

Характеристики антициклонических вихрей различного происхождения и их влияние на промысел сайры и кальмара Бартрама юго-восточнее о. Хоккайдо

Е.В. Самко, Н.В. Булатов, А.В. Капштер

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

По спутниковым ИК и альтиметрическим данным, полученным в 2004 и 2005 гг., с привлечением доступных судовых данных проведено сравнение характеристик двух антициклонических вихрей различного происхождения и описано их влияние на положение районов промысла сайры и кальмара. Первый из них образовался как ринг Куроисио с теплым ядром и имел довольно однородное теплое ядро, окруженное водами Ойясио; второй - сформировался в результате встречи и взаимодействия двух антициклонов, двигавшихся на встречу друг другу, один – вдоль фронта Куроисио с востока, второй – от первой ветви Куроисио на восток. Он имел спиралевидную интрузионную структуру; внутри вихря перемешивались теплые и холодные вторжения (стримеры). Соответственно, в первом случае, промысловые участки формировались на северном фронте вихря и на его границе со второй ветвью Ойясио. Ни одного улова внутри вихря отмечено не было. Во втором случае, промысловые участки формировались не только на фронтах вихря, но и значительная часть скоплений находилась внутри вихря на фронтах теплых и холодных стримеров, а затем в смешанных водах.

Введение

Анализ спутниковых ИК изображений, полученных со спутников NOAA, позволяет утверждать, что взаимодействие Ойясио с антициклоническими вихрями является основным процессом, формирующим условия в районах промысла сайры [1, 2]. В районе юго-восточнее о. Хоккайдо постоянно наблюдаются крупные (100-120 миль в диаметре) антициклонические вихри. Они различаются по происхождению, размерам, термохалинной и динамической структуре [3, 4, 5]. Естественно предположить, что их влияние на распределение промысла будет различным. В представленной работе по спутниковым ИК и альтиметрическим данным, полученным в 2004 и 2005 гг., с привлечением доступных судовых данных проведено сравнение характеристик двух антициклонических вихрей различного происхождения и описано их влияние на положение районов промысла сайры и кальмара.

Материалы и методика

Основой для проведения исследования послужили спутниковые ИК изображения в ложных цветах, полученные с ИСЗ NOAA (радиометр AVHRR). Обработка ИК снимков заключалась в визуальном дешифрировании изображений, по результатам которого строились карты термической структуры поверхности океана. Одновременно производилась океанологическая интерпретация выделенных яркостных неоднородностей (образований).

Помимо спутниковых ИК изображений в работе были использованы:

– альтиметрические данные с сайта AVISO: <http://las.avisioceanobs.com> 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 $1/3^\circ$ по широте и долготе. Далее на основе уравнения для геострофических течений в океане были рассчитаны поля возмущений скорости геострофических течений.

- данные судовых наблюдений, полученные в рейсе НИС «Профессор Кагановский» в ноябре 2005 г. По результатам судовых наблюдений были построены распределе-

ния температуры, солёности и скорости геострофических течений на разрезах, пересекающих вихревые образования.

- данные о промысле сайры и кальмара (позиции судов и уловы).

Образование вихря A24

Вихрь A24, вышедший к южным Курильским островам в 2004 г начал свое формирование в 2002 г. как ринг Куроисио с теплым ядром в результате интенсивного развития первого от Японии меандра Куроисио (144° в.д.), продвинувшегося на север до 41° с.ш. и, затем, отделения его вершины. На рис. 1 показано образование вихря A24 в конце 2002-начале 2003 г.

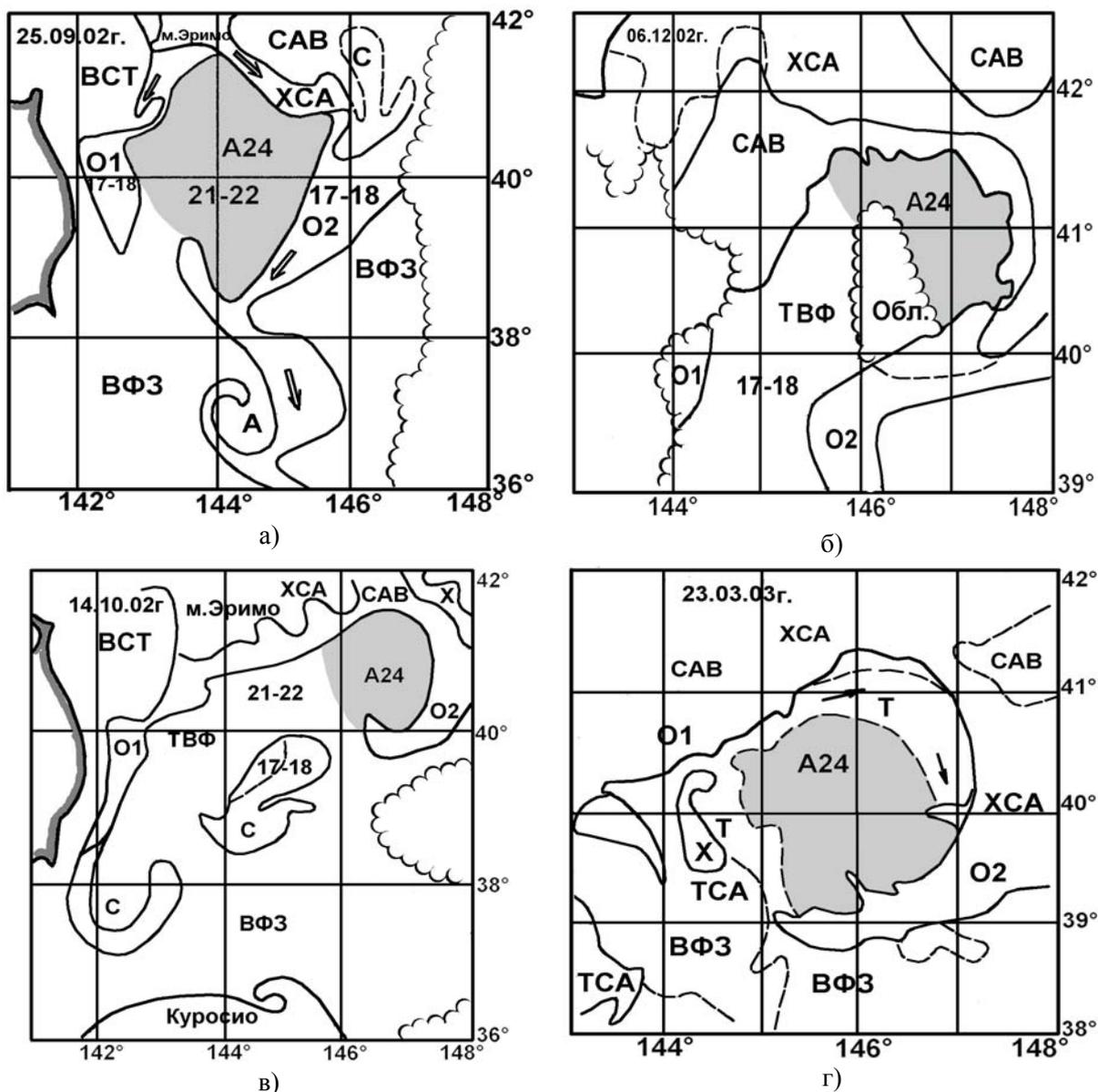


Рис. 1. Образование вихря A24, как ринга Куроисио с теплым ядром.

А) 25.09.2002 г.; Б) 14.10.2002 г.; В) 06.12.2002 г.; Г) 23.03.2003 г.

САВ - Субарктические воды; ТСА - относительно теплые САВ; ХСА - наиболее холодные САВ; ВФЗ - воды фронтальной зоны; ТВФ - теплые ВФЗ; ХВФ - относительно холодные ВФЗ; СТБ - субтропические воды; ХСТ - относительно холодные СТБ; Т - теплые участки; Х - холодные участки; А - антициклонические вихри; С - циклонические вихри; О1, О2 - ветви Ойясио; ВСТ - воды Сангарского течения; стрелки - предполагаемое движение вод; Обл. - облачность

На рис.2 приведена траектория движения центра вихря А24 от образования до начала разрушения. Можно отметить, что в процессе образования вихря его центр сместился в восточном направлении до $146^{\circ}15'$ в.д. В октябре-декабре 2002 г. вихрь, постепенно замедляясь, продвигался в северном направлении. В начале 2003 г. вихрь А24 меняет направление движения на южное и, далее, описывает антициклонический круговорот диаметром около 20 миль. Затем, до апреля 2004 г. вихрь совершает антициклоническую циркуляцию диаметром порядка 100 миль, т.е. сравнимой с размерами вихря. В апреле вихрь возвращается в район малого круговорота ($40^{\circ}20'$ с.ш., $140^{\circ}10'$ в.д.). Средняя скорость перемещения вихря по «большому кругу» достигала 1,5 миль/сутки, что значительно больше средней скорости движения антициклонов составляющей 0,5 миль/сутки [6, 7]. Подобные перемещения антициклонического вихря могут быть связаны как с группой подводных гор, находящихся на юге рассматриваемой акватории и, очевидно, оказывающих влияние на перемещение вихря [8, 9], так и с влиянием других факторов окружающей среды, в частности взаимодействие вихря с другими антициклонами и тепловодными участками. Заметим, что движение антициклонических вихрей по антициклоническому кругу наблюдалось и ранее [6].

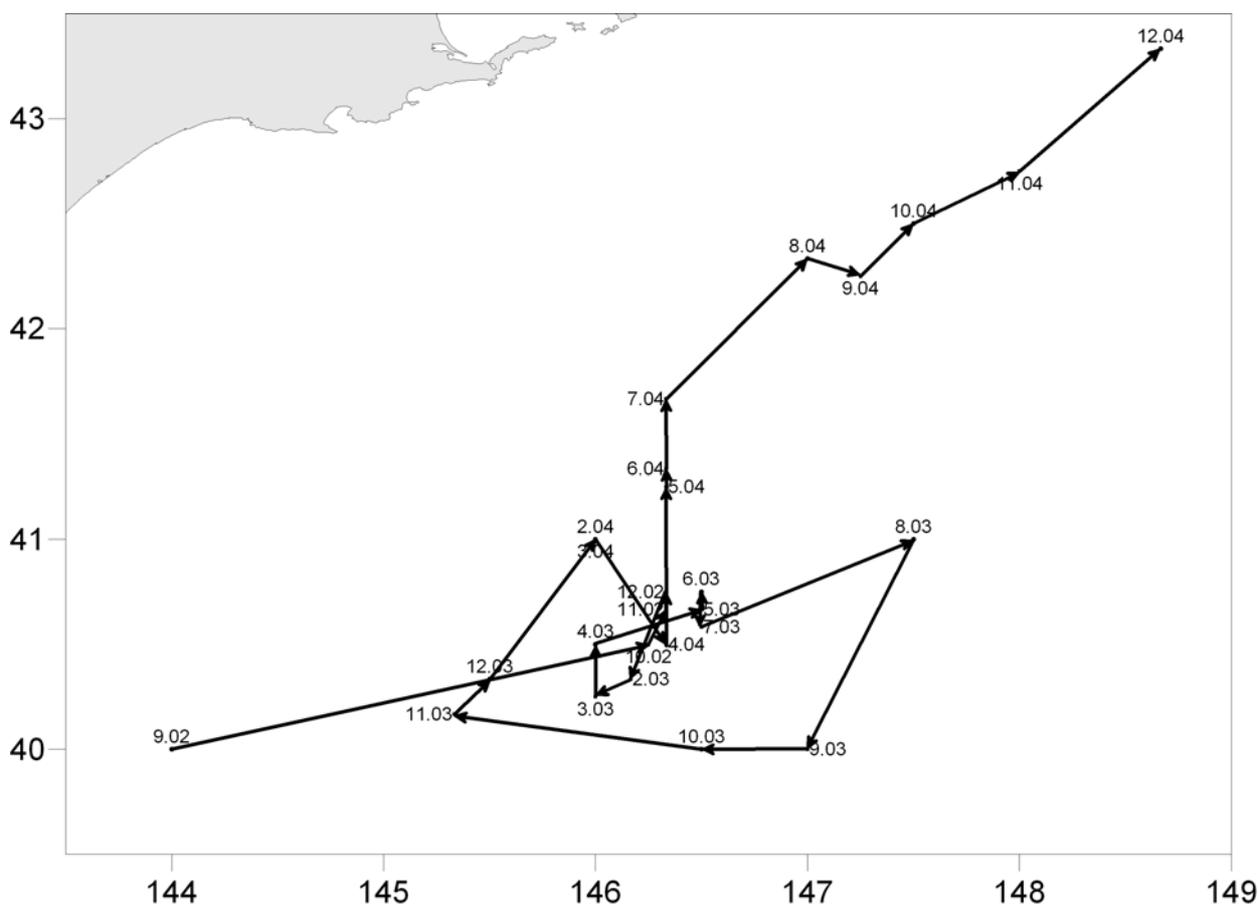


Рис. 2. Траектория вихря А24 от образования до начала разрушения

После апреля 2004 г. вихрь А24 начал движение в северном, а затем в северо-восточном направлении по достаточно часто встречающейся траектории движения антициклонических вихрей вдоль глубоководного желоба [6, 7, 10]. Движение вихря было неравномерным, скорость его варьировала от 0,21 до 2 миль/сутки по скорости (рис. 2). Необходимо отметить, что почти все водные массы, с которыми взаимодействовал вихрь А24, особенно это касается вод южнее 40° с.ш., судя по ИК изображениям антициклонов и накопленному опыту многочисленного сравнения ИК изображений с глубоководными данными судовых наблюдений [11], имели трансформированную субтропическую структуру. Взаимодействуя с ними, вихрь А24 мог присоединять субтро-

пические воды и усиливаться. К апрелю 2004 г., по всей вероятности, он усилился достаточно, для того чтобы двигаться в субарктических водах на север. Поэтому, несмотря на отсутствие судовых глубоководных данных можно с достаточным основанием утверждать, что антициклонический вихрь А24 в 2004 г. представлял собой довольно однородную массу теплой соленой воды, имеющей трансформированную субтропическую структуру. И лишь севернее вихря А24 до конца 2003 г. находилась крупная холодная область (8-11°C) с циклоническим вращением вод (С на рис. 3), сформированная противоположно направленными течениями в первой ветви Ойясио (О1) и антициклоне Ав.

В 2004 г. холодная область С разрушилась. Но субарктические воды с температурой 11-13°C окружили ядро вихря и трансформированные субтропические воды слабо проникали внутрь вихря А24. Его центральная область оставалась достаточно однородной (15-16°C).

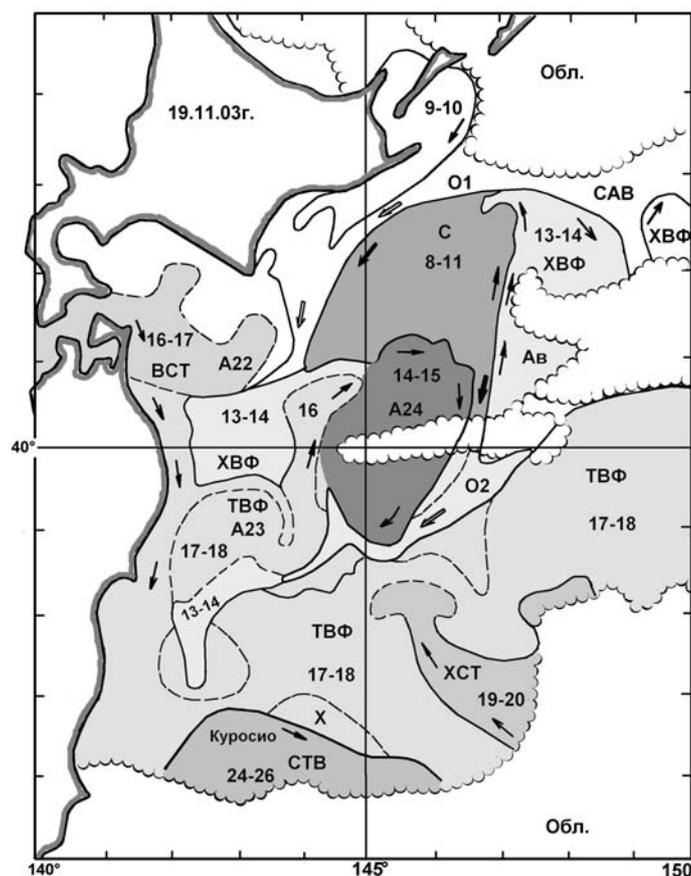


Рис. 3. Взаимодействие вихря А24 с другими теплыми объектами фронтальной зоны в ноябре 2003 года. Условные обозначения рис. 1

Формирование вихря А28

Формирование вихря А28, определявшего гидрологические условия в Южно-Курильском районе в сентябре-ноябре 2005 г. подробно рассмотрены в [12]. Он образовался во фронтальной зоне Куроиси в результате столкновения двух антициклонических вихрей, двигавшихся в противоположных направлениях (рис.4).

Вихрь А26 был теплым рингом Куроиси и находился в апреле 2004 г. в районе 37-38° с. ш. 142-143 в. д.

Антициклонический вихрь (А30) был также теплым рингом Куроиси диаметром 130 миль и наблюдался в южной части фронтальной зоны Куроиси на 151-154° в. д.

В течение 2004 года центр вихря А26 находился в пределах антициклонического вращения вод в северо-восточной ветви Куроиси. Он описывал антициклонические круговороты, по-

степенно приближаясь к побережью о. Хонсю. В декабре 2004 г. вихрь изменил направление движения на восточное и начал удаляться от Хонсю.

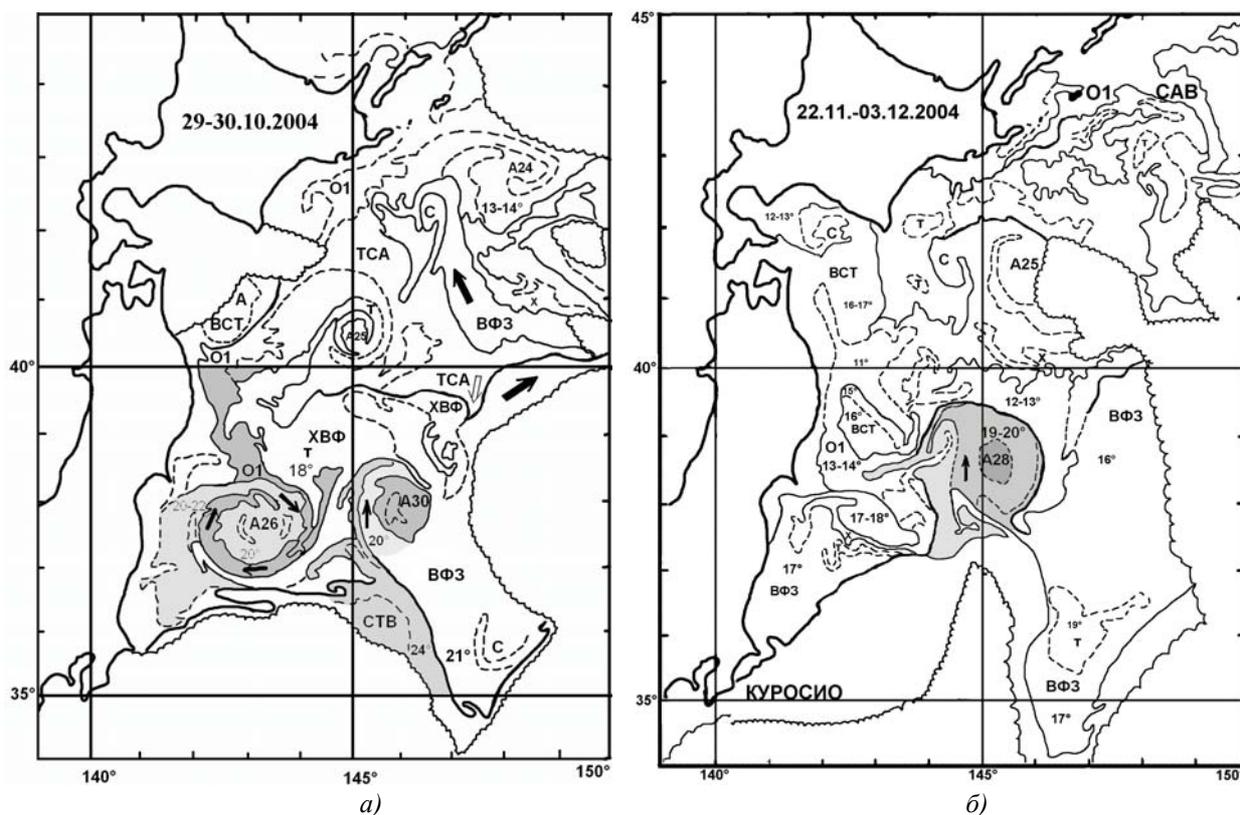


Рис. 4. Формирование вихря А28.
 А) 29-30.10.2004 г.; Б) 22.11.-03.12.2004 г.
 Условные обозначения рис. 1

Вихрь А30 сформировался как обычный антициклонический ринг Куроисио в результате меандрирования течения. В период формирования вихря А30 в январе – марте антициклонический меандр Куроисио смещался на восток вниз по течению. После отрыва от Куроисио вихрь начал довольно быстро смещаться (1-2 мили/сут) в западном направлении (примерно по 37° с. ш.). В районе циклонического меандра Куроисио на 145-147° в.д. центр вихря А30 в августе-сентябре 2004 года описывал циклонический круговорот (рис. 2). В октябре вихрь А30 продолжал двигаться на запад по 37-37°30 с.ш. и в ноябре достиг 145° в.д.

В конце ноября 2004 центр вихря А26 находился на 143° в. д., а центр вихря А30 на 145° в. д. Расстояние между центрами вихрей сократилось до 90-100 миль, и края вихрей начали соприкасаться. Это подтверждалось как ИК изображениями, так и картами ТПО. К середине декабря на 145 в. д. сформировался новый антициклонический вихрь А28 диаметром 100 миль. При этом часть вод вихря А26 осталась вблизи о. Хонсю. После образования вихрь взаимодействовал с Куроисио и довольно быстро продвигался к северу

Траектория его движения в 2005 г. показана на рис.5. скорость перемещения вихря на большей части пути варьировала от 0,3 до 0,8 миль/сутки. Лишь в районе подводного поднятия с центральными координатами 41°30'с.ш., 146°30'в.д. скорость его смещения в восточном направлении составляла 2-3 мили/сутки.

Вихрь А24 вышел к южным Курильским островам (севернее 42°с.ш.) в августе-сентябре 2004 г.; вихрь А28 – в сентябре-октябре 2005 г. К моменту выхода в Южно-Курильский район вихрь А24 был довольно «старым» (существовал около 23 месяцев), в то время как вихрь А28 был значительно «моложе» (10-11 месяцев после взаимодействия образовавших его вихрей, которые до этого существовали не более 6-7 месяцев).

Оба рассматриваемых вихря хорошо выделялись на картах возмущений скорости течения, построенным по альтиметрическим данным (рис. 6). Причем в ринге А24 в 2004 г. наиболее значительные скорости течений отмечались в юго-западном секторе вихря. Значительно реже они наблюдались в северо-западном, юго-восточном и северо-восточном секторах. Это, на наш взгляд, свидетельствует о подпитке вихря теплыми водами фронтальной зоны. Минимальные значения скорости течения, как и следовало ожидать, наблюдались в центральной части вихря. Наибольшие скорости течений отмечались в январе и декабре, то есть в первой половине зимы, а также летом в июне-августе.

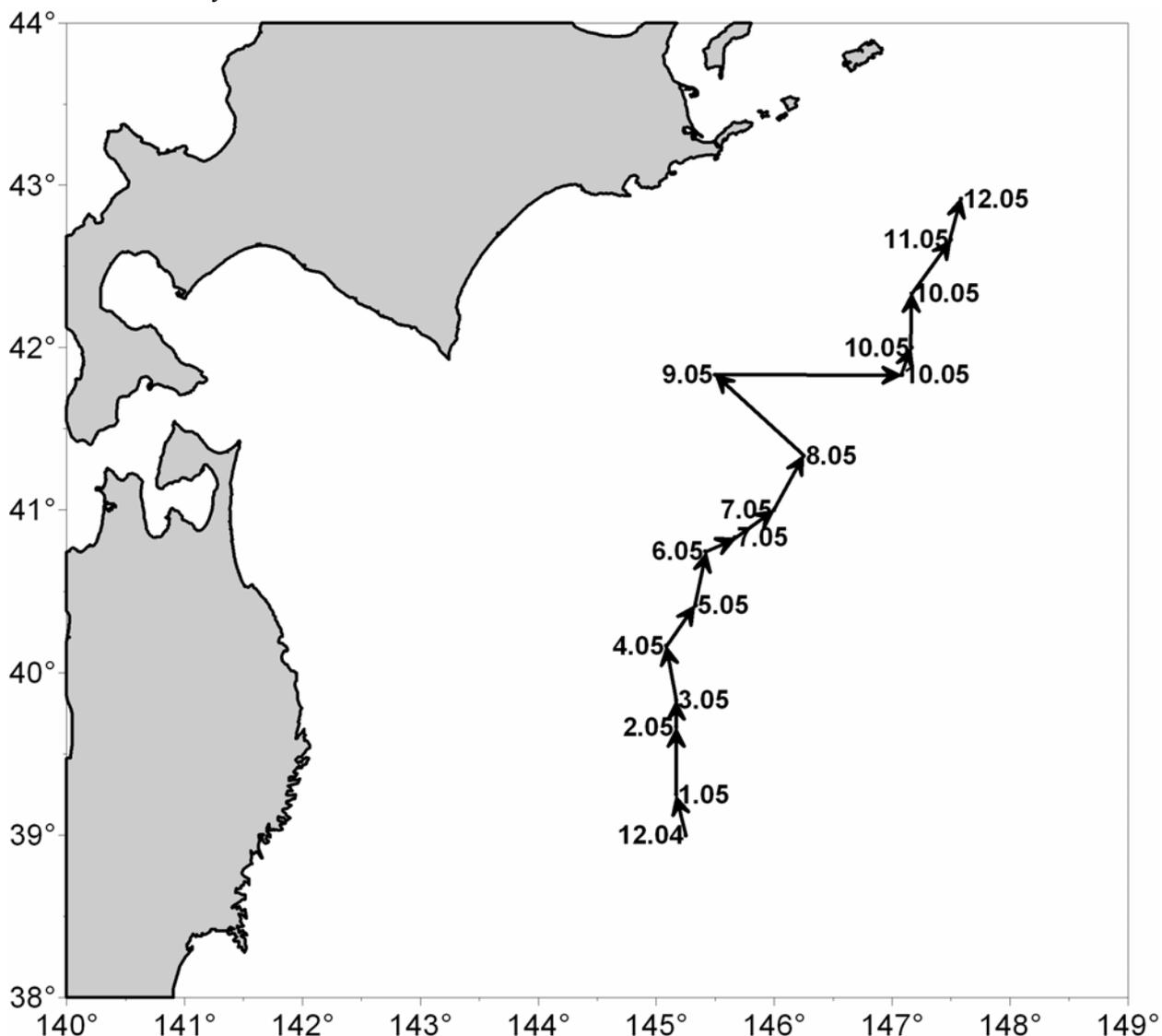


Рис. 5. Траектория движения вихря А28 в 2005 г.

Подобная картина наблюдалась и в вихре А28. Максимальные значения скорости течения наблюдались в юго-западном и северо-западном секторах. Отдельные случаи максимальных скоростей течений отмечались в юго-восточном и северо-восточном секторах вихря. Минимальные значения скорости течения, кроме центральной области вихря, крайне редко отмечались в северо-восточном, юго-восточном и юго-западном секторах вихря, что вероятно связано с более изменчивой вертикальной структурой вихря А28 и окружающих его вод, чем ринга А24.

Отметим, что средняя скорость движения вод в рассматриваемых вихрях была практически одинаковой и для всего периода наблюдений составила 0,32 см/с для вихря А24 и 0,33 см/с для вихря А28.

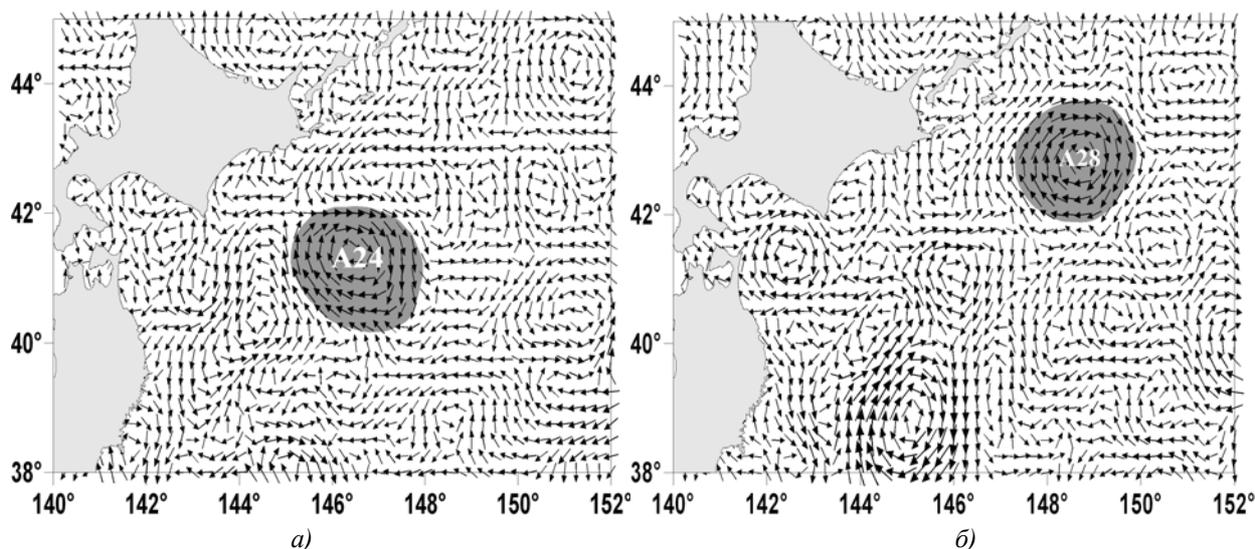


Рис. 6. Вихри A24 и A28 на картах возмущений скорости течений, построенных по альтиметрическим данным. А) 14.02.2004 г.; Б) 2.11.2005 г.

Динамическая и термохалинная структура вихря A28 по данным судовых наблюдений

К сожалению, судовые данные имеются только о вихре A28. Два гидрологических разреза были выполнены НИС «Профессор Кагановский» в ноябре 2005 г. (рис.7) Расстояние между гидрологическими станциями было около 60 миль. Таким образом, пространственное разрешение судовых наблюдений было меньше, чем разрешение альтиметрических данных, и значительно меньше разрешения ИК изображений (0,9-1,0 км)

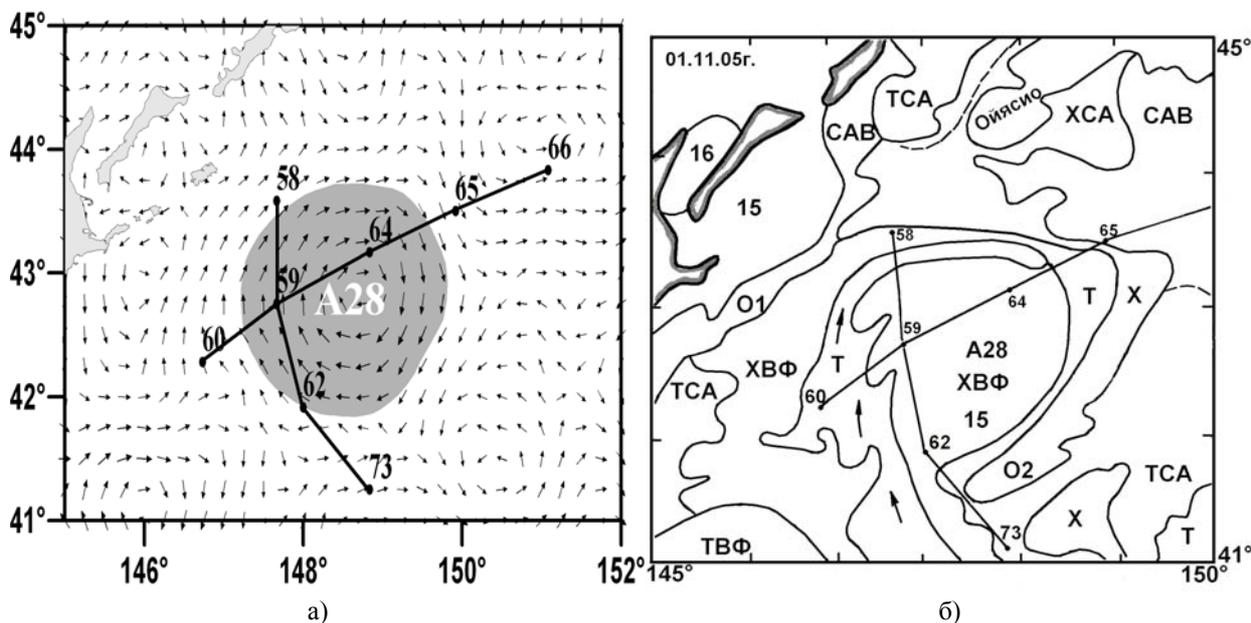


Рис. 7. Расположение гидрологических разрезов, выполненных НИС «Проф. Кагановский» в ноябре 2005 г. в зоне вихря A28, на картах, построенных по альтиметрическим (А) и ИК данным (Б). Условные обозначения рис. 1

Рассмотрим вертикальное распределение динамических и термохалинных характеристик в вихре A28. Направление течения на поверхности соответствует конфигурации теплой области вихря на ИК изображениях и направлению течений, рассчитанных по альтиметрическим данным.

Участок с нулевыми значениями скорости течения в антициклоническом вихре находился между станциями 58 и 59 на первом разрезе и станциями 59 и 64 – на втором (рис.8). Направления течений, наблюдаемые на поверхности, сохраняются во всей рассматриваемой 1000-метровой толще вод, однако ниже глубины 700 м они выражены слабо (2 см/с и менее). Максимальные значения скорости геострофических потоков в антициклоническом вихре наблюдались в поверхностном слое толщиной 100 м (17 см/с на первом и 23 см/с на втором разрезе). Таким образом, по распределению скорости течения в вихре на вертикальных разрезах можно заключить, что основное влияние вихря отмечается до глубины 700 м.

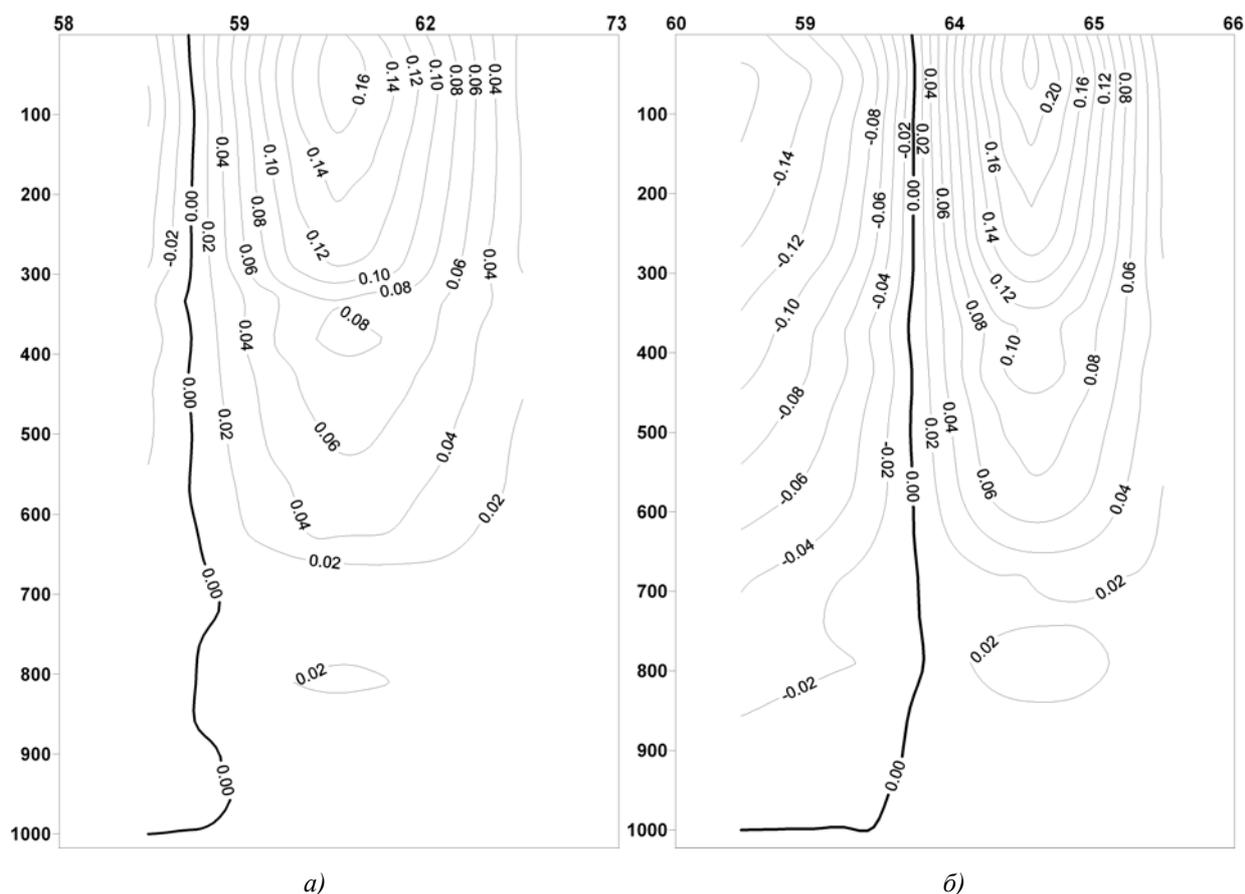


Рис. 8. Распределение скорости (м/с) на гидрологических разрезах
А) разрез 1; Б) разрез 2

Вертикальное распределение температуры и солёности на гидрологических разрезах приведено на рис. 9, 10. Антициклонический характер вихря достаточно ярко проявляется в заглаблении термоклина с 50 до 200 и более метров и холодного промежуточного слоя (температура менее 2,5°C), нижняя граница которого опустилась с 200-270 м до 400-500 м (рис. 9). Наибольшее заглабление наблюдалось на станции 64, расположенной ближе других к центру вихря.

Воздействие вихря А28 в поле солёности проявляется в заглаблении изохалин на глубинах более 200 м вблизи центра антициклонического вихря (станции 59 и 64). Кроме того хорошо видна интрузия вод повышенной солёности (более 33,8-33,9 епс) в подповерхностном слое на тех же станциях (рис. 10). Отметим, что антициклонический прогиб изохалин прослеживался, очевидно, и на глубинах более 1000 м (максимальная глубина наблюдений). Это свидетельствует о том, что антициклонический вихрь А28 имел вертикальную мощность более 1000 м, то есть существенно больше, нежели было отмечено при анализе вертикального распределения скорости на рассматриваемых разрезах.

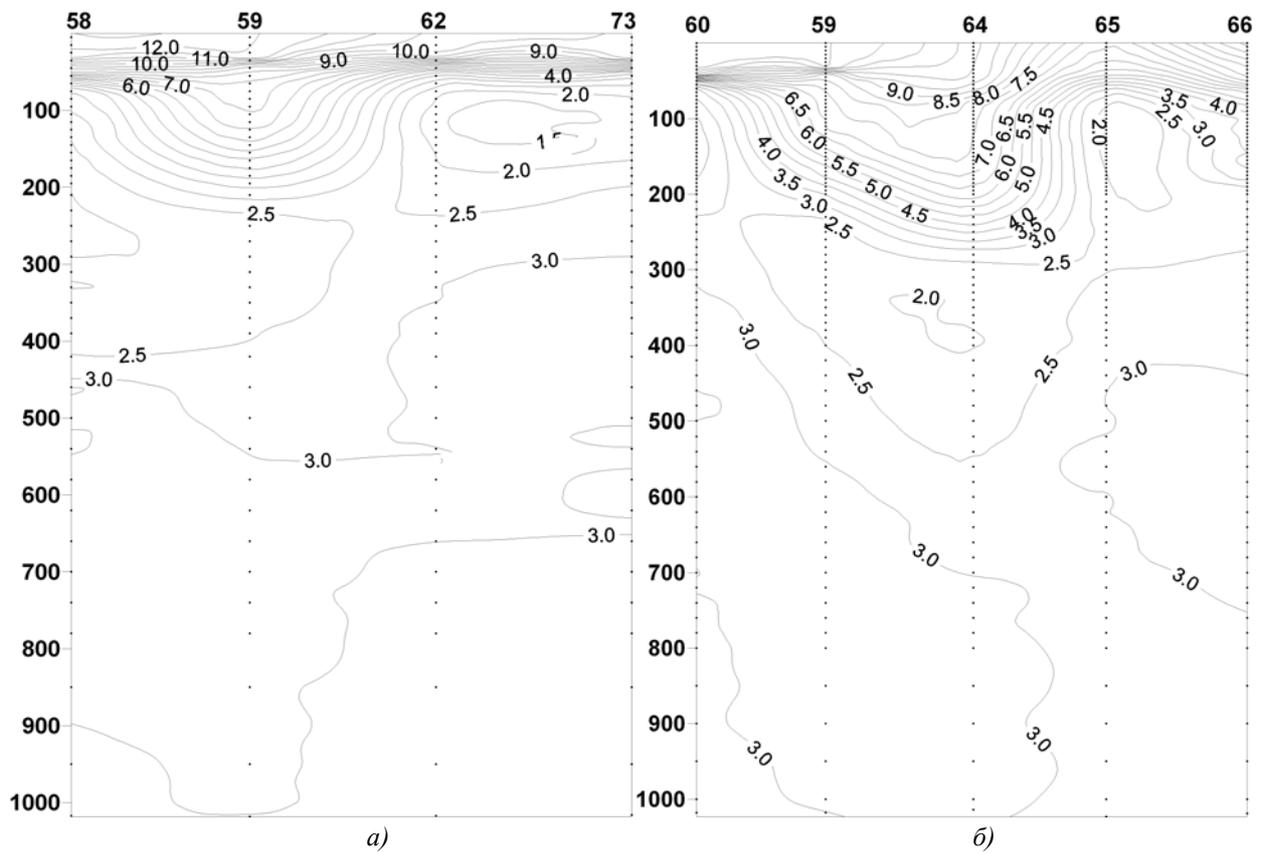


Рис. 9. Распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$) на гидрологических разрезах.
А) разрез 1; Б) разрез 2

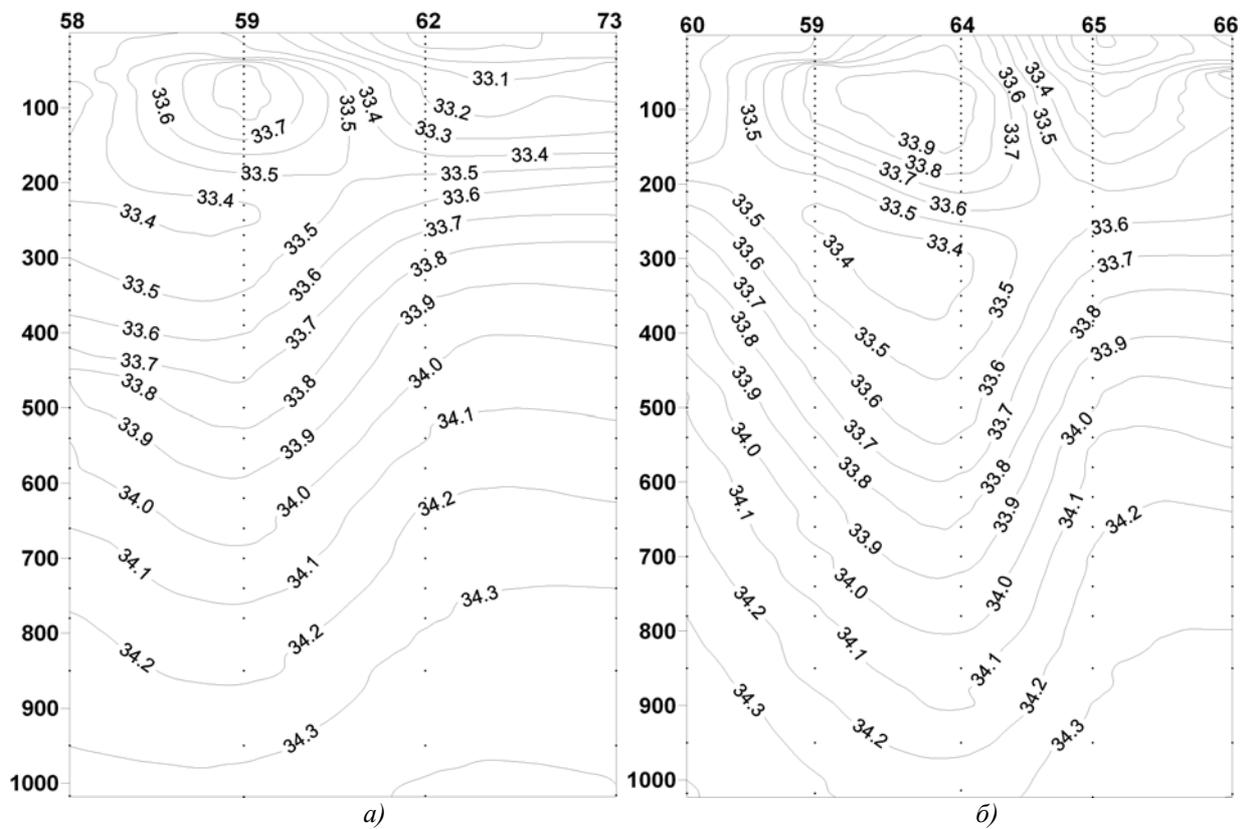


Рис. 10. Распределение солёности (‰) на гидрологических разрезах.
А) разрез 1; Б) разрез 2

Несколько иную горизонтальную структуру имели антициклонический вихрь А28 и окружающие его воды в 2005 г. (рис. 12). Прежде всего, вихрь А28 находился на большем удалении от Малой Курильской гряды, чем вихрь А24 в 2004 г. Между вихрем и первой ветвью Ойясио находилось крупное теплое вторжение (интрузия), что не наблюдалось в 2004 г. ТПО в водах интрузии составляла 18-19°C в сентябре и 17-18°C в октябре. Как видно на рис. 12, в восточной части интрузии распространялись к северу наиболее теплые воды.

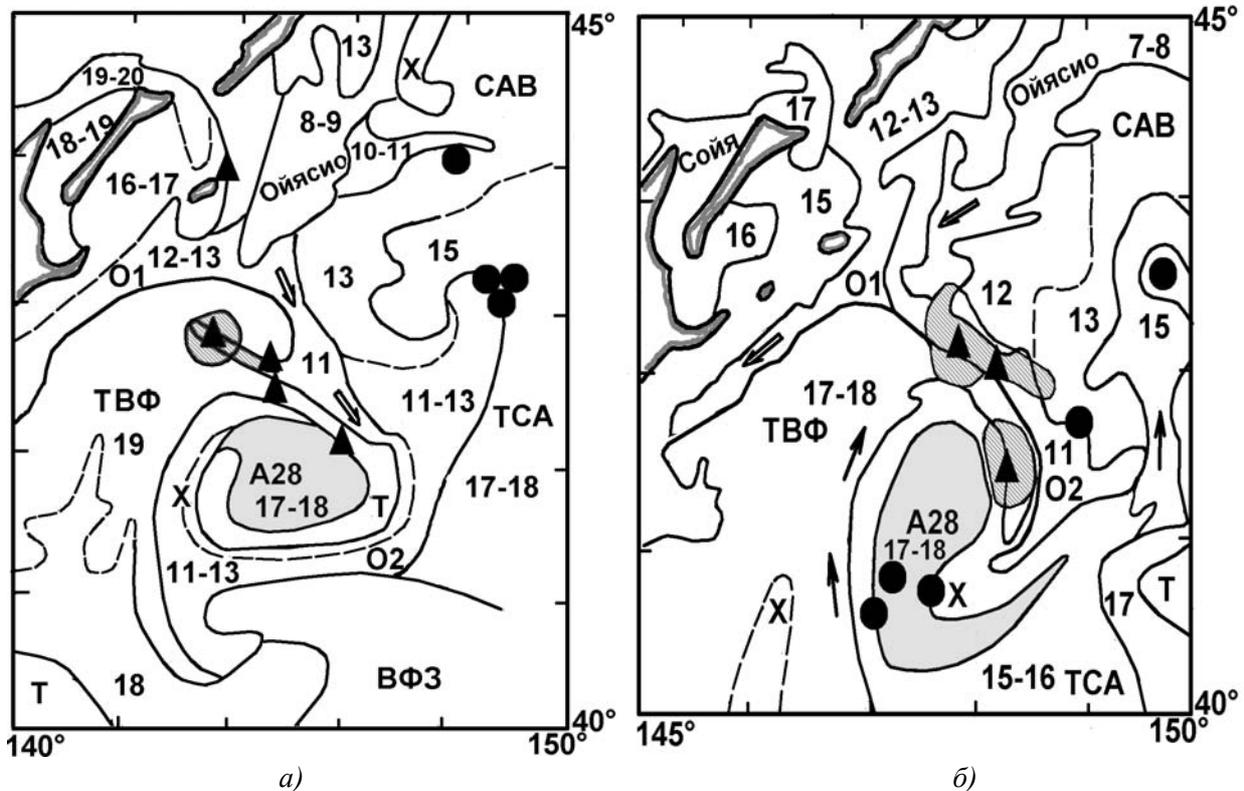


Рис. 12. Горизонтальная структура вихря А28 и расположение районов промысла сайры (треугольники и заштрихованные области) и кальмара (кружки) в 2005 г. А) 29.09. 2005 г.; Б) 10.10.2005 г. Условные обозначения рис. 1

Часть вод Ойясио, также как и в прошлые годы, отклонялась вихрем на восток, формируя вторую ветвь течения. Они окружали вихрь А28 с востока и юга и далее частично распространялись в южном направлении, а частично вовлекались в антициклоническое вращение. Внутри вихря А28 проникали теплые и холодные стримеры (Т, Х на рис. 12). В результате сформировалась спиралевидная структура вихря. К началу ноября 2005 г. в центральной части вихря А28 сформировалась достаточно однородная масса смешанных вод, по всей вероятности, благоприятная для концентрации рыб.

Районы промысла сайры в конце сентября 2005 г. формировались в основном в районе затяжки холодных вод в основную массу теплых вод интрузии (рис. 12). В октябре, с исчезновением холодной затяжки, большая часть скоплений сайры сместилась в южном направлении и располагалась на фронтах второй ветви Ойясио и на северо-восточной периферии вихря А28 при ТПО 10-12°C. Частично промысловые участки сайры находились на фронтах теплых и холодных стриммеров.

Районы промысла кальмара в сентябре формировались на фронтах между Ойясио и субарктическими водами открытого океана (рис. 12). В октябре другой район промысла кальмара сформировался на фронтах холодных стриммеров внутри вихря А28 (рис. 12).

Отметим, что в то время как в конце октября 2004 г. вихрь А24 начал терять выраженную вихревую структуру (рис. 13) и ТПО его центральной части понизилась до 13-14°C, вихрь А28 в начале ноября 2005 г. еще сохранял свою вихреобразную форму, а температура в его центральной

части понизилась только до 15 °С, то есть была примерно на 1 °С выше, чем в этот период в вихре А24. Сохранялась также интрузия относительно теплых вод фронтальной зоны (Т), проникавшая в северную часть вихря (рис. 13).

Промысел сайры в конце октября 2004 г. сохранился вдоль юго-восточной и северо-западной границы вихря А24, а также вдоль юго-восточного фронта второй ветви Ойясио (рис.13).

В начале ноября 2005 г. основной район промысла находился у границы трансформированных субарктических вод и второй ветви Ойясио. Но значительное число промысловых участков находилась в центральной области вихря (смешанные воды различного происхождения с ТПО 15°С) и на фронте теплой интрузии (рис. 13).

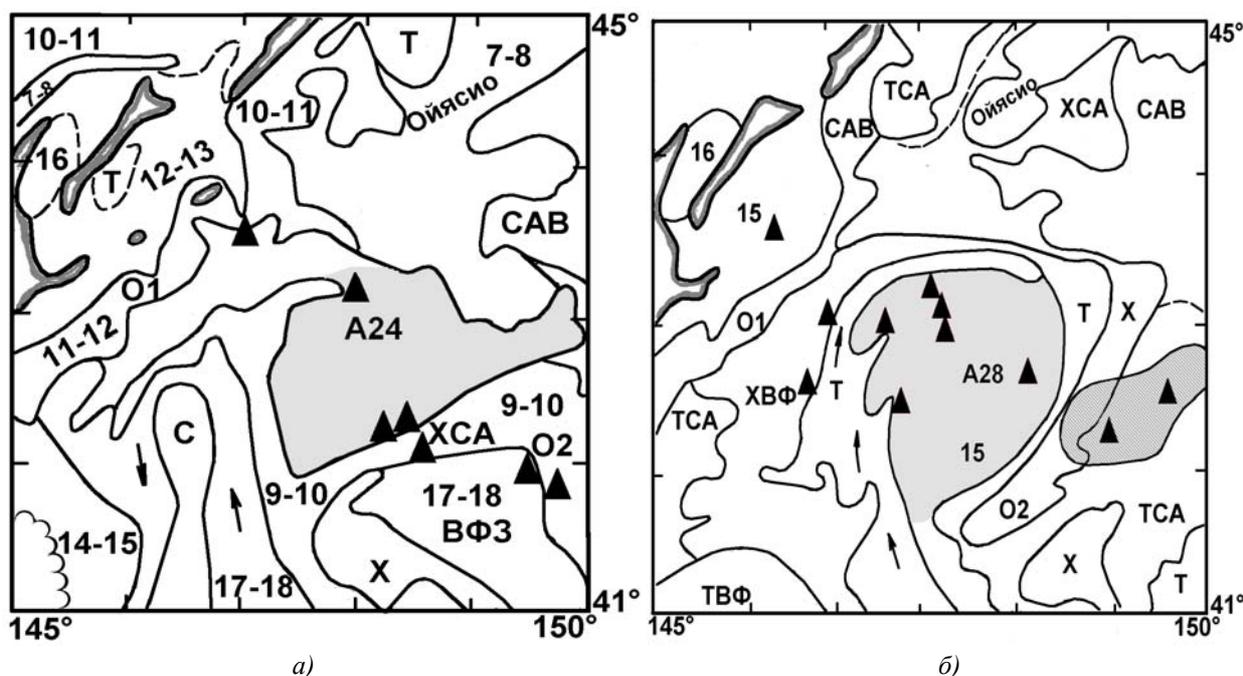


Рис. 13. Горизонтальная структура вихрей А24 и А28 и расположение районов промысла сайры (треугольники и заштрихованные области) в 2004 – 2005 гг. А) 30.10.2004 г.; Б) 01.11.2005 г. Условные обозначения рис. 1

Выводы

Таким образом, мы рассмотрели два антициклонических вихря А24 и А28, различавшихся по происхождению и структуре и оказывавших существенное влияние на распределение промысла сайры и кальмара в 2004 и 2005 гг., соответственно.

Вихрь А24, сформировавшийся как ринг Куроисио с теплым ядром, и взаимодействовавший в 2003 г. с другими теплопроводными массами (в основном первой ветви Куроисио), судя по спутниковым данным, сохранял до конца 2004 г. весьма однородное теплое ядро. Воды второй ветви Ойясио полностью окружали вихрь и частично распространялись к югу, но их большая часть продвигалась в направлении первой ветви Ойясио, образуя между вихрем и первой ветвью Ойясио холодную область.

Скопления сайры в сентябре-ноябре 2004 г. формировались в основном на северном фронте вихря. Скопления кальмара были рассредоточены на большой акватории, но также придерживались фронтов вихря А24. Ни одного улова внутри вихря отмечено не было.

Вихрь А28 сформировался в результате слияния двух антициклонических вихрей, также рингов Куроисио. Причем один из них, пришедший с востока, сформировался в открытом океане, а второй в процессе своей эволюции приближался к побережью о.Хонсю, а также взаимодействовал с трансформированными водами первой ветви Ойясио. Сформировавшийся вихрь имел хорошо выраженную интрузионную структуру. Внутри вихря перемешивались теплые и холодные ин-

трузии (стримеры). Между вихрем и первой ветвью Ойясио находилась не область холодных вод, а крупное теплое вторжение, проникавшее в северную часть вихря.

При этом, скопления сайры и кальмара находились в основном на северном фронте вихря А28, в том числе в районе холодной затяжки вод в вершине теплого вторжения. Но, в отличие от вихря А24, значительная часть скоплений находилась внутри вихря на фронтах стримеров, а затем в смешанных водах.

Литература

1. Булатов Н.В., Самко Е.В., Басюк Е.О. Спутниковый мониторинг антициклонических вихрей в районе южных Курил. Их влияние на динамику и промысел // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Вып. 3. Т. 2. С. 56-67.

2. Bulatov N.V., Lobanov V. B. Influence of Kuroshio warm – core rings of hydrographic and fishery conditions off Southern Kuril Islands //Proc. PORSEC – 92. Okinawa. Japan, 1992. P. 1127 - 1131.

3. Булатов Н.В., Самко Е.В. Основные черты структуры фронтальных зон северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 130. С. 12-23.

4. Булатов Н.В., Лобанов В.Б. Исследование мезомасштабных вихрей восточнее Курильских островов по данным метеорологических спутников Земли // Исслед. Земли из космоса. 1983. №3. С. 40-47.

5. Ohshima K.I., Wakatsuchi M., Saitoh S. Velocity field of the Oyashio region observed with satellite-tracked surface drifters during 1999-2000 // J. Oceanography. 2005. Vol. 61. No. 5. P. 845-855.

6. Лобанов В.Б., Рогачёв К.А., Булатов Н.В. и др. Долгопериодная эволюция тёплого вихря Курошио // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317, №4. С. 984-988.

7. Kitano K. Some Properties of the Warm Eddies Generated in the Confluence Zone of the Kuroshio and Oyashio Currents// J. Phys. Oceanogr. 1975. Vol. 5, Issue 2. P. 245-252.

8. Дарницкий В.Б., Булатов Н.В. Элементы структуры и эволюции топографических вихрей подводных гор Эримо-Такуйе: дистанционные и инструментальные наблюдения// Вопросы промысловой океанологии. М.: ВНИРО. 2005. Вып. 2. С. 277-302.

9. Зырянов В.Н. Топографические вихри в динамике морских течений // М.: ИВП РАН, 1995. 239 с.

10. Козлов В.Ф., Гурулев А.Ю. О перемещении вихрей вдоль глубоководных желобов// Метеорол. и гидрол. – 1994. - №6. - С.70-78.

11. Булатов Н.В. Рекомендации по использованию спутниковых ИК снимков в океанологических исследованиях.// Владивосток: ТИНРО, 1984. - 44 с.

12. Bulatov N.V., Kapshiter A.V., Obukhova N.G. One type of eddy development in the north-eastern Kuroshio branch.// CD-ROM Proceedings of ISRS 2006 PORSEC, Busan, Korea, 2006