

Е. С. Гурова

**О ФОРМИРОВАНИИ И ДИНАМИКЕ ВИХРЯ
У ПОБЕРЕЖЬЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ
ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

На основе анализа спутниковых снимков MODIS и ASAR рассмотрены локализация, пространственно-временные масштабы, динамика и гидрометеорологические условия формирования прибрежного вихря у мыса Таран Самбийского полуострова (юго-восточная часть Балтийского моря).

This article presents an analysis of coastal eddy in the area of Cape Taran of the Sambia Peninsula (South-Eastern part of the Baltic Sea) on the basis of MODIS and ASAR remote sensing data. It describes the location, spatial and temporal scale, dynamics and hydro-meteorological conditions of eddy formation.

Ключевые слова: прибрежные течения, космические снимки, дистанционное зондирование, Балтийское море, РЛИ, MODIS.

Key words: coastal currents, satellite images, remote sensing, Baltic Sea, SAR, MODIS.



Введение

Проведенными ранее полевыми и модельными исследованиями [1; 4] было показано влияние конфигурации и положения Самбийского п-ова и бухтового строения его северного побережья на формирование сложной картины волнового поля, структуры прибрежных течений и вихрей различного масштаба в зависимости от гидрометеорологических условий.

Однако точную пространственную картину перечисленных явлений невозможно получить на основе только полевых измерений, носящих во времени и / или пространстве точечный характер. Прибрежные и морские экспедиции недолгие и проводятся эпизодически. При этом одновременно не охватывается вся зона, где реализуются условия, переходные от глубоководных к мелководным. Единственным надежным источником информации могут служить данные космической съемки в оптическом / термальном диапазоне, получаемые ежедневно.

Результаты визуального анализа структур прибрежных течений возле Самбийского п-ова, определенных на более чем 400 снимках из архива данных спектро-радиометров MODIS со спутников «Терра» и «Аква» («Terra» и «Aqua») за 11 лет (2000–2011), показали, что среди различных группы явлений выделяется прибрежный вихрь у северного побережья Самбии, восточнее м. Таран (рис. 1). О нем и пойдет речь в нашей статье. Первое упоминание об этом вихре было дано в работе [5].

17

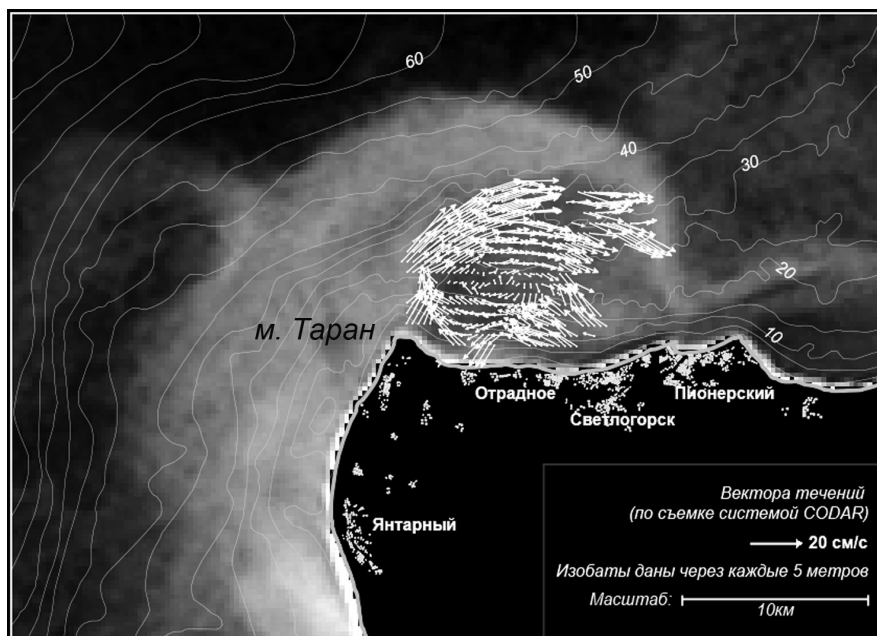


Рис. 1. Приуроченный к м. Таран прибрежный вихрь на северном побережье Самбийского п-ова на спутниковом снимке MODIS «Аква» за 13 апреля 2004 г. и векторы поверхностных течений, полученные при радарной съемке системой CODAR 13 сентября 2006 г.



Материалы и методы

Для визуализации элементов поля течений на космических снимках используют: аномалии поля температуры поверхности моря (ТПМ), неравномерное распределение в водной толще и на поверхности минеральной (осадки) и биогенной (фитопланктон) взвеси, окрашенного растворенного органического вещества – ОРОВ (поступающего преимущественно со стоком рек), неравномерно изменяющих окраску вод в разных каналах оптического спектра, а также наличие на водной поверхности гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) и пленок ПАВ, которые формируют поверхностные проявления поля течений на радиолокационных спутниковых снимках (далее РЛС), получаемых радаром с синтезированной апертурой (SAR).

18

Северное побережье Самбийского п-ова характеризуется интенсивными абразионными процессами с размывом высоких клифовых берегов, а также подводного берегового склона и, таким образом, поступлением в море рыхлого осадочного материала, который во взвешенном виде является оптическим трассером течений. Другие возможные (действуют не все время) источники взвеси в этом районе – сброс в море пульпы карьера янтарного комбината в районе пос. Янтарный на западном побережье Самбийского п-ова и свалка материала дноуглубления севернее Балтийского пролива, связывающего Калининградский (Вислинский) залив с Балтийским морем. Тонкодисперсный материал выносятся и через Балтийский пролив из Калининградского залива, и стоком р. Висла, воды которой, несмотря на большую удаленность устья от Самбийского п-ова, часто достигают м. Таран и продолжают далее свое движение на север.

Весной, летом и иногда осенью в Балтийском море наблюдается цветение водорослей, которое может по-разному визуализировать элементы поля течений. В периоды весеннего и осеннего цветения микроорганизмы перемешаны в толще довольно значительного слоя вод (до 20–30 м) [6] и могут формировать незначительные оптические неоднородности, отражая состояние вод до определенных глубин. Во время летнего цветения цианобактерий (синезеленых водорослей) микроорганизмы в больших количествах сконцентрированы главным образом у поверхности и, скапливаясь в зонах конвергенций, являются прекрасными трассерами поверхностных течений (рис. 2).

Из архива данных MODIS (2000–2011) были выбраны снимки за 130 дней, где обнаруживался вихрь восточнее м. Таран. Их анализ позволил оценить размеры и динамику вихря на разных стадиях развития, возможное время «жизни», гидрометеорологические условия формирования, его связь с общей картиной прибрежной циркуляции. Использовались каналы MODIS в видимом диапазоне спектра с разрешением 250 и 500 м/пиксел и данные о температуре (ТПМ) с разрешением 100 м/пиксел.

Кроме того, были проанализированы радиолокационные спутниковые снимки ASAR среднего разрешения (80 м/пиксел) (рис. 2), в том числе квазисинхронные с вышеупомянутыми снимками MODIS и результатами радарной съемки поверхностных течений с берега системой CODAR [2], покрывавшей акваторию 15×15 км от берега с разрешением 500 м. Данные о ветре (на горизонте 10 м над уровнем моря) за каждые 6 ч были получены из гидродинамической модели Балтийского моря, имеющей пространственное разрешение 1,3 морских мили [7].



Результаты и выводы

По результатам анализа спутниковой информации, размер рассматриваемого вихря варьирует в довольно широких пределах. Чаще всего его присутствие совпадает с наличием вдольберегового течения вдоль западного побережья Самбийского п-ова, огибающего м. Таран и хорошо выделяемого на снимках по повышенной мутности воды. При благоприятных условиях формируется небольшой вихрь, который имеет эллиптическую, вытянутую вдоль берега форму, ограниченную м. Таран с запада и м. Купальный или Гвардейский (г. Пионерский-курорт) с востока. При дальнейшем развитии вихрь может достигать размеров до 25 км, выходя своей морской периферией до глубин порядка 65 м (рис. 2). Максимальное время существования вихря, зафиксированное на спутниковых снимках, составило 8 дней. Серий по 2–4 дня отмечено около 15.

19

На оптических спутниковых снимках наиболее ярко окрашенная зона вихря проходит по его периметру, особенно по западной и северо-западной оконечностям, в зоне отмели, протягивающейся от м. Таран на северо-восток (см. левую часть рисунка 2). Во время летнего цветения синезеленых водорослей плавающие на поверхности организмы концентрируются строго по периметру вихря. Центральная же часть развитого вихря в большинстве случаев имеет менее интенсивную окраску и поверхность, свободную от плавающих цианобактерий.

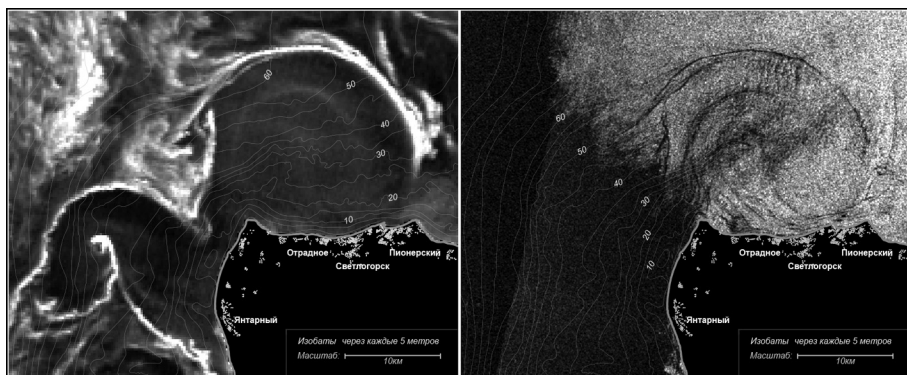


Рис. 2. Приуроченный к м. Таран прибрежный вихрь на северном побережье Самбийского п-ова 17 июля 2009 г. на спутниковых снимках MODIS «Терра» (в видимом диапазоне, *слева*) и на РЛС (*справа*)

Анализ снимков ТПМ в большинстве случаев показывает наличие температурной (чаще положительной) аномалии в зоне вихря, однако иногда отмечается повышенная температура западнее вихря и ее снижение в центральной и восточной зонах.

На рисунке 2 справа на РЛС хорошо видно структуру вихря — его границы и даже отдельные линии внутри него, указывающие на вращение поверхностного слоя воды. Такая визуализация, вероятно, обеспечивается совокупностью явлений: биогенных slicks ПАВ; образующихся при разложении цианобактерий [3]; скапливающихся в зонах дивергенций и гасящих гравитационно-капиллярных волн; разницей температур циркулирующих



вод течений и др. На этом же РЛС отчетливо виден отток вод от берега к центру вихря в районе Светлогорской бухты.

В 2006 г. в результате радарной съемки поверхностных течений с берега системой CODAR также был зафиксирован антициклональный вихрь восточнее м. Таран, простиравшийся на расстояние 10 км от берега, где глубины достигают порядка 40 м. Скорости течения составили 16–18 см/с по периметру вихря, постепенно уменьшаясь к центру до 1–4 см/с (рис. 1).

Сток р. Висла при благоприятных гидрометеорологических условиях может распространяться вдоль берега далеко на северо-восток. Особенно интенсивно это происходит во время весенних паводков. В видимом диапазоне спектра это не всегда отчетливо видно, так как ввиду постепенной трансформации вод уменьшается концентрация взвеси и ОРОВ, однако в поле ТПМ (рис. 3) сток Вислы проявляется довольно интенсивно. Часто он достигает Балтийского пролива, в некоторых случаях распространяясь дальше на север, огибая м. Таран и вовлекаясь в вихрь к востоку от него.

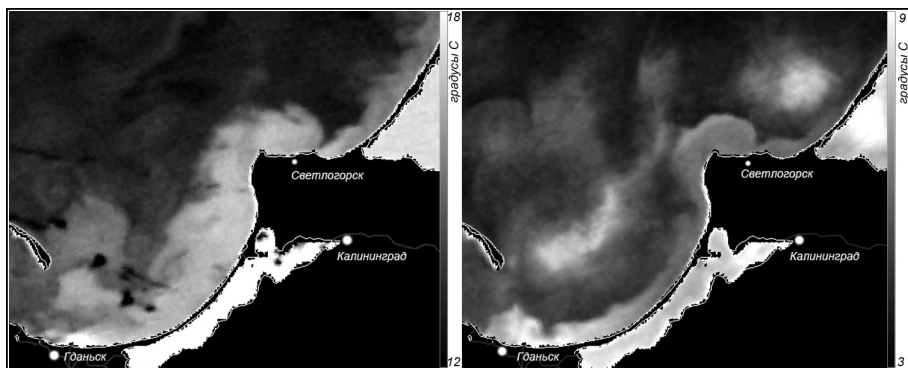


Рис. 3. Распространение вод р. Висла и прибрежный вихрь у Самбийского п-ова в поле температуры поверхности моря, по спутниковым снимкам MODIS от 17 июня 2003 г. (слева) и 13 апреля 2004 г. (справа)

Воды Калининградского залива, впадающие в море через Балтийский пролив, в ряде случаев также достигают м. Таран и вовлекаются в приуроченный к нему вихрь, однако однозначно проследить это во всех наблюдаемых случаях не удалось ввиду небольшого объема выноса, интенсивного разбавления и, следовательно, довольно слабого оптического контраста с прибрежными водами Балтийского моря. Кроме того, они могут смешиваться с притоком трансформированных вод Вислы, вместе формируя более мутное и / или теплое течение далее на север.

Анализ ветровой ситуации показал преобладание в течение 3–4 суток, предшествующих созданию снимков, на которых зафиксирован вихрь, западных и юго-западных ветров со скоростями порядка 5–10 м/с. Однако в некоторых случаях даже непродолжительное усиление ветра до 20–25 м/с в период 2–4 суток до съемки способствовало последующему формированию приуроченного к м. Таран прибрежного вихря, а в ряде случаев — также интенсивному притоку трансформированных вод р. Висла и выносов из Калининградского залива к м. Таран. Отмечены ситуации формирования этого вихря после нескольких дней ветра переменного направления при условии отсутствия в данный период про-



должительных сильных ветров северных и восточных румбов. Притом не выделяется никакой связи с направлением ветра на момент съемки — очевидно, вихрь формируется под воздействием длительных предшествующих ветров и разрушается в течение 1–2 дней при длительном устойчивом восточном или северо-восточном ветре.

Таким образом, рассматриваемый вихрь — запрпятственный, который образуется при огибании выступающего в море м. Таран вдольбереговым течением, идущим с юга, и может иметь зону дивергенции в своей центральной части.

Автор благодарит В.В. Горбатского, В.В. Сивкова, Б.В. Чубаренко, А.Н. Бабакова (АО ИОРАН) за предоставленную возможность участия в эксперименте с CODAR в 2006 г. и переданную информацию для научного использования, А.Ю. Иванова (ИОРАН) за данные РЛИ, А. Лемана (IFM-GEOMAR, Германия) за сведения по ветру для периода 1999–2009 гг. Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 09-05-90744-моб_ст, ESA С1Р.3424 и ESA С1Р.9334.

Список литературы

1. Бабаков А.Н. Пространственно-временная структура течений и миграций наносов в береговой зоне юго-восточной Балтики (Самбийский полуостров и Куршская коса): дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2003.
2. Горбачкий В.В., Гурова Е.С., Бабаков А.Н., Чубаренко Б.В. Радарное измерение морских прибрежных поверхностных течений у берегов Куршской косы (Калининградское побережье) // Международная конференция «Проблемы управления устойчивого развития прибрежной зоны моря». Геленджик, 2007. С. 65–67.
3. Гурова Е.С., Иванов А.Ю. Особенности проявления гидродинамических структур в юго-восточной части Балтийского моря по данным спектрорадиометров MODIS и космической радиолокации // Исследования Земли из Космоса. 2011. №4. С. 41–54.
4. Жиндарев Л.А., Хабидов А.Ш., Тризно А.К. Динамика песчаных берегов морей и внутренних водоемов. Новосибирск, 1998.
5. Чубаренко Б.В., Иваненко С.А., Чубаренко И.П. Численное моделирование прибрежных потоков в Юго-Восточной Балтике методом криволинейных сеток // Экобалтика-91: матер. междунар. науч. конф. Калининград, 1991. С. 74–76.
6. Aneer G., Lufgren S. Algal bloom — some questions and answers. County administrative board of Stockholm, 2007.
7. Rudolph C., Lehmann A. A model-measurements comparison of atmospheric forcing and surface fluxes of the Baltic Sea // Oceanologia. 2006. № 48 (3). P. 333–360.

Об авторе

Евгения Сергеевна Гурова — асп., мл. науч. сотр., Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград.
E-mail: evguruna@gmail.com

About author

Yevgenia Gurova, PhD student, Atlantic Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Kaliningrad.
E-mail: evguruna@gmail.com