova. Gidrometeoizdat, St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992, 450 p.
- Ginzburg A.I., Bulycheva E.V., Kostianoy A.G., Solovyev D.M.* Vortex dynamics in the Southeastern Baltic Sea from satellite radar data, *Oceanology*, 2015a, Vol. 55, No. 6, pp. 805–813.
- Ginzburg A.I., Bulycheva E.V., Kostianoy A.G., Solovyev D.M.* O roli vikhrei v rasprostranenii

- neftianyh zagriaznenii po akvatorii Yugo-Vostochnoj Baltiki (po dannym sputnikovogo monitoring) (On the role of vortices in the transport of oil pollution in the southeastern Baltic Sea (according to satellite monitoring)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 20156, Vol. 12, No. 3, pp. 149–157.
- Gurova E.S. O formirovanii i dinamike vikhria u poberezhii Yugo-vostochnoi Baltiki po dannym distantsionnogo zondirovaniia (On formation and dynamics of eddy near the coast of the south-eastern Baltic), *Vestnik Baltiiskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta*, 2012, Issue 1, pp. 16–21.
- Gurova E., Chubarenko B. Remote sensing observations of coastal sub-mesoscale eddies in the south-eastern Baltic, *Oceanologia*, 2012, Vol. 54, No. 4, pp. 631–654.
- Gurova E.S., Ivanov A.Yu. Osobennosti proiavleniia gidrodinamicheskikh struktur v yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo moria po dannym spektrometrov MODIS i sputnikovoi radiolokatsii (Peculiarities of manifestation of hydrodynamic structures in the south-eastern part of the Baltic Sea according spectroradiometer MODIS and radar imagery), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2011, No. 4, pp. 41–54.
- Horstmann U. Distribution Patterns of Temperature and Water Colour in the Baltic Sea as recorded in Satellite Images: Indicators for Phytoplankton Growth. *Berichte Institute fur Meereskunde*, Kiel, 1983, Vol. 1, No. 106, 147 p.
- Karimova S.S., Lavrova O.Yu., Solovyev D.M. Nabljudenie vikhrevykh struktur Baltijskogo morja s pomoshchu 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.
- Lavrova O.Yu. Sliki kak indikatory vikhrevoj aktivnosti v pribrezhnoj zone (Slicks as indicators of vortical activity in the coastal zone), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Vol. 2, pp. 118–123.
- Lavrova O.Yu., Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Mityagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N.A. Kompleksnyj sputnikovyj monitoring morej Rossii (Integrated satellite monitoring of Russian seas), Moskva: IKI RAN, 2011, 470 p.
- Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostianoy A.G. Sputnikovye metody vyivleniya i monitoringa zon ekologicheskogo riska morskikh akvatorii (Satellite methods for detecting and monitoring marine zones of ecological risk), Moskva: IKI RAN, 2016, 335 p.
- Lavrova O., Mityagina M., Bocharova N., 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, pp. 463–474.
- Oberg J. Cyanobacteria blooms in the Baltic Sea, HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets, 2016. URL: <http://helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/eutrophication/cyanobacterial-blooms-in-the-baltic-sea/>.
- Shchuka T.A., Shchuka S.A. Dinamika kolichestvennykh kharakteristik chuzherodnykh vidov zooplanktona v yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo moria v iyule 2003–2015 gg. v sviazi s termohalinnymi uslovijami (Dynamics of quantitative characteristics of alien species of zooplankton in the south-eastern part of the Baltic Sea in July 2003–2015 in connection with thermohaline conditions), *PEMME*, 2016, Vol. XXVII, No. 1, pp. 86–108.
- Tavri A, Singha S, Lehner S, Topouzelis K. Observation of sub-mesoscale eddies over Baltic Sea using TERRASAR-X and oceanographic data. Proc. ‘Living Planet Symposium 2016’, Prague, Czech Republic, 9–13 May 2016. (ESA SP-740, August 2016).