

УДК 551.465.53.551.513

ТРОПИЧЕСКИЙ ЦИКЛОН НА СЕВЕРЕ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА СТРУКТУРУ ВЬЕТНАМСКОГО ТЕЧЕНИЯ

© 2020 г. Г. А. Власова^{а, *}, Нгуен Ба Суан^{б, **}, М. Н. Деменок^{а, ***}, Буй Хонг Лонг^{б, ****},
Ле Динх Мао^{б, *****}, Нгуен Тхи Тхай Данг^{б, *****}

^аФедеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская, 43, Владивосток, 690041 Россия

^бИнститут океанографии Вьетнамской Академии наук и технологий, ул. Кауда 1, Нячанг, Вьетнам

*E-mail: gavlasova@mail.ru

**E-mail: ba_xuan04@yahoo.com

***E-mail: mar@poi.dvo.ru

****E-mail: buihonglongion@gmail.com

*****E-mail: ledinhmau.vnio@gmail.com

*****E-mail: dungnguyenthuy.hdh@gmail.com

Поступила в редакцию 08.10.2019 г.

После доработки 21.03.2020 г.

Принята к публикации 01.04.2020 г.

Тропические циклоны играют значительную роль в формировании гидродинамического режима Южно-Китайского моря, включая его западную часть, омывающую побережье Вьетнама. В этом районе основной гидродинамической структурой является Вьетнамское (Западное пограничное) течение. Его структура зависит не только от сезонных муссонов, но и от тропических циклонов. Поэтому изучение указанной зависимости является важной задачей для вьетнамских ученых. Результаты подобных исследований имеют не только научное, но и большое практическое значение, поскольку социально-экономическое развитие Вьетнама в значительной степени зависит от активности и изменчивости синоптических и гидродинамических процессов в этом районе. В настоящей статье излагаются результаты совместных российско-вьетнамских исследований, посвященных изучению зависимости вертикальной структуры Вьетнамского течения от влияния тихоокеанских тропических циклонов, выходящих в северную часть Южно-Китайского моря в течение межсезонного периода зима–лето. В основу этого исследования положено численное моделирование. Для расчетов использовался период апрель–июнь 1999 г, обеспеченный необходимыми натурными первичными данными. Результаты моделирования показали, что Вьетнамское течение в указанный период не представляет собой единого потока водных масс. Вместо этого в данном районе структуру водных масс определяют мощный антициклонический и глубокий циклонический круговороты, которые формируют сложный рисунок Вьетнамского течения. В пределах антициклонического круговорота Вьетнамское течение переносит прибрежные водные массы в летнем режиме – с юга на север, а в пределах циклонического круговорота – в режиме зимнего периода – с севера на юг.

Ключевые слова: Южно-Китайское море, Вьетнамское течение, атмосферные процессы, циркуляция вод, циклон, антициклон, гидродинамические структуры, численное моделирование

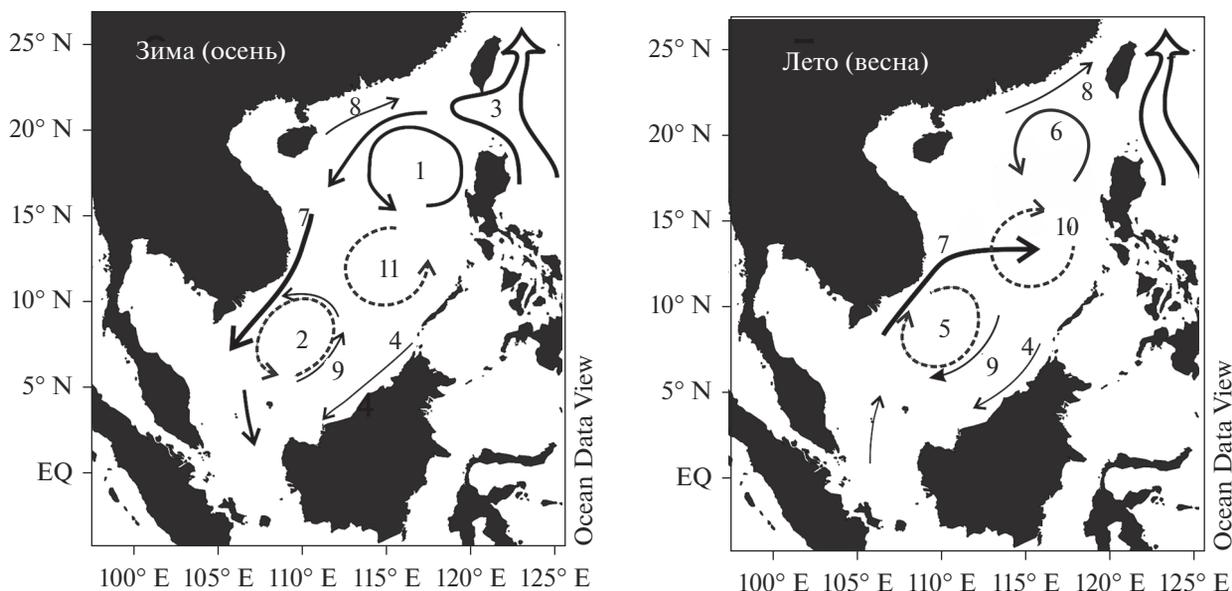
DOI: 10.31857/S0002351520040100

ВВЕДЕНИЕ

Вьетнам занимает относительно узкую прибрежную полосу Индокитая, ограниченную на востоке водами Южно-Китайского моря. Поэтому гидродинамический режим этого бассейна имеет решающее значение в формировании климатических и погодных условий прилегающего Вьетнама. Это, в свою очередь, существенно влияет на многие социально-экономические аспекты этой страны [1–5].

Особенности континентального горного рельефа, окружающего Южно-Китайское море, наличие большого количества островов в сочетании с постоянно действующими муссонами создают специфическую сезонность в пространственной структуре ветрового завихрения, а это, в свою очередь, вызывает значительные различия в структуре зимней и летней крупномасштабной циркуляции вод.

Эти особенности были установлены в результате эпизодических международных океанологических исследований, начатых в начале прошлого



1, 6 – циклическая циркуляция вод северной части моря, 2 – циклоническая циркуляция вод в южной части моря, 3 – интрузия Курсио, 4 – течение вдоль о-ва Борнео, 5 – антициклоническая циркуляция вод в южной части моря. 7 – Вьетнамское течение, 8 – Южно-Китайское течение, 9 – Няншанское противотечение, 10 – антициклоническая циркуляция вод в центральной части моря, 11 – циклоническая циркуляция вод в центральной части моря

Рис. 1. Общая схема циркуляции вод Южно-Китайского моря в зимний (осенний) и летний (весенний) периоды [22].

столетия. Пионерскими работами в области изучения динамики вод Южно-Китайского моря можно считать работы французских ученых, выполненных в конце 20-х—начале 30-х гг. прошлого века [6]. Отдельные аспекты гидродинамики Южно-Китайского моря освещены в последующих работах [7–27 и др.] и обобщены в работе [28].

В результате указанных исследований была установлена генеральная схема циркуляции вод Южно-Китайского моря. В настоящее время известно, что в региональном плане для этого бассейна характерен крупномасштабный циклонический характер общей циркуляции. В северной части моря циклоническая циркуляция сохраняется летом и весной, в его южной части – зимой и осенью. Для центральной части Южно-Китайского моря циклоническая циркуляция характерна зимой, а антициклоническая – летом (рис. 1) [29].

Первые результаты исследования динамики прибрежных вод Вьетнама были опубликованы в 1961 г. [8]. Этой работой впервые было установлено существование интенсивного течения вдоль берегов Вьетнама (впоследствии названное Вьетнамским течением), которое меняет свое направление под воздействием сезонных муссонов. В начале 1970-х гг. японские ученые подтвердили существование отчетливо выраженного течения, направленного летом в южном направлении вдоль берегов Вьетнама [30]. В 80-х гг. были уточнены сведения о южном течении вдоль центрального побережья Вьетнама [31–33]. Анализ исто-

рических данных [34], результаты численного моделирования [15–17, 25 и др.] и итоги совместной российско-вьетнамской экспедиции [35] в последующие годы также подтвердили влияние сезонных муссонов на гидродинамическую картину прибрежных вод Вьетнама.

Таким образом, в результате указанных работ было установлено существование прибрежного Вьетнамского течения и его сезонная изменчивость: летом крупномасштабный поток поверхностных вод направлен с юга и юго-запада, а также с запада на восток и северо-восток. Зимой наблюдается движение в обратном направлении (рис. 2). Указанная изменчивость определяется Восточным Азиатским муссоном, который имеет аналогичную сезонную изменчивость.

Помимо муссонных процессов в формировании гидродинамического режима Южно-Китайского моря существенную роль играют тропические циклоны (ТЦ), которые зарождаются над акваторией этого моря или вторгаются со стороны Тихого океана [4–5, 36–38 и др.].

Поскольку акватория Южно-Китайского моря располагается в тропическом ($\approx 6^\circ$ с.ш.) и субтропическом ($\approx 23^\circ$ с.ш.) поясах, синоптические условия здесь благоприятны для зарождения очень глубоких тропических циклонов. Их траектории захватывают всю прибрежную полосу Вьетнама [4, 11, 32]. Скорость ветра в пределах ТЦ составляет в среднем 20–30 м/с, наибольшая отмеченная скорость ветра достигала 48–50 м/с [5]. Часть ТЦ на-

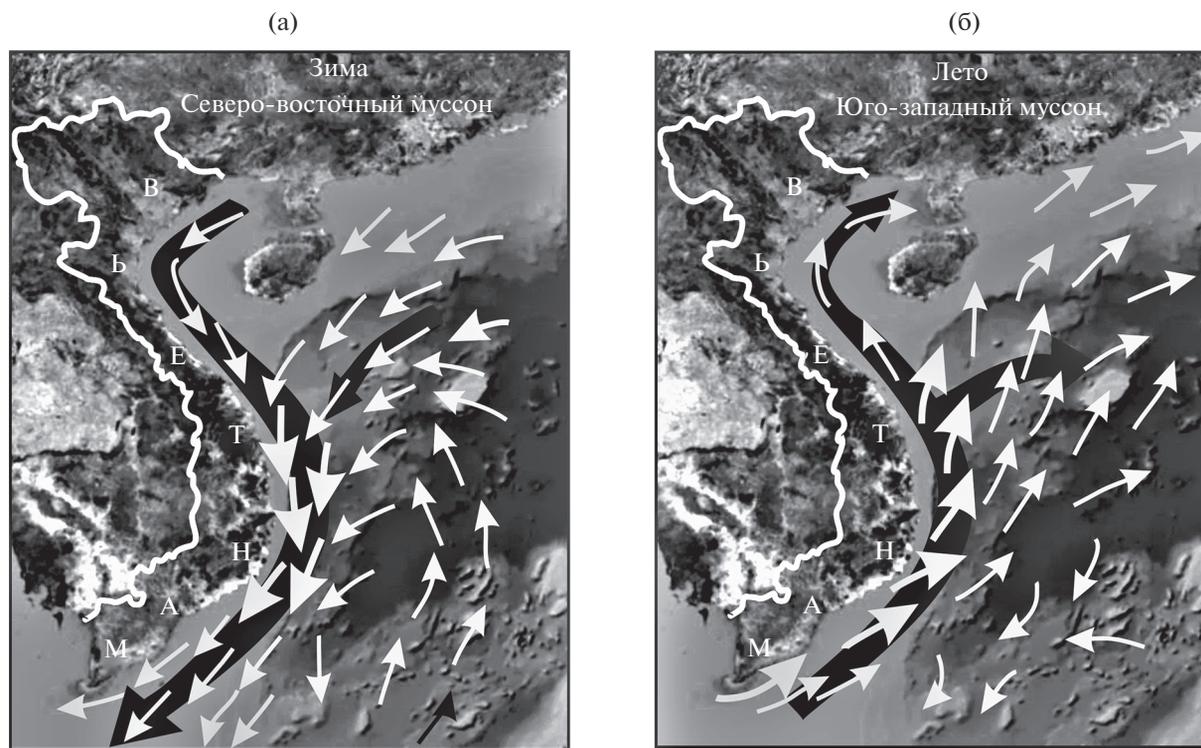


Рис. 2. Вьетнамское течение (Южно-Китайское море) — Вьетнамское течение, — течение по Wyrki [8].

правляется в сторону Японского и Охотского морей, захватывая Курильские о-ва вплоть до 45° с.ш., с выносом большого количества энергии (табл. 1).

В этих условиях циклоническое движение вод усиливается в восточной части Южно-Китайского моря с выходом в Восточно-Китайское море и Тихий океан, что является причиной интенсификации течения Куроисио [39–47]. Скорость, мощность и ширина Куроисио быстро увеличиваются и достигают своего максимума при выходе из Восточно-Китайского моря, неся огромные запасы энергии в Дальневосточный регион [46, 48]. К территориям ДВ региона тропические циклоны приходят уже не в фазе максимального развития, а в трансформированном виде (экс-тропическая депрессия, экс-тропический шторм, экс-тайфун), тем не менее они несут за собой катастрофические последствия для Дальнего Востока России [5, 49].

Как видно, гидрометеорологические процессы, происходящие в регионе Южно-Китайского моря, могут оказывать заметное влияние и на состоянии природной среды российского Дальнего Востока. Отсюда становится ясной важность изучения гидродинамики морских вод рассматриваемого региона. Это определило объединение усилий вьетнамских и российских ученых в изучении взаимосвязи атмосферных и гидродинамических процессов в Южно-Китайском море, как источ-

ника опасных природных явлений, распространяющих свое влияние далеко за пределы юго-восточной Азии.

Изучением взаимосвязи указанных метеорологических и гидрофизических процессов авторы занимаются с 2010 г. в рамках соглашения о научном сотрудничестве между Тихоокеанским океанологическим институтом Дальневосточного отделения Российской академии наук и Институтом океанологии Вьетнамской академии наук и технологий. В основу положено численное моделирование на базе известной квазигеострофической модели интегральной циркуляции вод [50–55 и др.]. В качестве основного района исследований была выбрана западная часть Южно-Китайского моря, где проходит одно из мощных течений этого бассейна – прибрежное Вьетнамское, или Западное пограничное, течение.

Численный эксперимент выполнялся для различных режимов (типов по [56]) атмосферных процессов. В частности, авторами уже выполнен аналогичный анализ гидродинамического режима прибрежных вод Вьетнама в условиях *только муссонного воздействия* как доминирующего фактора на исследуемой акватории в отсутствии тропических циклонов. Результаты этих исследований опубликованы в работах [57–60]. Также был выполнен анализ перестройки гидродинамического режима под воздействием тропических цикло-

нов, формирующихся или вторгающихся со стороны Тихого океана в южную часть моря [61, 62]. Сравнительный анализ влияния указанных контрастных синоптических ситуаций на формирование гидродинамической обстановки в исследуемом районе приведен в работе [63].

Все эти исследования выполнены для весны 1999 г. с использованием экспедиционных данных, полученных в экспедиции Рыболовной Ассоциации стран Юго-Восточной Азии и Японии (SEAFDEC, Cruise № 57-3/99). В результате выявлено, что именно в этот период Вьетнамское течение, как единый и неразрывный поток водных масс, не существует. Вместо этого, существуют несколько гидродинамических круговоротов разного знака. Различие синоптической ситуации влияет лишь на эволюцию интенсивности, формы и пространственной ориентировки возникающих круговоротов.

Данная статья является продолжением указанных авторских публикаций, посвященных исследованию влияния региональной атмосферной циркуляции на гидродинамические процессы Вьетнамского течения в Южно-Китайском море. В связи с этим район исследований оставлен прежним.

Целью настоящей статьи является исследование вертикальной структуры Вьетнамского течения под влиянием тропических циклонов, которые вторгаются в северную часть Южно-Китайского моря со стороны Тихого океана (рис. 3) или зарождаются над акваторией этого бассейна и также перемещаются в северную половину моря (ТЦс), как, например, циклон LEO, сформировавшийся над рассматриваемой акваторией в апреле 1999 г. (рис. 4) [64]. Такие циклоны могут достигать исключительной глубины, давление в их центре может понижаться до 875 ГПа. В этих условиях несколько подобных циклонов разной интенсивности и глубины могут следовать друг за другом с интервалом в двое–трое суток. Как следствие, над северной частью Южно-Китайского моря возникает штормовой и даже ураганный ветер (>29 м/с). Максимальная продолжительность таких атмосферных процессов составляет 20 сут, а суммарная повторяемость действия в течение года $\leq 15\%$ [56].

Как и на предшествующих этапах в основу исследования положено численное моделирование. По взаимному согласию с вьетнамской стороной для сохранения возможности сопоставления результатов моделирования в условиях различных синоптических процессов, использовалась одна и та же, указанная выше квазигеострофическая модель интегральной циркуляции вод, описанная в монографиях и статьях и кратко изложенная ниже [50–55 и др.].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В перечень исходных данных, необходимых для моделирования, вошли:

– упрощенный контур береговой линии, приближенный к конфигурации реального берегового обрамления Вьетнама;

– значения глубин морского дна из массива топографических данных ETOPO-5 [65];

– значения температуры и солености на поверхности моря за период 21.04–5.06.1999 г., полученные в экспедиции Рыболовной Ассоциации стран Юго-Восточной Азии и Японии (SEAFDEC, Cruise № 57-3/99);

– значения атмосферного давления, соответствующие выбранному типу синоптических процессов над Южно-Китайским морем (ТЦс) по данным ежедневных синоптических карт приземных полей атмосферного давления Японского Метеорологического агентства за период 2000–2008 гг.

Для дна были приняты условия прилипания (скорость течения на дне равна нулю). Задача решалась в односвязной области. Для расчетов использовалась равномерная сетка $30' \times 30'$, в соответствии с данными, предоставленными вьетнамскими коллегами.

Как и в прежних наших работах, моделирование включило расчет интегральной циркуляции

вод в виде поля полных потоков ($S^x = -\frac{\partial \Psi}{\partial y}$; $S^y =$

$= \frac{\partial \Psi}{\partial x}$) по заданному на поверхности тангенциальному напряжению ветра (T) и плотности морской воды (ρ^0). Расчет структуры течений и плотности водных масс по заданным параметрам T и ρ^0 выполнен путем решения уравнения для интегральной функции тока $\Psi(x, y)$ методом минимальных невязок. На твердых границах бассейна (береговая линия) задавалась функция Ψ , на жидкой границе – ее нормальная производная.

В результате были рассчитаны интегральные функции тока на поверхности, в слое 0–200 м и от поверхности до дна. По результатам расчетов для исследуемой акватории построены карты циркуляции вод на поверхности, в слое 0–200 м (слой, в котором происходят наиболее активные термодинамические процессы) и от поверхности до дна с учетом влияния выбранного типа синоптических процессов.

Поскольку для расчетов использовались обобщенные за многолетний период, типичные для данного региона (квазистационарные) параметры атмосферных процессов [56], то результаты моделирования также должны рассматриваться в качестве квазистационарных.

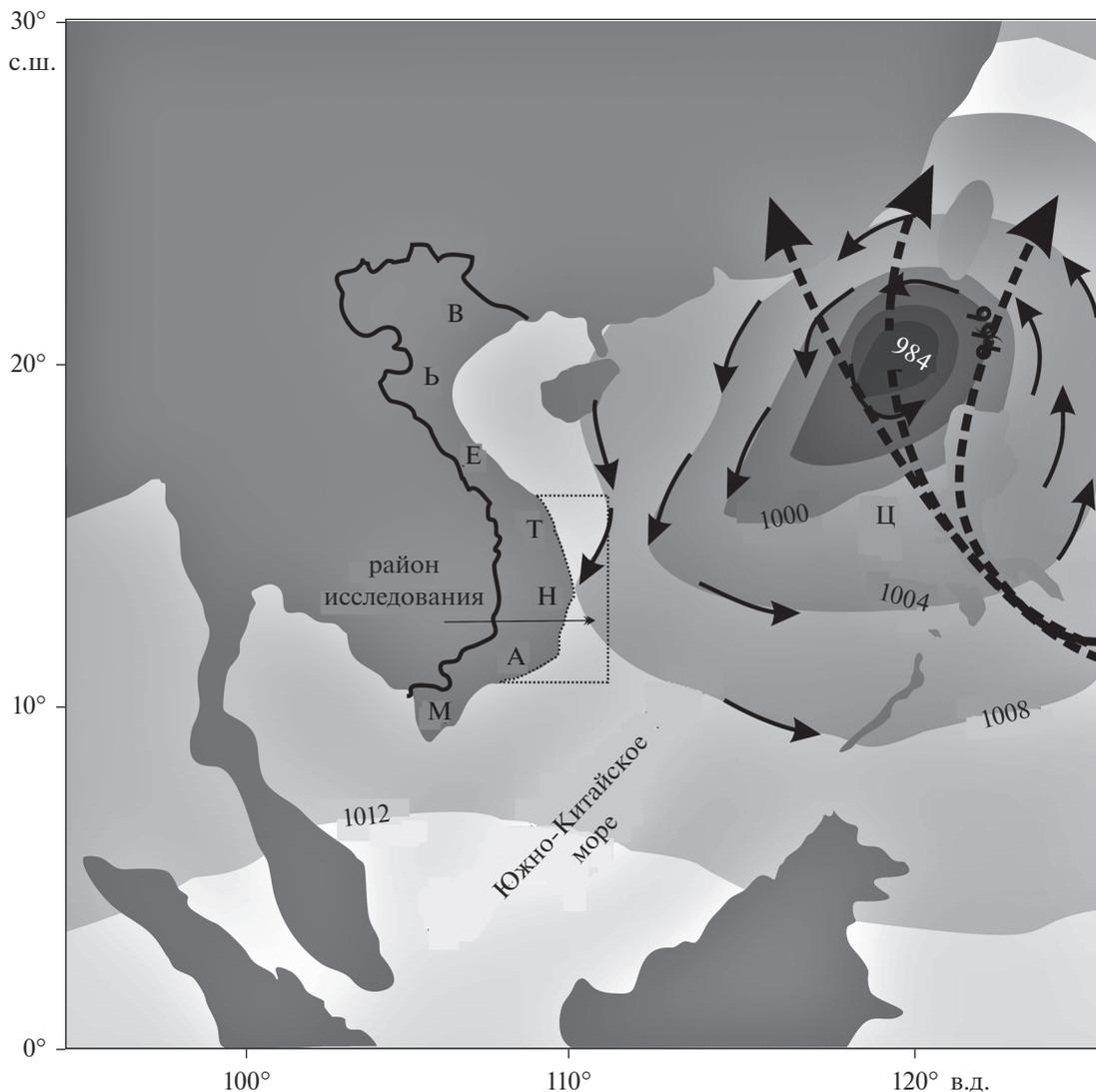


Рис. 3. Схема траекторий тропических циклонов, выходящих в северную часть Южно-Китайского моря со стороны Тихого океана за период 2000–2008 гг. [56]. Ц – циклон (низкое давление), -----> – траектории циклонов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В основу анализа результатов выполненного моделирования положены указанные выше карты циркуляции вод, изображенные на рис. 5.

Как видно, в заданных условиях, когда воздействию тропических циклонов подвергается *северная* часть Южно-Китайского моря, гидродинамическая ситуация в районе Вьетнамского прибрежного течения оказывается весьма сложной. Как и в условиях других типов атмосферных процессов, рассмотренных нами ранее [57–63], в данной ситуации Вьетнамское течение, как единый и неразрывный поток водных масс, не существует. Вместо этого в *северной* половине района исследований (примерно между широтами 13°–16° с.ш.) формируются два гидродинамических

круговорота: мощный антициклонический и глубокий циклонический (см. рис. 5). Эти структуры сохраняются во всей водной толще, от поверхностного слоя до дна. Антициклонический круговорот на всех горизонтах не теряет своей формы и ориентирован в широтном направлении. Циклонический круговорот, в отличие от антициклонического, с глубиной по пространству занимает большую площадь, меняет свою форму и перераспределяется в северо-восточном направлении.

Южная половина района существенно отличается от северной. Здесь на общем фоне слабой циклонической циркуляции вод моделируется лишь небольшой антициклонический вихрь, прослеживаемый только в верхних слоях (см. рис. 5а и 5б). В более глубоких горизонтах эта структура, как четко оконтуренный вихревой круговорот, уже от-

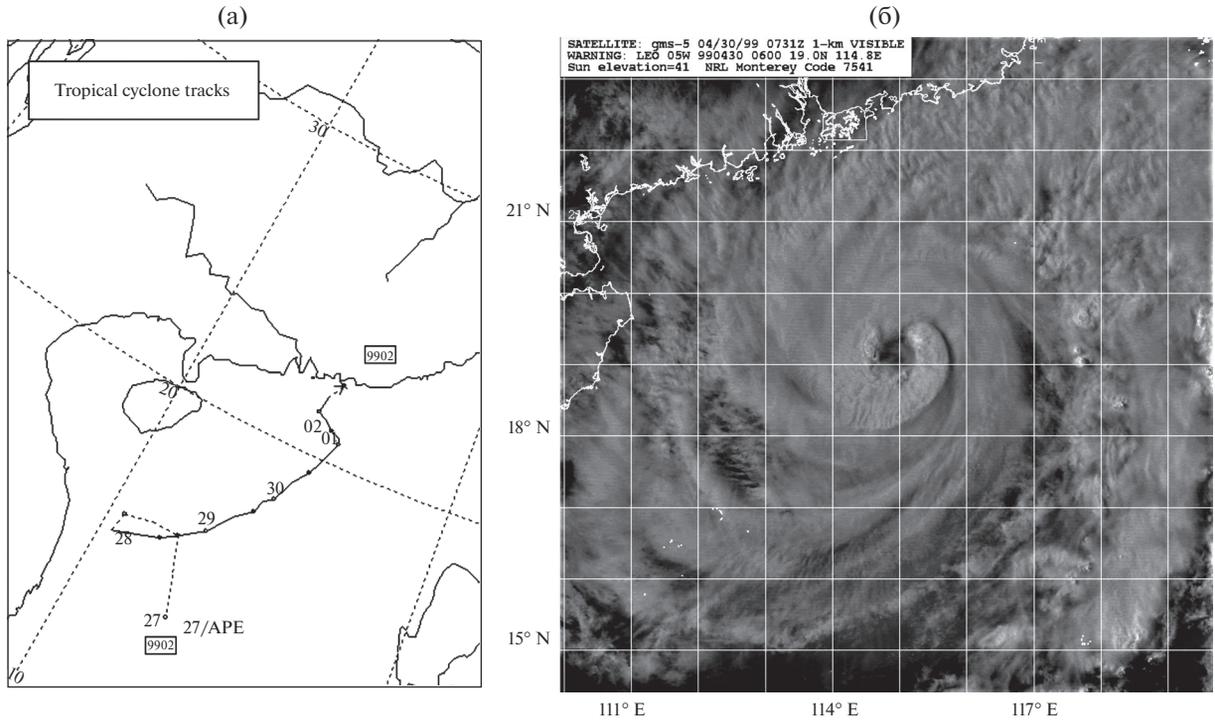


Рис. 4. Траектория ТЦ LEO, зародившегося над акваторией Южно-Китайского моря (а) и вышедшего в его северную часть (б) в апреле 1999 г. 9902 – второй тропический циклон за 1999 г. [64].

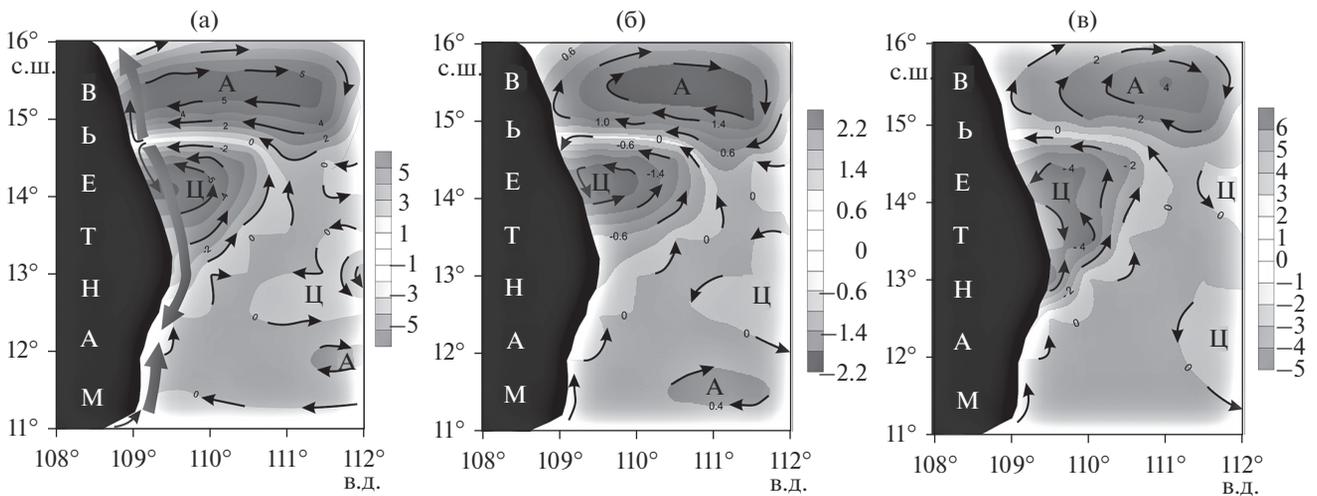


Рис. 5. Интегральная циркуляция вод за период 21.04–5.06.1999 под влиянием тропического циклона с траекторией выхода в северную часть Южно-Китайского моря: а – поверхностный слой, $\psi = 1 \times 10^7 \text{ см}^3/\text{с}$; б – слой 0–200 м, $\psi = 1 \times 10^{11} \text{ см}^3/\text{с}$; в – от поверхности до дна, $\psi = 1 \text{ Св}$; ψ – функция тока; Ц – циклон; А – антициклон.

сутствует (см. рис. 5в). Возникновение и существование этой слабой антициклонической структуры, вероятно, является следствием уже наступающих летних муссонных ветров, что согласуется с мнением других авторов [8, 11, 16, 24, 25, 30, 35 и др.].

В целом, моделирование показывает, что в условиях, когда тропический циклон охватывает

северную часть Южно-Китайского моря, наибольшей активизации и трансформации подвергается гидродинамика также северной части прибрежных вод Вьетнама, расположенной ближе к действующему тропическому циклону. Реакция южной, более удаленной части исследуемого района, выглядит гораздо слабее.

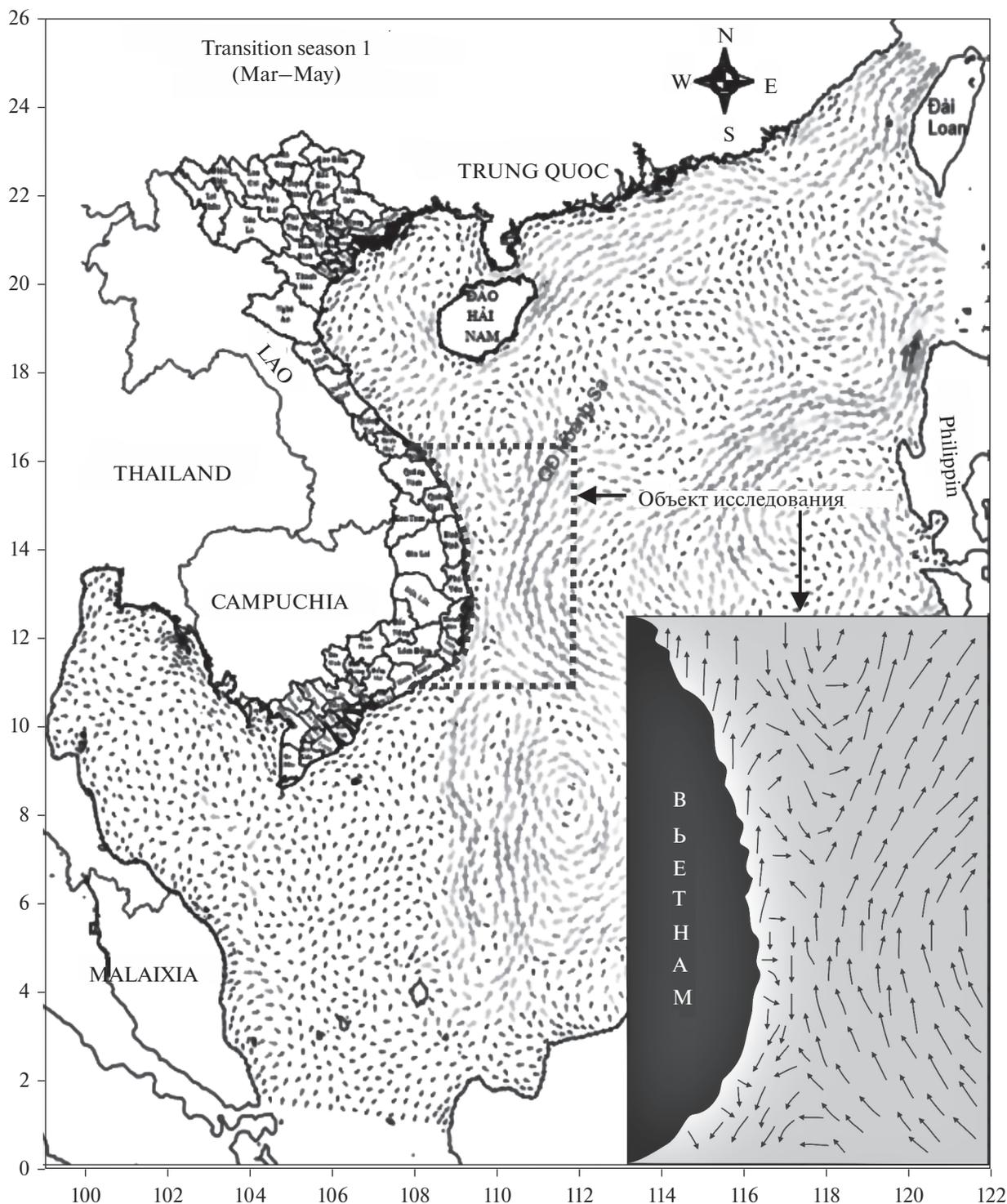


Рис. 6. Осредненная схема циркуляции вод по результатам исследований в рамках совместного вьетно-американского гранта № 3808/QD-ВКНСН от 12.12.2008 “Сезонные межгодовые изменения в физике и биогеохимии вьетнамского Восточного моря, включая изменения после экспедиций NAGA” за март–май 2013–2015 гг.

Как отмечено выше, предшествующими исследованиями была выявлена сезонная изменчивость Вьетнамского течения: зимой водный поток направлен с севера на юг, летом – в обратном направлении. Структура циркуляции вод, полу-

ченная в результате нашего моделирования, дает возможность оценить характер межсезонной перестройки Вьетнамского течения. Из приведенной карты (см. рис. 5) видно, что, когда на север Южно-Китайского моря вторгается тропический

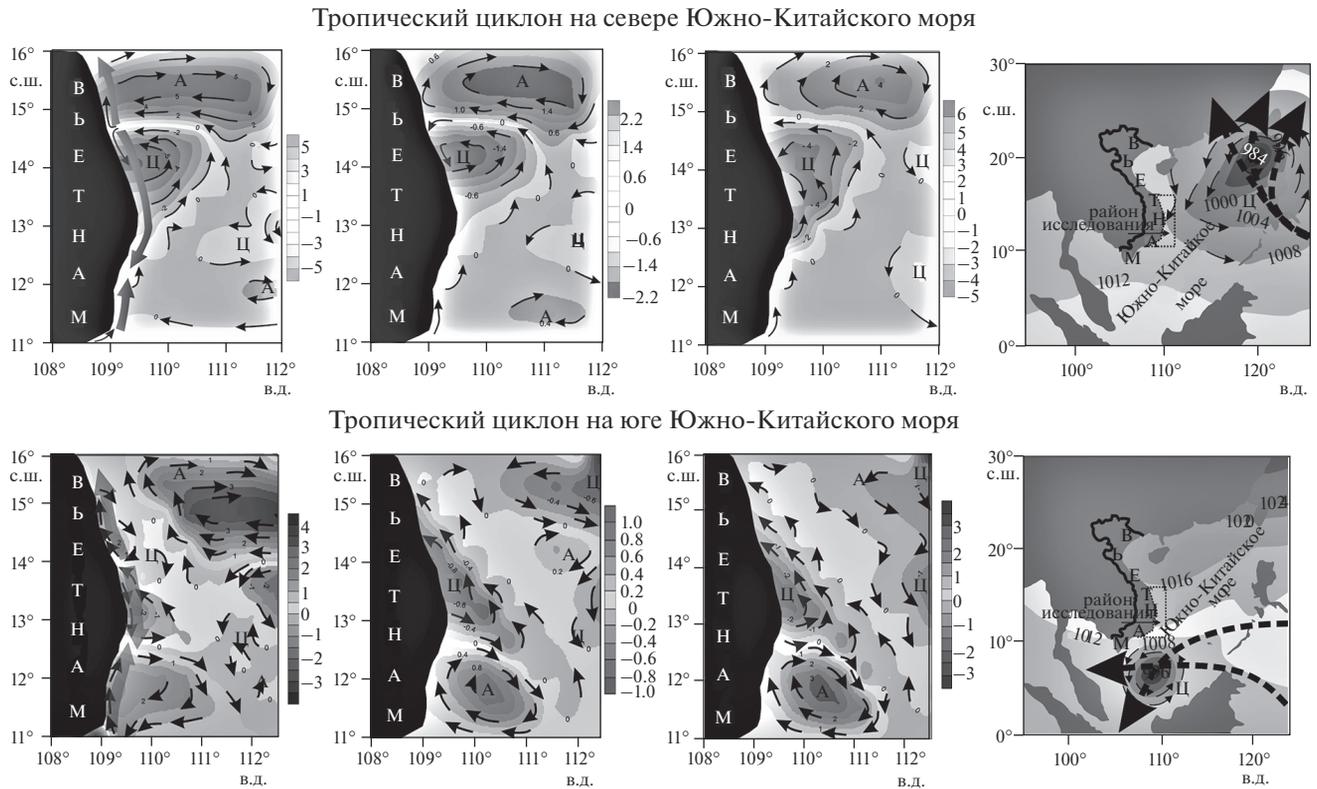


Рис. 7. Интегральная циркуляция вод (а, б, в) под влиянием тропического циклона с траекторией выхода в северную часть Южно-Китайского моря (г), и интегральная циркуляция вод (д, е, ж) под влиянием тропического циклона с траекторией выхода в южную часть моря (з) за период 21.04–5.06.1999. а, д – поверхностный слой, $\psi = 1 \times 10^7 \text{ см}^3/\text{с}$; б, е – слой 0–200 м, $\psi = 1 \times 10^{11} \text{ см}^3/\text{с}$; в, ж – от поверхности до дна, $\psi = 1 \text{ Св}$; ψ – функция тока; Ц – циклон; А – антициклон.

циклон, Вьетнамское течение, на большей своей части (к югу от $\approx 14^\circ$ с.ш.) сохраняет зимний режим переноса водных масс. Исключение составляет северный участок этой структуры, где под действием тропического атмосферного циклона сформировался гидродинамический антициклонический круговорот, перенаправивший воды Вьетнамского течения в северном направлении, что характерно для летнего периода. Существование на юге слабой и локальной антициклонической циркуляции вод, на наш взгляд, свидетельствует о начинающейся здесь перестройке гидродинамической структуры к летнему режиму.

При сопоставлении полученных нами результатов с другими опубликованными источниками, полученными для аналогичного сезонного периода и той же акватории, обнаруживаются как расхождения, так сходство.

Так, при сравнении со схемой циркуляции вод, полученной на основе моделирования с использованием метода конечных элементов [66], построенной для весны 2013–2015 гг. по результатам исследований в рамках совместного вьетнамо-американского гранта имеются существенные различия (рис. 6). Названная схема отражает

лишь общую структуру вод Южно-Китайского моря, полученные нами данные имеют детальный характер и существенно уточняют гидродинамику в районе Вьетнамского течения.

В других работах можно найти определенное сходство с результатами нашего моделирования. Так, в работе [38] отмечается, что даже при летнем муссоне на исследуемой акватории двумя годами ранее сохранялась циклоническая структура вод, совпадающая с выделенной нами аналогичной структурой (см. рис. 5).

В работе [25] по результатам моделирования на основе трехмерной диагностической модели годом ранее был обнаружен аналогичный антициклонический вихрь с координатами в центре $\approx 15^\circ$ с.ш., 111° в.д.

В работе, выполненной на базе модели HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) [47], показано, что в мае за период 1992–2002 гг. были обнаружены циклоническая ($\approx 14^\circ$ с.ш. и 110° в.д.) и две антициклонические структуры вод ($\approx 12^\circ$ с.ш. и 110° в.д.; 16° с.ш. и 112° в.д.), аналогичные нашим структурам. Обнаруживаются отличия лишь в оценке численных значений циркуляции вод ($\pm 0.2 \text{ Св}$ по сравнению с нашими $\pm 4 \text{ Св}$).

Для выяснения характера изменения структуры вод под воздействием тропических циклонов, формирующихся в разных частях Южно-Китайского моря, нами было проведено сравнение результатов, полученных в данной работе, с результатами, полученными нами ранее в условиях, когда тропический циклон располагался в южной части Южно-Китайского моря [61, 62]. При сопоставлении выявилась противоположная картина: при южном тропическом циклоне активизировалась гидродинамика в южной половине исследуемого района, ближайшей к атмосферному циклону (рис. 7). Именно в южной части акватории сформировались мощные антициклонические круговороты, охватывающие всю водную толщу от поверхности до дна и создающие летний режим вод. На севере района в поверхностных водах располагается гидродинамический антициклонический круговорот, который с глубиной быстро разрушается: в слое 0–200 м он почти не виден, а глубже исчез совсем, что можно рассматривать, как первые признаки перестройки к летнему режиму вод. Между ними располагаются циклонические круговороты, также охватывающие всю водную толщу, создавая зимнюю циркуляцию вод.

На наш взгляд, указанное сопоставление показало, что различное пространственное положение атмосферных тропических циклонов вызывает формирование различной гидродинамической структуры в исследуемом районе. При этом, уровень активности гидродинамических перестроек в его разных частях определяется удаленностью от действующего тропического циклона.

ВЫВОДЫ

Расчеты, выполненные для условий, когда в весенний период тропический циклон вторгается в северную часть Южно-Китайского моря, позволяют прогнозировать следующие основные характеристики гидродинамического режима в зоне прибрежного Вьетнамского течения:

1. Как и при других синоптических ситуациях, смоделированных нами [57–63], в данном случае Вьетнамское течение, как единый и неразрывный поток водных масс, также не существует. Вместо этого в прибрежной зоне Вьетнама моделируются разнонаправленные круговороты и вихри;

2. Обнаружена пространственная зависимость интенсификации гидродинамической перестройки в пределах изучаемой акватории от расстояния до действующего тропического циклона. Так, на севере рассматриваемого района, вблизи указанного циклона, формируются крупные гидродинамические структуры разного знака, захватывающие всю водную толщу. В отличие от этого южная половина района, удаленная от тропического циклона, характеризуется значительно меньшей ин-

тенсивностью гидродинамических процессов. Та же зависимость обнаружилась и при расположении тропического циклона в южной части Южно-Китайского моря: в этом случае гидродинамические процессы максимально активизируются в южной части прибрежного района Вьетнама, ближайшей к атмосферному циклону;

3. В рассмотренных атмосферных условиях на большей части прибрежной зоны Вьетнама сохраняется еще зимний режим транспортировки вод (с севера на юг). Летний режим (транспортировка вод с юга на север) можно ожидать только на севере исследуемого района, где формируется указанный выше антициклонический круговорот. При расположении тропического циклона на юге Южно-Китайского моря картина практически обратная: летний режим вод может наступить только в южной части прибрежных вод Вьетнама, где также формируется антициклонический круговорот. На остальной части изучаемого района сохраняется преимущественно зимний режим. Отсюда следует, что направление переноса водных масс (летний или зимний режимы) в зоне прибрежной циркуляции вод зависит от положения тропических циклонов над акваторией Южно-Китайского моря.

Данная работа выполнена при поддержке международного гранта ДВО РАН – ВАНТ (Вьетнамская академия наук и технологий) № ВАНТ19-020 в комплексной программе фундаментальных исследований ДВО РАН “Дальний Восток” на 2018–2020 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридланд В.М. Природа Северного Вьетнама. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 175 с.
2. Нгуен Суан Чьонг. Географическая обусловленность региональной политики Вьетнама. // Дис. канд. геогр. наук. С-Петербург: СПбГУ. 2005. 193 с.
3. Коробкин В.И. Экология. Ростов н/Д: Феникс, 2010. 576 с.
4. Нгуен Ч.К. Возможные последствия изменения климата Вьетнама. VII Всероссийская научно-практическая конференция “Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов”. Томск: Томский политехнический университет, 2014. С. 257–261.
5. <https://meteoinfo.ru/>
6. Chevey P., Carton P. Les courants de la mer de Chine meridionale et leurs rapports avec le climat de l'Indochine // Note Inst. Ocean. Indochine. 1935. V. 26. P. 13.
7. The surface currents of the South China, Java, Celebes and Sulu Seas. Great Britain Hydr.: Department Publ. H.D., 1945. 709 p.
8. Wyrki K. Scientific results of marine investigation of the South China Sea and Gulf of Thailand // NAGA Report 2. 1961. 195 p.

9. *Lafond E.* Physical oceanography and its relation to the marine organic production in the South China Sea. La Jolla, 1963. P. 5–33.
10. *Kwan M.C.* The seasonal variation of hydrological properties in the Northern South China Sea // Proc. of The Kuroshio. Honolulu. 1970. P. 143–162.
11. *Данг К.М.* Океанологические условия Южно-Китайского моря // Морской сборник. Л.: Военно-морское изд-во, 1974. № 4. С. 91–93.
12. *Guan B.* South China Sea warm current // J. Oceanol. Limnol. 1978. V. 9. № 2. P. 118–126.
13. Исследования течения Южно-Китайского моря // отчет НИР Владивосток: ДВНИГМИ, 1985. 135 с. № гос. рег. 01860034772.
14. *Сирипонг А.* Динамика термической структуры верхнего слоя и поверхностная циркуляция Южно-Китайского моря. В кн.: Комплексный глобальный мониторинг Мирового океана. Труды I Межд. Симпоз. СССР, Таллин, 2–10 октября 1983, Т. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 150–178.
15. *Pohlman T.* A three dimensional circulation model of the South China Sea / J. C. J. Nihoul, e. al., Ed. by Three dimensional models of marine and estuarine dynamics // Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1987. P. 245–268.
16. *Неуен З.Т.* Циркуляция вод Южно-Китайского моря в зимний и летний сезоны // Дис. канд. геогр. наук. Владивосток: ТОИ ДВНЦ, 1990. 177 с.
17. *Shaw P.T., Chao S.* Surface circulation in the South China Sea // Deep Sea Research. V. 41. 1994. P. 1663–1683.
18. *Wang J., Chern C.S.* Some aspects on the circulation in the northern South China Sea // La mer. 1996. V. 34. № 3. P. 246–257.
19. *Chao S.Y., Shaw P.T., Wang J.* Deep water ventilation in the South China Sea // Deep Sea Res. Part I. 1996. V. 43. P. 445–466.
20. *Chu P.C., Edmons N.L., Fan C.W.* Dynamical mechanisms for the South China Sea seasonal circulation and thermohaline variabilities // J. Phys. Oceanogr. 1999. V. 29. P. 2971–2989.
21. *Akihiko Morimoto, Koichi Yoshimoto, Tetsuo Yanagi.* Characteristics of sea surface circulation and eddy field in the South China Sea revealed by satellite altimetric data // J. Oceanography. 2000. V. 56. P. 331–344.
22. *Qu T.* Upper-layer circulation in the South China Sea // J. Phys. Oceanogr. 2000. V. 30. P. 1450–1460.
23. *Metzger E.J.* Upper ocean sensitivity to wind forcing in the South China Sea // J. Oceanogr. 2003. V. 59. № 6. P. 783–798.
24. *DanLing Tang, Hiroshi Kawamura, Tran Van Dien, MingAn Lee.* Offshore phytoplankton biomass increases and its oceanographic causes in the South China Sea // Marine Ecology Progress Series. 2004. V. 268. P. 31–41.
25. *Yuan Y., Liao G., Xu X.* Three dimensional diagnostic modeling study of the South China sea circulation before onset of summer monsoon in 1998 // J. Oceanogr. V. 63. № 1. 2007. P. 77–100.
26. *Liu Q., Wang D., Xie Q., Huang Q.* Decadal variability of Indonesian throughflow and South China Sea throughflow and its mechanism // J. Tropic. Oceanogr. 2007. V. 26. № 6. P. 1–6.
27. *Liu Q., Kaneko A., Su J.* Recent progress in studies of the South China Sea circulation // J. Oceanogr. V. 64. 2008. P. 753–762.
28. *Власова Г.А., Буи Хонг Лонг, Таранова С.Н., Неуен Ба Суан, Юрасов Г.И., Ле Динх Мау.* Состояние изученности Южно-Китайского моря. Деп. № 98. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2010. 57 с.
29. *Qu T.* Upper-layer circulation in the South China Sea // J. Phys. Oceanogr. 2000. V. 30. P. 1450–1460.
30. *Uda M., Nakao T.* Water masses and currents in the South China Sea and their seasonal change // Proc. of The Kuroshio III. Proc. of the third CSK Symposium, Thailand, Bangkok, 1973. P. 161–188.
31. Сводный отчет о работах долгосрочной научно-исследовательской и научно-поисковой советско-вьетнамской рыбохозяйственной экспедиции в водах СРВ по изучению биологических ресурсов шельфа и прилегающих к нему морских районов (май 1979 г.—июль 1981 г). Керчь: АЗКЕРНИРО, 1981. 228 с.
32. *Ле Фьюк Чинь.* Гидрологические условия южного континентального шельфа Вьетнама // Дисс. канд. геогр. наук, Л.: ЛГМИ, 1987, 280 с.
33. *Неуен З.Т., Ле Ф.Ч.* Результаты исследования течений на южном шельфе Вьетнама // Тезисы докл. II Тихоокеанского симпоз. по морским наукам. Находка. 1988. С. 134–135.
34. *Xu X., Qiu Z., Chen H.C.* The general descriptions of the horizontal circulation in the South China Sea // Proc. of the 1980 Symposium on Hydrometeorology, Chinese Society of Oceanology and Limnology. Beijing 1982. P. 137–145.
35. *Lobanov Vyacheslav, Nguyen Ba Xuan, Bui Hong Long, Aleksandr Sergeev, Nguyen Kim Vinh, Nguyen Van Tuan, Igor Gorin, Pham Xuan Duong, Pham Sy Hoan, Pavel Shcherbinin, Aleksandr Voronin, To Duy Thai, Nguyen Truong Thanh Hoi and Sergei Simonenko.* Water mass structure and dynamic in the coastal area off central southern Vietnam. Results of joint Russian – Vietnam surveys // International conference on Bien Dong 2012. Abstract. Vietnam, Nha Trang, 2012. P. 59.
36. *Добрышман Е.М.* Динамика экваториальной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 288 с.
37. *Кузин В.С.* Зарождение, перемещение, эволюция тайфунов и их прогнозирование синоптико-статистическими методами // Дис. канд. геогр. наук. Владивосток: ДВГУ, 1999. 123 с.
38. *Zhao X., Pang H., Li X., Song P.* Abnormal incident analysis of tropical cyclones influencing South China Sea in 1997 // J. Tropic. Oceanogr. V. 27. № 1. 2008. P. 11–15.
39. *Watts J.C.D.* Current characteristics and trace element concentration in the Northern waters of South China

- Sea // Proc. of The Kuroshio II Proc. of the 2nd CSK Symposium. Japan, Tokyo, 1970. P. 113–119.
40. *Bingxian G.* The South China Sea Warm current on against wind current of Guangdong province in winter // *Ocean. Limn. Sinica.* 1978. V. 9. № 2. P. 117–127.
 41. *Huang Q.* The velocity and transport variation of the Kuroshio in the Bashi strait // *Tropical Oceanography.* 1983. N 2. P. 35–41.
 42. *Fan K.L.* The branch of Kuroshio in the Taiwan strait / T. Ichiye, Ed. by Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea // New York: Elsevier, 1984. P. 77–82.
 43. *Guo Z., Fang W.* The Kuroshio in Luzon Strait and its transport during september 1985 // *J. Tropic. Oceanogr.* 1988. № 2. P. 13–19.
 44. *Zhungxian G., Tianbung Y., Dezhung C.* The South China Sea Warm Current and its right side SW current in water // *Tropical Oceanography.* 1985. V. 4. № 1. P. 1–9.
 45. *Li R.F., Guo D.J., Zeng Q.C.* Numerical simulation of interrelation between the Kuroshio and the current of the northern South China Sea // *Prog. Natural Sci.* 1996. V. 6. P. 325–332.
 46. *Wang J., Chern C.S.* Some observations on the Kuroshio intrusion process in the Luzon strait in the northern South China Sea // *Acta Oceanogr. Taiwan.* 2000. V. 38. P. 129–151.
 47. *Wang Qingye, Cui Hong, Zhang Shuwen.* Water transports through the four main straits around the South China Sea // *J. Oceanogr. and Limnol.* 2009. V. 27. № 2. P. 229–236.
 48. *Барабашкина А.П., Лескова Е.А.* Исследование тайфунов, выходящих на Японское море и Приморский край // *Труды ДВНИГМИ.* 1968. Вып. 3. С. 3–33.
 49. *Домышева А.С.* Влияние и последствия действия тропических циклонов на прибрежные территории Северного полушария // *Молодой ученый.* 2019. № 20. С. 50–52.
 50. *Фельзенбаум А.И.* Динамика морских течений. – Итоги науки. Гидромеханика. М.: ВИНТИ, 1970. С. 97–338.
 51. *Шапиро Н.Б.* Аналитическое исследование связей между ветром и течением в экваториальной зоне океана // *Доклады АН СССР.* 1965. Т. 164(2). С. 319–322.
 52. *Васильев А.С.* Адаптивно-обучающаяся система прогнозирования классов природных процессов // Ч. 1, СПб.: Гидрометеиздат, 2001, 136 с.
 53. *Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В.* Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 359 с.
 54. *Полякова А.М., Власова Г.А., Васильев А.С.* Влияние атмосферы на подстилающую поверхность и гидродинамические процессы Берингова моря. Владивосток: Дальнаука, 2002. 203 с.
 55. *Васильев А.С., Власова Г.А., Полякова А.М.* Программа расчета циркуляции вод на акватории Южно-Китайского моря под влиянием различных типов атмосферных процессов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615257 от 6.07.2011.
 56. *Полякова А.М.* Типизация атмосферных процессов над Южно-Китайским морем // *Метеорология и гидрология.* 2010. № 5. С. 17–24.
 57. *Власова Г.А., Полякова А.М., Деменок М.Н.* Влияние изменчивости циркуляции поверхностных вод Южно-Китайского моря на Азиатско-Тихоокеанский регион в зимний период // *Вестник ДВО РАН.* 2011. № 3. С. 104–111.
 58. *Власова Г.А., Нгуен Ба Суан, Буй Хонг Лонг.* Влияние синоптических процессов на динамику Вьетнамского течения (Южно-Китайское море) весной 1999 г. // *Метеорология и гидрология.* 2013. № 4. С. 36–46.
 59. *Власова Г.А., Нгуен Ба Суан, Деменок М.Н.* Циркуляция вод в зоне Вьетнамского течения в условиях малоградиентного барического поля (Южно-Китайское море) // *Ученые записки РГГМУ. Санкт-Петербург.* 2018. № 52. С. 49–60.
 60. *Galina A. Vlasova, Nguen Ba Xuan, Bui Hong Long.* Circulation of Vietnamese waters under “weak pressure field” in the spring of 1999 // *Proceeding of the International Conference on “Bien Dong 2012”. 90 years of Marine Science in Vietnamese and Adjacent waters, Na Trang, 2012. V. 2. P. 73–80. ISBN 978-604-913-172-1.*
 61. *Власова Г.А., Нгуен Ба Суан, Деменок М.Н.* Циркуляция вод Южно-Китайского моря в зоне Вьетнамского течения в условиях южного тропического циклона весной 1999 г.: результаты численного моделирования // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Санкт-Петербург.* 2016. Т. 9. № 4. С. 25–34.
 62. *Vlasova G.A., Nguyen Ba Xuan, Bui Hong Long.* Influence of tropical cyclones on the Vietnamese current dynamics in the spring 1999 // *Proceeding the second scientific conference on marine geology, IMGiG VAST, Hanoi-Halong, 10–12 october. 2013. P. 1075–1086.*
 63. *Власова Г.А., Деменок М.Н., Нгуен Ба Суан, Буй Хонг Лонг.* Роль атмосферной циркуляции в пространственно-временной изменчивости структуры течений в западной части Южно-Китайского моря // *Изв. РАН, ФАО.* 2016. Т. 52. № 3. С. 361–372.
 64. http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/bstve_1999_m.html; <https://www.nrlmry.navy.mil/tcdat/tc99/WPAC/05W.LEO/vis/geo/1km/19990430.0731.gms-5.vis.x.LEO.05W.jpg>.
 65. National Geophysical Data Center, 1993. 5-minute Gridded Global Relief Data (ETOPO5). National Geophysical Data Center, NOAA. doi: (access date). <https://doi.org/10.7289/V5D798BF>
 66. *Long H. Bui, Chung V. Tran.* Some features of current fields calculated in the gulf of Tonkin // *J. of Marine Science and Technology.* 2017. V. 17. № 4A. P. 14–23. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/17/4A/13253>

Tropical Cyclone in the North of the South China Sea as a Factor Influencing on the Structure of the Vietnamese Current

G. A. Vlasova^{1, *}, Nguyen Ba Xuan^{2, **}, M. N. Demenok^{1, ***}, Bui Hong Long^{2, ****},
Le Dinh Mau^{2, *****}, and Nguyen Thi Thuy Dung^{2, *****}

¹*Ilyichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
st. Baltiyskaya, 43, Vladivostok, 690041 Russia*

²*Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Sciences and Technologies (IO VAST), st. Cauda 1, Nha Trang, Vietnam*

**e-mail: gavlasova@mail.ru*

***e-mail: ba_xuan04@yahoo.com*

****e-mail: mar@poi.dvo.ru*

*****e-mail: buihonglongion@gmail.com*

******e-mail: ledinhmau.vnio@gmail.com*

******e-mail: dungnguyenthuy.hdh@gmail.com*

Tropical cyclones play a significant role in the formation of the hydrodynamic regime of the South China Sea, including its western part along the coast of Vietnam. The Vietnamese (Western border) current is the main hydrodynamic structure in this area. Its structure depends not only on seasonal monsoons, but also from tropical cyclones, so the study of this dependence is the important task for Vietnamese scientists. The results of such research are scientific and practical importance, because of socio-economic development of Vietnam depends on the activity and variability of synoptic and hydrodynamic processes in the area. The results of joint Russian-Vietnamese studies are devoted to studying the dependence of the vertical structure of the Vietnamese current from the influence of Pacific tropical cyclones emerging in the northern part of the South China Sea during the spring and described in this article. Numerical modeling is the basis of this study. The period April–June 1999, provided with the necessary full-scale primary data was used for calculations. The modeling results showed that the Vietnamese current does not constitute a single stream of water masses in the specified period. Instead, a powerful anticyclone and a deep cyclone determine the structure of the water masses in a given area and form a complex pattern of the Vietnamese current. The Vietnamese current within the anticyclonic circulation transfers the coastal water masses in the summer mode from south to north; within the cyclonic circulation, it transfers water masses in the winter period mode from north to south.

Keywords: South China Sea, Vietnamese current, atmospheric processes, water circulation, cyclone, anticyclone, hydrodynamic structures, numerical modeling