

Вихревые образования у юго-восточного побережья о. Сахалин

© 2020 Г. В. Шевченко^{*1,2}, В. Н. Частиков¹, А. Т. Цой¹

¹Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

*E-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

Реферат. База декадных карт динамической топографии (сентябрь 2002 – октябрь 2005), созданная ранее для акватории Охотского моря и прилегающих акваторий на основе данных трех искусственных спутников Земли, применена для изучения условий формирования и динамики синоптических вихрей у юго-восточного побережья о. Сахалин. Привлечены также материалы спутниковых наблюдений за температурой воды и концентрацией хлорофилла *a* в поверхностном слое, а также океанологических съемок на стандартном разрезе мыс Анива – мыс Докучаева. Показано, что теплые антициклонические (АЦ) вихри регулярно образуются в результате меандрирования течения Соя у проливов Кунаширский и Екатерины и выходят к Тонино-Анивскому полуострову (иногда на некотором удалении). Характерный период их существования – август–октябрь. Холодные циклонические вихри формируются в этом же районе во второй половине октября в результате активизации Восточно-Сахалинского течения, при этом обычно образуется АЦ ринг в зал. Терпения. Характерный период существования этих вихрей более короткий, 1–1.5 мес.

Ключевые слова: вихрь, температура, соленость, хлорофилл *a*, альтиметрия, аномалия, динамическая топография.

Для цитирования: Шевченко Г.В., Частиков В.Н., Цой А.Т. Вихревые образования у юго-восточного побережья о. Сахалин. *Геосистемы переходных зон*. 2020. Т. 4, № 1. С. 35–45.

<https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.035-045>

Eddies off the southeastern coast of Sakhalin Island

Georgy V. Shevchenko^{*1,2}, Valery N. Chastikov¹, Alexander T. Tsoy¹

¹Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

*E-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

Abstract. The base of ten-day maps of sea level topography (September 2002 – October 2005) was used to study the conditions of formation and dynamics of mesoscale eddies off the southeastern coast of Sakhalin Island. This base was created for the Sea of Okhotsk and adjacent areas on the ground of three satellites data. The satellite data of sea surface temperature and chlorophyll-a concentration, as well as oceanographic surveys at the standard section of Cape Aniva – Cape Dokuchaev also were used. It was shown that warm anticyclonic (AC) eddies are regularly formed as a result of meandering the Soya current at the Kunashirsky and Ekaterina straits and move to the Tonino-Aniva Peninsula (sometimes at some distance). The typical period of their existence is August–October. Cold cyclonic eddies occurred in the same region in the second half of October as a result of the East Sakhalin current autumn amplification, and usually an AC ring is formed in Terpeniya Bay. The typical lifetime of these eddies is shorter, it is about 1–1.5 months.

Keywords: eddy, temperature, salinity, chlorophyll-a, altimetry, sea level anomaly, dynamic topography.

For citation: Shevchenko G.V., Chastikov V.N., Tsoy A.T. Eddies off the southeastern coast of Sakhalin Island. *Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 1. p. 35–45. (In Russian).

<https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.035-045>

Введение

Синоптические вихри в океанах и морях представляют значительный научный интерес для океанографии вследствие того, что они переносят на большие расстояния воды с существенно иными характеристиками в сравнении с типичными для акваторий, в которых они перемещаются. Их изучение имеет и прикладное значение, так как зона смещения вод на их периферии отличается высокой биологической продуктивностью, а также потому, что к этим мезомасштабным структурам приурочены скопления некоторых видов промысловых рыб, например сайры. По этой причине изучению вихревых структур как в открытом океане, так в различных бассейнах уделяется большое внимание [Farneti, Delworth, 2010; Raj et al., 2016]. Достаточно полное обобщение современных представлений по данной проблеме приведено в [Жмур, 2011]. Так, в применении к юго-западной части Охотского моря этому вопросу посвящен ряд исследований [Булатов и др., 1999; Дарницкий, Булатов, 1997; Самко и др., 2010, 2013; Жабин, Лукьянова, 2011; Андреев, Жабин, 2013], основанных преимущественно на спутниковой информации, с привлечением материалов судовых съемок. В частности, в работе [Самко и др., 2010] была предпринята попытка с использованием спутниковых ИК-снимков и данных альтиметрии исследовать динамику мезомасштабных вихревых структур на основе карт с месячной дискретностью по времени. Однако полной ясности относительно того, как формируются и откуда приходят вихри к юго-восточному побережью Сахалина – одному из наиболее важных в промысловом отношении районов Сахалинской области, пока еще нет, хотя подтверждений их существования в данном районе и важной роли в формировании биопродуктивности его вод приведено достаточно.

В работе [Шевченко и др., 2009] была разработана методика идентификации и исследования динамики мезомасштабных вихревых структур на основе материалов альтиметрических измерений спутника Topex/Poseidon (TP, запущен в 1992 г.), подспутниковые треки которого совпадали с треками запущенного в 2002 г. искусствен-

ного спутника Земли Jason-1 (J1). В период с сентября 2002 по октябрь 2005 г. спутник TP продолжал свою миссию, но его треки были смещены на половину межтрекового расстояния по сравнению с прежними траекториями. В этот же период альтиметрические съемки производились также со спутника Envisat (ES), общий период анализируемых данных охватывал 1995–2006 гг. Таким образом, в течение трех лет можно было использовать для определения положения и динамики вихревых структур материалы измерений одновременно трех спутников. Это позволило с высокой точностью определять характеристики и динамику вихрей у юго-восточного побережья Камчатки на основе карт динамической топографии с дискретностью 10 сут (это обусловлено длиной изомаршрутного цикла спутников TP и J1). Эту же методику и созданную в данной работе базу аномалий уровня поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий было решено апробировать для идентификации мезомасштабных структур у юго-восточного побережья о. Сахалин. Дополнительно анализировались материалы наблюдений за температурой морской воды и концентрацией хлорофилла *a* в поверхностном слое, полученные при помощи установленной в Сахалинском филиале Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО) спутниковой станции TeraScan, а также материалы океанологических съемок на стандартном разрезе мыс Анива (юго-восточная оконечность о. Сахалин) – мыс Докучаева на северо-востоке о. Кунашир.

Целью данной работы было изучение условий формирования и динамики вихрей, которые выходят к юго-восточному побережью о. Сахалин или формируются вблизи него.

Методика идентификации вихрей и материалы наблюдений

Для выделения вихря использовалась информация с трех спутников для построения топографии за 10-суточный промежуток времени, привязываемый к сканированию поверхности Охотского моря спутником J1. Интервалы нумеровались согласно этим циклам, данные других ИСЗ привязывались

к этим промежуткам времени. Напомним, что при вычислении гармонических постоянных прилива в качестве независимой переменной берется средняя высота уровенной поверхности [Шевченко, Романов, 2004]. То есть отсчет производился от нулевого среднего уровня. Следовательно, для всех ИСЗ анализировались аномалии уровня океана. Это упрощало задачу совмещения данных по различным трекам, так как основные сложности обычно связаны как раз с привязкой средних уровней, в то время как для аномалий часть этих проблем отпадает.

Такое наложение данных спутниковой альтиметрии позволяет строить карты топографии аномалий уровенной поверхности и, соответственно, определять положение синоптических вихрей в океане с гораздо более высокой точностью по сравнению с получаемыми при использовании данных с одного ИСЗ. Декадный интервал между картами динамической топографии открывал возможности достаточно детального изучения динамики вихревых структур вблизи юго-восточного побережья о. Сахалин в период с сентября 2002 по октябрь 2005 г.

Необходимо было сопоставить результаты изучения характеристик синоптических вихрей в океане по данным спутниковой альтиметрии с материалами наблюдений иного рода. На материалы судовых съемок в данном районе можно было рассчитывать лишь в некоторой степени из-за их весьма ограниченного количества: за интересующий нас период на стандартном океанологическом разрезе мыс Анива – мыс Докучаева, лишь частично задевающим исследуемую часть акватории Охотского моря, было выполнено 5 съемок – в ноябре 2002, июне, сентябре и октябре 2003, а также в августе 2004 г., из которых в данной работе в большей мере использовались материалы двух экспедиций на НИС «Дмитрий Песков», проводившихся осенью 2003 г. На стандартном разрезе мыс Левенорна – море, непосредственно пересекающем зону выхода вихревых структур, океанологические съемки не выполнялись уже много лет.

Как отмечалось выше, в качестве дополнительного источника информации привлекались спутниковые данные по температуре

воды и концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое Охотского моря (средние за декаду значения, осредненные по ячейкам с пространственным разрешением около 2 км). Такие материалы также традиционно используются для исследования синоптических вихрей.

Использование данных по температуре и цветности поверхности океана было связано с определенными ограничениями, поскольку в наблюдениях за данными параметрами важную роль играло искажающее влияние облачности и далеко не всегда имела информация на интересующие промежутки времени. В особенности это относится к весне и началу лета, но в августе–октябре над изучаемым районом, как правило, устанавливается хорошая погода, позволяющая получать качественную информацию с ИСЗ.

Динамика антициклонического вихря летом–осенью 2003 г.

Наиболее выраженный теплый антициклонический (АЦ) вихрь был зафиксирован вблизи юго-восточного берега о. Сахалин (у Тонино-Анивского полуострова) летом – осенью 2003 г. Первое появление слабо выраженного АЦ ринга к северу от прол. Екатерины зафиксировано на карте динамической топографии за 14–24 июля. Спустя 10 сут вихрь стал более выраженным и сместился на север-северо-запад, в направлении мыса Анива – крайней юго-восточной точки острова.

По карте топографии за 3–13 августа видно, что вихрь продолжал движение в том же направлении, но затем стал смещаться на северо-восток и объединился с образовавшейся незадолго до этого более слабой антициклонической структурой.

В последней декаде августа у входа в Кунаширский пролив образовался новый, более выраженный антициклонический ринг, который стал смещаться в северном направлении (рис. 1а). Существовавшая ранее вихревая структура начинает двигаться ему навстречу, и в первой декаде сентября они объединяются, продолжив движение в сторону Сахалина (рис. 1б). Однако скорость движения вихря замедлилась, и в дальнейшем он находился практически на одном месте. Максимальной

выраженности он достиг во второй декаде октября (рис. 1с), его диаметр составлял немногим более 100 км, высота около 15 см над средним уровнем моря. Затем этот ринг начал оттесняться в юго-восточном направлении и быстро ослабевать (на рис. 1d представлена динамическая топография за первую декаду ноября 2003 г.), и во второй декаде этого месяца его следы уже не прослеживаются ни по альтиметрическим, ни по температурным съемкам морской поверхности.

Наиболее вероятной причиной разрушения вихря является осенняя активизация Восточно-Сахалинского течения (ВСТ), которая обычно наблюдается у юго-восточного побережья Сахалина во второй половине октября [Власова и др., 2008], хотя характерных для нее выраженных градиентов уровня моря у берега Сахалина в конце октября – ноябре 2003 г. на карте динамической топографии не было заметно. Вопрос о влиянии ВСТ на вихревые структуры у юго-восточного побережья о. Сахалин более подробно рассматривается ниже.

Более сложным является вопрос об условиях формирования вихря. Образование ринга в акватории, прилегающей к Кунаширскому проливу, указывает на меандрирование течения Соя в районе п-ова Сиретоко как наиболее вероятную причину данного явления – именно такой механизм генерирования АЦ вихрей получен в работе [Uchimoto et al., 2007] по результатам численного моделирования. Однако для однозначного подтверждения этого механизма проанализированных данных было недостаточно.

На рис. 2 представлено распределение температуры воды на поверхности моря в юго-западной части Охотского моря по спутниковым данным в первой декаде октября 2003 г., в момент наибольшей выраженности изучаемого антициклонического вихря. Это распределение представлено как с обычной шкалой (рис. 2а), так и, для наглядности, с детальной шкалой на каждый 2-градусный диапазон. Ядро ринга выделялось более высокими значениями данного параметра (около 13 °С), на 2–3 градуса пре-

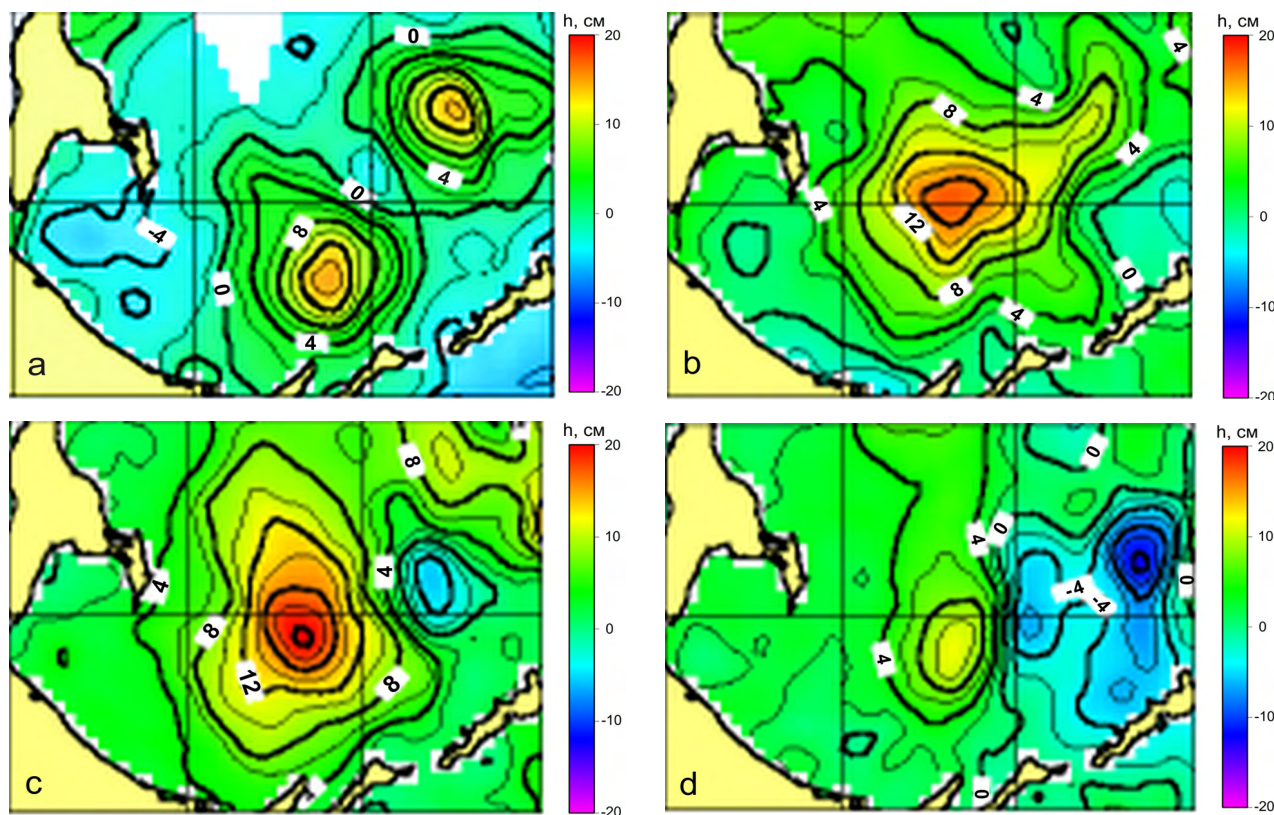


Рис. 1. Карты динамической топографии за 23 августа – 2 сентября (а), 12–22 сентября (б), 12–22 октября (с) и 1–11 ноября (д) 2003 г.

Fig. 1. Sea level topography for August 23 – September 2 (a), September 12–22 (b), October 12–22 (c), and November 1–11, 2003 (d).

вышавшими температуру окружающих вод. В работах [Самко и др., 2010; Жабин, Лукьянова, 2011] также отмечался сравнительно слабый контраст в значениях температуры в центре вихря и на его периферии – видимо, это характерно для мезомасштабных структур данного района. Термическое состояние вихря было стабильным на всем протяжении его существования, однако температура воды как в центре вихря, так и на его периферии быстро снижалась в течение второй половины сентября – первой половины октября.

Пространственное распределение хлорофилла *a* на поверхности Охотского моря за тот же период времени (рис. 2 б) показывает более низкие значения в зоне вихря (около 0.3 мкг/л) и существенно более высокие

за ее пределами (0.5–0.9 мкг/л), в частности в области к юго-западу от него, где наблюдались более холодные воды, отмеченные даже на шельфе о. Хоккайдо, где обычно теплые воды течения Соя. По данным альтиметрии, эта область характеризовалась меньшими высотами уровня моря.

Более высокие значения температуры и низкие концентрации хлорофилла *a* типичны для вод течения Соя в данном районе [Цхай и др., 2006], что косвенно подтверждает высказанную выше гипотезу о связи данной вихревой структуры с этим течением.

В сентябре и октябре 2003 г. были выполнены океанологические зондирования с борта НИС «Дмитрий Песков» на стандартном разрезе мыс Анива – мыс Докучаева. Вертикальные разрезы температуры и солёности по судовым съёмкам для первой из экспедиций (различия со второй незначительны) представлены на рис. 3. Расположение станций на этом разрезе весьма специфично (см. рис. 2) из-за того, что он пересекает территориальные воды Японии: группа станций вблизи побережья о. Сахалин и другая группа на шельфе о. Кунашир разделены, и в зону влияния вихря, на самой его периферии, попадали только 2 наиболее удаленные от берега (ст. 2 и ст. 6) станции северной, прилегающей к Сахалину части разреза (на рисунке им соответствует диапазон долготы от 144 до 144.5° в.д.). И в сентябре, и в октябре на этих станциях отмечены более теплые и, что более важно, более солёные воды, что особенно явно проявляется на глубине от 100 до 500 м (зондирования выполнялись именно до этой глубины). Высокая солёность вод в зоне вихря является более существенным аргументом в пользу предположения, что он сформировался в результате меандрирования течения Соя, так как значения выше 33.5 psu нехарактерны для изучаемой части Охотского моря. Аналогичной точки зрения придерживаются и авторы работы [Жабин, Лукьянова, 2011], можно также сказать, что наши исследования, основанные на натурных наблюдениях, подтвердили результаты численных экспериментов японских коллег [Uchimoto et al., 2007].

Океанологические зондирования, хотя они и были выполнены на периферии

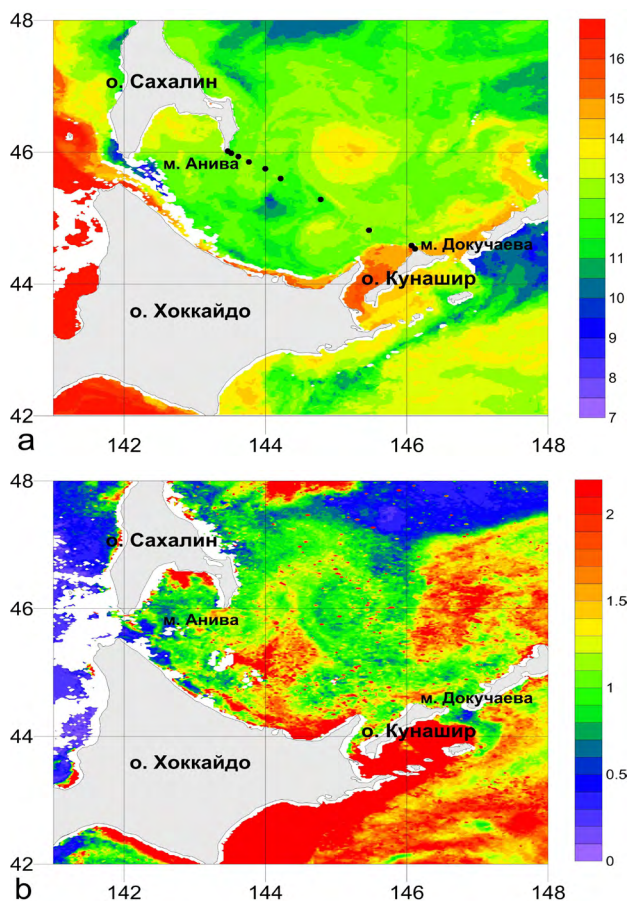


Рис. 2. Распределение температуры воды на поверхности моря (а, °С) и концентрации хлорофилла *a* (б, мкг/л) за 10–20 октября по данным спутниковой станции СахНИРО. Черными точками показано положение станций стандартного разреза мыс Анива – мыс Докучаева.

Fig. 2. Sea surface temperature (a, °C) and chlorophyll *a* concentration (b, µg/L) distributions for October 10–20, 2003 according to the SakhNIRO satellite station. Black dots indicate the position of the stations of the standard section of Cape Aniva – Cape Dokuchaev.

АЦ вихря, позволили оценить радиус деформации Россби, который характеризует пространственные размеры мезомасштабного вихря и определяется по формуле

$$R = NH/f,$$

где N – характерная частота Вайсяля–Брента, H – глубина, f – параметр Кориолиса. Осредненная по вертикали (имеющая максимальные значения в районе слоя скачка на глубинах 20–30 м) частота Вайсяля–Брента на станциях, попавших на периферию ринга, составила около $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. При значениях параметра Кориолиса $f = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и глубине зондирования 500 м получаем величину радиуса Россби около 110 км, что, учитывая весьма приближенный характер оценки, хорошо согласуется с пространственным масштабом изучаемого вихря.

В 2004 г. ситуация была достаточно близкой к рассмотренной выше: антициклониче-

ский ринг, более слабый по сравнению с наблюдавшимся годом ранее, сформировался у входа в прол. Екатерины в конце августа и стал двигаться на север. Его центр находился к востоку от положения центра вихря в 2003 г. примерно на половину градуса. Максимальной выраженности он достиг в начале октября. В первой декаде ноября мезомасштабная структура исчезла под влиянием Восточно-Сахалинского течения.

В августе 2005 г. был выявлен еще более слабый, чем в 2004 г., АЦ вихрь, и близко к берегу Сахалина он также не подошел (находился восточнее Тонино-Анивского полуострова, в районе 146 меридиана).

Альтернативные ситуации

Совсем иной пример представляет динамическая топография, наблюдавшаяся осенью 2002 г. (на рис. 4 представлена аномалия уровенной поверхности за интервал времени 29 октября – 8 ноября). За свалом глубин напротив Тонино-Анивского полуострова, где в 2003 г. находился теплый антициклонический вихрь, в рассматриваемый период был обнаружен холодный циклонический ринг. Океанологическая съемка, выполненная в ноябре этого года на разрезе мыс Анива – мыс Докучаева, показала, что на глубинах бо-

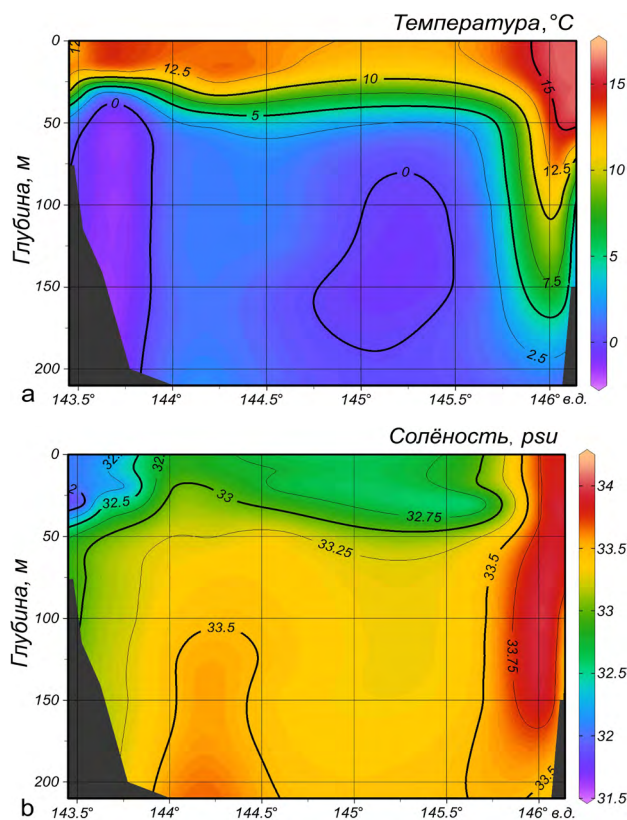


Рис. 3. Вертикальные распределения температуры (°C) и солености (psu) морской воды на стандартном разрезе мыс Анива – мыс Докучаева по результатам судовой съемки 18–19 сентября 2003 г. на НИС «Дмитрий Песков».

Fig. 3. Vertical distribution of water temperature (°C) and salinity (psu) at the standard section Cape Aniva – Cape Dokuchaev according to the results of ship survey on September 18–19, 2003 at the R/V “Dmitry Peskov”.

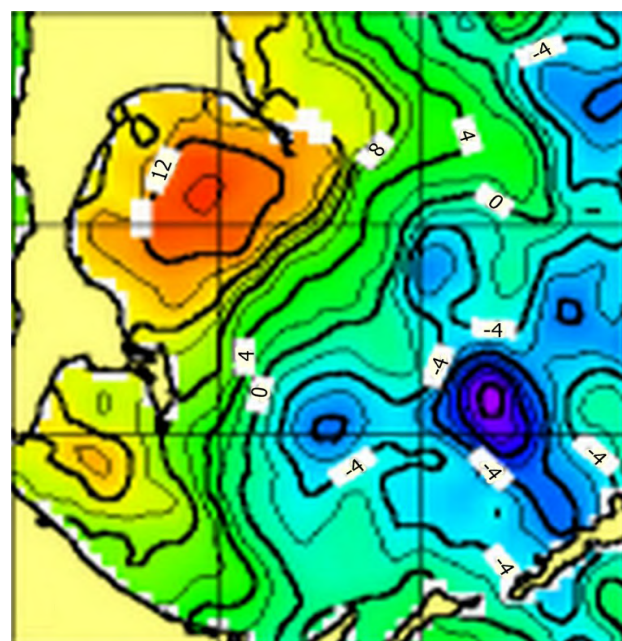


Рис. 4. Карта динамической топографии за 29 октября – 8 ноября 2002 г.

Fig. 4. Sea level topography over October 29 – November 8, 2002.

лее 80 м на станциях 5–6 наблюдались воды с отрицательными значениями температуры, что примерно на 2 °C ниже, чем на соседних станциях. Соленость, напротив, была выше (около 33.1 psu). Характер положения нулевой изотермы и изогалины 33 psu явно указывал на подъем вод в зоне вихря. Оценка частоты Вайсяля–Брента была почти вдвое меньше, чем в рассмотренном выше случае, а радиус деформации Россби составил около 70 км, что выглядит вполне убедительной величиной, несмотря на существенно иной характер стратификации вод.

Теплый антициклон практически синхронно образовался в зал. Терпения, в его восточной части, примыкающей к одноименному полуострову и к о. Тюлений. Вероятной причиной формирования обеих мезомасштабных структур было усиление Восточно-Сахалинского течения, выраженная активность которого проявилась в высоких значениях уровня моря вдоль побережья о. Сахалин и больших его градиентах вдоль свала глубин.

АЦ вихрь постоянно наблюдается в зал. Анива, можно было ожидать аналогичного явления в зал. Терпения, учитывая большое сходство физико-географических условий в этих бассейнах. Однако в зал. Терпения мезомасштабные структуры формируются значительно реже, и на сравнительно короткий период времени. Так, осенью 2002 г. антициклонический вихрь просуществовал в данном бассейне около месяца, а в 2004 – около 40 сут (отмечен на четырех картах динамической топографии).

Особенности формирования мезомасштабных структур в зал. Терпения можно рассмотреть на материалах экспедиционных исследований. Осенью 2006 г. АЦ вихрь в данной акватории был идентифицирован по результатам океанологической съемки, проведенной НИС «Дмитрий Песков» 23–27 октября 2006 г. Эта съемка носила фрагментарный характер, было выполнено всего 16 станций на сравнительно небольшом участке от 48.2 до 48.8° с.ш. и от берега до 144° в.д. (рис. 5).

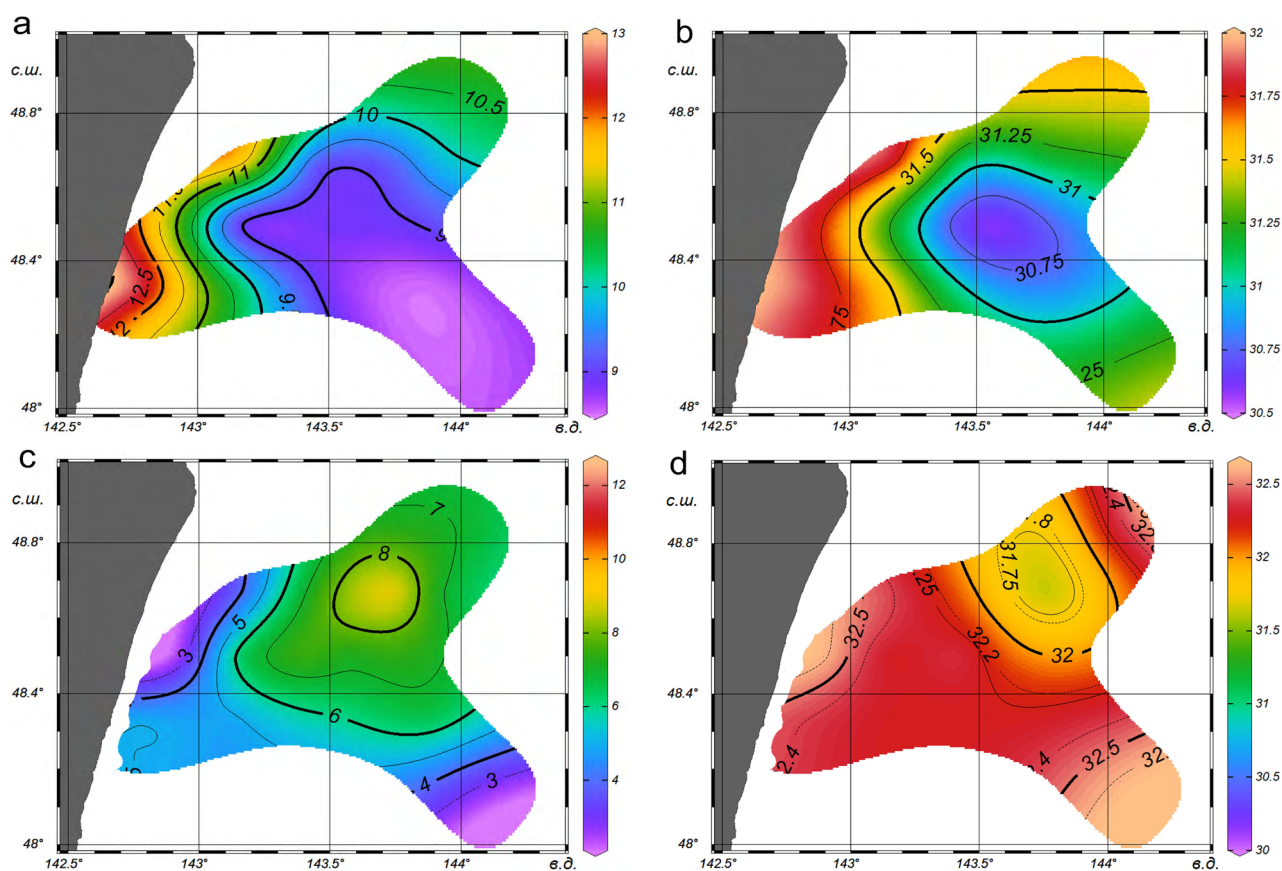


Рис. 5. Распределение температуры (°C, а, с) и солености (psu, b, d) на поверхности моря (а, b) и на глубине 30 м (с, d) в зал. Терпения по результатам океанологической съемки 23–27 октября 2006 г.

Fig. 5. Distribution of water temperature (°C, a, c) and salinity (psu, b, d) at the sea surface (a, b) and at a depth of 30 m (c, d) in Terpeniya Bay according to the results of ship survey October 23–27, 2006.

Исследования захватили начальный этап осенней активизации Восточно-Сахалинского течения, которое доставляет на юго-восточный шельф Сахалина модифицированную воду р. Амур, характеризующуюся низкими значениями солености. Локальное пятно распресненной воды (30.75 psu на поверхности моря) находилось в удаленной от берега части охваченной съемкой акватории, между 143.5 и 144° в.д. (рис. 5b). Причем эта вода была холоднее (9–10 °С), чем воды в ее прибрежной части (11–13 °С) (рис. 5a). Распределение океанологических элементов на горизонте 10 м практически не отличается от таковых на поверхности моря. На глубине 20 и даже 30 м (рис. 5d) прослеживается вода низкой солености, что указывает на ее заглубление под влиянием небольшого по размеру антициклонического вихря в зал. Терпения. Причем если на глубине 20 м распределение температуры выравнивается, то на глубине 30 м модифицированная вода в зоне вихря (8 °С) заметно теплее окружающих вод (рис. 5c).

Идентификация вихрей по наблюдениям за температурой поверхности моря

Помимо ряда альтиметрических данных за чуть более чем трехлетний период, были также проанализированы пространственные распределения температуры поверхности моря за период с 1997 по 2019 г. Поскольку, как отмечалось выше, АЦ вихри в изучаемом районе сравнительно слабо выделяются на картах температуры поверхности моря, был применен искусственный прием, заключавшийся в построении карт с детальной шкалой на каждый 2-градусный диапазон. Это позволило выделять изучаемые структуры более уверенно, опираясь при этом на опыт идентификации по данным альтиметрии.

Мезомасштабные вихри в августе–октябре наблюдались в юго-западной части Охотского моря и у юго-восточного побережья Сахалина (за свалом глубин у Тонино-Анивского полуострова) регулярно, хотя и различались по своим характеристикам. Так, в ок-

тябре 2015 г. антициклонический ринг находился на удалении от берега Сахалина, как и в 2004 и 2005 гг. Осенью 2016 г. в изучаемом районе сформировался холодный циклонический вихрь, аналогично зафиксированному в 2002 г. (рис. 6a). В октябре 2018 г. к юго-восточному берегу Сахалина подошел хорошо выраженный теплый АЦ вихрь (рис. 6b). Можно сказать, что это три типовые ситуации, характерные для изучаемого района. Отметим, что на пространственных распределениях температуры поверхности моря по спутниковым данным ни в 2002, ни в 2006 г. АЦ вихрь в зал. Терпения никак не проявлялся, даже при использовании детальной шкалы.

Анализ карт температуры поверхности моря за достаточно продолжительный пери-

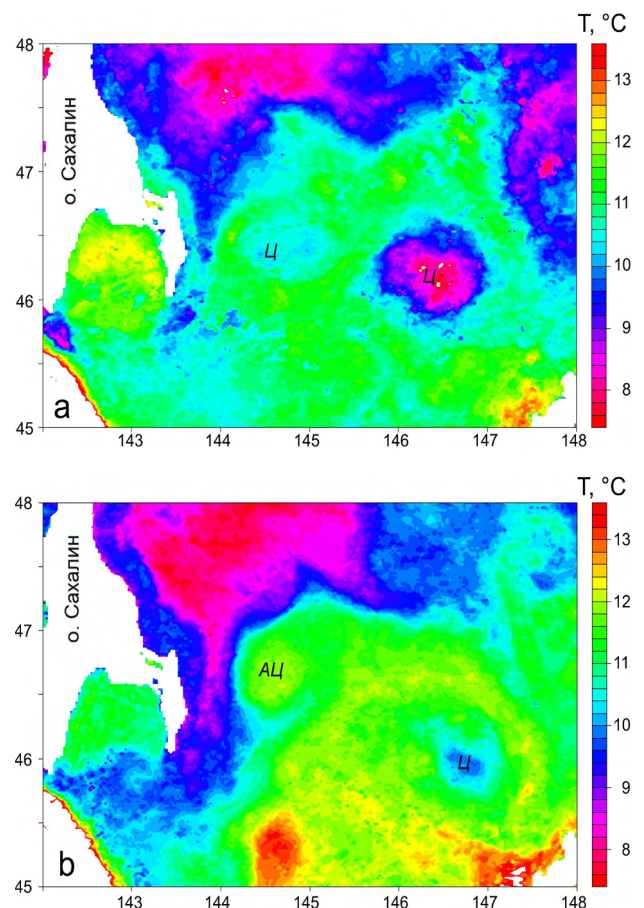


Рис. 6. Пространственное распределение температуры воды (°С) в юго-западной части Охотского моря в третьей декаде октября 2016 г. (a) и во второй декаде октября 2018 г. (b) в детальном представлении.

Fig. 6. The spatial distribution of water temperature (°C) in the southwestern part of the Sea of Okhotsk on the October 20–31, 2016 (a) and on the October 10–20, 2018 (b) in a detailed view.

од времени показал, что АЦ вихри обнаруживаются у юго-восточного берега о. Сахалин почти ежегодно, в один и тот же период времени (появлялись во второй половине августа и исчезали в третьей декаде октября). Циклонические вихри формируются несколько реже, примерно раз в три года, в конце октября в период осенней интенсификации ВСТ, и исчезают в конце ноября – начале декабря.

Заключение

Таким образом, за свалом глубин вблизи Тонино-Анивского полуострова выявлены два типа мезомасштабных вихревых структур, регулярно наблюдающихся в этом районе.

К первому относятся теплые антициклонические вихри, зарождающиеся вблизи проливов Екатерины или Кунаширского в результате меандрирования течения Соя и дрейфующие в северном или северо-восточном направлении. Типичный период их существования – август–октябрь, что хорошо согласуется с результатами работы [Uchimoto et al., 2007], в которой отмечалось, что отрыв вихря в районе Кунаширского пролива наиболее вероятен в конце лета, когда у берега п-ова Сиретоко накапливается достаточное для этого количество теплой соленой воды. Отметим, что в работе [Булатов и др., 1999] АЦ вихрь в данном районе диагностировался и в весенний период, однако в проанализированных нами материалах подобная ситуация не наблюдалась. Очевидно, данная ситуация является весьма редким, нехарактерным для данной акватории событием. АЦ-вихри могут подходить сравнительно близко к берегу Сахалина или находиться на определенном удалении, примерно на 0.5–1° восточнее. Эти вихри переносят теплые воды с высокой соленостью в район, где такие соленые воды при обычных обстоятельствах не наблюдаются.

Они также могут транспортировать нехарактерные для данной акватории виды рыб [Полтев, Цхай, 2019] и иных гидробионтов, в частности теплолюбивые виды зоопланктона, которые были обнаружены в пробах, отобранных у юго-восточного побережья острова поздней осенью [Брагина, 2002].

Ко второму типу относятся холодные циклонические вихри, возникающие обычно приблизительно в том же районе во второй половине октября, в период усиления Восточно-Сахалинского течения. Характерный период их существования более короткий, 1–1.5 мес. При этом обычно формируется теплый антициклонический вихрь в зал. Терпения, практически не выделяющийся на пространственных распределениях температуры поверхности моря. Этот вихрь характеризуется низкими значениями солености в его ядре, что обуславливает его четкую выраженность на картах динамической топографии. Характерный срок существования АЦ вихря в данном бассейне сравнительно невелик и также составляет обычно 1–1.5 мес.

Наличие мезомасштабных вихревых структур является важной и до настоящего времени слабо изученной особенностью океанологических условий на шельфе и свале глубин у юго-восточного побережья о. Сахалин, играющей к тому же важную роль при оценке условий обитания рыб и иных гидробионтов в данной акватории.

Благодарности

Авторы благодарны рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению качества статьи.

Работа выполнена в соответствии с государственными заданиями Сахалинского филиала ВНИРО (СахНИРО) и Института морской геологии и геофизики ДВО РАН при частичной финансовой поддержке программы фундаментальных научных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проект № 18-1-0010).

Список литературы

1. Андреев А.Г., Жабин И.А. **2013.** Мезомасштабные вихри и межгодовые изменения содержания хлорофилла-а в водах Охотского моря. В кн.: *Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана*: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, кн. 1: 92–102.
2. Брагина И.Ю. **2002.** Сезонная и межгодовая изменчивость зоопланктона по результатам исследований 1995–1999 гг. в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих водах. *Труды СахНИРО*, 4: 48–69.

3. Булатов Н.В., Куренная Л.А., Муктепавел Л.С., Алексанина М.Г., Гербек Э.Э. **1999**. Вихревая структура вод южной части Охотского моря и ее сезонная изменчивость (результаты спутникового мониторинга). *Океанология*, 39(1): 29–37.
4. Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. **2008**. *Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря*. М.: Наука, 356 с.
5. Дарницкий В.Б., Булатов Н.В. **1997**. Охотоморские вихри прикурильского района. В кн.: *Комплексные исследования экосистем Охотского моря*. М.: ВНИРО, 36–39.
6. Жабин И.А., Лукьянова Н.Б. **2011**. Взаимодействие антициклонических вихрей с течением Соя в южной части Охотского моря по данным спутниковых наблюдений. *Исследование Земли из космоса*, 1: 86–90.
7. Жмур В.В. **2011**. *Мезомасштабные вихри океана*. М.: ГЕОС, 278 с.
8. Полтев Ю.Н., Цхай Ж.Р. **2019**. О новом случае поимки большой корифены *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Perciformes: *Coryphaenidae*) в водах юго-восточного Сахалина. *Труды СахНИРО*, 15: 303–307.
9. Самко Е.В., Булатов Н.В., Капштитер А.В. **2010**. Структура и динамика вихревых образований в южной части Охотского моря по спутниковым данным. *Исследование Земли из космоса*, 4: 50–60.
10. Самко Е.В., Булатов Н.В., Капштитер А.В. **2013**. Вихревые образования в южной части Охотского моря. В кн.: *Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана*: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 1: 456–464.
11. Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В., Гаврина Л.Ю. **2006**. Сезонные вариации концентрации хлорофилла-а за 2001–2004 гг. в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям. *Исследование Земли из космоса*, 3: 15–30.
12. Шевченко Г.В., Романов А.А. **2004**. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии. *Исследование Земли из космоса*, 1: 49–62.
13. Шевченко Г.В., Романов А.А., Цой А.Т. **2009**. Идентификация мезомасштабных вихревых структур на юго-восточном шельфе Камчатки по спутниковым данным. *Исследование Земли из космоса*, 5: 80–89.
14. Farneti R., Delworth T.L. **2010**. The role of mesoscale eddies in the remote oceanic response to altered Southern Hemisphere winds. *J. of Physical Oceanography*, 40: 2348–2354.
15. Raj R.P., Johannessen J.A., Eldevik T., Nilsen J.E.O., Halo I. **2016**. Quantifying mesoscale eddies in the Lofoten Basin. *J. of Geophysical Research: Oceans*, 121: 4503–4521.
16. Uchimoto K., Mitsudera H., Ebuchi N., Miyazawa Y. **2007**. Anticyclonic eddy caused by the Soya Warm Current in an Okhotsk OGCM. *J. of Oceanography*, 63(3): 379–391.

Об авторах

ШЕВЧЕНКО Георгий Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией океанографии Сахалинского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), ведущий научный сотрудник лаборатории цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; ЧАСТИКОВ Валерий Николаевич, ведущий специалист, ЦОИ Александр Тесуевич, ведущий специалист – лаборатория океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск

References

1. Andreev A.G., Zhabin I.A. **2013**. [Mesoscale eddies and interannual changes in the chlorophyll-a concentration in the Sea of Okhotsk]. *Okeanologicheskie issledovaniia dal'nevostochnykh morei i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* [Oceanological studies of the Far-Eastern seas and in the North-Western Pacific Ocean]: in 2 books. Vladivostok: Dalnauka Publ., 1: 92–102.
2. Bragina I.Iu. **2002**. [Seasonal and interannual variability of a zooplankton by the results of studies of 1995–1999 yr. in the La Pérouse Strait (the Soya Strait) and the adjacent waters]. *Trudy SakhNIRO = Transactions of SakhNIRO*, 4: 48–69.
3. Bulatov N.V., Kurennaia L.A., Muktepavel L.S., Aleksanina M.G., Gerbek E.E. **1999**. [Eddy water structure of the Southern Okhotsk Sea and its seasonal variability (results of satellite monitoring)]. *Okeanologiya = Oceanology*, 39(1): 29–37.

4. Farneti R., Delworth T.L. **2010**. The role of mesoscale eddies in the remote oceanic response to altered Southern Hemisphere winds. *J. of Physical Oceanography*, 40: 2348–2354.
<https://doi.org/10.1175/2010jpo4480.1>
5. Darnitskii V.B., Bulatov N.V. **1997**. [Okhotsk Sea eddies off the Kuril Islands]. In: *Kompleksnye issledovaniia ekosistem Okhotskogo moria* [Complex studies of the Okhotsk Sea ecosystems]. Moscow: VNIRO, 36–39.
6. Poltev Iu.N., Tskhai Zh.R. **2019**. [About a new case of capture of the large *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Perciformes: *Coryphaenidae*) in the waters of the south-western Sakhalin]. *Trudy SakhNIRO = Transactions of SakhNIRO*, 15: 303–307.
7. Samko E.V., Bulatov N.V., Kapshiter A.V. **2010**. [Structure and dynamics of eddy formations in the Southern Okhotsk Sea by the satellite data]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Earth Observation and Remote Sensing*, 4: 50–60.
8. Samko E.V., Bulatov N.V., Kapshiter A.V. **2013**. [Eddy formations in the Southern Okhotsk Sea]. In: *Okeanologicheskie issledovaniia dal'nevostochnykh morei i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* [Oceanological studies of the Far-Eastern seas and in the North-Western Pacific Ocean]: in 2 books. Vladivostok: Dalnauka, 1: 456–464.
9. Shevchenko G.V., Romanov A.A. **2004**. [Tidal properties determination in the Okhotsk Sea by the data of satellite altimetry]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Earth Observation and Remote Sensing*, 1: 49–62.
10. Shevchenko G.V., Romanov A.A., Tsoi A.T. **2009**. [Identification of mesoscale eddy structures on the southeastern shelf of Kamchatka by the satellite data]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Earth Observation and Remote Sensing*, 5: 80–89.
11. Tskhai Zh.R., Shevchenko G.V., Gavrina L.Iu. **2006**. [Seasonal variations of chlorophyll-a concentration over 2001–2004 yr. in the La Pérouse Strait by the satellite and ship measurements]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Earth Observation and Remote Sensing*, 3: 15–30.
12. Raj R.P., Johannessen J.A., Eldevik T., Nilsen J.E.O., Halo I. **2016**. Quantifying mesoscale eddies in the Lofoten Basin. *J. of Geophysical Research: Oceans*, 121: 4503–4521. <https://doi.org/10.1002/2016jc011637>
13. Uchimoto K., Mitsudera H., Ebuchi N., Miyazawa Y. **2007**. Anticyclonic eddy caused by the Soya Warm Current in an Okhotsk OGCM. *J. of Oceanography*, 63(3): 379–391.
<https://doi.org/10.1007/s10872-007-0036-3>
14. Vlasova G.A., Vasil'ev A.S., Shevchenko G.V. **2008**. *Prostranstvenno-vremennaia izmenchivost' struktury i dinamiki vod Okhotskogo moria* [Spatio-temporal variability of the structure and dynamics of the Sea of Okhotsk water]. Moscow: Nauka, 356 p.
15. Zhabin I.A., Luk'ianova N.B. **2011**. [Anticyclonic eddies interaction with Soya Stream in the Southern Okhotsk Sea by the data of satellite observance]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Earth Observation and Remote Sensing*, 1: 86–90.
16. Zhmur V.V. **2011**. *Mezomasshtabnye vikhri okeana* [Mesoscale eddies in the ocean]. Moscow: GEOS,