———— ФИЗИКА МОРЯ ——

УДК 551.465.53.551.513

ВЛИЯНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ВЬЕТНАМСКОГО ТЕЧЕНИЯ

© 2022 г. Г. А. Власова^{1, *}, Суан Ба Нгуен^{2, **}, Мау Динь Ле^{2, ***}, С. С. Марченко^{1, ****}

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

²Институт океанографии Вьетнамской Академии наук и технологий,

г. Нячанг, Социалистическая республика Вьетнам

*e-mail: gavlasova@mail.ru **e-mail: ba_xuan04@yahoo.com ***e-mail: ledinhmau.vnio@gmail.com ***e-mail: sv_marchenko@poi.dvo.ru Поступила в редакцию 20.03.21 г. После доработки 05.08.2021 г. Принята к публикации 19.08.2021 г.

Состояние природной среды окраинных морей северо-западной части Тихого океана в значительной степени определяется взаимодействием атмосферных и гидрофизических процессов. Особое место среди атмосферных процессов занимают тропические циклоны (тайфуны), зарождающиеся в тропической зоне северо-западной части Тихого океана и над акваторией Южно-Китайского моря. Основное разрушительное действие тайфунов приходится на Юго-Восточную Азию. Однако их значительное количество направляется на российский Дальний Восток. В процессе формирования тропических циклонов значительную роль играет область Южно-Китайского моря. Это определяет важность изучения гидрометеорологических процессов не только на Дальнем Востоке, но и в Южно-Китайском море и необхолимость объелинения работы вьетнамских и российских ученых. Основная гидродинамическая структура западной части Южно-Китайского моря – Вьетнамское (Западное пограничное) течение, зависящее не только от сезонных муссонов, но и от тайфунов. В работе представлены результаты совместных российско-вьетнамских исследований зависимости вертикальной структуры Вьетнамского течения от тихоокеанских тропических циклонов, формирующихся в Южно-Китайском море, на основе численного моделирования. Для расчетов использовался период апрель – июнь 1999 г, обеспеченный необходимыми натурными данными. Результаты моделирования показали, что в целом структура водных масс зависит от траекторий тропических циклонов. Вьетнамское течение во всех рассмотренных случаях не является единым потоком, а представляет зону вихревых структур разной направленности. Исключение составляет единственная ситуация в условиях тропического циклона в центральном районе Южно-Китайского моря, когда это течение лишь в 200-метровом слое приобретало вид единого неразрывного потока, направленного с севера на юг. К общим закономерностям изменений в динамической структуре Вьетнамского течения при всех рассмотренных траекториях тропических циклонов можно отнести следующее: на поверхности преобладают участки с переносом вод в северном направлении, тогда как остальная водная масса продолжает перемещаться преимущественно в южном направлении. Этот перенос поверхностных вод может быть следствием влияния формирующегося летнего муссона, а остальная водная масса, менее подверженная все еще слабым атмосферным потокам муссонного типа, продолжает перемещаться в зимнем режиме.

Ключевые слова: Южно-Китайское море, Вьетнамское течение, атмосферные процессы, тропические циклоны, циркуляция вод, гидродинамические структуры, численное моделирование **DOI:** 10.31857/S0030157422010191

введение

Состояние природной среды региона, включающего восточноазиатские окраинные моря, в значительной степени определяется взаимосвязанными атмосферными и гидрофизическими процессами. Среди атмосферных процессов особое место занимают тропические циклоны (ТЦ), или тайфуны, зарождающиеся в тропической зо-



Рис. 1. Траектории тропических циклонов, дошедших до российского Дальнего Востока за период 1950–2019 гг. [https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html].

не северо-западного сектора Тихого океана или над акваторией Южно-Китайского моря.

Основное разрушительное действие тайфунов приходится на регион Юго-Восточной Азии. Однако их значительное количество направляется в сторону российского Дальнего Востока, захватывая его материковую и островную части, а также акватории Японского и Охотского морей с выносом большого количества разрушительной энергии (рис. 1). Часто это влечет за собой катастрофические последствия [1, 3, 13, 22].

В общем процессе формирования ТЦ и особенно в транзите тихоокеанских тайфунов на Дальний Восток весьма значительную роль играет Южно-Китайское море, в связи с чем становится очевидной важность изучения взаимосвязи гидрометеорологических процессов не только на Дальнем Востоке, но и в Южно-Китайском море. Это определило объединение усилий вьетнамских и российских ученых в указанном направлении.

Изучением взаимосвязи метеорологических и гидрофизических процессов в Южно-Китайском море авторы занимаются с 2010 г. в рамках соглашения о научном сотрудничестве между Тихоокеанским океанологическим им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук и Институтом океанографии Вьетнамской Академии наук и технологий.

Основной район исследований располагается в западной части Южно-Китайского моря, где проходит одно из мощных течений этого бассейна — прибрежное Вьетнамское (или Западное пограничное) течение (рис. 2) [14, 15, 20, 27, 31 и др.]. Выбор этого района обусловлен тем, что пространственно-временная изменчивость структуры указанного течения существенно влияет на все стороны жизни прибрежных районов Вьетнама.

Как известно [12, 14, 15, 31, 32 и др.], Вьетнамское течение подвержено сезонной изменчивости под влиянием Азиатского муссона. Летом под воздействием этого муссона водные массы Вьетнамского течения направлены с юга и юго-запада на восток и северо-восток. Зимой наблюдается движение в обратном направлении (рис. 2). В соответствии с этим существуют термины режима вод: "летний" и "зимний". Ниже мы будем ис-



Рис. 2. Циркуляция вод в западной части Южно-Китайского моря по Виртке [31]. Стрелки вдоль побережья Вьетнама соответствуют Вьетнамскому течению. Пунктиром показаны границы исследуемого района (11°–16° с.ш., 108°–112.5° в.д.).

пользовать эти термины. В переходные периоды – весной и осенью – происходят перестроечные гидродинамические процессы.

На эти гидродинамические вариации накладываются скоротечные атмосферные пертурбации, наиболее мощными из которых являются уже упомянутые тропические циклоны (тайфуны). Это приводит к временной перестройке гидродинамической ситуации, в частности, к изменению структуры и гидродинамики Вьетнамского течения. Эти изменения стали предметом совместных российско-вьетнамских исследований.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись методом численного моделирования, в результате чего полученные данные имеют прогностический характер.

В течение всего десятилетнего периода совместных исследований для численного эксперимента использовалась одна квазигеострофическая модель интегральной циркуляции вод, описанная в монографиях и статьях [2, 4, 17, 18, 19 и др.] и кратко изложенная ниже. Такой выбор был сделан совместно с вьетнамской стороной и упростил процедуру численного эксперимента. Для моделирования использовались следующие исходные данные:

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

 – значения глубин морского дна из массива топографических данных ЕТОРО-5 [26];

– значения температуры и солености на поверхности моря за период 21.04–5.06.1999 г. по данным экспедиции SEAFDEC, Cruise № 57-3/99;

 значения атмосферного давления, соответствующие выбранному типу атмосферных процессов над Южно-Китайским морем за многолетний период по данным ежедневных синоптических карт приземных полей атмосферного давления Японского Метеорологического агентства [16].

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

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 плот-

ности 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.

Расчеты были выполнены для периода 21.04– 5.06.1999 г., обеспеченного инструментальными гидрологическими измерениями, выполненными в экспедиции Рыболовной Ассоциации стран Юго-Восточной Азии и Японии (SEAFDEC, Cruise № 57-3/99). Это позволило сделать проверку достоверности и качества результатов наших расчетов.

Численный эксперимент выполнялся для различных типов (по [16]) атмосферных процессов, влияющих на перестройку гидродинамики морских вод. В частности, рассчитывалось влияние муссонов в отсутствие тропических циклонов и влияние тропических циклонов, располагающихся на юге, севере и в центральной части Южно-Китайского моря.

В процессе моделирования были рассчитаны интегральные функции тока на морской поверхности, в слое 0–200 м (слой, в котором происходят наиболее активные термодинамические процессы) и от поверхности до дна. На этой основе построены соответствующие карты циркуляции вод с учетом влияния заданного типа атмосферных процессов.

Результаты моделирования гидродинамической ситуации в исследуемом районе под воздействием перечисленных режимов атмосферных процессов, кроме последнего, приведены в работах [5–11, 24, 25, 28–30]. В силу того, что данная статья является продолжением указанных авторских публикаций, район исследования оставлен прежним ($11^{\circ}-16^{\circ}$ с.ш. и $109^{\circ}-112^{\circ}$ в.д.).

Ниже мы излагаем результаты моделирования гидродинамического режима под воздействием тропического циклона, располагающегося в *центральной части* Южно-Китайского моря (ТЦц). Затем приводится сравнительный анализ перестройки гидродинамики в исследуемом районе в условиях других вышеперечисленных типах атмосферных процессов.

Поскольку во всех случаях для расчетов использовались обобщенные за многолетний период, типичные для данного региона (квазистационарные) параметры атмосферных процессов [16], то результаты моделирования, на наш взгляд, мо-



Рис. 3. Тропический циклон, располагающийся в центральной части Южно-Китайского моря (ТЦц), и схема траекторий выхода таких циклонов со стороны Тихого океана [16].

Ц – циклон (низкое давление), ← – – траектории циклонов, изолинии на карте с числами (986–1012) отображают атмосферное давление в мб.

гут также рассматриваться в качестве квазистационарных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидродинамический режим прибрежной акватории Вьетнама в условиях тропического циклона, расположенного над центральной частью Южно-Китайского моря (ТЦц)

По результатам выполненного моделирования в заданных условиях, когда тропический циклон располагается в *центральном районе* Южно-Китайского моря и его непосредственному воздействию подвергается прибрежная акватория Вьетнама (рис. 3), гидродинамическая ситуация в районе Вьетнамского прибрежного течения выглядит следующим образом (рис. 4).

На *поверхности* практически всей акватории района исследований формируется относительно спокойное поле антициклонических и циклонических круговоротов (рис. 4а, 4г). На этом фоне выделяется узкая зона резкого усиления гидродинамики поверхностных вод. Она протягивается примерно от залива Нячанг (≈12.5°–13° с.ш.) на юго-западе до крайнего северо-восточного угла района исследований. Ее дальнейшее распро-



Рис. 4. Циркуляция вод под влиянием тропического циклона, расположенного над центральной частью Южно-Китайского моря: Γ -е – 3D изображения; а, Γ – циркуляция вод на поверхности ($\psi = 1 \times 10^6 \text{ см}^3/\text{с}$); б, д – циркуляция вод в слое от поверхности до 200 м ($\psi = 1 \times 10^{11} \text{ см}^3/\text{с}$); в, е – интегральная циркуляция вод от поверхности до дна ($\psi = 1 \times 10^{12} \text{ см}^3/\text{с}$); ψ – функция тока, Ц – циклон, А – антициклон, красные крупные стрелки вдоль побережья показывают направление движения водных масс в антициклонических структурах, крупные синие стрелки – направление движения водных масс в циклонических структурах.

странение неизвестно. На юго-западе этой зоны сформированы три ярко выраженных локальных циклонических вихря в едином круговороте, интенсивность которых понижается от прибрежной акватории в сторону открытого моря. Наиболее интенсивный вихрь фиксируется вблизи залива Нячанг. Северо-восточная половина этой зоны представлена локальным антициклоническим круговоротом, центральная часть которого выделяется своей интенсивностью.

Гидродинамические причины происхождения указанной зоны пока неясны. Однако возникновение циклонических вихрей у берегов Вьетнама, возможно, связано с существованием здесь апвеллинга в этот период года [21], который может усиливаться дополнительным охлаждением водной поверхности во время прохождения тайфунов [23]. Формирование антициклонической структуры в этой зоне тоже пока неясно. Однако она располагается достаточно близко к действующему ТЦ, и ее генерация может быть связана с этим фактором.

В описанной ситуации Вьетнамское прибрежное течение как единый и неразрывный поток на поверхности не существует. На севере, в поле антициклонического круговорота, воды этого течения устремлены на север, демонстрируя летний гидродинамический режим. Южнее этого участка течение попадает в зону циклонических вихрей, его структура трансформируется, а общее направление переноса вод разворачивается на юг — юговосток. В крайнем юго-западном углу рассматриваемого района, на стыке круговоротов антициклонического и циклонического режимов, перенос прибрежных вод становится неясным.

В слое от поверхности до 200 м (рис. 46, 4д) существовавшая на поверхности зона локальных циклонических вихрей исчезает. На большей части исследуемой площади наблюдается общее циклоническое движение морских вод. В ее северо-западной части фиксируется обширный и глубокий циклонический круговорот. Его юго-восточная граница располагается примерно на месте вышеупомянутой зоны локальных циклонических вихрей и имеет аналогичное направление. Антициклонический круговорот, наблюдавшийся на поверхности в северо-восточной части района, практически вытеснен этой циклонической структурой далее на северо-восток. В юговосточной части района исследований усиливается антициклоническая структура, слабо проявлявшаяся на поверхности (максимальный расход воды на поверхности составляет менее 1×10^6 см³/с, в 200-метровом слое — менее 2 \times 10¹¹ см³/с, см. рис. 4а, 4б).

В целом, гидродинамика верхнего 200-метрового слоя в описанном случае создает благоприятные условия для сохранения целостности общего потока Вьетнамского течения. В его пределах перенос вод направлен с севера на юг и юго-запад, сохраняя режим прошедшего зимнего сезона. Это совпадает с выводами, сделанными в работе [32].

Схема интегральной циркуляции всей толщи морских вод (от поверхности до дна, рис. 4в, 4е) отличается от циркуляции вод на поверхности и в слое 0-200 м. Прежде всего, общая площадь циклонических круговоротов, наблюдаемых в 200-метровом слое, сокращается, а антициклонических увеличивается. Последнее прежде всего относится к восточной половине района исследований, где продолжают наблюдаться два антициклонических круговорота: на северо-востоке с центром в точке ≈15.5° с.ш., 111.5° в.д. и на юго-востоке с центром в точке ≈12° с.ш., 112° в.д. Эти структуры расширились по площади и увеличились по амплитуде. Особенно это касается юго-восточного антициклонического круговорота, где максимум расхода воды в его центре составляет более 1 × $\times 10^{12}$ см³/с. В центральной части прибрежных вод, в зоне Вьетнамского течения (≈12.5°-13.5° с.ш., 109.5°-110.5° в.д.), формируется локальный интенсивный антициклонический вихрь. Примечательно, что на поверхности этого участка располагается, как это было отмечено выше, глубокий циклонический вихрь. Севернее вместо обширного циклонического круговорота, существовавшего в 200-метровом слое, располагается незначительный по площади и амплитуде круговорот того же направления.

Из всех гидродинамических структур, описанных выше, относительно постоянным пространственным присутствием на всех горизонтах водной толщи отличаются круговороты антициклонического типа на северо-востоке и юго-востоке района исследований. Особенно это касается последнего. Незначительно меняясь по занимаемой плошади и форме, эта структура прослеживается во всей водной толще, резко повышая свою интенсивность при переходе от поверхности к 200-метровому слою и постепенно увеличивая ее по мере приближения кодну. Такие особенности указывают на зависимость формирования указанной структуры не только от присутствия тропического циклона. Одним из альтернативных факторов может быть влияние топографии дна. На рис. 5 показана батиметрическая карта района исследований. Как видно, действительно, данный антициклонический круговорот располагается над изолированной подводной возвышенностью (отмечена звездочкой), с небольшим смещением его центра относительно центра возвышенности.

Кстати, генеральную зависимость от крупных форм донного рельефа можно заметить и в других гидродинамических особенностях района исследований. Так, например, отмеченное выше ЮЗ– СВ направление гидродинамических структур в целом соответствует генеральному направлению резкого свала глубин морского дна при переходе к глубоководной котловине Южно-Китайского моря в северной половине изучаемого района (см. рис. 5).

Что касается Вьетнамского течения, то в данной ситуации, как и на поверхности, единого потока не существует. На участке между 12.5° и 13.5° с.ш. течение разрывается указанным выше локальным антициклоническим вихрем. В результате севернее и южнее этого участка воды Вьетнамского течения текут в южном направлении, а в пределах антициклона – в северном.

В целом, моделирование показало, что в условиях, когда тропический циклон охватывает *центральную* часть Южно-Китайского моря, Вьетнамское течение в виде единого и неразрывного потока существует только в верхнем 200-метровом слое. На остальных горизонтах водной толщи в таком виде оно не существует. В целом, несмотря на это, в зоне течения превалирует перенос вод с севера на юг, т.е. к рассмотренному времени го-



Рис. 5. Батиметрическая карта прибрежной зоны Вьетнама [26]. Звездочкой обозначена подводная возвышенность, с которой коррелируется положение антициклонического круговорота; штриховой линией обозначено генеральное направление свала глубин морского дна при переходе в глубоководную котловину Южно-Китайского моря.

да здесь превалирует зимний гидродинамический режим.

Моделирование позволило также наметить гидродинамические структуры, формирование которых, по всей вероятности, не зависит от аномальных атмосферных процессов, но имеет признаки зависимости от топографии морского дна.

Сравнительный анализ гидродинамического режима прибрежной акватории Вьетнама в условиях тропических циклонов, расположенных над разными районами Южно-Китайского моря

Приведенные выше результаты моделирования, в совокупности с ранее полученными данными [7, 9, 10, 30], расширяют наши представления о влиянии атмосферных пертурбаций на гидродинамику подстилающей водной среды. Для лучшего понимания этой взаимосвязи нами выполнен сравнительный анализ всех данных, полученных для условий, когда тропические циклоны располагаются *на севере* (ТЦс), *в центре* (ТЦц) *и юге* (ТЦю) Южно-Китайского моря. Ниже излагаются основные результаты этого анализа (рис. 6).

Как видно из рисунка, во всех случаях, на всех расчетных горизонтах структура вод не одинако-

ва. Однако намечаются и некоторые общие черты гидродинамики. Наиболее сложная ситуация формируется при расположении атмосферных циклонов в северном (ТЦс) и центральном (ТЦц) районах Южно-Китайского моря. Формирующиеся в этих условиях гидродинамические структуры циклонического и антициклонического типов ориентированы, в основном, в широтном и ЮЗ-СВ направлениях. Последнее направление, как это было показано выше, наиболее ярко выражено в структуре поверхностных вод в условиях ТЦц. Однако она сохраняется и в ситуации, когда тропический циклон располагается в северной части Южно-Китайского моря (ТЦс). В обоих случаях это направление наиболее четко проявляется в полосе, протягивающейся от 12°-13° с.ш. (≈залив Нячанг) на юго-западе до крайнего северо-восточного угла района исследований. С одной стороны это соответствует направлению в сторону центров ТЦц и ТЦс, а с другой – генеральному простиранию зоны свала батиметрических глубин при переходе к глубоководной котловине Южно-Китайского моря (см. рис. 5). Возможно, это свидетельствует о взаимосвязи указанных факторов.

Кроме этого, в обоих случаях (ТЦс и ТЦц) на севере и юге исследуемого района на всех расчет-



Рис. 6. Циркуляция вод под влиянием тропических циклонов (тайфунов), расположенных в разных частях Южно-Китайского моря: a-r – тропический циклон в северной части моря (ТЦс), d-3 – тропический циклон в центральной части моря (ТЦц), u-m – тропический циклон в южной части моря (ТЦю), 6-k – циркуляция вод на поверхности ($\psi = 1 \times 10^6$ см³/с), B-л – циркуляция вод в слое 0-200 м ($\psi = 1 \times 10^{11}$ см³/с), r-m – интегральная циркуляция вод от поверхности до дна ($\psi = 1 \times 10^{12}$ см³/с) за период 21.04–5.06.1999. ψ – функция тока; Ц – циклон; А – антициклон.

ных горизонтах формируются антициклонические структуры различной формы и интенсивности от широтного до ЮВ–СЗ направлений. Наиболее интенсивный антициклон формируется на севере района, когда тропический циклон располагается также *на севере* Южно-Китайского моря (ТЦс). На юге района в этом случае, также на всех горизонтах, моделируется спокойный, малоамплитудный круговорот антициклонического типа. Когда тропический циклон располагается *в центре* акватории (ТЦц), антициклонические структуры на севере района сильно деформируются, теряют свою цельность и направление. На юге района антициклонический круговорот

ОКЕАНОЛОГИЯ том 62 № 1 2022

сохраняется, с глубиной превращаясь в интенсивный антициклон.

Между северными и южными антициклонами в обеих атмосферных ситуациях (ТЦс и ТЦц) и на всех горизонтах водной толщи фиксируются гидродинамические структуры циклонического типа. Из них наиболее цельный, занимающий большую площадь и усиливающий свою интенсивность с глубиной, фиксируется в условиях ТЦс. В случае, когда тропический циклон располагается *в центре* Южно-Китайского моря (ТЦц), эта гидродинамическая структура в разных слоях водной толщи приобретает различные формы, размеры и интенсивность. На поверхности этот циклонический круговорот трансформируется в три небольших по площади, но интенсивных вихря в едином круговороте, образующих цепочку таких структур северо-восточного простирания (см. выше). В 200-метровом слое этот циклон расширяется и углубляется, а в слое до дна он перестает существовать в прежней форме: в его южной половине возникает локальный антициклонический круговорот, с севера к которому примыкает лишь небольшой по площади остаточный фрагмент бывшей обширной циклонической структуры.

Существенно иная картина моделируется для условий, когда тропический циклон располагается *на юге* Южно-Китайского моря (ТЦю). *На поверхности* преобладает спокойное поле круговоротов антициклонического типа. Этот фон осложняется двумя локальными замкнутыми антициклонами: один на северо-востоке, а другой – на юге района исследований. Между ними располагается зона спокойного антициклонического перемещения водных масс ЮВ–СЗ направления, чего не наблюдалось в условиях ТЦс и ТЦц. Эта зона выполняет роль "перемычки", разделяющей два небольших по площади и амплитуде циклонических вихря, располагающихся в центральной части района исследований (13°–14° с.ш.).

В 200-метровом слое зона северо-западного направления продолжает присутствовать, это направление начинает преобладать и во всей структуре водной толщи. Динамика вод на рассматриваемой площади также существенно меняется: у берегов Вьетнама расширяется циклонический круговорот, превращаясь в относительно узкую структуру, вытянутую с юговостока на северо-запад. На севере района вместо антициклона сформировался циклонический круговорот. На юге отмеченный выше антициклон продолжает существовать, усиливая свою интенсивность. Наконец, во всей водной толще, до дна, динамическая структура вод меняется не радикально: у берегов Вьетнама циклоническая структура, не меняя своего ЮВ-СЗ направления, углубляется и увеличивает площадь распространения в юго-восточном направлении. На востоке района также расширяется площадь циклонического круговорота. На юге района антициклонический круговорот приобретает ясно выраженную форму эллипса, вытянутого в ЮВ-СЗ направлении.

Вьетнамское течение во всех рассмотренных случаях трансформируется по-разному и в большинстве случаев не представляет собой единого потока. Исключение составляет единственная ситуация в условиях ТЦц, когда это течение лишь в 200-метровом слое приобретает вид цельного неразрывного потока вод, направленного с севера на юг вдоль всего вьетнамского побережья в пределах района исследований.

К общим закономерностям изменений в динамической структуре Вьетнамского течения при всех рассмотренных положениях тропических циклонов можно отнести следующее: на поверхности преобладают участки с переносом вод в северном направлении, вся остальная водная толща продолжает перемещаться преимущественно в южном направлении. Указанный перенос поверхностных вод может быть следствием влияния формирующегося летнего муссона. Остальная водная масса, менее подверженная еще слабым атмосферным потокам муссонного типа, продолжает перемещаться в режиме зимнего сезона.

выводы

Моделирование структуры прибрежных вод Вьетнама в весенний период для случаев, когда тропические циклоны формировались на севере, в центре и на юге Южно-Китайского моря, показало следующее:

1. В целом структура водных масс в исследуемом районе зависит от расположения тропических циклонов.

2. Во всех атмосферных ситуациях гидродинамика района исследований представлена полем водоворотов и вихрей циклонического и антициклонического типов, размеры, форма, направление и амплитуда которых меняется в зависимости от положения тропического циклона. Эта зависимость в разных слоях водной толщи (на поверхности, в слое 200 метров и от поверхности до дна) выражается по-разному.

3. Выявлена перестройка общей направленности гидродинамических структур при разном расположении тропических циклонов. В случае, когда тропические циклоны располагаются к северо-востоку от района исследований (ТЦс и ТЦц), в гидродинамике района наблюдаются структуры того же северо-восточного направления. При положении тропического циклона южнее района исследований направление гидродинамических структур меняется на северозападное. Это может быть еще одним признаком влияния положения тропического циклона на гидродинамику исследуемого района. Действительно, как видно из рисунка 6, в первых двух случаях (ТЦс и ТЦц) циклоны воздействуют на водные массы своим западным крылом, где воздушные потоки переносятся с северо-востока на юго-запад. В последнем случае (ТЦю) воздушный поток при подходе к району исследований направлен с юго-востока на северо-запад.

4. Вьетнамское течение во всех рассмотренных случаях представляет собой не единый поток, а зону вихревых структур разной направленности. Исключение составляет единственная ситуация в условиях ТЦц, когда это течение лишь в 200-метровом слое приобретает вид цельного неразрывного потока вод, направленного с севера на юг вдоль всего вьетнамского побережья в пределах района исследований.

5. К общим закономерностям изменений в динамической структуре Вьетнамского течения при всех рассмотренных положениях тропических циклонов можно отнести следующее: *на поверхности* преобладают участки с переносом вод в северном направлении, вся остальная водная толща продолжает перемещаться преимущественно в южном направлении. Указанное направление переноса поверхностных вод может быть следствием влияния формирующегося летнего муссона. Остальная водная масса, менее подверженная еще слабым атмосферным потокам муссонного типа, продолжает перемещаться в режиме зимнего сезона.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы НИР ТОИ ДВО РАН на 2021–2023 гг.: "Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик окраинных морей Азии и прилегающих районов Тихого и Индийского океанов" (№ 121021700346-7), и вьетнамского национального проекта "Изучение взаимодействия процессов в системе "море–атмосфера–земля" и изменения окружающей среды согласно глобальному климату" в рамках IOC/WESTPAC program (№ DTDL.CN-28/17).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабашкина А.П., Лескова Е.А. Исследование тайфунов, выходящих на Японское море и Приморский край // Труды ДВНИГМИ. 1968. Вып. 3. С. 3–33.
- Васильев А.С. Адаптивно-обучающаяся система прогнозирования классов природных процессов. Ч. 1. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 136 с.
- Верятин В.Ю. Комплексный мониторинг тропических циклонов, оказывающих влияние на дальневосточные регионы России: Дис. канд. геогр. наук: 25.00.30. Воронеж: Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воз-

ОКЕАНОЛОГИЯ том 62 № 1 2022

душная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина". 2020. 127 с.

- Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 359 с.
- 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 // Известия РАН. ФАО. 2016. Т. 52. № 3. С. 361–372.
- 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.
- Власова Г.А., Нгуен Суан Ба, 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. 2016. Т. 9. № 4. С. 25–34.
- 8. Власова Г.А., Нгуен Суан Ба, Деменок М.Н. Циркуляция вод в зоне Вьетнамского течения в условиях малоградиентного барического поля (Южно-Китайское море) //Ученые записки РГГМУ. 2018. № 52. С. 49–60.
- Власова Г.А., Нгуен Суан Ба, Деменок М.Н. и др. Тропический циклон на севере Южно-Китайского моря как фактор, влияющий на структуру Вьетнамского течения // Известия РАН. ФАО. 2020. Т. 56. № 4. С. 446–457.
- Власова Г.А., Нгуен Суан Ба, Деменок М.Н. и др. Динамика прибрежных вод Вьетнама: результаты численного моделирования // Российско-вьетнамские океанологические исследования в Южно-Китайском море. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2020. С. 84–91.
- 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.
- Данг К.М. Океанологические условия Южно-Китайского моря // Морской сборник. Л.: Военноморское изд-во, 1974. № 4. С. 91–93.
- 13. Домышева А.С. Влияние и последствия действия тропических циклонов на прибрежные территории Северного полушария // Молодой ученый. 2019. № 20. С. 50–52.
- Исследования течений Южно-Китайского моря // Отчет НИР. Владивосток: ДВНИГМИ, 1985. 135 с. № гос. рег. 01860034772.
- Нгуен З. Т. Циркуляция вод Южно-Китайского моря в зимний и летний сезоны: Дис. канд. геогр. наук: 25.00.28. Владивосток: ТОИ ДВНЦ, 1990. 177 с.

- 16. Полякова А.М. Типизация атмосферных процессов над Южно-Китайским морем // Метеорология и гидрология. 2011. № 5. С. 17–24.
- Полякова А.М., Власова Г.А., Васильев А.С. Влияние атмосферы на подстилающую поверхность и гидродинамические процессы Берингова моря. Владивосток: Дальнаука, 2002. 203 с.
- Фельзенбаум А.И. Динамика морских течений // Итоги науки и техники. Сер. Гидромеханика. Люберцы: Производственно-издательский комбинат ВИНИТИ, 1970. С. 97–338.
- 19. Шапиро Н.Б. Аналитическое исследование связей между ветром и течением в экваториальной зоне океана // Доклады АН СССР. 1965. Т. 164. № 2. С. 319–322.
- Carton P., Chevey P. Les courants de la mer de Chine meridionale et leurs rapports avec le climat de l'Indochine // Note Inst. Ocean. Indochine. 1934. V. 26. P. 13.
- DanLing Tang, Hiroshi Kawamura, Tran Van Dien, MingAn Lee. Offshore phytoplankton biomass increase and its oceanographic causes in the South China Sea // Marine Ecology Progress Series. 2004. V. 268. P. 31–41.
- 22. https://meteoinfo.ru.
- 23. *Jordan C.L.* On the influence of tropical cyclone on the sea surface temperature field // Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology, New Zeland Meteorology Service, Wellington. 1964. P. 614–622.
- 24. Le Dinh Mau, Vlasova G.A., Demenok M.N. et al. Distribution features of meteorological parameters in Truong Sa archipelago area // Vietnam Journal of Marine Science and Technology. 2020. V. 20. № 4. P. 405–416.
- 25. *Mau Dinh Le, Vlasova G., Dung Thi Thuy Nguyen*. Distribution features of the typhoons in the South China

Sea // Russian Journal of Earth Sciences. 2021. V. 21. N $^{\circ}$ 1. 8 p.

- National Geophysical Data Center. 5-minute Gridded Global Relief Data (ETOPO5). National Geophysical Data Center, NOAA. 1993. DOI: (access date). https://doi.org/10.7289/V5D798BF
- The surface currents of the South China, Java, Celebes and Sulu Seas. Great Britain Hydr.: Department Publ. H.D., 1945. 709 p.
- Vlasova G.A., Nguen Ba Xuan, Bui Hong Long. Circulation of Vietnamese waters under "weak pressure field" in the spring of 1999 // Proceedings 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.
- Vlasova G.A., Nguyen Ba Xuan, Bui Hong Long. Influence of tropical cyclones on the Vietnamese current dynamics in the spring 1999 // Proceedings the second scientific conference on marine geology, IMGiG VAST, Hanoi-Halong, 10-12 October. 2013. P. 1075–1086.
- 30. Vlasova G., Nguyen Ba Xuan, Nguyen Thuy Dung Thi. Comparative influence analysis of various tropical cyclones in the South China Sea on the structure of the Vietnamese Current // Russian Journal of Earth Sciences. 2020. V. 20. № 5. 8 p.
- Wyrtki K. Scientific results of marine investigation of the South China Sea and Gulf of Thailand // NAGA Report 2. 1961. 195 p.
- 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. 2007. V. 63. № 1. P. 77–100.

Influence of Tropical Cyclones of the South China Sea on the Variability of the Vietnamese Current Structure

G. A. Vlasova^{a, #}, Xuan Ba Nguyen^{b, ##}, Mau Dinh Le^{b, ###}, S. S. Marchenko^{a, ####}

^a Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia ^bInstitute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology, Nha Trang, Socialist Republic of Vietnam

#e-mail: gavlasova@mail.ru
##e-mail: ba_xuan04@yahoo.com
###e-mail: ledinhmau.vnio@gmail.com
####e-mail: sv_marchenko@poi.dvo.ru

The state of the natural environment of the marginal seas of the NW Pacific Ocean is largely determined by the interaction of synoptic and hydrophysical processes. Tropical cyclones (typhoons), originating in the tropical zone of the NW Pacific Ocean and over the South China Sea, occupy a special place among atmospheric processes. The main destructive effect of typhoons occurs in the South-East Asia region. However, a significant number of its are directed towards the Russian Far East. The South China Sea plays a significant role in the formation of tropical cyclones. This determines the importance of studying hydrometeorological processes not only in the Far East, but also in the South China Sea and the need to combine the work of Vietnamese and Russian scientists. The main hydrodynamic structure of the western part of the South China Sea is the Vietnamese (Western boundary) current, which depends not only on seasonal monsoons, but also on typhoons. The results of joint Russian-Vietnamese research of the dependence of the vertical structure of the Vietnamese current from Pacific tropical cyclones that form in the South China Sea are presented in this work

ВЛИЯНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ

on the basis of numerical modeling. April-June 1999, provided with the necessary field data, was used for calculations. The modeling results showed that, in general, the structure of water masses depends on the trajectories of tropical cyclones. The modeling results showed that, in general, the structure of water masses depends on the trajectories of tropical cyclones. An exception is the only situation with a tropical cyclone in the central region of the South China Sea, when this current, only in a 200-meter layer, acquired the form of a single flow directed from north to south. The general patterns of changes in the dynamic structure of the Vietnamese Current for all the considered trajectories of tropical cyclones can be classified as follows: areas with water transport in a northern direction prevail on the surface, while the rest of the water mass continues to move predominantly in a southern direction. This transfer of surface waters may be due to the influence of the forming summer monsoon. And the rest of the water mass, which is less exposed by weak atmospheric flows of the monsoon type, continues to move in the winter mode.

Keywords: South China Sea, Vietnamese Current, atmospheric processes, tropical cyclones, water circulation, hydrodynamic structures, numerical modeling