

ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОГО ВИХРЯ, СФОРМИРОВАВШЕГОСЯ У ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНЫХ КУРИЛ ВЕСНОЙ 1999 г.

Шевченко Г.В.^{1,2}, Цой А.Т.¹, Частиков В.Н.¹

¹ Сахалинский филиал Всероссийского НИИ рыбного хозяйства и океанографии,
Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, д. 196,
e-mail: Shevchenko_zhora@mail.ru

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
Россия, 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1-Б

Статья поступила в редакцию 09.03.2021, одобрена к печати 24.05.2021.

На основе анализа материалов океанологической съемки и спутниковых наблюдений за температурой поверхности океана изучены условия формирования и характеристики антициклонического вихря, находившегося в районе южных Курильских островов весной 1999 г. Показано, что он сформировался вблизи субарктического фронта в результате его взаимодействия со струей течения Ойясио во второй декаде марта и прекратил свое существование в середине июня, что также подтверждается данными наблюдений за концентрацией хлорофилла-а. В отличие от большинства антициклонических вихрей, наблюдающихся в данном районе, ядро вихря, находившееся на глубинах 150–300 м, характеризовалось более низкими значениями температуры и солености (4–4.6°C и 33.55–33.65 е.п.с.) и небольшими скоростями течений (около 10 см/с). Изучаемый вихрь слабо выделялся в поле плотности как на горизонтальных, так и на вертикальных распределениях, а также по данным спутниковой альтиметрии.

Ключевые слова: вихрь, температура, соленость, хлорофилл-а, плотность, южные Курильские острова

Введение

Антициклонические вихри с теплыми ядрами достаточно часто наблюдаются в акватории, прилегающей к южным Курильским островам, их динамике посвящен целый ряд работ как российских (Самко и др., 2008; Новиков, Самко, 2016; Prants et al., 2018), так и японских исследователей (Kawamura et al., 1986; Itoh, Yasuda, 2010; Kaneko et al., 2015), а также полученных в ходе совместных работ (Kusakabe et al., 2002). Большинство публикаций было основано на анализе спутниковых карт температуры поверхности океана с использованием материалов судовых съемок, в последние годы привлекались карты динамической топографии, построенные по альтиметрическим измерениям, данные наблюдений, полученные при помощи автономных профилирующих зондов с измерителями течений и т.д. В работе (Prants et al., 2018) для изучения динамики вихревых структур в акватории, прилегающей

к побережью Хоккайдо и южных Курильских островов, использовалось численное моделирование с лагранжевым подходом.

Как правило, антициклонические вихри, выходящие к побережью Южных Курил, формируются в результате меандрирования теплого течения Куроисио, реже – Сангарского течения (типизация мезомасштабных структур по характеру их происхождения и траекториям дана в работе (Itoh, Yasuda, 2010)), и характеризуются более высокими значениями температуры и солености по сравнению с окружающими водами. Температура морской воды в районе Южных Курил, к северу от субарктического фронта, имеет сравнительно низкие значения, в особенности в холодном промежуточном слое (1–3°C), который формируется в результате зимнего выхолаживания (Самко, Новиков, 2000; Yasuda, 2003). По результатам судовых исследований, типичные значения температуры (именно этот параметр определяет динамические характеристики вихрей) составляли 18–20°C. Ринги Куроисио являются долгоживущими – для выхода в изучаемый район им требуется около двух лет, вихри Сангарского течения существуют менее продолжительное время, вероятно, за счет меньшего запаса кинетической энергии, они локализуются у южного побережья Хоккайдо и существенно реже выходят к южным Курильским островам (Itoh, Yasuda, 2010).

Интерес к изучению мезомасштабных вихревых структур обусловлен прежде всего их прикладным значением – как на периферии, так и в центральных частях этих образований осуществляется промысел сайры, скумбрии, кальмара Бартрама и других видов морских биологических ресурсов (Самко и др., 2008; Новиков, Самко, 2016). С научной точки зрения интерес к ним связан как с переносом субтропических вод в район Южных Курил, так и с их влиянием на интенсивность различных ветвей холодного течения Ойясио.

Сахалинский филиал ВНИРО регулярно выполняет океанологические исследования в акваториях, прилегающих к южным Курильским островам – главным образом, на океанском шельфе и свале глубин о. Итуруп и Малой Курильской гряды, а также в Южно-Курильском проливе в режиме сопровождения траловых учетных съемок. Из-за преимущественно прибрежного характера морских экспедиций, мезомасштабные вихри обычно не попадают в области, охваченные гидрологическими зондированиями. Единственное исключение составляет теплый антициклонический вихрь, попавший в область океанологических исследований в июне 1999 г., хотя непосредственно в области вихря была выполнена всего одна станция, которая находилась на его северной периферии, на сравнительно небольшом удалении от центра (рис. 1). Полученные материалы наблюдений представляли определенные возможности для изучения температуры и солености, присущие данной мезомасштабной структуре, которая, как выяснилось в ходе исследований, имела необычное, «местное» происхождение, что является редким событием.

Таким образом, целью данной работы было изучение особенностей гидрологических характеристик в этом вихре в сравнении с окружающими водами.

Для определения условий формирования и динамики мезомасштабной вихревой структуры дополнительно привлекались данные наблюдений за температурой поверхности океана (ТПО), а также спутниковой альтиметрии.

Материалы и методы

На рис. 1 представлена схема океанологических станций, выполненных в период экспедиции НИС «Дмитрий Песков» с 10 по 17 июня 1999 г. Расстояние между станциями было достаточно большим (в практике СахНИРО преобладали более плотные съемки), что было не слишком удачно с точки зрения идентификации вихря. Зондирования водной толщи производились до глубины 500 м или до дна в более мелководных районах. Измерения осуществлялись зондом ISTD FSI#1356. На основе материалов океанологической съемки были построены горизонтальные распределения температуры и солёности на различных горизонтах (0, 20, 30, 50, 100, 150, 200 и 250 м). В область изучаемой мезомасштабной структуры (ее положение хорошо видно на карте температуры поверхности океана за 31 мая 1999 г., рис. 1) попала станция E5. В данной работе основное внимание уделено анализу вертикальных распределений температуры и солёности вдоль разрезов E3-E4-E5 и H2-S2-E5-PI3-F5, включавших данную точку.

Расчет условной плотности морской воды по измеренным значениям температуры и солёности, построение горизонтальных и вертикальных распределений

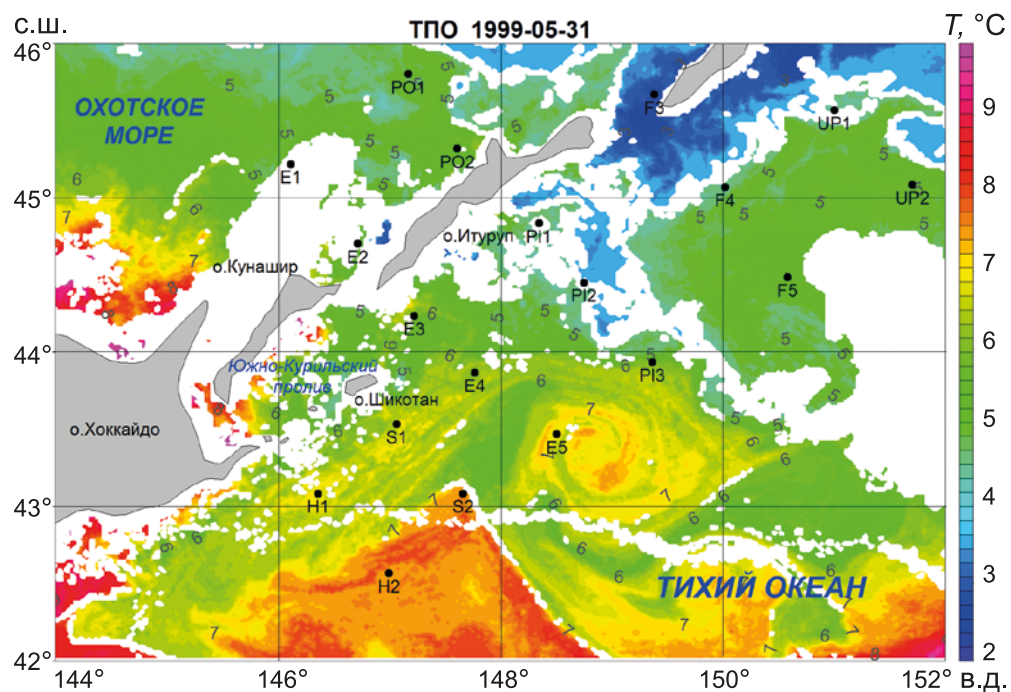


Рис. 1. Распределение ТПО 31 мая 1999 г. по спутниковым данным.

К юго-востоку от о. Шикотан выделяется теплый антициклонический вихрь. Черными точками показана схема станций, выполненных при океанологической съемке в районе Южных Курил в июне 1999 г.

океанологических параметров и *TS*-кривых осуществлялись при помощи специализированного комплекса программ OceanDataView (предоставлен на сайте открытого доступа odv.awi.de).

Для изучения характеристик вихревой структуры использовались также материалы спутниковых измерений температуры морской воды, накопленные в базе данных Сахалинского филиала ВНИРО за 1998–2020 гг. при помощи спутниковой приемной станции TeraScan. Пространственное разрешение данных около 2 км, в базе имеются среднесуточные карты и распределения с декадным усреднением (рассматривался район, ограниченный параллелями 42° и 46°с.ш. и меридианами 142° и 154°в.д.).

По техническим причинам в марте–апреле 1999 г. в базе имелся значительный пропуск в данных наблюдений, поэтому дополнительно использовались материалы наблюдений за температурой поверхности океана (ТПО) с сайта общего доступа (Canada..., 2012) с пространственным разрешением четверть градуса. Поскольку вихри в изучаемой акватории не выделяются отчетливо на картах ТПО, в данной работе применялся искусственный прием, связанный с использованием одной детальной шкалы в 4°С к нескольким диапазонам в шкале температуры.

Большинство мезомасштабных вихрей в океане ярко проявляются в распределениях концентрации хлорофилла-а на поверхности моря – чаще более высокими, а в ряде случаев и более низкими значениями в зависимости от содержания биогенов в переносимой ими воде. Для изучения проявления рассматриваемого вихря использовались данные, полученные в 1999 г. при помощи сканера цветности SeaWIFS, предоставленные на сайте <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>.

Также анализировались очищенные от прилива ряды альтиметрических данных ИСЗ TOPEX/Poseidon (Шевченко, Романов, 2008), главным образом, двух треков, проходивших ближе всего к области вихря.

Результаты и обсуждение

На глубинах до 100 м температура и соленость в области вихря незначительно выше значений океанологических параметров окружающих вод (это также хорошо видно на вертикальных разрезах на рис. 2а, 3а). Более заметные различия отмечены на сравнительно больших глубинах, в частности, на горизонтах 100 и 150 м в области вихря значения температуры около 4°С, в то время как на соседних станциях зафиксированы воды холодного промежуточного слоя (около 1°С). Значение солености на станции Е5 составляло около 33.6 е.п.с., что немногим выше, чем на ближайших станциях (около 33.5 е.п.с.). В поле плотности мезомасштабная структура выделялась очень слабо, в том числе и на карте динамической топографии, построенной относительно горизонта 500 м.

На глубинах 200–250 м температура на станции Е5 практически не изменяется по сравнению с вышележащими слоями, а на соседних станциях несколько

повышается (до 1.5–2°C), значения солёности незначительно возрастают на всех станциях. В поле плотности, как ни удивительно, заметных градиентов выявлено не было.

Более интересную информацию о структуре вихревого образования удалось получить из вертикальных разрезов, построенных в направлении как вдоль берега (станции H2, S2, P13, F5), так и в поперечном направлении (E3–E4–E5), включившим станцию E5.

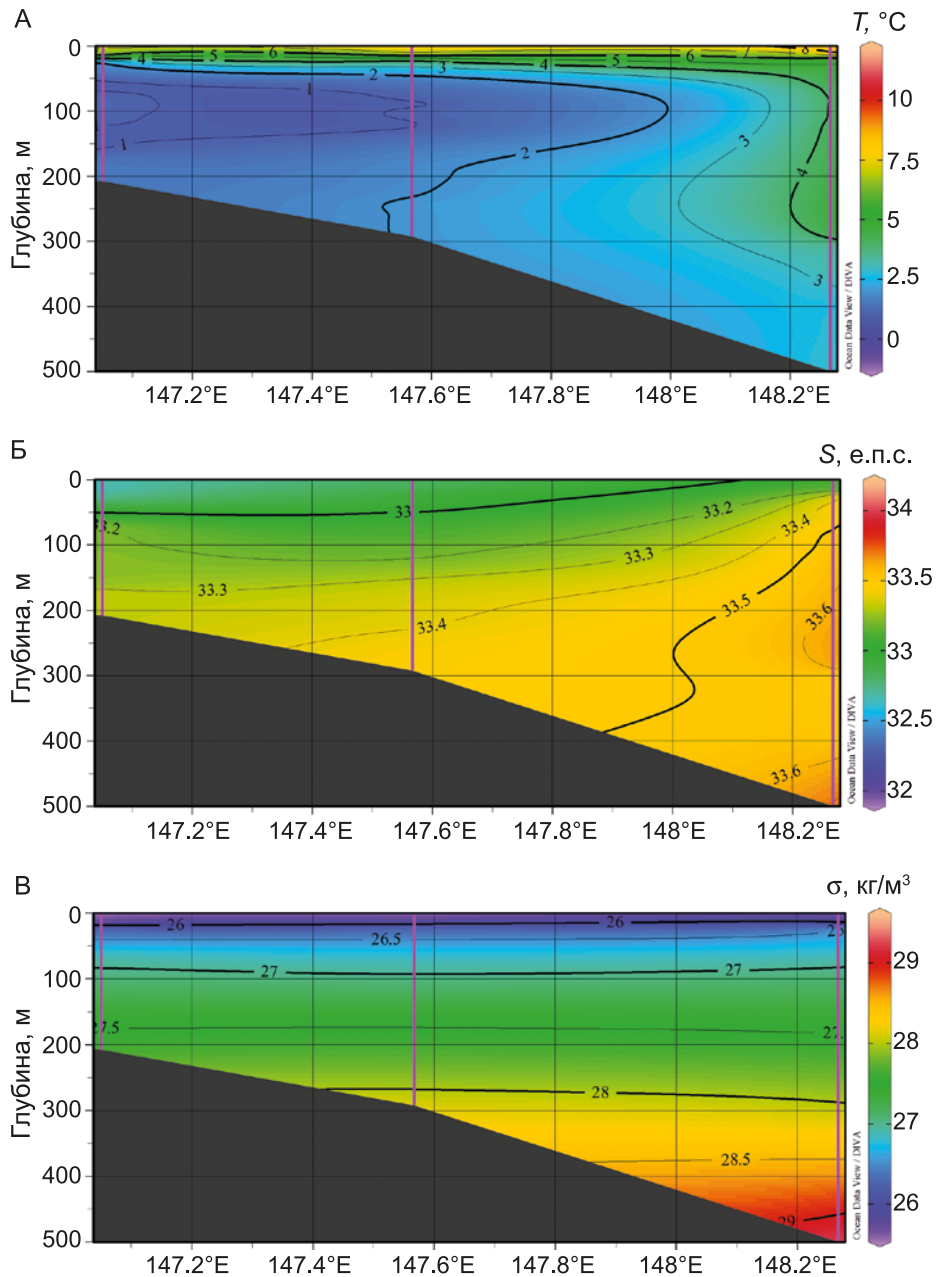


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры (а, в °С), солёности (б, в е.п.с.) и условной плотности морской воды (в, в кг/м³) по разрезу E3–E5 по результатам океанологической съёмки 10–17 июня 1999 г. Положение станций отмечено фиолетовым цветом

Рассмотрим вначале поперечный разрез (рис. 2). Температура воды, имевшая максимум на станции Е5 в поверхностном слое (8.2°C), убывала в направлении берега до 6°C , при этом толщина верхнего прогретого слоя уменьшалась. На шельфе о. Итуруп четко выделяется ядро вод холодного промежуточного слоя с температурами $0.8\text{--}1^{\circ}\text{C}$ на глубинах $50\text{--}150$ м, а на удаленной станции Е5 второй максимум отмечен на глубинах $200\text{--}250$ м (более 4°C). Аналогично соленость уменьшалась в поверхностном слое от 33.2 до 32.8 е.п.с., локальный максимум отмечен на глубине 250 м (более 33.6 е.п.с.) при том, что наибольшие значения зафиксированы на глубине более 400 м. На вертикальном распределении плотности все изопикны горизонтальны, никаких особенностей не выделяется, в том числе и в области вихря.

Еще более интересны вертикальные распределения океанологических параметров вдоль разреза по удаленным станциям области (рис. 3 а–г), охваченной съемкой. Так, в распределении температуры четко выделяется ядро вихря с температурой более 4°C в центральной части разреза на глубинах от 150 до 270 м. И южнее, и севернее отмечены более холодные воды с ядрами ХПС с температурами ниже 1°C на глубинах $40\text{--}200$ м на S2 и $30\text{--}160$ м на станции P13 (на последней отмечены и отрицательные значения на глубинах $50\text{--}80$ м).

Распределение солености имело особенно сложный характер из-за локального максимума на глубинах $200\text{--}250$ м – изогалина 33.5 е.п.с. поднимается на станции Е5 вверх, а 34 е.п.с., напротив, заглублена. Изопикны 28 и 29 $\text{кг}/\text{м}^3$ также заглублены на этой станции, поэтому расчет геострофических течений дает разнонаправленные потоки между станциями S2 и Е5 (по нормали к разрезу, на запад-северо-запад), а также Е5 и P13 (восток-юго-восток). Оценки скоростей невелики, около 10 $\text{см}/\text{с}$, что намного ниже скоростей, полученных в работе (Самко и др., 2008) (около 1 узла). Впрочем, нельзя было рассчитывать на сколько-нибудь точный расчет геострофических потоков при расстояниях между станциями около 1 градуса. К тому же в указанной работе температура воды в ядре вихря была гораздо более высокой, и он был значимо выражен и в материалах спутниковой альтиметрии, а весной 1999 г. вариации уровня океана вдоль трека 212 ИСЗ ТОРЕХ/Poseidon не указывали на наличие структуры антициклонического характера. Это обстоятельство подчеркивает весьма необычный характер изучаемого вихревого образования.

На эту необычность указывают и TS -кривые, построенные для точки Е5 и двух соседних с ней (S2 и P13, рисунки 5а–в). Так, изменения температуры и солености в точках S2 и P13 носят вполне обычный характер: температура вначале резко убывает, достигает минимума в холодном промежуточном слое, а затем медленно возрастает. Соленость равномерно возрастает с глубиной. В то же время на станции Е5 резко выделяется особенность в виде наличия достаточно теплой ($4^{\circ}\text{--}4.6^{\circ}\text{C}$) и соленой водной массы ($33.55\text{--}33.65$ е.п.с.), на глубинах $150\text{--}300$ м образуется своеобразный выступ на TS -кривой, отвечающий параметрам ядра вихря.

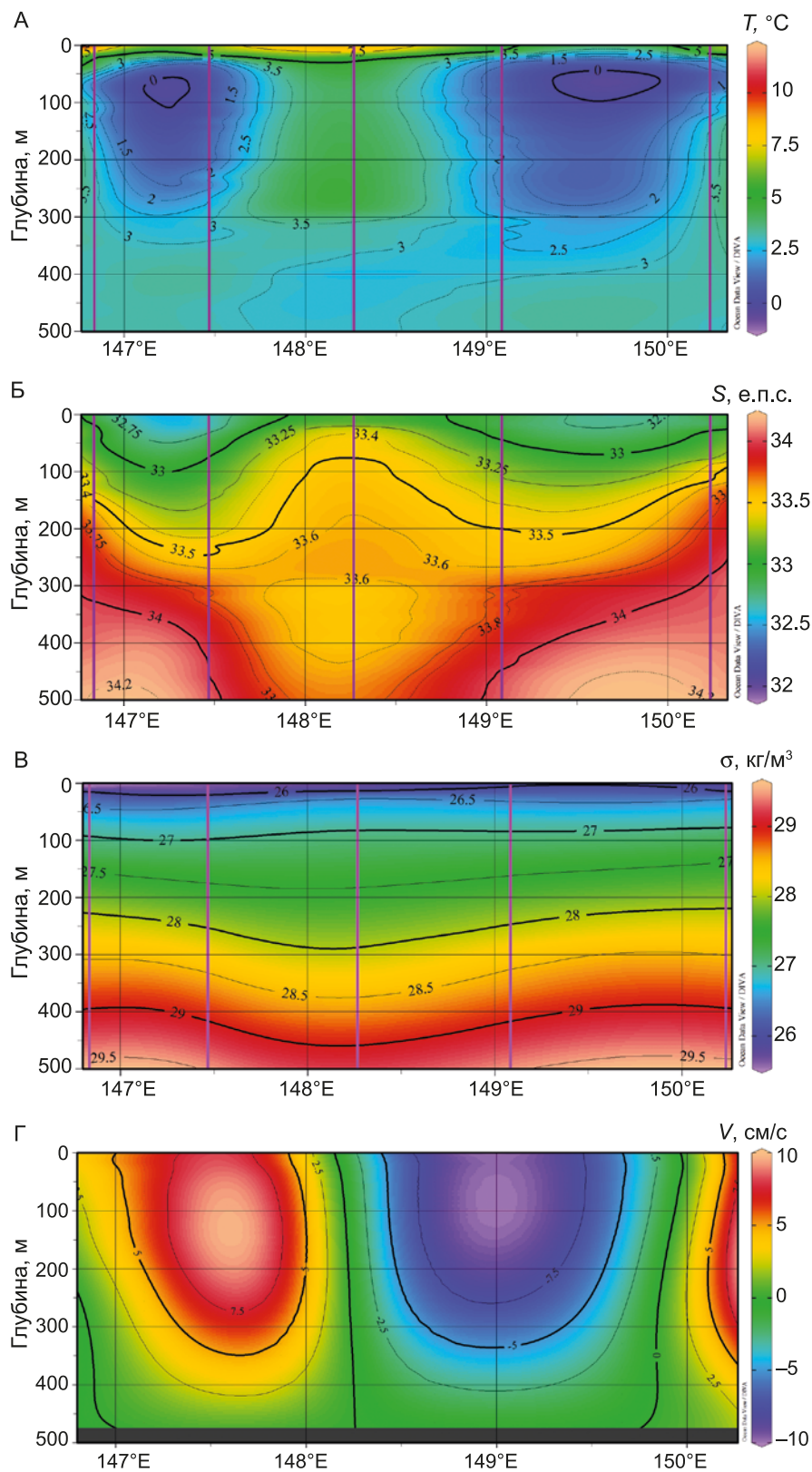


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры (а, в °С), солености (б, в е.п.с.), аномалий плотности морской воды (в, в кг/м³) и скорости течений (г, в см/с, рассчитаны динамическим методом) по разрезу H2-F5 по результатам океанологической съемки 10–17 июня 1999 г. Положение станций отмечено фиолетовым цветом

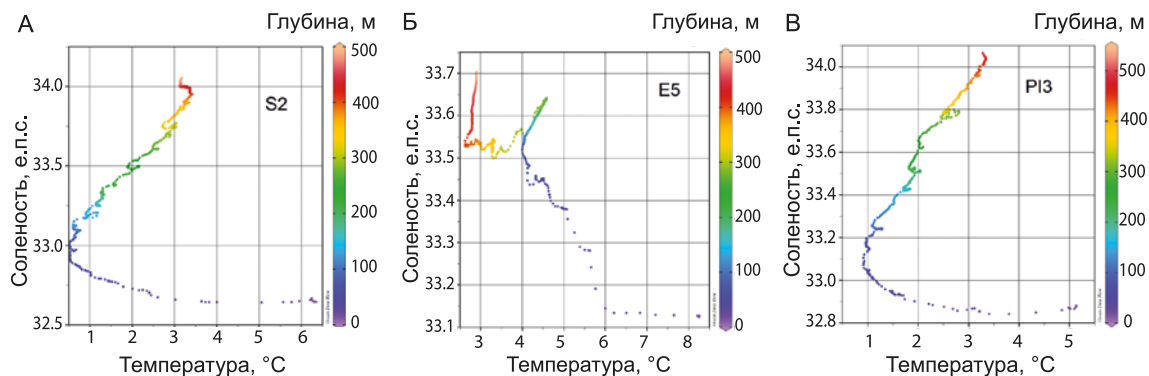


Рис. 4. *TS*-кривые, построенные для точек S2 (а), E5 (б) и P13 (в).

Цветом показана глубина точки измерения

Наличие данных по температуре и солености на каждой станции с интервалом 1 м позволило рассчитать вертикальные профили частоты Вьяйсяля-Брента, а также оценить радиус деформации Россби, который отражает пространственные размеры вихревых образований в изучаемом районе. Частота Вьяйсяля-Брента определяется по формуле:

$$N = (-g/\rho \partial\rho/\partial z)^{1/2},$$

где g – ускорение свободного падения, ρ – плотность; а радиус деформации:

$$Ro = NH/f.$$

Здесь средняя N – осредненная по вертикали частота Вьяйсяля-Брента, H – глубина зондирования, f – параметр Кориолиса.

Вертикальные профили частоты Вьяйсяля-Брента для трех точек (S2, E5 и P13) представлены на рис. 5. На всех станциях они имели приблизительно одинаковый вид, отличительной чертой которого были высокие значения данного параметра в подповерхностном слое (на глубинах 10–30 м), а также в более глубоких слоях, на глубинах около 270–320 м. Для станций S2 и P13 это нижняя граница холодного промежуточного слоя, а для E5 – теплого ядра вихря.

Осредненные значения частоты N на всех станциях близки, от 0.0072 c^{-1} , в точке P13 до 0.0074 c^{-1} на станции E5, находившейся в области вихря. При глубине зондирования 500 м и вариациях параметра Кориолиса от $1.58 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ до $1.61 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, на всех станциях были получены значения радиуса Россби около 220 км, что примерно вдвое больше диаметра вихревой структуры, определенного по карте ТПО (рис. 1).

Как отмечалось выше, антициклонические вихри, достаточно часто регистрируемые над глубоководным желобом в районе южных Курильских островов, генерируются в результате меандрирования теплых течений Куроисио и Сангарское, и температура воды в ядрах вихревых структур была значительно выше, чем в вихре, который наблюдался вблизи о. Шикотан весной 1999 г. Это указывает на принципиально иной механизм его образования. Чтобы попытаться разобраться в ситуации, мы использовали доступные данные по температуре поверх-

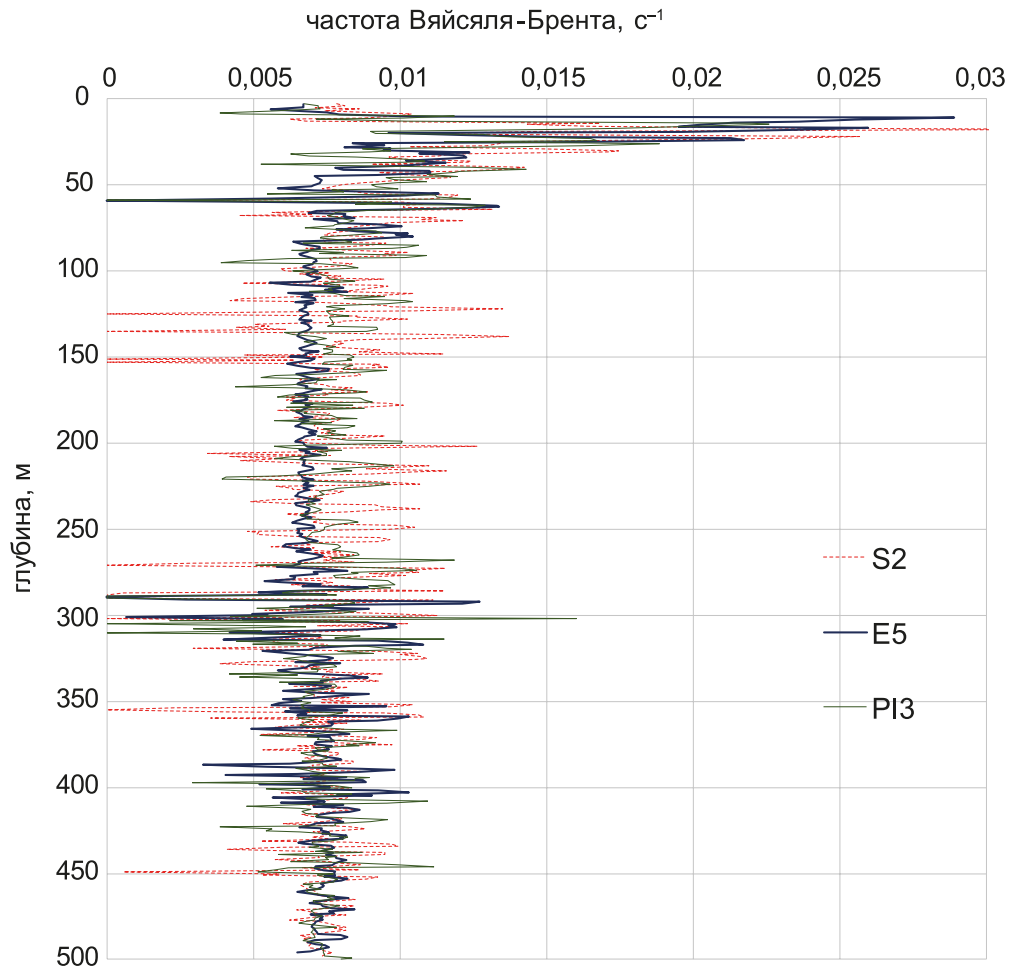


Рис. 5. Вертикальные профили частоты Вэйсяля-Брента, построенные для точек S2, E5 и P13

ности океана, взятые с сайта (Canada ..., 2012) (с середины марта в базе данных СахНИРО данные отсутствовали из-за технических проблем в течение немногим более двух месяцев). Эти материалы позволили рассмотреть вопрос образования вихревой структуры более детально. Пространственные распределения ТПО в детальном представлении, с повторяющейся шкалой температур через каждые 4°C , приведены на рис. 6.

Процесс формирования вихря в середине марта четко идентифицируется на картах распределения ТПО в указанном представлении. Во второй декаде марта 1999 г. наблюдалось его выделение в результате взаимодействия субарктического фронта с течением Ойясио, струя которого проходила вдоль юго-восточного побережья о. Хоккайдо. Этот процесс начался 11 марта, 16 числа вихрь окончательно сформировался и 21 отделился от фронта (рис. 6а, б). В момент выделения вихря температура воды в поверхностном слое в нем составляла $4^{\circ}\text{--}5^{\circ}\text{C}$, что существенно выше, чем в зоне влияния течения Ойясио ($1^{\circ}\text{--}2^{\circ}\text{C}$), но несколько ниже, чем в области к югу от субарктического фронта ($6^{\circ}\text{--}7^{\circ}\text{C}$). Контраст с окружающими водами был не так велик, и без искусственного приема с применением повторяющейся

шкалы определить момент образования антициклонического вихря было бы очень сложно.

В течение апреля вихрь медленно смещался вдоль побережья Малой Курильской гряды и к маю оказался юго-восточнее о. Шикотан, а затем практически не изменял своего положения (рис. бв, г). Скорее всего, его дальнейшему продвижению в восток-северо-восточном направлении препятствовало течение Ойясио. Вихрь из-за относительно слабого контраста идентифицировался не на всех картах ТПО, однако момент его исчезновения удалось определить достаточно точно.

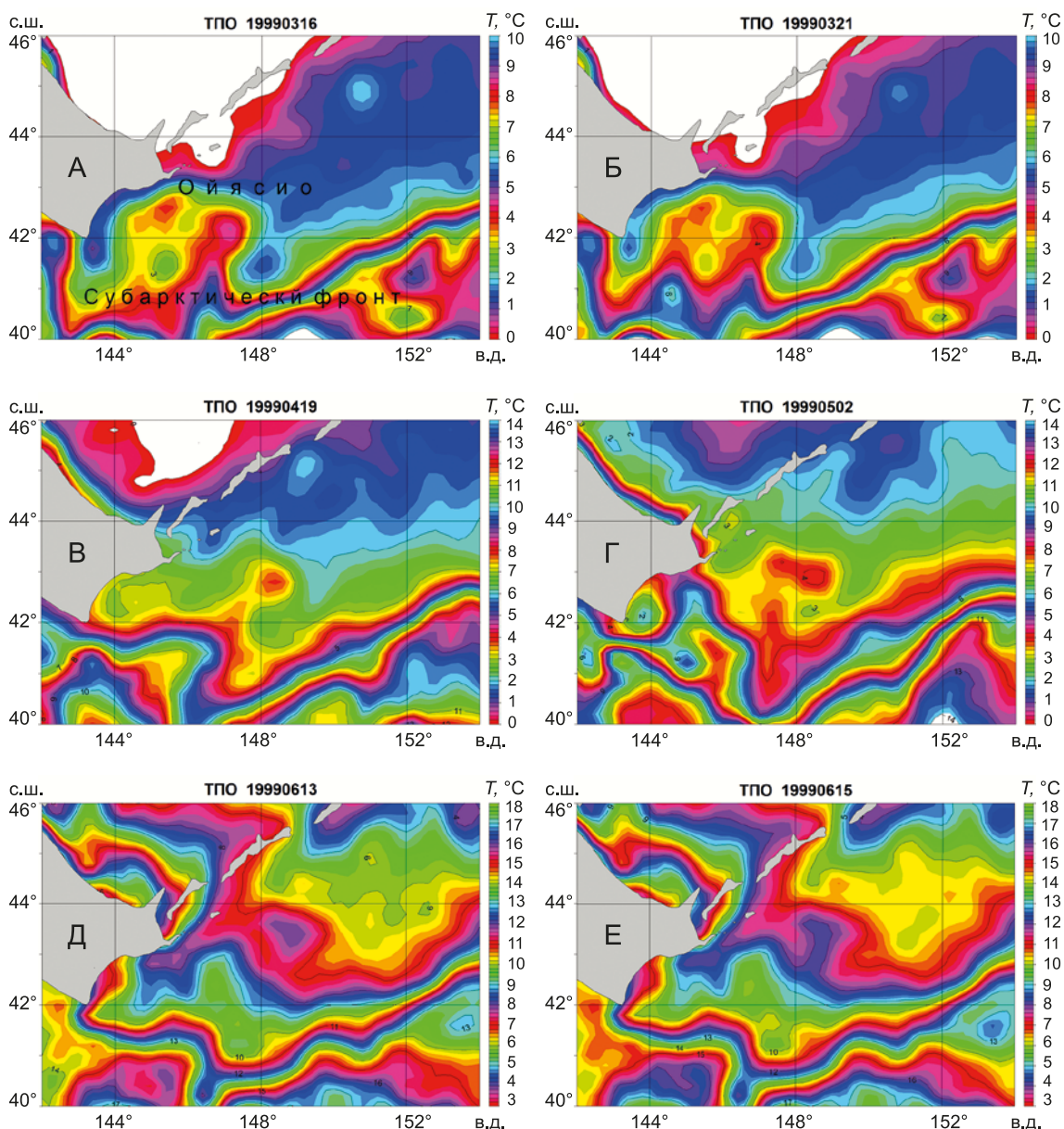


Рис. 6. Распределение температуры поверхности океана 16 (а) и 21 (б) марта, 19 апреля (в), 2 мая (г), 13 (д) и 15 (е) июня 1999 г. по спутниковым данным (в °С, детальное представление)

На рис. 6д, е представлены карты распределения температуры поверхности моря за 13 и 15 июня 1999 г. На первом из них антициклонический вихрь четко выделяется как зона более высоких значений температуры (около 8°C) по сравнению с окружающими водами (5° – 6°C). Но уже через сутки он начал соединяться с субарктическим фронтом и вскоре прекратил свое существование. Таким образом, океанологическая съемка позволила определить характеристики этого вихря практически накануне его диссипации, что, впрочем, не удивительно, так как полученные оценки скорости течений были слишком низкими для его сохранения. Похожая картина типична для прекращения жизни большинства подобных образований, теряющих свою энергию под влиянием турбулентного трения (Жмур, 2010; Кошляков, Белокопытов, 2020). Близость субарктического фронта к району распада вихревой структуры способствовала присоединению к находящейся к югу от него теплой водной массе, остававшейся в области вихря теплой воды.

Таким образом, анализ спутниковых карт ТПО позволил определить время (последняя декада марта) и место (около 42° с.ш. и 146.5° в.д.) образования антициклонического вихря. Необходимая для его формирования механическая энергия, скорее всего, была обеспечена течением Ойясио, которое обычно достаточно активно в этот период года (Истоки..., 1997). Хотя оценки скорости течения в вихре были, возможно, несколько занижены из-за большого расстояния между станциями, все же они в несколько раз ниже, чем в более теплых рингах, сформировавшихся в результате меандрирования теплых течений Куроисио и Сангарское (Самко и др., 2008; Новиков, Самко, 2016; Itoh, Yasuda, 2010; Prants et al., 2018).

На рис. 7 представлены карты распределения концентрации хлорофилла-а на поверхности моря, полученные при помощи сканера SeaWiFS. В марте и апреле вихрь на этих распределениях никак не выделялся, поэтому прояснить с помощью этих материалов момент образования вихря не удалось. Первые проявления более активного цветения микроводорослей в его области появились в начале мая 1999 г. (рис. 7а, б), причем содержание фитопигмента быстро возрастало, и он четко выделялся на фоне низких значений в окружающих водах. При этом значительно более высокие значения концентрации хлорофилла-а отмечены на некотором удалении от него, на акватории Южно-Курильского пролива, а в середине мая – и в зоне течения Ойясио.

Во второй и третьей декадах мая началось активное цветение микроводорослей в водах, окружающих вихрь (рис. 7в, г), однако в начале июня он снова ярко выделялся высоким содержанием фитопигмента. Но в начале второй декады уже видны только остаточные следы вихревой структуры, прекратившей свое существование, что согласуется с результатами анализа карт ТПО.

Таким образом, рассмотренный в данной работе антициклонический вихрь в районе южных Курильских островов был местного происхождения, таковые до настоящего времени не рассматривались в научной литературе. Очевидно, подобные структуры формируются непосредственно в данном районе достаточно редко, их кинетическая энергия сравнительно невелика, существуют они недолго.

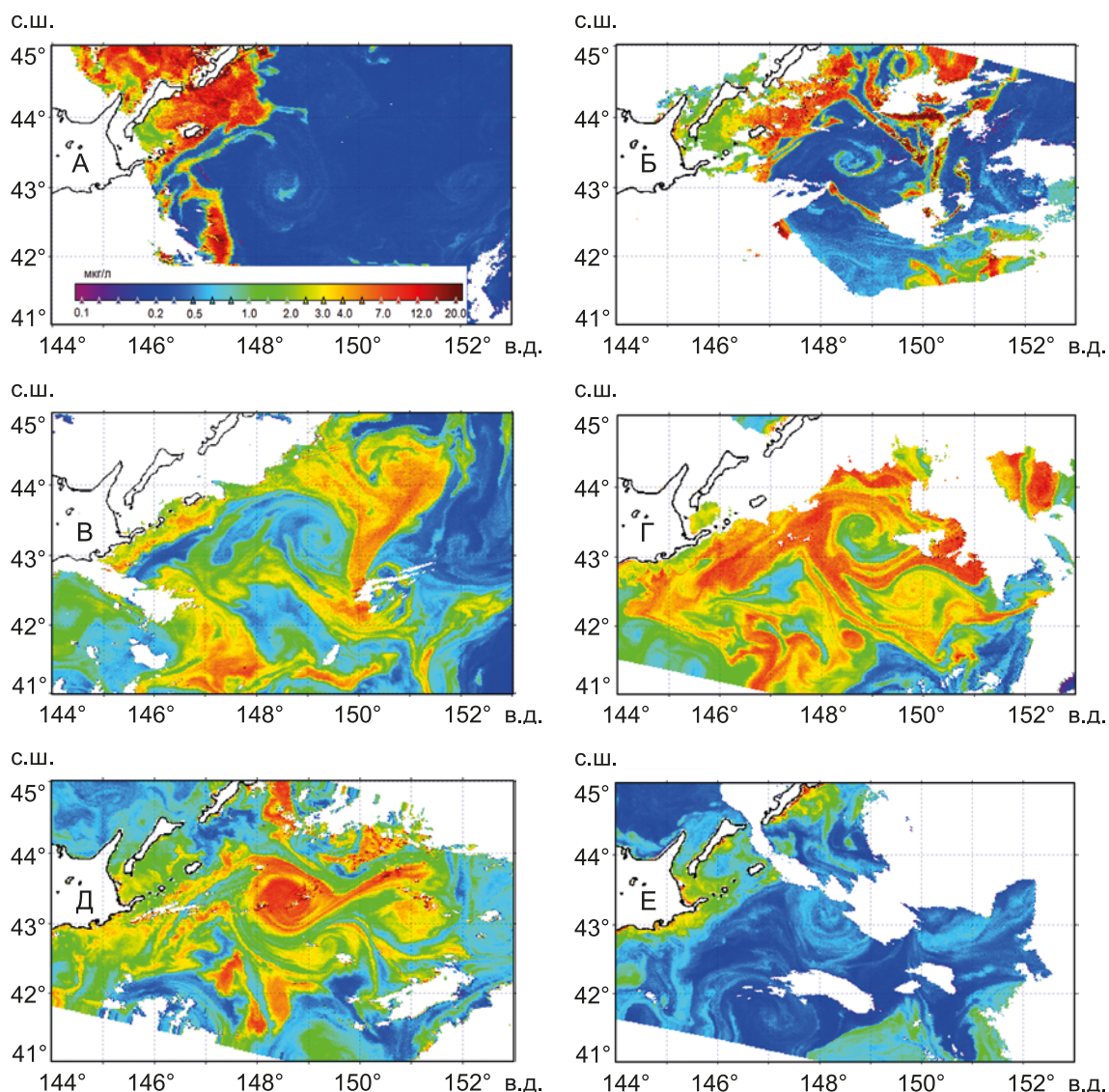


Рис. 7. Распределение концентрации хлорофилла-а (в мкг/л) по данным сканера цветности SeaWiFS 3 (а), 13 (б), 21 (в) и 31 (г) мая, а также 9 (д) и 22 (е) июня 1999 г.

Сложно сказать, оказывают ли мезомасштабные структуры этого типа влияние на промысел, такими данными мы не располагаем (во время съемки траления не выполнялись, служба срочных судовых донесений в 1999 г. еще не работала).

Заключение

В результате выполненного анализа материалов океанографической съемки и спутниковых данных исследованы характеристики антициклонического вихря, наблюдавшегося в районе южных Курильских островов весной 1999 г. Результаты анализа спутниковых карт ТПО показали, что он сформировался вблизи субарктического фронта во второй декаде марта (вероятно, в результате взаимодействия со струей холодного течения Ойясио) и диссипировал во второй декаде июня (после

его распада остатки теплой воды присоединились к теплой водной массе, располагавшейся к югу от субарктического фронта). По своему происхождению он сильно отличался от других антициклонических рингов, наблюдавшихся в данном районе, которые обычно формируются в результате меандрирования течений Куроисио и Сангарское (Самко и др., 2008; Новиков, Самко, 2016; Itoh, Yasuda, 2010).

Рассматриваемая вихревая структура характеризовалась более ранним началом цветения микроводорослей по сравнению с окружающими водами в первой половине мая, что, скорее всего, обусловлено более высокими значениями температуры в его теле. Во второй половине месяца более высокие значения концентрации хлорофилла-а отмечались уже вокруг вихря, а в первой декаде июня ситуация вновь изменилась на противоположную. Во второй декаде этого месяца были видны лишь слабые следы вихря, что подтверждает момент прекращения его существования, определенный по данным о температуре поверхности океана.

По результатам океанологической съемки выявлено, что ядро вихря находилось на глубинах 150–300 м и характеризовалось значениями температуры 4°–4.6°C и солености 33.55–33.65 е.п.с., что существенно меньше значений, характерных для антициклонических вихрей иного происхождения. Скорости обусловленных им течений (около 10 см/с) также были в несколько раз меньше типичных значений и недостаточны для продолжения его существования, что подтверждается распадом вихря через несколько дней после выполнения зондирований.

Изучаемый вихрь достаточно слабо выделялся в поле плотности как на горизонтальных, так и на вертикальных распределениях, а также на карте динамической топографии, построенной по результатам съемки. Характерных для антициклонических вихрей повышений уровня моря не отмечено весной 1999 г. и по данным спутниковой альтиметрии, хотя его центр в мае–июне находился вблизи трека 212 ИСЗ ТОРЕХ/Poseidon. Сравнительно слабо выделялся он и на спутниковых картах температуры поверхности океана, в этом заключалась специфика рассматриваемого мезомасштабного образования.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность рецензентам, которые помогли им существенно улучшить качество этой статьи.

Литература

- Истоки Ойясио. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. 248 с.
- Жмур В.В. Мезомасштабные вихри океана. М.: ГЕОС, 2010. 284 с.
- Кошляков М.Н., Белокопытов В.Н. Синоптические вихри открытого океана: обзор экспериментальных исследований // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. № 6. С. 613–627.
- Новиков Ю.В., Самко Е.В. Особенности межгодовой изменчивости океанологических условий в период промысла сайры в Южно-Курильском районе в 2002–2012 гг. // Труды ВНИРО. 2016. Т. 164. С. 75–85.

- Самко Е.В., Булатов Н.В., Капиштер А.В.* Два типа антициклонических вихрей к востоку от Японии: происхождение, характеристики, влияние на промысел // Известия ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 190–203.
- Самко Е.В., Новиков Ю.В.* Сезонная изменчивость термохалинных характеристик вод деятельного слоя Прикурильского района Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2000. № 5. С. 87–93.
- Шевченко Г.В., Романов А.А.* Энергетические характеристики приливных и непериодических колебаний уровня Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии // Исследование Земли из космоса. 2008. № 6. С. 67–76.
- Canada Meteorological Center. 2012. CMC 0.2 deg global sea surface temperature analysis. Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed (YYYY-MM-DD) at <https://doi.org/10.5067/GHSMC-4FM02>.
- Itoh S. and Yasuda I.* Characteristics of mesoscale eddies in the Kuroshio–Oyashio Extension Region detected from the distribution of the sea surface height anomaly // Journal of Physical Oceanography. 2010. Vol. 40. P. 1018–1034.
- Kaneko H., Itoh S., Kouketsu S., Okunishi T., Hosoda S., and Suga T.* Evolution and modulation of a poleward-propagating anticyclonic eddy along the Japan and Kuril–Kamchatka trenches // J. G JGR: Oceans. 2015. Vol. 120. P. 4418–4440.
- Kawamura H., Mizuno K., and Toba Y.* Formation process of a warm-core ring in the Kuroshio–Oyashio frontal zone – December 1981–October 1982 // Deep Sea Research. 1986. Part A – Oceanographic Research Papers. Vol. 33. Iss. 11–12. P. 1617–1640.
- Kusakabe M., Andreev A., Lobanov V., and Zhabin I.* Effects of the Anticyclonic Eddies on Water Masses, Chemical Parameters and Chlorophyll Distributions in the Oyashio Current Region // Journal of Oceanography. 2002. Vol. 58. P. 691–701.
- Prants S.V., Budyansky M.V., and Uleysky M.Yu.* How eddies gain, retain, and release water: A case study of a Hokkaido anticyclone // JGR: Oceans. 2018. Vol. 123. Iss. 3. P. 2081–2096.
- Yasuda I.* Hydrographic structure and variability in the Kuroshio–Oyashio transition area // Journal of Oceanography. 2003. Vol. 59. P. 389–402.

**CHARACTERISTICS OF ANTICYCLONIC EDDY FORMED
AT THE PACIFIC COAST OF THE SOUTHERN KURIL ISLANDS
IN THE SPRING 1999**

Shevchenko G.V.^{1,2}, Tsoy A.T.¹, Chastikov V.N.¹

¹ Sakhalin branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography,
196, ul. Komsomolskaya, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia,
e-mail: Shevchenko_zhora@mail.ru

² Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS,
1-B, Nauki str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

Submitted 09.03.2021, accepted 24.05.2021.

Based on the analysis of oceanographic survey materials and sea surface temperature satellite observations, the conditions of formation and characteristics of the anticyclonic eddy located in the region of the South Kuril Islands in the spring of 1999 were studied. It was shown that it separated from the subarctic front as result of its interaction with the Oyashio current stream in the second half of March and ceased to exist in mid-June, which is also confirmed by observations of the concentration of chlorophyll-a. In contrast the eddies formed as a result of meandering of the warm Kuroshio and Tsugaru currents, the eddy core, located at depths of 150–300 m, was characterized by lower values of temperature and salinity (4°–4.6°C and 33.55–33.65 psu) and low current velocities (about 10 cm/s). The eddy was rather weakly distinguished in the density field both on horizontal and vertical distributions, as well as according to satellite altimetry data.

Keywords: eddy, temperature, salinity, chlorophyll-a, density, South Kuril Islands

Acknowledgements: The authors express their sincere gratitude to the reviewers who helped them significantly improve the quality of this article.

References

- Canada Meteorological Center, 2012: CMC 0.2 deg global sea surface temperature analysis. Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [YYYY-MM-DD] at <https://doi.org/10.5067/GHCMC-4FM02>.
- Istoki Ojyasio, 1997: Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 248 p.
- Itoh, S. and I. Yasuda, 2010: Characteristics of mesoscale eddies in the Kuroshio–Oyashio Extension Region detected from the distribution of the sea surface height anomaly. *Journal of Physical Oceanography*, 40, 1018–1034.
- Kaneko, H., S. Itoh, S. Kouketsu, T. Okunishi, S. Hosoda, and T. Suga, 2015: Evolution and modulation of a poleward-propagating anticyclonic eddy along the Japan and Kuril–Kamchatka trenches. *JGR: Oceans*, 120, 4418–4440.
- Kawamura, H., K. Mizuno, and Y. Toba, 1986: Formation process of a warm-core ring in the Kuroshio–Oyashio frontal zone–December 1981–October 1982. *Deep Sea Research, Part A - Oceanographic Research Papers*, 33(11–12), 1617–1640.
- Koshlyakov, M.N. and V.N. Belokopytov, 2020: Sinopticheskie vihri otkrytogo okeana: obzor eksperimental'nyh issledovaniy (Synoptic eddies of the open ocean: a review of experimental studies). *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal*, 36(6), 613–627.

- Kusakabe, M., A. Andreev, V. Lobanov, and I. Zhabin, 2002: Effects of the anticyclonic eddies on water masses, chemical parameters and chlorophyll distributions in the Oyashio Current region. *Journal of Oceanography*, 58, 691–701.
- Novikov, Ju.V. and E.V. Samko, 2016: Osobennosti mezhgodovoj izmenchivosti okeanologicheskikh uslovij v period promysla sajry v Juzhno-Kuril'skom rajone v 2002–2012 gg. (Features of interannual variability of oceanological conditions during the saury fishery in the South Kuril region in 2002–2012). *Trudy VNIRO*, 164, 75–85.
- Prants, S.V., M.V. Budyansky, and M.Yu. Uleysky, 2018: How eddies gain, retain, and release water: A case study of a Hokkaido anticyclone. *JGR: Oceans*, **123**(3), 2081–2096.
- Samko, E.V., N.V. Bulatov, and A.V. Kapshiter, 2008: Dva tipa anticiklonicheskikh vihrej k vostoku ot Japonii: proishozhdenie, harakteristiki, vlijanie na promysel (Two types of anticyclonic eddies east of Japan: origin, characteristics, impact on fishing). *Izvestija TINRO*, 154, 190–203.
- Samko, E.V. and Yu.V. Novikov, 2000: Sezonnaya izmenchivost' termohalinnykh harakteristik vod deyatelnogo sloya Prikuril'skogo rajona Tihogo okeana (Seasonal variability of the thermohaline characteristics of the waters of the active layer of the Kuril region of the Pacific Ocean). *Meteorologiya i gidrologiya*, 5, 87–93.
- Shevchenko, G.V. and A.A. Romanov, 2008: E`nergeticheskie xarakteristiki prilivny`x i neperiodicheskix kolebanij urovnya Oxotskogo morya po dannym sputnikovoj al`timetrii (Energy characteristics of tidal and residual sea level fluctuations in the Sea of Okhotsk according to satellite altimetry data). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 6, 67–76.
- Yasuda, I., 2003: Hydrographic structure and variability in the Kuroshio-Oyashio transition area. *Journal of Oceanography*, 59, 389–402.
- Zhmur, V.V., 2010: *Mezomasshtabnye vihri okeana (Mesoscale ocean eddies)*. Moscow, GEOS, 284 p.