

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 551.46.062.5(265.53)**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-73-90****EDN: AKYXFO****ТИПОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
В ХОЛОДНОМ ПРОМЕЖУТОЧНОМ СЛОЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА ДИНАМИКУ ВОД ОХОТСКОГО МОРЯ****Т.В. Белоненко¹, П.А. Файман², В.А. Лучин^{2*}**¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9;² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. На основе всех доступных материалов глубоководных океанографических наблюдений и диагностической модели расчета течений рассмотрена изменчивость океанологических полей и динамики вод для многолетних типовых «холодных» и «теплых» состояний Охотского моря в весенний период. При подготовке массивов «холодных» и «теплых» лет использована типизация, представленная в работе В.А. Лучина и В.И. Матвеева [2016]. В типовых распределениях температуры выявлены изменения размеров областей, которые заполнены водными массами с температурой ниже 0 °С. Более того, разность значений температуры воды на горизонтах 30 и 90 м между холодным и теплым состояниями в отдельных частях моря составляет до 1 °С. В то же время на нижней границе холодного промежуточного слоя она уменьшается до 0,5 °С. Показано, что в теплые годы по пространственному распределению температуры и солености на характерных горизонтах ХПС, а также по конфигурации и размерам областей между отдельными изолиниями наблюдается перемещение трансформированных теплых и соленых тихоокеанских вод с направлением на север (зона Западно-Камчатского течения), а также на северо-запад (отражая роль Срединного течения). На прибрежных участках северной и северо-западной частей моря (где выявлены повышенные значения плотности) в холодные годы значения плотности существенно выше, чем в теплые годы. В южной части моря, где повышенные значения плотности имеют адвективную природу, такой закономерности (между теплыми и холодными годами) не наблюдается. Выявлены изменения в пространственных размерах и интенсивности основных круговоротов. Более того, в холодные годы Северо-Охотское течение, следующее у северных берегов моря на запад, на меридиане 144° в.д. меняет свое направление на южное. Для холодных лет характерно наличие прибрежного потока, следующего от Шантарских островов к северной оконечности о. Сахалин, который блокирует воды р. Амур в Сахалинском заливе. В холодные годы выявлена интенсификация антициклонического движения вод над

* Белоненко Татьяна Васильевна, доктор географических наук, профессор, btvlisab@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4608-7781; Файман Павел Аркадьевич, PhD, ведущий научный сотрудник, pavel.fayman@yandex.ru, 0000-0003-4609-0163; Лучин Владимир Александрович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, vluchin@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4136-302X.

южной прикурильской глубоководной котловины моря. В теплые годы весной хорошо выражено перемещение распресненных вод р. Амур на север (до параллели 56,5° с.ш.). Затем этот поток меняет свое направление на южное, переходя в следующий элемент системы течений Охотского моря — Восточно-Сахалинское течение.

Ключевые слова: Охотское море, температура морской воды, соленость, течения, круговороты, межгодовая изменчивость, типизация океанологических условий, «холодные» годы, «теплые» годы

Для цитирования: Белоненко Т.В., Файман П.А., Лучин В.А. Типовые изменения океанографических полей в холодном промежуточном слое и их влияние на динамику вод Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 73–90. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-73-90. EDN: AKYXFO.

Original article

Typical variability of oceanographic fields in the cold intermediate layer and its influence on the water dynamics in the Okhotsk Sea

Tatyana V. Belonenko*, Pavel A. Fayman**, Vladimir A. Luchin***

* St. Petersburg State University, 199034, 7–9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, Russia

, * Pacific Oceanological Institute of the Russian Academy of Sciences,
690041, 43 Baltiiskaya Str., Vladivostok, Russia

* D.Geogr., professor, btvlisab@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4608-7781

** Ph.D., leading researcher, pavel.fayman@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4609-0163

*** D.Geogr., leading researcher, vluchin@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4136-302X

Abstract. Spatial variability of temperature and salinity in the cold intermediate layer and water circulation in the Okhotsk Sea are considered for typical cold and warm conditions of the spring season (May–June) determined by separate averaging of all available data of oceanographic observations and diagnostic modeling. The «cold» and «warm» years were separated following to the typization proposed by V.A. Luchin and V.I. Matveev [2016]. The total area with water temperature below 0 °C is evaluated for both types. The difference of water temperature between the types reaches 1 °C on the depths of 30 and 90 m in certain parts of the sea, but decreases to 0.5 °C at the lower boundary of the cold layer. The northward (West Kamchatka Current) and northwestward (Middle Okhotsk Sea flow) transport of the warm and salty transformed North Pacific Intermediate water prevails for the «warm» type, as could be seen from spatial distribution of temperature and salinity in the above cold subsurface layer and the isolines patterns. Water density in the cold layer generally increases toward the northern and northwestern coasts of the sea where it is significantly higher in springs of «cold» years than in «warm» years. The density increases in the southern part of the sea, too, but without such difference between the types because of advective nature of this pattern. The major water gyres vary in size and intensity between the types, in particular, the anticyclonic gyre over the deep-water Kuril Basin is more intense in cold springs. The North Okhotsk Current, flowing westward along the northern shore, turns to the south at 144° E in springs of the cold type. Besides, another alongshore current appears under cold conditions that flows from the Shantar Islands to northern Sakhalin Island and blocks the Amur River outflow to the Okhotsk Sea. On the contrary, in springs of the warm type, the outflow of freshened water from the Amur to the north reaches the latitude of 56.5° N, then turns to the south and replenishes the East Sakhalin Current.

Keywords: Okhotsk Sea, water temperature, salinity, current, gyre, spatial variability, typization of oceanographic conditions, «cold» year, «warm» year

For citation: Belonenko T.V., Fayman P.A., Luchin V.A. Typical variability of oceanographic fields in the cold intermediate layer and its influence on the water dynamics in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 73–90. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-73-90. EDN: AKYXFO.

Введение

Охотское море — один из высокопродуктивных районов Мирового океана с традиционным промыслом минтая, сельди, тихоокеанских лососей, крабов и других видов

рыб и беспозвоночных. В нем сосредоточено около 58 % общей биомассы макрофауны и около 62 % биомассы рыб дальневосточных морей России [Шунтов, 2016]. Море является важной транспортной артерией, а на континентальном шельфе содержатся запасы углеводородов [Бакланов и др., 2003]. В.П. Шунтовым [1986] было отмечено, а затем подтверждено в ряде работ [см. Шунтов, Темных, 2013], что циклы численности гидробионтов связаны с цикличностью общих природных процессов. По мнению В.П. Шунтова [2001], значительное влияние на биоту моря оказывают биоценологические, климатические и океанологические факторы.

Исследуемый регион расположен в муссонной климатической зоне умеренных широт. Для его северной части, которая глубоко вдается в Азиатский материк, свойственны и некоторые особенности климата арктических морей. Метеорологические условия в основном обусловлены изменением положения и взаимодействием следующих центров действия атмосферы: Алеутский минимум, Северо-Тихоокеанский максимум, Сибирский антициклон (зимой), а также дальневосточная депрессия и охотский антициклон (летом) [Дашко и др., 1997]. Муссонный характер ветрового режима часто нарушается глубокими циклонами. В холодное время года над морем господствуют сильные ветры северного и северо-западного направлений. С мая по сентябрь над акваторией моря преобладают слабые ветры (2–5 м/с) южной четверти [Дашко и др., 1997]. Средний годовой результирующий теплообмен на поверхности моря отрицателен. Компенсация потерь тепла Охотским морем происходит за счет адвекции тепла тихоокеанскими водами через Курильские проливы и водами из Японского моря через прол. Лаперуза [Баталин, Васюкова, 1960].

Океанографический режим Охотского моря, определяющий особенности динамики вод, в значительной мере зависит от географического положения и рельефа дна моря, морфометрии проливов и обмена с Тихим океаном и Японским морем, интенсивности осенне-зимних конвективных процессов и баланса тепла на поверхности [Баталин, Васюкова, 1960; Морошкин, 1966; Гладышев, 1998; Martin et al., 1998; Фигуркин, 2002, 2011; Хен и др., 2002; Gladyshev et al., 2003; Shcherbina et al., 2003; Файман и др., 2021].

Инструментальных наблюдений над течениями, по которым можно получить хотя бы в первом приближении картину циркуляции всего бассейна (не говоря уже о сезонной и межгодовой изменчивости течений), крайне недостаточно. Наблюдения и обобщения данных о течениях в основном представлены только для локальных периферийных участков моря (см., например, В.А. Лучин [1998]). Они, как правило, выполнялись только на акваториях, где необходимо обеспечение безопасности мореплавания (рыбопромысловые районы, проливы, проходы между островами, прибрежные районы и подходы к портам), а также при обеспечении добычи минеральных ресурсов (например, район восточнее Сахалина).

Диагностические расчеты, представленные в работах К.В. Морошкина [1966], В.А. Лучина [1982], Е.В. Самко, Ю.В. Новикова [2004], П.А. Файмана [Fauman, 2004, 2015], показали идентичность главных деталей схем течений моря, к которым можно отнести следующее. В Охотском море присутствуют два циклонических круговорота (в северной части моря, включая зал. Шелихова, и в центральной части моря), а также антициклоническое движение вод над южной глубоководной котловиной. В то же время В.И. Чернявский [1981] представил циркуляцию Охотского моря как вихревое поле, состоящее из системы макро-, мезо- и микрокруговоротов, а также выделил как отдельный элемент Срединное течение.

Особенности сезонных полей течений, полученные в рамках диагностических моделей и с использованием климатических массивов данных, представлены как для всего моря [Лучин, 1987; Васильев, Храпченков, 1998; Файман, 2015], так и для его отдельных районов (например, Е.В. Самко, Ю.В. Новиков [2004]). Сезонная изменчивость циркуляции вод (по данным спутниковой альтиметрии) для верхнего слоя Охотского моря показана в работе Г.В. Шевченко, А.А. Романова [2006]. На основе экспедиционных съемок ТИНРО представлена межгодовая изменчивость динамики

вод в различных частях Охотского моря и сравнение океанографических условий в аномально холодные и аномально теплые годы [Фигуркин, 2002; Хен и др., 2002; Самко и др., 2004; Фигуркин и др., 2008].

Как правило, средние многолетние распределения параметров (за год, сезон или месяц) являются результатом обобщения самых разных ситуаций, а имеющиеся индивидуальные особенности конкретных полей элементов на таких картах либо сглаживаются, либо вовсе исчезают. Этот недостаток (при многолетнем обобщении исходных данных) можно минимизировать с использованием типизации процессов. При таком подходе осреднение исходных данных выполняется раздельно, по группам. В каждую из групп подбираются случаи, характерные наличием какого-либо одного признака, выбранного в качестве ведущего. Такое осреднение уже не уничтожает и не сглаживает, а, напротив, выявляет и подчеркивает наиболее характерные индивидуальные особенности реальных процессов. Например, особенности типовых схем течений отдельных районов Охотского моря представлены в работах В.Д. Будаевой, В.Т. Макарова [Budaeva, 1996, 1999]. А формирование термохалинной структуры вод и течений в северной части моря в послеледовый период может происходить по двум сценариям. Так, в случае холодных зим весной наблюдается прибрежный поток восточного направления, а при мягких зимах — западного [Жигалов, Лучин, 2010; Лучин, Жигалов, 2011].

Большинство известных схем циркуляции вод Охотского моря получено диагностическими методами, результаты которых существенно зависят от полноты используемых массивов информации. Более того, все известные к настоящему времени схемы течений имеют определенные погрешности, связанные с ограничениями применяемых методов и с недостатком использованных наборов гидрологических данных.

Предыдущие исследования по выявлению межгодовых изменений термических условий деятельного слоя Охотского моря основывались на гипотезе, согласно которой аномалии температуры воды формируются в основном в осенне-зимнее время [Винокурова, 1965, 1972; Давыдов, 1975; Павлычев и др., 1989; Чернявский 1992; Фигуркин, 2002, 2011; Лучин, Жигалов, 2006]. При этом, как правило, авторы предполагали, что межгодовые изменения в состоянии деятельного слоя моря происходят под влиянием двух основных термодинамических процессов осенне-зимнего периода: адвекции сравнительно теплых тихоокеанских вод в море и выхолаживающего эффекта атмосферы (осенне-зимняя конвекция)

По акватории Охотского моря в зимний период очень мало данных океанографических наблюдений, что связано с низкой температурой воздуха, частыми штормами и обледенением судов, серьезно препятствующими производству экспедиционных работ. Исключением являются акватория, прилегающая к островам Курильской гряды, и зона «восточного канала», которая формируется при отепляющем воздействии тихоокеанских вод, переносимых Западно-Камчатским течением. Поэтому из-за отсутствия данных наблюдений в настоящее время невозможно выполнить оценку пространственных изменений океанологических параметров на преобладающей части Охотского моря в зимний период.

Все выполненные оценки гидрологического состояния в деятельном слое вод зимой (например, С.В. Гладышев [1998], В.А. Лучин, И.А. Жигалов [2006], Gladyshev с соавторами [2003]), базируются на данных весенних наблюдений (после разрушения ледяного покрова). Более того, имеющиеся типизации многолетних изменений в Охотском море основываются на использовании термического состояния подповерхностных вод как отдельных регионов моря, так и моря в целом [Винокурова, 1965, 1972; Давыдов, 1975; Чернявский, 1992; Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, Матвеев, 2016; и др.].

Цель настоящей работы — оценить типовые изменения (между «холодными» и «теплыми» состояниями) океанографических полей в холодном промежуточном слое и их влияние на динамику вод Охотского моря весной (май-июнь).

Материалы и методы

Исходная океанографическая информация и ее обработка

Для расчета полей температуры, солёности и плотности морской воды сформирован массив океанологической информации Охотского моря, который включает все доступные данные организаций России, Японии и США. Подробная информация об источниках данных, видах наблюдений, удалении недостоверной информации и первичной обработке опубликована ранее [Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, Матвеев, 2016].

На всех станциях проведена интерполяция значений потенциальной температуры, солёности и потенциальной плотности на горизонты, кратные 5 м. При обработке батометрических наблюдений (bottle data — OSD) использована линейная интерполяция значений. STD-наблюдения и данные дрейфующих буев проекта «Argo» приводились на горизонты, кратные 5 м, с использованием медианной процедуры (с захватом выше- и нижележащих наблюдений на расстоянии 2,5 м от расчетного).

Для слоя 0–300 м сформированы два массива океанографических данных — «теплых» и «холодных» лет [Лучин, Матвеев, 2016]. Основываясь на этой типизации, для ряда лет с 1946 по 2015 г. созданы два массива для мая-июня: «холодных» лет (данные 16 399 океанографических станций), а также «теплых» лет (данные 12 495 океанографических станций). Отметим, что в массивы «теплых» и «холодных» лет включены данные «экстремальных» лет.

Ранее выполненные расчеты показали, что статистически значимые сезонные изменения температуры воды на преобладающей части Охотского моря наблюдаются до горизонта 300 м [Лучин, 2007]. Только вблизи Курильской гряды (полоса шириной 30–40 миль) и в глубоководных проливах сезонные колебания температуры достигают 500–600 м. Поэтому для нижних горизонтов (слой 400–3000 м) выполнялось среднее годовое осреднение значений потенциальной температуры, солёности и потенциальной плотности.

Расчеты средних многолетних месячных, 2-месячных, сезонных и годовых значений всех океанографических параметров (потенциальной температуры, солёности и потенциальной плотности) выполнялись в пределах трапеций $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ по меридиану и параллели. В каждой трапеции применялось медианное осреднение исходных данных. Отметим также, что при расчетах средних многолетних статистических характеристик во всех трапециях (для нормирования вклада суточных, многосерийных станций, а также возможных дублированных значений) выполнялась следующая операция. Вначале в каждой трапеции проводилось осреднение всех данных, выполненных за конкретные сутки. Полученные за сутки средние значения в дальнейших расчетах климатических величин принимались с единичным вкладом.

Диагностическая модель океана

Для расчета течений используется линейная диагностическая модель, в которой не учитываются адвекция и горизонтальный турбулентный обмен [Саркисян, 1977]. Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных, а именно: эллиптическое уравнение уровня моря, уравнение неразрывности и явные формулы для вычисления горизонтальных компонент вектора скорости.

При численной реализации модели учитывались рекомендации, изложенные в работах А.С. Саркисяна [1977] и Г.И. Марчука с соавторами [1980]. Так, при численной аппроксимации вторых производных по горизонтальным координатам используется схема центральных разностей, а при аппроксимации первых производных — схема направленных разностей. В качестве метода последовательных приближений полученной системы линейных уравнений для значений уровня в узлах сетки используется метод Гаусса-Зейделя. При численном решении граничной задачи для уравнения уровня применяется метод, предложенный В.П. Кочергиным [1978]. Для дискретизации уравнений

горизонтальных компонент вектора скорости используются центральные разности. В дальнейшем полная система численных уравнений модели решалась итерационным методом до установления. Для лучшей сходимости в правую часть уравнения уровня вводилась поправка [Марчук и др., 1980].

Область моделирования включает всю акваторию Охотского моря за исключением Пенжинской губы. Район расчетной области ограничен с юга 43° с.ш., с запада 135° в.д., с севера 63° с.ш., с востока — 160° в.д. Шаг расчетной сетки — $1/8^\circ$.

Поле батиметрии, необходимое для расчетов, формировалось с сайта GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans: <https://www.gebco.net/>). Эти данные путем сглаживания приводились к модельной сетке с разрешением $1/8^\circ$, оставлялась только акватория непосредственно Охотского моря, удалялись все острова и сглаживалась береговая черта (рис. 1).

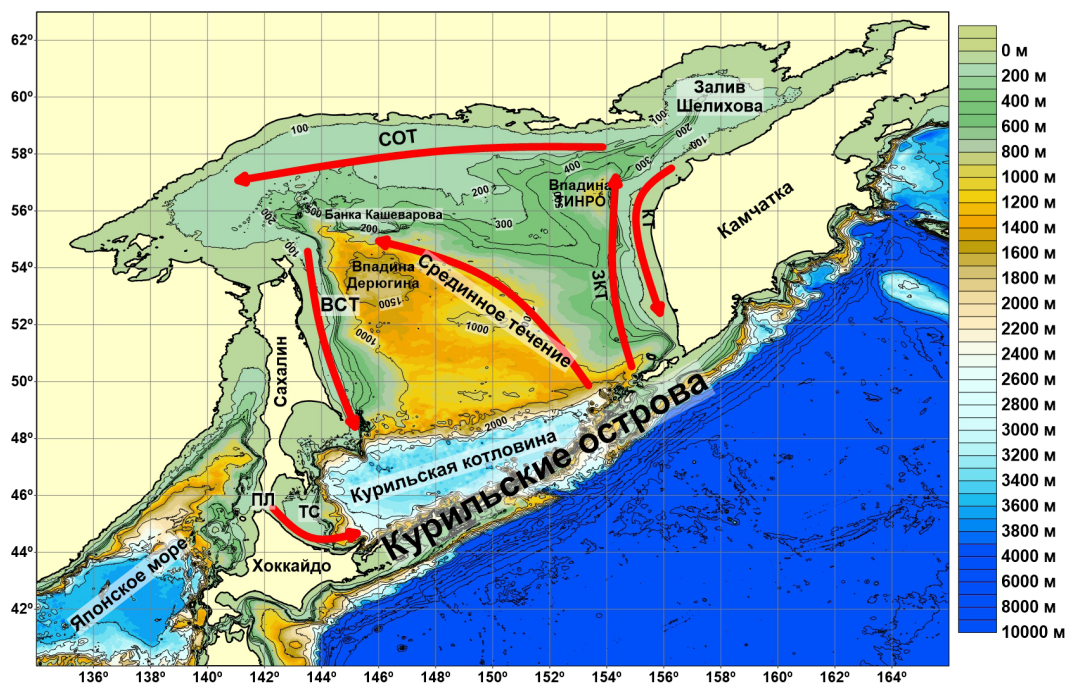


Рис. 1. Район исследования с рельефом дна: ПЛ — прол. Лаперуза, ТС — течение Соя, КТ — Компенсационное течение, ЗКТ — Западно-Камчатское течение, СОТ — Северо-Охотское течение, ВСТ — Восточно-Сахалинское течение

Fig. 1. Scheme of the study area with bottom relief: ПЛ — Soya (La Perouse) Strait, ТС — Soya Current, КТ — Compensation Current, ЗКТ — West Kamchatka Current, СОТ — North Okhotsk Current, ВСТ — East Sakhalin Current

Входными данными модели являются поля плотности морской воды, которые рассчитаны на основе данных температуры и солёности морской воды. Массивы исходных данных температуры и солёности были получены с пространственной дискретностью $0,5^\circ$ по горизонтали. Затем при помощи метода интерполяции Кригинг производилась интерполяция полученных средних многолетних значений на каждом расчетном горизонте на более мелкую сетку, равную $1/8^\circ$. В верхнем слое (для горизонтов 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300 м) были сформированы два средних многолетних массива сеточных данных — «холодных» и «теплых» лет — с осреднением исходных данных за май-июнь. На нижележащих горизонтах (400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000 м) использовано среднее годовое осреднение исходной информации.

Средние многолетние месячные поля ветра для типовых «холодных» и «теплых» лет формировались на основе данных метеорологического реанализа NCEP/NCAR.

Вначале для всех «холодных» и «теплых» лет (согласно выполненной ранее типизации [Лучин, Матвеев, 2016] была проведена выборка данных за май и июнь). Затем отдельно (для массивов «холодных» и «теплых» лет) были рассчитаны средние многолетние типовые массивы для мая-июня.

Результаты и их обсуждение

Средние многолетние типовые распределения океанографических параметров в холодном промежуточном слое (ХПС) Охотского моря

Средние многолетние типовые распределения параметров рассмотрены на верхней и нижней границах ХПС, а также на горизонте положения его ядра. Для установления характерных горизонтов, определяющих положение этих структурных элементов ХПС, выполним осреднение величин, которые были использованы для построения карт ранее [Круц, Лучин, 2013]. Расчеты показали, что (при многолетнем обобщении океанографической информации) они располагаются на следующих горизонтах: верхняя и нижняя граница ХПС — соответственно 30 и 135 м, а ядро ХПС — на глубине 90 м.

Главная особенность пространственного распределения температуры на подповерхностных горизонтах в Охотском море (как в теплые, так и в холодные по термическим условиям годы) — это сохранение основных крупномасштабных черт распределения температуры воды (с максимальными значениями у проливов Курильской гряды и минимальными — в прибрежных районах северной части моря и у западного склона глубоководной котловины моря). Как видно на рис. 2, типовые распределения температуры на различных горизонтах в море являются достаточно ярким индикатором поступления в море трансформированных тихоокеанских вод и адвективных процессов, происходящих в море.

Средние многолетние типовые распределения температуры морской воды на представленных горизонтах ХПС также свидетельствуют об изменчивости размеров областей, которые заполнены водными массами с температурой ниже 0 °С (рис. 2). Более того, разность значений температуры воды на горизонтах 30 и 90 м между холодным и теплым состояниями в отдельных частях моря составляет, как правило, до 1 °С. В то же время на нижней границе ХПС она уменьшается до 0,5 °С. Видно также, что в теплые годы по пространственному распределению температуры на характерных горизонтах ХПС, а также по конфигурации и размерам областей между отдельными изолиниями наблюдается перемещение трансформированных теплых тихоокеанских вод с направлением от северных Курильских островов на северо-запад (к банке Кашеварова).

Следует отметить и хорошее соответствие указанных типовых распределений температуры с известными представлениями о системе течений в море [Морошкин, 1966; Лучин, 1982, 1987; Чернявский, 1992; Самко, Новиков, 2004; Самко и др., 2004; Fayman, 2004; Файман, 2015; и др.]. Максимальные значения температуры в восточном секторе моря (наиболее ярко это выражено в «теплые» годы) свидетельствуют о перемещении теплых тихоокеанских вод на север к зал. Шелихова, а также на северо-запад в направлении банки Кашеварова. Зона течения Соя (как в теплые, так и в холодные годы) хорошо выделяется по повышенным значениям температуры воды вблизи берегов о. Хоккайдо. Пониженные значения температуры воды у материкового склона западной части моря являются индикатором переноса переохлажденных вод из северо-западной части моря во впадину Дерюгина [Martin et al., 1998; Gladyshev et al., 2003; Shcherbina et al., 2003].

В типовых пространственных распределениях солёности (в отличие от полей температуры воды, представленных на рис. 2) на характерных горизонтах ХПС практически не наблюдается существенных различий (рис. 3). Как в теплые, так и в холодные годы максимальные значения солёности выделяются в двух основных районах моря, имеющих различные причины формирования аномалий.

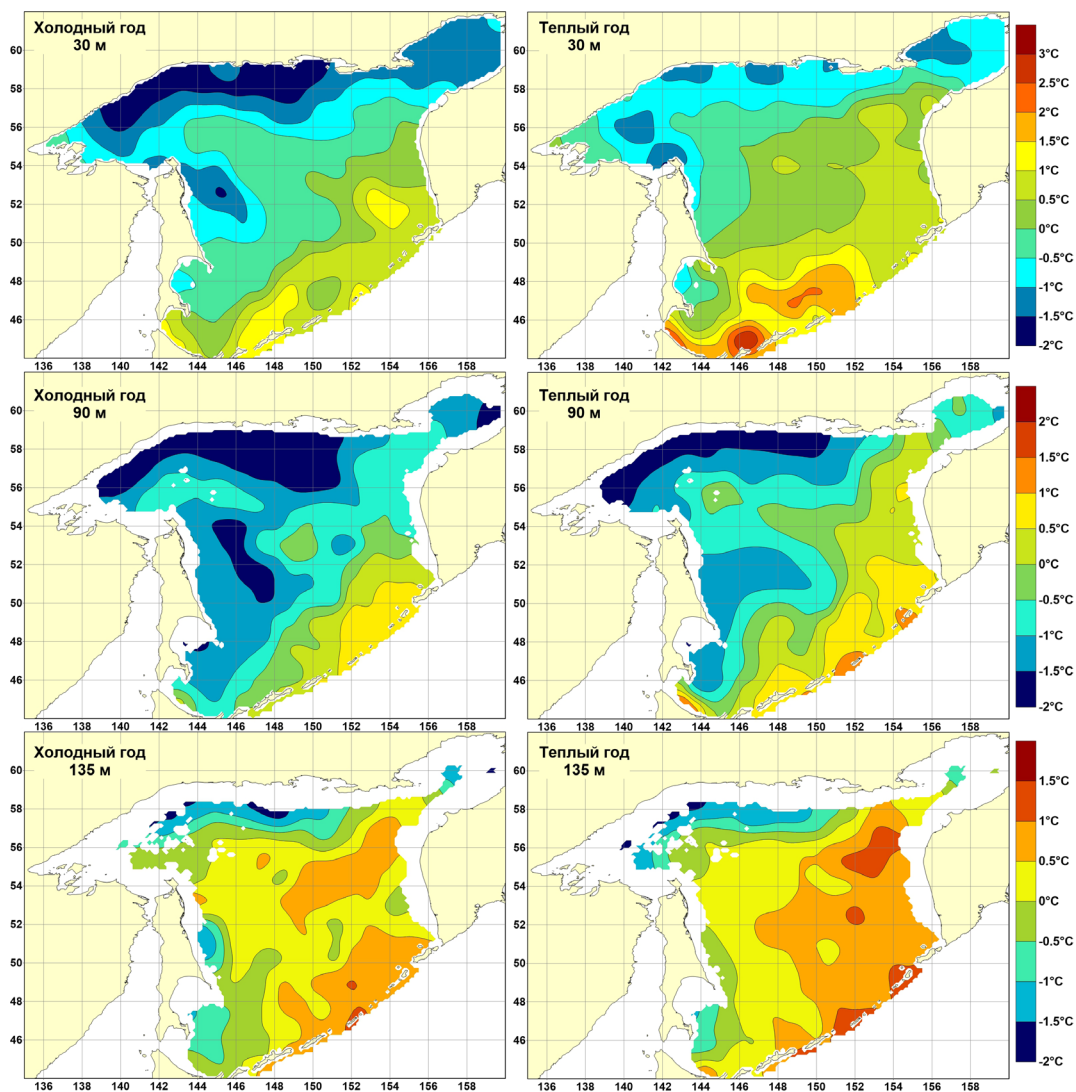


Рис. 2. Средние многолетние типовые (в «холодные» (слева) и «теплые» (справа) годы) распределения потенциальной температуры воды (°C) в Охотском море в мае-июне

Fig. 2. Typical spatial distribution of potential water temperature in May-June of «cold» (left) and «warm» (right) years, °C

Первый из них расположен вблизи северных проливов Курильской гряды и обусловлен с поступлением в море тихоокеанских вод с повышенными значениями солёности. Аналогичная (связанная с адвекцией в море вод, имеющих тихоокеанское происхождение) аномалия значений солёности выделяется у северных берегов о. Хоккайдо. Здесь высокая солёность формируется под влиянием притока солёных вод из Японского моря через прол. Лаперуза.

Второй район с высокой солёностью связан с суровыми метеорологическими условиями зимой и интенсивным образованием льда в полыньях. Этот регион включает северную прибрежную часть моря, северные прибрежные районы зал. Шелихова, а также северо-западное прибрежное мелководье от Охотска до Аяна. Затем эта сформированная аномалия высокой солёности системой прибрежных течений смещается в район шельфа и материкового склона к востоку от о. Сахалин. Наиболее ярко следствие термических и динамических процессов проявляется на пространственных распределениях солёности в холодные годы (рис. 3).

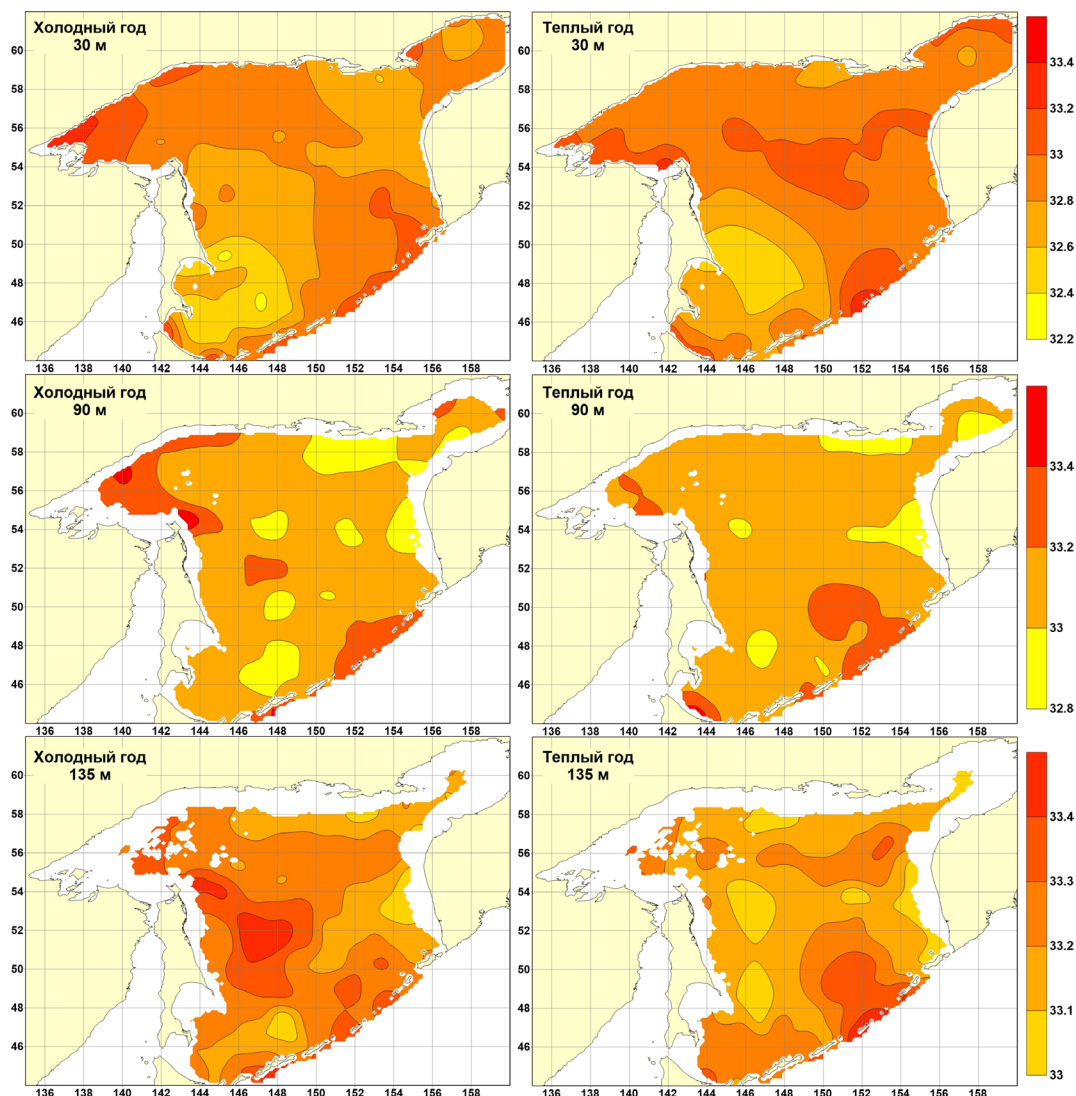


Рис. 3. Средние многолетние типовые (в «холодные» (слева) и «теплые» (справа) годы) распределения солености морской воды (psu) в Охотском море в мае-июне

Fig. 3. Typical spatial distribution of salinity in May-June of «cold» (left) and «warm» (right) years

Отметим, что в теплые годы на всех представленных характерных горизонтах ХПС в полях солености более ярко прослеживается перемещение трансформированных тихоокеанских вод в море. Конфигурация этих аномалий с повышенными значениями солености свидетельствует о движении тихоокеанских вод на север (зона Западно-Камчатского течения), а также на северо-запад (отражая роль Срединного течения).

Главная особенность представленных полей плотности на характерных горизонтах ХПС (рис. 4) — это отсутствие существенных различий между их типовыми распределениями и сравнительная стабильность локализации основных аномалий плотности (это характерно как для повышенных, так и для пониженных значений плотности).

Первый обширный регион с повышенными значениями плотности расположен в северной и северо-западной частях моря и связан с осенне-зимним выхолаживанием деятельного слоя вод моря, а также с осолонением толщи вод при формировании льда. Этот регион с максимальными значениями плотности морской воды включает северный прибрежный участок зал. Шелихова, шельфовые участки северо-западной

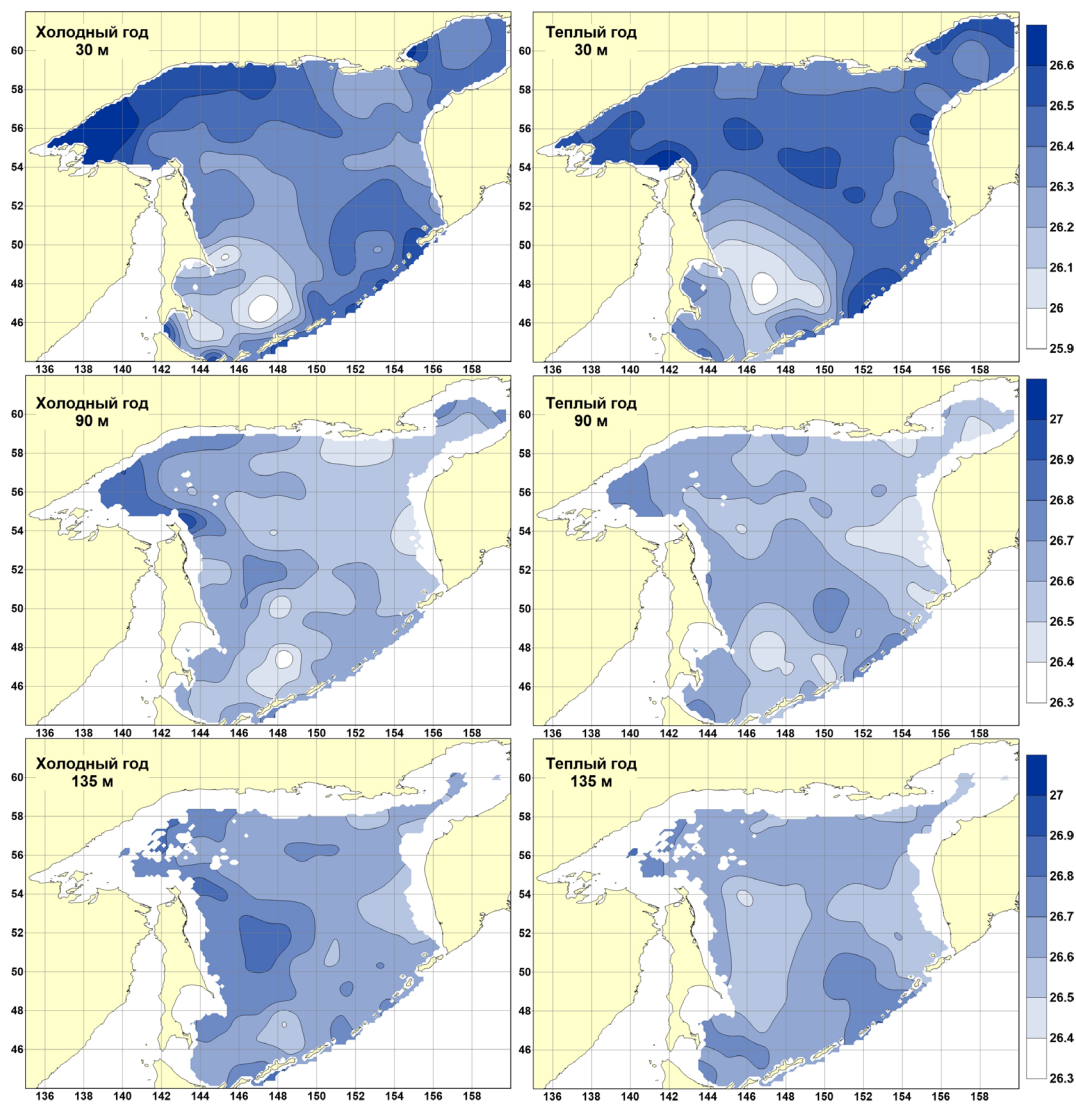


Рис. 4. Средние многолетние типовые (в «холодные» (слева) и «теплые» (справа) годы) распределения относительных значений потенциальной плотности морской воды (kg/m^3) в Охотском море в мае-июне

Fig. 4. Typical spatial distribution of potential density in May-June of «cold» (left) and «warm» (right) years, relative values in kg/m^3

части моря (от Тауйской губы до Сахалинского залива), а также шельф и склон восточнее о. Сахалин.

Второй регион с повышенными значениями плотности на характерных горизонтах ХПС связан с адвекцией вод течения Соя (к северу от о. Хоккайдо) и с поступлением тихоокеанских вод через проливы в глубоководную акваторию моря западнее и севернее северной части Курильской гряды.

Как видно на рис. 4, в первом регионе с повышенными значениями плотности (располагающемся на прибрежных участках северной и северо-западной частей моря) в холодные годы на всех представленных горизонтах ХПС значения плотности существенно выше, чем в теплые годы. В то же время во втором (юго-восточном) регионе, где наблюдаются повышенные значения плотности, связанные с адвекцией тихоокеанских вод, такой закономерности (между теплыми и холодными годами) не наблюдается.

Средние многолетние типовые течения Охотского моря

Из сравнительного анализа рассчитанных схем течений следует (рис. 5), что как в холодные, так и в теплые годы в первом приближении сохраняются все известные элементы циркуляции вод моря (крупномасштабные круговороты и их отдельные фрагменты), традиционно отмечаемые ранее [Морошкин, 1966; Чернявский, 1981; Лучин, 1982, 1987; Mizuta et al., 2003; Rybalko, Shevchenko, 2003; Самко, Новиков, 2004; Fayman, 2004; Файман, 2015; Файман и др., 2021; и др.].

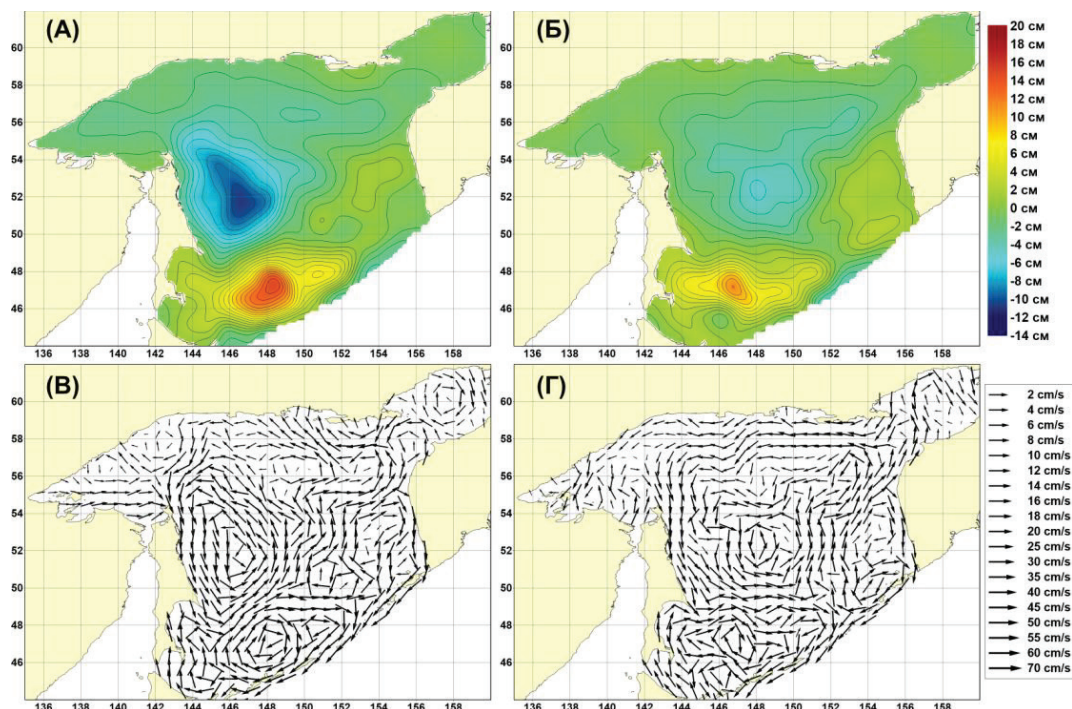


Рис. 5. Типовые распределения топографии уровня поверхности (А, Б) и векторов течений (В, Г) Охотского моря в мае-июне в холодные (А, В) и теплые (Б, Г) по термическим условиям годы

Fig. 5. Typical sea surface topography (А, Б) and vectors of water circulation (В, Г) in May-June of «cold» (А, В) and «warm» (Б, Г) years

1. Обширный циклонический круговорот, включающий центральную и северную части моря, на периферийных участках которого выделяются Восточно-Сахалинское, Западно-Камчатское и Северо-Охотское течения. Также внутри этого круговорота можно отметить наличие Срединного течения (терминология В.И. Чернявского [1981]), которое переносит трансформированные тихоокеанские воды в направлении от северных Курильских проливов к банке Кашеварова.

2. Антициклоническое движение вод на шельфе и у склона западнее п-ова Камчатка (южнее параллели 55° с.ш.) с Компенсационным течением на его восточной периферии.

3. Антициклоническое движение вод над южной прикурильской глубоководной котловиной моря.

4. На акватории моря, помимо крупномасштабных круговоротов, выделяются и мезомасштабные вихревые образования. К ним относятся антициклонический круговорот в зал. Шелихова, а также циклонический — на его входе; циклонические вихри восточнее Шантарских островов и над впадиной ТИНРО.

Выявленные в настоящей работе наиболее существенные изменения в системе течений (от холодного к теплему состоянию вод моря) рассмотрим в пределах отдель-

ных элементов циркуляции вод моря (крупномасштабных круговоротов, их отдельных фрагментов, а также локальных вихревых образований).

В центральной части моря (между параллелями 48° и 56° с.ш.) в холодные годы наблюдается интенсификация циклонического круговорота (с Восточно-Сахалинским течением на его западной периферии). Его пространственные границы смещаются на запад, а восточная граница не выходит за пределы меридиана 149° в.д. Наблюдается также существенное смещение (в сторону о. Сахалин) западной границы антициклонического круговорота, который располагается западнее п-ова Камчатка. В результате ширина Западно-Камчатского течения существенно увеличивается, и оно простирается от 148° до 152° в.д. (рис. 5, А, В). В теплые годы в этом регионе моря (в отличие от холодных лет) циклонический круговорот (с Восточно-Сахалинским течением на его западной периферии) продвигается на восток до меридиана 151° в.д., а границы распространения антициклонического круговорота, выделяемого западнее п-ова Камчатка, смещаются на восток (рис. 5, Б, Г). Следует отметить еще один факт в межгодовой изменчивости поля течений этого региона моря. По данным выполненных расчетов в теплые годы (если сравнивать с холодными) пространственные градиенты уровня поверхности (рис. 5, А, Б) и значения скоростей основных течений этого региона моря (рис. 5, В, Г) получены значительно ниже, чем в холодные годы.

Далее рассмотрим межгодовые изменения в топографиях уровня поверхности и скоростей течений в северной части моря (севернее параллели 55° с.ш.). Как видно на рис. 5 (А, В), в холодные годы в зал. Шелихова более четко выражен (по сравнению с теплыми годами) антициклонический круговорот со значительными скоростями течений. Северо-Охотское течение, следующее у северных берегов моря на запад, в холодные годы на меридиане 144° в.д. меняет свое направление на южное. В крайней западной части моря (от меридиана 143° в.д. до Шантарских островов) вблизи берега хорошо выражены два мезомасштабных вихря (антициклонический — между 141° и 143° в.д., циклонический — между 138° и 141° в.д.). Для холодных лет также характерен прибрежный поток восточного направления, следующий от Шантарских островов к мысу Елизаветы (северная оконечность о. Сахалин). Как видно на рис. 5 (В), этот поток в холодные годы, вероятно, блокирует выход вод р. Амур в Охотское море.

В теплые годы (рис. 5, Б, Г) Северо-Охотское течение перемещается по своему традиционному маршруту, характерному для теплого периода года и отмеченному ранее [Морошкин, 1966; Чернявский, 1981; Лучин, 1982, 1987; Fayman, 2004; Файман, 2015]: вдоль северных и северо-западных берегов Охотского моря, а затем от Шантарских островов до Сахалинского залива. Также в теплые годы (рис. 5, Б, Г) хорошо выражено перемещение распресненных вод р. Амур на север (до параллели $56,5^{\circ}$ с.ш.). Затем этот поток меняет свое направление на южное, переходя в следующий элемент системы течений Охотского моря, — Восточно-Сахалинское течение, что согласуется со схемами течений, представленными, например, в работах В.И. Чернявского [1981] и В.А. Лучина [1998].

В холодные годы наблюдается интенсификация антициклонического движения вод над южной прикурильской глубоководной котловиной моря (рис. 5), следствием чего является более четкая (по сравнению с теплыми годами) выраженность круговорота в поле векторов течений, а также рост значений скоростей.

Заключение

Все доступные материалы глубоководных океанографических наблюдений и использование диагностической модели расчета течений позволили выделить весенние особенности межгодовой изменчивости гидрологических полей, а также динамики вод Охотского моря для холодных и теплых гидрологических лет.

По средним многолетним типовым распределениям температуры морской воды на представленных горизонтах ХПС определена изменчивость размеров областей, которые

заполнены водными массами с температурой ниже 0 °С. Разность значений температуры воды на горизонтах 30 и 90 м между холодным и теплым состояниями в отдельных частях моря составляет до 1 °С, на нижней границе ХПС она уменьшается до 0,5 °С. В теплые годы по пространственному распределению температуры на характерных горизонтах ХПС и по конфигурации и размерам областей между отдельными изолиниями наблюдается перемещение трансформированных теплых тихоокеанских вод с направлением от северных Курильских островов на северо-запад (к банке Кашеварова).

Аналогичная картина для теплых лет (по перемещению трансформированных тихоокеанских вод в море) отмечается на всех представленных характерных горизонтах ХПС и в полях солености. Конфигурация аномалий с повышенными значениями солености свидетельствует о движении тихоокеанских вод на север (зона Западно-Камчатского течения) и северо-запад (отражая роль Срединного течения).

На прибрежных участках северной и северо-западной частей моря (где выявлены повышенные значения плотности) в холодные годы на всех представленных горизонтах ХПС значения плотности существенно выше, чем в теплые годы. В южном регионе с повышенными значениями плотности (имеющем адвективную природу) такой закономерности не наблюдается.

В центральной части моря (48–56° с.ш.) между теплыми и холодными состояниями выявлены изменения в пространственных размерах и интенсивности циклонического круговорота (с Восточно-Сахалинским течением на его западной периферии). В холодные годы ширина Западно-Камчатского течения существенно увеличивается, и оно простирается от 148 до 152° в.д. В теплые годы пространственные градиенты уровня поверхности и значения скоростей основных течений этого региона моря получены значительно ниже, чем в холодные годы.

В холодные годы в зал. Шелихова более четко выражен антициклонический круговорот и как результат — более упорядоченное поле векторов и более значительные скорости течений, а Северо-Охотское течение, следующее у северных берегов моря на запад, на меридиане 144° в.д. меняет свое направление на южное. Для холодных лет также характерен прибрежный поток восточного направления, следующий от Шантарских островов к мысу Елизаветы (северная оконечность о. Сахалин). Этот поток в холодные годы блокирует выход вод р. Амур в Охотское море. Для холодных лет характерна интенсификация антициклонического движения вод над южной прикурильской глубоководной котловиной моря, следствием чего является более четкая (по сравнению с теплыми годами) выраженность круговорота в поле векторов течений, а также рост значений скоростей.

В теплые годы Северо-Охотское течение перемещается по своему традиционному маршруту, характерному для теплого периода года: вдоль северных и северо-западных берегов Охотского моря, а затем от Шантарских островов до Сахалинского залива. Также в теплые годы хорошо выражено перемещение распресненных вод р. Амур на север (до параллели 56,5° с.ш.). Затем этот поток меняет свое направление на южное, переходя в следующий элемент системы течений Охотского моря — Восточно-Сахалинское течение.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

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

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

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания ТОИ ДВО РАН на 2024–2026 гг. «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений» (регистрационный номер 124022100079-4).

Финансовая поддержка осуществлена Санкт-Петербургским государственным университетом (грант № 116442164).

This study was carried out within the framework of a state assignment for the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, for 2024–2026 «Study of the Structure and Dynamics of the World Ocean Waters under the Conditions of Modern Climate Change», project no. 124022100079-4.

This study was carried out were implemented with the financial support of St. Petersburg State University (grant no. 116442164).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов. 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.

The study did not concern any research with using animals as a subject. Bibliographical references to all data from other authors used in the article are formatted in accordance with the rules of this edition.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Список литературы

Бакланов П.Я., Арзамасцев И.С., Качур А.Н. и др. Природопользование в прибрежной зоне (проблемы управления на Дальнем Востоке России) : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2003. — 229 с.

Баталин А.М., Васюкова Н.Г. Опыт расчета теплового баланса Охотского моря // Тр. Океанограф. комис. АН СССР. — 1960. — Т. 7. — С. 37–51.

Васильев А.С., Храпченков Ф.Ф. Сезонная изменчивость циркуляции вод и водообмена Охотского моря с Тихим океаном // Метеорол. и гидрол. — 1998. — № 6. — С. 59–67.

Винокурова Т.Т. Изменчивость температурных условий вод в северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1965. — Т. 59. — С. 14–26.

Винокурова Т.Т. Межгодовая изменчивость придонной температуры у западного побережья Камчатки // Исслед. по биол. рыб и промысл. океаногр. — Владивосток : ТИНРО, 1972. — Вып. 7. — С. 3–11.

Гладышев С.В. Термохалинная структура придонного слоя на северном шельфе Охотского моря // Метеорол. и гидрол. — 1998. — № 3. — С. 183–187.

Давыдов И.В. Режим вод западнокамчатского шельфа и некоторые особенности поведения и воспроизводства промысловых рыб // Изв. ТИНРО. — 1975. — Т. 97. — С. 63–81.

Дашко Н.А., Варламов С.М., Хан Е.Х., Ким Е.С. Центры действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона и летние особенности погоды на побережье Японского и Охотского морей // Метеорол. и гидрол. — 1997. — № 9. — С. 14–23.

Жигалов И.А., Лучин В.А. Межгодовая изменчивость горизонтальной циркуляции вод северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 161. — С. 212–228.

Кочергин В.П. Теория и методы расчета океанических течений : моногр. — М. : Наука, 1978. — 128 с.

Круц А.А., Лучин В.А. Вертикальная структура толщи вод Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 175. — С. 234–253.

Лучин В.А. Диагностический расчет циркуляции вод Охотского моря в летний период // Тр. ДВНИГМИ. — 1982. — Вып. 96. — С. 69–77.

Лучин В.А. Непериодические течения // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. — Т. 9 : Охотское море, вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоздат, 1998. — С. 233–256.

Лучин В.А. Сезонная изменчивость температуры воды в деятельном слое дальневосточных морей // Дальневосточные моря России. Т. 1 : Океанологические исследования : моногр. — М. : Наука, 2007. — С. 232–252.

Лучин В.А. Циркуляция вод Охотского моря и особенности ее внутригодовой изменчивости по результатам диагностических расчетов // Тр. ДВНИГМИ. — 1987. — Вып. 36. — С. 3–13.

Лучин В.А., Жигалов И.А. Межгодовая изменчивость средних типовых термохалинных условий и течений в северной части Охотского моря весной (апрель-июнь) // Вестн. ДВО РАН. — 2011. — № 3(157). — С. 88–95.

Лучин В.А., Жигалов И.А. Межгодовые изменения типовых распределений температуры воды в деятельном слое Охотского моря и возможность их прогноза // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 147. — С. 183–204.

Лучин В.А., Матвеев В.И. Межгодовая изменчивость термического состояния холодного подповерхностного слоя Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 205–216. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-205-216.

Марчук Г.И., Кочергин В.П., Саркисян А.С. Математические модели циркуляции в океане : моногр. — Новосибирск : Наука, 1980. — 288 с.

Морошкин К.В. Водные массы Охотского моря : моногр. — М. : Наука, 1966. — 67 с.

Павлычев В.П., Будаева В.Д., Хен Г.В. и др. Межгодовые изменения гидрометеорологических условий в основных районах промысла северо-западной части Тихого океана и возможности их прогнозирования // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования : сб. науч. тр. ВНИРО. — М. : ВНИРО, 1989. — С. 124–141.

Самко Е.В., Глебова С.Ю., Петрук В.М. Межгодовая изменчивость циркуляции вод Охотского моря у западного побережья Камчатки в весенний период // Метеорол. и гидрол. — 2004. — № 12. — С. 63–70.

Самко Е.В., Новиков Ю.В. Среднегодовое геострофическое течение в Прикурильском районе Тихого океана // Океанол. — 2004. — Т. 44, № 1. — С. 1–10.

Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений : учеб. пособ. — Л. : Гидрометеиздат, 1977. — 182 с.

Файман П.А. Сезонная изменчивость циркуляции вод Охотского моря, рассчитанная на основе стационарной модели океана // Вестн. ДВО РАН. — 2015. — № 6(184). — С. 21–28.

Файман П.А., Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю. Моделирование распространения тихоокеанских вод в Охотском море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2021. — Т. 57, № 3. — С. 372–384. DOI: 10.31857/S0002351521030044.

Фигуркин А.Л. Изменчивость термохалинного состояния придонных вод северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 166. — С. 255–274.

Фигуркин А.Л. Развитие океанологических условий западной Камчатки по данным мониторинговых наблюдений 1997 и 2000 гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 103–116.

Фигуркин А.Л., Жигалов И.А., Ванин Н.С. Океанологические условия в Охотском море в начале 2000-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 152. — С. 240–252.

Хен Г.В., Ванин Н.С., Фигуркин А.Л. Особенности гидрологических условий в северной части Охотского моря во второй половине 90-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 24–43.

Чернявский В.И. Изменчивость ядра холода и прогноз типа термического режима на севере Охотского моря // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1992. — С. 104–113.

Чернявский В.И. Циркуляционные системы Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 13–19.

Шевченко Г.В., Романов А.А. Сезонная изменчивость циркуляции в верхнем слое Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии // Метеорол. и гидрол. — 2006. — № 8. — С. 59–71.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России: в 3 томах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России: в 3 томах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — Т. 2. — 604 с.

Шунтов В.П. Состояние изученности многолетних циклических изменений численности рыб дальневосточных морей // Биол. моря. — 1986. — Т. 12, № 3. — С. 3–14.

Шунтов В.П., Темных О.С. Иллюзии и реалии экосистемного подхода к изучению и управлению морскими и океаническими биологическими ресурсами // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 3–29.

Budaeva V.D., Makarov V.G. A peculiar water regime of currents in the area of the Eastern Sakhalin shelf // PICES Sci. Rep. — 1999. — № 12. — P. 131–138.

Budaeva V.D., Makarov V.G. Modeling of the Typical Water circulation in the La Perouse Strait and Aniva Gulf Region // PICES Sci. Rep. — 1996. — № 6. — P. 17–20.

Fayman P.A. Diagnostic current calculation for the Sea of Okhotsk // PICES Sci. Rep. — 2004. — № 26. — P. 82–85.

Gladyshev S., Talley L., Kantakov G. et al. Distribution, formation, and seasonal variability of Okhotsk Sea Mode Water // J. Geophys. Res. Oceans. — 2003. — Vol. 108, № C6. 3186. DOI: 10.1029/2001jc000877.

Martin S., Drucker R., Yamashita K. The production of ice and dense shelf water in the Okhotsk Sea polynyas // J. Geophys. Res. Oceans. — 1998. — Vol. 103, № 12. — P. 27771–27782. DOI: 10.1029/98JC02242.

Mizuta G., Fukamachi Y., Ohshima K.I., Wakatsuchi M. Structure and Seasonal Variability of the East Sakhalin Current // J. of Physical Oceanography. — 2003. — Vol. 33, № 11. — P. 2430–2445. DOI: 10.1175/1520-0485(2003)033<2430:SASVOT>2.0.CO;2.

Rybalko S.I., Shevchenko G.V. Seasonal and spatial variability of sea currents on the Sakhalin northeastern shelf (by instrumental data) // Pacific Oceanography. — 2003. — Vol. 1, № 2. — P. 168–178.

Shcherbina A.Y., Talley L.D., Rudnick D.L. Direct observations of North Pacific ventilation: brine rejection in the Okhotsk Sea // Science. — 2003. — Vol. 302, № 5652. — P. 1952–1955. DOI: 10.1126/science.1088692.

References

Baklanov, P.Ya., Arzamastsev, I.S., Kachur, A.N., Romanov, M.T., Plink, N.L., Gogoberidze, G.G., Rostov, I.D., Preobrazhensky, B.V., Zharikov, V.V., Vakhnenko, R.V., Yurasov, G.I., Svarichevsky, A.S., Melnichenko, Yu.I., and Zhuk, A.P., Prirodopol'zovaniye v pribrezhnoy zone (problemy upravleniya na Dal'nem Vostoke Rossii) (Nature management in the coastal zone (management issues in the Russian Far East)), Vladivostok: Dal'nauka, 2003.

Batalin, A.M. and Vasyukova, N.G., Experience in calculating the heat balance of the Sea of Okhotsk, *Tr. Okeanogr. Kom. Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 7, pp. 37–51.

Vasil'ev, A.S. and Khrapchenkov, F.F., Seasonal variability of water circulation and exchange between the Sea of Okhotsk and the Pacific, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1998, no. 6, pp. 44–49.

Vinokurova, T.T., Variability of temperature conditions of waters in the northern Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1965, vol. 59, pp. 14–26.

Vinokurova, T.T., Interannual variability of bottom temperature off the western coast of Kamchatka, *Issled. Biol. Ryb. Promysl. Okeanogr.*, 1972, no. 7, pp. 3–11.

Gladyshev, S.V., Thermohaline structure of bottom water on the northern Okhotsk Sea shelf, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1998, no. 3, pp. 39–46. EDN: LENOTN

Davydov, I.V., Water regimes in the Western Kamchatka shelf certain specific features in food-fish behaviour and reproduction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 97, pp. 63–81.

Dashko, N.A., Varlamov, S.M., Khan, E.H., and Kim, E.S., Centers of action of the atmosphere of the Asia-Pacific region and summer weather features on the coast of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk, *Meteorol. Gidrol.*, 1997, no. 9, pp. 14–23.

Zhigalov, I.A. and Luchin, V.A., Year-to-year variability of horizontal circulation in the northern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 161, pp. 212–228.

Kochergin, V.P., *Teoriya i metody rascheta okeanicheskikh techeniy* (Theory and methods of calculating ocean currents), Moscow: Nauka, 1978.

Kruts, A.A. and Luchin, V.A., Vertical water structure in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 175, pp. 234–253.

Luchin, V.A., Diagnostic calculation of water circulation in the Sea of Okhotsk in summer, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1982, no. 96, pp. 69–77.

Luchin, V.A., Nonperiodical currents, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 1, pp. 233–256.

Luchin, V.A., Seasonal variability of the active water layer temperature in the Russia Far East Seas, in *Far Eastern Seas of Russia*, vol. 1: Oceanological research, Moscow: Nauka, 2007, pp. 232–252.

Luchin, V.A., Water circulation in the Sea of Okhotsk and patterns of its intra-annual variations as inferred from the results of diagnostic calculations, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1987, no. 36, pp. 3–13.

Luchin, V.A. and Zhigalov, I.A., Interannual variability of average typical thermohaline conditions and sea currents of the northern part of the Sea of Okhotsk in spring (April–June), *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2011, no. 3, pp. 88–95.

Luchin, V.A. and Zhigalov, I.A., Types of water temperature distribution in active layer of the Okhotsk Sea and possibility of its prediction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 183–204.

Luchin, V.A. and Matveev, V.I., Interannual variability of thermal state of the cold subsurface layer in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 205–216. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-205-216

Marchuk, G.I., Kochergin, V.P., and Sarkisyan, A.S., *Matematicheskiye modeli tsirkulyatsii v okeane* (Mathematical models of circulation in the ocean), Novosibirsk: Nauka, 1980.

Moroshkin, K.V., *Vodnye massy Okhotskogo morya* (Water Masses of the Sea of Okhotsk), Moscow: Nauka, 1966.

Pavlychev, V.P., Budaeva, V.D., Hen, G.V., Chernyavsky, V.I., and Shatilina, T.A., Interannual changes in hydrometeorological conditions in the main fishing regions of the northwestern Pacific Ocean and the possibility of their forecasting, in *Sb. nauch. tr. VNIRO "Dolgoperiodnaya izmenchivost' usloviy prirodnoy sredy i nekotoryye voprosy rybopromyslovogo prognozirovaniya"* (Sat. scientific tr. VNIRO "Long-term variability of environmental conditions and some issues of fisheries forecasting"), Moscow: VNIRO, 1989, pp. 124–141.

Samko, E.V., Glebova, S.Yu., and Petruk, V.M., *Mezhgodovaya izmenchivost' tsirkulyatsii vod Okhotskogo morya u zapadnogo poberezh'ya* (Interannual variability in the circulation of the Sea of Okhotsk off the west coast of Kamchatka in the spring), *Meteorol. Gidrol.*, 2004, no. 12, pp. 63–70.

Samko, E.V. and Novikov, Yu.V., Long-term geostrophic circulation in the Kuril Region of the Pacific Ocean, *Oceanology*, 2004, vol. 44, no. 1, pp. 1–6.

Sarkisian, A.S., *Chislennyi analiz i prognoz morskikh techeniy* (Numerical analysis and forecast of sea currents), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977.

Fayman, P.A., Seasonal variability of water circulation in the Sea of Okhotsk calculated using a stationary ocean model, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk.*, 2015, no. 6(184), pp. 21–28.

Fayman, P.A., Prants, S.V., Budyansky, M.V., and Uleysky, M.Y., Simulated pathways of the Northwestern Pacific water in the Okhotsk Sea, *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 329–340. doi 10.1134/S000143382103004X

Figurkin, A.L., Variability of temperature and salinity for bottom waters in the northern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 166, pp. 255–274.

Figurkin, A.L., Seasonal variability of oceanological conditions in the West-Kamchatka region based on the data of monitoring surveys in 1997 and 2000, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 103–116.

Figurkin, A.L., Zhigalov, I.A., and Vanin, N.S., Oceanographic conditions in the Okhotsk Sea in the early 2000s, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 240–252.

Khen, G.V., Vanin, N.S., and Figurkin, A.L., Peculiarity of the hydrological conditions in the northern part of the Okhotsk Sea in the second half of 90s, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 24–43.

Chernyavskii, V.I., Variability of the cold core and prediction of the type of thermal regime in the north of the Sea of Okhotsk, in *Okeanologicheskie osnovy biologicheskoi produktivnosti severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Oceanological Bases of Biological Productivity of the Northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 104–113.

Chernyavsky, V.I., Circulation systems of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1981, vol. 105, pp. 13–19.

Shevchenko, G.V. and Romanov, A.A., Seasonal variability of circulation in the upper layer of the Sea of Okhotsk according to satellite altimetry, *Meteorol. Gidrol.*, 2006, no. 8, pp. 59–71.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.

Shuntov, V.P., The state of knowledge of long-term cyclic fluctuations of fish abundance in the far-eastern seas, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1986, vol. 12, no. 3, pp. 3–14.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Illusions and realities of ecosystem approach to study and management of marine and oceanic biological resources, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 3–29.

Budaeva, V.D. and Makarov, V.G., A peculiar water regime of currents in the area of the Eastern Sakhalin shelf, *PICES Sci. Rep.*, 1999, no. 12, pp. 131–138.

Budaeva, V.D. and Makarov, V.G., Modeling of the Typical Water circulation in the La Perouse Strait and Aniva Gulf Region, *PICES Sci. Rep.*, 1996, no. 6, pp. 17–20.

Fayman, P.A., Diagnostic current calculation for the Sea of Okhotsk, *PICES Sci. Rep.*, 2004, no. 26, pp. 82–85.

Gladyshev, S., Talley, L., Kantakov, G., Khen, G., and Wakatsuchi, M., Distribution, formation, and seasonal variability of Okhotsk Sea Mode Water, *J. Geophys. Res. Oceans.*, 2003, vol. 108, no. C6, 3186. doi 10.1029/2001jc000877

Martin, S., Drucker, R., and Yamashita, K., The production of ice and dense shelf water in the Okhotsk Sea polynyas, *J. Geophys. Res. Oceans.*, 1998, vol. 103, no. 12, pp. 27771–27782. doi 10.1029/98JC02242

Mizuta, G., Fukamachi, Y., Ohshima, K.I., and Wakatsuchi, M., Structure and Seasonal Variability of the East Sakhalin Current, *J. Phys. Oceanogr.*, 2003, vol. 33, no. 11, pp. 2430–2445. doi 10.1175/1520-0485(2003)033<2430:SASVOT>2.0.CO;2

Rybalko, S.I. and Shevchenko, G.V., Seasonal and spatial variability of sea currents on the Sakhalin northeastern shelf (by instrumental data), *Pacific Oceanography*, 2003, vol. 1, no. 2, pp. 168–178.

Shcherbina, A.Y., Talley, L.D., and Rudnick, D.L., Direct observations of North Pacific ventilation: brine rejection in the Okhotsk Sea, *Science*, 2003, vol. 302, no. 5652, pp. 1952–1955. doi 10.1126/science.1088692

The General Bathymetric Chart of the Oceans. <https://www.gebco.net/>. Cited December, 2025.

Поступила в редакцию 23.01.2025 г.

После доработки 6.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 6.03.2025;

accepted for publication 10.03.2025