

Среда обитания
водных биологических ресурсов
Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 597-19(265.518)(268.56)

**Водные массы и рыбные сообщества в северо-
западной части Берингова и западной части
Чукотского морей летом 2003–2010 гг.**

Г.В. Хен¹, Е.О. Басюк¹, К.К. Кивва²

¹Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГБНУ «ТИНРО-Центр»), г. Владивосток

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: gennady.khen@tinro-center.ru

Проведены исследования водных масс и распределения некоторых промысловых рыб северо-западной части Берингова и западной части Чукотского морей в 2003, 2007, 2008 и 2010 гг. Отдельно рассмотрены пелагические и донные скопления рыб в сопоставлении с соответствующими слоями воды. Всего были выделены шесть водных масс. Из них четыре встречаются как в Беринговом, так и в Чукотском морях. Ещё по одной водной массе формируются в каждом море в отдельности. На поверхности преобладает берингоморская прибрежная водная масса (БПВ). В вершинах заливов Аляска и Нортон — распреснённая водная масса заливов (РЗВ), вдоль сибирского побережья Арктики — сибирская прибрежная водная масса (СПВ), а у чукотского берега бассейна Чирикова — берингоморская летняя водная масса (БЛВ). В придонном слое БПВ встречается только у побережья Аляски, а в других областях Берингова и Чукотского морей преобладает БЛВ. Небольшие участки морей заняты остаточными тихоокеанскими зимними водными массами (ОЗВ) и недавно провентилированными тихоокеанскими зимними водами (ЗВ) с температурой, близкой к точке замерзания воды. Основные скопления рыб были сформированы в Анадырском заливе в области БПВ (лососевые на поверхности) и БЛВ (треска минтай и сельдь в придонном слое). В Чукотском море были пойманы несколько экземпляров взрослой кеты в пределах БПВ и СПВ, один экземпляр взрослой особи нерки и три чавычи — в БПВ.

Ключевые слова: Берингово море, Чукотское море, водные массы, лососи *Oncorhynchus*, минтай *Theragra chalcogramma*, треска *Gadus macrocephalus*, сельдь *Clupea pallasi*.

ВВЕДЕНИЕ

Север Берингова моря и юг Чукотского моря, соединённые узким Беринговым проливом, играют роль «моста» между Тихим океаном и Арктическим бассейном. В тёплое полугодие здесь проходят тёплые тече-

ния [Мастрюков, 2012; Brugler et al., 2014; Coachman et al., 1975], переносящие в Арктику трансформированные тихоокеанские воды. Вместе с тёплыми водами через узкий Берингов пролив в Арктику поставляется большое количество биогенных элементов [Pisareva et

al., 2015; Walsh et al., 1989], важных компонентов для формирования высокой продуктивности вод. Течения переносят из Берингова моря в Чукотское море много живых организмов, включая промысловых рыб [Logerwell et al., 2015; Moore, Stabeno, 2015].

Перенос биогенных элементов и живых организмов на север тесно связан с водными массами, формирующимися в основном в северной части Тихого океана и меняющими свои свойства при движении над обширным шельфом Берингова моря и в ходе сезонных процессов. Особое значение в их трансформации имеют зимнее льдообразование с выхолаживанием вод до отрицательных температур и материковый сток, сильно понижающий солёность прибрежных вод. В результате над северным шельфом Берингова моря летом формируются несколько водных масс, разделённых по вертикали и горизонтали.

Классификацию водных масс шельфа северной части Берингова моря начал Л.К. Коучмен с соавторами [Coachman et al., 1975]. Они выделили три основные водные массы: аляскинскую прибрежную, берингоморскую шельфовую и анадырскую. С течениями они перемещаются с юга на север в сторону Чукотского моря. Богатые биогенными элементами воды залива Анадырь расположены на западе Берингова пролива, восточнее — холодные, солёные шельфовые воды Берингова моря, а на крайнем востоке пролива — тёплые, распреснённые, бедные биогенными элементами прибрежные воды Аляски [Woodgate, Aagaard, 2005]. В Чукотском море анадырская вода и вода берингоморского шельфа сливаются в одну водную массу, названную берингоморской.

На шельфе Чукотского моря Э.Т. Бруглер с соавторами [Brugler et al., 2014] выделили 4 водные массы: АПВ — аляскинская прибрежная водная масса, ЧЛВ — чукотская летняя водная масса [терминология Shimada et al., 2001], ЗВ и ОЗВ. Последняя классификация вод выделяет на общем для северной части Берингова моря и Чукотского моря (СБЧМ) шельфе шесть водных масс: АПВ, БЛВ, СПВ, ЗВ, ОЗВ, ТЛВ (водная масса, сформированная в процессе таяния льда) [Pisareva et al., 2015]. СПВ образуется за счёт

стоков больших сибирских рек, переносимых Сибирским прибрежным течением (СПТ) из Восточно-Сибирского моря [Coachman et al., 1975] или даже из моря Лаптевых до Берингова пролива [Weingartner et al., 1999], ОЗВ образуется при таянии льда на севере чукотского шельфа [Pisareva et al., 2015].

Свободное сообщение между Беринговым и Чукотским морями и формирование общих водных масс определяют совпадение в них многих видов гидробионтов. Некоторые из них могут свободно пересекать Берингов пролив как в северном, так и в южном направлениях. Причём такие миграции совершают не только крупные животные [Simpkins et al., 2003], но и мелкие рыбы [Глебов и др., 2016] и даже зоопланктон [Слабинский, Фигуркин, 2014; Grebmeier et al., 2006]. Таким образом, северную часть Берингова моря и Чукотское море (СБЧМ) можно рассматривать как единый природный комплекс.

В настоящее время имеется только одна публикация [Norcross et al., 2010], в которой анализируется приуроченность к определённым водным массам придонных рыб Чукотского моря, выловленных с помощью небольшого бим-трала во время выполнения Российско-Американской программы RUSALCA в 2004 г. Как признаются авторы, основная масса рыб была небольшого размера, т. е. ювенольного возраста, взрослых особей было мало. Мы в данной статье проведём исследование с использованием более обширного материала, полученного в экспедициях ТИНРО-Центра в начале 21 столетия. Многолетние данные позволят дать более обстоятельную характеристику водных масс СБЧМ. В то же время использование больших промысловых тралов в ихтиологических работах позволит получить более полную и реальную картину видового состава ихтиофауны. Чтобы не перегружать статью лишними деталями, мы остановились на исследовании только некоторых промысловых рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С конца 1950-х гг. ТИНРО проводит морские экспедиции по исследованию северо-западной части Берингова моря, включая Анадырский залив. В XXI веке они стали практически ежегодными. Дополнительно

в 2003, 2007, 2008, 2010 и 2015 гг. были проведены исследования в юго-западной части Чукотского моря. Основной целью экспедиций была оценка современного состояния рыбных и нерыбных ресурсов. При этом выполнялись траловые работы, сопровождаемые гидрологическими, гидрохимическими, планктонными, акустическими исследованиями. В Чукотском море работы проводились в августе—сентябре, когда акватория максимально свободна от ледовых полей [Frey et al., 2015]. В данной работе использованы два вида информации: гидрологические данные и данные по вылову некоторых промысловых видов рыб при тралениях. В табл. 1 показаны виды и сроки работ в годы совместных исследований Берингова и Чукотского морей. Данные 2015 г. используются только для общей характеристики гидрологических условий. На рис. 1 показано расположение станций в рассматриваемые годы.

Гидрологические работы

Гидрологические работы велись зондом SBE-25. Датчики температуры, электропроводности и давления проверялись в калибровочном комплексе ТИПРО-Центра перед началом и после окончания рейса. В течение рейса проводился контроль показаний датчиков электропроводности с использованием со-

лемера «PORTOSAL». С учётом обнаруженных погрешностей после завершения рейсов вносились окончательные исправления в полученные данные.

Дополнительно были использованы данные из открытой базы данных по Мировому океану [Boyer et al., 2013; WOD, 2018]. В результате стало возможным рассмотреть океанографические условия всей северной части Берингова моря и Чукотского моря, включая ИЭЗ России и США, и провести объективную классификацию водных масс с использованием всех доступных нам данных за август—сентябрь 2000—2015 гг. (рис. 2). Общее количество станций составило 840, из них в ИЭЗ США — 180 станций.

Определение водных масс проведено с использованием традиционного метода T, S-анализа. Границы водных масс определялись на T, S-диаграмме с учётом предыдущих классификаций вод. Каждая водная масса занимает свою ячейку на диаграмме (рис. 2 Б). На каждой станции были определены водные массы на выбранных горизонтах и нанесены на карту соответствующим обозначением. Затем распределения уловов рыб сопоставлялись с распределением водных масс на соответствующем горизонте.

Таблица 1. Сроки работ, количество гидрологических станций и число тралений, выполненных в северо-западной части Берингова и юго-западной части Чукотского морей в 2003, 2007, 2008 и 2010 гг.

Северо-запад Берингова моря						Юго-запад Чукотского моря					
	Сроки работ	Кол-во станций	Траления				Сроки работ	Кол-во станции	Траления		
			Пелагический трал		Донный трал				Пелагический трал		Донный трал
			Поверхн.	Придон.					Поверхн.	Придон.	
2003	17–24.08	17	17	–	–	24–28.08	20	18	–	–	
2007	06–18.09	21	21	–	–	11–23.08	41	6	42	–	
2008	04–25.08	94	–	–	100	–	–	–	–	–	
	09–16.09	22	22			01–09.09	25	25	–	–	
2010	21.08–06.09	57	–	–	57	07–16.09	41	–	–	38	
	17–27.09	40	–	40	–	–	–	–	–	–	

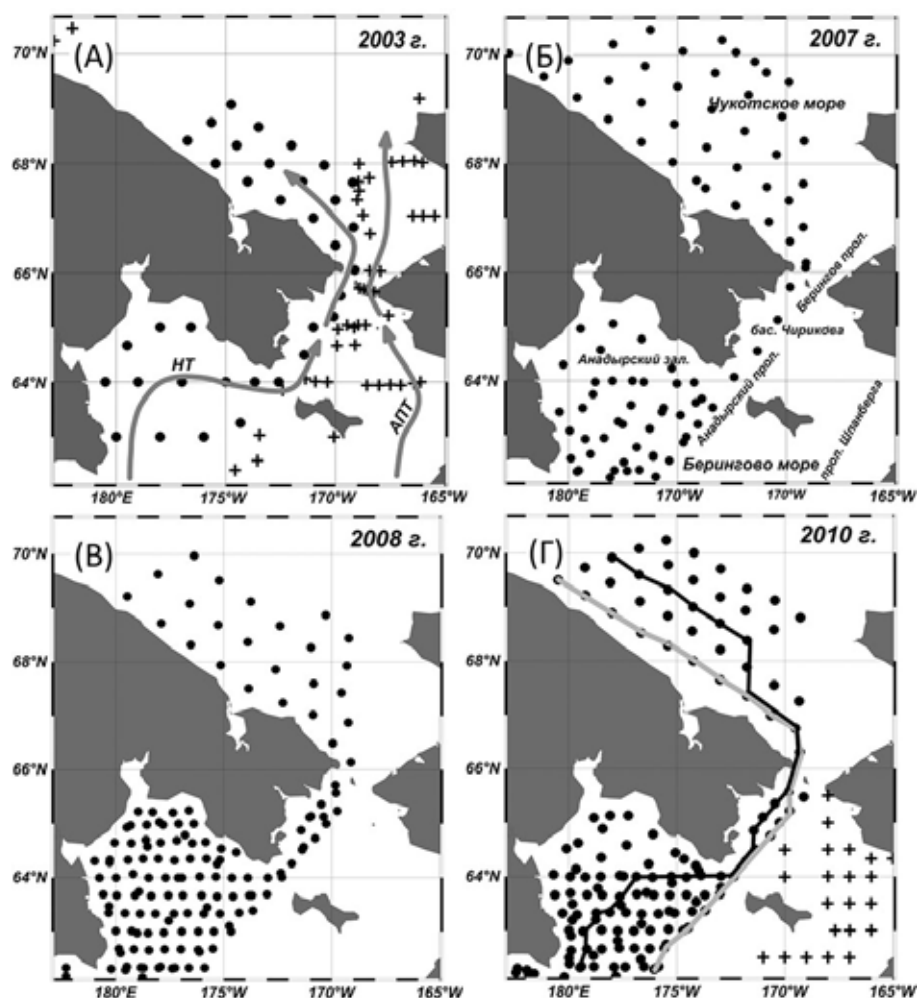


Рис. 1. Схемы гидрологических станций, выполненных в августе-сентябре 2003, 2007, 2008 и 2010 гг. в северной части Берингова моря и Чукотском море (А-Г, соответственно).

Кружками обозначены станции, выполненные ТИНРО-Центром. На этих же станциях производились 1-часовые траления в пелагиали и придонном слое. Крестиками обозначены станции, взятые из открытой базы World Ocean Data Base [Boyer et al., 2013; WOD, 2018]. Отмечено примерное положение Наваринского (НТ) и Аляскинского (АПТ) прибрежных течений (А), а также анализируемых разрезов (Г)

Траловые работы

Поверхностные и придонные траления проводились разноглубинным тралом РТ-80/396 с мелкоячейной (10 мм) вставкой в его кутовой части. Длина его кабелей составляла 100–120 м, горизонтальное раскрытие — 38–44 м, вертикальное раскрытие — 30–40 м. Траления продолжительностью 60 минут со скоростью в среднем 4,5–4,6 узла проводились в любое время суток. Поверхностные траления выполнялись с выводом верхней подборки трала на поверхность моря, придонные траления — с касанием нижней подборки трала дна моря. При этом положение верхней подборки в зависимости от глубины места менялось от 0

до 20 м в Чукотском море и от 5 до 50 м в северо-западной части Берингова моря.

Донные траления выполнялись донным тралом ДТ-27.1/24 с горизонтальным раскрытием 16 м и вертикальным раскрытием 3–4 м, оснащённым мелкоячейной (10 мм) вставкой в его кутовой части. Продолжительность траления составляла 60 мин. при средней скорости 3,2–3,3 узла. Работы проводились только в светлое время суток — с 5:00 до 20:00 местного времени, чтобы исключить влияние вертикальных суточных миграций на величину и состав уловов.

Уловы даны в килограммах на один час траления. На карту областей с однотипными во-

дными массами наносились уловы на каждой точке траления с соблюдением определённого масштаба, разного для разных видов рыб.

Водные массы

Август-сентябрь 2000–2015 гг. Литературный анализ, проведённый выше, показывает в целом совпадение большинства названий водных масс: АПВ, БЛВ, ОЗВ, ЗВ, СПВ и ОВ. Если температурные границы у различных авторов довольно близки, то по солёности они установлены по-разному. Наиболее удачной мы считаем классификацию М.Н. Писаревой с соавторами [Pisareva et al., 2015]. В ней чётко обозначены границы как по температуре, так и по солёности. Мы взяли её за основу для нашей классификации. Но в отличие от этой работы, основанной на одной экспедиции РУСАЛКА в 2009 г. в Чукотское море, мы использовали более обширные данные, полученные в СБЧМ в августе-сентябре 2000–2015 гг.

Границы водных масс на нашей Т, S-диаграмме (рис. 2 Б) немного отличаются от классификации М.Н. Писаревой с соавторами. Так, если у них БЛВ заключена в диапа-

зоне солёности между 32 и 33,3 е. п. с., то у нас — между 31 и 33,6 е. п. с. Так как мы рассматриваем всю северную часть Берингова моря, то изменили название аляскинской прибрежной водной массы (АПВ) на берингово-морскую прибрежную водную массу (БПВ), куда вошли воды Аляски и Чукотки в диапазоне солёности 28–33,3 е. п. с. и температуры 3–12 °С. В нашей классификации появилась новая водная масса — распредельная в вершинах заливов вода (РЗВ), свойственная только для заливов Анадырь и Нортон.

В нашей классификации ТЛВ объединена с СПВ. Как было сказано выше, ТЛВ формируется при таянии льдов, а наши исследования ограничены широтой 70°30' с. ш., что значительно (более чем на 60 миль) южнее среднего положения кромки льда в августе-сентябре 2003–2011 гг. [Frey et al., 2015]. Несомненно, что и СПВ формируется при таянии льдов в Арктике и находится в зоне действия Сибирского прибрежного течения (СПТ), несущего с запада на восток холодные распредельные воды сибирских рек до Берингова пролива [Weingartner et al., 1999; Pisareva et al., 2015]. Широкий диапазон температуры

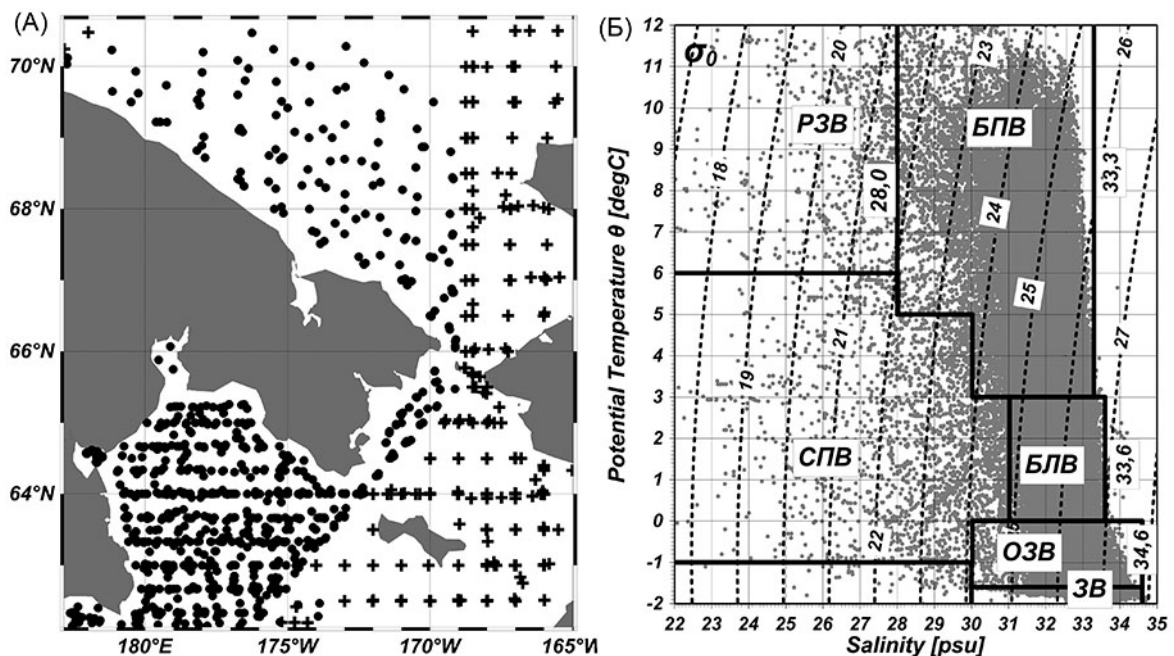


Рис. 2. (А) Схема положения гидрологических станций, выполненных в августе-сентябре 2000–2015 гг. в северной части Берингова моря и Чукотском море.

Условные обозначения на рис. 1: (Б) Т, S-диаграмма вод от поверхности до дна в 1-метровом диапазоне. Полные названия водных масс см. в тексте

(-1 — $+6$ °C) и солёности (22–31 е. п. с.) СПВ объясняется тем, что влияние стоков рек на различные участки прибрежной зоны неодинаково и, кроме того, к данной водной массе относятся не только поверхностный прогретый слой воды, но и его подповерхностная часть, где ещё сохраняются зимние условия. В отличие от СПВ, на БПВ, также формирующуюся в областях, занятых зимой ледовыми полями, в тёплое полугодие сильное влияние оказывают тихоокеанские воды, постоянно проникающие на шельф с Аляскинским прибрежным течением (АПТ) вдоль полуострова Аляски и Наваринским течением (НТ) вдоль Чукотского берега. Поэтому её температура и солёность относительно высокие и составляют соответственно 3 – 12 °C и 28 – $33,3$ е. п. с.

На поверхности СБЧМ преобладают БПВ (рис. 3 А), занимающие практически всю морскую и восточную прибрежную области Чукотского моря. В зоне действия СПТ, несущего огромную массу пресных вод сибирских рек, очевидно явное преимущество СПВ. В бассейне Чирикова, где наблюдается топографический апвеллинг [Дудков, 2010; Nihoul et al., 1993], поверхность занята более солёными и холодными БЛВ.

РЗВ формируется вблизи устьев рек и в вершинах заливов, где влияние тихоокеанских вод минимальное. Если по температуре

она близка БПВ (6 – 12 °C), то по солёности, благодаря речным водам и многочисленным снежным ручьям, сильно отличается в сторону уменьшения (18 – 22 е. п. с.). Большие реки могут способствовать распространению РЗВ даже за пределами прибрежных областей (рис. 3 А).

В придонном слое картина иная (рисунок 3 Б). БПВ сосредоточена только в пределах прибрежной области шельфа, где приливное перемешивание устанавливает гомогенную структуру вод [Kinder, Schumacher, 1981], и на отдельных участках открытой части Чукотского моря вдоль меридиана 170° з. д., что, видимо, связано с потоком вод из Берингова пролива, направленным на север [Brugler et al., 2014]. В остальных частях СБЧМ преобладает БЛВ, представляющая собой модификацию тихоокеанских вод, формирующуюся в основном в пределах Анадырского залива в процессе их перемешивания с зимними водами местного происхождения.

Вне областей, занятых БЛВ, располагается холодная вода ОЗВ, состоящая преимущественно из остаточных вод зимнего охлаждения. В Беринговом море она занимает области со слабыми горизонтальными потоками, где влияние тихоокеанской воды минимально, а именно к юго-западу от о-ва Святого Лаврентия [Stabeno et al., 2016], т. е. в пределах

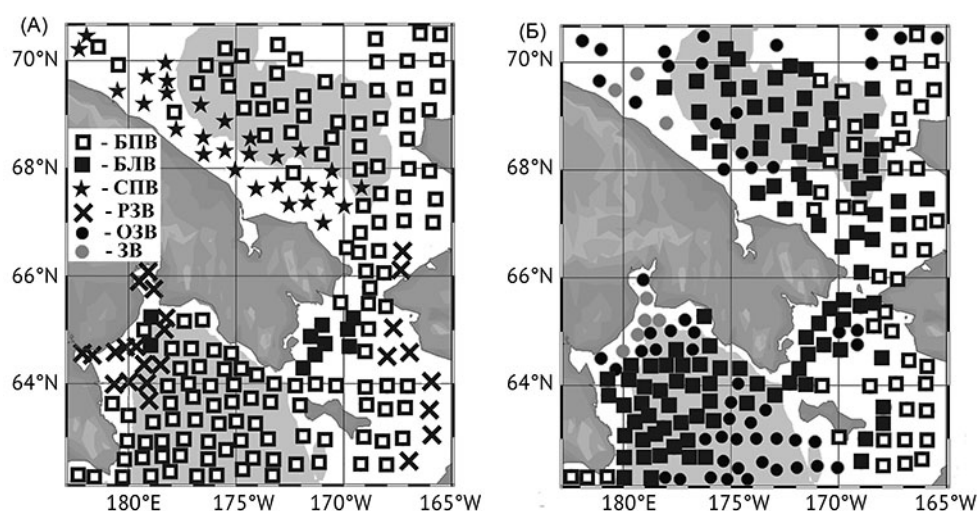


Рис. 3. Пространственное распределение водных масс в августе-сентябре 2000–2015 гг. на глубине 5 м (А) и в придонном слое (Б).

Тёмный фон шельфа — глубины больше 50 м. Водные массы показаны на выборочных станциях, чтобы визуально показать области с однотипными водами. Полные названия водных масс см. в тексте

восточно-берингоморской (лаврентьевской) холодной области [Кен, 1999], и вокруг залива Креста [Хен, 1999]. В Чукотском море ОЗВ располагается за пределами основных потоков тёплых тихоокеанских вод из Берингова пролива. В заливе Креста и на юго-западе Чукотского моря небольшие области заняты ЗВ с температурой, близкой к точке замерзания.

Вертикальные разрезы

Рассмотрим вертикальную структуру вод на двух океанологических разрезах, выполненных в 2010 г. (рис. 4). Первый (черная линия) проходит вдоль НТ и его продолжения в Чукотском море, второй (серая линия) — пересекает восточно-берингоморскую область холода и следует по струе СПТ (см. рис. 1Г). Во впадине Чирикова они совпадают. Общим для обоих разрезов является относительно высокая температура (8–9 °С) поверхностного слоя и более глубокое положение термоклина в Беринговом море (ниже 20 м), чем в Чукотском море (выше 20 м). Ниже термоклина залегают ядра холодных вод. В Чукотском море

оно расположено в придонном слое, в Анадырском заливе — в промежуточных горизонтах. На втором разрезе, что за пределами НТ, холодные ядра занимают более обширное пространство, а температура воды в них заметно ниже (–1.5 ... –1.0 °С), чем на первом разрезе (–0.5 ... +0.5 °С). Тёплые воды с температурой выше 2 °С встречаются только в бассейне Чирикова и Беринговом проливе. Изопикна 26,2 показывает нижнюю границу пикноклина. В пределах НТ ниже пикноклина расположены три изолированных ядра высокоплотных вод с условной плотностью более 26,4 ед. — в Анадырском заливе, в бассейне Чирикова, в Чукотском море. Вне тёплого течения они находятся только в двух последних областях. На юге Анадырского залива, в пределах холодной Лаврентьевской области, залегают лёгкие воды с условной плотностью ниже 26,2 ед. В бассейне Чирикова хорошо заметен купол плотных вод, образованный на месте их подъёма при столкновении НТ с повышением рельефа дна в Анадырском проливе. Вершина купола выходит почти на поверхность моря, и здесь сезонный пикноклин малозаметен.

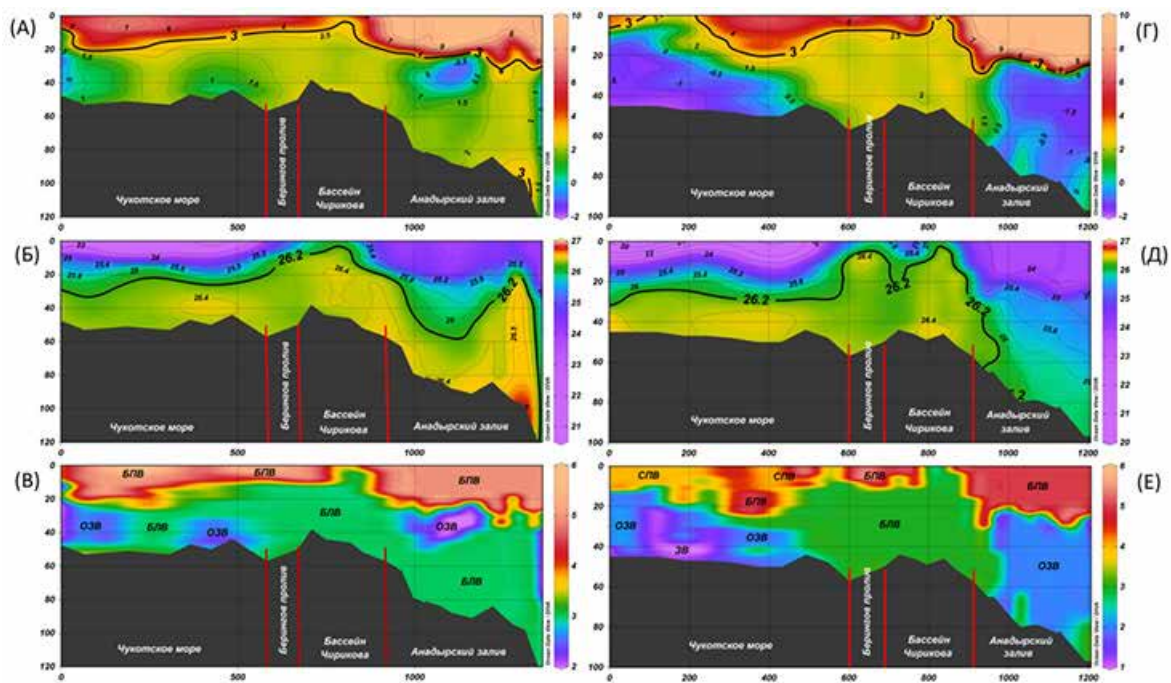


Рис. 4. Температура, плотность и водные массы на «чёрном» (А, Б, В) и «сером» (Г, Д, Е) разрезах (см. рис. 1 Г) в августе-сентябре 2010 г.

Жирными линиями показаны изотермы 3 °С (нижняя граница термоклина) и уловная плотность 26,2 ед. (граница между плотными и лёгкими водами)

В НТ и его продолжении в Чукотском море основные водные массы — БПВ (поверхность) и БЛВ (придонный слой). В зависимости от динамических условий граница между ними то опускается, как в Анадырском заливе и на шельфе Чукотского моря, то поднимается, как в бассейне Чирикова и Беринговом проливе. Вне НТ объёмы ОЗВ заметно увеличиваются и появляются СПВ и ЗВ. Ядра холодных вод ниже пикноклина состоят из ОЗВ и ЗВ.

Август-сентябрь 2003, 2007, 2008 и 2010 гг. Прежде, чем перейти к анализу водных масс, выясним термическое состояние вод на поверхности и у дна в 2003, 2007, 2008 и 2010 гг. Для шельфа северо-западной части Берингова моря используем данные ТИНРО-Центра (рис. 5), а для Чукотского моря возьмём результаты, полученные В. Лучиным и Г. Пантелеевым [Luchin, Panteleev, 2014]. Это позволит выявить особенности пространственных неоднородностей водных масс в различные по термическому состоянию годы. Проведём типизацию лет относительно средней температуры за 1991–2015 гг. В Беринговом море аномально тёплыми были 2003 г. и 2010 г. В 2007 г. относительно тёплым был поверхностный слой, а у дна воды имели среднюю температуру. В ряду рассматриваемых лет наиболее холодные воды как на поверхности, так и у дна наблюдались в 2008 г. Этот же год был аномально холодным в Чукотском море (табл. 2). Здесь очень тёплым был предыдущий 2007 г. Такой же вывод делает Р. Вудгейт с соавторами [Woodgate et al., 2010]. В 2003 г. относительно тёплым был придонный слой, а поверхностный имел температуру, близкую к средней за 1991–2015 гг. К сожалению, из-за ограниченного количества дан-

ных В. Лучин и Г. Пантелеев не дали оценку 2010 г. Сравнения данных ТИНРО-Центра показали, что по температуре воды на поверхности и у дна Чукотского моря 2010 г. был близок к 2008 г., отнесённому по состоянию к среднему (табл. 2). Таким образом, в обоих морях годы по состоянию могут быть как однотипными, так и неоднотипными, а в отдельных случаях даже противоположными.

Далее рассмотрим пространственную структуру водных масс в 2003, 2007, 2008 и 2010 гг. на различных уровнях: 5 м (поверхность моря), 20 м (близко к сезонному пикноклину), 30 м (ниже сезонного пикноклина) и у дна (рис. 6). В Беринговом море на поверхности преобладала БПВ. В Чукотском море вдоль побережья Сибири распространялась СПВ, за исключением очень тёплого 2007 г., когда вся исследуемая акватория была заполнена исключительно БПВ. У чукотского берега бассейна Чирикова, где, как было сказано выше, наблюдается топографический апвеллинг, происходит выход БЛВ на поверхность. Судя по площади БЛВ, в 2008 г. и 2010 г. апвеллинг был более сильным, чем в 2003 г. и 2007 г. В 2010 г. в Анадырском заливе была отмечена РЗВ, что могло произойти из-за сильного паводка реки Анадырь [Ушаков, 2016].

На глубине 20 м водные массы связаны с положением сезонного пикноклина. При относительно глубоком залегании сезонного пикноклина данный горизонт показывает срез поверхностного слоя, где преобладают БПВ и СПВ. Так было, например, в южной части Анадырского залива во все годы и на юге Чукотского моря в 2003 г. и 2007 г. При высоком положении сезонного пикноклина он, напротив, показывает срез подповерхностного слоя, где

Таблица 2. Типы лет в северной части Берингова моря (относительно нормы 1991–2015 гг.) и в Чукотском море по данным [Luchin, Panteleev, 2014] и нашей оценке

Северная часть Берингова моря			Чукотское море		
Годы	Поверхность	Дно	Годы	Поверхность	Дно
2003	Тёпло	Тёпло	2003	Холодно*	Тёпло*
2007	Тёпло	Норма	2007	Тёпло*	Тёпло*
2008	Норма	Холодно	2008	Норма*	Норма*
2010	Тёпло	Тёпло	2010	Норма	Норма

* [Luchin, Panteleev, 2014]

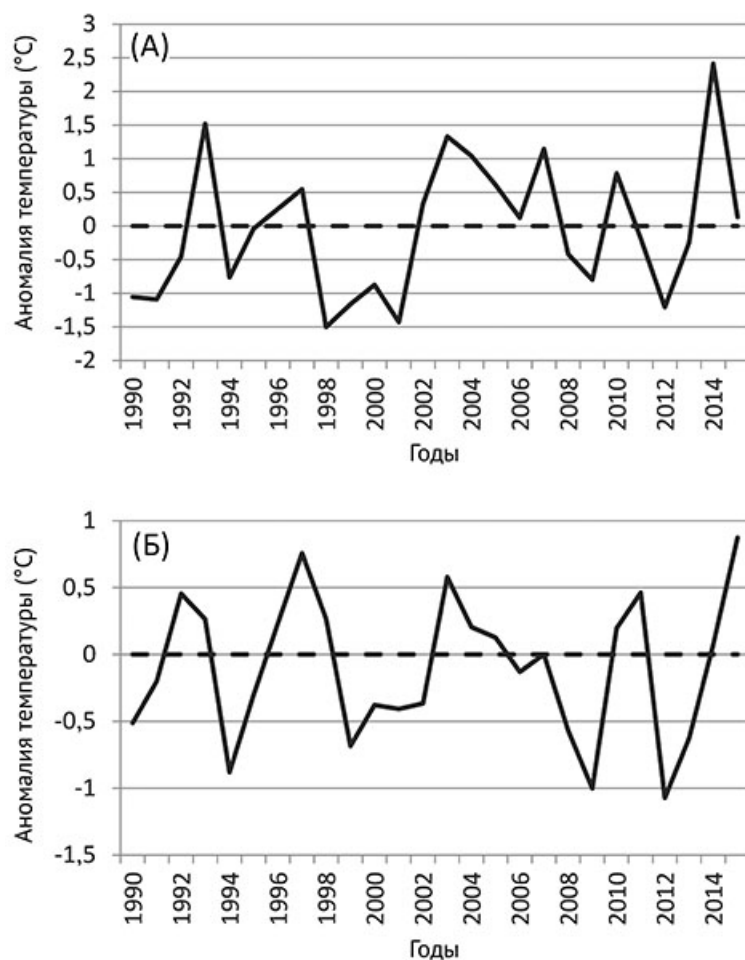


Рис. 5. Межгодовая изменчивость аномалии температуры воды на поверхности (А) и у дна (Б) в северо-западной части Берингова моря летом. Аномалии посчитаны относительно средних за 1991–2015 гг.

преобладают БЛВ. Например, в бассейне Чирикова, севернее 68° с. ш. в 2007 и 2010 гг. и в центральной части Анадырского залива. Местами можно обнаружить и вкрапления ОЗВ, указывающие на пространственную неоднородность сезонного слоя скачка плотности.

На глубине 30 м в обоих морях преобладает БЛВ. Заметную роль играют также ОЗВ, которые занимали всю южную часть Анадырского залива (за исключением очень тёплого 2003 г, когда эти воды отсутствовали), и западную часть Чукотского моря. В 2003 г. и 2007 г., когда придонные воды были относительно тёплыми, на юге Чукотского моря присутствовала СПВ, тогда как в умеренные 2008 г. и 2010 г. здесь была только БЛВ.

У дна пространственная картина водных масс мало отличается от горизонта 30 м. Это объясняется преобладанием двухслойной

структуры вод и тем, что ниже пикноклина температура и солёность с глубиной практически не меняются. Исключение представляет юг Анадырского залива, где присутствует трёхслойная структура вод [Хен, 1999] и ядро холодной зимней воды ОЗВ занимает горизонты 25–60 м (рис. 4), на расстоянии 20 м от дна. Ниже ядра холода, т. е. в придонном слое присутствует БЛВ. Поэтому в Беринговом море площадь ОЗВ у дна заметно меньше, чем на глубине 30 м. В 2010 г. на севере Анадырского залива и на прибрежных станциях на западе Чукотского моря присутствовала ЗВ. Как было сказано выше, в 2010 г. термические условия в Беринговом море были тёплые, в Чукотском море на уровне нормы, т. е. наличие ЗВ летом никак не связано с типами лет, полученными для теплого полугодия.

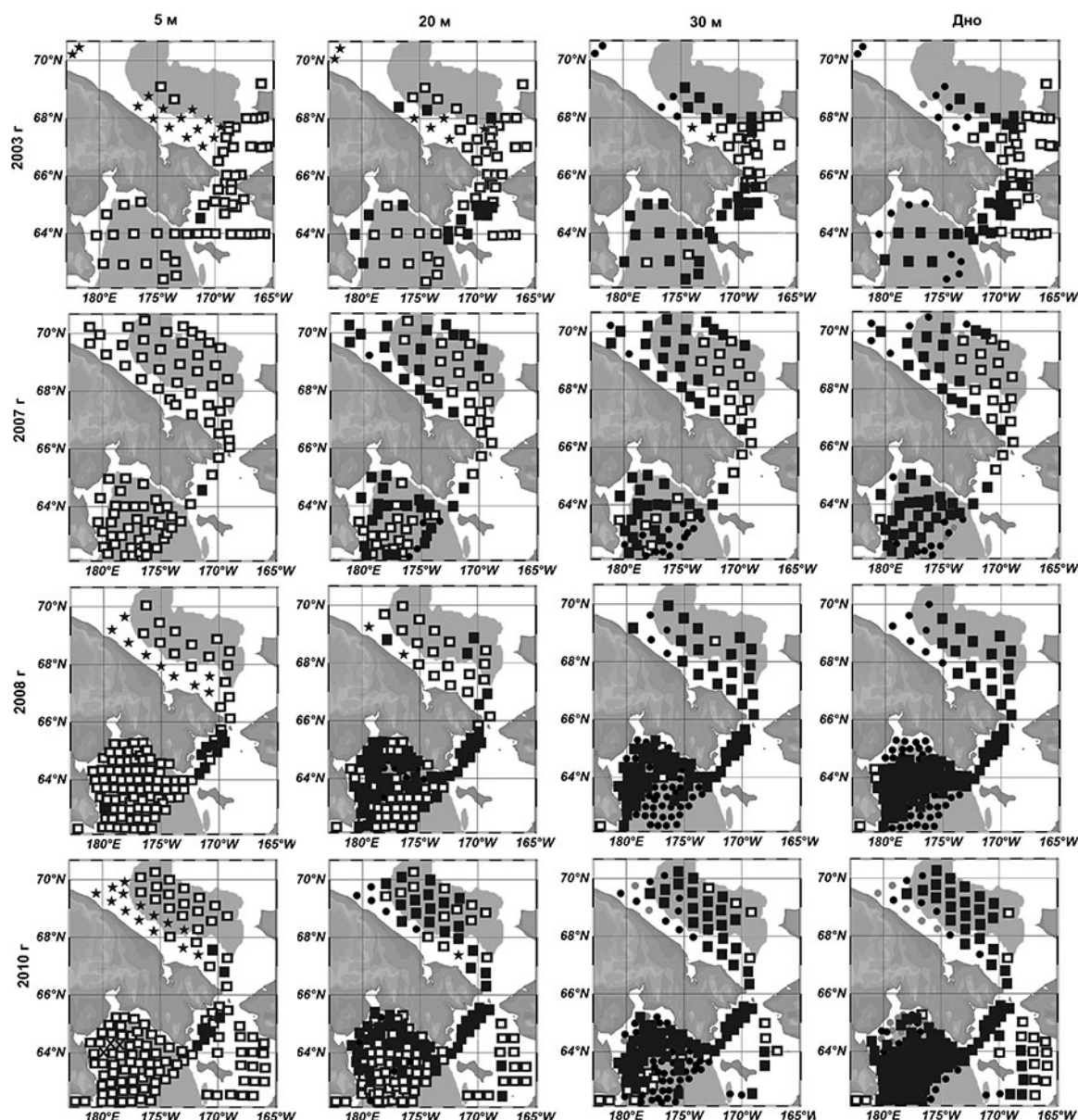


Рис. 6. Пространственное распределение водных масс в августе-сентябре 2003, 2007, 2008 и 2010 гг. на глубинах 5, 20, 30 м и в придонном слое.

Тёмный фон шельфа — глубины больше 50 м. Обозначения водных масс см. на рис. 3

Распределение промысловых рыб в пелагиали и придонном слое

Лососи в поверхностных тралениях:
кета, нерка, чавыча. Основные скопления лососевых рыб (кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792), нерки *O. nerka* (Walbaum, 1792), и чавычи *O. tshawytscha* (Walbaum, 1792)) были сосредоточены в Анадырском заливе в области БПВ (рис. 7), где находится традиционное место их нагула в лет-

ний сезон [Шунтов, Темных, 2012]. Выловы других видов лососей в Анадырском заливе были единичные, а в Чукотском море вообще отсутствовали. В 2010 г. все траления в Анадырском заливе выполнялись пелагическим тралом с касанием грунта нижней подборой (табл. 1). При этом верхняя подбора, в зависимости от глубины места, находилась на горизонтах 5–50 м. В таких тралениях основные уловы лососей могли соответствовать местам постановки и подъема трала. Нельзя конечно

исключать и возможность поимки рыб, находящихся ниже поверхностного слоя [Шунтов и Темных, 2012; Walker et al., 2000], но не массово, а единичными экземплярами. Уловы лососей в 2010 г. в Анадырском заливе были на порядок ниже, чем в другие годы, что дало основание не показывать их на рис. 7.

В бассейне Чирикова в годы сильного апвеллинга и, соответственно, интенсивного выхода на поверхность БЛВ (как в 2008 г.), не было поймано ни одного экземпляра лососевых рыб. При слабом апвеллинге, как в 2003 г, здесь встречались кета и чавыча. В Чукотском море тоже были лососи, но в небольшом коли-

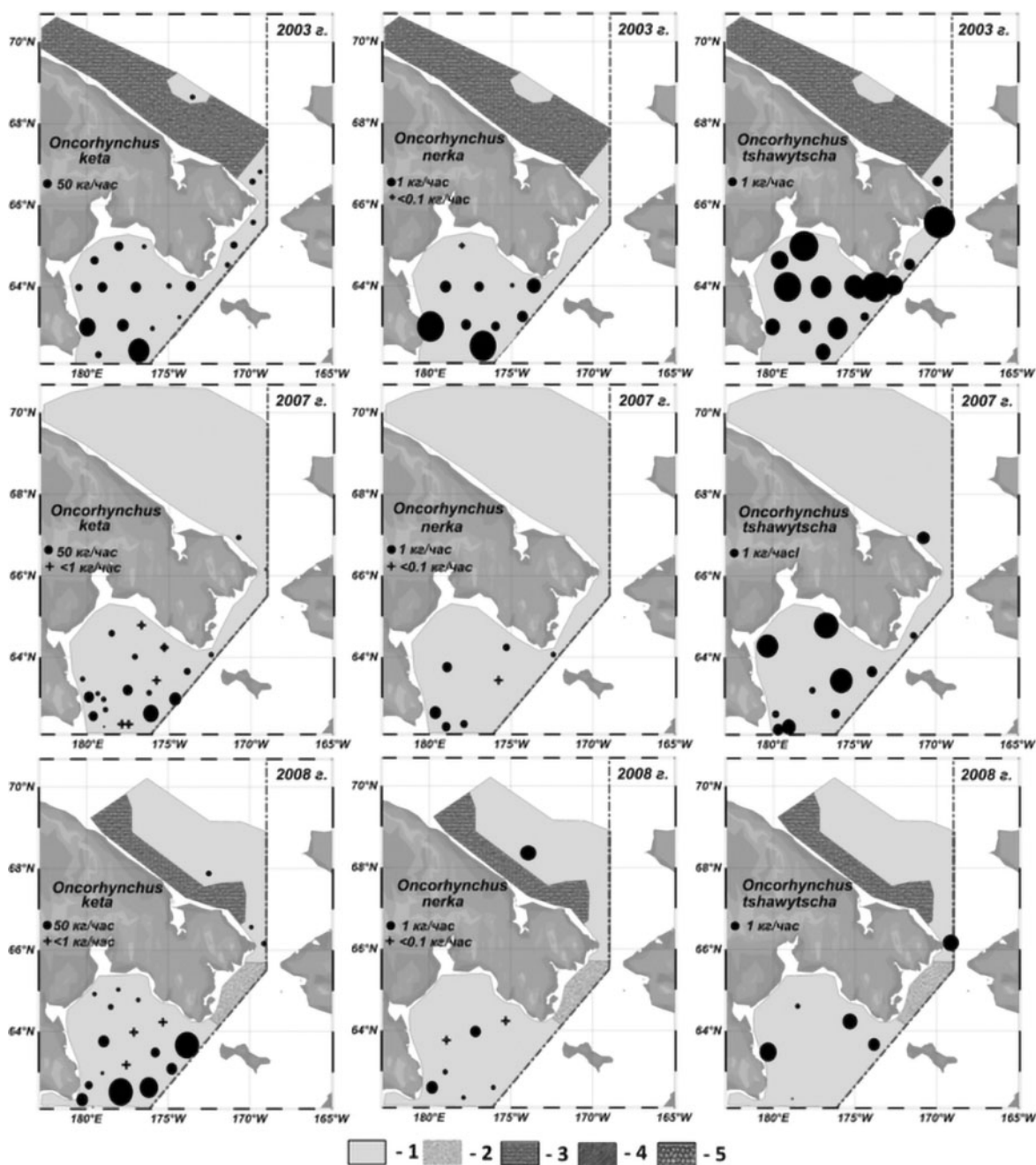


Рис. 7. Контуры областей с однотипными водными массами на горизонте 5 м и уловы кеты, нерки и чавычи в пелагических тралениях в 2003, 2007, 2008 гг.

Обозначения областей с однотипными водными массами: 1 —БПВ 2 — БЛВ; 3 — СПВ; 4 — ОЗВ; 5 — ЗВ

честве (табл. 3). Вопрос об их происхождении пока остается открытым. Если в распределении кеты в Чукотском море в 2003 г. просматривается продолжение анадырского скопления, то в распределении чавычи в 2003, 2007 и 2008 гг. и кеты в 2007 г. и 2008 г. хорошо заметен разрыв к северу от бассейна Чирикова как при наличии здесь БЛВ, так и при ее отсутствии. В Берингов пролив и на юг Чукотского моря кета могла зайти как со стороны Анадырского залива, так и со стороны Аляски, или же быть даже представителем арктической популяции, рожденной в одном из притоков реки Маккензи [Irvine et al., 2009]. Все экземпляры кеты, пойманные в Чукотском море, были крупными (табл. 3), некоторые из них половозрелыми.

Единичные экземпляры чавычи, пойманные вблизи сибирского берега Чукотского моря, были неполовозрелыми длиной до 70 см. Вполне возможно, что они представляют местную арктическую популяцию. Есть сведения [Черешнев и др., 2002] о поимке чавычи в реках, впадающих в Чукотское море.

Практически вся нерка была поймана в Анадырском заливе в области СПВ. И только один экземпляр взрослой особи размером 64 см был выловлен в 2008 г. в 350 км северо-западнее Берингова пролива, и тоже в области БПВ. Возможно, она заплывла в Чукотское море со стороны залива Нортон. При миграции из Анадырского залива ей пришлось бы преодолеть область БЛВ в бассейне Чирикова, что маловероятно.

Придонное распределение промысловых рыб: минтая, трески и сельди. В 2008 г. исследование придонного ихтиоценоза проводилось только в Беринговом море (табл. 1), точнее в Анадырском заливе и бассейне Чирикова. Наиболее плотные скопления минтая *Theragra chalcogramma* Pallas, 1814, дальневосточной

трески *Gadus macrocephalus* Tilesius, 1810 и сельди *Clupea pallasi* Valenciennes, 1847 формировались в пределах БЛВ (рис. 8). Минтай и треска встречались и в ОЗВ, но здесь их концентрации были заметно менее плотными. В отличие от них сельдь в ОЗВ не встречалась, т. е. она летом избегает воды с отрицательной температурой. Заметен разрыв между скоплениями сельди в Анадырском заливе и скоплениями сельди в бассейне Чирикова, что может быть подтверждением их различного происхождения. По мнению И.И. Глебова (перс. сообщ.) в Чукотском море и бассейне Чирикова обитают сельди местных популяций, тогда как в Анадырском заливе летом нагуливаются сельди анадырской, корфо-карагинской и, возможно, восточно-берингоморской популяций, репродукционные зоны которых не выходят за пределы субарктической климатической зоны [Науменко, 2001].

В 2010 г. донные траления были проведены как в Беринговом, так и в Чукотском морях. Как и в 2008 г., наиболее плотные скопления минтая, сельдь и треска образовали в пределах БЛВ. В Чукотском море вблизи Берингова пролива был пойман один экземпляр минтая размером 82 см. От одного до девяти экземпляров сельди были пойманы на нескольких тралениях к северу от Берингова пролива в области БЛВ. Как и в 2008 г. был заметен разрыв между скоплениями сельди Анадырского залива и скоплением в бассейне Чирикова и Чукотском море. Треска в Чукотском море не встречалась.

ОБСУЖДЕНИЕ

НТ играет важную роль в транспортировке тёплых, солёных и богатых биогенными элементами тихоокеанских вод в Анадырский залив. Благодаря этому течению создаётся

Таблица 3. Количество (экз.) и размеры (см) лососей, пойманных в Чукотском море

Годы	Кета		Нерка		Чавыча	
	Количество, экз.	Размер, см	Количество, экз.	Размер, см	Количество, экз.	Размер, см
2003	7	70–77	0	–	1	45,3
2007	4	62–72	0	–	1	57,5
2008	5	66–82	1	64	1	69,5

высокая продуктивность вод Анадырского залива [Маркина, Хен, 1990; Springer et al., 1996], где формируются промысловые скопления минтая, трески, крабов, сельди, камбал и других гидробионтов, которые интенсивно вылавливаются российскими рыбаками [Гидрометеорология ..., 2001]. НТ сильно развито летом, но заметно ослаблено или совсем отсутствует зимой [Khen et al., 2013]. Это приводит к уменьшению скоростей течений в Беринговом проливе от 20–50 см/с летом до 5–15 см/с зимой [Roach et al., 1995].

Зимой Анадырский залив полностью закрывается льдом, а ледовая кромка проходит южнее мыса Наварин [Danielson et al., 2006]. В мае Анадырский залив начинает быстро освобождаться от ледовых полей и в середине июня везде устанавливается чистая вода. В июне, когда ветер становится южным, НТ достигает Берингова пролива, а в середине

месяца выходит в южную часть Чукотского моря.

С этого времени начинается сезонное увеличение объема БЛВ в Чукотском море, где она смешивается с ЧЛВ [Shimada et al., 2001] и приобретает более высокую придонную температуру (2,5–3,0 °C), чем воды Анадырского залива (1,5–2,5 °C) (рис. 9 А). С некоторым приближением, границу между водами Анадырского залива и водами побережья Аляски можно провести по условной плотности 26,2 ед. (рис. 9 Б), которая, как было отмечено выше (рис. 4), является и нижней границей сезонного пикноклина для вод НТ и его продолжения в Чукотском море. На границе НТ изопикна 26,2 ед. опускается на дно. Приблизительно по этой же линии происходит и разделение аляскинской прибрежной и анадырской водных масс.

Как может реагировать ихтиофауна на изменение границы пока неизвестно. Б.Л. Нор-

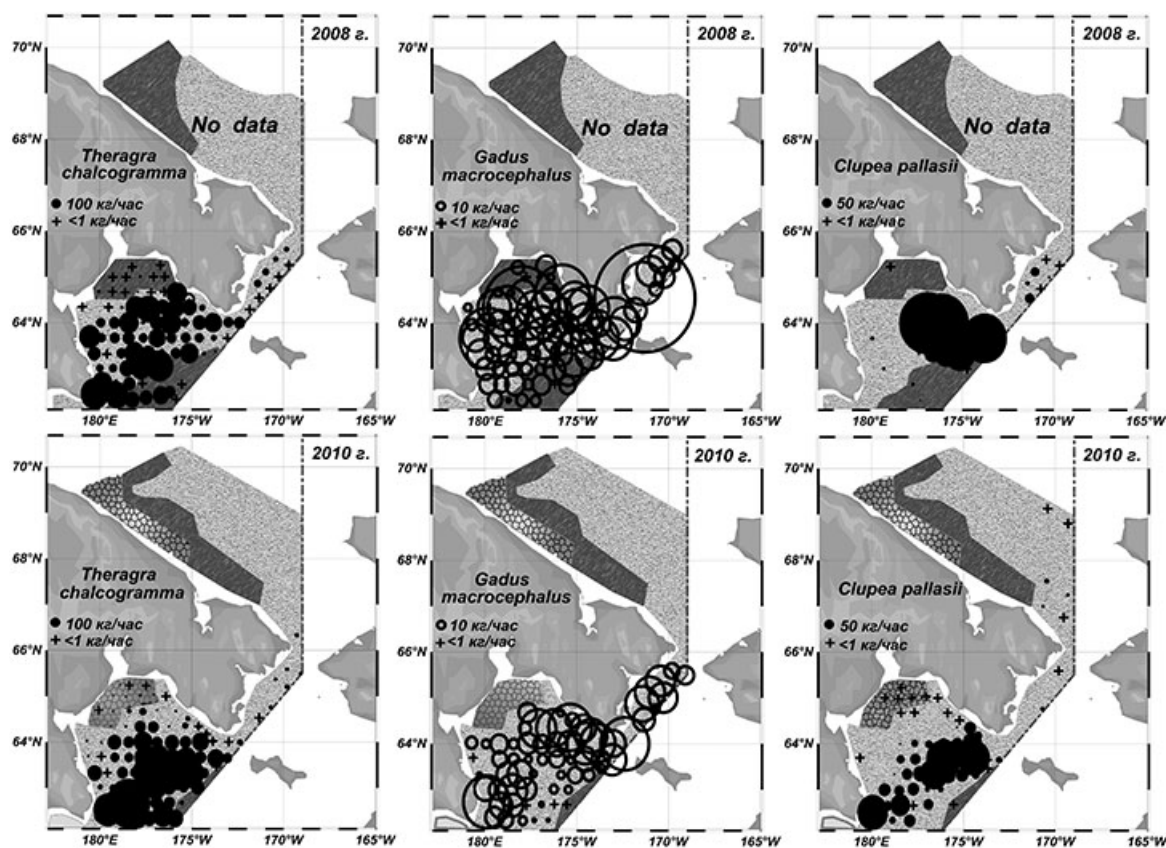


Рис. 8. Контуры областей с однотипными водными массами в придонном слое и уловы минтая, трески и сельди в донных тралениях в 2008 г. и 2010 г.

Обозначения областей с однотипными водными массами на рис. 7

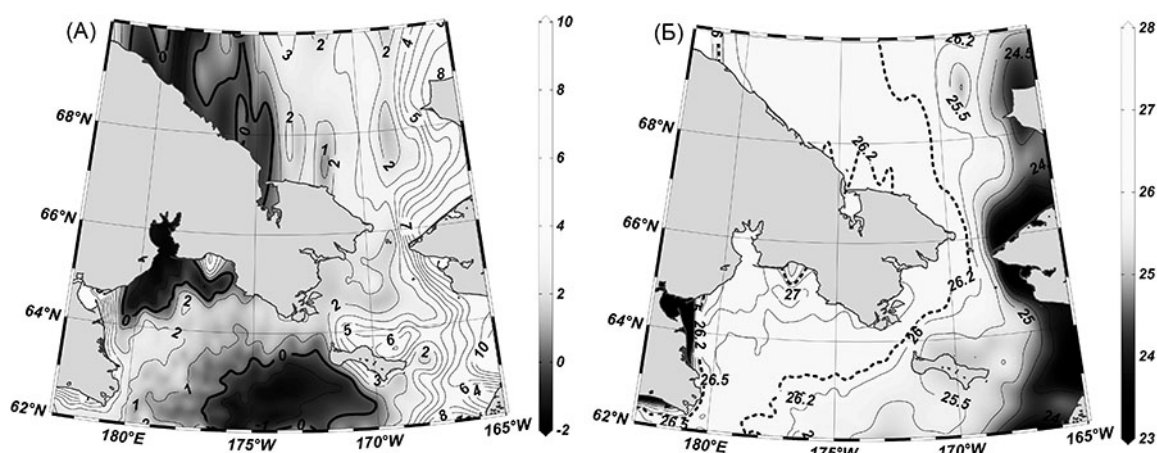


Рис. 9. Температура, °C, (А) и условная плотность, ед., (Б) воды в придонном слое по данным за август–сентябрь 2000–2015 гг.

Условная плотность 26,2 ед. показывает границу между плотными водами на западе и лёгкими водами на востоке СБЧМ

кросс с соавторами [Norcross et al., 2010] считают, что из-за высокой изменчивости водных масс в пространстве и во времени, что показали и наши исследования, трудно точно привязать к ним распределение рыб. Нам также не удалось найти точную привязку рыб к водным массам. Можно только констатировать, что лососи на поверхности встречаются только в БПВ, а придонные скопления промысловых рыб тяготеют к БЛВ.

Мы пока не можем указать основное направление проникновения рыб Берингова моря в Чукотское море: из Анадырского залива или от побережья Аляски. Попробуем предположить миграцию рыб на примере минтая. Отдельные экземпляры пелагического минтая, пойманные при пелагических тралениях в 2007 г. и 2008 г. в центре Чукотского моря, были сильно удалены от основного скопления в Анадырском заливе. Они вполне могли быть мигрантами из ИЭЗ США. В тёплый 2003 г. минтай Чукотского моря наблюдался вблизи Берингова пролива в толще воды, занятой водами БПВ. Сюда минтай мог попасть из центральной части берингоморского шельфа по следу, оставленному БПВ. Данное предположение подтверждается неоднократной поимкой минтая в продолжении БПВ на востоке Чукотского моря [Mecklenburg et al., 2007; Norcross et al., 2010; Logerwell et al., 2015], тогда как в донных тралениях, выполненных

ТИНРО-Центром в западной части Чукотского моря, он отсутствовал.

Многочисленные поимки сеголеток кеты и горбуши в восточной части Чукотского моря [Moss et al., 2009] подтверждают важное значение БПВ в северном перемещении ихтиофауны Берингова моря. В особенности в нынешний тёплый период, когда средняя температура воды по нашим расчётам в 1991–2015 гг. (1991–2008 гг. для Чукотского моря) стала выше, чем в 1971–2000 гг. на 1,0 (поверхность) — 0,2 °C (дно) в северо-западной части Берингова моря и на 0,5 (поверхность) — 0,7 °C (дно) в Чукотском море (рисунок не приводится). Д. Мерфи с соавторами [Murphy et al., 2009] считают, что продолжающееся потепление Арктики может увеличить проникновение покатников чавычи из реки Юкон в Чукотское море. Полагаем, данное предположение можно отнести и к другим видам рыб восточной части Берингова моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён анализ водных масс в СБЧМ с использованием базы океанологических данных WOD, дополненной данными экспедиций ТИНРО-Центр, за период 2000–2015 гг. Отдельно рассмотрены 2003, 2007, 2008 и 2010 гг., когда океанологические и ихтиологические исследования проводились как в Беринговом, так и Чукотском морях. Всего были

выделены шесть водных масс. Четыре водные массы встречаются и в Беринговом, и в Чукотском морях. Ещё по одной водной массе формируются в каждом море в отдельности. Граница между плотными водами на востоке (зона России) и лёгкими водами на западе (зона США) проходит по изолинии плотности 26.2 ед.

На поверхности преобладает БПВ, в вершинах заливов Аляска и Нортон — РЗВ, вдоль сибирского побережья Арктики — СПВ, а у чукотского берега бассейна Чирикова, где происходит интенсивный апвеллинг — БЛВ. В придонном слое картина иная. БПВ встречается только у побережья Аляски, а в других областях Берингова и Чукотского морей преобладает БЛВ. Вне БЛВ небольшие участки заняты ОЗВ и ЗВ с температурой, близкой к точке замерзания воды.

Наваринское течение является основным источником проникновения тёплых солёных продуктивных тихоокеанских вод из Анадырского залива в Чукотское море. Оно формируется весной при ослаблении ветров северных румбов и во второй половине июня достигает Чукотского моря.

Основные скопления рыб были сформированы в Анадырском заливе в области БПВ (лососевые на поверхности) и БЛВ (треска минтай и сельдь в придонном слое). В Чукотском море были пойманы несколько экземпляров взрослой кеты в областях БПВ и СПВ, один экземпляр взрослой особи нерки и три чавычи — в СПВ. В придонном слое были выловлены единичные экземпляры сельди и один экземпляр минтая в БЛВ. Треска не встречалась.

ЛИТЕРАТУРА

- Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б., Слабинский А.М., Борилко О.Ю., Чутьчиков Д.Н., Соколов А.С. 2016. Результаты комплексных исследований в Восточно-Сибирском море в августе 2015 г. // Известия ТИНРО. Т. 186. С. 81–92.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Проект «Моря». 2001. Том X Берингово море, Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. С.-Пб.: Гидрометеоздат. 235 с.
- Дудков С.П. 2010. Межгодовые изменения пространственного соотношения типов вертикальной стратификации вод на северо-западном шельфе Берингова моря летом 2005–2008 гг. // Известия ТИНРО. Т. 162. С. 306–323.
- Маркина Н.П., Хен Г.В. 1990. Основные элементы функционирования пелагических сообществ Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 111. С. 79–92.
- Мастрюков И.С. 2012. Оценка сезонной и межгодовой изменчивости океанологических условий в Беринговом проливе // Метеорология и гидрология. № 11. С. 56–64.
- Науменко Н.И. Биология и промысел морских сельдей дальнего Востока. 2001. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. 330 с.
- Слабинский А.М., Фигуркин А.А. 2014. Структура планктонного сообщества южной части Чукотского моря // Известия ТИНРО. Т. 178. С. 135–147.
- Ушаков М.В. 2016. Нормы и изменчивость годового стока р. Анадырь // Вестник СВНЦ ДВО РАН. № 1. С. 59–65.
- Хен Г.В. 1999. Пространственно-временная характеристика вод Анадырского залива и прилегающей области шельфа в летне-осенний период // Известия ТИНРО. Т. 126. С. 587–602.
- Черешнев И.А., Волобуев В.В., Шестаков А.В., Фролов С.В. 2002. Лососевые рыбы северо-востока России. Владивосток: Дальнаука. 496 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2012. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 2: монография. Владивосток: ТИНРО-Центр. 473 с.
- Boyer, T.P., O.K. Baranova, C. Coleman, H.E. Garcia, A. Grodsky, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, T.D. O'Brien, C.R. Paver, J.R. Reagan, D. Seidov, I.V. Smolyar, K. Weathers, and M.M. Zweng. 2018: World Ocean Database 2018, NOAA Atlas NESDIS87. / A. Mishonov, Technical Ed. Silver Spring, MD, 209 pp.
- Brugler E.T., Pickart R.S., Moore G.W.K., Roberts S., Weingartner T.J., Statscewich H. 2014. Seasonal to interannual variability of the Pacific water boundary current in the Beaufort Sea // Progress in Oceanogr. 127. P. 1–20.
- Coachman L.K., Aagaard K., Tripp R.B. 1975. Bering Strait. The Regional Physical Oceanography. University of Washington Press. Seattle and London. 172 p.
- Danielson S., Aagaard K., Weingartner T., Martin S., Winsor P., Gawarkiewicz G., Quadfasel D. 2006. The St. Lawrence polynya and the Bering shelf circulation: New observations and a model comparison // J. Geophys. Res. 111. C09023, doi:10.1029/2005JC003268.
- Frey K.E., Moore G.W.K., Cooper L.W., Grebmeier J.M. 2015. Divergent patterns of recent sea ice cover across the Bering, Chukchi, and Beaufort seas of the Pacific Arctic Region // Progress in Oceanography. 136. P. 32–49.
- Grebmeier J.M., Cooper L.W., Feder H.M., Sirenko B.I. 2006. Ecosystem dynamics of the Pacific-influenced Northern Bering and Chukchi Seas in the Amerasian Arctic // Progress in Oceanography. 71. P. 331–361.

- Irvine J.R., Macdonald R.W., Brown R.J., Godbout L., Reist J.D., Carmack E.C. 2009. Salmon in the Arctic and how They Avoid Lethal Low Temperatures // NPAFC Bulletin. No 5. P. 39–50. Accessible via: <http://www.npafc.org>.
- Khen G.V. 1999. Hydrography of Western Bering Sea Shelf Water // Dynamics of the Bering Sea / Eds.: T.R. Loughlin, K. Ohtani. Fairbanks: University of Alaska Sea grant. P. 161–176.
- Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. 2013. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // Deep-Sea Res. II. Vol. 94. P. 106–120.
- Kinder T.H., Schumacher J.D. 1981. Hydrographic Structure Over the Continental Shelf of the Southeastern Bering Sea // The Eastern Bering Sea Shelf: Oceanography and Resources. / Eds. D.W. Hood, J.A. Calder. Vol. 1. P. 31–52.
- Logerwell E., Busby M., Carothers C., Cotton S., Duffy-Anderson J., Farley E., Goddard P., Heintz R., Holladay B., Horne J., Johnson S., Lauth B., Moulton L., Neff D., Norcross B., Parker-Stetter S., Seigle J., Sformo T. 2015. Fish communities across a spectrum of habitats in the western Beaufort Sea and Chukchi Sea // Progress in Oceanography. 136. P. 115–132.
- Luchin V., Pantelev G. 2014. Thermal regimes in the Chukchi Sea from 1941 to 2008 // Deep-Sea Res. II. 109. P. 14–26.
- Mecklenburg C.W., Stein D.L., B. Sheiko A., Chernova N.V., Mecklenburg T.A., Holladay B.A. 2007. Russian–American Long-Term Census of the Arctic: Benthic Fishes Trawled in the Chukchi Sea and Bering Strait, August 2004 // Northwestern Naturalist. 88. P. 168–187.
- Moore S.E., Stabeno P.J. 2015. Synthesis of Arctic Research (SOAR) in marine ecosystems of the Pacific Arctic // Progress in Oceanography. 136. P. 1–11.
- Moss J.H., Murphy J.M., Farley Jr. E.V., Eisner L.B., Andrews A. 2009. Juvenile Pink and Chum Salmon Distribution, Diet, and Growth in the Northern Bering and Chukchi Seas // NPAFC Bulletin. No 5. P. 191–196. (Available at <http://www.npafc.org>).
- Murphy J.M., Templin W.D., Farley E.V., Seeb J.E. 2009. Stock-Structured Distribution Juvenile Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) from United States BASIS Surveys, 2002–2007 // NPAFC Bulletin. No 5. P. 51–59.
- Nihoul J.C.J., Adam P., Brasseur P., Deleersnyder E., Djenidi S., Yaus J. 1993. Three-dimensional general circulation model of the northern Bering Sea's summer eohydrodynamics // Continental Shelf Research. Vol. 13. No 5/6. P. 509–542.
- Norcross B.L., Holladay B.A., Busby M.S., Mier K. 2010. Demersal and larval fish assemblages in the Chukchi Sea // Deep-Sea Res. II. 57. P. 57–70.
- Pisareva M.N., Pickart R.S., Spall M.A., Nobre C., Torres D.J., Moore G.W.K., Whitledge T.E. 2015. Flow of pacific water in the western Chukchi Sea: Results from the 2009 RUSALCA expedition // Deep-Sea Res. I 105 53–73.
- Roach A.T., Aagaard K., Pease C.H., Salo S.A., Weingartner T., Pavlov V., Kulakov M. 1995. Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait // J. of Geophys. Res. Vol 100. No C9. P. 18443–18457.
- Shimada K., Carmack E., Hatakeyama K., Takizawa T. 2001. Varieties of shallow temperature maximum waters in the Western Canadian Basin of the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. 28. P. 3441–3444.
- Simpkins M.A., Hiruki-Raring L.N., Sheffield G., Grebmeier J.M., Bengston J.L. 2003. Habitat selection by ice-associated pinnipeds near St. Lawrence Island, Alaska // Polar Biology. 26. P. 577–586.
- Springer A.M., McRoy C.P., Flint M.V. 1996. The Bering Green Belt: shelf-edge processes and ecosystem production // Fisheries oceanography. Vol 5. No 3/4. P. 205–223.
- Stabeno P.J., Danielson S.L., Kachel D.G., Kachel N.B., Mordy C.W. 2016. Currents and transport on the Eastern Bering Sea shelf: An integration of over 20 years of data // Deep-Sea Res. II. 134. P. 13–29.
- Walker R.V., Myers K.W., Davis N.D., Aydin K.Y., Friedland K.D., Carlson H.R., Boehlert G.W., Urawa S., Ueno Y., Anna G. 2000. Diurnal variation in thermal environment experienced by salmonids in the North Pacific as indicated by data storage tags // Fisheries oceanography. 9:2. P. 171–186.
- Walsh J.J., McRoy C.P., Coachman L.K., Goering J.J., Nihoul J.J., Whitledge T.E., Blackburn T.H., Parker P.L., Wirrick C.D., Shuert P.G., Grebmeier J.M., Springer A.M., Tripp R.D., Hansell D.A., Djenidi S., Deleersnyder E., Henricksen K., Lund B.A., Andersen P., Müller-Karger, F.E., Dean, K. 1989. Carbon and nitrogen cycling within the Bering/Chukchi seas: source regions for organic matter effecting AOU demands of the Arctic Ocean // Progress in. Oceanography. 22. P. 277–359.
- Weingartner T.J., Danielson S., Sasaki Y., Pavlov V., Kulakov M. 1999. The Siberian Coastal Current: A wind- and buoyancy-forced Arctic coastal current // Geophys. Res. 109. N12. P. 29697–29713.
- WOD — World Ocean Data Base. Accessible via: https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr_wod.html. 09.09.2018.
- Woodgate R.A., Aagaard K. 2005. Revising the Bering Strait freshwater flux into the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. Vol 32. L02602, doi:10.1029/2004GL021747.
- Woodgate R.A., Weingartner T., Lindsay R. 2010. The 2007 Bering Strait oceanic heat flux and anomalous Arctic sea-ice retreat // Geophys. Res. Letter. 37. L01602.

Поступила в редакцию 10.09.2018 г.
Принята после рецензии 26.10.2018 г.

Aquatic biological resources

Diagnosis and forecasting of habitat conditions of hydrobio

Water masses and fish communities in north-western part of the Bering Sea and western part of the Chukchi Sea in 2003–2010

G.V. Khen¹, E.O. Basyuk¹, K.K. Kivva²

¹ Pacific Research Fisheries Centre (FSBSI «TINRO-Centre»), Vladivostok

² Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

Water mass and some species of commercial fish distribution in north-western part of the Bering Sea and western part of the Chukchi Sea in 2003, 2007, 2008, and 2010 were studied. Pelagic and benthic fish concentrations are reviewed in comparison with corresponding water layers. Six water masses were distinguished in total. Four of them were observed both in the Bering Sea and in the Chukchi Sea; the remaining two water masses are formed in each sea separately. Bering Sea coastal water mass (BCW) predominates in the surface layer. Desalinated water mass of gulf origin (DGW) is being formed in the inner parts of the Gulf of Anadyr and Norton Sound. Siberian coastal water mass (SCW) is found along Siberian coast of the Arctic Ocean. Bering Sea summer water mass (BSW) is observed along the western shore of the Chirikov Basin. Bottom layer BCW is found off the coast of Alaska only, and BSW predominates in other areas of the Bering Sea and the Chukchi Sea. Small areas of the seas are occupied by Pacific winter water (PWW) and recently ventilated winter water (WW) with a temperature close to the freezing point. Main fish concentrations were found in the Gulf of Anadyr in BCW area (salmons in the surface layer) and in BSW (cod, Pollock, and herring in the bottom layer). In the Chukchi Sea, only few individuals of mature Chum salmon were caught in BCW and SCW areas, and one individual of red salmon and three individuals of Chinook were caught in BCW area.

Keywords: Bering Sea, Chukchi Sea, water masses, salmon *Oncorhynchus*, pollock *Theragra chalcogramma*, cod *Gadus macrocephalus*, herring *Clupea pallasii*.

REFERENCES

- Glebov I.I., Nadtichy V.A., Savin A.B., Slabinsky A.M., Borilko O., Yu., Chulchekov D.N., Sokolov A.S. 2016. Rezul'taty kompleksnyh issledovaniy v Vostochno-Sibirskom more v avguste 2015 g. [Results of complex surveys in the East Siberian Sea in August 2015] // Izvestiya TINRO Vol. 186. P. 81–92.
- Gidrometeorologiya i gidrohimiya morej. Proekt «Morya». 2001. Tom X Beringovo more, Vyp.2 Gidrohimicheskie usloviya i okeanologicheskie osnovy formirovaniya biologicheskoy produktivnosti. S. — P.: Gidrometeoizdat. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Project “The Seas”. 2001. Vol. X. Bering Sea. Issue 2. Hydrochemical conditions and oceanographic bases of formation of biological productivity. Saint-Petersburg. Hydrometeoizdat].
- Dudkov S.P. 2010. Mezhgodovye izmeneniya prostranstvennogo sootnosheniya tipov vertikal'noj stratifikatsii vod na severo-zapadnom shel'fe Beringova morya letom 2005–2008 gg. [Interannual variability of spatial arrangement of the types of vertical thermohaline structure on the northwestern shelf of Bering Sea in summer-autumn, 2005–2008] // Izvestiya TINRO. Vol. 162. P. 306–323.

- Markina N.P., Khen G.V. 1990. Osnovnye ehlementy funkcionirovaniya pelagicheskikh soobshchestv Beringova moray [The basic elements of functioning of pelagic communities in the Bering Sea] // *Izvestiya TINRO*. Vol. 111. P. 79–92.
- Mastryukov S.I. 2012. Ocenka sezonnoj i mezhgodovoj izmenchivosti okeanologicheskikh uslovij v Beringovom prolive [Estimation of seasonal and long-term variability of oceanological conditions in the Bering Strait] // *Russian Hydrology and Meteorology*. Vol. 11. P. 56–64.
- Naumenko, N.I. 2001. *Biologiya i promysel morskikh sel'dej Dal'nego Vostoka* [Marine Herring Biology and Harvest in the Far East]. Kamchatka Printing House, Petropavlovsk-Kamchatsky. 330p.
- Slabinsky A.N., Figurkin A.L. 2014. Struktura planktonnogo soobshchestva yuzhnoj chasti Chukotskogo morya [Structure of plankton community in the southern part of the Chukchi Sea in summer period] // *Izvestiya TINRO*. Vol. 178. P. 135–147.
- Ushakov M.V. 2016. Norma i izmenchivost' godovogo stoka r. Anadyr' [The Anadyr river annual runoff: norm and variation] // *Vestnik SVNC DVO RAN*. N. 1. P. 59–65.
- Khen G.V. 1999. Prostranstvenno-vremennaya harakteristika vod Anadyrskogo zaliva i prilegayushchej oblasti shel'fa v letne-osennij period [Spatial and temporal characteristic of the water masses in the Culf of Anadyr and adjacent area in summer-autumn] // *Izvestiya TINRO*. Vol. 126. P. 587–602.
- Chereshnev I.A., Volobuev V.V., Shestakov A.V., Frolov S.V. 2002. Lososevye ryby severo-vostoka Rossii [Salmonoid fishes Russian North-East]. Vladivostok: Dalnauka. 496 pp.
- Shuntov V.G., Temnych O.S. 2011. Tihookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ehkositemah [Pacific Salmon in marine and oceanic ecosystems]. Vol. 2. Vladivostok: TINRO-Center. 473 pp.
- Boyer, T.P., O.K. Baranova, C. Coleman, H.E. Garcia, A. Grodsky, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, T.D. O'Brien, C.R. Paver, J.R. Reagan, D. Seidov, I.V. Smolyar, K. Weathers, and M.M. Zweng. 2018: World Ocean Database 2018, NOAA Atlas NESDIS87. / A. Mishonov, Technical Ed. Silver Spring, MD, 209 pp.
- Brugler E.T., Pickart R.S., Moore G.W.K., Roberts S., Weingartner T.J., Statscewich H. 2014. Seasonal to interannual variability of the Pacific water boundary current in the Beaufort Sea // *Progress in Oceanogr.* 127. P. 1–20.
- Coachman L.K., Aagaard K., Tripp R.B. 1975. *Bering Strait. The Regional Physical Oceanography*. University of Washington Press. Seattle and London. 172 p.
- Danielson S., Aagaard K., Weingartner T., Martin S., Winsor P., Gawarkiewicz G., Quadfasel D. 2006. The St. Lawrence polynya and the Bering shelf circulation: New observations and a model comparison // *J. Geophys. Res.* 111. C09023, doi:10.1029/2005JC003268.
- Frey K.E., Moore G.W.K., Cooper L.W., Grebmeier J.M. 2015. Divergent patterns of recent sea ice cover across the Bering, Chukchi, and Beaufort seas of the Pacific Arctic Region // *Progress in Oceanography*. 136. P. 32–49.
- Grebmeier J.M., Cooper L.W., Feder H.M., Sirenko B.I. 2006. Ecosystem dynamics of the Pacific-influenced Northern Bering and Chukchi Seas in the Amerasian Arctic // *Progress in Oceanography*. 71. P. 331–361.
- Irvine J.R., Macdonald R.W., Brown R.J., Godbout L., Reist J.D., Carmack E.C. 2009. Salmon in the Arctic and how They Avoid Lethal Low Temperatures // *NPAFC Bulletin*. No 5. P. 39–50. Accessible via: <http://www.npafc.org>.
- Khen G.V. 1999. Hydrography of Western Bering Sea Shelf Water // *Dynamics of the Bering Sea* / Eds.: T.R. Loughlin, K. Ohtani. Fairbanks: University of Alaska Sea grant. P. 161–176.
- Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. 2013. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // *Deep-Sea Res. II*. Vol. 94. P. 106–120.
- Kinder T.H., Schumacher J.D. 1981. Hydrographic Structure Over the Continental Shelf of the Southeastern Bering Sea // *The Eastern Bering Sea Shelf: Oceanography and Resources*. / Eds. D.W. Hood, J.A. Calder. Vol. 1. P. 31–52.
- Logerwell E., Busby M., Carothers C., Cotton S., Duffy-Anderson J., Farley E., Goddard P., Heintz R., Holladay B., Horne J., Johnson S., Lauth B., Moulton L., Neff D., Norcross B., Parker-Stetter S., Seigle J., Sformo T. 2015. Fish communities across a spectrum of habitats in the western Beaufort Sea and Chukchi Sea // *Progress in Oceanography*. 136. P. 115–132.
- Luchin V., Panteleev G. 2014. Thermal regimes in the Chukchi Sea from 1941 to 2008 // *Deep-Sea Res. II*. 109. P. 14–26.
- Mecklenburg C.W., Stein D.L., B. Sheiko A., Chernova N.V., Mecklenburg T.A., Holladay B.A. 2007. Russian–American Long-Term Census of the Arctic: Benthic Fishes Trawled in the Chukchi Sea and Bering Strait, August 2004 // *Northwestern Naturalist*. 88. P. 168–187.
- Moore S.E., Stabeno P.J. 2015. Synthesis of Arctic Research (SOAR) in marine ecosystems of the Pacific Arctic // *Progress in Oceanography*. 136. P. 1–11.
- Moss J.H., Murphy J.M., Farley Jr. E.V., Eisner L.B., Andrews A. 2009. Juvenile Pink and Chum Salmon

- Distribution, Diet, and Growth in the Northern Bering and Chukchi Seas // NPAFC Bulletin. No 5. P. 191–196. (Available at <http://www.npafc.org>).
- Murphy J.M., Templin W.D., Farley E.V., Seeb J.E. 2009. Stock-Structured Distribution Juvenile Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) from United States BASIS Surveys, 2002–2007 // NPAFC Bulletin. No 5. P. 51–59.
- Nihoul, J.C.J., Adam P., Brasseur P., Deleersnyder E., Djenidi S., Yaus J. 1993. Three-dimensional general circulation model of the northern Bering Sea's summer eohydrodynamics // Continental Shelf Research. Vol. 13. No 5/6. P. 509–542.
- Norcross B.L., Holladay B.A., Busby M.S., Mier K. 2010. Demersal and larval fish assemblages in the Chukchi Sea // Deep-Sea Res. II. 57. P. 57–70.
- Pisareva M.N., Pickart R.S., Spall M.A., Nobre C., Torres D.J., Moore G.W.K., Whitedge T.E. 2015. Flow of pacific water in the western Chukchi Sea: Results from the 2009 RUSALCA expedition // Deep-Sea Res. I 105 53–73.
- Roach A.T., Aagaard K., Pease C.H., Salo S.A., Weingartner T., Pavlov V., Kulakov M. 1995. Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait // J. of Geophys. Res. Vol 100. No C9. P. 18443–18457.
- Shimada K., Carmack E., Hatakeyama K., Takizawa T. 2001. Varieties of shallow temperature maximum waters in the Western Canadian Basin of the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. 28. P. 3441–3444.
- Simpkins M.A., Hiruki-Raring L.N., Sheffield G., Grebmeier J.M., Bengston J.L. 2003. Habitat selection by ice-associated pinnipeds near St. Lawrence Island, Alaska // Polar Biology. 26. P. 577–586.
- Springer A.M., McRoy C.P., Flint M.V. 1996. The Bering Green Belt: shelf-edge processes and ecosystem production // Fisheries oceanography. Vol 5. No 3/4. P. 205–223.
- Stabeno P.J., Danielson S.L., Kachel D.G., Kachel N.B., Mordy C.W. 2016. Currents and transport on the Eastern Bering Sea shelf: An integration of over 20 years of data // Deep-Sea Res. II. 134. P. 13–29.
- Walker R.V., Myers K.W., Davis N.D., Aydin K.Y., Friedland K.D., Carlson H.R., Boehlert G.W., Urawa S., Ueno Y., Anma G. 2000. Diurnal variation in thermal environment experienced by salmonids in the North Pacific as indicated by data storage tags // Fisheries oceanography. 9:2. P. 171–186.
- Walsh J.J., McRoy C.P., Coachman L.K., Goering J.J., Nihoul J.J., Whitedge T.E., Blackburn T.H., Parker P.L., Wirick C.D., Shuert P.G., Grebmeier J.M., Springer A.M., Tripp R.D., Hansell D.A., Djenidi S., Deleersnyder E., Henricksen K., Lund B.A., Andersen P., Müller-Karger, F.E., Dean, K. 1989. Carbon and nitrogen cycling within the Bering/Chukchi seas: source regions for organic matter effecting AOU demands of the Arctic Ocean // Progress in. Oceanography. 22. P. 277–359.
- Weingartner T.J., Danielson S., Sasaki Y., Pavlov V., Kulakov M. 1999. The Siberian Coastal Current: A wind- and buoyancy-forced Arctic coastal current // Geophys. Res. 109. N12. P. 29697–29713.
- WOD — World Ocean Data Base. Accessible via: https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr_wod.html. 09.09.2018.
- Woodgate R.A., Aagaard K. 2005. Revising the Bering Strait freshwater flux into the Arctic Ocean // Geophys. Res. Lett. Vol 32. L02602, doi:10.1029/2004GL021747.
- Woodgate R.A., Weingartner T., Lindsay R. 2010. The 2007 Bering Strait oceanic heat flux and anomalous Arctic sea-ice retreat // Geophys. Res. Letter. 37. L01602.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Surveys dates, number of CTD stations and trawl operations, carried out in the north-western part of the Bering Sea and in the south-western part of the Chukchi Sea in 2003, 2007, 2008 and 2010.

Table 2. Types of years in the northern Bering Sea (relative to 1991–2015) and in the Chukchi Sea [according to Luchin and Panteleev, 2014 and our data]

Table 3. Number and length (cm) of salmon which were caught in the Chukchi Sea

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Distribution of CTD stations carried out in August-September of 2003, 2007, 2008 and 2010 in the north-western Bering and southern Chukchi Seas (A-D, respectively). CTD stations, indicated by circles, were carried out by TINRO-Center. 1-hour trawling operations were carried out at the same locations in pelagic or benthic layers. CTD stations, marked with crosses, were taken from World Ocean Data Base [Boyer et al., 2013]. Approximate position of the Navarin Current and the Alaska Coastal Current (A), as well as oceanographic sections (D), is present

Fig. 2. Distribution of CTD stations carried out in August-September of 2000–2015 in the north-western Bering and in the southern Chukchi Seas (A). The legend is in figure 1. T, S-diagram of water properties with 1-meter vertical resolution (B). Full names of water masses are in the text

Fig. 3. Distribution of water masses in August-September of 2000–2015 at 5 m (A), and bottom layer (B). The darker fill indicates water depth more than 50 m. Water masses are marked at selected stations in order to illustrate areas with similar water. See text for full names of water masses

Fig. 4. Temperature, density and water mass distribution along “black” (A, B, C) and “grey” (D, E, F, respectively) sections (figure 1 for sections locations) in August-September of 2010. Bold lines indicate 3 °C isotherm (lower boundary of thermocline) and density anomaly 26.2 (boundary between dense and light waters)

Fig. 5. Inter-annual variability of sea surface (A) and bottom temperature (B) anomaly in the north-western Bering Sea in summer. Anomalies are related to the mean values for 1991–2015

Fig. 6. Spatial water mass distribution in August-September of 2003, 2007, 2008 and 2010 at 5, 20, 30 m, and in bottom layer. Dark background illustrates water depth more than 50 m. The legend is in fig 3

Fig. 7. Water mass area contours at 5 m with catches of Chum, red and Chinook salmon in pelagic trawls in 2003, 2007, and 2008. Legend: 1 — BCW, 2 — BSW, 3 — SCW, 4 — PWW, 5 — WW

Fig. 8. Water mass area contours in bottom layer along with catches of Walleye Pollock, cod, and herring in the bottom trawls in 2008 and 2010. The legend is in fig. 7

Fig. 9. Temperature (A) and density anomaly (B) distribution in the bottom layer based on August-September data of 2000–2015. Density anomaly 26.2 shows the boundary between dense waters in the west and light waters in the east of north-western Bering and southern Chukchi Seas area (NBSC area)