

Научная статья / Original article

УДК 551.46.09:597.555.5

doi:10.15853/2072-8212.2022.66.79-93



ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В МЕСТАХ НЕРЕСТА ВОСТОЧНОКАМЧАТСКОГО МИНТАЯ (*GADUS CHALCOGRAMMUS*) В 2012–2022 ГГ.

Тепнин Олег Борисович

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, tenpin.o.b@kamniro.ru

Аннотация. Проведен анализ межгодовой изменчивости термических и динамических условий в местах массового нереста восточнокамчатского минтая, на основе данных, полученных в ходе выполнения весенних ихтиопланктонных съемок за период с 2012 по 2022 гг., с привлечением материалов дистанционного (спутникового) мониторинга. Показана тесная зависимость термических условий в толще вод в весенний период от «суровости» предшествующего осенне-зимнего периода в юго-западной части Берингова моря. По результатам дистанционного мониторинга, в районе исследований наблюдается заметная интенсификация Камчатского течения в последнее десятилетие. При этом в местах массового нереста скорость переноса вод значительно ниже, и особенно в этом плане выделяется акватория Авачинского залива. Но и здесь прослеживается незначительный рост скорости течений со временем.

Ключевые слова: юго-восточное побережье Камчатки, Авачинский залив, Кроноцкий залив, юго-западная часть Берингова моря, Камчатское течение, температурные условия, теплозапас, течения, спутниковый мониторинг

Для цитирования: Тепнин О.Б. Изменчивость гидрологических условий в местах нереста восточнокамчатского минтая (*Gadus chalcogrammus*) в 2012–2022 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2022. № 66. С. 79–93.

VARIABILITY OF HYDROLOGICAL CONDITIONS AT SPAWNING SITES OF EAST KAMCHATKA WALLEYE POLLOCK (*GADUS CHALCOGRAMMUS*) IN 2012–2022

Oleg B. Tepnin

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO),
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, tenpin.o.b@kamniro.ru

Abstract. Analysis of inter-annual variability of temperature and dynamic conditions at sites of mass spawning of East Kamchatka walleye pollock is made based on the data obtained in the course of spring ichthyoplankton surveys for the period from 2012 to 2022 and used data of remote (satellite) monitoring. Tight correlation is demonstrated between the temperatures in the water column in spring and “severity” of previous autumn-winter period in the south-western part of the Bering Sea. According to the results of remote monitoring, there is a noticeable intensification of the Kamchatka current in the last decade in the area of the research. At the same time, at the sites of mass spawning, the water transfer rate is much lower, especially in the area of Avachinsky Gulf. But even here an insignificant increase of current velocity with time can be traced.

Keywords: southeast coast of Kamchatka, Avachinsky Gulf, Kronotsky Gulf, south-western part of the Bering Sea, Kamchatka Current, temperature conditions, thermal content, currents, remote monitoring

For citation: Tepnin O.B. Variability of hydrological conditions at spawning sites of East Kamchatka walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) в 2012–2022 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean. 2022. Vol. 66. P. 79–93. (In Russian)

В тихоокеанских водах у камчатского побережья и Северных Курильских островов нагуливается и размножается минтай (*Gadus chalcogrammus*), выделяемый в отдельную популяцию — восточнокамчатскую. Согласно проведенным ранее исследованиям (Золотов, Антонов, 1986; Антонов, 1991; Шунтов и др., 1993; Темных, 1994; Буслов, 2001), зона ее распространения на юге доходит до о. Харимкотан, а

на севере включает Кроноцкий залив. От гидрологических условий, в которых происходит размножение минтая, в большой степени зависит продолжительность развития икры (Горбунова, 1951; Буслов, Сергеева, 2009), ее перемещение от мест вымета с течениями, а следовательно, выживаемость икры и последующее формирование численности данного поколения (Антонов, 1991). Массовый нерест отмеча-

ется во второй половине апреля, с пиком в третьей декаде месяца (Антонов, Золотов, 1987; Антонов, 1991), в мае интенсивность спадает, и очаги интенсивного нереста перемещаются на мелководье и к югу (Балыкин, 1997; Балыкин, Тепнин, 1998). Первоначально считалось, что нерест восточнокамчатского минтая проходит в основном над шельфовой зоной (в интервале глубин 50–170 м (Антонов, 1991)) при очень низких значениях температуры воды. При этом в ходе выполнения ихтиопланктонных съемок у восточного побережья Камчатки фиксировалось менее 30% икры на I стадии развития над глубинами больше 200 м. Однако в конце 90-х годов XX века было установлено, что наиболее массовый «очаг» нереста минтая расположен в центральной части Авачинского залива. Он находится в пределах глубоководных каньонов, где нерест проходит на глубине более 300 м (Буслов, Тепнин, 2002). В ходе проведенных работ было показано (Буслов и др., 2004, 2006), что такое положение обусловлено, в частности, и особенностями местных гидрологических условий: повышенным уровнем температуры воды (теплый промежуточный слой — ТПС), а также циркуляцией вод, препятствующей выносу икры в неблагоприятные для дальнейшего развития районы.

Основной целью данной работы является обобщение имеющихся данных о гидрологической обстановке последних 11 лет у восточного побережья Камчатки в период проведения весенних ихтиопланктонных съемок, с привлечением материалов дистанционного (спутникового) мониторинга, и представление на этой основе анализа ее межгодовой изменчивости. Кроме того, предполагается определить наиболее приемлемые предикторы из области спутниковых наблюдений (как наиболее полных по времени), чтобы заполнить пробелы в данных, получаемых на месте (*in situ*).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

У восточного побережья Камчатки с 1974 г., в период с марта по май, проводятся регулярные учетные ихтиопланктонные съемки, сопровождающиеся гидрологическими наблюдениями. Пробелы в длительном ряду наблюдений есть, и особенно увеличиваются они в последние годы. Если на начальном этапе и вплоть до середины 90-х годов XX века в основе методики выполнения таких съемок было проведение вертикального зондирования толщи вод от поверхности до 200 м (на мелководных участ-

ках — до дна) на близкой к «стандартной» сетке станций, то в последние 20 лет в районах расположения глубоководных каньонов Авачинского и Кроноцкого заливов стали выполнять исследования до 600 м. В процессе выполнения гидрологических работ (посредством зондирующей техники) определяются основные параметры среды (температура, электропроводность, давление) с интервалом от 1 м. На рис. 1 приведены карты района исследований и расположения гидрологических станций, выполненных в период с 2012 по 2022 гг., а также приведена гистограмма распределения количества станций по годам. Всего было проведено 935 глубоководных зондирований. При всей схожести сетки станций со стандартной, не во все годы удавалось полностью охватить наблюдениями всю акваторию у восточного побережья. В 2015 г. работы в весенний период, по объективным причинам, провести не удалось. Но и в другие годы наблюдения нередко выполнялись по усеченной схеме. Так, акватория Кроноцкого залива охватывалась исследованиями только в период с 2018 по 2022 гг., а на участке у юго-восточного побережья (от м. Поворотного до м. Лопатка) были пропущены 2014, 2020 и 2022 гг. И даже на акватории Авачинского залива в 2021 г. наблюдения были выполнены по сильно усеченной схеме из-за утери зонда. Кроме того, как правило из-за плохих погодных условий, сроки работ не совпадали, а выполнение отдельных частей съемки могло быть сильно разнесено по времени. Все это создает значительные трудности при анализе и межгодовом сравнении гидрологических условий нереста восточно-камчатского минтая. Отметим также установившийся временной порядок выполнения работ (рис. 2). В марте основные наблюдения сосредоточены на «контрольных точках», расположенных в районе глубоководных каньонов Авачинского залива (рис. 2А — 45 станций). В апреле стараются охватить исследованиями наибольшую акваторию (рис. 2Б — 646 станций), а в мае охватывают исследованиями наиболее удаленные участки съемки (рис. 2В — 206 станций).

Для максимального нивелирования указанных недостатков съемок, для дальнейшей обработки и анализа нами была выбрана акватория от м. Лопатка до м. Шипунского (рис. 2Г), как обеспечивающая наибольшее представление данных на рассматриваемом временном интервале. Количество «полноценных» съемок сократилось с 11 до 7 (2012, 2013, 2016–2019 и

2022 гг.). Для всех их нами был рассчитан теплозапас слоя обследованных вод каждого года и периода с апреля по май, который представляет его энергозапас (Муромцев и др., 1970; Грузинов, 1986). Расчет теплозапаса (Q) выполняли для каждой станции, начиная с глубины 20 м, по формуле:

$$Q = p \times c_p \int_{20}^H t \times dh,$$

где p — средняя плотность (кг/м^3), c_p — удельная теплоемкость морской воды при постоянном давлении ($\text{Дж} \times \text{кг}^{-1} \times \text{K}^{-1}$), t — температура на горизонте h ($^{\circ}\text{C}$), dh — приращение глубины (м), H — глубина зондирования (м).

Горизонт 20 м в качестве отсчетного был выбран с целью убрать из вычислений слой с максимальной изменчивостью температуры (сезонный слой прогрева, рис. 3) в весенний период, когда начинается прогрев вод, в котором в основном ощущается влияние ветрового перемешивания. Кроме того, основной нерест

минтая происходит глубже данного уровня — на шельфе в слое до 200 м (Антонов, 1991), а в глубоководных каньонах Авачинского и Кроноцкого заливов — и до 600 м (рис. 3А) (Буслов и др., 2004). Таким образом, нами была получена интегральная оценка (теплозапас) термических условий слоя вод с наименьшим уровнем изменчивости температуры в весенний период для каждого рассматриваемого в работе года, что позволяет проводить межгодовое сравнение с достаточной степенью достоверности.

В работе также использовались материалы спутниковых наблюдений за температурой поверхности в зимний период года, представляющие значения температуры в узлах регулярной сетки с шагом $\frac{1}{4}$ градуса по широте и долготе за декабрь–март, рассчитываемые и распространяемые Физической научной лабораторией Национального управления океанических и атмосферных исследований (PSL

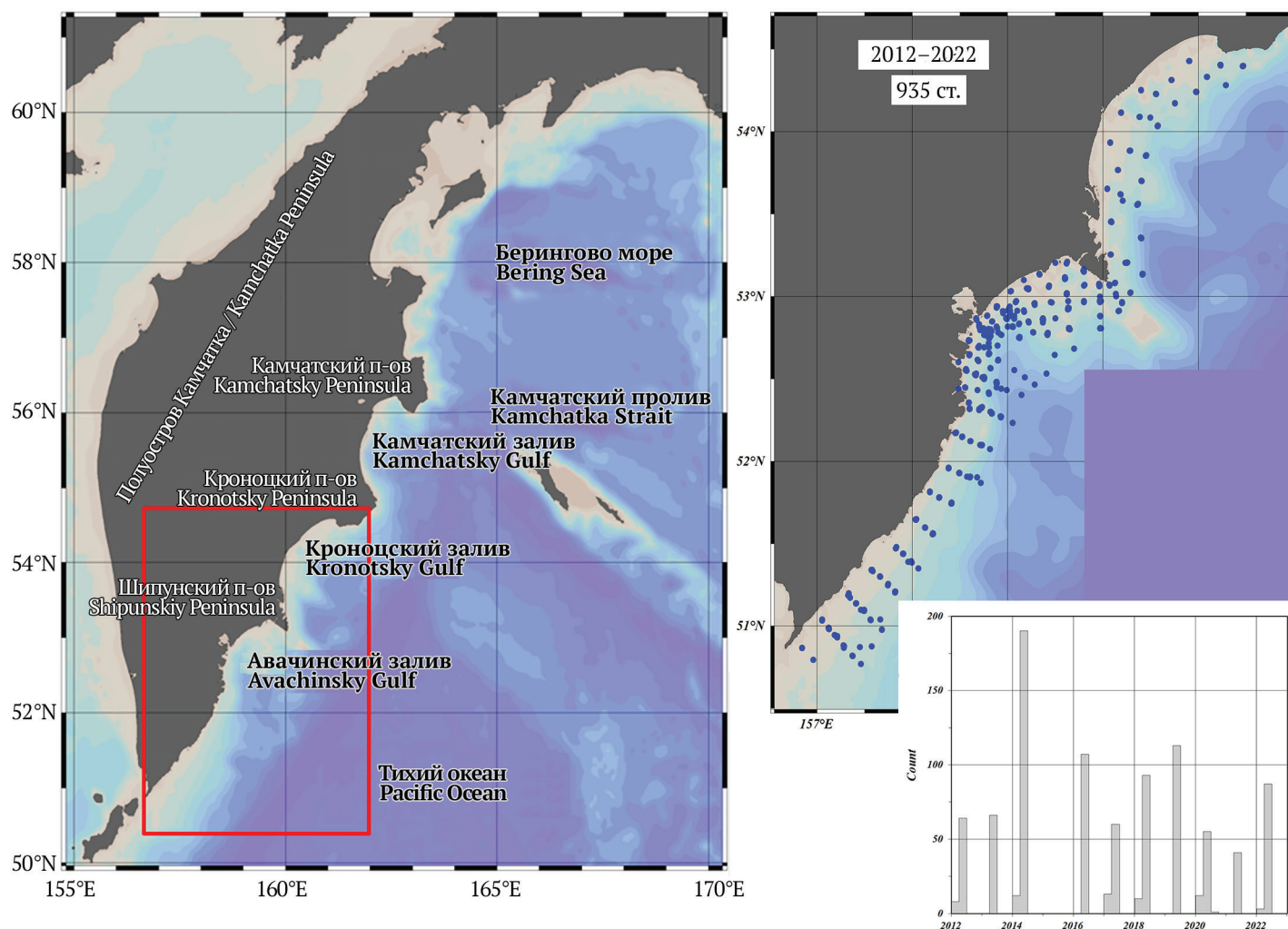


Рис. 1. Карта расположения гидрологических станций, выполненных в марте–мае 2012–2022 гг., и гистограмма распределения их по годам
Fig. 1. Map of location of hydrological stations examined in March–May for 2012–2022 and histogram of their distribution in different years

NOAA, <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html>). Также были задействованы данные о скорости и направлении среднемесячных течений для акватории исследования. Источником данных послужил Интернет-портал Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/>). Обработка исходных данных

в формате NetCDF осуществлялась с использованием пакета программ Climate Data Operator (CDO, <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo>). Визуализация карт распределения выполнялась при помощи программы Ocean Data View (ODV v. 5.6.2, Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2022).

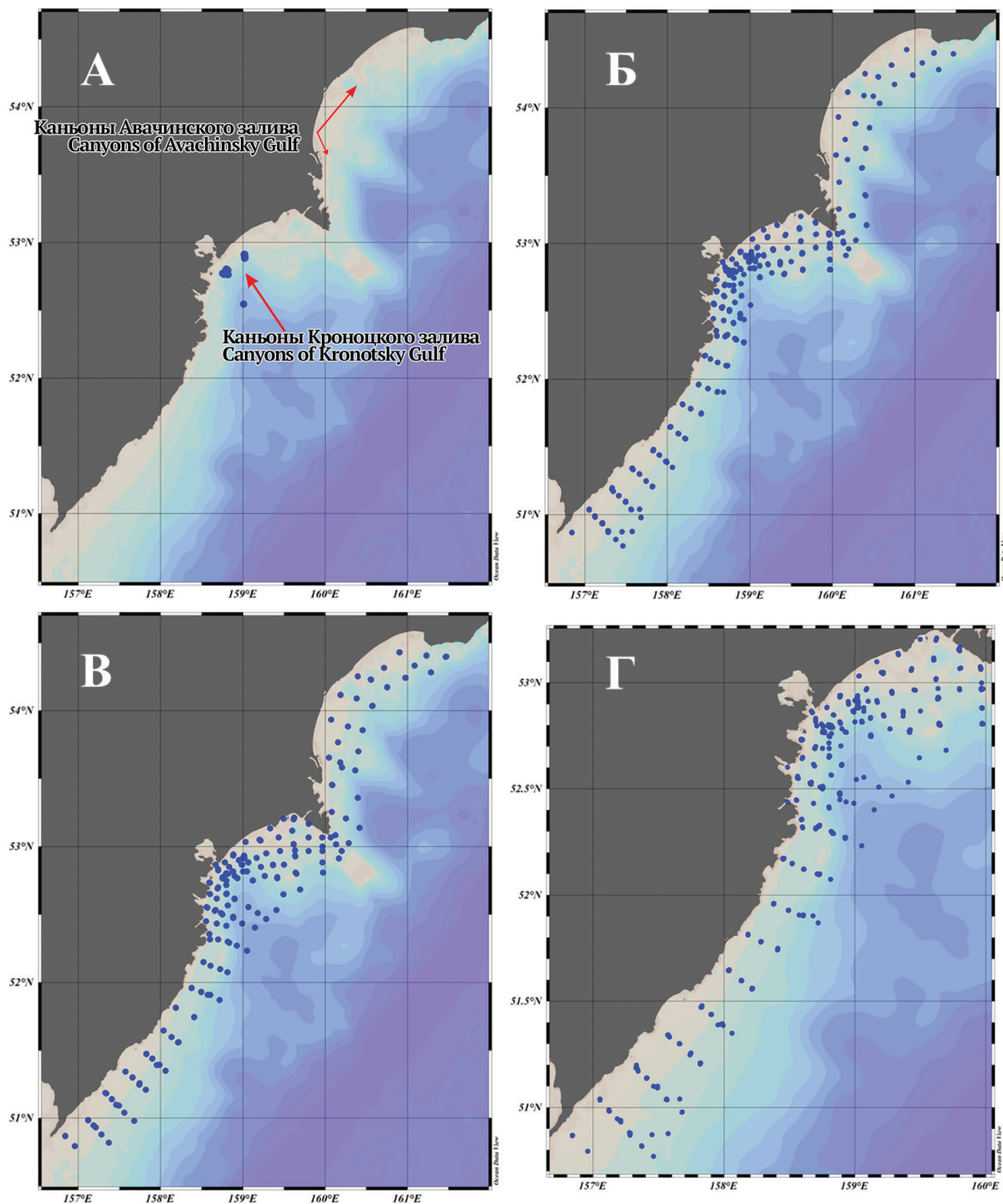


Рис. 2. Карты расположения гидрологических станций, выполненных в 2012–2022 гг.: А — в марте, Б — в апреле, В — в мае, Г — выделенный район для дальнейшей обработки и анализа
Fig. 2. Grids of hydrological posts surveyed in 2012–2022: А — in March, В — in April, В — in May, Д — area allocated for further survey and analysis

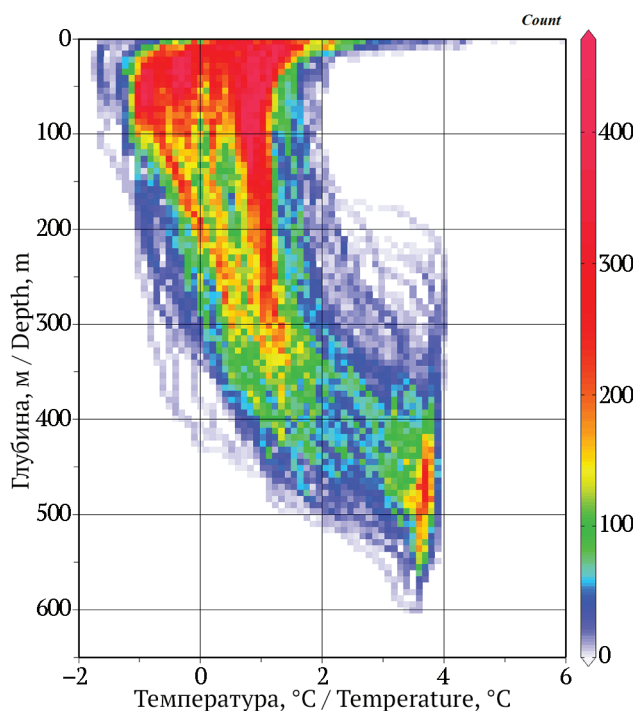


Рис. 3. Диаграмма распределения плотности значений температуры у восточного побережья Камчатки с марта по май

Fig. 3. Temperature density distribution diagram near the eastern coast of Kamchatka from March to May

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности гидрологических условий тихоокеанских вод у восточного побережья Камчатки в весенний период определяют несколько основных факторов:

- уровень «суровости» предшествующего осенне-зимнего выхолаживания вод, который формирует теплосодержание и вертикальную протяженность основного слоя (холодный подповерхностный слой или ХПС) обитания восточно-камчатского минтая в результате конвективного перемешивания. В отдельные годы мощность формируемого таким образом сезонного ХПС может достигать более 400 м;

- структура и интенсивность основной струи Камчатского течения, наличие и мощность его меандров, а также их направленность (Храпченков, 1987, 1989). Являясь составной частью северотихоокеанского циклонического круговорота, оно транспортирует огромные объемы вод из северных районов (западной части Берингова моря);

- интенсивность весеннего прогрева и ветрового перемешивания, которые формируют тонкий верхний слой вод, отделенный от ХПС мощным пикноклином.

К моменту начала проведения ихтиопланктонной съемки у восточного побережья Камчатки формируется трехслойная структура вод,

в которую вносят свои изменения вихри Камчатского течения: тонкий весенний поверхностный слой, охваченный прогревом и ветровым перемешиванием, холодный подповерхностный слой осенне-зимнего происхождения (ХПС) и теплый промежуточный слой (ТПС). На рис. 3 представлены все профили температуры по данным съемок 2012–2022 гг. в виде распределения плотности значений, которые наглядно демонстрируют указанную структуру. Так, если основные изменения температуры в верхнем 20-метровом слое достигали 4°C , то в слое до 300–350 м (ХПС) — порядка 2°C . С уровня 400 м, как правило, начинало ощущаться присутствие ТПС, и размах колебания температуры еще более сокращался.

Карты распределения теплозапаса всего обследованного слоя вод для каждого года исследований представлены на рисунке 4. Можно наглядно видеть, что большую часть акватории занимают воды с низкими значениями теплозапаса, и только в районе глубоководных каньонов Авачинского залива его величины резко возрастают. Происходит это за счет охвата в результате зондирования граничных вод между ХПС и ТПС со значительными градиентами температуры. Обратим внимание на межгодовое изменение площади и «глубины» этих аномальных районов. Впрочем, значения теплозапаса шельфового участка съемки также имеют значительный межгодовой ход.

Если рассчитать средние по площади величины для каждого года, то межгодовой ход теплозапаса района исследований можно представить в следующем виде (рис. 5). На данном графике приведены кривые изменения площади льда Берингова моря за предшествующий осенне-зимний период и средняя температура поверхности вод его юго-западной части для того же периода года. Как видно, соответствие всех трех графиков достаточно тесное, что подтверждает и выполненный корреляционный анализ (табл. 1). Коэффициенты значимы ($p < 0,05$) как для пары «теплозапас – площадь льда» (обратная связь $r = -0,78$), так и «теплозапас – температура вод поверхности в зимний период года в юго-западной части Берингова моря» (прямая зависимость $r = 0,85$). То есть можно предположить, что уровень теплозапаса вод у восточного побережья Камчатки тесно связан с суровостью зимнего сезона для Берингова моря, и особенно его юго-западной части. Для тихоокеанских вод у восточного побережья Камчатки аналогичный

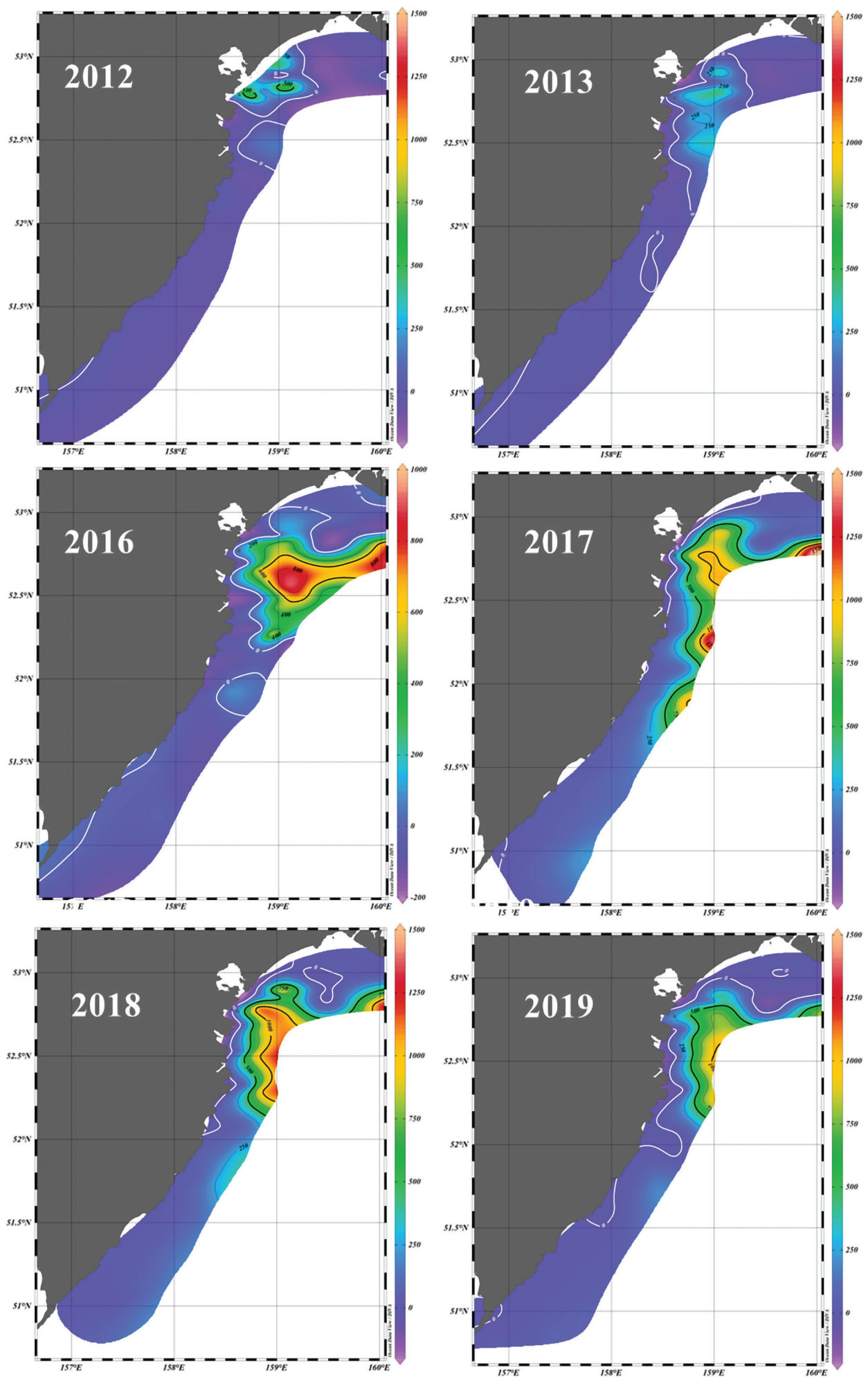


Рис. 4. Теплосодержание (кДж) исследованного слоя воды, ограниченного сверху изобарой 20 м для апреля–мая 2012–2022 гг.
 Fig. 4. Thermal content (kJ) of the surveyed water layer bounded from above by the 20 m isobar for April–May in 2012–2022

параметр (температура вод поверхности зимнего периода) имеет меньший уровень связи, что может являться подтверждением значительного влияния Камчатского течения на термическую структуру вод у восточного побережья Камчатки. Если принять среднюю скорость потока в основной «струе» Камчатского течения за 20 см/с (Khen, 1989), то на

путь от м. Наварина до Авачинского залива (более 1200 км) некоему условному объему вод потребуется около 2,5 месяцев, то есть воды зимней модификации из района зарождения Камчатского течения, трансформировавшись по пути следования, достигнут мест нереста восточно-камчатского минтая как раз в апреле–мае.

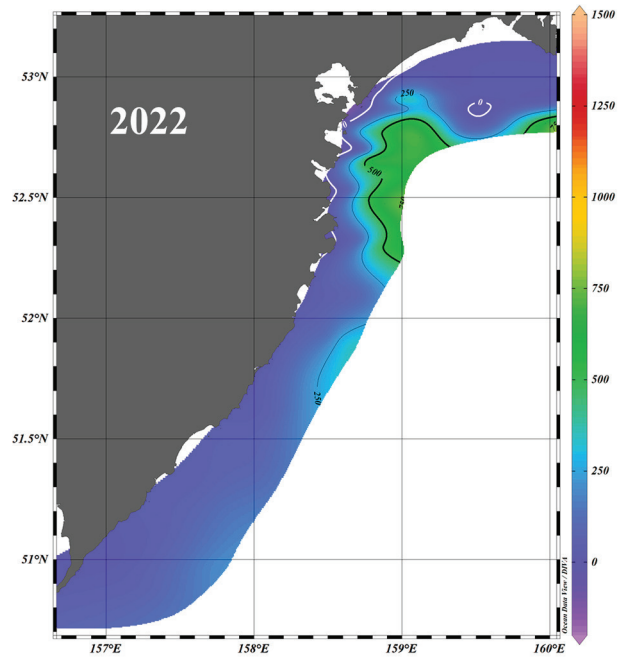


Рис. 4. Окончание. Начало на с. 84
Fig. 4. The end. Begins on page 84

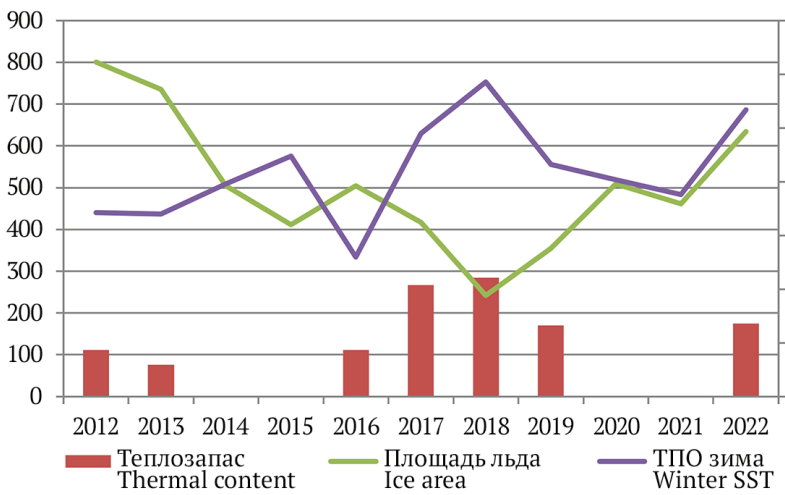


Рис. 5. График межгодового изменения теплозапаса (кДж) обследованного слоя вод у восточного побережья Камчатки для периода апрель–май 2012–2022 гг. в сравнении с изменением средней за зимний период площади льдов Берингова моря (площадь льда, тыс. км²) и средней зимней температурой поверхности в его юго-западной части (ТПО Зима, °C)
Fig. 5. Graph of the interannual change in thermal content (kJ) of the surveyed water layer off the eastern coast of Kamchatka for the period April–May in 2012–2022 compared to the change in the average winter ice area of the Bering Sea (ice area, thous. km²) and the average winter surface temperature in its southwestern part (Winter SST, °C)

Таблица 1. Матрица корреляционных связей. Отмеченные цветом корреляции значимы на уровне p
Table 1. Correlation matrix. The correlations marked colour are significant at the p level

	Теплозапас, кДж Thermal content, kJ	Площадь льда, зимний сезон (тыс. км²) Winter ice area (thous. km²)	Температура поверхности, зимний сезон (°C) Winter surface temperature (°C)
Теплозапас, кДж Thermal content, kJ	1,00 $p = ---$		
Площадь льда, зимний сезон (тыс. км²) / Winter ice area, (thous. km²)	-0,78 $p = 0,04$	1,00 $p = ---$	
Температура поверхности, зимний сезон (°C) / Winter surface temperature (°C)	0,85 $p = 0,02$	-0,55 $p = 0,21$	1,00 $p = ---$

В этом свете представляется интересным рассмотреть изменчивость динамики вод района за исследуемый период. Из-за отсутствия натурных наблюдений за течениями, а также малого объема исходных данных для расчета геострофического переноса, мы обратились к результатам дистанционного мониторинга — альтиметрическим наблюдениям за поверхностью. Как известно, в тихоокеанских водах у побережья Камчатского полуострова весь календарный год отмечается присутствие пограничного «холодного» течения, носящего название Восточно-Камчатского (Камчатского). Оно зарождается в северо-западной части Берингова моря, в районе у Корякского побережья (Арсеньев, 1967; Takenouti, Ohtani, 1974), и является составной частью северо-тихоокеанского циклонического круговорота вод (субарктический круговорот) (рис. 6). Ширина основной струи по разным данным колеблется от 80 до 300 км, а удаление от побережья — от 100 до 120 км (Khen, 1989; Вакульская и др., 2019). Скорость течения на поверхности изменяется в зависимости от времени года и достигает максимальных значений в зимний период (Хен, Заочный, 2009). Тихоокеанское побережье Камчатки изрезано

крупными заливами (Камчатский, Кроноцкий и Авачинский). Не менее сложной является и линия материкового склона, вдоль которой движется основной поток вод. В результате, на периферии постоянно возникают завихрения разных знаков и отклонения струи течения под действием топографии и неустойчивости потока (Solomon, Ahlnäs, 1978; Храпченков, 1987, 1989; Рогачев, Горин, 2004; Рогачев, Шлык, 2006; Вакульская и др., 2019).

К сожалению, отсутствие данных за весенний период 2022 г. на момент написания статьи не позволило использовать полностью сопоставимый ряд наблюдений в 11 лет. На рисунке 7 приведена карта средней скорости и направления течений на поверхности для апреля–мая за последние 10 лет, рассчитанная по спутниковым наблюдениям за абсолютной динамической топографией. Заметно, что основной поток в это время года сохраняет почти зимнюю интенсивность: так, скорость на траверзе Авачинского залива достигает 0,4 м/с. В самих же заливах этот показатель резко падает (менее 0,05 м/с). Восточно-Камчатское течение, выходя из Камчатского пролива, минует одноименный залив вдоль линии мысов Аф-

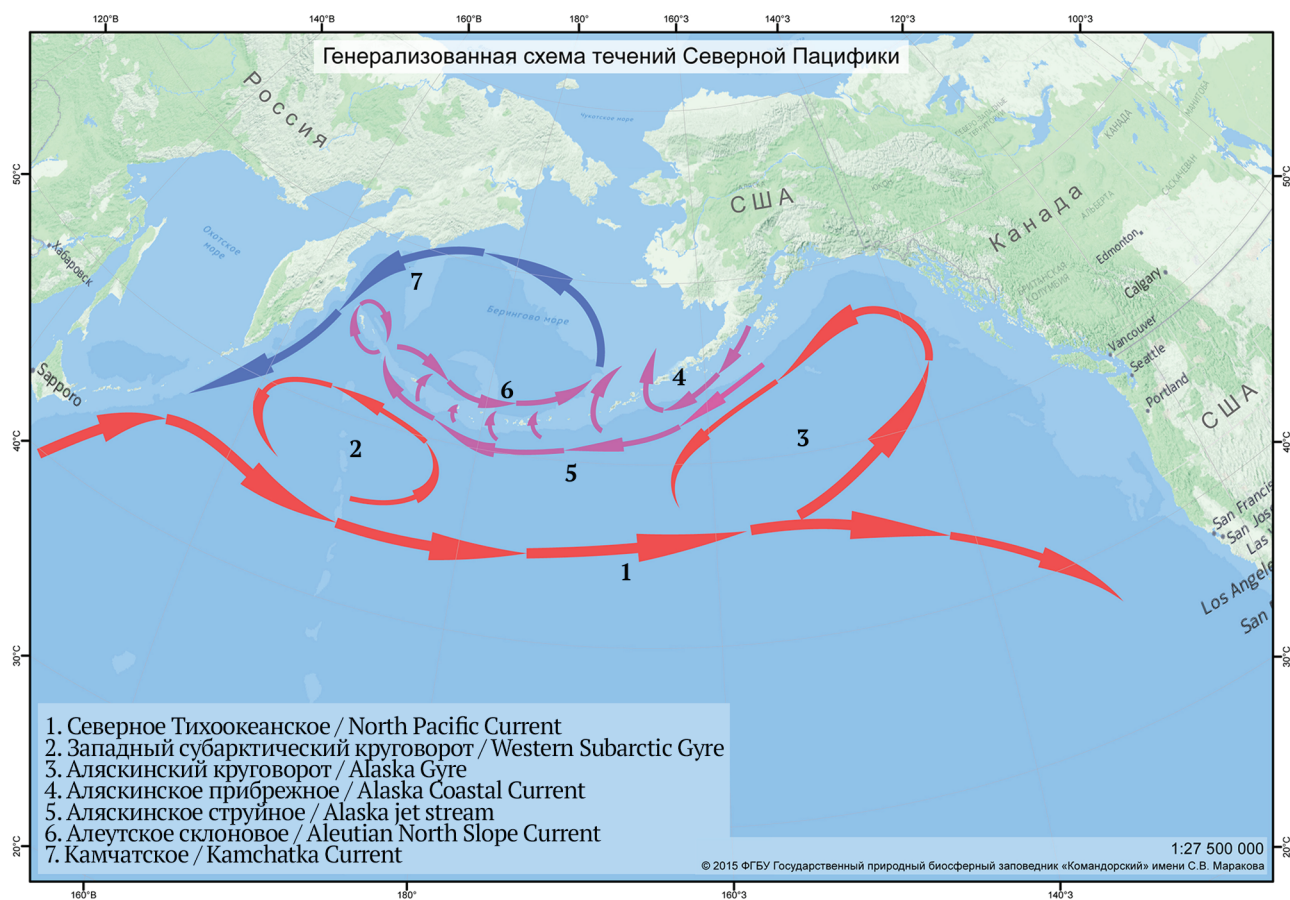


Рис. 6. Генерализованная схема течений северной части Тихого океана
 Fig. 6. Generalized flow chart of the North Pacific Ocean

рика – Кроноцкий. Но затем, после Кроноцкого полуострова, следует изгибу материкового склона и заходит в залив. Однако обогнув полуостров Шипунский, поток значительно отклоняется в сторону океана, а на акватории центральной части Авачинского залива явно прослеживается антициклонический вихрь, хотя скорости переноса в нем значительно ниже, чем в основной струе Камчатского течения. Минуя, таким образом, залив, течение возвращается к побережью в районе относительно резкого расширения шельфа и далее следует по его границе. Скорость юго-западного переноса в прибрежных водах здесь несколько выше, чем в заливах и достигает 0,10–0,15 м/с.

Таким образом, судя по среднемноголетней карте скорости и направления течений у восточного побережья Камчатки, в местах наиболее массового нереста местной популяции минтая преобладают незначительные скорости переноса вод. В Авачинском заливе, над глубоководными каньонами, преобладает антициклоническая циркуляция, что способствует малому разному икры и, возможно, ее заглублению (опускание вод в центре вихря). В районе юго-восточного побережья снос происходит вдоль берега с очень незначительной скоростью, а на траверзе б. Вестник возможны почти полная ее стагнация и накопление.

Однако это среднемноголетняя картина, которая может существенно меняться от года к году. Карты скорости и направления течений в

отдельные годы периода с 2012 по 2021 гг. это подтверждают (рис. 8). Наиболее близкими к среднемноголетнему строению поля были 2013, 2016, 2018 и 2019 гг. В 2012 г. струя Камчатского течения значительно отклонилась от юго-восточного побережья Камчатки, и к берегу был направлен только слабый «рукав». Скорость вод в шельфовой зоне и центральной части Авачинского залива в этом году была минимальной. Ситуация, сложившаяся в 2015 г., была противоположной. Основная струя значительно ближе подошла к материковому склону, а над глубоководной котловиной Авачинского залива интенсифицировался антициклонический вихрь. Два вихря разной направленности присутствовали и на правой периферии Камчатского течения. Подобная обстановка наблюдалась в 2014 и 2020 гг., только сам основной поток Камчатского течения образовывал мощный антициклональный ринг на траверзе юго-восточного побережья. При этом скорость переноса вод в прибрежной зоне была снижена в первом случае и повышена во втором. Особенно же в плане структуры выделялся 2021 г. Камчатское течение в том году значительно отклонилось к югу после прохождения м. Шипунского и образовало крупный антициклональный вихрь. По этой причине скорость течения в шельфовой зоне значительно упала, а на акватории Авачинского залива прослеживался слабый циклонический ринг. В 2017 г. скорость течения в зоне нереста восточно-камчатского минтая оказалась одной из самых высоких за весь рассматриваемый десятилетний период. Развитым ока-

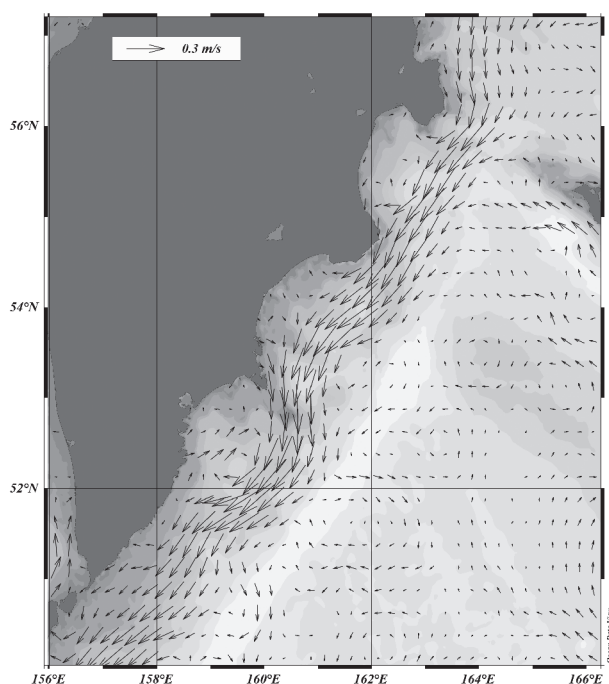


Рис. 7. Среднее для апреля–мая поле скорости и направления течения у восточного побережья Камчатки
Fig. 7. Average for April–May field of speed and direction of the current near the eastern coast of Kamchatka

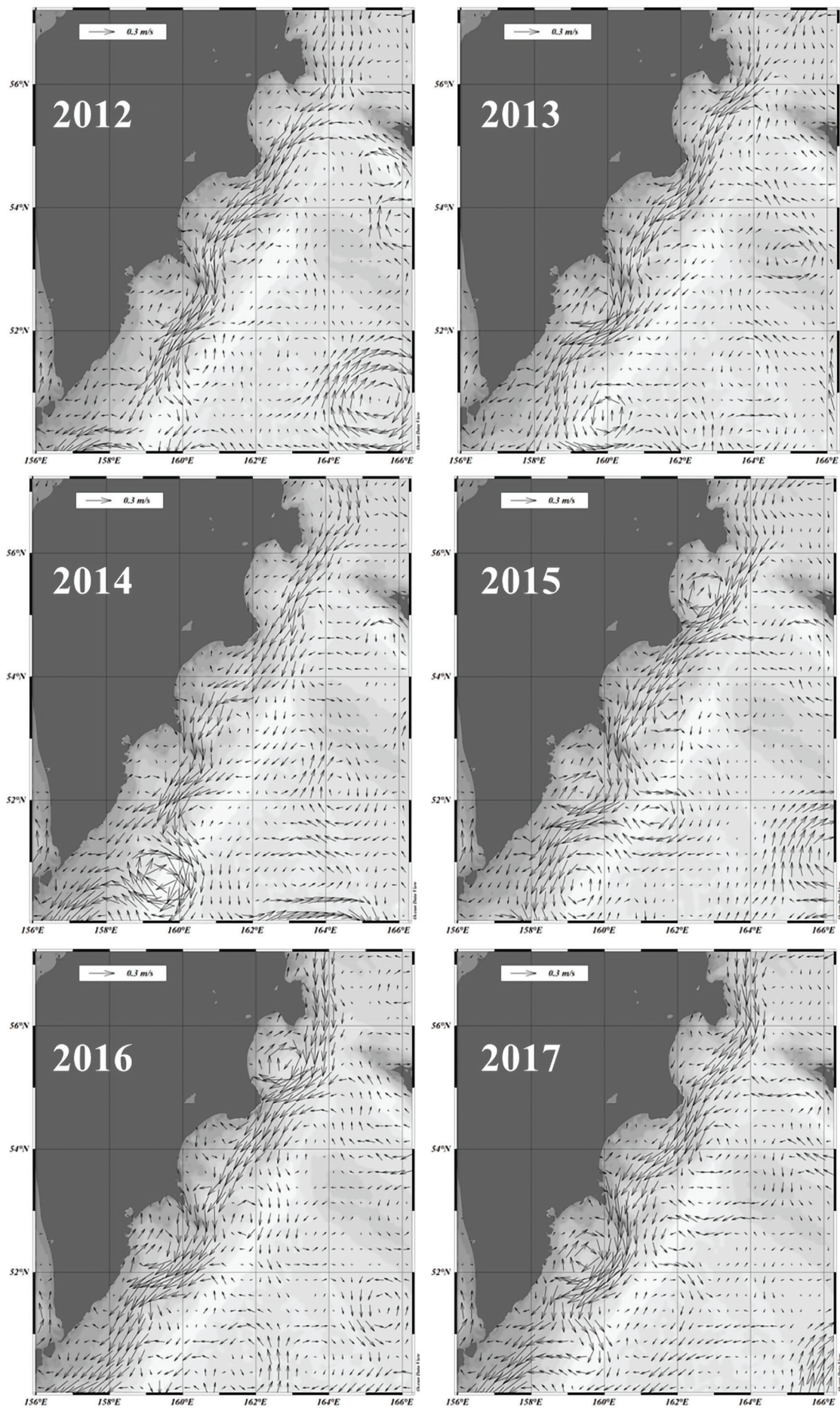


Рис. 8. Карты скорости и направления течения у восточного побережья Камчатки в апреле–мае 2012–2021 гг.
 Fig. 8. Charts of current speed and direction off the eastern coast of Kamchatka in April–May in 2012–2021

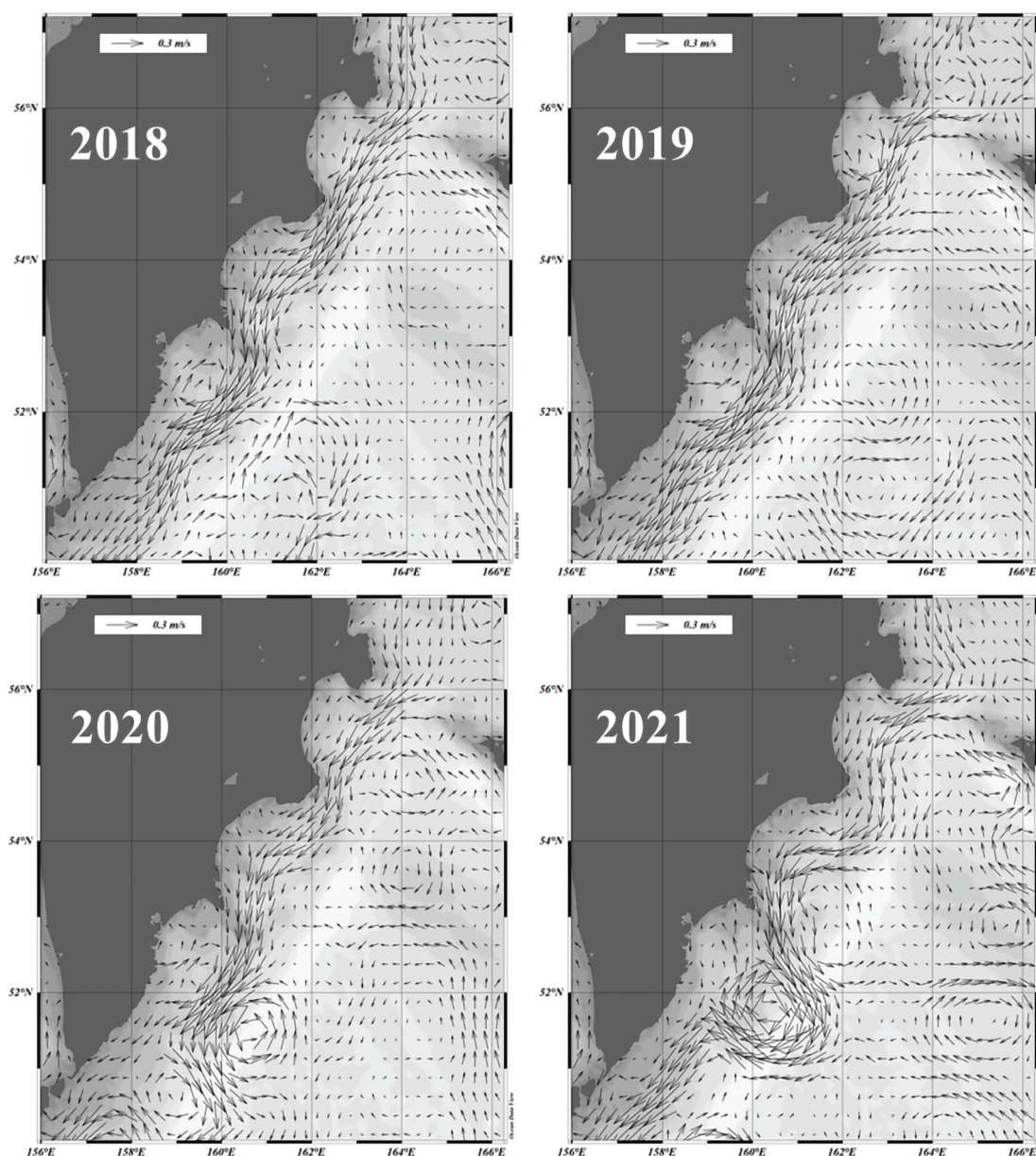


Рис. 8. Окончание. Начало на с. 88
Fig. 8. The end. Begins on page 88

зался и антициклональный вихрь над центральной частью Авачинского залива, что было связано с приближением Камчатского течения к шельфу и разделением основной струи на два потока у юго-восточного побережья Камчатки.

Мы рассчитали скорость переноса вод в приповерхностном слое для апреля и мая ряда лет с 2012 по 2021 гг. на нескольких разрезах (рис. 9). Первый разрез пересекает основную струю Камчатского течения в районе полуострова Шипунского. Второй расположен над глубоководной частью Авачинского залива и характеризует перемещение вод над основным нерестилищем восточнокамчатского минтая в этом заливе. Третий разрез у юго-восточного побережья Камчатки для представления изменчивости скорости переноса вод во втором важном центре нереста.

Графики межгодового изменения скорости течений через все три разреза представлены на том же рисунке. Как и было отмечено выше, наибольшие скорости течения фиксировались в основной струе течения (разрез 1), заметно ниже они у юго-восточного побережья (разрез 3), и самые слабые течения отмечаются в Авачинском заливе. Кроме того, наглядно видно, что скорость основного потока Камчатского течения имеет линейный тренд на увеличение значений со временем, причем в апреле он более выражен, чем в мае. Межгодовое изменение скорости течения в Авачинском заливе проявляет обратную тенденцию: средняя скорость потока снижается, хоть и не значительно. Тренд для района у юго-восточного побережья Камчатки занимает промежуточную позицию, как

по абсолютным значениям, так и по углу наклона.

Отметим, что именно в последнее десятилетие отмечается усиление Камчатского течения в весенний период, а 2017 г. относится к самым «активным» за все 30 лет дистанционного мониторинга (рис. 10). Среднее значение

для диапазона лет с 2012 по 2021 гг. на 0,07 м/с выше, чем в предшествующий 20-летний период. В Авачинском заливе данная тенденция также прослеживается, однако разница между средними за период с 1993–2011 гг. и современным периодом составляет всего 0,01 м/с.

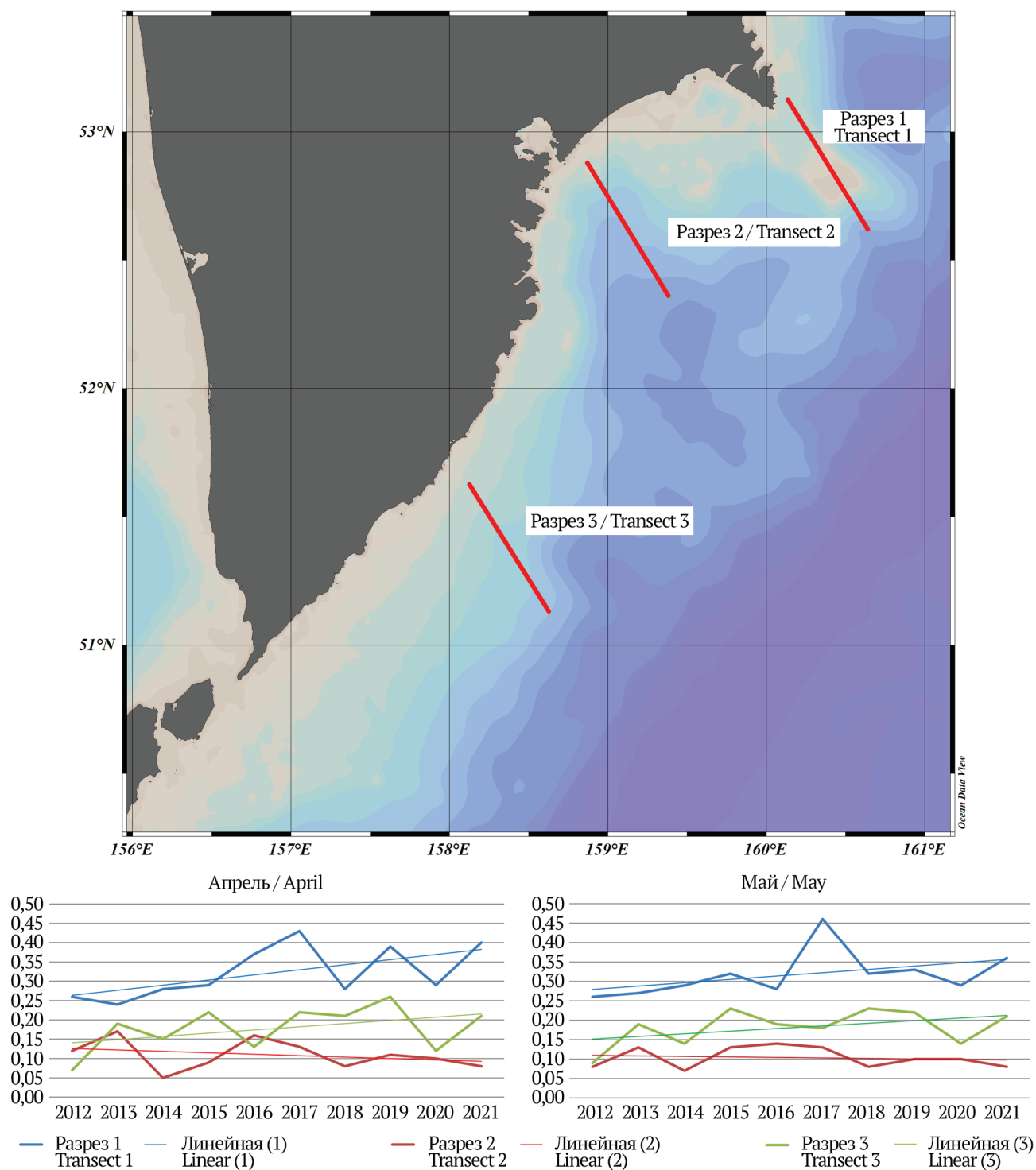


Рис. 9. Схема расположения разрезов, на которых рассчитывалось межгодовое изменение скорости переноса течением (м/с) у восточного побережья Камчатки и графики этого изменения для апреля и мая
Fig. 9. Schematic location of transects used to calculate interannual change in current velocity (m/s) off the eastern coast of Kamchatka and graphs of this change for April and May

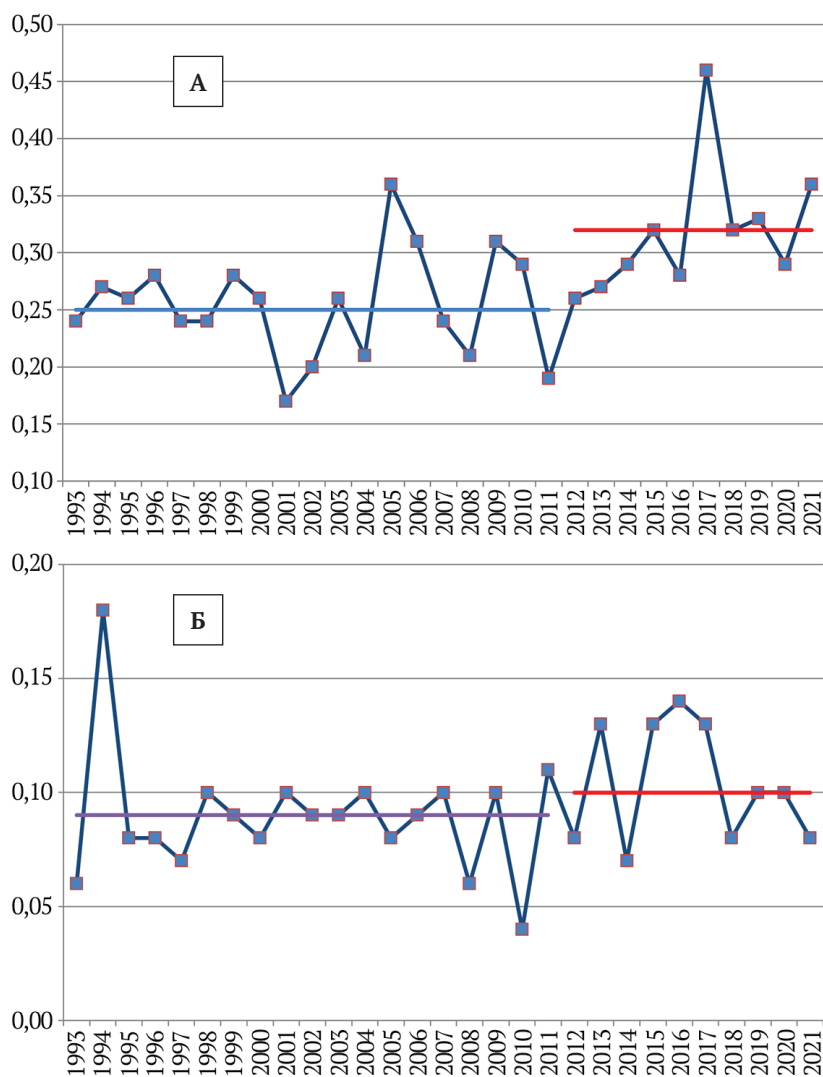


Рис. 10. Межгодовое изменение скорости переноса вод (м/с) Камчатским течением на Разрезе № 1 (А) и на Разрезе № 2 (Б) для апреля–мая 1993–2021 гг. Прямые линии — среднее для выделенных диапазонов
Fig. 10. Interannual variation in water transport velocity (m/s) by the Kamchatka Current in the Transect 1 (A) and Transect 2 (B) for April–May in 1993–2021. The straight lines are averages for outlined ranges

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрологические условия у восточного побережья Камчатки в период массового нереста местной популяции минтая отличаются значительной межгодовой изменчивостью, которая обусловлена в основном «суровостью» предшествующего осенне-зимнего периода и уровнем развития и направленностью течений в местах наибольшего скопления икры. Первый фактор может с достаточной степенью достоверности прогнозироваться по данным о ледовой обстановке и температуре поверхности Берингова моря в зимний период года. Отметим также, что по результатам дистанционного мониторинга наблюдается заметная интенсификация Камчатского течения в последнее десятилетие. При этом в местах массового нереста скорость переноса вод значительно ниже, и особенно в этом плане выделяется акватория Авачинского залива. Но и здесь выделен незначительный рост данного параметра в период с 2012 по 2021 гг.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Антонов Н.П. 1991. Биология и динамика численности восточнокамчатского минтая. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 23 с.
- Антонов Н.П., Золотов О.Г. 1987. Особенности размножения восточнокамчатского минтая / Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 123–131.
- Арсеньев В.С. 1967. Течения и водные массы Берингова моря. М.: Наука. 135 с.
- Балыкин П.А. 1997. Некоторые особенности экологии размножения *Theragra chalcogramma* // Вопр. ихтиологии. Т. 37, № 2. С. 265–269.
- Балыкин П.А., Тепнин О.Б. 1998. Динамика вод и нерест минтая *Theragra chalcogramma* у Восточной Камчатки // Исслед. биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа. № 4. С. 7–14.
- Буслов А.В. 2001. Новые данные о распределении и миграциях минтая в тихоокеанских водах Се-

- верных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки // Изв. ТИНРО. Т. 128–1. С. 229–241.
- Буслов А.В., Сергеева Н.П. 2009. Некоторые результаты эксперимента по инкубированию икры восточнокамчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) // Изв. ТИНРО. Т. 156. С. 82–94.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б. 2002. Условия нереста и эмбриогенеза минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) в глубоководных каньонах тихоокеанского побережья Камчатки // Вопр. ихтиологии. Т. 42, № 5. С. 617–625.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б., Дубинина А.Ю. 2004. Некоторые особенности экологии нереста и эмбриогенеза восточнокамчатского минтая // Изв. ТИНРО. Т. 138. С. 282–297.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б., Дубинина А.Ю. 2006. Весенний ихтиопланктон в районе глубоководных каньонов Авачинского залива (Восточная Камчатка) // Изв. ТИНРО. Т. 144. С. 226–246.
- Вакульская Н.М., Дубина В.А., Плотников В.В. 2019. Вихревая структура Восточно-Камчатского течения по спутниковым наблюдениям / XI Всерос. симпозиум (9–14 сентября 2019 г., Владивосток). Матер. докл. Вып. 1. С. 73–81.
- Горбунова Н.Н. 1951. Икра минтая и ее развитие // Изв. ТИНРО. Т. 34. С. 89–97.
- Грузинов В.М. 1986. Гидрология фронтальных зон Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 272 с.
- Золотов О.Г., Антонов Н.П. 1986. О популяционной структуре восточнокамчатского минтая / Тресковые дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. С. 43–50.
- Муромцев А.М., Борисов Е.В., Грузинов В.М. 1970. Тепловые процессы в верхнем слое океана в районе Курисио // Тр. ГОИН. Вып. 100. С. 5–21.
- Рогачев К.А., Горин И.И. 2004. Перенос массы и долговременная эволюция вихрей Камчатского течения // Океанология. Т. 44, № 1. С. 15–21.
- Рогачев К.А., Шлык Н.В. 2006. Роль мезомасштабных вихрей в динамике Камчатского и Аляскинского течений // Изв. ТИНРО. Т. 145. С. 228–234.
- Темных О.С. 1994. Морфологическая дифференциация минтая *Theragra chalcogramma* в западной части Берингова моря и тихоокеанских водах Камчатки // Вопр. ихтиологии. Т. 34, № 2. С. 204–211.
- Хен Г.В., Заочный А.Н. 2009. Изменчивость расхода Камчатского течения и океанологических параметров в Камчатском проливе // Изв. ТИНРО. Т. 158. С. 247–260.
- Храпченков Ф.Ф. 1987. Исследование вихрей у побережья Камчатки летом 1985 г. // Океанология. Т. 27, № 3. С. 391–396.
- Храпченков Ф.Ф. 1989. Гидрологическая структура и распределение энергии вихрей Камчатского течения // Метеорология и гидрология. № 1. С. 65–71.
- Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дуленова Е.П. 1993. Минтай в экосистемах дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. 426 с.
- Khen G.V. 1989. Oceanographic conditions and Bering Sea biological productivity // Proc. Int. Symp. Biol. Walley Pollock. Nov. 1989, Anchorage, Alaska. Fairbanks (Alaska). P. 79–89.
- Solomon H., Ahlnäs K. 1978. Eddies in the Kamchatka Current // Deep Sea Research. Vol. 25. No. 4. P. 403–410.
- Takenouti A.Y., Ohtani K. 1974. Currents and water masses in the Bering Sea: A review of Japanese work // Oceanography of the Bering Sea: with emphasis on renewable resources. Fairbanks: Inst. of Marine Science Univ. of Alaska. P. 39–57.

REFERENCES

- Antonov N.P. 1991. *Biologiya i dinamika chislennosti vostochnokamchatskogo mintaya. Avtoreferat disertacii kandidata biologicheskikh nauk* [Biology and dynamics of abundance of the eastern Kamchatka pollock. Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1991, 23 p.
- Antonov N.P., Zolotov O.G. *Osobennosti vosproizvodstva dalnevostochnogo mintaya* [Population structure, abundance dynamics and ecology of walleye pollock]. Vladivostok: TINRO, 1987, pp. 123–132.
- Arseniev V.S. *Techeniya i vodnyye massy Beringova morya* [Current and water masses of the Bering Sea]. Moscow: Nauka, 1967, 135 p.
- Balykin P.A. Some features of the reproduction ecology of *Theragra chalcogramma*. *Journal of Ichthyology*, 1997, vol. 37, no. 2, pp. 265–269. (In Russian)
- Balykin P.A., Tepnin O.B. Water dynamics and pollock spawning *Theragra chalcogramma* near Eastern Kamchatka. *Issled. biology and population dynamics of commercial fish of the Kamchatka shelf*, 1998, no. 4, pp. 7–14.
- Buslov A.V. New data on distribution and migrations of Walleye Pollock in the pacific waters adjacent to the North Kuril Islands and Southeast Kamchatka. *Izvestia TINRO*, 2001, vol. 128 (1), pp. 229–241. (In Russian)
- Buslov A.V., Sergeeva N.P. Some new results on experimental eggs incubation of Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*). *Izvestia TINRO*, 2009, vol. 156, pp. 82–94. (In Russian)
- Buslov A.V., Tepnin O.B. Conditions of spawning and embryogenesis of pollock *Theragra chalcogramma* (Gadidae) in deep-water canyons of the Pacific

- coast of Kamchatka. *Journal of Ichthyology*, 2002, vol. 42, no. 5, pp. 617–625. (In Russian)
- Buslov A.V., Tepnin O.B., Dubinina A.Yu. Some features of spawn ecology and embryogenesis of the East Kamchatka Walleye Pollock. *Izvestia TINRO*, 2004, vol. 138, pp. 282–297. (In Russian)
- Buslov A.V., Tepnin O.B., Dubinina A.Yu. Spring ichthyoplankton in the area of deep-water canyons in the Avachinsky Bay (East Kamchatka). *Izvestia TINRO*, 2006, vol. 144, pp. 226–246. (In Russian)
- Vakulskaya N.M., Dubina V.A., Plotnikov V.V. *Vikhrevaya struktura Vostochno-Kamchatskogo techeniya po sputnikovym nablyudeniya* [Vortex structure of the East Kamchatka current according to satellite observations]. XI All-Russia symposium (September 9–14, 2019, Vladivostok). Mater. Report, issue 1, 2019, pp. 73–81.
- Gorbunova N.N. Pollock roe and its development. *Izvestia TINRO*, 1951, vol. 34, pp. 89–97. (In Russian)
- Gruzinov V.M. *Gidrologiya frontalnykh zon Mirovogo okeana* [Hydrology of frontal zones of the World Ocean]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 272 p.
- Zolotov O.G., Antonov N.P. *Concerning the population structure of the Eastern Kamchatka walley pollock. Treskovye dalnevostochnykh morey* [Cod of the Far Eastern seas]. Vladivostok: TINRO, 1986, pp. 43–50.
- Muromtsev A.M., Borisov Ye.V., Gruzinov V.M. Thermal processes in the upper layer of the ocean in the Kuroshio area. *Trudy GOIN*, 1970, issue 100, pp. 5–21. (In Russian)
- Rogachev K.A., Gorin I.I. Mass transport and long-term evolution of eddies in the Kamchatka current. *Oceanology*, 2004, vol. 44, no. 1, pp. 15–21.
- Rogachev K.A., Shlyk N.V. Role of mesoscale eddies in dynamics of the Kamchatka current and Alaskan stream. *Izvestia TINRO*, 2006, vol. 145, pp. 228–234. (In Russian)
- Temnykh O.S. Morphological differentiation of pollock *Theragra chalcogramma* in the western part of the Bering Sea and the Pacific waters of Kamchatka. *Journal of Ichthyology*, 1994, vol. 34, no. 2, pp. 204–211. (In Russian)
- Khen G.V., Zaochny N.A. Variability of the Kamchatka current transport and water properties in the Kamchatka strait. *Izvestia TINRO*, 2009, vol. 158, pp. 247–260. (In Russian)
- Khrapchenkov F.F. Field study of eddies near the Kamchatka coast in the summer of 1985. *Oceanology*, 1987, vol. 27, no.3, pp. 391–396. (In Russian)
- Shuntov V.P., Volkov A.F., Temnykh O.S., Dulepova E.P. *Mintaj v jekosistemah dalnevostochnykh morej* [Pollock in the ecosystems of Far Eastern seas]. Vladivostok: TINRO, 1993, 426 p.
- Khen G.V. Oceanographic conditions and Bering Sea biological productivity. *Proc. Int. Symp. Biol. Walley. Pollock*. Nov. 1989, Anchorage, Alaska. Fairbanks (Alaska), 1989, pp. 79–89.
- Solomon H., Ahlnäs K. Eddies in the Kamchatka Current. *Deep Sea Research*, 1978, vol. 25, no. 4, pp. 403–410.
- Takenouti A.Y., Ohtani K. Currents and water masses in the Bering Sea: A review of Japanese work. *Oceanography of the Bering Sea: with emphasis on renewable resources*. Fairbanks: Inst. of Marine Science Univ. of Alaska, 1974, pp. 39–57.

Информация об авторе

О.Б. Тепнин — зав. сектором Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

Information about the author

Oleg B. Tepnin — Head of Division (KamchatNIRO)

Статья поступила в редакцию: 11.11.2022

Одобрена после рецензирования: 28.11.2022

Статья принята к публикации: 07.12.2022