

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.465.45:597.552.51

Г.В. Хен, А.В. Заволокин*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4**ПЕРЕМЕНА В ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ
В РАСПРЕДЕЛЕНИИ И ОБИЛИИ ЛОСОСЕЙ
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ
В НАЧАЛЕ 21-ГО СТОЛЕТИЯ**

В 2007 г. в Беринговом море произошла «перемена» в циркуляции вод. Берингово-морской циклонический круговорот уменьшился до размера Командорской котловины, усилился меридиональный поток из прол. Ближнего на север, а широтный поток из Алеутской котловины на запад стал заметно слабее. Меридиональный поток ограничивал продвижение промежуточных вод зимнего охлаждения на восток, на границе ИЭЗ России установился гидродинамический фронт. Изменения в циркуляции вод в Беринговом море в 2007–2011 гг. по сравнению с 2002–2006 гг. отразились на интенсивности нагульных миграций неполовозрелых лососей в российские воды. Снизилась численность неполовозрелой кеты, нерки и чавычи в западной части моря, а также произошли изменения в их пространственном распределении. В 2012 г. после обратной смены циркуляции вод обилие лососей вернулось к прежнему доперестроечному уровню.

Ключевые слова: гидрология, водообмен, температура, соленость, кета, нерка, чавыча, Берингово море.

Khen G.V., Zavolokin A.V. Change in water circulation and its implication for distribution and abundance of salmon in the western Bering Sea in the early 21 century // *Izv. TINRO*. — 2015. — Vol. 181. — P. 95–115.

Water circulation in the western Bering Sea is considered for summer and fall seasons on the data of oceanographic surveys conducted in 2002–2012 by Pacific Fisheries Research Center (TINRO) under BASIS program. In general, cyclonic circulation was observed over the deepwater basin, without prominent changes from summer to fall. However, the cyclonic gyre was wider until 2006 than later when it was limited by the Commander Basin in both seasons, while the northward flow from the Near Strait became stronger and the westward flow from the Aleutian Basin along Koryak shore and the Bering Slope Current became weaker. The former inflow formed the hydrodynamic front along the border of Russian EEZ that prevented eastward spreading of the cold subsurface water. This change was connected with reconstruction of atmosphere circulation: change of the Aleutian Low orientation in spring. It extended latitudinally from Asia to North America till 2006 that favored to eastern and northeastern winds over the Bering Sea, then moved to southwest-northeast position with shift to south of its western trough, so northern and northeastern winds prevailed. After reconstruction of air and water circulation, feeding migration of immature chum, sockeye and chinook salmon

* Хен Геннадий Васильевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: gennady1@tinro.ru; Заволокин Александр Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, e-mail: zavolokin@tinro.ru.

Khen Gennady V., Ph.D., leading researcher, e-mail: gennady1@tinro.ru; Zavolokin Alexander V., Ph.D., head of laboratory, e-mail: zavolokin@tinro.ru.

to the western Bering Sea became less intensive and their abundance decreased in 2, 5, and 9 times, respectively, with corresponding changes of their distribution patterns. About 70 % of immature salmon fed in the waters of the Aleutian Basin in 2002–2006 but < 50 % in 2007–2010; their concentration density in this area decreased in 2–3 times though it did not changed significantly in the Kamchatka Basin. After five years of abnormal orientation, the Aleutian Low returned to latitudinal position in 2012, just as the water circulation changed back: the northward flow from the Near Strait weakened, the eastward stream appeared along Aleutian Islands, the front at the border of Russian EEZ relaxed and the cold subsurface water penetrated to the Aleutian Basin again. As the result, the feeding salmon abundance in the EEZ of Russia grew and reached the level of 2002–2006.

Key words: fisheries oceanography, water exchange, water temperature, salinity, chum, sockeye, chinook, Bering Sea.

Введение

Западная часть Берингова моря — важное место нагула молоди тихоокеанских лососей во время их летне-осенних миграций. Эта богатая кормовыми ресурсами акватория активно используется не только берингоморскими стадами лососей во время их преданадромных и посткатадромных миграций, но и рыбами из других районов воспроизводства. Обилие нагульной молоди лососей в западной части моря из года в год сильно меняется (Старовойтов, 2003; Заволокина, Заволокин, 2007; Шунтов, Темных, 2011), что в первую очередь связано с их общей численностью в северной Пацифике. Вместе с тем существенное влияние на направление и темп миграций лососей может оказывать динамика вод (Шунтов и др., 1995).

Межгодовые изменения течений в море изучены слабо. Все имеющиеся схемы течений (Арсеньев, 1967; Takenouti and Ohtani, 1974; Khen, 1989; Stabeno and Reed, 1994; Stabeno et al., 1999) составлены по многолетним данным для теплого полугодия и практически не отличаются друг от друга. Влияние циркуляции вод на распределение и обилие nekтона, в том числе лососей, в Беринговом море рассматривались в ряде работ (Incze et al., 1989; Радченко, 1994; Старовойтов, 2002; Cooper et al., 2013). Однако из-за использования авторами ограниченного ряда наблюдений полученные ими результаты нередко имеют слабое обоснование и могут быть даже спорными.

Цель настоящей работы — на основе ежегодных съемок, проводимых в Беринговом море в рамках международной программы изучения лососей BASIS на протяжении 11 лет, показать роль циркуляции вод Берингова моря и ее изменчивости в 2002–2012 гг. летом и осенью в распределении и обилии молоди лососей.

Материалы и методы

В работе использованы материалы ежегодных судовых наблюдений, проводимых в западной части Берингова моря по международной программе изучения лососей в Беринговом море и алеутских водах (BASIS) с 2002 по 2012 г. Всего в течение 11 лет в зоне ответственности России были проведены 5 съемок летом (4 — июнь-июль, 1 — июль-август) и 9 съемок осенью (сентябрь-октябрь) (табл. 1). Для 2002 и 2003 гг., когда Япония провела по две съемки (летом и осенью) в центральной части Берингова моря, гидрология рассмотрена для всего глубоководного бассейна. Данные США, полученные в шельфовой зоне восточной части Берингова моря, использованы частично для пространственной характеристики термических условий. Дополнительно использовались данные океанологических наблюдений на донных съемках и при оценке численности минтая на судах России и США на шельфе. На рис. 1 представлен пример продуктивной международной кооперации по выполнению общей программы (BASIS).

Для построения схемы течений Берингова моря для лета и зимы были использованы данные буев «holey-sock» из сайта NOAA EcoFOCI (http://www.ecofoci.noaa.gov/drifters/efoci_drifterData.shtml). Их дрейф проходит на глубине 40 м, и обобщенная карта течений построена для данного горизонта. Всего было использовано 510 траекторий продолжительностью иногда более 2 лет (Khen et al., 2013). Рассчитанные зональные

Таблица 1

Сроки съемок и количество траловых станций в западной части Берингова моря и сопредельных тихоокеанских водах выполненных ТИНРО-центром в 2002–2012 гг.

Table 1

Dates of surveys conducted in the western Bering Sea and adjacent Pacific waters number of stations done by Pacific Fish. Res. Center (TINRO) in 2002–2012 and number of trawl stations

Сезон, год	Сроки	Количество тралений
Осень 2002	31.08–09.10	81
Лето 2003	15.07–24.08	86
Осень 2003	14.09–25.10	87
Осень 2004	11.09–23.10	72
Лето 2005	17.06–21.07	89
Осень 2006	24.08–12.10	116
Лето 2007	15.06–16.07	82
Осень 2007	06.09–24.10	113
Осень 2008	09.09–13.10	97
Лето 2009	13.06–18.07	108
Осень 2009	10.09–11.10	98
Осень 2010	23.09–20.10	84
Лето 2011	04.06–01.07	100
Осень 2012	03.09–02.10	92

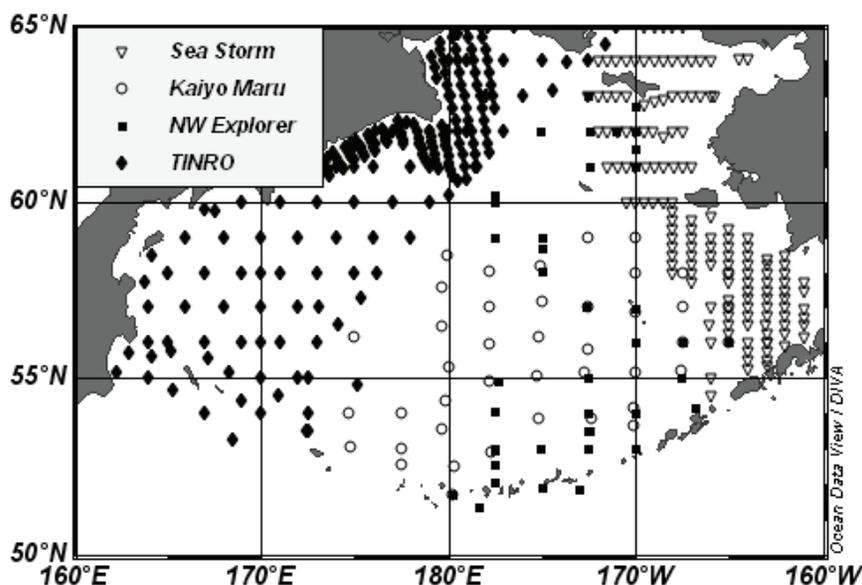


Рис. 1. Схема океанологических станций, выполненных на судах России (ТИНРО), Японии (Kaiyo Maru) и США (Sea Storm, NW Explorer) в 2002 г.

Fig. 1. Scheme of surveys conducted by research vessels of Russia (TINRO), Japan (Kaiyo Maru) and USA (Sea Storm, NW Explorer) in 2002

и меридиональные составляющие скоростей (см/с) осреднены и интерполированы в сеточные узлы $0,5 \times 0,5^\circ$.

В работе использован обобщенный архив океанологических данных, полученный слиянием базы данных ТИНРО-центра и World Ocean Database 2009*, для характеристики динамики вод в северной части Тихого океана и Беринговом море в 21-м столетии.

Для оценки роли атмосферных процессов были проанализированы карты приземного давления и меридиональной компоненты скорости ветра в северной части

* Johnson D.R., Garcia H.E. and Boyer T.P. World Ocean Database 2009 Tutorial. NODC Intern. Rep. 21, Silver Spring, MD: NOAA Printing Office, 2009. 18 p. Available at http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD09/pr_wod09.html.

Тихого океана в пределах 30–70° с.ш. 120° в.д. — 120° з.д. Данные взяты с сайта NOAA Climate Prediction Center (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/tables/ocean.html>).

Построения океанологических параметров (динамической топографии и пространственного распределения температуры и солёности) проведены по программе OCEAN DATA VIEW (ODV) версии 4.4.2. (<http://odv.awi.de/en/software>).

Распределение и обилие лососей было оценено по траловым уловам. Траления выполнялись разноглубинным тралом РТ 80/396 с мелкоячейной вставкой в кутце. Всего в 2002–2012 гг. выполнено 1219 тралений, из них 465 летом (5 съёмок) и 840 осенью (9 съёмок, табл. 1). Летом 2003 г. съёмка была проведена 15 июля — 24 августа, т.е. на 1 мес. позже, чем в другие годы. Эти данные к анализу не привлекались. Работа велась круглосуточно в поверхностном горизонте при скорости 4–6 уз. Вертикальное раскрытие трала составляло около 25–45 м, горизонтальное — около 35–50 м. Подробная методика разбора уловов и оценки обилия рыб освещена в предшествующих работах (Нектон ..., 2003). При оценке численности горизонтальное раскрытие трала оценивали по формуле, которая учитывает его вертикальное раскрытие, скорость буксировки, горизонт траления и длину ваеров (Волвенко, 1998).

Результаты и их обсуждение

Обобщенные схемы течений в Беринговом море в теплое и холодное полугодия

Схема течений, построенная по дрейфтерам (рис. 2), в целом подтверждает общую циклоническую циркуляцию в пределах глубоководного бассейна, известную по многим публикациям (Арсеньев, 1967; Takenouti and Ohtani, 1974; Khen, 1989; Stabeno and Reed, 1994; Stabeno et al., 1999). Циклон Берингова моря — северное продолжение крупномасштабного стационарного субарктического круговорота в умеренной зоне Тихого океана, занимающего пространство от азиатского до американского берегов между 40 и 60° с.ш. На всех осредненных схемах берингоморский циклон занимает всю глубоководную котловину. Схемы различаются некоторыми деталями, связанными с неоднородностью используемых данных, и в целом различия не существенны.

На фоне общей циклонической циркуляции зимой заметен широкий поток на севере и западе глубоководной котловины, вызванный действиями сильных северо-восточных ветров. Летом ширина течений заметно сужается, они не выходят далеко за пределы континентального склона. Средние зимние скорости течений в целом по морю выше летних значений более чем на 60 %. У континентального склона различие более существенно: зимой скорости течений составляют 15–20 см/с на востоке и более 30 см/с на западе, тогда как летом не превышают 10 см/с. На западном склоне, примыкающем к п-ову Камчатка, скорости зимой и летом выше, чем на восточном склоне, в 1,5–2,0 раза. Зимой и летом хорошо выражено Камчатское течение, но летом оно заметно слабее. Его геострофические скорости относительно 1500 дб летом составляют 5–10 см/с, но вблизи континентального склона в верхнем 200-метровом слое достигают 15–20 см/с (Хен, Заочный, 2009). Летом на большей части глубоководной котловины скорости небольшие, а на восточном склоне формируются разнонаправленные вихри. Наваринское течение, несущее трансформированные тихоокеанские воды в Анадырский залив, заметно только на летней карте течений. Зимой оно становится слабым или даже совсем исчезает из-за противодействия сильных северо-восточных ветров.

Геострофические течения летом и осенью 2002–2011 гг.

Регулярное выполнение программы BASIS со стороны России позволило провести детальное исследование изменчивости циркуляции вод в пределах ИЭЗ России с 2002 по 2012 г. Такие работы проводились и ранее (Khen and Basyuk, 2005; Басюк и др., 2007, 2010), в них был показан ряд важных признаков межгодовой изменчивости отдельных деталей течений. В частности, впервые было указано на усиление в отдельные годы потока тихоокеанских вод из прол. Ближнего в сторону Командорской котловины.

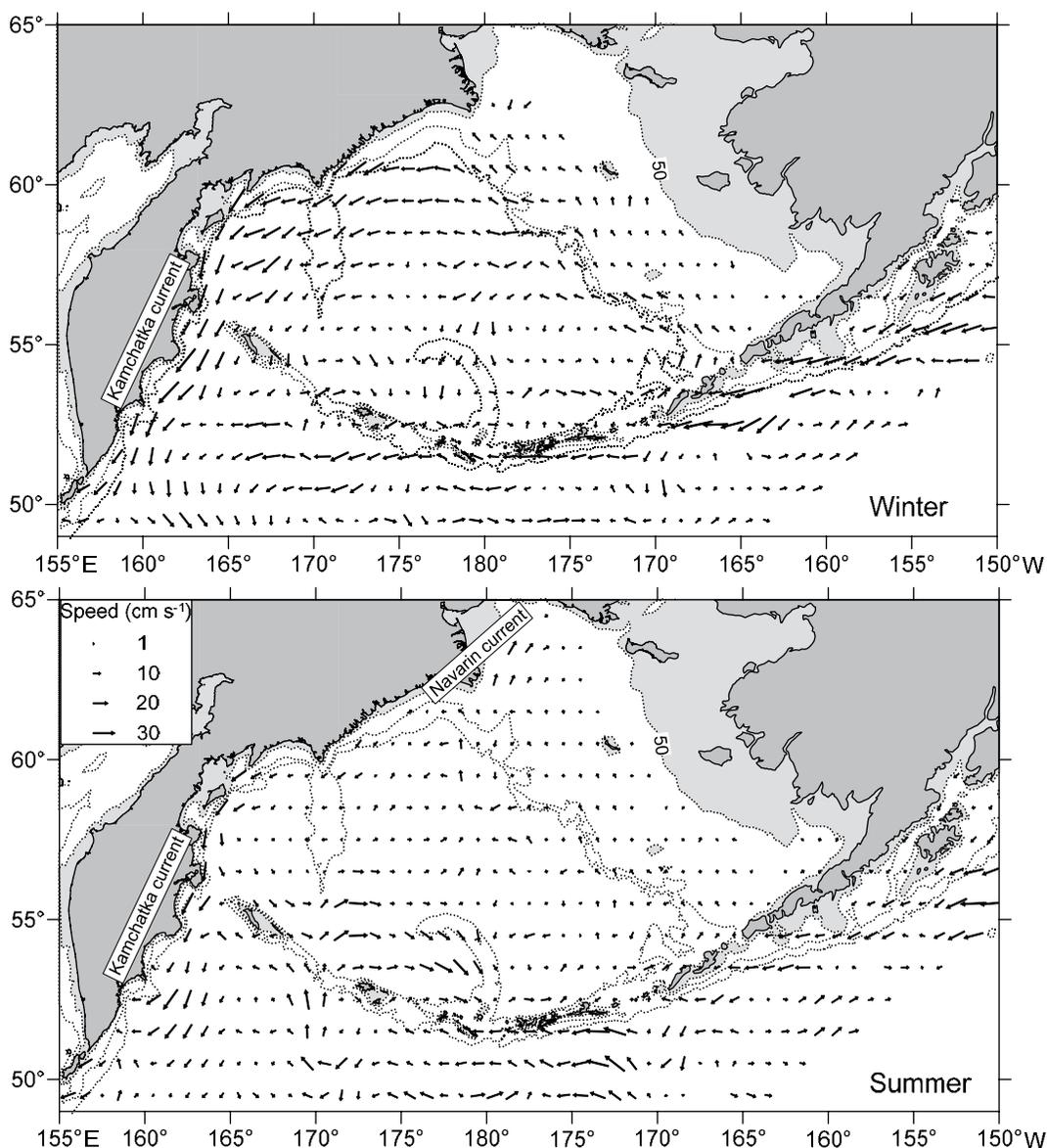


Рис. 2. Направления и скорости течений в Беринговом море зимой и летом на глубине 40 м по данным 510 дрейфтеров, обобщенным за период 1986–2007 гг. (Khen et al., 2013)

Fig. 2. Direction and velocity of currents at 40 m depth in the Bering Sea in summer and winter on the generalized data of 510 «holey-sock» drifters deployed in 1986–2007 (Khen et al., 2013)

Усиление северного потока из прол. Ближнего, обычно слабого по сравнению с течением Атту (Хен, 1988), направленным вдоль северной стороны Алеутских островов на восток, должно иметь важное последствие для экосистемы всего глубоководного бассейна. Во-первых, восточное крыло берингоморской циклонической циркуляции (БЦЦ) над Алеутской котловиной становится слабее из-за меньшего объема транспортируемых вод; во-вторых, уменьшается интенсивность Центрально-Берингоморского течения (ЦБТ) и его продолжения у корякского берега; в-третьих, усиливается западное крыло БЦЦ и циклон над Командорской котловиной; в-четвертых, изменяется продуктивность вод Командорской котловины с повышением притока слабо трансформированных тихоокеанских вод, богатых биогенами; в-пятых, может измениться состав и обилие кормового зоопланктона; в-шестых, могут измениться скорость и направления нагульной миграции nekтона и его пространственное распределение.

Построенные по ежегодным наблюдениям динамические топографии для летнего и осеннего сезонов (рис. 3, 4) отличаются от известных схем детализацией отдельных элементов циркуляции вод, но в целом подтверждают стационарность общей циклонической циркуляции. На летней и осенней топографии 2003 г., охватывающей всю глубоководную котловину, можно выделить все известные элементы БЦЦ от течения Атту на входе через прол. Ближний, ЦБТ и Камчатское течение на выходе из Камчатского пролива, т.е. они повторяют классическую схему течений (Хен, 1988), построенную по многолетним данным.

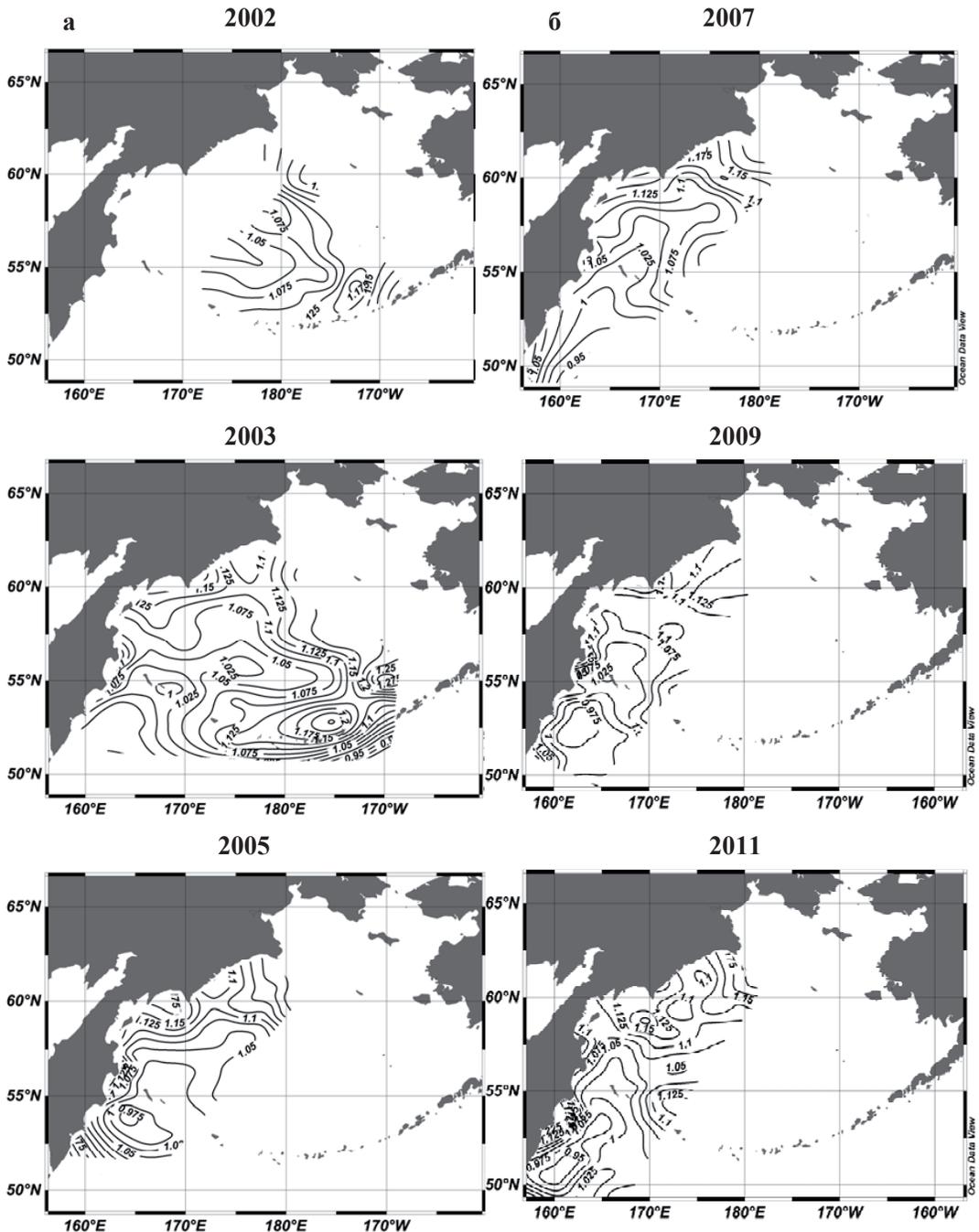
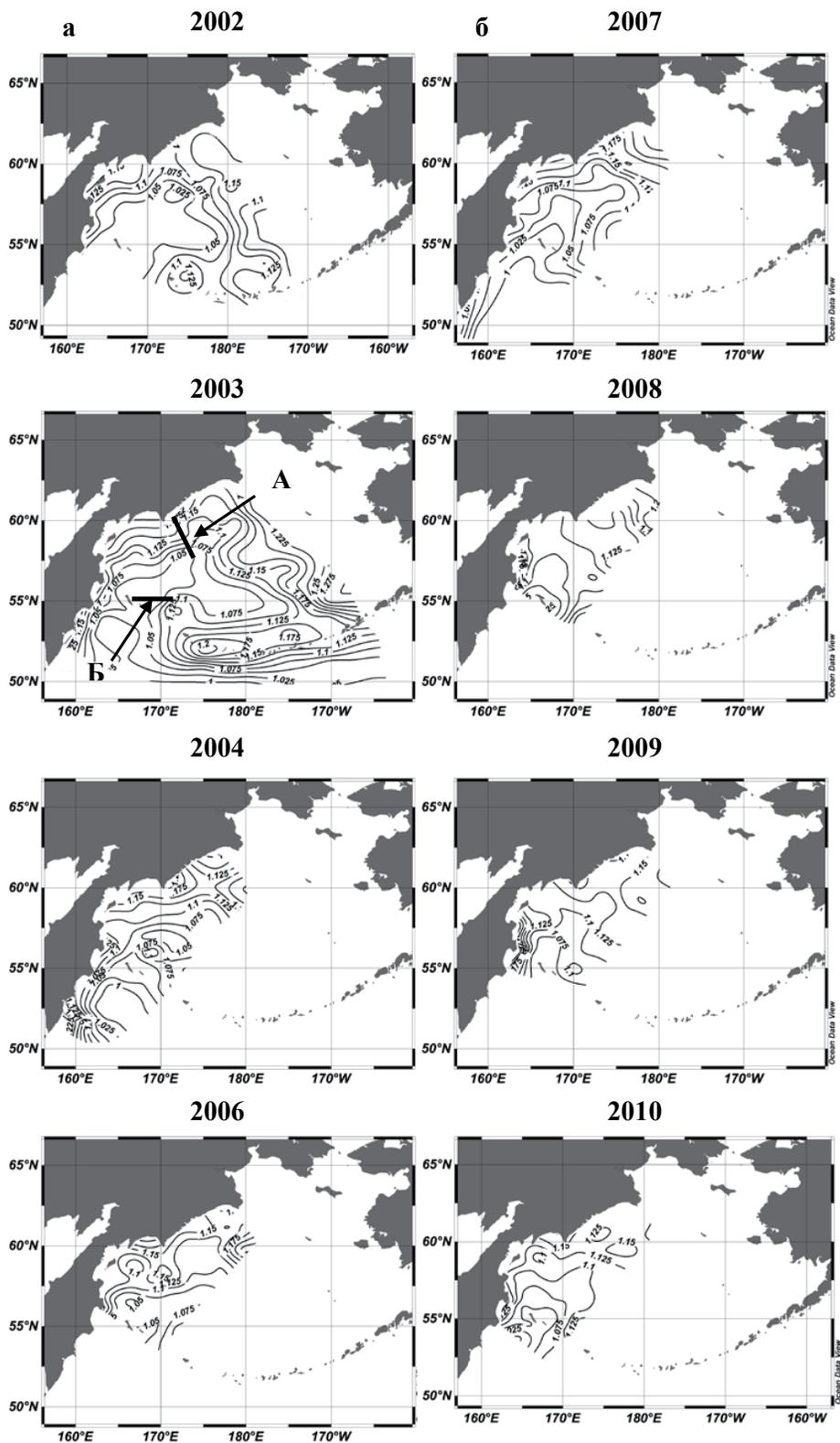


Рис. 3. Динамическая топография поверхности относительно 1000 дб в июне-июле до «перемены» (а) и после «перемены» (б) в циркуляции вод Берингова моря

Fig. 3. Dynamic topography of the sea surface relative to 1000 db depth in June-July: а — before the change of water circulation; б — after the change of the circulation of the Bering Sea



На примере 2003 г. можно отметить, что от лета к осени сильных изменений в схеме течений не происходит. Незначительное различие вокруг Командорских островов — осенью расширяется область внутри изолинии 1,025 дин. м — связано с сезонной перестройкой в западном субарктическом круговороте в Тихом океане. Ярким выражением БЦЦ являются изолинии 1,075 и 1,10 дин. м, окаймляющие весь периметр глубоководного бассейна. По их конфигурациям можно проследить пути движения основной массы тихоокеанской воды.

Не вдаваясь в детали течений, остановимся на одной существенной особенности для первого десятилетия 21-го столетия — «перемене» в циркуляционной схеме после 2006 г., причем как летом, так и осенью. «Перемена» заключается в усилении меридионального потока из прол. Ближнего на север, о чем свидетельствуют конфигурации изолиний 1,075 и 1,10 дин. м. К сожалению, с 2004 г. японская сторона отказалась проводить съемку в центральной части Берингова моря, и на более поздних схемах не показаны течения в восточной части глубоководного бассейна. Тем не менее по указанным изолиниям можно не сомневаться в том, что субарктический циклон Берингова моря уменьшился до размера Командорской котловины. Восточнее Командорской котловины (в Алеутской котловине) находится только периферия БЦЦ с ослабленным во второй половине десятилетия Склоновым течением (Panteleev et al., 2012).

Рассмотрим изменчивость двух потоков (разрезы А и Б на рис. 4): широтного — из Алеутской котловины на запад (терминология по: Stabeno and Reed, 1994) и меридионального — из прол. Ближнего на север (терминология по: Khen, 1989), которые, объединившись на западном склоне моря, формируют Камчатское течение (Stabeno et al., 1999). Широтный перенос в течение рассматриваемых лет (2002–2010 гг.) уменьшился в 1,5–2,0 раза, тогда как меридиональный поток увеличился в несколько раз (табл. 2). Резкие изменения интенсивностей переносов вод произошли после 2006 г., и с 2007 г. разности между широтным и меридиональным потоками уменьшились более чем в два раза.

Таблица 2

Расходы воды из Алеутской котловины на запад (широтный поток) и из прол. Ближнего на север (меридиональный поток) осенью 2002–2010 гг., млн м³/с. Положения разрезов см. на рис. 4
Table 2

Water transport (Sv) of the westward flow from the Aleutian Basin and northward flow from the Near Strait in the fall of 2002–2010 calculated for the transects shown at Fig. 4

Год	Расход из Алеутской котловины на запад	Расход из прол. Ближнего на север	Разность расходов между широтным и меридиональным потоками
2002	5,8	0,4	5,4
2004	4,6	0,8	3,8
2006	3,6	0,1	3,5
2007	3,6	1,8	1,8
2008	3,2	1,6	1,6
2010	2,8	2,0	0,8

Изменение интенсивности течений по времени совпало с началом современного похолодания на востоке (Хен и др., 2009; Coyle et al., 2011; Overland et al., 2012), а также со сменой температурной полярности между востоком и западом Берингова моря — на западе стало теплее, чем на востоке (Басюк и др., 2010). Предполагается влияние смещения алеутского минимума на запад, что могло привести к уменьшению залива тихоокеанских вод через восточные проливы Алеутской гряды и усилению северного переноса из прол. Ближнего (Zhang et al., 2012; Khen et al., 2013).

Метеорологические основы «перемены» в циркуляции вод в Беринговом море и северной части Тихого океана

На рис. 3, 4 видно, что «перемена» в циркуляции вод в Беринговом море достаточно устойчивое событие и не подвержена сезонности. Любые перемены в гидросфере, тем более такие важные, как изменения направлений основных потоков, имеют ключевые причины,

поиск которых зачастую осложняется неясностью основного механизма или физического процесса самой перемены. В нашем случае также не совсем понятен возможный природный алгоритм последовательности событий: или это последствия событий в Тихом океане, или результаты особенностей воздействия атмосферных изменений. Каких-либо заметных событий в северной части Тихого океана в последние годы не отмечалось, по крайней мере в публикациях об этом не упоминается.

Атмосфера и гидросфера представляют собой единый природный комплекс, находящийся в постоянном контакте с общими физическими процессами, и их взаимные воздействия во многом определяют климат Земли. На региональном уровне их взаимодействия определяют локальные термодинамические особенности и их изменчивость в зависимости от пространственно-временных масштабов и движущих мощностей. Наиболее доступным предиктором, определяющим особенности атмосферных процессов, влияющих на гидросферу, является атмосферное давление.

Мы рассмотрим приземное давление в Северном полушарии между 120° в.д. и 120° з.д. в марте-апреле. Было принято во внимание, что от лета к осени изменчивость циркуляции вод в Беринговом море слабая (рис. 3, 4) и ее разновидности (типы) формируются в зимне-весенний период, когда дрейфовый компонент течений (влияние алеутской депрессии) наиболее значим. Как было отмечено выше (см. рис. 2), скорости течений зимой высокие. Летом они уменьшаются, но поле течений сохраняет характерные зимние черты и остается без сильных структурных изменений. Выбор первых весенних месяцев обоснован тем, что в этот период алеутский минимум еще достаточно развит, при этом сильные ветры могут существенно повлиять на поле течений вплоть до его перестройки. Опыты прежних исследований подтверждают значимость синоптики в марте-апреле (Хен, Заочный, 2009).

На рис. 5 показаны состояния поля приземного давления до и после «перемены» течений в Беринговом море. До «перемены» алеутский минимум был вытянут строго в широтном направлении от берегов Азии до берегов Америки. Его западное крыло выходило на акваторию Охотского моря, а в ряде лет над юго-западной частью Берингова моря и Командорскими островами наблюдался второй центр, как в 2003 г., или основной центр, как в 2004 г. Область его влияния охватывала весь Дальний Восток. Сибирский максимум на рассматриваемой территории не виден. Над Беринговым морем при этом преобладали восточные и северо-восточные ветры.

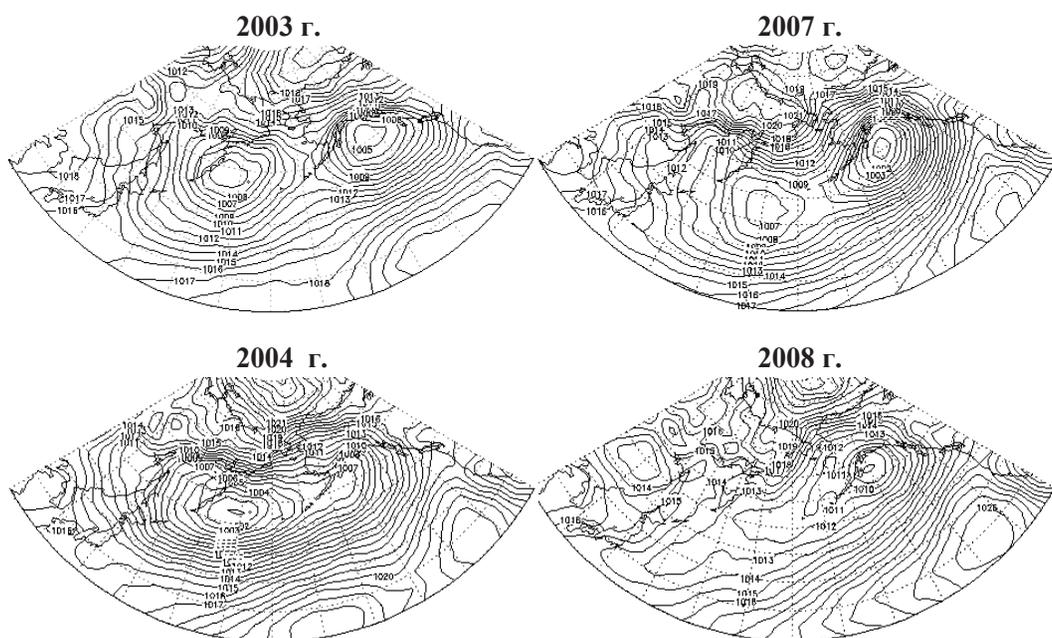


Рис. 5. Поле приземного давления в марте-апреле до «перемены» (2003 и 2004 гг.) и после «перемены» (2007 и 2008 гг.) в циркуляции вод в Беринговом море

Fig. 5. Sea level pressure in March-April of 2003–2004 and 2007–2008

После «перемены» синоптическая ситуация существенно изменилась. Алеутский минимум был вытянут с юго-запада на северо-восток, его западное крыло сильно сместилось на юг и разместилось над северо-западной частью Тихого океана. На Охотское море воздействовал отрог Сибирского антициклона, над Чукоткой установилось поле повышенного давления. Ветры над Беринговым морем при таком барическом поле северо-восточные и северные. На севере Тихого океана усилилось влияние южных ветров, тогда как до «перемены» ветры были преимущественно западными и юго-западными.

Далее рассмотрим меридиональную составляющую ветра (рис. 6), важную для регулирования течений не только Берингова моря, но и умеренной зоны северной части Тихого океана. На картах видно, что во все годы в марте-апреле над Беринговым и Охотским морями преобладали северные ветры, над Тихим океаном — южные ветры. Однако сравнения карт показывают различие в положении границы областей воздействия северного и южного компонентов меридиональных ветров. До «перемены» пограничная зона была близка к субарктическим морям, частично выходя в пределы Берингова моря, в южной части которого преобладали южные составляющие ветров. Данная ситуация соответствует широтному положению алеутского минимума. После «перемены», когда западное крыло алеутского минимума располагалось над океаном, область северного ветра расширилась и выходила за пределы Берингова моря.

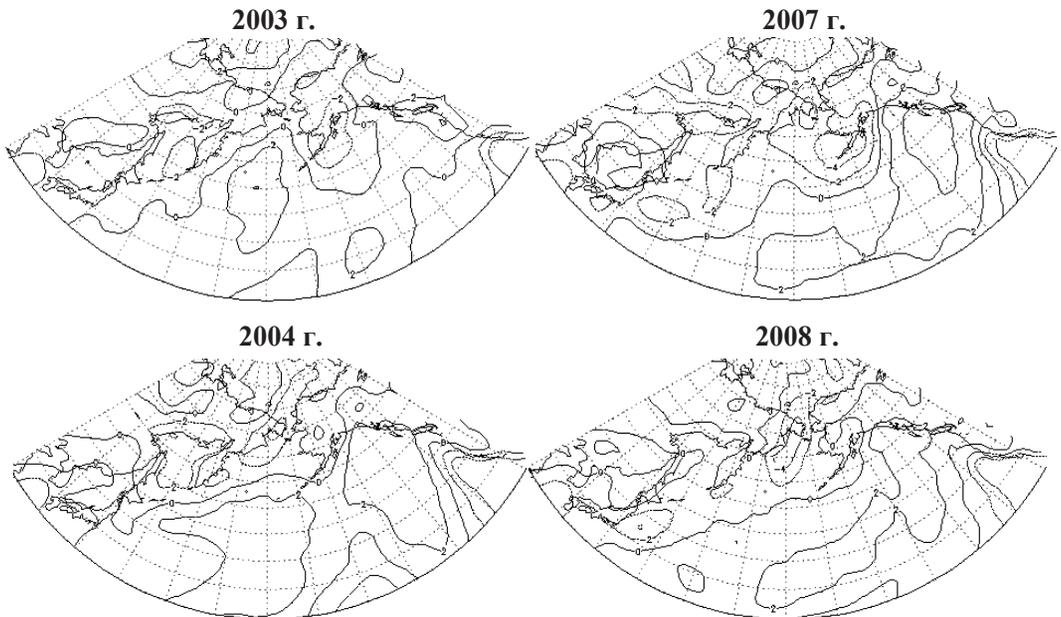


Рис. 6. Меридиональный компонент ветра в марте-апреле. Слева (2003 и 2004 гг.) — до «перемены», справа (2007 и 2008 гг.) — после «перемены» в циркуляции вод. Положительный знак — ветер с юга на север

Fig. 6. Longitudinal wind component (V) in March-April of 2003–2004 (left) and 2007–2008 (right). Positive sign is the wind from south to north

Механизм «перемены» в циркуляции, по всей видимости, заключается в следующем. При различных атмосферных ситуациях в Беринговом море меняется бароклинность морских течений (Stabeno et al., 2012). При широтном алеутском минимуме компоненты южного ветра усиливают бароклинную неустойчивость тихоокеанских вод, поступающих через прол. Ближний, и в Беринговом море они отклоняются на восток, формируя течение Атту. При южном положении западного крыла алеутского минимума сильное воздействие на входящий в Берингово море поток оказывают северные ветры, бароклинная неустойчивость становится слабой, разворот потока тихоокеанских вод на восток уменьшается, их основная масса, не отклоняясь, движется на север.

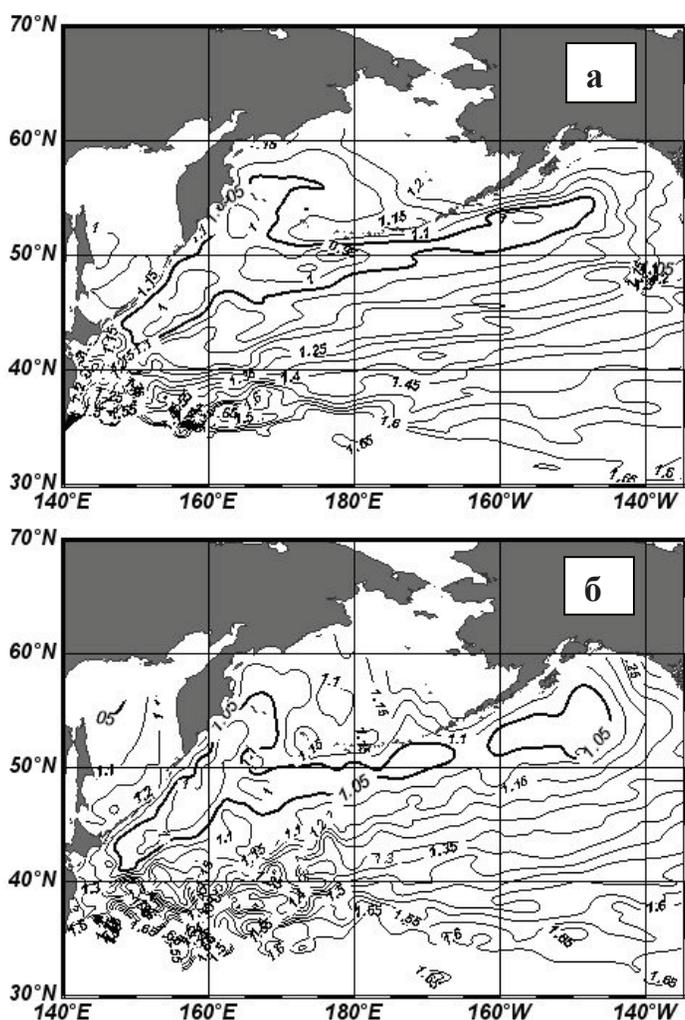
Изменение барического поля и меридионального ветра над обширным районом, охватывающим четверть земного шара, должно повлиять на водную поверхность

северной части Тихого океана. Субарктический круговорот (САК), как продолжение западного пограничного течения (Курисио), в первую очередь связан с постоянными зональными ветрами (пассатами), силой Кориолиса и конфигурацией Азии и Америки. Не изменяя своей основной черты (циклональности), под воздействием атмосферных процессов он может деформироваться, менять размер, мощность и т.д.

Карты осредненной динамической топографии поверхности северной части Тихого океана относительно 1000 дб за 2002–2006 и 2007–2009 гг. (рис. 7) демонстрируют стационарность основных направлений течений субарктического циклонического круговорота. Различия обнаруживаются в некоторых деталях. Так, в 2002–2006 гг. внутренняя область САК по контуру изолинии 1,05 дин. м, была большего размера, чем в последующие годы. В 2007–2009 гг. ее северная граница сместилась на 40–50 миль к югу, тогда как на южной периферии круговорота ее положение не изменилось. Произошло «сжатие» САК на севере и расширение его окраин на юго-западе (течение Ойясио) вдоль о. Хоккайдо и на востоке (в зал. Аляска) соответственно на 60 и 70 миль. Таким образом, перемены в Беринговом море, связанные с изменением в приземной атмосфере, произошли одновременно с таковыми в северной части Тихого океана, что объяснимо, учитывая масштабы атмосферных процессов.

Рис. 7. Динамическая топография поверхности относительно 1000 дб в северной части Тихого океана в июне-октябре по осредненным данным за 2002–2006 гг. (а) и 2007–2009 гг. (б). Внутренняя область субарктического круговорота выделена изолинией 1,05 дин. м

Fig. 7. Dynamic topography of the sea surface relative to 1000 db depth in the North Pacific in June-October averaged for 2002–2006 (а) and 2007–2009 (б). The core of Subarctic Gyre (dynamic height < 1.05 dyn. m) is shown by line



Сжатие северной периферии САК привело к обострению субарктического фронта (южной окраины САК) и его продолжению на восток (табл. 3). Наиболее сильным обострение фронта было на западе (0,5 против 0,3 дин. м на 5° широты), в районе влияния течения Ойясио. В центре и на востоке океана обострение незначительное, в пределах 1,2–1,3 раза.

Средние градиенты изобар на различных участках в субарктическом фронте (по максимальному сгущению вокруг 40° с.ш.) в 2002–2006 и 2007–2009 гг., дин. м/5° широты
Table 3

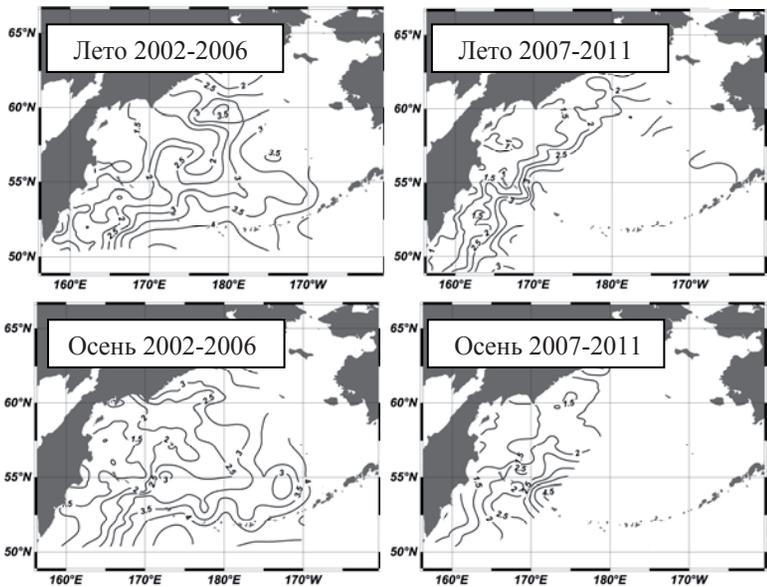
Mean gradients of dynamic height across certain parts of the Subarctic Front in 2002–2006 and 2007–2009, dyn. m per 5° of latitude

Годы	Долгота 160° в.д.	Долгота 180°	Долгота 160° з.д.
2002–2006	0,3	0,25	0,15
2007–2009	0,5	0,30	0,20

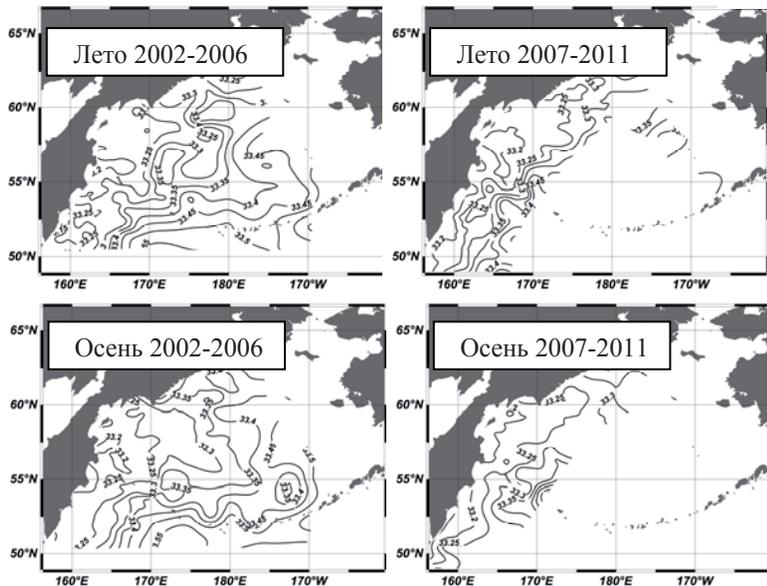
Температура и соленость до и после «перемены» в циркуляции вод в Беринговом море

«Перемена» в циркуляции вод в Беринговом море отразилась на распределении температуры и солености в западной части глубоководного бассейна. До «перемены» промежуточные воды зимнего охлаждения с низкой температурой и соленостью растекались по всей акватории глубоководного бассейна (рис. 8). После «перемены» вдоль

а



б



границы ИЭЗ России изотермы и изогалины образовали плотные пучки, указывающие на то, что меридиональный поток из прол. Ближнего сформировал барьер, препятствующий продвижению холодных промежуточных вод из Командорской котловины на восток.

Рис. 8. Распределение температуры (а) и солености (б) на изопикнической поверхности 26,6 ед. (ядро холодного промежуточного слоя) летом и осенью 2002–2006 и 2007–2011 гг.

Fig. 8. Water temperature (а) and salinity (б) on the isopycnic surface 26.6 (core of the cold subsurface layer) in the summer and autumn of 2002–2006 and 2007–2009

Можно предположить, что восточная часть глубоководного бассейна, где после «перемены» наблюдения не проводились, с 2007 г. была заполнена относительно теплыми водами местного или тихоокеанского происхождения, и аномалии температуры в холодном промежуточном слое здесь, скорее всего, были положительными. На западе же глубоководного бассейна произошло похолодание, аномалии температуры в слое 50–200 м во всей ИЭЗ России стали отрицательными.

Влияние меридионального потока распространяется до больших глубин. Рисунки здесь не приводятся, но анализ данных глубоководных наблюдений показал, что в пределах теплых промежуточных водных масс (200–800 м) пространственные картины температуры и солености после 2006 г. также заметно изменились.

Динамика обилия и распределения молоди лососей до и после «перемены» в циркулирующей вод в Беринговом море

Наблюдаемая «перемена» в циркуляции вод сопровождалась выраженным изменением обилия неполовозрелых лососей, нагуливающих в Беринговом море летом и осенью. После 2006 г. численность нагульной кеты, нерки и чавычи в российских водах моря резко сократилась (рис. 9). В наибольшей степени это было выражено в летний период. После 2005 г. численность кеты в глубоководных районах, являющихся основными местами нагула лососей, уменьшилась почти в 2 раза, нерки — более чем в 5 раз и чавычи — почти в 9 раз.

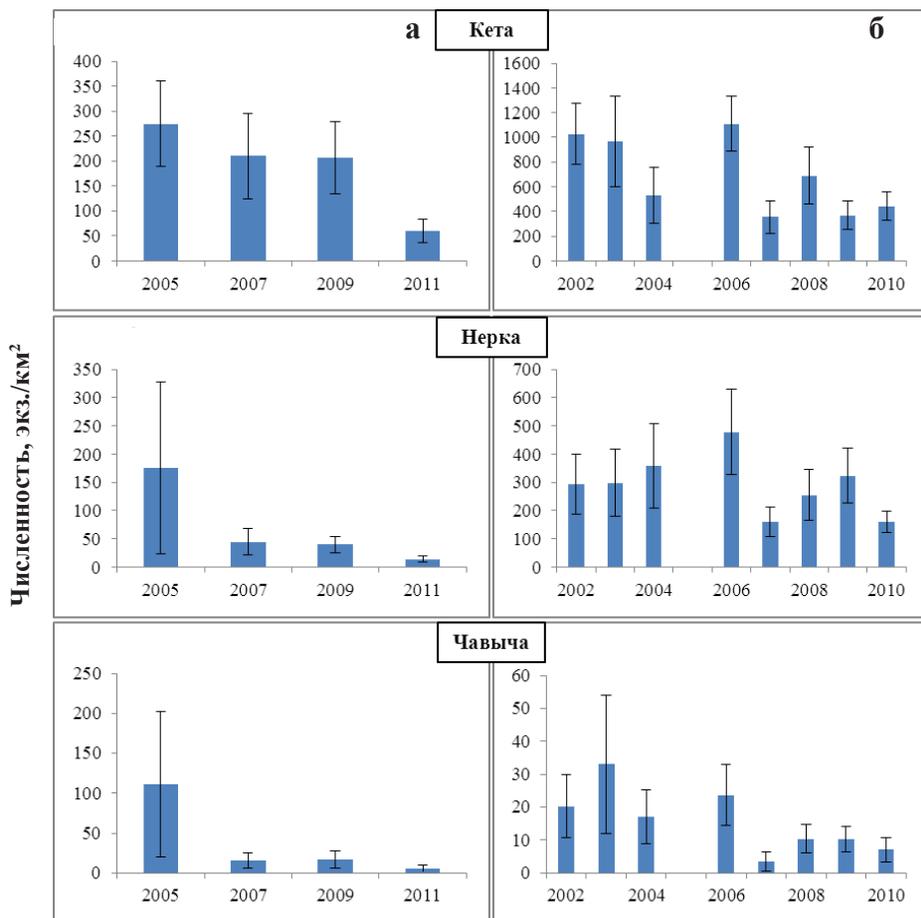


Рис. 9. Численность неполовозрелых лососей в глубоководных районах западной части Берингова моря: а — летом; б — осенью. Столбики и линии с ограничениями показывают соответственно средние величины и их стандартные ошибки

Fig. 9. Abundance (ind./km²) of immature salmon in the deep-water areas of the western Bering Sea in summer (a) and fall (b). Bars and lines indicate average and standard errors respectively

Осенью тенденция к снижению обилия была менее отчетливой, особенно у нерки. Тем не менее в среднем численность лососей в первой половине 2000-х гг. была значительно меньше по сравнению с последующими годами (рис. 9). Оценки численности кеты до и после 2006 г. составили соответственно 909 ± 265 и 463 ± 149 экз./км², нерки — 357 ± 132 и 225 ± 70 , чавычи — 24 ± 12 и 8 ± 4 экз./км².

Наряду со снижением численности произошли изменения в распространении лососей. На рис. 10 представлены примеры распределения неполовозрелой кеты до и после «перемени» в циркуляции вод. Концентрации кеты в Алеутской котловине, в которую направлен ее главный миграционный поток в период нагульных миграций, заметно сократились. Если в 2002–2006 гг. в этом районе было сосредоточено около 70 % общей численности кеты в глубоководных районах, то в 2007–2010 гг. здесь нагуливалось только около половины всех рыб. Плотность скоплений кеты в Алеутской котловине снизилась в два-три раза, в то время как в Командорской котловине она осталась на прежнем уровне. Следовательно, снижение численности нагульной кеты в западной части Берингова моря связано прежде всего с уменьшением количества рыб в Алеутской котловине. Это свидетельствует об ослаблении главного миграционного потока кеты из центральной в северо-западную часть Берингова моря с Центрально-Берингоморским течением.

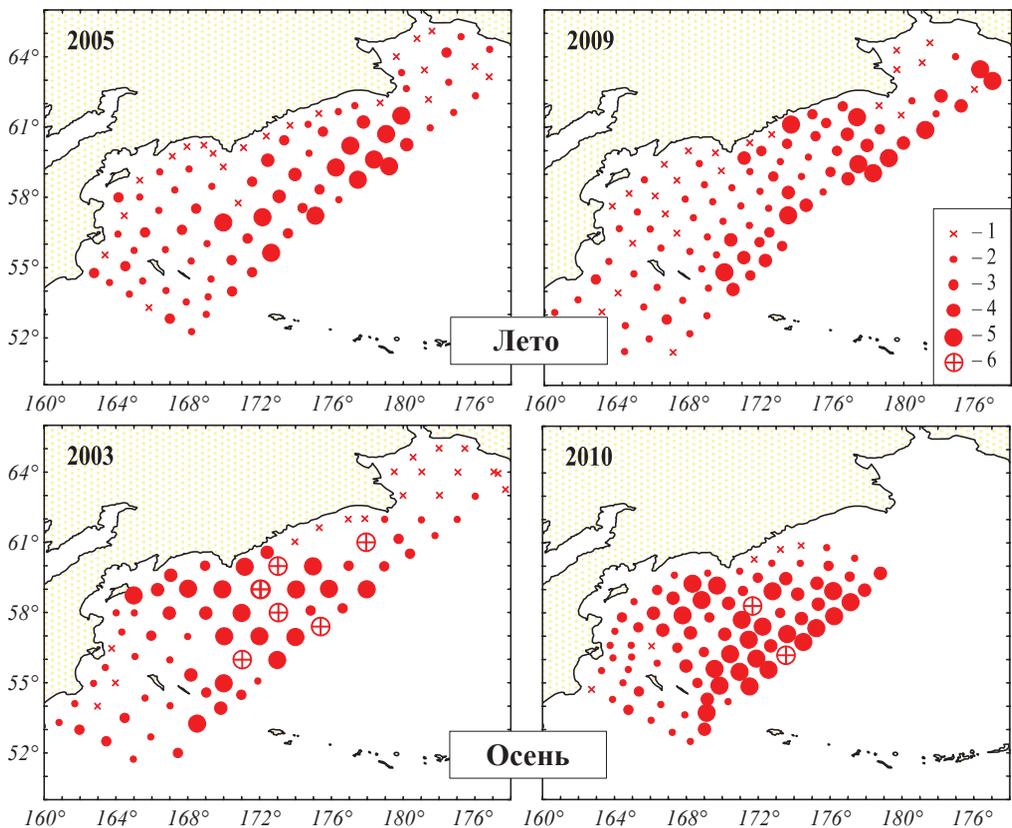


Рис. 10. Распределение численности неполовозрелой кеты в западной части Берингова моря летом и осенью: 1 — нет улова; 2 — < 100; 3 — 100–250; 4 — 250–500; 5 — 500–2000; 6 — > 2000 экз./км²

Fig. 10. Abundance of immature chum salmon in the western Bering Sea in summer and fall: 1 — no catch; 2 — < 100; 3 — 100–250; 4 — 250–500; 5 — 500–2000; 6 — > 2000 ind./km²

Еще более выраженными были изменения в интенсивности миграций чавычи (рис. 11). После 2006 г. ее плотность в Алеутской котловине в летний период сократилась более чем в 20 раз. Осенью наблюдались сходные тенденции. Численность нагульной чавычи в западной части Берингова моря значительно снизилась от 2002 к 2010 г., что было связано исключительно с уменьшением количества рыб в Алеутской котловине за счет ослабления их миграционного потока.

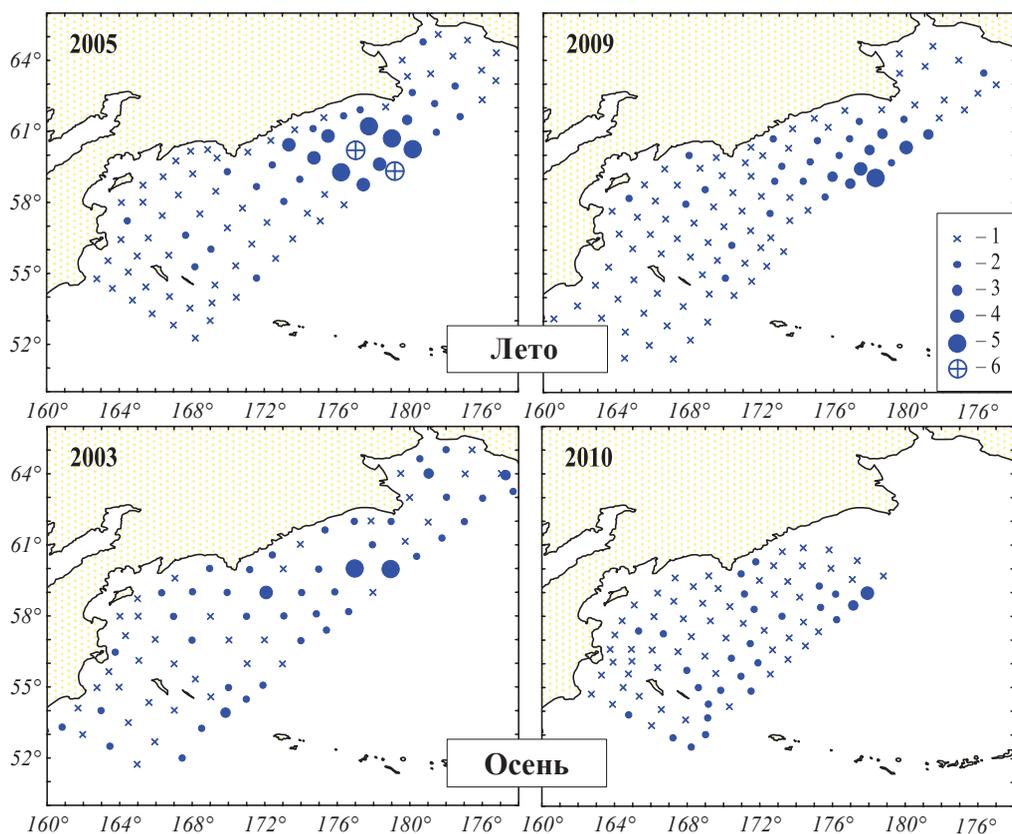


Рис. 11. Распределение численности неполовозрелой чавычи в западной части Берингова моря летом и осенью: 1 — нет улова; 2 — < 50; 3 — 50–100; 4 — 100–200; 5 — 200–1000; 6 — > 1000 экз./км²

Fig. 11. Abundance of immature chinook salmon in the western Bering Sea in summer and fall: 1 — no catch; 2 — < 50; 3 — 50–100; 4 — 100–200; 5 — 200–1000; 6 — > 1000 ind./km²

По сравнению с кетой и чавычей у нерки столь явных различий в распределении до и после 2006 г. не наблюдалось (рис. 12). Причина этого — меньшая роль «северного» маршрута ее миграций в российские воды Берингова моря (с водами ЦБТ) и более высокое значение «южного маршрута», направленного в Командорскую котловину (Глебов, 2007; Шунтов, Темных, 2011). В результате как до, так и после «перемены» в циркуляции вод основная часть нагульной нерки была сосредоточена в юго-западной части Берингова моря. Только осенью можно заметить смещение более плотных скоплений из Командорской котловины на север Алеутской котловины. Об этом было сказано и в недавней публикации Г.В. Хена с соавторами (Khen et al., 2013).

Таким образом, в 2007–2011 гг. наблюдаемое снижение численности нагульных стад лососей в российских водах Берингова моря было вызвано изменением интенсивности летних миграций рыб. В наибольшей степени это было характерно для кеты и чавычи, основной миграционный поток которых проходит с Центрально-Берингово-морским течением из центральной части моря в северо-западную часть Алеутской котловины. Снижение численности нерки, у которой преобладает южный поток миграций, от начала к концу 2000-х гг. было слабо выражено и явно проявлялось только летом.

Динамика учтенной численности молоди лососей в Беринговом море и их вылова северотихоокеанскими странами в 21-м веке

Очевидно, что общий уровень численности лососей в Северной Пацифике не может не оказывать влияния на количество мигрирующих на летне-осенний нагул рыб. Это подтверждается сопряженностью в динамике обилия нагульной молоди лососей с их последующим выловом. Так, отмечена значимая положительная корреляция числен-

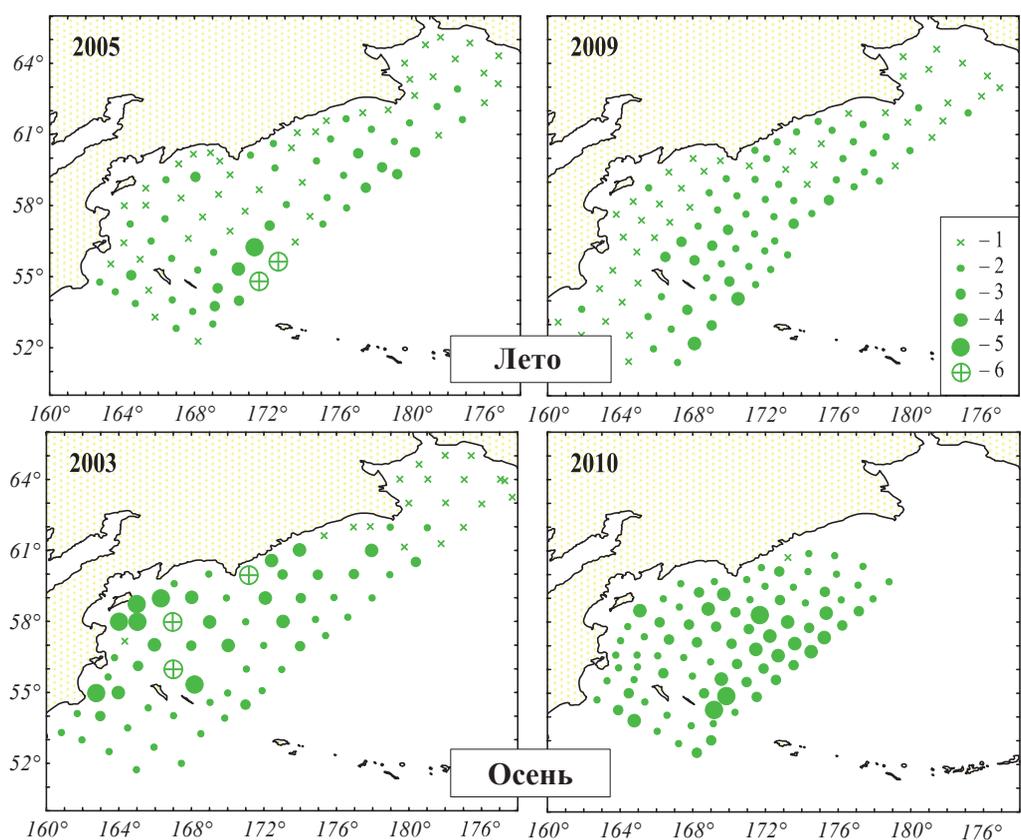


Рис. 12. Распределение численности неполовозрелой нерки в западной части Берингова моря летом и осенью: 1 — нет улова; 2 — < 100; 3 — 100–250; 4 — 250–500; 5 — 500–1000; 6 — > 1000 экз./км²

Fig. 12. Abundance of immature sockeye salmon in the western Bering Sea in summer and fall: 1 — no catch; 2 — < 100; 3 — 100–250; 4 — 250–500; 5 — 500–1000; 6 — > 1000 ind./km²

ности старшевозрастной (более одного морского года жизни) молоди кеты и чавычи в российских водах Берингова моря с их выловом на следующий год соответственно в Азии и в США, т.е. в тех регионах, рыбы из которых доминируют в Беринговом море (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции Пирсона между численностью неполовозрелой молоди кеты, нерки и чавычи (возраст > 1) в западной части Берингова моря и их выловом на следующий год в России, США и Японии в 2003–2011 гг.

Table 4

Pearson correlation coefficients between abundance of immature chum, sockeye and chinook (age > 1 marine year) in the western Bering Sea and their total catch by Russia, USA and Japan in the following year for the 2003–2011

Регион	Кета	Нерка	Чавыча
Россия	0,06	-0,32	-0,59
Япония	0,44	—	—
США	—	-0,27	0,75*
Азия	0,76*	—	—
Россия + США	—	-0,36	0,75*

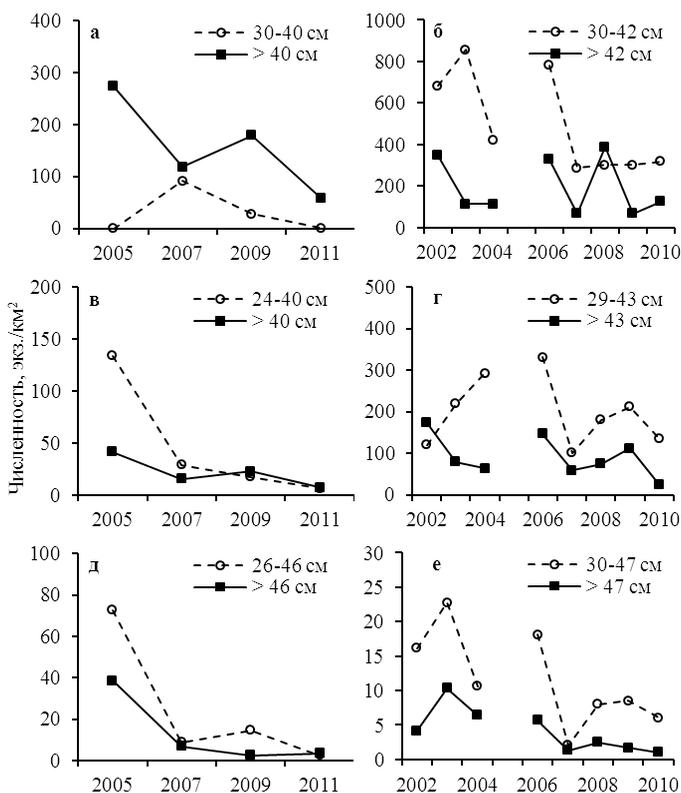
* Значимые коэффициенты корреляции при $p = 0,05$.

Вместе с тем анализ размерного состава лососей показывает, что изменения численности младше- и старшевозрастных групп нерки и чавычи были очень сходными (рис. 13). Если бы численность нагуливающих лососей в западной части Берингова моря зависела преимущественно от урожайности отдельных поколений, то такой

синхронности в колебаниях численности рыб разных возрастных групп, родившихся в разные годы, не могло бы наблюдаться. Это свидетельствует о том, что колебания обилия этих рыб, вероятно, больше связаны со складывающимися условиями нагула, определяющими интенсивность миграций лососей и продолжительность их пребывания в российских водах, чем с урожайностью их стад.

Рис. 13. Динамика численности неполовозрелой молоди лососей в возрасте одного морского года (кружки) и более (квадраты) в западной части Берингова моря летом (а, в, д) и осенью (б, г, е): а, б — кета; в, г — нерка; д, е — чавыча

Fig. 13. Dynamics of immature salmon abundance in the western Bering Sea in summer (а, в, д) and fall (б, г, е) for the age of 1 marine year (circles) and > 1 marine year (squares): а, б — chum; в, г — sockeye; д, е — chinook



Обратная «перемена» в 2012 г.

Гидродинамические условия 2007–2011 гг. с развитой меридиональной составляющей циркуляции вод в глубоководном бассейне ранее не наблюдались. Так, на осредненных по десятилетиям схемах циркуляции вод (рис. 14) циклонический круговорот (по контуру изобары 1,1 дин. м), как и на всех ранее опубликованных схемах (см. рис. 2), охватывал весь глубоководный бассейн моря. Заметны только некоторые различия в конфигурации изобар, связанные не столько с физическими причинами, сколько с неоднородностью данных. Даже в отдельные годы прошлого столетия (карты здесь не приводятся), когда было достаточно данных для построения общей схемы течений, размер циклона в Беринговом море был традиционно обширным.

Таким образом, динамические условия 2007–2011 гг. необычны для Берингова моря. Такие отклонения обычно сохраняются недолго, и со временем динамическая система приходит в свое прежнее состояние. Продолжительные аномалии с нарушением равновесного состояния условий среды могут решительным образом повлиять на экосистему, привести к непредсказуемым последствиям, и скорее всего в отрицательную сторону. Однако аномальная циркуляция вод в Беринговом море в течение 5 лет, видимо, слабо повлияла на его экосистему — каких-либо заметных изменений в составе планктонных и нектонных сообществ не обнаружено. Возможно, более детальные исследования в дальнейшем покажут такие перемены. Пока же отмеченные выше различия в распределении и обилии молоди лососей до и после «перемены» в циркуляции вод Берингова моря, скорее всего, не выходят за рамки обычных межгодовых вариаций. Тем не менее вполне допустимо, что продолжение аномальной циркуляции в дальнейшем (например, 10–20 лет) может повлиять на состояние всего рыбного со-

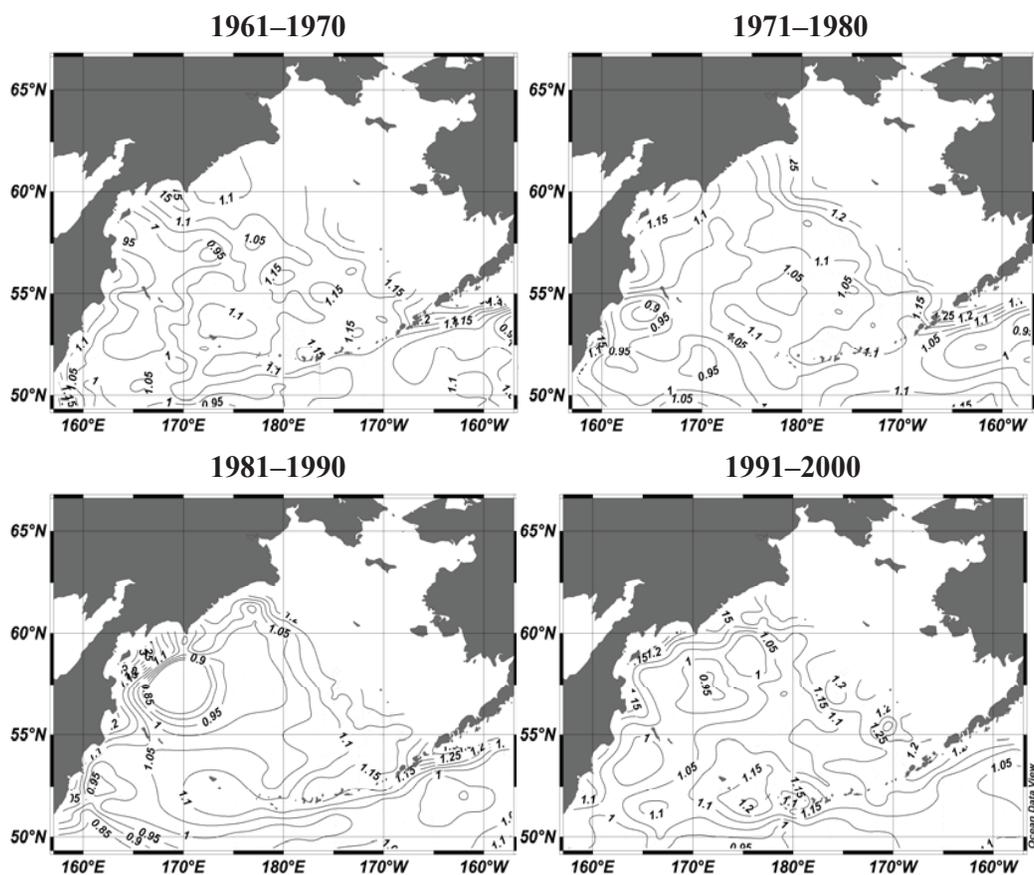


Рис. 14. Схемы геострофических течений по десятилетиям, построенные по объединенным базам океанологических данных С. Левитуса (http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD09/pr_wod09.html) и ТИНРО-центра

Fig. 14. Schemes of geostrophic currents calculated on the united data base of Levitus (http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD09/pr_wod09.html) and TINRO-Center, by decades

общества глубоководного бассейна моря, так как оно будет вынуждено приспособиться к сложившимся гидрологическим условиям.

Съемка, проведенная на НИС «Профессор Кагановский» осенью 2012 г., показала возврат обычной доперестроечной динамики вод, в соответствии с широтным положением алеутского минимума (рис. 15). Поля температуры также вернулись в прежнее состояние с вытянутым языком холодных вод зимнего охлаждения далеко на восток, до Алеутской котловины. Широтный поток увеличился до 3,0 млн м³/с, а меридиональный поток уменьшился до уровня 2002–2006 гг. — 0,3 млн м³/с.

Лососи, приходящие на нагул в Берингово море, отреагировали на обратное изменение в циркуляции вод. Численность неполовозрелой кеты и нерки в водах России выросла и достигла уровня 2002–2006 гг. (рис. 16). Обилие же неполовозрелой чавычи осталось низким, что на первый взгляд не согласуется с предполагаемым влиянием динамики водных масс на распределение нагульных стад лососей. Однако здесь нужно учесть, что численность американских стад чавычи, активно нагуливающих в Беринговом море, в последнее десятилетие имеет тенденцию к снижению (Irvine, Fukuwaka, 2011). Принимая во внимание тесную связь между ее учтенной численностью здесь и американским выловом (табл. 4), низкие оценки ее обилия в 2012 г. становятся понятными. Кроме того, представленные на рис. 16 карты касаются глубоководных котловин, которые являются основными районами нагула лососей. В 2012 г., в отличие от других лет, значительное количество чавычи было перераспределено в прикомандорские тихоокеанские воды (рис. 17), поэтому ее общая численность в этот год в российских водах несколько выше.

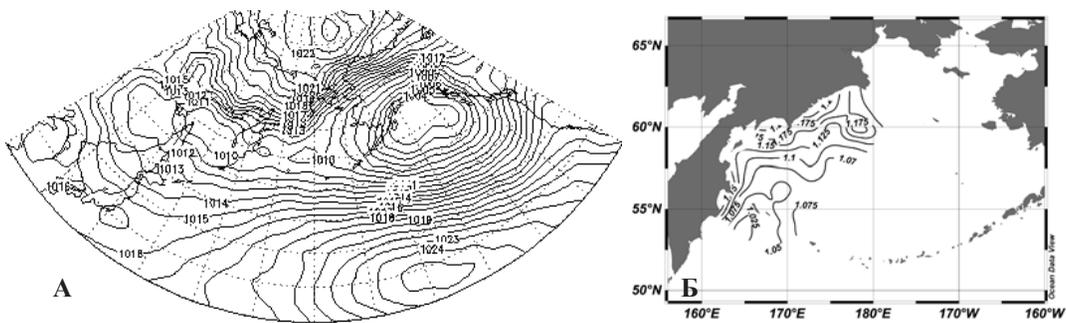


Рис. 15. Приземное атмосферное давление в марте-апреле 2012 г. (А), динамическая топография поверхности относительно 1000 дб (Б) и температура воды на изобарической поверхности 26,6 ед. (В) осенью 2012 г.

Fig. 15. Sea level pressure in March-April of 2012 (А), dynamic topography of the sea surface relative to 1000 db (Б), and water temperature at the isopycnic surface 26.6 (В) in Autumn 2012

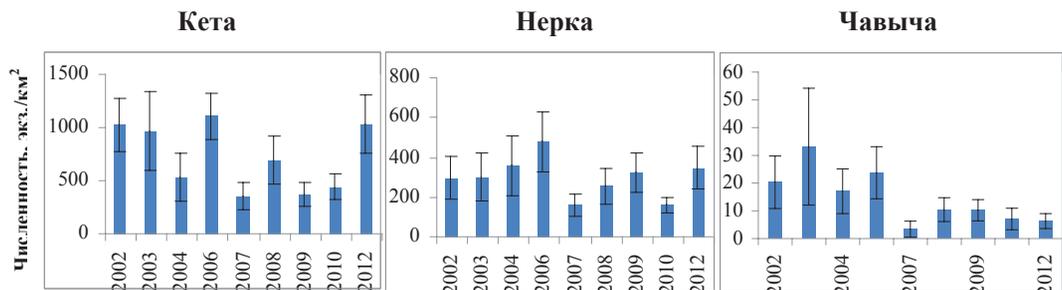
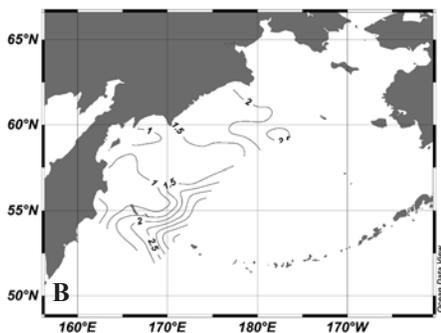


Рис. 16. Численность неполовозрелых лососей в глубоководных районах западной части Берингова моря осенью. Столбики и линии с ограничениями показывают соответственно средние величины и их стандартные ошибки

Fig. 16. Abundance (ind./km²) of immature salmon in the deep-water areas of the western Bering Sea in the fall. Bars and lines indicate average and standard errors respectively

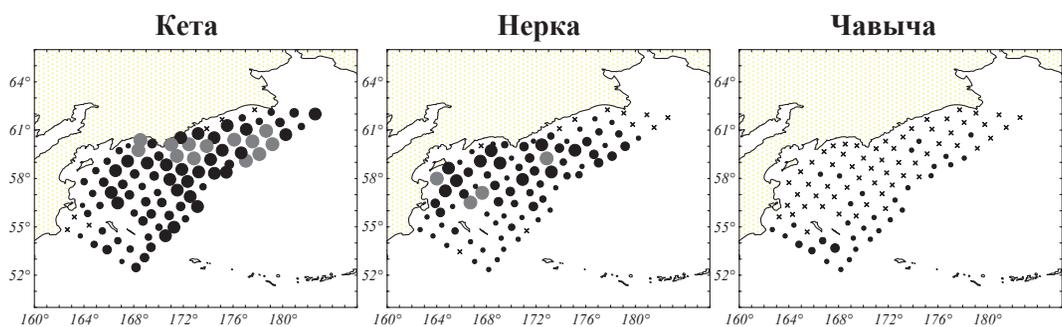


Рис. 17. Распределение неполовозрелых лососей в глубоководных районах западной части Берингова моря и прилегающих водах Тихого океана осенью 2012 г., экз./км². Обозначения как на рис. 4

Fig. 17. Abundance (ind./km²) of immature salmon in the western Bering Sea in the fall of 2012. Legend as for Fig. 4

Картина распределения лососей также резко изменилась. Как и в 2002–2006 гг., кета в основном концентрировалась в Алеутской котловине, где было сосредоточено около 75 % ее общей численности, а основная часть нерки нагуливалась в Командорской

котловине, тяготея к ее северной и западной частям (рис. 17). Как уже было отмечено выше, распределение чавычи в 2012 г. было нехарактерным по сравнению со всеми предыдущими годами, ее высокие концентрации наблюдались в прикомандорских тихоокеанских водах и в южной части Командорской котловины.

Пока невозможно точно предвидеть продолжительность гидродинамических условий 2012 г. Но вероятность длительного сохранения нынешней среднеклиматической циркуляции вод велика. Это может быть одним из необходимых условий стабильности экосистемы открытых вод Берингова моря.

Заключение

Во второй половине 2000-х гг. западное крыло Алеутского минимума сместилось на юг в открытые воды Тихого океана, соответственно область преобладания северной составляющей меридионального ветра расширилась до южной границы субарктического круговорота. Размер субарктического круговорота уменьшился, его западное крыло (течение Ойясио) сместилось на юг вдоль о. Хоккайдо, а восточное — на восток в сторону американского континента. В Беринговом море циклонический круговорот уменьшился до размера Командорской котловины, усилился меридиональный поток из прол. Ближнего на север, а широтный поток из Алеутской котловины (продолжение ЦБТ) стал заметно слабее. Меридиональный поток ограничил продвижение промежуточных вод зимнего охлаждения на восток (в Алеутскую котловину), на границе ИЭЗ России установился гидродинамический фронт. «Перемена» в циркуляции вод произошла в 2007 г. и продолжалась в течение 5 лет. В 2012 г. произошла обратная смена циркуляции вод.

Изменения в циркуляции вод в Беринговом море в 2007–2011 гг. отразились на интенсивности нагульных миграций неполовозрелых лососей в российские воды. Уменьшение области распространения океанических ландшафтов, водные массы которых являются биотопом нагульных стад лососей в период от их откочевки в открытые воды и до начала нерестовых миграций, привело к снижению численности неполовозрелой кеты, нерки и чавычи в северо-западной части моря. В 2012 г. после обратной смены циркуляции вод обилие лососей вернулось к прежнему уровню.

Представленная работа является первым шагом в анализе влияния «перемены» в циркуляции вод в Беринговом море на водных обитателей. Помимо тихоокеанских лососей, отмеченные изменения могли сказаться на составе зоопланктона, мелкоразмерного нектона и других гидробионтов, тесно связанных с динамикой водных масс. Для прояснения этого вопроса необходимы дальнейшие, более детальные исследования.

Мы благодарим всех участников берингоморских рейсов 2002–2012 гг., осуществивших сбор и первичную обработку материалов, положенных в основу настоящей статьи.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ (№ МК-3361.2013.4).

Список литературы

- Арсеньев В.С.** Течения и водные массы Берингова моря : моногр. — М. : Наука, 1967. — 135 с.
- Басюк Е.О., Матвеев В.И., Дудков С.П.** Гидрологические условия Берингова моря в 2010 г. // *Вопр. промысл. океанографии.* — 2010. — Вып. 7, № 2. — С. 16–27.
- Басюк Е.О., Хен Г.В., Ванин Н.С.** Изменчивость океанологических условий Берингова моря в 2002–2006 гг. // *Изв. ТИНРО.* — 2007. — Т. 151. — С. 290–311.
- Волвенко И.В.** Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // *Изв. ТИНРО.* — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.
- Глебов И.И.** Распределение и миграции нерки (*Oncorhynchus nerka*) в летне-осенний период 2002–2006 гг. в западной части Берингова моря // *Изв. ТИНРО.* — 2007. — Т. 151. — С. 61–74.
- Заволокина Е.А., Заволокин А.В.** Распределение, динамика обилия, возрастной и размерный состав кеты в западной части Берингова моря и сопредельных тихоокеанских водах в 2002–2006 гг. // *Изв. ТИНРО.* — 2007. — Т. 151. — С. 35–60.

Нектон Охотского моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2003. — 643 с.

Радченко В.И. Состав, структура и динамика нектонных сообществ эпипелагиали Берингова моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1994. — 24 с.

Старовойтов А.Н. Биология азиатской кеты в морской период жизни : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 24 с.

Старовойтов А.Н. Кета (*Oncorhynchus keta* (Walbaum)) в дальневосточных морях — биологическая характеристика вида. 1. Сезонное распределение и миграции кеты в дальневосточных морях и открытых водах северо-западной Пацифики // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 132. — С. 43–81.

Хен Г.В. Сезонная и межгодовая изменчивость вод Берингова моря и ее влияние на распределение и численность гидробионтов : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М., 1988. — 24 с.

Хен Г.В., Басюк Е.О., Зуенко Ю.И. и др. Особенности гидрологических условий в дальневосточных морях в 2008–2009 гг. // Вопр. промысл. океанологии. — 2009. — Вып. 6, № 2. — С. 22–47.

Хен Г.В., Заочный А.Н. Изменчивость расхода Камчатского течения и океанологических параметров в Камчатском проливе // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 158. — С. 247–260.

Шунтов В.П., Лапко В.В., Баланов А.А., Старцев А.В. Межгодовые изменения в анадромных миграциях лососей западной части Берингова моря и сопредельных вод Тихого океана // Биол. моря. — 1995. — Т. 21, № 1. — С. 37–44.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — Т. 2. — 472 с.

Cooper D.W., Duffy-Anderson J.T., Stockhausen W.T., Cheng W. Modeled connectivity between northern rock sole (*Lepidopsetta polyxystra*) spawning and nursery areas in the eastern Bering Sea // J. Sea Research. — 2013. — Vol. 84. — P. 2–12.

Coyle K.O., Eisner L.B., Mueter F.J. et al. Climate change in the southeastern Bering Sea: impact on Pollock stocks and implications for the oscillating control hypothesis // Fish. Oceanogr. — 2011. — Vol. 20, № 2. — P. 139–156.

Incze L.S., Kendall A.W., Schumacher J.D., Reed R.K. Interactions of a mesoscale patch of larval fish (*Theragra chalcogramma*) with the Alaska Coastal Current // Cont. Shelf Res. — 1989. — Vol. 9. — P. 269–284.

Irvine J.R., Fukuwaka M. Pacific salmon abundance trends and climate change // ICES Journal of Marine Science. — 2011. — Vol. 68(6). — P. 1122–1130.

Khen G.V. Oceanographic conditions and Bering Sea biological productivity // Proc. of the Intern. Symp. on the Biology and Management of Walleye Pollock. — Fairbanks : Univ. of Alaska Sea Grant, AK-SG-89-01, 1989. — P. 31–52.

Khen G.V. and Basyuk E.O. Oceanographic Conditions of the Bering Sea in BASIS // NPAFC Techn. Rep. — 2005. — № 6. — P. 21–23.

Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // Deep-Sea Res. II. — 2013. — Vol. 94. — P. 106–120.

Overland J.E., Wang M., Wood K.R. et al. Recent Bering Sea warm and cold events in a 95-year context // Deep-Sea Res. II. — 2012. — Vol. 65–70. — P. 6–13.

Pantelev G., Jaremchuk M., Luchin V. et al. Variability of the Bering Sea circulation in the period 1992–2010 // J. Oceanogr. — 2012. — Vol. 68. — P. 485–496. Doi 10.1007/s10872-012-0113-0.

Stabeno P.J. and Reed R.K. Circulation in the Bering Sea basin by satellite tracked drifters // J. Phys. Oceanogr. — 1994. — Vol. 24. — P. 848–854.

Stabeno P.J., Kachel N.B., Moore S.E. et al. Comparison of warm and cold years on the southeastern Bering Sea shelf and some implications for the ecosystem // Deep-Sea Res. II. — 2012. — Vol. 65–70. — P. 31–45.

Stabeno P.J., Schumacher J.D., Ohtani R. The physical oceanography of the Bering Sea // Dynamics of the Bering Sea. — Fairbanks : Univ. of Alaska Sea Grant College Program, 1999. — P. 1–28.

Takenouti A.Y. and 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. — P. 39–57.

Zhang J., Woodgate R., Mangiameli S. Towards seasonal prediction of the distribution and extent of cold bottom waters on the Bering Sea shelf // Deep-Sea Res. II. — 2012. — Vol. 65–70. — P. 58–71.

Поступила в редакцию 21.08.14 г.