

Научная статья

УДК [551.46.07:629.783](265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-843-865

EDN: TPQWMQ

**СТРУКТУРА ПРИМОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)
НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ И СТАНДАРТНЫХ РАЗРЕЗАХ****А.А. Никитин, И.Л. Цыпышева, Ю.И. Зуенко, Е.О. Басюк***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИПРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе данных спутниковых снимков и стандартных разрезов, полученных в 2000–2024 гг., рассмотрена пространственная структура Приморского течения как полосы холодных вод вдоль побережья Приморья. Использовался архив температуры поверхности моря, восстановленной по данным радиометра AVHRR (спутники серии NOAA) и спектрорадиометра MODIS (спутники AQUA, TERRA). Данные получены и обработаны в Центре коллективного пользования Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН. Определены основные особенности структуры Приморского течения, что позволило сделать вывод о формировании этой холодноводной области в поверхностном слое, протянувшейся от Татарского пролива до зал. Петра Великого, в результате действия комплекса прибрежно-шельфовых процессов, включающего подъем, вертикальное перемешивание вод и распреснение их материковым стоком, с распространением образованной водной массы за пределы районов формирования с общим направлением на юго-запад вдоль побережья в виде сплошного потока с четко видимым стрежнем либо в виде цепочки мезомасштабных вихрей, пятен, полос, струй и т.д., иногда прерывающейся. Основные положения этой концепции соответствуют представлениям, сложившимся еще до развития спутниковой океанографии, однако некоторые детали, касающиеся природы холодных вод Приморского течения, их распространения вдоль побережья Приморья и взаимодействия с окружающими водами, ранее не были известны.

Ключевые слова: Приморское течение, спутниковые данные, мезомасштабный вихрь, апвеллинг, приливное перемешивание, Японское море

Для цитирования: Никитин А.А., Цыпышева И.Л., Зуенко Ю.И., Басюк Е.О. Структура Приморского течения (Японское море) на спутниковых изображениях и стандартных разрезах // Изв. ТИПРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 843–865. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-843-865. EDN: TPQWMQ.

* Никитин Александр Афанасьевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, aleksandr.nikitin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1897-1433; Цыпышева Ирина Леонидовна, ведущий специалист, irina.tsypysheva@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-9524-7326; Зуенко Юрий Иванович, доктор географических наук, заведующий лабораторией, zuenko_yuryu@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X; Басюк Евгений Олегович, ведущий специалист, evgeniy.basyuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-5132-1766.

© Никитин А.А., Цыпышева И.Л., Зуенко Ю.И., Басюк Е.О., 2024

Structure of the Primorye Current (Japan Sea) on satellite images and standard sections

Aleksandr A. Nikitin*, Irina L. Tsypysheva**, Yury I. Zuenko***, Eugeny O. Basyuk****

*—**** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., leading researcher, aleksandr.nikitin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1897-1433

** leading specialist, irina.tsypysheva@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-9524-7326

*** D.Geogr., head of laboratory, zuenko_yury@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X

**** leading specialist, evgeniy.basyuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-5132-1766

Abstract. Based on satellite images and standard sections obtained in 2000–2024, spatial structure of the Primorye Current as a band of cold waters along the coast of Primorye is considered. The archive of sea surface temperature reconstructed from the measurements of AVHRR radiometer (NOAA satellites) and MODIS spectroradiometer (AQUA, TERRA satellites) is used. The data were received and processed at the Center for collective use of regional satellite monitoring on environments in the Far-Eastern branch of Russian Ac. Sci. The main features of the Primorye Current structure are determined that allows to conclude that this cold-water area in the surface layer from the Tatar Strait to Peter the Great Bay is formed by a complex of coastal-shelf processes, including upwelling, vertical mixing, and desalination by terrestrial runoff. This cold, low-saline water mass spreads beyond the formation areas in general southwestward direction, along the coast, either as a continuous flow or as a chain of mesoscale eddies, spots, stripes, jets, etc., sometimes interrupted. The main provisions of this concept correspond with ideas established even before the satellite oceanography development, but some details concerning nature of the cold water of Primorye Current, its spreading along the coast of Primorye and interaction with surrounding waters were previously unknown.

Keywords: Primorye Current, satellite data, mesoscale eddy, upwelling, tidal mixing, Japan Sea

For citation: Nikitin A.A., Tsypysheva I.L., Zuenko Yu.I., Basyuk E.O. Structure of the Primorye Current (Japan Sea) on satellite images and standard sections, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 843–865. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-843-865. EDN: TPQWMQ.

Введение

Течение вдоль берегов Приморья было отмечено первыми исследователями Японского моря по некоторым закономерностям распределения температуры воды и дрейфа судов [Шренк, 1874]. Первоначально это течение связывали со стоком Амура, и оно получило ошибочное название «Лиманское течение», которое, к сожалению, иногда используется до сих пор. Впоследствии С.О. Макаров [1894], обобщивший данные ранних океанографических наблюдений за несколько лет, не обнаружил связи между береговым течением и речным стоком устья Амура. Данные бутылочной почты [Жданко, 1913; Wada, 1915] и первые результаты измерений и моделирования течений [Uda, 1934, 1936] полностью подтвердили этот вывод, доказав, что течение является частью циклонического круговорота в северной части моря (рис. 1, А). Современное название течения соответствует названию исторической области России, вдоль берегов которой оно протекает (Приморье). Первые детальное океанографические исследования прибрежных вод Приморья, проведенные ТИНРО на парусно-моторной шхуне «Россинанте» в 1935–1936 гг., показали сложность структуры Приморского течения, которое на самом деле представляло собой не четко различимый поток, а систему круговоротов и небольших вихрей [Белинский, Истошин, 1950] с высокой пространственной изменчивостью векторов скорости и выраженными сезонными и межгодовыми изменениями [Истошин, 1950, 1975]. По мнению К. Хидаки [Hidaka, 1966], Приморское течение существует только зимой и генерируется зимним муссоном.

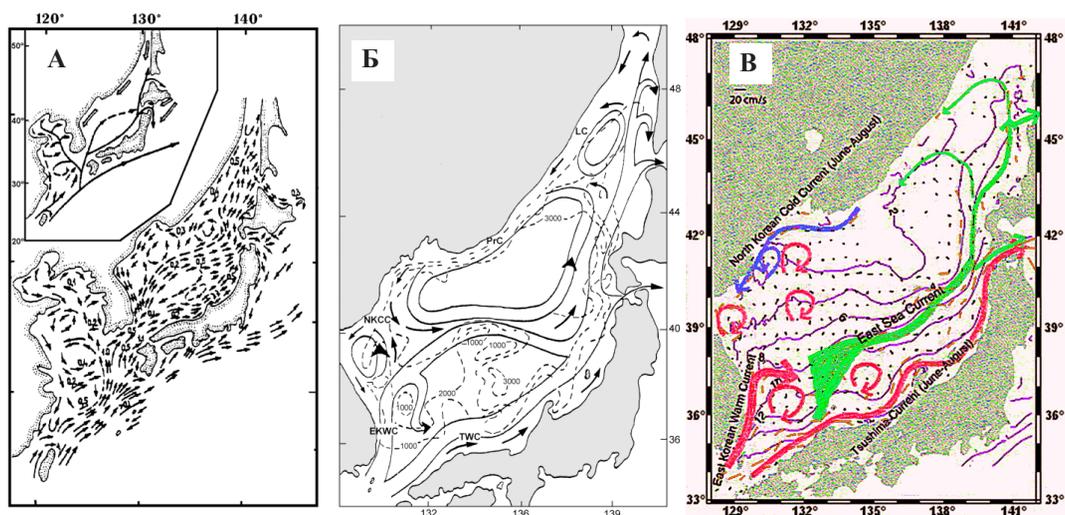


Рис. 1. Схемы поверхностных течений в Японском море, предложенные Уда [Uda, 1934] (А), В.Г. Яричиным [1980] (Б), Ли и Нийлером [Lee, Niiler, 2005] (В). Последняя схема основана на дрейферных наблюдениях и построена на фоне температуры воды на глубине 100 м (данные ЖМА). Сокращенные обозначения основных течений (Б): *PrC* — Приморское течение, *LC* — Лиманское течение, *TWC* — Цусимское теплое течение, *EKWC* — Восточно-Корейское теплое течение и *NKCC* — Северо-Корейское холодное течение

Fig. 1. Schemes of the surface currents in the Japan Sea proposed by M. Uda [1934] (A), V. Yarichin [1980] (B), and D.K. Lee and P.P. Niiler [2005] (B). The latter scheme is based on drifter observations and is drawn on the background of water temperature at the 100 m depth (JMA data). Abbreviations for the main currents at (B): *PrC* — Primorye Current, *LC* — Liman Current, *TWC* — Tsushima Warm Current, *EKWC* — East Korean Warm Current, and *NKCC* — North Korean Cold Current

При обобщении многолетних данных инструментальных наблюдений за течениями в северо-западной части Японского моря была точно определена область начала юго-западного вдольберегового течения (рис. 1, Б): оно возникает в южной части Татарского пролива [Покудов и др., 1976; Яричин, 1980, 1982]. Южный вдольбереговой поток, иногда наблюдавшийся в северной части Татарского пролива, в поле течений не связан с Приморским течением, поэтому В.Г. Яричин предложил для него другое название — течение Шренка. Наибольшие скорости в Приморском течении наблюдаются на расстоянии 15–30 км от берега, примерно на краю континентального шельфа, с максимумом на глубине 100 м.

Массовые инструментальные наблюдения придонных течений на глубинах 5–70 м от мыса Поворотного до бухты Рудная Пристань летом-осенью 1969–1971 гг. (до 1000 измерений вертушками, мареографом и т.д.) выявили сложную структуру Приморского течения [Яблоков, Моторин, 1975]. Выделяются три его области: непосредственно зона холодноводного потока (мористее изобат 40–50 м) с направлением 250–260° и скоростями 10–45 см/с, причем скорости придонных течений довольно четко коррелировали с уклоном дна (более высокие скорости в районе мысов); фронтальная зона над изобатами 20–40 м и зона вдольбереговых противотечений, которые фиксировались повсеместно, причем южные муссонные ветра способствовали их интенсификации, тогда как при северных скоростях противотечений резко снижались. Противотечения могли быть при измерении в антициклонических вихрях вблизи берега, наличие которых нельзя было определить при инструментальной съемке из-за масштаба измерений, но они наглядно наблюдались на спутниковых снимках. Также было показано значительное влияние на течения неправильных полусуточных приливов, несмотря на малую амплитуду изменений уровня моря, приливная компонента течений имела нормальную ориентацию к берегу. Используя данные спутниковой альтиметрии и дрейферов, ко-

рейские ученые создали схему поверхностной циркуляции в прилегающем к берегам п-ова Корея районе Японского моря, включающем южную часть Приморского течения и Северо-Корейское течение (рис. 1, В).

Возникновение холодных вод в районе Приморского течения ряд исследователей связывают с трансформацией в Татарском проливе тихоокеанских вод, принесенных Цусимским течением [Леонов, 1960; Сизова, 1961; Покудов, Туноголовец, 1975]. Однако с накоплением данных океанографических наблюдений появились новые взгляды на этот вопрос, согласно которым в формировании холодных вод в прибрежной зоне Приморского течения участвуют также процессы ветрового апвеллинга и приливного перемешивания [Жабин и др., 1992; Зуенко, 1992].

К концу XX века Приморское течение рассматривалось как относительно слабый нестабильный поток от Татарского пролива до зал. Петра Великого, включая оба этих района, замыкающий циклоническую циркуляцию на севере Японского моря и отличающийся сложной природой и большой пространственно-временной изменчивостью [Naganuma, 1992]. В это время океанологам стал доступен новый источник информации об океане, позволивший рассмотреть структуру водных масс и течений, их изменчивость на качественно более высоком уровне, — данные спутниковых наблюдений. Благодаря этой возможности были прослежены расположенные вдоль побережья Приморья цепочки мезомасштабных вихрей, совокупность которых образовала ядро Приморского течения [Ostrovskii, Hiroe, 1994; Никитин, Дьяков, 1998], определены типы пространственной термической структуры в Японском море с учетом разнообразия размеров и очертаний области Приморского течения [Никитин, Харченко, 2002; Никитин, Юрасов, 2007]. По результатам совместного анализа спутниковых измерений, дрейфа плавучих буев, измерений ADCP и STD определена интегральная скорость дрейфа в потоке Приморского течения, которая в зависимости от сезона и года колебалась от 12 до 38 см/с [Гинзбург и др., 1998]. С помощью термогидродинамической модели, ассимилирующей спутниковые данные о ветре у морской поверхности, показано, что в теплое время года ветровой режим является важным фактором изменчивости Приморского течения: оно усиливается в условиях циклонической завихренности поля ветра и ослабевает и распадается на отдельные вихри в условиях его антициклонической завихренности [Трусенкова, 2007; Trusenkova et al., 2009].

Попытки обобщения современных взглядов на пространственную структуру вод Японского моря, включая район Приморского течения, с учетом результатов спутниковых наблюдений сделаны в некоторых работах корейских и российских океанологов [Yoon, Kim, 2009; Никитин и др., 2020]. Однако представления о структуре и изменчивости Приморского течения до сих пор остаются весьма противоречивыми, а иногда и неверными, его происхождение не вполне ясно. Новые спутниковые данные существенно усложнили картину структуры течения по сравнению с доспутниковым периодом, хотя принципиальных расхождений между спутниковыми и натурными данными нет, а все основные особенности течения можно проследить как по прямым, так и по дистанционным наблюдениям, а также по результатам моделирования. Между тем Приморское течение является важным элементом круговорота вод в северной части Японского моря, а его относительно холодные, малосоленные воды оказывают большое влияние на северо-западное побережье и даже шире (см., например, результаты Мартина и Кавасае [Martin, Kawase, 1998] о влиянии потока пресной воды от таяния морского льда, выносимого течением из Татарского пролива, на циркуляцию прибрежных вод). Кроме того, вдольбереговое течение способно влиять на размножение и расселение в прибрежных водах морских растений и беспозвоночных, споры и личинки которых пассивно переносятся.

В последнее время появилась новая актуальная проблема — трансформация Приморского течения под влиянием глобального изменения климата. Эти проблемы побудили авторов обобщить и систематизировать большой объем спутниковой информации о структуре и изменчивости вод Японского моря, накопленный за последние два десятилетия, применительно непосредственно к району Приморского течения, чтобы сформулировать современную концепцию его природы и динамики.

Материалы и методы

Приморское течение — западный пограничный поток в циклоническом круговороте Японского моря [Яричин, 1980; Holloway et al., 1995]. Такие течения обычно отличаются холодным верхним слоем. Для общей его характеристики с помощью модели OSCAR (URL: https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSCAR_L4_OC_NRT_V2.0) были ежемесячно рассчитаны средние за 30 лет (1993–2022 гг.) векторы течений в верхнем слое моря по пространственной сетке $\frac{1}{4}$ градуса (рис. 2).

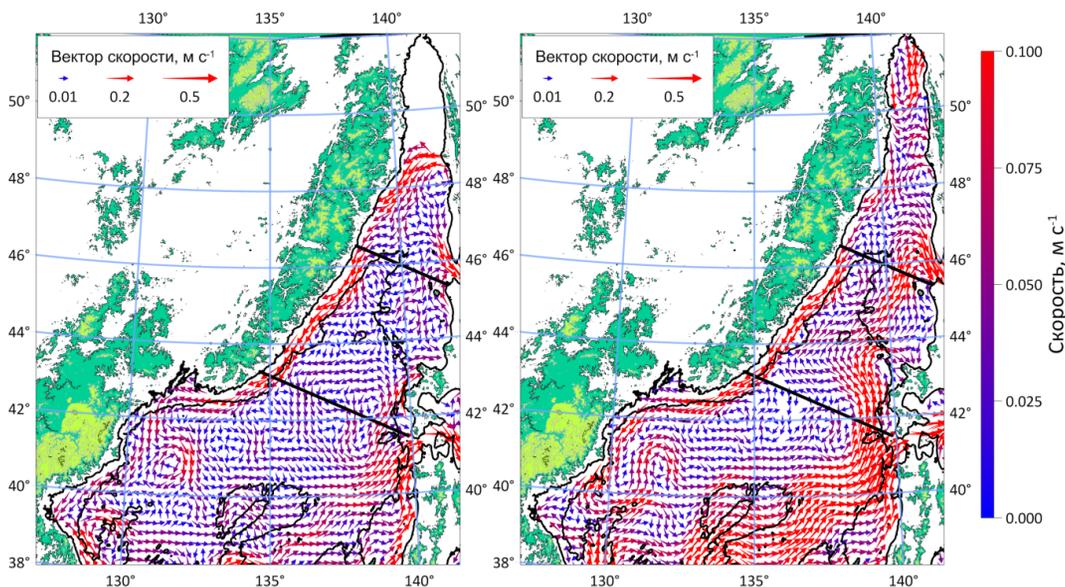


Рис. 2. Осредненные за 30 лет (1993–2022 гг.) векторы скоростей течений в северной части Японского моря в марте (слева) и сентябре (справа). Отмечена изобата 1500 м. Черными линиями показано расположение разрезов для расчета скоростей

Fig. 2. Averaged over 30 years (1993–2022) current velocity vectors in the northern Japan Sea in March (left) and September (right). The 1500 m isobath is shown. Black lines show the transects for calculation the current velocity

Как можно видеть на рис. 2, вдоль всего российского побережья течение направлено на юго-запад, однако значительные (> 10 см/с) скорости вдольберегового течения наблюдаются только на участке между южной частью Татарского пролива и зал. Петра Великого. На этом же участке располагается холодная поверхностная водная масса пониженной солёности. Этот поток обычно и называется Приморским течением, а холодная водная масса — водами Приморского течения. Термическая структура этих вод, наблюдаемая на инфракрасных спутниковых снимках, характеризует пространственную структуру течения. Поэтому в данной статье, где не обсуждаются результаты измерений движения воды, пространственная структура Приморского течения и ее изменчивость анализируются по особенностям конфигурации этой холодноводной области и ее мезомасштабных структурных элементов (фронты, ветви, вихри, струи и меандры). Впрочем, хотя результаты прямых измерений течений в работе не использованы, о переносе воды можно судить косвенно по форме этой холодноводной области, форме и характеру перемещения мезомасштабных элементов ее структуры, а также по дрейфу морского льда, других природных трассеров.

Отметим, что треки океанографических буев всегда направлены вдоль побережья Приморья с северо-востока на юго-запад, отображая траекторию основного потока Приморского течения. Летом этот поток ориентирован против преобладающих муссонных ветров, которые ослабляют его на поверхности моря. Этот поток сохраняется благодаря бароклинности прибрежной зоны, поддерживаемой низкой солёностью у побережья

[Uda, 1934; Kim, Yoon, 1996; Riser et al., 1999; Yoshikawa et al., 1999]. Очевидно, что низкая соленость у побережья обусловлена влиянием материкового стока, хотя какую-то роль играет и вынос льда и талой воды из Татарского пролива весной [Park et al., 2006].

Спутниковые данные. Анализируется информация о температуре поверхности моря (ТПО) за 2000–2024 гг., восстановленной по данным радиометра AVHRR (спутники серии NOAA) и спектрорадиометра MODIS (спутники AQUA, TERRA) в инфракрасном диапазоне спектра с пространственным разрешением 1,0 и 1,1 км. Данные были получены по двум инфракрасным каналам с 5 спутников и обработаны с помощью полуэмпирического алгоритма с атмосферной коррекцией, разработанного в Центре коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН [Алексанин, Алексанина, 2006]. Для визуализации пространственного распределения ТПО использовалась программа Glance1.95 (<http://satellite.dvo.ru/files/Glance195setup.exe>). Ежемесячно получали от 5 до 15 видимых и инфракрасных изображений северо-западной части Японского моря без облачности. При визуальном дешифрировании области с различной температурой поверхности моря (ТПМ) были дифференцированы по цвету, что позволило выявить термические неоднородности морской поверхности, такие как фронты, мезомасштабные вихри, струйные течения, апвеллинги и т.п. Кроме того, для каждого снимка определяли изотерму, совпадающую с фронтом Приморского течения. В качестве дополнительных признаков различия водных масс разного происхождения использовали оптические индикаторы. Так, граница между субарктическими и субтропическими водами более четко видна по резкому изменению концентрации хлорофилла *a*: в водах Приморского течения она составляла 0,7–3,0 мг/м³ (в некоторых заливах до 10,0 мг/м³), тогда как в субтропических водах не превышала 0,5 мг/м³. При анализе результатов наибольшее внимание уделялось таким параметрам пространственной структуры, как размеры холодноводного участка Приморского течения, положение главного потока, форма ветвей, струй и меандров, расположение, размеры и конфигурация мезомасштабных вихрей, положение термических фронтов и градиентов ТПМ на них.

Судовые океанографические данные. Спутниковые данные дополнены сведениями измерений температуры и солености в двух океанографических съемках и повторных стандартных разрезах с зондированием до глубин 200–500 м (рис. 3; см. таблицу). Измерения температуры и солености на разрезах выполнены с помощью океанографических зондов-профилометров Neil-Brown Mark-II (до 2003 г.) и Sea-Bird SBE-9, SBE-19plus или SBE-25 (в настоящее время) и охватывали большую часть исключительной экономической зоны России в Японском море (между 40 и 47° с.ш.), стандартные разрезы расположены к югу и востоку-юго-востоку от Владивостока (мониторинг с 1926 г., по современной стандартной схеме с 1981 г.). Эти данные были использованы для расчета таких количественных показателей пространственной структуры, как градиент ТПМ и скорость геострофического потока.

Геострофические течения рассчитывали так называемым динамическим методом для устойчивого течения [Зубов, Мамаев, 1956] относительно нулевого уровня на глубине 500 м с использованием программного обеспечения, разработанного в АтлантНИРО. Нулевой уровень 500 м обоснован для Японского моря Ю.В. Сизовой [1961], Г.И. Юрасовым и В.Г. Яричиным [1991].

Учитывая высокую сезонную и межгодовую изменчивость Приморского течения, его пространственную структуру рассмотрели отдельно по сезонам, а в каждом сезоне — по типам термического режима Японского моря, определенным по положению Субарктического/Полярного фронта [Никитин, Харченко, 2002]. Сезоны классифицированы с учетом особенностей вертикальной структуры вод: зима — январь-март, весна — апрель-июнь, лето — июль-сентябрь и осень — октябрь-декабрь [Юрасов, 1977]. Для каждого сезона выбраны наиболее характерные месяцы, а именно: зима — февраль или март, весна — май или июнь, лето — август или сентябрь, осень — ноябрь

холодных и теплых течений. Поскольку в 2000–2024 гг. преобладали нормальный и теплый типы термического режима (холодный тип наблюдался только зимой 2013 г.), основное внимание в исследовании уделяется пространственным закономерностям Приморского течения в годы с нормальным и теплым режимами.

Результаты и их обсуждение

По осредненным за 30 лет данным моделирования Приморское течение круглогодично прослеживается от 47–48° с.ш. до траверза мыса Гамова, переходя затем в менее устойчивое Северо-Корейское течение (см. рис. 2). На верхнем участке течения его стрежень расположен в пределах шельфа с максимальными скоростями близ изобаты 100 м, но чем южнее, тем больше он смещается в сторону материкового склона, а в зал. Петра Великого — иногда и в глубоководную котловину. Осредненные в климатическом масштабе скорости течения на севере не превышают 0,10 м/с, усиливаясь в средней части Приморья до 0,15 м/с, а южнее вновь ослабевая примерно до 0,10 м/с. В масштабе моря в целом поля скоростей Приморского течения и их величины вполне сравнимы между летним и зимним сезонами (рис. 4).

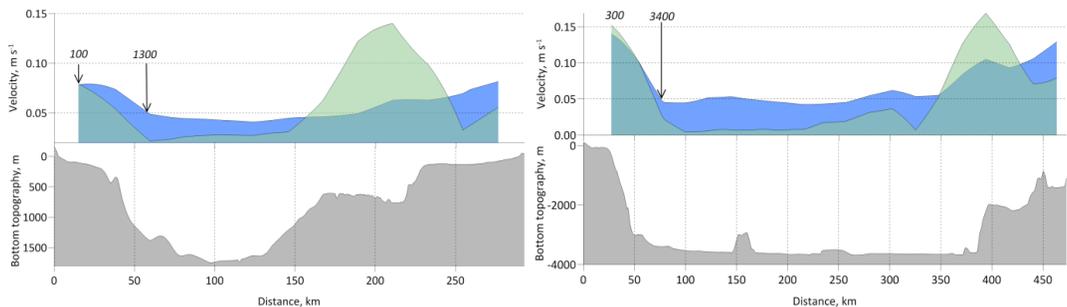


Рис. 4. Пространственные изменения на разрезах поперек Японского моря магнитуд скоростей течений, рассчитанных с помощью модели OSCAR, в зависимости от рельефа дна в марте (синий цвет) и сентябре (зеленый цвет). Слева — разрез на 45–47° с.ш., справа — разрез на 41–43° с.ш., точное расположение разрезов показано на рис. 2. Стрелками с цифрами отмечены изобаты, между которыми скорость течения быстро уменьшается

Fig. 4. Spatial variation along the transects across the Japan Sea for velocity magnitude of the currents modeled by OSCAR model in dependence on the sea bottom relief in March (blue) and September (green). **Left panel** — the transect at 45–47° N, **right panel** — the transect at 41–43° N, both transects location is shown at Fig. 2. The arrows with numbers mark the isobaths between which the current velocity decreases rapidly

В холодное время года (зима-весна) термическая структура Приморского течения хорошо видна на спутниковых инфракрасных изображениях благодаря как резким контрастам ТПМ, так и отсутствию облачности. Наблюдается большое разнообразие вихрей различных знаков и размеров, их количество, расположение и конфигурация во многом зависят от характера адвективных процессов. В теплую половину года (лето и осень) за счет радиационного прогрева поверхностного слоя моря, градиенты ТПМ сглаживаются, и на инфракрасных снимках они выделяются слабо или удовлетворительно. Такие условия типичны для летнего сезона, но даже при сглаженных градиентах ТПМ фронт между холодными водами Приморского течения и более теплыми водами летом хорошо виден, прослеживаются мезомасштабные элементы его пространственной структуры, если нет облаков.

Приморское течение в зимний сезон. Особенности зимней пространственной структуры Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрены на примерах февраля 2000 и 2011 гг. и января 2002 и 2014 гг. Приморское течение в этих условиях — это сплошной пояс холодной воды вдоль всего побережья Приморья (рис. 5). На стандартном разрезе Приморское течение представлено наи-

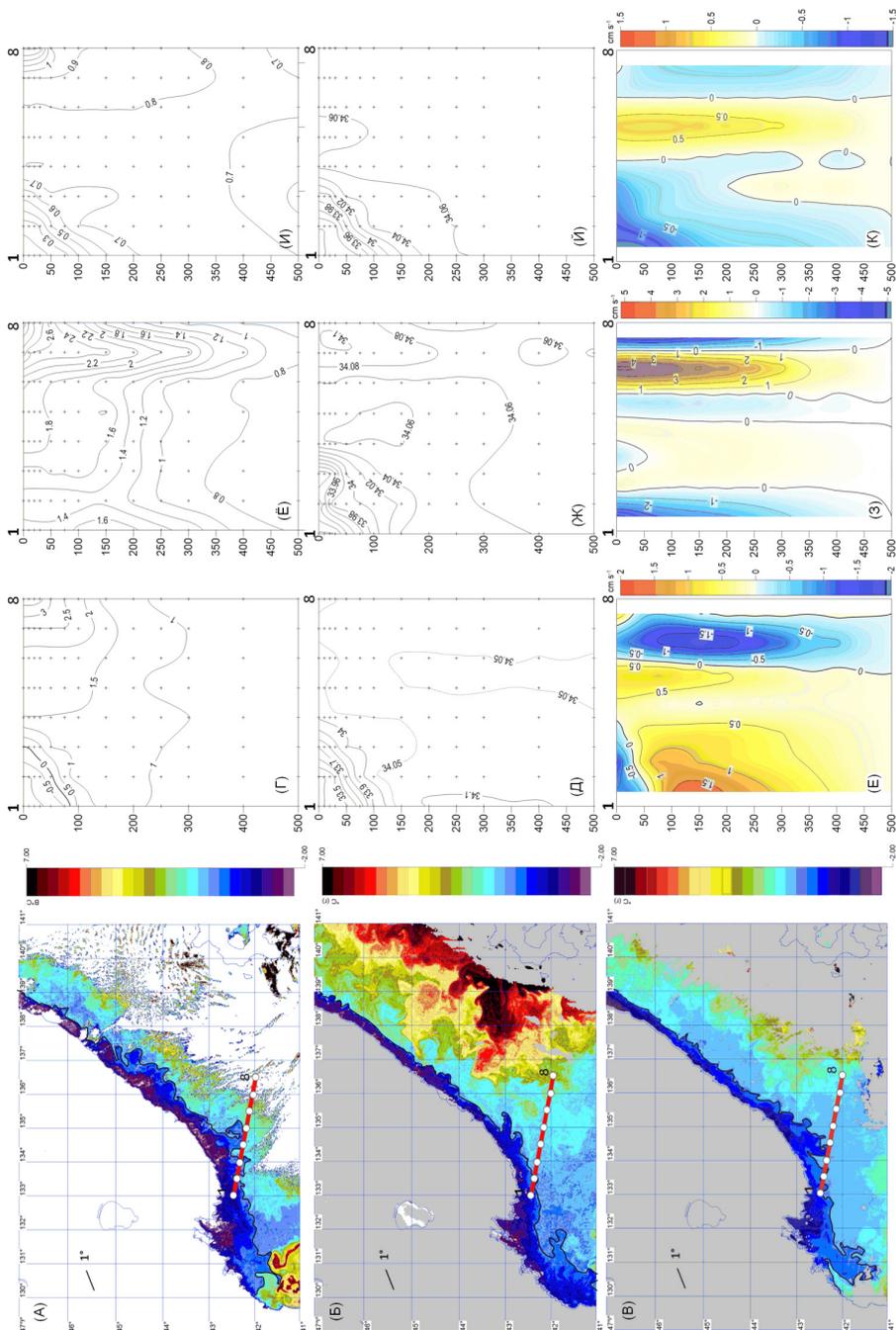


Рис. 5. Температура поверхности северо-западной части Японского моря по данным спутниковых измерений в зимы с нормальным (А — 22 февраля 2000 г., 7:34 UTC, NOAA-12), теплым (Б — 25 марта 2015 г., 20:55 UTC, NOAA-15) и холодным (В — 16 марта 2013 г., 5:29 UTC, NOAA-18) типами термического режима и вертикальное распределение температуры, солёности и скорости геострофических течений относительно глубины 500 м на стандартном разрезе 22 февраля 2000 г. (Г, Д, Е), 20 марта 2015 г. (Ж, З) и 16 марта 2013 г. (И, Й, К). На картах показано расположение стандартного разреза в восточно-юго-восточном направлении от Владивостока (станции 1–8); серой заливкой показана суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 5. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite measurements in winters with normal (A — February 22, 2000, 7:34 UTC, NOAA-12), warm (B — March 25, 2015, 20:55 UTC, NOAA-15) and cold (C — March 16, 2013, 5:29 UTC, NOAA-18) types of thermal regime and vertical distribution of temperature, salinity and velocity of geostrophic currents relative to a depth of 500 m on the standard section on February 22, 2000 (Г, Д, Е), March 20, 2015 (Ж, З) and March 16, 2013 (И, Й, К). The maps show location of the standard section east-southeastward from Vladivostok (stations 1–8); the gray shading shows land and cloud-covered sea areas

более холодной (+1...–1 °С) и малосоленой (< 34,00 ‰) водной массой, занимающей верхний слой моря до глубины 50 м в западной части разреза (рис. 5, Г, Д). Скорость геострофического потока по разрезу в верхнем слое невелика (1–2 см/с); ниже наблюдается течение противоположного направления (рис. 5, Е). Внутри непрерывного потока холодной воды разбросаны пятна наиболее низкой температуры, имеющие циклоническое или антициклоническое вращение. Основной поток Приморского течения с наименьшей ТПМ проходит в 20–30 км от берега. На 45° с.ш. течение может прижиматься к берегу, как это было в феврале 2011 г. Иногда поток холодных вод не доходит до мыса Поворотного (как в январе 2014 г.), прерываясь вторжением на запад относительно теплых вод по 42°30' с.ш. Иногда на расстоянии 2–3 км от берега, к югу от 46° с.ш., наблюдается узкая (1–3 км) полоса относительно теплой воды, вызванная, возможно, апвеллингом. Фронт Приморского течения четко очерчен в 20–80 км от берега и примерно совпадает с изотермой 1 °С. Градиент ТПМ на фронте составляет около 0,03 °С/км, солености — 0,005 ‰/км.

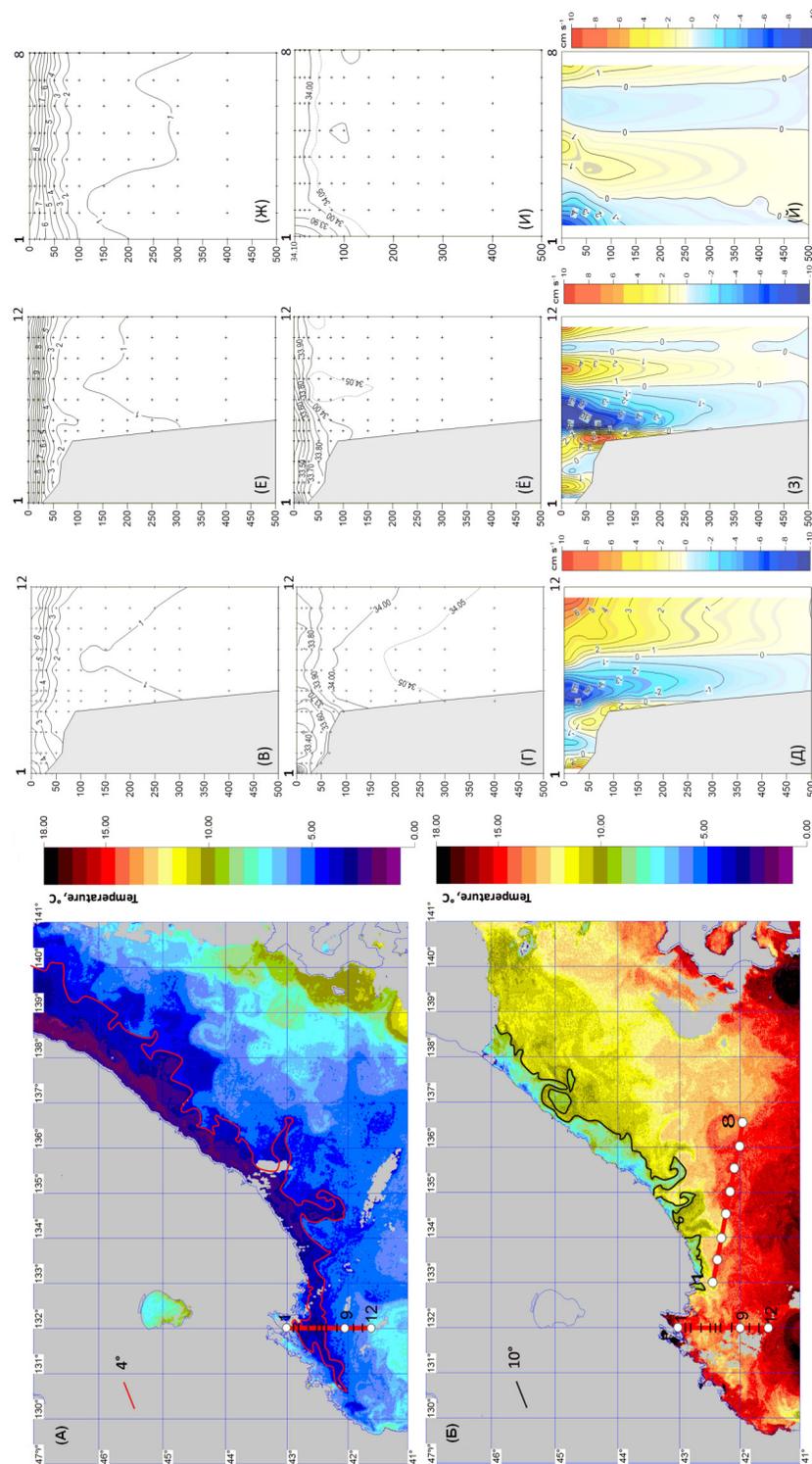
В зимы с теплым типом термического режима (март 2015 г.) холодноводный поток Приморского течения четко выражен лишь севернее 44° с.ш., где он имеет ширину 20–50 км, но уменьшается до узкой полосы вдоль побережья южного Приморья (рис. 5, Б). На стандартном разрезе Приморское течение прослеживается до глубины 300–400 м; скорость геострофического потока в верхнем 100-метровом слое составляет ≈ 4 см/с (рис. 5, Ё–З). У побережья северного Приморья ТПМ в Приморском течении ниже 0 °С основной поток проходит в 20–30 км от берега, на восточной периферии холодноводной области между 43 и 45° с.ш. формируется множество мелких циклонических вихрей, вызванных сильными прибрежными ветрами и взаимодействием с противотечением более теплых вод. На юге Приморья Приморское течение активно взаимодействует с квазистационарными мезомасштабными антициклоническими вихрями Цусимского течения, иногда их теплые воды приближаются к побережью бухт Преображения, Ольга и Рында. Фронт Приморского течения проходит обычно вдоль всей береговой линии и совпадает с изотермой 1 °С, но более резок севернее 44° с.ш. и в зал. Петра Великого, иногда прерывается притоками теплых вод к побережью южного Приморья с востока (вдоль 42°20' с.ш.) или с юга. Приток теплых вод к побережью Приморья на 45° с.ш. не прерывает холодноводный пояс Приморского течения, а поворачивает на юг и идет параллельно.

Холодный тип зимнего термического режима наблюдался только в марте 2013 г. (рис. 5, В). В этих условиях поток Приморского течения хорошо развит и прослеживается вдоль всего побережья Приморья, но наиболее четко выражен севернее 46° с.ш. Южнее 43° с.ш. прибрежная зона занята относительно теплой водой. Притоки теплых вод к побережью практически отсутствуют. Фронт Приморского течения примерно совпадает с изотермой 1 °С. Градиенты на стандартном разрезе к востоку-юго-востоку от Владивостока составляют < 0,01 °С/км для ТПМ и 0,002 ‰/км для солености, поток холодной воды имеет мощность 300–400 м при скорости геострофического течения в этом слое 1–2 см/с (рис. 5, И–К). В целом этот тип режима отличается пониженной температурой воды как у поверхности моря, так и во всем верхнем слое моря.

Приморское течение в весенний сезон. По мере прогрева вод пространственная структура Приморского течения становится более сложной. Его зона на поверхности моря может быть занята субтропическими водами при их адвекции до побережья или трансформироваться в цепочку вихрей между 43 и 45° с.ш. У побережья возникают локальные апвеллинги. Перемещение мезомасштабных вихрей, интенсивность и локализация апвеллингов зависят от скорости и направления ветра [Лобанов и др., 2007; Никитин и др., 2009].

Весенняя картина Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрена на примере мая 2016 г. В этих условиях течение представлено сплошным вдольбереговым потоком шириной 20–60 км, простирающимся на юг до 41°30' с.ш. (рис. 6). В пределах этого потока наименьшая ТПМ наблюдается севернее

Рис. 6. Температура поверхности и скорости западной части Японского моря по данным спутниковых измерений весной с нормальным (А — 7 мая 2016 г., 21:27 UTC, NOAA-15) и теплым (Б — 13 июня 2004 г., 7:32 UTC, NOAA-12) типами термического режима и вертикальное распределение температуры, скорости и скорости геострофических течений (относительно глубины 500 м) на стандартных разрезах 8 мая 2016 г. (В, Г, Д), 2016 г. (Е, Ж, З), 2004 г. (И, К, Е), 2004 г. (И, К, Е) и 9 июня 2004 г. (И, К, Е) и 9 июня 2004 г. (И, К, Е) направлений



2008 г. (Ж, И, Й). На картах показано расположение стандартных разрезов в южном (станции I-12) и восточно-юго-восточном (станции I-8) направлениях от Владивостока; серой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 6. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite measurements in spring with normal (A — May 7, 2016, 21:27 UTC, NOAA-15) and warm (B — June 13, 2004, 7:32 UTC, NOAA-12) types of thermal regime and vertical distribution of temperature, salinity and velocity of geostrophic currents (relative to a depth of 500 m) on standard sections on May 8, 2016 (B, Г, Д), June 15, 2004 (E, Ж, З) and June 9, 2008 (Ж, И, Й). The maps show location of the standard sections southward (stations I-12) and east-southeastward (stations I-8) from Vladivostok; land and cloud-covered sea areas are shown in gray

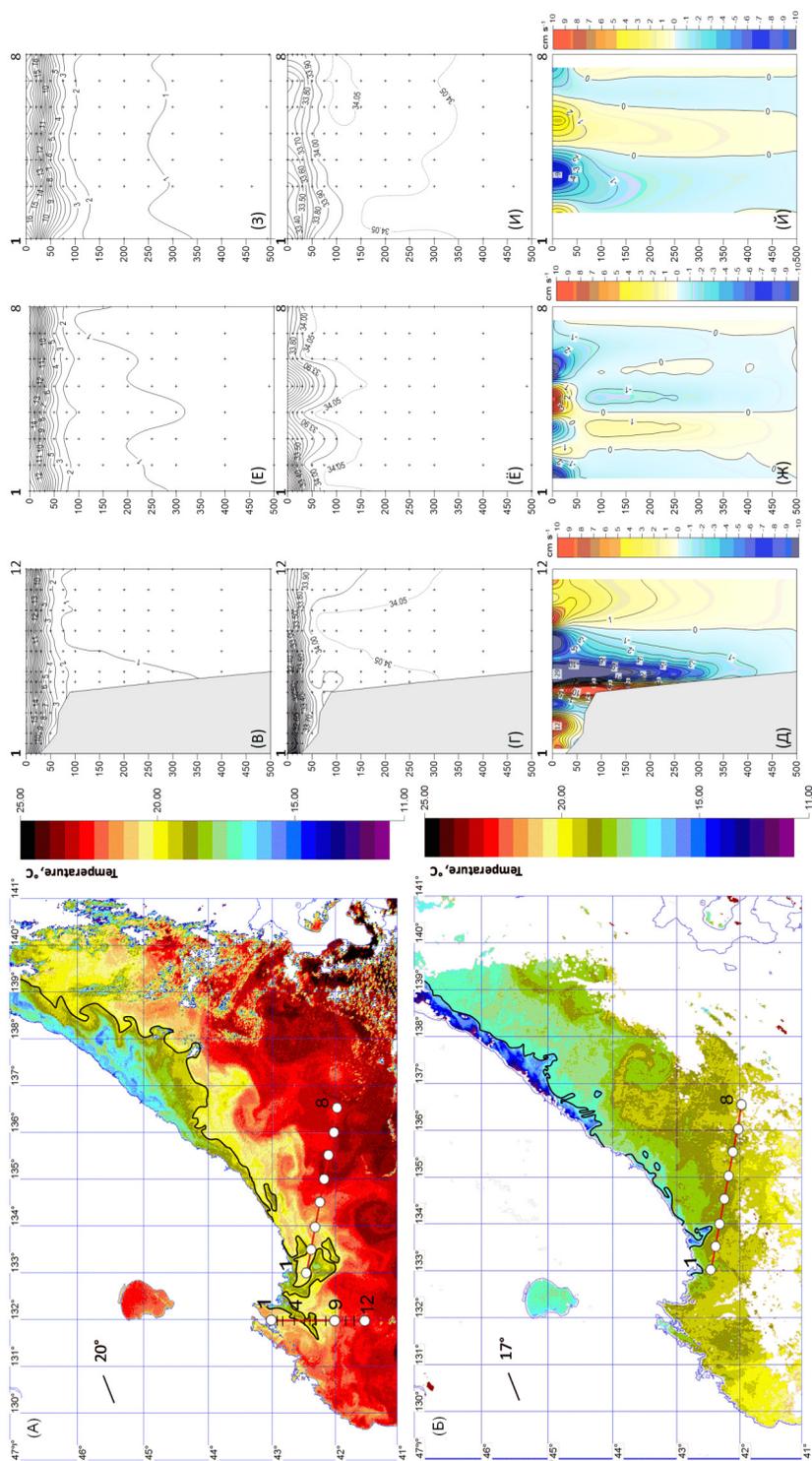
44° с.ш. и в зал. Петра Великого. Во внутренней части зал. Петра Великого в это время уже сформирована обширная область теплых прибрежных вод (4–6 °С), но холодные воды Приморского течения занимают внешнюю часть залива и в центре его вторгаются в южную часть Уссурийского залива. Притоки теплых вод местами прерывают поток Приморского течения и достигают побережья Приморья в юго-западной части зал. Петра Великого и в районах мысов Белкина и Сосунова (44–45° с.ш.). Фронт Приморского течения выражен лишь севернее 43° с.ш., где он расположен в 30–40 км от берега, примерно вдоль изотермы 4 °С. В процессе взаимодействия с более теплыми водами на фронте образуется множество мелких меандров и вихрей разного знака. Фронт максимально заострен (перепад ТПМ 1,5–4,3 °С) в районе соприкосновения холодных и теплых потоков на 44° с.ш. На стандартном разрезе к югу от Владивостока поток Приморского течения занимает поверхностный и подповерхностный слои до глубины 300–400 м с максимальной скоростью геострофического течения (> 11 см/с) над материковым склоном (рис. 6, В–Д).

Особенности пространственной структуры Приморского течения в теплых весенних условиях рассмотрены на примере июня 2004 г. (рис. 6, Б). При этом типе термического режима холодноводный поток сужается до ширины < 20 км и приближается к берегу, где-то трансформируется в цепочку мелких антициклонических вихрей и холодных пятен, а в зал. Петра Великого — в узкую прерывистую полосу холодной воды вдоль кромки шельфа шириной 5–10 км, при этом весь шельф залива занят теплыми прибрежными водами. Область наиболее холодной воды прослеживается севернее 46° с.ш., прижимаясь к берегу. Холодные струи, перпендикулярные береговой линии, наблюдаются вблизи некоторых мысов, где, возможно, присутствует ветровой апвеллинг. Фронт Приморского течения проходит примерно по изотерме 10 °С, между 43°00' и 45°20' с.ш. он искажен струями с грибовидными вершинами и спиральными антициклоническими вихрями диаметром 25–40 км и шириной спирали 2–5 км. На стандартных разрезах холодный слой Приморского течения подстилается подповерхностным слоем с высокой соленостью (до 34,10 ‰), вероятно, субтропического происхождения (рис. 6, Е–Ж). Скорость геострофического течения над кромкой шельфа в зал. Петра Великого в верхнем 50-метровом слое достигает 11 см/с, западное направление геострофического течения сохраняется до глубины 400 м (рис. 6, И, Й).

Приморское течение в летний сезон. Летняя картина Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрена на примере августа 2013 г. В этих условиях оно представляет собой узкую вдольбереговую полосу к северу от 46° с.ш., расширяющуюся между 44 и 46° с.ш., где наблюдаются минимальные значения ТПМ, южнее холодноводный поток вновь прижимается к берегу или даже исчезает, прерываясь вторжениями теплых субтропических вод с юга или с востока, и вновь появляется над кромкой шельфа зал. Петра Великого (рис. 7). На самом южном участке параллельно холодноводному потоку следует тепловодный поток на запад, аналогичные параллельные потоки с разной температурой отмечены между 45 и 47° с.ш. Фронт Приморского течения примерно совпадает с изотермой 20 °С. На стандартных разрезах холодная вода Приморского течения занимает верхний слой 30–50 м, скорость геострофического течения в нем оценивается в 20–50 см/с. Ниже, в подповерхностном слое до глубины 250–300 м, наблюдается поток вод субтропического происхождения с высокой соленостью (> 34,10 ‰) того же направления (рис. 7, В–Ж).

Летняя пространственная структура Приморского течения при теплом типе термического режима рассмотрена на примере сентября 2018 г. В таких условиях поток холодной воды чаще всего не проявляется на поверхности моря или виден лишь на отдельных участках севернее 43° с.ш., так как под влиянием преобладающих южных ветров его интенсивность снижается, а адвекция теплых вод с востока усиливается (рис. 7, Б). Пятна с наименьшей ТПМ (< 8 °С) встречаются обычно у побережья севернее 44° с.ш., слабый вдольбереговой поток относительно холодной воды — севернее 46° с.ш. В целом область Приморского течения представляет собой цепочку мезомасштабных антициклонических

Рис. 7. Температура поверхности северо-западной части Японского моря по данным спутниковых измерений летом с нормальным (А — 27 августа 2013 г., 17:14 UTC, TERRA/MODIS) и теплым (Б — 24 сентября 2018 г., 22:18 UTC, NOAA-15) типами термических условий и вертикальное распределение температуры, солёности и скорости геострофических течений (относительно глубины 500 м) на стандартных разрезах 25–26 августа 2013 г. (В, Г, Д), 2013 г. (Е, Ж), 2013 г. (З, И, Й) и восточно-юго-восточном направлении от Владивостока; белой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками



(Е, Ж) и 24 сентября 2018 г. (З, И, Й). На картах показано расположение стандартных разрезов в южном (станции I–I2) и восточно-юго-восточном (станции I–8) направлениях от Владивостока; белой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 7. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite measurements in summer with normal (A — August 27, 2013, 17:14 UTC, TERRA/MODIS) and warm (Б — September 24, 2018, 22:18 UTC, NOAA-15) types of thermal conditions and the vertical distribution of temperature, salinity and geostrophic current velocity (relative to a depth of 500 m) on standard sections southward (stations I–I2) and east-southward (stations I–8) from Vladivostok; land and cloud-covered sea areas are shown in white

вихрей диаметром 25–40 км. Теплые воды субтропического происхождения легко прерывают эту цепочку и проникают в прибрежную зону, в частности к средней части побережья Приморья (43–45° с.ш.), где формируется крупный теплый антициклонический вихрь с центром примерно на 44° с.ш. 138° в.д., полностью перекрывающий холодноводный поток, который поэтому не прослеживается южнее 43° с.ш., включая зал. Петра Великого, полностью занятый теплыми водами. На стандартном разрезе к востоку-юго-востоку от Владивостока в сентябре 2018 г. относительно холодная и малосоленая вода Приморского течения занимает тонкий верхний 10-метровый слой, ниже наблюдается вода с высокой соленостью (> 34,06 ‰ в слое 50–100 м) (рис. 7, З, И). Геострофические течения на разрезе имеют южное направление, их скорость не превышает 10 см/с (рис. 7, Й).

Приморское течение в осенний сезон. Осенняя пространственная структура Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрена на примере ноября 2004 г. Холодноводный вдольбереговой поток становится шире (30–80 км севернее 43° с.ш.), но кое-где прерывается; появляются узкие холодные струи, направленные от берега в сторону открытого моря (рис. 8). Самая низкая ТПМ (3–4 °С) в пределах потока наблюдается у побережья к северу от 46° с.ш. Главный поток течения проходит недалеко от берега. На юге Приморья воды Приморского течения отсутствуют, их замещают воды субтропического происхождения, движущиеся вдоль берега в западном направлении. Холодноводный поток вновь появляется над материковым склоном в зал. Петра Великого и затем распространяется на юг вдоль побережья п-ова Корея. Глубина этого потока — 400–450 м, максимальная скорость геострофического течения западного направления достигает 50 см/с (рис. 8, В–Д). Фронт Приморского течения обострен севернее 43° с.ш. и примерно совпадает с изотермой 8 °С.

Особенности пространственной структуры Приморского течения при теплом типе термического режима рассмотрены на примере ноября 2018 г. (рис. 8, Б). В этих условиях непрерывный холодноводный поток Приморского течения отсутствует, оно представлено отдельными холодными пятнами, причем прибрежную зону занимает узкая полоса относительно теплой воды (9–10 °С). Основная струя Приморского течения с ТПМ 7–8 °С расположена на удалении от берега. В зал. Петра Великого прослеживается узкий поток холодных вод от о. Аскольд, где ТПМ минимальна, на юго-запад. Спорадически у побережья восточнее мыса Поворотного возникают апвеллинги (в условиях сильного северного ветра), в районах апвеллинга холодная вода распространяется на 5–20 км от берега. Происходят множественные вторжения теплых вод в зону Приморского течения, особенно на юге Приморья (в районе заливов Преображения и Ольги) и у мыса Белкина (44–45° с.ш.). Развитие Приморского течения в теплые осенние сезоны сильно ограничено встречной адвекцией потоков теплых вод Восточно-Корейского течения (с юга) и Цусимского течения (с востока). На стандартном разрезе к востоку-юго-востоку от Владивостока наблюдается сравнительно высокая скорость геострофического течения на юг (до 10 см/с), но этот поток не переносит холодную воду (рис. 8, Е–Ж). Фронт Приморского течения при теплом типе термического режима имеет сложную конфигурацию, но обычно совпадает с изотермой 11 °С. ТПМ на шельфе Приморья в теплые осенние месяцы превышает норму на 2–3°.

Размеры и конфигурация холодноводной области, рассматриваемой здесь как Приморское течение, отличаются большой сезонной и межгодовой изменчивостью. Однако его характерной чертой во всех случаях является прибрежное расположение. Основной поток Приморского течения обычно располагается в 50–70 км от береговой линии, и этот параметр не имеет существенных колебаний. Лишь летом он несколько приближается к берегу, при этом площадь холодных вод в целом уменьшается весьма значительно, возможно, за счет нагона теплых вод. На юге Приморья в летние и осенние сезоны холодные воды Приморского течения полностью замещаются более теплыми водами, текущими в том же (западном) направлении. Адвекция теплой воды является важным фактором, ограничивающим интенсивность Приморского течения. При этом даже когда холодноводная область Приморского течения на поверхности

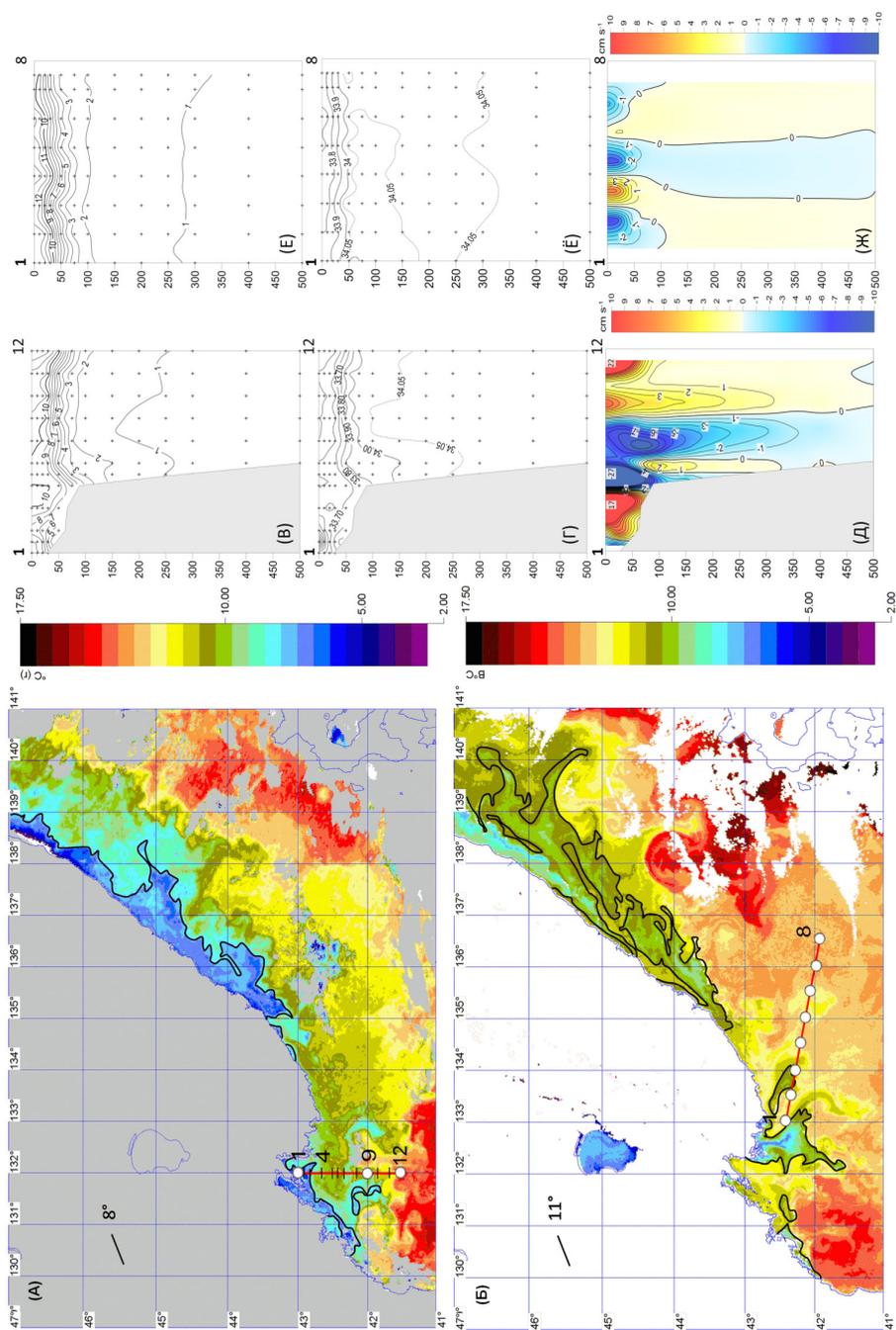


Рис. 8. Температура поверхности северо-западной части Японского моря по данным спутниковых наблюдений осенью с нормальным (А — 8 ноября 2004 г., 20:47 UTC, NOAA-12) и теплым (Б — 1 ноября 2018 г., 23:39 UTC, NOAA-18) типами термических условий и вертикальное распределение температуры, солёности и скорости геострофических течений (относительно глубины 500 м) на стандартных разрезах к югу от Владивостока 11–13 ноября 2004 г. (В, Г, Д) и к востоку-юго-востоку от Владивостока 5–6 ноября 2018 г. (Е, Ё, Ж). На картах показано расположение стандартных разрезов в южном направлении от Владивостока, северной или белой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 8. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite observations in autumn with normal (A — November 8, 2004, 20:47 UTC, NOAA-12) and warm (B — November 1, 2018, 23:39 UTC, NOAA-18) types of thermal conditions and the vertical distribution of temperature, salinity and geostrophic current velocity (relative to a depth of 500 m) at standard sections on November 11–13, 2004 (B, Г, Д) and November 5–6, 2018 (E, Ё, Ж). The maps show location of the standard sections southward (stations 1–12) and east-southeastward (stations 1–12) from Vladivostok; land and cloud-covered sea areas are shown in grey or white

моря сжимается или превращается в цепочку мезомасштабных вихрей, вдольбереговое движение воды в общем юго-западном направлении не прекращается. Несмотря на противоположное направление господствующих ветров, течение продолжается, даже если холодная вода сменяется теплой водой субтропического происхождения. Очевидно, это свидетельствует о доминировании на севере Японского моря циклонической макроциркуляции плотностного характера, свойственной для всех окраинных морей, вследствие меньшей плотности воды в их прибрежных районах. Однако не холодные воды Приморского течения вызывают эту циркуляцию, наоборот, низкая температура в прибрежной зоне противодействует плотностному течению на юг [Данченков, 2003], особенно зимой, когда геострофическая составляющая в Приморском течении минимальна. Холодная вода Приморского течения всего лишь использует макроциркуляцию для своего распространения из районов формирования вдоль побережья Приморья.

Практически в любое время года, кроме зимы, в разных частях потока Приморского течения можно наблюдать пятна наиболее холодной воды. Они многочисленны и, возможно, имеют различную природу, поскольку расположены как вблизи берега, так и на шельфе и над кромкой шельфа. Для столь разных локализаций существует только один общий источник низкой температуры — приток холодной воды снизу, из подповерхностного слоя или даже более глубоких слоев. Подъем холодной воды может обеспечиваться различными механизмами: приливным перемешиванием [Зуенко, 1992; Зуенко, Юрасов, 1995], апвеллингом [Жабин и др., 1992, 1993; Зуенко, Надточий, 2004] или, возможно, мезомасштабными вихрями [Лобанов и др., 2007]. Напротив, зимой подъем воды с глубины препятствует снижению ТПМ. Вдольбереговой поток на юго-запад в этот сезон обусловлен главным образом сдвиговым напряжением преобладающих северных ветров, а сильное похолодание на его поверхности — отрицательным тепловым балансом с большими явными и скрытыми потерями тепла в атмосферу.

Таким образом, конфигурация холодноводной области Приморского течения, извилистость его основного потока и фронта формируются как внутренними, так и внешними процессами. В определенных условиях поток Приморского течения меандрирует сам по себе из-за бароклинной неустойчивости, образования антициклонических вихрей при взаимодействии с береговой чертой. Однако зачастую мезомасштабные вихри и вообще сложная конфигурация фронта Приморского течения обусловлены внешними факторами, генерирующими локальные адвективные потоки либо со стороны Приморского течения (например, струи холодной воды из зон апвеллинга, образующие мезомасштабные вихри), либо со стороны прилегающих теплых вод. В результате область Приморского течения иногда превращается из сплошного вдольберегового потока в цепочку мезомасштабных антициклонических вихрей или узкую и прерывистую прибрежную полосу холодной воды.

Доказательств влияния потепления климата на режим Приморского течения пока нет, хотя в Японском море наблюдается значительная тенденция к увеличению ТПМ, особенно в осенний сезон. Межгодовая изменчивость пространственной структуры Приморского течения зависит больше от изменений атмосферной циркуляции и интенсивности Цусимского течения. Так, холодноводная зона Приморского течения расширялась в 2004, 2005, 2009 и 2011 гг. в условиях ослабления Цусимского течения и сокращалась в 2003, 2013, 2015, 2016, 2021, 2022 и 2023 гг. из-за его усиления. Обычно усиление Приморского течения поддерживается более сильным и продолжительным зимним муссоном, а летний муссон усиливает Цусимское течение. В 2021 г. летний муссон был чрезвычайно сильным и продолжался дольше обычного, в результате область холодноводного Приморского течения на поверхности моря сократилась до узкой полосы у берегов северного Приморья. Иногда наблюдались случаи перераспределения потоков в системе теплых течений с ослаблением Восточно-Корейского течения за счет усиления Цусимского течения (в 2004, 2005, 2009, 2014 и 2020 гг.) — Приморское течение в этих условиях было слабым, но его холодные воды занимали зал. Петра Великого. Однако такие случаи не типичны и не имеют какой-либо тенденции.

Основные результаты исследования, основанного на современных данных, хорошо согласуются с представлениями о природе и пространственной структуре Приморского течения, сформировавшимися еще до начала активных спутниковых наблюдений. В частности, еще тогда было отмечено, что во все сезоны года при различных термических условиях холодноводная область у побережья Приморья, называемая Приморским течением, простирается от южной части Татарского пролива (между 46 и 48° с.ш.) до зал. Петра Великого, а районы с наименьшей ТПМ обычно располагаются в отдельных местах на шельфе Приморья за пределами Татарского пролива. Также были известны основные черты сезонной изменчивости Приморского течения. По спутниковым снимкам на рис. 9 показаны примеры типичного распределения температуры поверхности Японского моря зимой и в начале лета. В то же время новые спутниковые данные свидетельствуют о том, что холодноводная область Приморского течения имеет сложную и весьма изменчивую конфигурацию и редко выглядит как сплошное вдольбереговое течение, а чаще как совокупность вихрей и струй, направленных как вдоль береговой линии или кромки шельфа, так и в направлении от берега. С одной стороны, это подтверждает представление о Приморском течении как о сложной системе круговоротов и локальных вихрей, сложившееся по результатам ранних океанографических исследований [Белинский, Истошин, 1950]. С другой — Н.А. Белинский и Ю.В. Истошин [1950] считали, что вихри Приморского течения генерируются уступами береговой черты, но сейчас уже ясно, что это явление имеет более сложную и разнообразную природу и связано не только с процессами внутри холодноводного потока, но и с его взаимодействием с окружающими теплыми водами. Новые данные помогли прояснить природу этого взаимодействия. Установлено, что во все сезоны года, и особенно при теплом типе термического режима, район Приморского течения подвергается вторжениям теплых вод, чаще всего с трех направлений:

1) со стороны теплого потока, идущего примерно по 42°30' с.ш. от Хоккайдо на запад (этот поток может доходить до побережья южного Приморья, ограничивая холодноводный поток Приморского течения на поверхности моря, а иногда даже заменяя его и двигаясь вдоль побережья в том же направлении);

2) со стороны ветви Цусимского течения, вторгающейся в южную часть Татарского пролива между 45 и 47° с.ш., которая при подходе к материковому побережью поворачивает на юго-запад и движется параллельно холодноводному потоку Приморского течения;

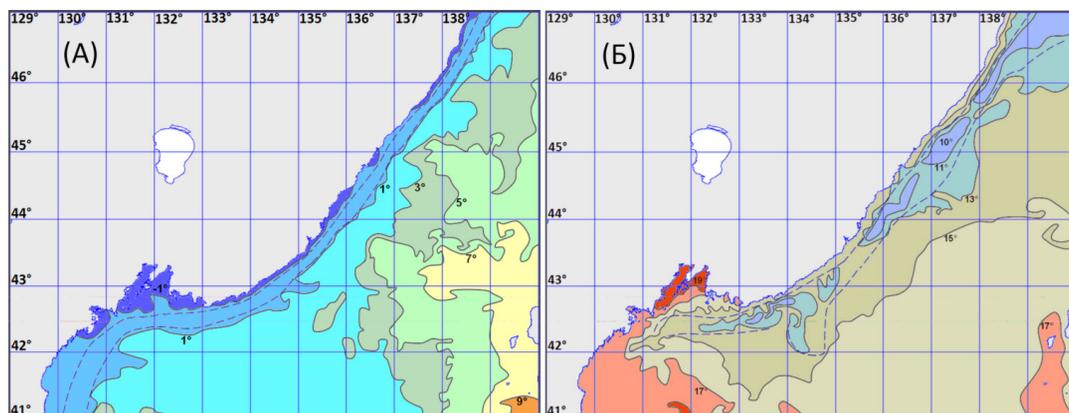


Рис. 9. Примеры типичного распределения температуры поверхности Японского моря зимой (А) и в начале лета (Б). Пунктирными линиями показаны обобщенные очертания области течения (стрелня, более холодного потока) Приморского течения

Fig. 9. Examples of typical distribution of sea surface temperature in the Japan Sea in winter (A) and early summer (B). The dotted lines show generalized outlines of the Primorye Current area (the main stream, the coldest flow)

3) со стороны Восточно-Корейского течения, вторгающегося в юго-западную часть зал. Петра Великого и прерывающего распространение холодноводного потока Приморского течения вдоль кромки шельфа.

В первом случае в отдельные годы субтропические воды становятся трассером Приморского течения. Например, зимой 2023/24 гг. теплые воды подходили к берегам южного Приморья и присоединялись к юго-западному вдольбереговому переносу (рис. 10). При южных ветрах эти воды местами достигали побережья, что обусловило относительно высокую температуру прибрежных вод южного Приморья зимой 2024 г. и слабое льдообразование в Уссурийском заливе. Аналогичная ситуация наблюдалась и в некоторые другие годы (2002, 2004, 2011 и 2014).

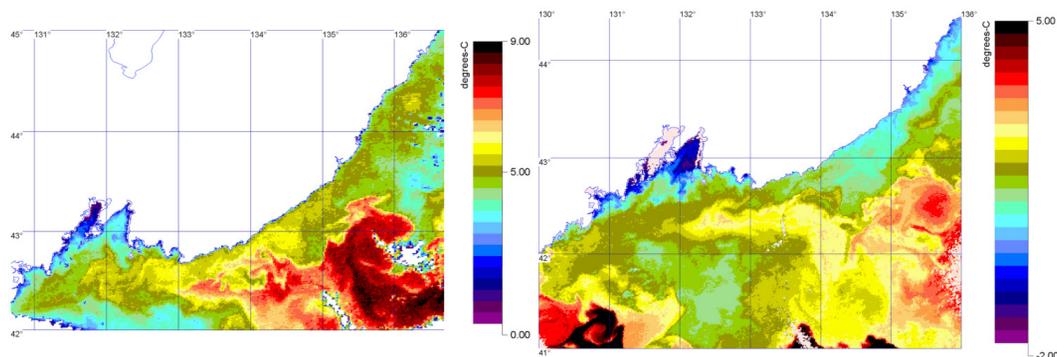


Рис. 10. Примеры подхода теплых вод субтропического происхождения к берегам южного Приморья, включая зал. Петра Великого: температура поверхности моря по данным спутников MODIS/Terra за 10.12.2023 г. 10:55 UTC (слева) и MODIS/Aqua за 19.01.2024 г. 4:21 UTC (справа)

Fig. 10. Examples of warm subtropical water approach to the coast of southern Primorye, including Peter the Great Bay — SST distribution on data of satellites MODIS/Terra on December 12, 2023 10:55 UTC (left panel) and MODIS/Aqua on January 19, 2024 4:21 UTC (right panel)

Распространение вод Приморского течения за пределы вдольбереговой полосы происходит редко, обычно в холодных или нормальных термических условиях. В таких случаях холодные воды могут распространяться далеко на юг между 135 и 136° в.д., достигая 42° с.ш.

Данные наблюдений на стандартных разрезах не подтверждают предположения о бароклинной природе Приморского течения. В сезон наибольшей интенсивности течения (зимой) скорость геострофических течений на стандартных разрезах наименьшая (< 4 см/с). Большое влияние на размеры и форму холодноводной области Приморского течения оказывает ветер [Park et al., 2006; Trusenkova et al., 2009].

Проанализированные данные спутниковых наблюдений не выявили связи генезиса вод Приморского течения ни с водами северной части Татарского пролива (охотоморского или амурского происхождения), ни с водами, поступающими в Татарский пролив с Цусимским течением. Теплые и холодные области вблизи «истока» Приморского течения в южной части Татарского пролива всегда четко разделены резкими фронтами, а сам «исток», если рассматривать в качестве него наиболее холодные области, не располагается вблизи затоков вод Цусимского течения. Такие области холодной воды обычно появляются за пределами Татарского пролива, но на шельфе северного Приморья, что подтверждает гипотезу об образовании этих холодных пятен водами, поднимающимися из более глубоких слоев Японского моря в процессе апвеллинга или турбулентного перемешивания.

Заключение

Обобщение большого массива спутниковых данных совместно с данными судовых наблюдений на стандартных разрезах в период 2000–2024 гг. позволило детально рассмотреть особенности пространственной структуры Приморского течения, их сезонную и межгодовую изменчивость. На основе анализа этого материала и результатов более

ранних исследований различных авторов сложилась современная концепция феномена Приморского течения как холодноводной области в поверхностном слое Японского моря, расположенной вдоль побережья Приморья от Татарского пролива до зал. Петра Великого, которая содержит следующие положения:

— холодная водная масса Приморского течения распространяется за пределы районов формирования с общим направлением на юго-запад вдоль побережья, вовлекаясь в циклоническую циркуляцию северной части Японского моря;

— холодная вода Приморского течения распространяется либо сплошным потоком с четко выраженной основной струей, либо цепочками или менее упорядоченной системой мезомасштабных образований (вихрей, пятен, полос, струй и т.д.), иногда прерывающимися;

— вихреобразование и меандрирование происходят как внутри потока Приморского течения, так и под воздействием внешних факторов, основными из которых являются действие ветра и адвекция теплых вод;

— холодная водная масса Приморского течения формируется у берегов Приморья в результате комплекса береговых и шельфовых процессов, в том числе процессов подъема воды и вертикального перемешивания;

— размеры и конфигурация холодноводной области Приморского течения существенно меняются в сезонном цикле и при изменениях термического режима, вероятно, в зависимости от интенсивности теплых течений. Несмотря на большую изменчивость, Приморское течение существует постоянно;

— за период исследования Приморское течение усиливалось (хорошо проявлялось на поверхности моря) в 2004, 2005, 2009, 2011, 2024 гг. и ослаблялось в 2003, 2013, 2015, 2016, 2021, 2022, 2023 гг.

Основные положения этой концепции соответствуют представлениям, сложившимся до развития спутниковой океанографии, однако некоторые детали, касающиеся природы холодных вод Приморского течения, их распределения вдоль побережья Приморья и взаимодействия с окружающими водами, ранее не были известны или рассматривались как гипотезы.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы искренне благодарны рецензентам за ценные советы и замечания в ходе подготовки данной статьи.

The authors are sincerely grateful to the reviewers for valuable advices and comments.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals were followed. Bibliographical references to all data from other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Все авторы участвовали в подготовке и написании статьи.

All authors participated to some extent in writing and illustrating the article.

Список литературы

- Александрин А.И., Александрина М.Г.** Мониторинг термических структур поверхности океана по данным ИК-канала спутников NOAA на примере Прикурильского района Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2006. — Т. 2, вып. 3. — С. 9–14.
- Белинский Н.А., Истошин Ю.В.** Приморское течение по материалам экспедиции шхуны «Россианте» 1936 г. // Тр. ЦИП. — 1950. — Вып. 017. — С. 132–143.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Островский А.Г.** Поверхностная циркуляция Японского моря (спутниковая информация и данные дрейфующих буев) // Исслед. Земли из космоса. — 1998. — № 1. — С. 66–83.
- Данченков М.А.** Непериодические течения // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8 : Японское море, вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоздат, 2003. — С. 313–326.
- Жабин И.А., Грамм-Осипова О.Л., Юрасов Г.И.** Ветровой апвеллинг у северо-западного побережья Японского моря // Метеорол. и гидрол. — 1993. — № 10. — С. 82–86.
- Жабин И.А., Зуенко Ю.И., Демина Т.В.** Поверхностные термические фронты в северной части Японского моря: природа, изменчивость, влияние на рыбный промысел // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1992. — С. 147–156.
- Жданко М.К.** К вопросу об исследовании морских течений // Записки по гидрографии. — 1913. — Т. 26. — С. 97–112.
- Зубов Н.Н., Мамаев О.И.** Динамический метод вычисления элементов морских течений : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1956. — 115 с.
- Зуенко Ю.И.** Влияние приливного перемешивания на биопродуктивность дальневосточных морей в летний сезон // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1992. — С. 56–79.
- Зуенко Ю.И., Надточий В.В.** Исследование влияния апвеллинга на состав и обилие мезопланктона в прибрежной зоне Японского моря // Океанол. — 2004. — Т. 44, № 4. — С. 561–569.
- Зуенко Ю.И., Юрасов Г.И.** Водные массы северо-западной части Японского моря // Метеорол. и гидрол. — 1995. — № 8. — С. 50–57.
- Истошин Ю.В.** Морские течения : моногр. — Владивосток : Дальневосточное книжное издательство, 1975. — 88 с.
- Истошин Ю.В.** Течения Японского моря по данным бутылочной почты // Тр. ЦИП. — 1950. — Вып. 017. — С. 88–105.
- Леонов А.К.** Региональная океанография. Ч. 1. Берингово, Охотское, Японское, Каспийское, Черное моря : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1960. — 766 с.
- Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н. и др.** Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1 : Океанологические исследования. — М. : Наука, 2007. — С. 450–473.
- Макаров С.О.** «Витязь» и Тихий океан : моногр. — СПб., 1894. — Т. 1. — 337 с.
- Никитин А.А., Данченков М.А., Лобанов В.Б., Юрасов Г.И.** Новая схема поверхностной циркуляции Японского моря с учетом синоптических вихрей // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 158–167.
- Никитин А.А., Дьяков Б.С.** Структура фронтов и вихрей в западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 714–733.
- Никитин А.А., Дьяков Б.С., Капштер А.В.** Приморское течение на стандартных разрезах и спутниковых изображениях Японского моря // Исслед. Земли из космоса. — 2020. — № 1. — С. 31–43. DOI: 10.31857/S0205961420010078.
- Никитин А.А., Харченко А.М.** Типизация и изменчивость термической структуры Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 22–40.
- Никитин А.А., Юрасов Г.И.** Поверхностные термические фронты в Японском море // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 148. — С. 170–193.
- Покудов В.В., Манько А.Р., Хлусов А.Н.** Особенности гидрологического режима вод Японского моря в зимний период // Тр. ДВНИГМИ. — 1976. — Вып. 60. — С. 74–115.
- Покудов В.В., Тунеголовец В.П.** Тепловой баланс Японского моря в начале весеннего прогрева // Метеорол. и гидрол. — 1975. — № 3. — С. 74–84.
- Сизова Ю.В.** Циркуляция вод Японского моря // Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. — М. : АН СССР, 1961. — С. 146–154.

- Трусенкова О.О.** Сезонные и межгодовые изменения циркуляции вод Японского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1 : Океанологические исследования. — М. : Наука, 2007. — С. 280–306.
- Шренк Л.И.** О течениях Охотского, Японского и смежных с ними морей: по термометрическим наблюдениям, произведенным на русских военных судах. Приложение к 23-му тому Записок Имп. Академии наук. № 3. — СПб., 1874. — 112 с.
- Юрасов Г.И.** Сезонная изменчивость температуры воды Японского моря // Исследование океанологических полей Тихого и Индийского океанов. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1977. — С. 62–69.
- Юрасов Г.И., Яричин В.Г.** Течения Японского моря : моногр. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 172 с.
- Яблоков К.В., Моторин А.И.** Особенности придонных течений прибрежной зоны северо-западной части Японского моря // Научные основы создания подводной автоматической добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов : сб. науч. тр. — М., 1975. — С. 85–93.
- Яричин В.Г.** Некоторые особенности горизонтального движения вод в Японском море к северу от 40° с.ш. // Тр. ДВНИГМИ. — 1982. — Вып. 96. — С. 111–120.
- Яричин В.Г.** Состояние изученности циркуляции вод Японского моря // Тр. ДВНИГМИ. — 1980. — Вып. 80. — С. 46–61.
- Hidaka K.** Japan Sea // The Encyclopedia of Oceanography. — N.Y. : Reinhold Publ., 1966. — P. 626–631.
- Holloway G., Sou T., Eby M.** Dynamics of circulation of the Japan Sea // J. Mar. Res. — 1995. — Vol. 53. — P. 539–569.
- Kim C.H., Yoon J.-H.** Modeling of the wind-driven circulation in the Japan Sea using a reduced gravity model // J. Oceanogr. — 1996. — Vol. 52. — P. 359–373.
- Lee D.K., Niiler P.P.** The energetic surface circulation patterns of the Japan/East Sea // Deep-Sea Res. II. — 2005. — Vol. 52. — P. 1547–1563. DOI: 10.1016/j.dsr2.2003.08.008.
- Martin S., Kawase M.** The southern flux of sea ice in the Tatarski Strait, Japan Sea and the generation of the Liman Current // J. Mar. Res. — 1998. — Vol. 56. — P. 141–155.
- Naganuma K.** Regions affected by the Tsushima Warm Current. Variations in ocean environments related to the variations in the fisheries resources. // Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. — 1992. — Vol. 56, № 2. — P. 168–172 (in Japanese).
- Ostrovskii A., Hiroe Y.** The Japan Sea circulation as seen in satellite infrared imagery in autumn 1993 // Proc. CREAMS (Circulation Research in the East Asia Marginal Seas) Int. Symp. — Fukuoka, 1994. — P. 75–88.
- Park K.-A., Kim K., Cornillon P.C., Chung J.Y.** Relationship between satellite-observed cold water along the Primorye coast and sea ice in the East Sea (the Sea of Japan) // Geophys. Res. Lett. — 2006. — Vol. 33(10). — P. 10602–10606. DOI: 10.1029/2005GL025611.
- Riser S.C., Warner M.J., Yurasov G.I.** Circulation and mixing of water masses of Tatar strait and the northwestern boundary region of the Japan Sea // J. Oceanogr. — 1999. — Vol. 55. — P. 133–156.
- Trusenкова О., Nikitin A., Lobanov V.** Circulation features in the Japan/East Sea related to statistically obtained wind patterns (in the warm season) // J. Mar. Sys. — 2009. — Vol. 78(2). — P. 214–225. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2009.02.019.
- Uda M.** Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in Japan Sea and in its adjacent waters during May and June 1932 // Rec. Oceanogr. Works in Japan. — 1934. — Vol. 6, № 1. — P. 19–107.
- Uda M.** Results of simultaneous oceanographic surveys in the Japan Sea and adjacent waters in May and June 1932 // Records of oceanographic works in Japan. — 1936. — № 7. — P. 91–151.
- Wada V.** Investigation on ocean current in the Japan Sea and East sea of China // J. Geogr. — 1915. — Vol. 27. — P. 1–32.
- Yoon J.-H., Kim Y.-J.** Review on the seasonal variation of the surface circulation in the Japan/East Sea // J. Mar. Sys. — 2009. — Vol. 78. — P. 226–236.
- Yoshikawa Y., Awaji T., Akitomo K.** Formation and circulation processes of intermediate water in the Japan Sea // J. Phys. Oceanogr. — 1999. — Vol. 29. — P. 1701–1722.

References

- Aleksanin, A.I. and Aleksanina, M.G.,** Monitoring of thermal structures of the ocean surface according to the IR channel of the NOAA satellite using the example of the Kuril region of the Pacific Ocean, in *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* (Modern problems of remote sensing of the Earth from space), 2006, vol. 2, no. 3, pp. 9–14.
- Belinskii, N.A. and Istoshin, Yu.V.,** Liman Current inferred from materials of expedition aboard the schooner Rossinante in 1936, *Tr. Tsentr. Inst. Prognozov*, 1950, vol. 017, pp. 132–143.

- Ginzburg, A.I., Kostyanov, A.G., and Ostrovsky, A.G.**, Surface circulation of the Sea of Japan (satellite information and drifting buoy data), *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 1998, no. 1, pp. 66–83.
- Danchenkov, M.A.**, Non-periodic flows, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 8: Yaponskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 8: Sea of Japan), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003, issue 1, pp. 313–326.
- Zhabin, I.A., Gramm-Osipova, O.L., and Yurasov, G.I.**, Wind upwelling off the northwest coast of the Sea of Japan, *Meteorol. Gidrol.*, 1993, no. 10, pp. 82–86.
- Zhabin, I.A., Zuenko, Yu.I., and Demina, T.V.**, Surface thermal fronts in the northern Sea of Japan: nature, variability, impact on fisheries, in *Okeanologicheskiye osnovy biologicheskoy produktivnosti severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Oceanological basis of biological productivity in the northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 147–156.
- Zhdanko, M.K.**, On the issue of development of marine technologies, *Zapiski po gidrografii*, 1913, vol. 26, pp. 97–112.
- Zubov, N.N. and Mamayev, O.I.**, *Dinamicheskyy metod vychisleniya elementov morskikh tekheniy* (Dynamic method for calculating elements of sea currents), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1956.
- Zuenko, Yu.I.**, The influence of tidal mixing on the bioproductivity of the Far Eastern seas in the summer season, in *Okeanologicheskiye osnovy biologicheskoy produktivnosti severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Oceanological Bases of Biological Productivity of the Northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 56–79.
- Zuenko, Yu.I. and Nadtochii, V.V.**, A study of the upwelling effect on the mesoplankton abundance and composition in the coastal zone of the Sea of Japan, *Oceanology*, 2004, vol. 44, no. 4, pp. 526–534.
- Zuenko, Yu.I. and Yurasov, G.I.**, Water masses of the north-western part of the Sea of Japan, *Meteorol. Gidrol.*, 1995, no. 8, pp. 50–57.
- Istoshin, Yu.V.**, *Morskiye tekheniya* (Sea currents), Vladivostok: Dal'nevostochnoye knizhnoye izdatel'stvo, 1975.
- Istoshin, Yu.V.**, Currents in the Sea of Japan according to bottle mail data, *Tr. Tsentr. Inst. Prognozov*, 1950, vol. 017, pp. 88–105.
- Leonov, A.K.**, *Regional'naya okeanografiya. Ch. 1. Beringovo, Okhotskoe, Yaponskoe, Kaspiyskoe, Chernoe morya* (Regional Oceanography, part 1: Bering Sea, Sea of Okhotsk, Sea of Japan, Caspian Sea, and Black Sea), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960.
- Lobanov, V.B., Ponomarev, V.I., Salyuk, A.N., Tishchenko, P.Ya., and Talley, L.D.**, Structure and dynamics of synoptic eddies in the northern part of the Sea of Japan, in *Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 1: Okeanologicheskiye issledovaniya* (Far Eastern Seas of Russia, Book 1: Oceanological research), Moscow: Nauka, 2007, pp. 450–473.
- Makarov, S.O.**, “Vityaz” i Tikhyy okean (“Vityaz” and the Pacific Ocean), St. Petersburg, 1894, vol. 1.
- Nikitin, A.A., Danchenkov, M.A., Lobanov, V.B., and Yurasov, G.I.**, Surface circulation and synoptic eddies in the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 157, pp. 158–167.
- Nikitin, A.A. and Dyakov, B.S.**, Structure of fronts and eddies in the western part of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 714–733.
- Nikitin, A.A., Djakov, B.S., and Kapshiter, A.V.**, The Primorskoe current on standard section-sand satellite images of the Japan Sea surface, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2020, no. 1, pp. 31–43. doi 10.31857/s0205961420010078
- Nikitin, A.A. and Kharchenko, A.M.**, Typification and variability of thermal structure of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 22–40.
- Nikitin, A.A. and Yurasov, G.I.**, Surface thermal fronts in the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 148, pp. 170–193.
- Pokudov, V.V., Manko, A.R., and Khlusov, A.N.**, Features of the hydrological regime of the Sea of Japan in winter, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1976, vol. 60, pp. 74–115.
- Pokudov, V.V. and Tunegolovets, V.P.**, The heat balance of the Japan Sea at the beginning of spring warming, *Meteorol. Gidrol.*, 1975, no. 3, pp. 74–84.
- Sizova, Yu.V.**, Circulation of the Sea of Japan, in *Osnovnyye osobennosti geologii i gidrologii Yaponskogo moraya* (Main features of the geology and hydrology of the Sea of Japan), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1961, pp. 146–154.
- Trusenkova, O.O.**, Seasonal and interannual changes in water circulation in the Sea of Japan, in *Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 1: Okeanologicheskiye issledovaniya* (Far Eastern Seas of Russia, Book 1: Oceanological research), Moscow: Nauka, 2007, pp. 280–306.

Shrenk, L.I., *O techeniyakh Okhotskogo, Yaponskogo i smezhnykh s nimi morey: po termometricheskim nablyudeniyam, proizvedennym na russkikh voyennykh sudakh. Prilozheniye k 23-mu tomu Zapisok Imp. Akademii nauk. № 3* (About currents in the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan and adjacent seas according to thermometric observations made on Russian military vessels. Appendix to the 23th volume of Notes by Imp. Academy of Sciences, no. 3), St. Petersburg, 1874.

Yurasov, G.I., Seasonal variability of water temperature in the Sea of Japan, in *Issledovaniye okeanologicheskikh poley Tikhogo i Indiyaskogo okeanov* (Study of oceanological fields of the Pacific and Indian Oceans), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1977, pp. 62–69.

Yurasov, G.I. and Yarichin, V.G., *Techeniya Yaponskogo morya* (Currents of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1991.

Yablokov, K.V. and Motorin, A.I., Features of bottom currents in the coastal zone of the northwestern part of the Sea of Japan, in *Nauchnyye osnovy sozdaniya podvodnoy avtomaticheskoy dobychi poleznykh iskopayemykh so dna morey i okeanov* (Scientific basis for creating underwater automatic mining of minerals from the bottom of seas and oceans), Moscow, 1975, pp. 85–93.

Yarichin, V.G., Some features of the horizontal movement of water transport in the Sea of Japan north of 40° N, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1982, vol. 96, pp. 111–120.

Yarichin, V.G., State of knowledge of water circulation in the Sea of Japan, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1980, vol. 80, pp. 46–61.

Hidaka, K., Japan Sea, *The Encyclopedia of Oceanography*, New York: Reinhold Publ., 1966, pp. 626–631.

Holloway, G., Sou, T., and Eby, M., Dynamics of circulation of the Japan Sea, *J. Mar. Res.*, 1995, vol. 53, pp. 539–569.

Kim, C.H. and Yoon, J.-H., Modeling of the wind-driven circulation in the Japan Sea using a reduced gravity model, *J. Oceanogr.*, 1996, vol. 52, pp. 359–373.

Lee, D.K. and Niiler, P.P., The energetic surface circulation patterns of the Japan/East Sea, *Deep-Sea Res., Part II*, 2005, vol. 52, pp. 1547–1563. doi 10.1016/j.dsr2.2003.08.008

Martin, S. and Kawase, M., The southern flux of sea ice in the Tatarski Strait, Japan Sea and the generation of the Liman Current, *J. Mar. Res.*, 1998, vol. 56, pp. 141–155.

Naganuma, K., Regions affected by the Tsushima Warm Current. Variations in ocean environments related to the variations in the fisheries resources, *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 1992, vol. 56, no. 2, pp. 168–172 (in Japanese).

Ostrovskii, A. and Hiroe, Y., The Japan Sea circulation as seen in satellite infrared imagery in autumn 1993, in *Proc. CREAMS (Circulation Research in the East Asia Marginal Seas) Int. Symp.*, Fukuoka, 1994, pp. 75–88.

Park, K.-A., Kim, K., Cornillon, P.C., and Chung, J.Y., Relationship between satellite-observed cold water along the Primorye coast and sea ice in the East Sea (the Sea of Japan), *Geophys. Res. Lett.*, 2006, vol. 33(10), pp. 10602–10606. doi 10.1029/2005GL025611

Riser, S.C., Warner, M.J., and Yurasov, G.I., Circulation and mixing of water masses of Tatar strait and the northwestern boundary region of the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, 1999, vol. 55, pp. 133–156.

Trusenkova, O., Nikitin, A., and Lobanov, V., Circulation features in the Japan/East Sea related to statistically obtained wind patterns (in the warm season), *J. Mar. Sys.*, 2009, vol. 78(2), pp. 214–225. doi 10.1016/j.jmarsys.2009.02.019

Uda, M., Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in Japan Sea and in its adjacent waters during May and June 1932, *Rec. Oceanogr. Works in Japan*, 1934, vol. 6, no. 1, pp. 19–107.

Uda, M., Results of simultaneous oceanographic surveys in the Japan Sea and adjacent waters in May and June 1932, *Records of oceanographic works in Japan*, 1936, no. 7, pp. 91–151.

Wada, V., Investigation on ocean current in the Japan Sea and East sea of China, *J. Geogr.*, 1915, vol. 27, pp. 1–32.

Yoon, J.-H. and Kim, Y.-J., Review on the seasonal variation of the surface circulation in the Japan/East Sea, *J. Mar. Sys.*, 2009, vol. 78, pp. 226–236.

Yoshikawa, Y., Awaji, T., and Akitomo, K., Formation and circulation processes of intermediate water in the Japan Sea, *J. Phys. Oceanogr.*, 1999, vol. 29, pp. 1701–1722.

Поступила в редакцию 13.09.2024 г.

После доработки 28.10.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 13.09.2024; approved after reviewing 28.10.2024; accepted for publication 10.12.2024