# Вихревые образования в южной части Охотского моря

#### Е.В. Самко, Н.В. Булатов, А.В. Капшитер

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ТИНРО-Центр) 690950, г. Владивосток, переулок Шевченко, 4 *E-mail: samko@tinro.ru* 

Анализ спутниковых ИК изображений показывает, что в южной части Охотского моря ежегодно наблюдается большое количество вихрей, холодных интрузий и грибовидных диполей. Большинство вихрей имеют антициклоническую ориентацию и пространственные размеры 60-80 миль. По результатам сравнения ИК изображений, альтиметрических данных и данных глубоководных наблюдений рассмотрена структура и перемещения вихрей южной части Охотского моря (южнее 52ос.ш.) в 2007 году. Выделяются две группы вихрей: одни наблюдались в течение всего года или нескольких месяцев; другие – не более 1 месяца. Наиболее устойчивые вихри имеют спиралевидную структуру с холодным центром и соединены холодными стримерами с зоной Ойясио и прибрежных апвеллингов. Эти вихри выделяются в поле геострофических течений, построенных как по судовым данным, так и данным спутниковой альтиметрии. В вертикальном распределении температуры и солености антициклонические вихри выделяются заглублением нижней границы холодного промежуточного слоя и пониженной соленостью; циклонические подъемом ядра холодного промежуточного слоя. Движение центров вихрей обусловлено крупномасштабной циркуляцией Охотского моря. Большинство вихрей двигалось по циклонической траектории. Вихри, наблюдавшиеся непродолжительное время, слабо выделялись по данным глубоководных наблюдений. Они формировались, главным образом, между противоположно направленными течениями за счет сдвига их скорости.

Ключевые слова: ИК изображение, данные альтиметрии, вихри, Охотское море.

#### Введение

Многолетний анализ судовых данных и спутниковых изображений позволяет утверждать, что вихревые образования оказывают существенное влияние на распределение и пути миграций промысловых рыб. Постоянный мониторинг движения вихрей и их взаимодействия с окружающими водами является основой при диагнозе и прогнозе условий обитания гидробионтов.

На спутниковых ИК изображениях южной части Охотского моря ежегодно наблюдается большое количество вихрей, холодных интрузий и грибовидных диполей. Большинство вихрей имеют антициклоническую ориентацию и пространственные размеры 60-80 миль [1, 2]. В представленной работе по результатам сравнения ИК изображений, альтиметрических данных и данных глубоководных наблюдений рассмотрена структура и перемещения вихрей южной части Охотского моря (южнее 52° с.ш.) в 2007 году.

## Материал и методика

В качестве основных материалов работы служили: ИК изображения, полученные по системе HRPT с ИСЗ NOAA. Наиболее свободные от облачности изображения получены 2-4 октября 2007 г. По результатам их визуального дешифрирования построена сводная карта термической структуры поверхности океана (ТСПО). На изображениях полученных в другие дни и месяцы были видны лишь отдельные образования. В некоторые месяцы при высокой повторяемости облачности не было получено ни одного ИК изображения поверхности океана. Кроме того, в работе использовались альтиметрические данные, полученные с сайта AVISO: <u>http://las.aviso.oceanobs.com</u>. Они представляют собой аномалии уровня моря, рассчитанные относительно средней высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии, полученные со всех доступных спутников. Данные альтиметрических наблюдений интерполировались в узлы регулярной сеточной области с шагом 1/3° по широте и долготе. Далее на основе уравнения для геострофических течений в океане были рассчитаны поля аномалий скорости геострофических течений. Альтиметрические данные принимались в середине каждого месяца. По ним, как более регулярным данным, чем ИК изображения, построены карты перемещения центров вихрей в течение года.

Помимо спутниковых данных в работе были использованы данные судовых наблюдений, полученные в рейсе НИС «Профессор Кагановский» Гидрологическая съемка Охотского моря выполнена в октябре 2007 г. Гидрологические станции расположены через 60 миль. По данным измерений температуры и солености построены карты динамической топографии поверхности моря и геострофических течений. Также были построены карты вертикального распределения температуры и солености на гидрологических разрезах, пересекавших рассматриваемые образования.

## Анализ и обсуждение материалов

На ИК изображениях в начале октября 2007 г. в южной части Охотского моря, как обычно, выделялись несколько спиралевидных антициклонических вихрей (рис. 1, 2). Отдельные ИК изображения, полученные в другие месяцы, показывают, что их положение в течение года мало менялось. Альтиметрические карты аномалий скорости течений подтверждают этот вывод.



Рис. 1. ИК изображение в ложных цветах (4.10.2007 г.) и положение гидрологических станций

К этой группе наиболее постоянных вихрей относятся антициклонические вихри: A1, A2 и A3 (рис. 2, 3), а также вихрь A4, который по альтиметрическим данным выделялся только в октябре и в ноябре. К сожалению акватория, где располагался вихрь A4, практически постоянно в 2007 г. была закрыта облачностью (за исключением октября), поэтому ИК изображения морской поверхности подтверждающих или опровергающих заключения, полученные по альтиметрическим данным, отсутствуют.



Рис. 2. Термические структуры на поверхности моря 2-4.10.2007 г.



Рис. 3. Аномалии скорости течения, рассчитанные по альтиметрическим данным. Октябрь 2007 г.

В то время как вихри A1 и A3, исходя из данных спутниковой альтиметрии, существовали в течение всего 2007 г., вихрь A2 по тем же данным выделялся в январе-феврале и во второй половине года (июль-декабрь). В остальные месяцы в районе существования вихря A2 к северу от пролива Фриза между антициклонами A1 и A3 наблюдался циклонический вихрь (C2).

На ИК изображениях температурные неоднородности вихрей А2, А3, А4 имели размеры 70-80 миль. Размер вихря А1 был несколько меньше, температурные контрасты между теплой и холодной спиралями в указанных вихрях не превышали 3-4°С. Все эти вихри имеют спиралевидную структуру с холодным центром.

Остальные вихри, отмеченные на альтиметрических картах аномалий течений или на ИК изображениях, отнесены ко второй группе вихрей (нестационарные вихри). Они были менее устойчивы и выделялись на одной карте (1 месяц) или на одном - двух ИК изображениях. Среди них наиболее отчетливо проявлялся антициклонический вихрь А6 (рис. 2). На изображениях он имел так же спиралевидную структуру и размер около 40 миль. Перепад температуры поверхности океана (ТПО) между теплой и холодной спиралями не превышал 2°С. Также слабо выделялся вихрь А6 в альтиметрических данных.

Сложная динамика наблюдалась в районе вихря A5, хорошо выраженного в октябре на ИК изображениях (рис. 2). По альтиметрическим данным в этих координатах находился циклонический вихрь (C3) диаметром 50-60 миль. Антициклонический вихрь A5 был смещен на северо-восток и наблюдался к северу от пролива Крузенштерна (рис. 3). В другие месяцы в районе A5 вихри наблюдались редко. Лишь в январе наблюдался циклонический, а в апреле антициклонический вихри.

Севернее вихря А6 на ИК изображениях выделялись две грибовидные структуры (гр1; гр2), представляющие собой, как известно, вихревые диполи [3]. Контрасты ТПО, связанные с этими образованиями, так же как в вихре А6, были около 2°С. Грибовидные структуры на ИК изображениях выделялись только 2-4 октября. Тем не менее, можно найти их отображение (вихревые образования) в альтиметрических и судовых данных (рис. 3, 4). Следовательно, эти вихри действительно существовали, имели значительную вертикальную протяженность и время существования до месяца, но поскольку контраст ТПО был невелик, то он не сохранялся длительное время. В другие месяцы в этом районе по альтиметрическим данным также выделялись вихревые образования различной ориентации.



Рис. 4. Течения на поверхности, рассчитанные по судовым данным, и положение гидрологических разрезов. Октябрь 2007 г.

Рассмотрим соответствие результатов океанографических глубоководных наблюдений выделенным вихревым образованиям. К сожалению, ни одна гидрологическая станция, за исключением станции 45, не оказалась в центре вихрей



Рис. 5. Вертикальное распределение температуры (°С) (а, в) и солености (епс) (б, г) на гидрологических разрезах

Разрез 1 (ст. 13-65) на юге заканчивался в вихре А2 (рис.4). При этом станция 27 находилась на северной периферии, а станция 13 вблизи центра вихря между холодным центром и теплым стриммером. На карте геострофических течений благодаря расстоянию между разрезами и станциями эти два вихря объединяются в западный отрог более крупной антициклонической области, связанной с вихрем АЗ. На разрезе 1 вихрь А2 выделялся резким заглублением изотерм нижней границы холодного промежуточного слоя (1.5 и 2.0°С) от 500 до 1000 метров (рис. 5а). В то же время на глубинах от 180 до 440 м в близи центра вихря отмечалось ядро холодного (1°С) промежуточного слоя с соленостью 33.4-33.5 епс (рис. 5а, б). Северная периферия вихря на разрезе 1 выделялась заглублением изотерм 9-3°С в поверхностном слое (теплый стриммер) и слабо выраженным (1.5°С) холодным промежуточным слоем. В поле солености вихрь А2 выделялся лишь заглублением изохалин в его центре (рис. 56). На северной периферии вихря отмечалось лишь начало заглубления изохалин на горизонтах более 200 метров. Таким образом, вихрь А2 был образован относительно холодной малосоленой водой с теплым стриммером по периферии. Вихрь А6 на карте геострофических течений выделялся отчетливо. Но, несмотря на то, что станция 45 оказалась в центре вихря, в поле термохалинных характеристик он слабо выделялся. Отмечалось лишь некоторое увеличение толщины холодного промежуточного слоя и заглубление изохалин на глубинах более 200 метров (рис. 5а, б). Это соответствует слабым контрастом ТПО на ИК изображениях и малой устойчивости его положения во времени. Нужно заметить, что на карте геострофических течений вихрь Аб находился между противоположно направленными течениями: северо-восточным и южным-юго-западным, находясь справа от каждого из них. Очевидно, вихрь Аб относился не к квазистационарным относительно высококонтрастным вихрям, а к малоконтрастным, вихрям, образованным за счет градиента скорости течения. В то же время антициклонические вихри в районе вихря Аб наблюдались и в прошлые годы [2], что подтверждает их связь с крупномасштабными течениями.

Разрез 2 (ст. 16-50) своей южной частью пересекал наиболее крупный и высоко контрастный вихрь АЗ (рис. 4). Но ст. 16 находилась на южной периферии вихря, а следующая ст. 17 за его пределами. Тем не менее, вихрь получил хорошее отображение на карте геострофических течений, но в вертикальном распределении термохалинных характеристик, он выделялся лишь заглублением холодного промежуточного слоя от 400 до 800 м и его повышенной (2°C) температурой. Севернее антициклона АЗ на ИК изображениях и на карте аномалий течений, выделялась обширная циклоническая область, С4 которая была хорошо выражена и в поле геострофических течений (рис. 4). В вертикальном распределении температуры она выделялась ядром холодного промежуточного слоя с температурой 0°С на глубинах менее 100м (рис. 5в), т. е. подъемом ядра ХПС. Северная часть разреза 2 пересекала вторую грибовидную структуру (Гр.2) Станция 43 находилась в теплой области «гриба». На карте аномалии скорости течений эта грибовидная структура не выделялась (слабые аномалии циклонической ориентации). На карте геострофических течений этот район находился в зоне северо-восточных течений. Это не противоречит характеру ИК изображения, если «ножку гриба» идентифицировать со стрежнем течения. На гидрологическом разрезе 2 в поверхностном слое грибовидная структура выделялась слабо. Но глубже 200 м наблюдался прогиб изотерм (1.5-2.0°С и изохалин 33.5-34.3 епс), соответствующий слабому антициклоническому вращению (рис. 5в, г). Это соответствует характеру ИК изображения и положению ст.43 в антициклоническом секторе грибовидного диполя.

Таким образом, наблюдается хорошее соответствие результатов океанографических глубоководных наблюдений выделенным по спутниковой информации вихревым образованиям.

Регулярное получение альтиметрической информации позволило проследить траектории движения центров вихрей с дискретностью в один месяц в течение года (рис. 6). Антициклон A1 в первой половине года двигался в январе-мае сначала в восточном направлении, затем он сместился к юго-западу и в июне-июле двигался к западу-юго-западу. Таким образом, в первой половине года вихрь A1 двигался, в общем, по антициклонической траектории (рис. 6а). Западнее его наблюдался циклонический вихрь (C1), центр которого в этот период двигался последовательно на юг-юго-восток, северо-восток и север, т.е. описывал циклоническую траекторию (рис. 6б). Такое движение вихрей в первой половине года наблюдается не ежегодно. Например, в 1991 г. в южной части моря наблюдалось три вихря: два циклона и один антициклон. При этом антициклон и один из циклонов двигались вокруг второго циклона, т. е. по циклонической траектории [1]. Можно предположить, что циклоническое движение синоптических вихрей в южной части Охотского моря обеспечивается воздействием течений Соя, Восточно-Сахалинского (ВСТ) и его ветвей [2]. Антициклоническое движения центра А1 в первой половине 2007 г., вероятно, связано с тем, что течение Соя в этот период было развито слабо (особенность 2000-х годов), а одна из ветвей ВСТ проходила севернее А1. Во второй половине 2007 г. вихрь А1 двигался в начале на север (июльавгуст), затем на запад и в ноябре-декабре быстро сместился к югу. Таким образом, уже можно проследить элемент циклонической траектории. По-видимому, изменение направления движения центра вихря А1 связано с усилением течения Соя во второй половине года.



Рис. 6. Траектории движения вихревых образований: а) антициклонические вихри; б) циклонические вихри

Как отмечалось выше, антициклон А2 наблюдался в январе-феврале и затем во второй половине года (начиная с июля). В другие месяцы в этом районе наблюдался циклонический вихрь (C2). В первые два месяца 2007 г. вихрь А2 смещался в южном направлении (рис. 6а). Циклонический вихрь C2 дви-

гался в эти два месяца в юго-восточном направлении (рис. 6б), затем он быстро продвинулся к северу и занял место вихря A2. Затем (март-апрель) он двигался на юго-запад, а в апреле-июне на восток. Таким образом, центр вихря C2 описал замкнутую циклоническую циркуляцию (рис. 6б).

Центр сформировавшегося в июле антициклона (A2) в начале (июль-август) продвигался к северу, а затем к западу и юго-западу и, следовательно, очертил фрагмент циклонической циркуляции. В последние два месяца он занимал квазистационарное положение. Циклонический характер движения центров вихрей C2 и A2 связан, вероятно, с крупномасштабным циклоническим круговоротом C4 в центре исследуемого района, хорошо видимым в поле геострофических течений (рис. 4). Смена ориентации вихрей (C  $\rightarrow$  A) связана, вероятно, с сезонным изменением активности крупномасштабных течений, которые хорошо выражены в данных судовых наблюдений, но плохо проявляются в альтиметрических данных (в поле аномалий скорости течений).

Третий антициклонический вихрь (А3) наблюдался (на альтиметрических данных) наиболее продолжительное время все 12 месяцев. Его центр описывал наиболее полные циклонические спирали в первой и второй половине года (рис. ба). При этих движениях центр вихря перемещался, примерно, на 40 миль по широте и на 90миль по долготе. В январе-марте и июле-августе, он двигался к западу, а в марте-мае и сентябре-декабре востоку. Связать эти движения со сменой муссонов пока не удается.

Вихрь А4 два месяца (октябрь-ноябрь) наблюдался в одних и тех же координатах.

#### Заключение

Проведенные исследования вихревых образований южной части Охотского моря путем совместного анализа данных (ИК изображений, аномалий скорости течений полученных по альтиметрическим данным и геострофических течений, рассчитанных по судовым глубоководным наблюдениям) показывают их хорошее соответствие.

Выделяются две группы вихрей. Вихри первой группы обладают наибольшим контрастом ТПО на ИК изображениях, прослеживаются в течение всего года или нескольких месяцев. Они имеют спиралевидную структуру с холодным центром. Эти вихри выделяются в поле геострофических течений, построенных как по судовым данным, так и данным спутниковой альтиметрии. В вертикальном распределении температуры и солености антициклонические вихри выделяются заглублением нижней границы холодного промежуточного слоя и пониженной соленостью.

Эта группа вихрей, по всей вероятности, связанна с термохалинными контрастами между слабо стратифицированными водами, прилегающими к Курильским островам и резко стратифицированными водами Охотского моря. Движение центров вихрей обусловлено крупномасштабной циркуляцией Охотского моря [4]. Большинство вихрей двигалось по циклонической траектории. Движения вихря A1 в начале года по антициклонической траектории связано, вероятно, с ослаблением течения Соя и развитием северной ветви Восточно-Сахалинского течения.

Вторую группу составляют вихри, существующие не более месяца. Они формировались, главным образом, между противоположно направленными течениями за счет сдвига их скорости. К этой группе относятся грибовидные диполи, в том числе вихри справа (антициклонические) и слева (циклонические) от интрузий. Вихри этой группы на ИК изображениях имеют контрасты ТПО порядка 2°С. Они слабо проявляются на карте альтиметрических аномалий течений – хаотическое поле вихреобразных образований. Вихри слабо проявляются в вертикальном распределении термохалинных характеристик на гидрологических разрезах. Тем не менее, некоторые вихри этой группы (например, Аб и антициклон грибовидного диполя Гр1) уверенно выделялись в поле геострофических течений, рассчитанных по судовым данным. Перемещение вихрей этой группы не рассматривались, поскольку их наблюдения были кратковременными. Грибовидные же структуры, как известно, недолговечны [3]. Очевидно, что для корректного отображения структуры и динамики вихрей этой группы нужны синхронные судовые и ИК данные и потрековый анализ альтиметрических данных.

#### Литература

1. Дарницкий В.Б., Булатов Н.В. Охотоморские вихри прикурильского района // Комплексные исследования экосистем Охотского моря. М., ВНИРО, 1997. С. 36-39.

2. Булатов Н.В., Куренная Л.А., Муктепавел Л.С., Алексанина М.Г., Гербек Э.Э. Вихревая структура вод южной части Охотского моря и его сезонная изменчивость (результаты спутникового мониторинга) // Океанология, 1999. Т. 39. № 1. С. 29-37.

3. Гинзбург А.И., Федоров К.Н. Некоторые закономерности развития грибовидных течений в океане, выявленные путем анализа спутниковых изображений // Исследование Земли из космоса, 1984. № 6. С. 3-13.

4. *Самко Е.В., Глебова С.Ю., Новиков Ю.В.* Особенности динамики и термики поверхностных вод в Сахалинско-Курильском районе в 90-е гг. // Изв. ТИНРО, 1998. Т. 124. С. 658-666.

# Eddies in the southern Okhotsk Sea

## Eu.V. Samko, N.V. Bulatov, A.V. Kapshiter

Pacific Scientific Research Fisheries Centre (TINRO-centre), Vladivistok

The analysis satellite IR images shows, that a plenty of eddies are observed in the southern Okhotsk Sea. Eddies mostly are anticyclonically oriented and have the spatial size 60-80 miles. Structure and movements of these eddies is considered for the area southward from 52oN on the results of IR images and altimetry data analysis compared with shipborne data obtained in 2007. A part of eddies were observed all the year round or during several months, but others existed no more than 1 month. The stable eddies had helical structure with a cold center and were connected with Oyashio or coastal upwelling zones by cold streamers. These eddies could be revealed in the fields of geostrophic currents drawn using both shipborne and altimetry data. Vertical distribution of temperature and salinity within the anticyclonic eddies was distinguished by deeper bedding and lower salinity of the cold subsurface layer, whereas within the cyclonic eddies this layer was uplifted. On the other hand, the short-living eddies were poorly revealed from the shipborne data. mainly they were formed between opposite directed currents due to the velocity shift. Large-scale circulation of the Okhotsk Sea waters is the main reason of the eddies movement. Most of them had cyclonically-curved tracks.

Keywords: IR image, altimetry data, eddies, Okhotsk Sea.