

## Динамика Батумского антициклона по спутниковым данным

© 2015 г. А.А. Кубряков, С.В. Станичный

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*E-mail: arskubr@ya.ru*

Поступила в редакцию 01.09.2014 г. После доработки 30.09.2014 г.

На основе данных спутниковой альтиметрии и анализа оптических и инфракрасных спутниковых снимков исследована вихревая динамика в юго-восточной части Черного моря. Синоптическая изменчивость изучается на основе недавно развитых методов автоматической идентификации вихревых образований по известному полю скорости. Показано, что в большинстве случаев Батумский антициклон не является стационарным. После образования в прибрежной юго-восточной части Черного моря он перемещается на северо-запад со скоростью 1 – 5 см/с, иногда достигая северо-восточной части бассейна. При этом время существования такого вихря может достигать одного года. Зимой в районе образования Батумского антициклона возникает мощный синоптический циклонический вихрь. Его появление, вероятно, связано с возникновением в зимний период в этой зоне интенсивной локальной циклонической завихренности ветра.

**Ключевые слова:** вихревая динамика, синоптические вихри, спутниковые данные, Черное море.

**Введение.** Квазистационарный Батумский антициклон, расположенный на юго-востоке бассейна, – одно из наиболее интенсивных вихревых образований, наблюдающихся в Черном море. Исследования последних десятилетий показали, что Батумский антициклон не является стационарным в полном смысле этого слова, а имеет ярко выраженную сезонную изменчивость. Его образование и развитие происходит весной после ослабления ОЧТ, интенсификация – летом, разрушение – осенью [1, 2]. Синоптическая динамика на юго-востоке Черного моря в течение всего года может иметь сложный характер: здесь часто наблюдается большое количество достаточно интенсивных вихрей различного знака [3 – 6]. Тем не менее Батумский антициклон считается наиболее стационарным крупным синоптическим образованием в бассейне. Исследования показывают, что он образуется и разрушается на юго-востоке Черного моря, не перемещаясь по бассейну, в отличие от вихрей, образованных в других районах моря, которые в большинстве своем движутся в циклоническом направлении вдоль берега со скоростью ~1 – 15 см/с и удаляются на значительное расстояние от места своего формирования [3 – 6].

Работы, посвященные исследованию динамики Батумского антициклона, базируются в основном на данных гидрологических съемок [1, 5, 7] и спутниковых измерений в оптическом и инфракрасном диапазонах [3 – 6]. Обладая рядом преимуществ, эти методы, однако, не позволяют получать длительные непрерывные наблюдения за вихревой динамикой, поскольку возможность осуществлять длительные судовые экспедиции ограничена, а наличие облачности часто препятствует получению спутниковой информации.

В настоящей работе для изучения вихревой динамики юго-восточной части Черного моря используется массив геострофических скоростей за 1993 – 2013 гг., восстановленный по комбинированным измерениям спутниковых альтиметров. Синоптическая изменчивость исследуется на основе недавно развитых методов автоматической идентификации вихревых образований по известному полю скорости. Использование таких методов позволяет автоматически выделить все достаточно крупные синоптические вихри за искомый период и проследить их эволюцию и траекторию перемещения. На основе такого подхода были исследованы особенности сезонной изменчивости характеристик вихрей разного знака. Анализ оптических и инфракрасных спутниковых снимков, наряду с альтиметрическими данными, позволил достоверно показать, что Батумский антициклон в большинстве случаев не является стационарным. Он образуется в прибрежной юго-восточной части моря, затем перемещается на северо-запад со скоростью 1 – 5 см/с, достигая иногда северо-восточной части бассейна. Время существования такого вихря может превышать один год. В зимний период в районе образования Батумского антициклона возникает мощный синоптический циклонический вихрь, появление которого, вероятно, связано с возникновением в этой зоне интенсивной локальной циклонической завихренности ветра, хорошо заметной по расчетам региональной атмосферной модели *MM5* с высоким пространственным разрешением.

**Данные и методы.** За основу работы взят массив поверхностных геострофических скоростей, полученный по данным спутниковой альтиметрии. По комбинированным измерениям нескольких спутников определяются картированные аномалии уровня на регулярной сетке. Используется региональный массив данных *AVISO* (<http://www.aviso.oceanobs.com/>) с временным разрешением 7 дней (*delayed time*) и пространственным  $1/8^\circ$  за 1993 – 2013 гг. Из уравнения геострофического баланса по данным об аномалиях уровня рассчитываются аномалии скорости геострофических течений. Для автоматической идентификации вихрей применяется метод «угол намотки» (*winding angle*), основанный на выделении областей, ограниченных замкнутыми линиями тока [8, 9]. Для вихрей, движущихся в потоке, линии тока могут быть не замкнуты, поэтому в данной задаче использовались поля аномалий скорости геострофических течений.

Для идентификации вихрей в стационарном поле скорости, соответствующем одному моменту времени, в каждом узле сетки запускается виртуальная частица, траектория которой рассчитывается по численной схеме Эйлера:

$$r(x, y, t + dt) = r(x, y, t) + v'(x, y)dt ,$$

где  $r$  – радиус-вектор частицы;  $v'(x, y)$  – стационарное во времени поле скорости за конкретную дату;  $dt$  – шаг по времени. Далее на каждом шаге рассчитывается суммарный угол отклонения вектора скорости частицы от начального положения. При превышении суммарного угла  $360^\circ$  частица совершает круговой оборот, т. е. располагается на замкнутой линии тока. Следова-

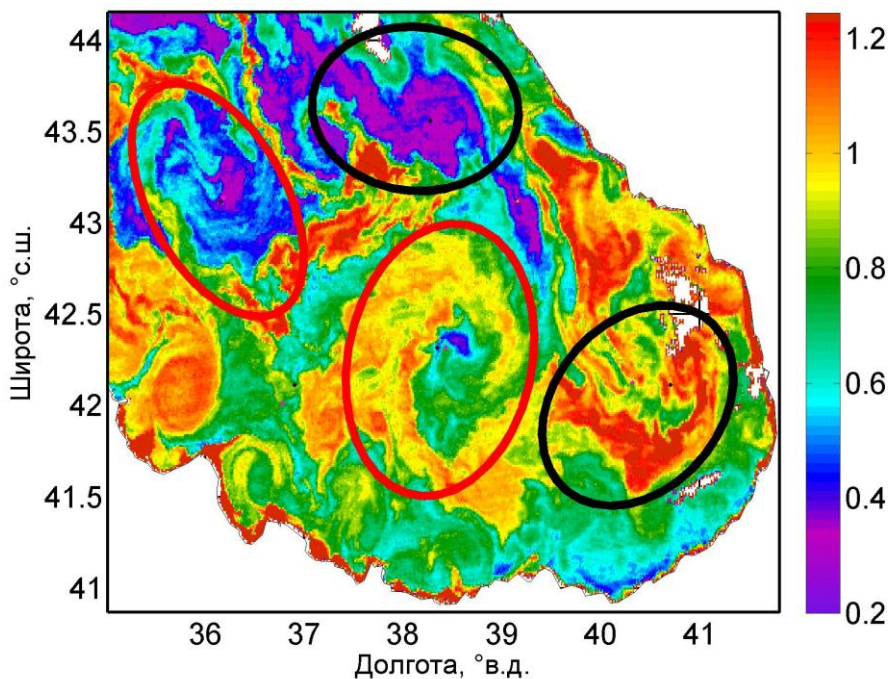
тельно, соответствующий узел сетки находится в вихревом образовании. Кластеры выделенных узлов сетки представляют собой индивидуальные вихри.

После того как вихревые образования были выделены на всех картах скорости, определяются траектории перемещения отдельных вихрей. Для этого рассчитывается расстояние между центрами вихрей на двух последовательных картах скорости и определяются пары вихрей одного знака, между которыми это расстояние минимально. При этом максимальное смещение вихря не должно превышать 100 км за 7 дней, что соответствует ограничению по скорости в 15 см/с согласно существующим оценкам [1, 3, 10]. Поскольку качество данных альтиметрии ухудшается вблизи берега, где в Черном море находится большое количество вихрей, метод был модифицирован для береговой зоны. Считалось, что виртуальная частица располагается в вихре, если начало и конец траектории находятся в прибрежном узле сетки, а полный угол намотки превышает 270°. Подробнее о методе изложено в работе [11]. Разрешение альтиметрических данных не позволяет идентифицировать вихри с радиусом менее 20 км, поэтому при анализе будут учитываться только более крупные образования.

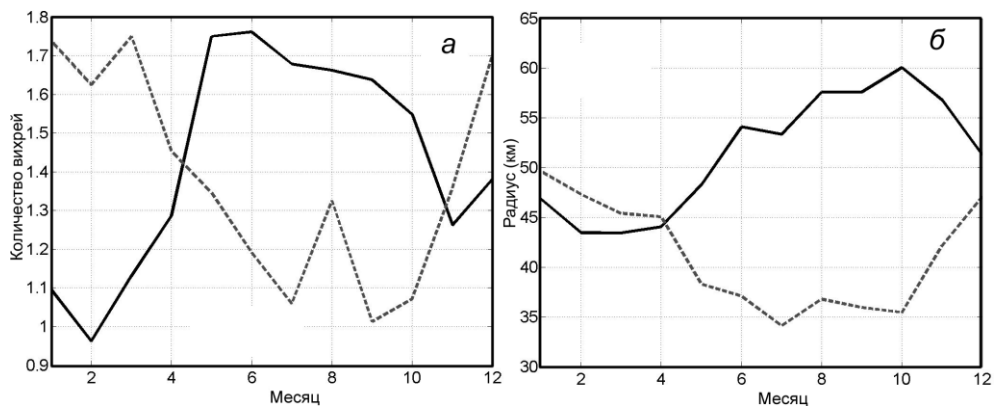
Для валидации метода положение вихрей, идентифицированных в поле скорости по данным спутниковой альтиметрии, сопоставлялось с их проявлением в полях других спутниковых параметров. Как будет показано ниже, предложенный метод позволяет достаточно точно идентифицировать вихревые образования. При анализе использовались также данные сканеров *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* о температуре поверхности моря, концентрации хлорофилла *a* и яркости восходящего излучения на длине волны 555 нм с пространственным разрешением 1 км (*Level 2*). Данные были получены в отделе дистанционных методов исследования Морского гидрофизического института (<http://dvs.net.ua>).

**Вихревая динамика в юго-восточной части бассейна.** В настоящей работе исследуется юго-восточная часть Черного моря, ограниченная координатами 40 – 43,5° с. ш., 37 – 42° в. д. Известно, что этот район характеризуется сложной синоптической динамикой. Здесь часто наблюдается большое количество вихрей различного знака, как мелких, так и крупных [3]. Для примера на рис. 1 приведена карта поверхностной температуры (*SST*) за 31 декабря 2012 г., на которой видны один крупный антициклон и два крупных циклона с радиусами ~100 км. Эллипсами аппроксимированы вихри, идентифицированные по данным спутниковой альтиметрии. Видно, что положение вихрей в поле трассеров хорошо соответствует положению вихрей, выделенных с помощью метода автоматической идентификации по известному полю скорости.

Метод автоматической идентификации вихрей позволяет определить временную изменчивость количества вихрей и их различных характеристик. На рис. 2, *a* показана сезонная изменчивость количества долгоживущих (с временем жизни более 3 мес) циклонов и антициклонов в исследуемой области. Как видно, летом здесь наблюдается преобладание антициклонических вихрей, зимой – циклонических.



**Рис. 1.** Карта яркости восходящего излучения ( $\text{мВт}/(\text{мкм}\cdot\text{стер}\cdot\text{см}^2)$ ) на длине волны 555 нм за 31 декабря 2012 г. Эллипсами околнурены вихри, идентифицированные по данным спутниковой альтиметрии (циклоны выделены черным цветом, антициклоны – красным)

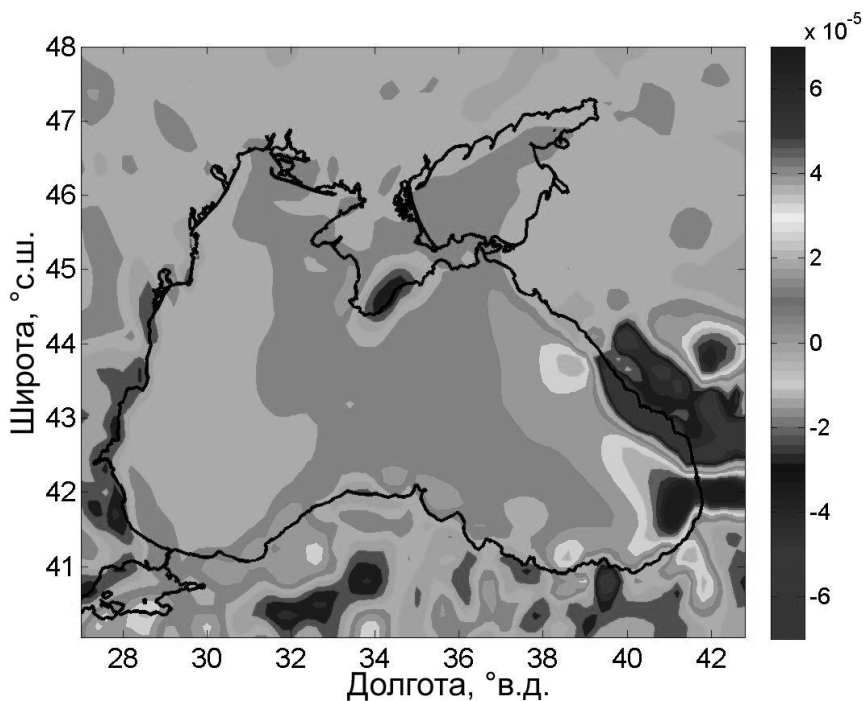


**Рис. 2.** Сезонная изменчивость в юго-восточной части Черного моря среднего количества (а) и среднего радиуса (б) наблюдаемых антициклонов (сплошная линия) и циклонов (штриховая) с временем жизни более 3 мес

В июне – августе одновременно существуют около двух долгоживущих антициклонов (в среднем за 20 лет 1,8 в месяц) и один циклон, в декабре – феврале – около двух циклонов (1,7) и один антициклон. Антициклоническая

активность начинает развиваться в марте – апреле, когда Основное Черноморское течение ослабевает [12, 13]. Радиус долгоживущих антициклонов на начальном этапе развития в это время года составляет в среднем 40 – 45 км (рис. 2, б). Их максимальное количество наблюдается в мае – июле, при этом они достигают максимального размера (радиус ~60 км) в сентябре – октябре. Время жизни таких антициклонов может превышать год, в среднем оно составляет 4 – 5 мес.

В конце осени – начале зимы антициклоны затухают и в этом районе развиваются крупные синоптические циклоны, примеры которых можно увидеть на рис. 1. Этот результат был получен также в работе [14]. Такие циклоны стабильно наблюдаются каждый год. Наиболее крупные образуются на самом юго-восточном крае бассейна справа от антициклонов, которые в это время года располагаются западнее. Радиус циклонов в зимние месяцы в среднем составляет 50 км, летом – уменьшается до 35 км. Циклоническая активность наиболее развита с ноября по апрель.

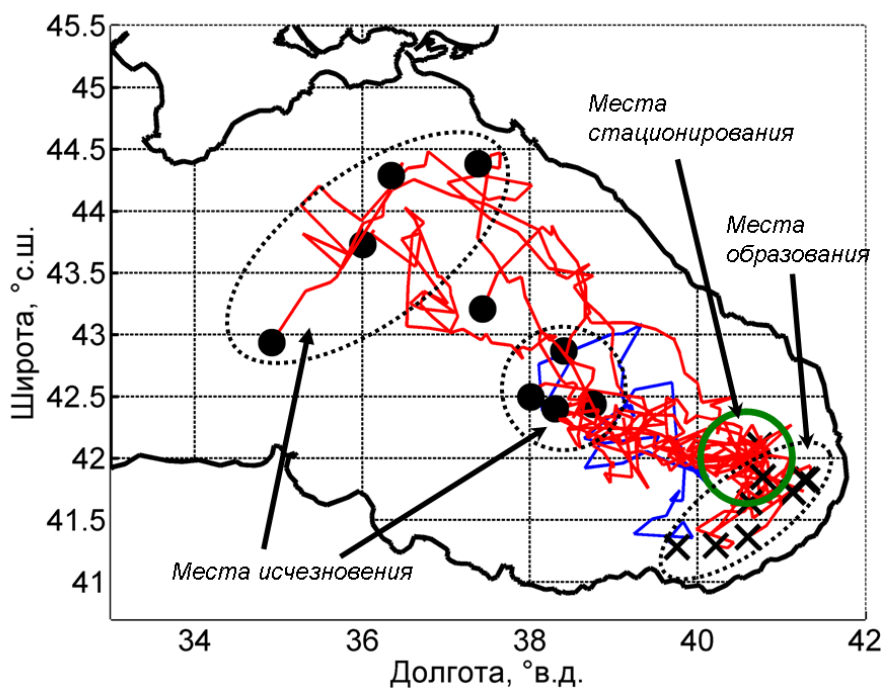


**Рис. 3.** Карта завихренности ветра ( $\text{с}^{-1}$ ) по модели *MM5*, осредненной за декабрь 2000 – 2010 гг.

Возникновение таких крупных циклонов, вероятно, связано с прямым воздействием локальной завихренности ветра. Расчеты по атмосферной модели *MM5* с высоким пространственным разрешением позволили показать, что в этом районе с ноября по апрель наблюдается наиболее интенсивная ячейка циклонической завихренности ветра (рис. 3) [15].

ческой завихренности образуется вследствие действия в зимний период вдольбереговых ветров, которые могут иметь муссонную природу [16]. Смена направления береговой линии в этом районе приводит к резкому повороту направления ветра и, следовательно, к возникновению локальной интенсивной области циклонической завихренности ветра.

**Динамика Батумского антициклона.** Батумский антициклон – одно из наиболее крупных синоптических образований в Черном море. Считается, что антициклон является Батумским, если он образовался и долгое время находится в юго-восточной области бассейна. На рис. 4 нанесены траектории перемещения всех вихрей, образовавшихся в исследуемом районе в 1993 – 2013 гг., с временем жизни более 40 недель, т. е. более 10 мес. Траектории получены с помощью метода автоматической идентификации вихрей по данным спутниковой альтиметрии.

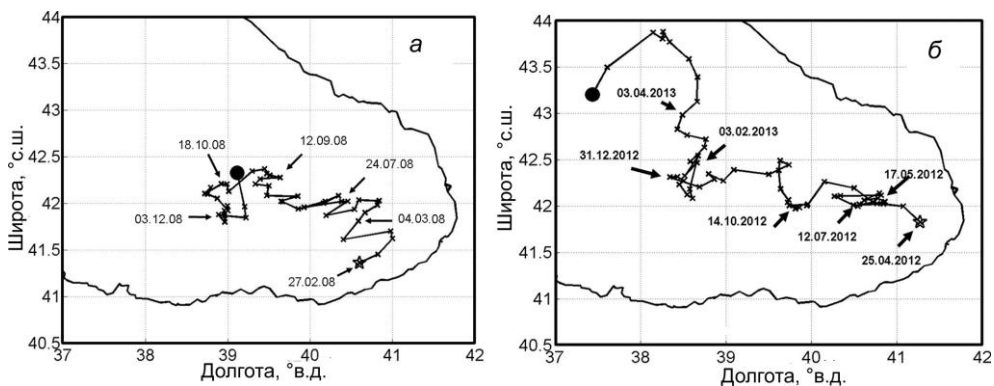


**Рис. 4.** Траектории перемещения долгоживущих (с временем жизни более 10 мес) антициклонов (красная линия) и циклонов (синяя линия), идентифицированных по данным альтиметрии за 1993 – 2013 гг. Крестиками обозначены места образования вихрей, кружочками – места их исчезновения

За указанный период наблюдалось 8 антициклонов и один циклон с такими характеристиками. При этом подавляющее большинство вихрей образовывалось в прибрежной юго-восточной области бассейна (крестики). Однако ни один из них не оставался стационарным за все время своего существо-

вания. Все антициклоны смещались на северо-запад, некоторые из них – до области  $42,5^\circ$  с. ш.,  $38 - 39^\circ$  в. д., другие двигались еще дальше, практически до побережья Крыма ( $44^\circ$  с. ш.,  $35 - 37^\circ$  в. д.). Скорость смещения антициклонов составляет  $1 - 5$  см/с. Минимальные значения скоростей  $0 - 2$  см/с достигаются в зоне сгущения траекторий в области  $42^\circ$  с. ш.,  $40,5^\circ$  в. д. (рис. 4). Здесь антициклоны приостанавливают свое движение и достаточно длительное время остаются квазистационарными.

Для более подробного анализа рассмотрим два примера эволюции отдельных вихрей на основе спутниковых оптических, инфракрасных и альтиметрических данных.

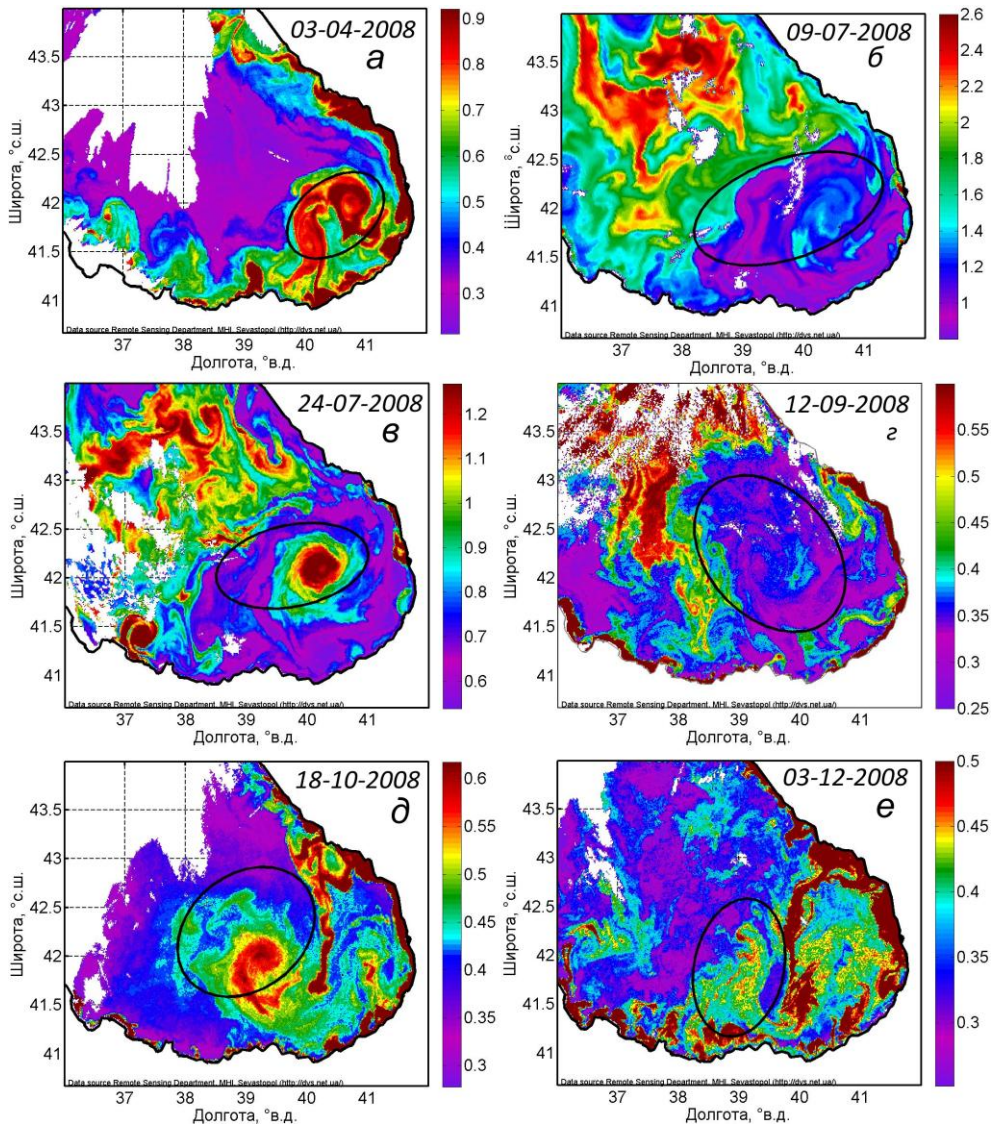


**Рис. 5.** Траектории перемещения Батумского антициклона (звездочки – места образования, кружочки – места разрушения)

Траектория перемещения Батумского антициклона, образовавшегося, согласно альтиметрическим данным, в конце февраля 2008 г., показана на рис. 5, а. На карте яркости восходящего излучения на длине волны 555 нм (*RRS\_555*) за 3 апреля 2008 г. видно (рис. 6, а), что исследуемый антициклон в начале существования представляет собой интенсивный прибрежный вихрь, возможно, возникший в результате неустойчивости ОЧТ. Его центр находится в точке с координатами  $41,7^\circ$  с. ш.,  $40,5^\circ$  в. д. Отметим достаточно хорошее согласование области расположения вихря, полученной с помощью метода автоматической идентификации по данным альтиметрии (эллипсы на рис. 6), с ее проявлением в поле яркости восходящего излучения. Этот вихрь на момент образования характеризуется высокими значениями *RRS\_555*, поскольку содержит большое количество прибрежных мутных вод. К 9 июля 2008 г. он значительно возрастает в размерах, занимая практически всю юго-восточную часть бассейна (рис. 6, б). При этом, в отличие от первого снимка, антициклон характеризуется пониженными значениями *RRS\_555* по сравнению с окружающими водами, которые содержат большое количество кокколитофорид. К 24 июля 2008 г. его центр значительно смещается к северо-западу в точку с координатами  $42,1^\circ$  с. ш.,  $40,1^\circ$  в. д. (рис. 6, в). Антициклон затягивает большое количество воды с высокими значениями *RRS\_555*, которая концентрируется в его центре. К 12 сентября 2008 г. вихрь перемещается



еще западнее (его центр располагается в точке с координатами  $42,2^{\circ}$  с. ш.,  $39,4^{\circ}$  в. д.) и опять имеет пониженные значения яркости (рис. 6, *з*). К 18 октября 2008 г. антициклон снова затягивает большое количество мутных вод и становится хорошо заметным в поле яркости (рис. 6, *д*). В это время восточнее антициклона на карте яркости уже заметен образовавшийся «зимний» циклон. Картина, представленная на рис. 6, *д*, с вихревой парой циклон – антициклон, где циклон находится восточнее, наблюдается практически во все годы в конце осени – начале зимы.



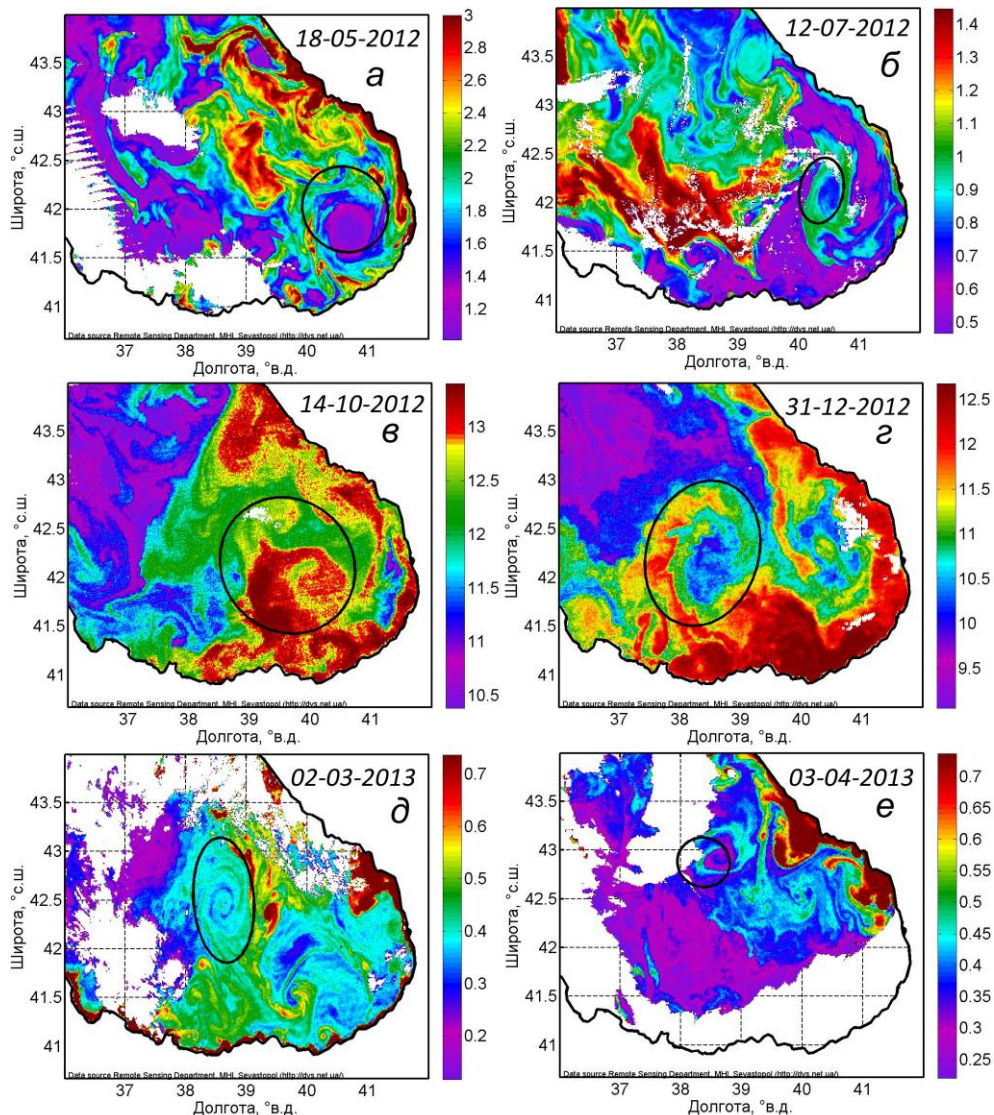
**Рис. 6.** Карты яркости восходящего излучения ( $\text{мВт}/(\text{мкм}\cdot\text{стер}\cdot\text{см}^2)$ ) на длине волны 555 нм за 3 апреля 2008 г. – *а*; 9 июля 2008 г. – *б*; 24 июля 2008 г. – *в*; 12 сентября 2008 г. – *з*; 18 октября 2008 г. – *д*; 3 декабря 2008 г. – *е*. Эллипсами оконтурены вихри, идентифицированные по данным спутниковой альтиметрии



В последний раз, согласно оптическим данным, антициклон наблюдается 3 декабря 2008 г. (рис. 6, *е*). Его размеры становятся сравнимыми с размером увеличившегося «зимнего» циклона (радиус  $\sim 50$  км). Дальнейшую эволюцию антициклона мешает проследить облачность. По данным альтиметрии, он существовал до середины января 2009 г., т. е. время его жизни составило  $\sim 11$  мес. За это время данный Батумский антициклон сместился на северо-запад примерно на 200 км. Отметим также, что значения яркости восходящего излучения в антициклоне несколько раз были выше и несколько раз ниже, чем в окружающей среде. В первую очередь такая изменчивость связана с событиями захвата вихрем вод с высокими значениями яркости. За время существования вихря такие события происходили несколько раз.

Второй пример эволюции Батумского антициклона показан на рис. 5, *б*. На момент образования в начале апреля 2012 г. в области  $41,7^\circ$  с. ш.,  $41^\circ$  в. д. он представлял собой небольшой прибрежный вихрь с радиусом  $\sim 30$  км. К маю 2012 г. вихрь сдвигается на северо-запад и достигает крупных размеров с радиусом 50 км (рис. 7, *а*). Его центр хорошо заметен в поле *RRS\_555*, поскольку он характеризуется пониженными значениями яркости по сравнению с периферийными водами, богатыми кокколитофоридами. Эта структура с низкими значениями яркости в центре и высокими – на периферии сохраняется примерно до 12 июля 2012 г. (рис. 7, *б*), когда воды вихря становятся более однородными. С начала мая до начала августа вихрь практически стационарный, он вращается вокруг точки с координатами  $42^\circ$  с. ш.,  $40,5^\circ$  в. д. В середине августа антициклон начинает достаточно быстро смещаться на запад. К 14 октября 2012 г. вихрь, заметный в поле поверхностной температуры (рис. 7, *в*), передвигается на запад до  $39,8^\circ$  в. д. Его радиус увеличивается до 90 км.

В начале ноября 2012 г. восточнее антициклона образуется мощный циклон. Эта вихревая пара хорошо заметна в поле поверхностной температуры за 31 декабря 2012 г. (рис. 7, *з*). При этом антициклон смещается еще западнее, до  $38,5^\circ$  в. д. Динамическая структура в декабре 2012 г. практически идентична рассмотренной в первом примере в декабре 2008 г. Примерно через год после образования, 2 марта 2013 г., исследуемый антициклон с центром в точке  $42,5^\circ$  с. ш.,  $38,5^\circ$  в. д. четко выделяется на карте яркости (рис. 7, *д*). Затем он начинает быстро двигаться на север и значительно уменьшаться в размерах. Позже, 3 апреля 2014 г., центр вихря располагается в точке с координатами  $43^\circ$  с. ш.,  $39^\circ$  в. д. (рис. 7, *е*), его радиус составляет 40 км. После этого исследуемый вихрь сливается с мощным антициклоном у Кавказского побережья, что не дает возможности достоверно проследить его дальнейшую траекторию. Таким образом, исследуемый антициклон просуществовал более одного года и сместился от своего места образования на северо-запад более чем на 250 км.



**Рис. 7.** Карты яркости восходящего излучения ( $\text{мВт}/(\text{мкм}\cdot\text{стер}\cdot\text{см}^2)$ ) на длине волны 555 нм (*а, б, д, е*) и поверхностной температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) моря (*в, г*) за 18 мая 2012 г. – *а*; 12 июля 2012 г. – *б*; 14 октября 2012 г. – *в*; 31 декабря 2012 г. – *г*; 2 марта 2013 г. – *д*; 3 апреля 2013 г. – *е*. Эллипсами оконтурены вихри, идентифицированные по данным спутниковой альтиметрии

**Выводы.** В настоящей работе на основе метода автоматической идентификации вихрей по известному полю скорости, полученному по данным спутниковой альтиметрии, исследована вихревая динамика в юго-восточной части Черного моря. Использование данного метода, а также анализ спутниковых оптических и инфракрасных изображений позволили получить следующие выводы.

1. Показано, что в летний период в этой области преобладают антициклонические вихри, в зимний – циклонические. При этом интенсивные

циклоны образуются здесь периодически каждую зиму, они хорошо выражены в поле оптических и температурных трассеров. Такие циклоны располагаются в восточной части этой области Черного моря. Часто они наблюдаются совместно с мощным антициклоном, находящимся западнее. Вероятной причиной образования этих циклонов является интенсивная циклоническая ячейка ветровой циркуляции, возникающая здесь в зимний период и хорошо заметная по расчетам региональной атмосферной модели ММ5. Возникновение этой ячейки, возможно, связано с интенсивными вдольбереговыми ветрами муссонной природы и кривизной береговой линии.

2. Батумский антициклон развивается из интенсивного прибрежного вихря, возникающего в апреле – мае, возможно, вследствие неустойчивости крупномасштабных течений. Он достаточно быстро растет в размерах и смещается на северо-запад в центр юго-восточной зоны. Там в летний период антициклон становится квазистационарным, а затем начинает двигаться далее, на северо-запад, иногда достигая северо-восточной части бассейна. Это перемещение можно достоверно проследить по спутниковым изображениям и данным спутниковой альтиметрии. На наш взгляд, основной причиной смещения вихря на запад является западное направление распространения волн Россби. Известно, что для вихрей в океане, образованных вследствие неустойчивости восточных пограничных течений, типичным поведением является перемещение на запад с фазовыми скоростями волн Россби [17]. Вероятно, дополнительной причиной такого смещения может быть образование в зимний период с восточной стороны интенсивного циклона. В то же время смещение Батумского антициклона на север, скорее всего, связано с вовлеченностью вихря в общую циклоническую циркуляцию вод в бассейне.

3. Достоверно показано, что время существования Батумского антициклона может превышать один год.

Данные спутниковой альтиметрии позволяют осуществлять долговременные наблюдения за синоптическими вихрями, и в настоящее время они являются важнейшим источником новой информации о синоптической динамике океана.

Автоматическая идентификация вихрей и анализ альтиметрических данных выполнены при поддержке Минобрнауки РФ, соглашение № 14.604.21.0044. Анализ спутниковой оптической информации выполнен при поддержке гранта РФФИ 14-45-01526.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В.А., Белокобытов В.Н.* Океанография Черного моря. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2011. – 212 с.
2. *Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A. et al.* Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data // *J. Geophys. Res.* – 2003. – 108, № С4, 3122. – doi:10.1029/2002JC001508.
3. *Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. и др.* Изменчивость вихревой картины в юго-восточной части Черного моря // *Исследование Земли из космоса.* – 1998. – № 6. – С. 3 – 15.
4. *Гинзбург А.И., Зацепин А.Г., Кременецкий В.В. и др.* Мезомасштабная динамика вод Черного моря // *Океанология на старте 21 века.* – М.: Наука, 2008. – С. 11 – 42.

5. *Zatsepin A.G., Ginzburg A.I., Kostianoy A.G. et al.* Observations of Black Sea mesoscale eddies and associated horizontal mixing // *J. Geophys. Res.* – 2003. – 108, № C8. – doi: 10.1029/2002JC001390.
6. *Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Soloviev D.M. et al.* Remotely sensed coastal/deep-basin water exchange processes in the Black Sea surface layer // *Elsevier Oceanogr. Ser.* – 2000. – 63. – P. 273 – 287.
7. *Голубев Ю.Н., Тужилкин В.С.* Кинематика и структура вод антициклонического вихревого образования в центральной части Черного моря // *Океанология.* – 1990. – 30, № 4. – С. 575 – 581.
8. *Chaigneau A., Gizolme A., Grados C.* Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns // *Progr. Oceanogr.* – 2008. – 79, № 2. – P. 106 – 119.
9. *Ari Sadarjoen I., Post F.H.* Detection, quantification, and tracking of vortices using streamline geometry // *Comp. and Graph.* – 2000. – 24, № 3. – P. 333 – 341.
10. *Латун В.С.* Антициклонические вихри в Черном море летом 1984 г. // *Морской гидрофизический журнал.* – 1989. – № 3. – С. 27 – 35.
11. *Кубряков А.А., Станичный С.В.* Синоптические вихри в Черном море по данным спутниковой альтиметрии // *Океанология.* – 2015. – 55, № 1. – С. 1 – 13.
12. *Зацепин А.Г., Гинзбург А.И., Евдошенко М.А.* Вихревые структуры и горизонтальный водообмен в Черном море // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря.* – М.: Наука, 2002. – С. 55 – 81.
13. *Kubryakov A.A., Stanichny S.V.* Seasonal and interannual variability of the Black Sea eddies and its dependence on characteristics of the large-scale circulation // *Deep-Sea Res.* – 2015. – 97. – P. 80 – 91.
14. *Menna M., Poulain P.M.* Geostrophic currents and kinetic energies in the Black Sea estimated from merged drifter and satellite altimetry data // *Ocean Sci.* – 2014. – 10, № 2. – P. 155 – 165.
15. *Шокуров М.В.* Численное моделирование атмосферной циркуляции над Черным морем // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2011. – Вып. 25. – Т. 2. – С. 91 – 113.
16. *Кубряков А.А., Шокуров М.В., Станичный С.В., Анисимов А.Е.* Температурные контрасты суша – море в Черноморском регионе и их связь с изменчивостью приводного ветра // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* – 2015. – 51, № 4. – С. 508 – 518.
17. *Köhl A.* Generation and stability of a quasi-permanent vortex in the Lofoten Basin // *J. Phys. Oceanogr.* – 2007. – 37, № 11. – P. 2637 – 2651.

## **Dynamics of Batumi anticyclone from satellite data**

**A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia  
e-mail: arskubr@ya.ru*

Eddy dynamics in the southeastern part of the Black Sea is studied based on satellite altimetry data and analysis of optical and infrared satellite imagery. Mesoscale variability is investigated using the recently developed methods of eddy automatic identification from a known altimetry-derived velocity field. It is shown that, in most cases, Batumi anticyclone is not stationary. Having been formed in the coastal southeastern part of the Black Sea, it moves to the northwest at a speed 1 – 5 cm/s achieving sometimes the basin northeastern part. At that the lifetime of such an eddy can amount a year. In winter a strong mesoscale cyclonic eddy is generated in the Batumi anticyclone area. It originates presumably from intense local cyclonic wind vorticity arising in this zone in winter.

**Keywords:** eddy dynamics, synoptic eddies, satellite data, Black Sea.