

**Среда обитания  
водных биологических ресурсов**

УДК [639.2.053.1:551.5]:639.211

**Влияние климато-океанологических факторов  
на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг.**

*Б.Н. Котенёв, А.С. Кровнин, Н.В. Кловач, Н.В. Мордасова, Г.П. Мурый*

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

E-mail: marecol@vniro.ru

Рассмотрена зависимость динамики уловов основных (камчатских, сахалино-курильских) запасов горбуши от термических условий в главных районах нагула в окраинных морях и океане. При потеплении в океане, но при похолодании морских вод (1950-е – 1960-е гг.) уловы резко снижались, поскольку численность горбуши формировалась на эстuarно-прибрежной стадии жизненного цикла. При потеплении в морях и океане создавались условия для роста уловов (1970-е гг.). При похолодаии вод в окраинных морях и океане (1984–1988 гг.) численность и масса горбуши снижались. Общее потепление вод Северной Пацифики обусловило формирование благоприятных условий (мягкие зимы, увеличение биомассы зоопланктона) для увеличения уловов (1990–2000 гг.). Синхронное потепление вод в районах, охватывающих все стадии развития горбуши, и особенно потепление в прибрежной зоне обеспечили рекордные уловы горбуши (1991 г.; 2005–2012 гг.). Современный переход от благоприятного климатического режима 1990-х – 2000-х гг. к новому, малоблагоприятному, режиму 2020-х – 2030-х гг. сопровождается увеличением частоты сильных похолоданий в окраинных морях, что уже привело к резкому снижению уловов горбуши в СЗТО в 2012–2015 гг.

**Ключевые слова:** горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, Охотское море, Берингово море, аномалии температуры воды, теплосодержание, районы нагула, климатические и океанологические индексы.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основу общего вылова азиатских лососей составляет горбуша. Её основные запасы сосредоточены в Камчатском и Сахалино-Курильском регионах. Влияние локальных гидрометеорологических факторов, таких как температура, солёность, ветровое волнение, ледовитость, водность рек, на уловы горбуши в этих регионах изучены и обобщены в обзорных статьях и монографиях [Бирман, 1985; Волобуев, Марченко, 2011; Иванков, 1984; Каев, 2003, 2011, 2012; Каев и др., 2012; Карпенко, 1998; Карпенко и др., 2013; Радченко, 2001, 2006, 2008; Радченко, Рассадников, 1997;

Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2008, 2011]. Однако установленные связи между локальными условиями обитания и уловами горбуши практически не принимаются во внимание при разработке прогнозов возможного вылова. В результате возникают большие ошибки, которые дорого обходятся промысловикам.

Настоящая работа преследует две цели. Первая — обратить внимание специалистов на необходимость учёта локальных условий среды, влияющих на будущий возврат лососей, при разработке прогнозов. В период нереста и посленерестовый период следует обязательно учитывать водность рек, особенно сильные па-

**Таблица 1.** Крупномасштабные климато-океанологические факторы, определяющие динамику локальных гидрометеорологических характеристик

Основные климатические и океанологические индексы	Источник
Зимний восточно-азиатский муссон — ВАМ (MOI)	Tian et al., 2008
Западно-Тихоокеанское колебание дальней связи в поле АТ500 — ЗТ (WP)	Wallace, Gutzler, 1981
Северо-Тихоокеанское колебание — СТК (NPO)	Rogers, 1981
Взаимосвязь СТО и ЗТ	Linkin, Nigam, 2008
Осцилляция северо-тихоокеанских круговоротов — ОСТК (NPGO)	Di Lorenzo et al., 2008
Тихоокеанско-Североамериканское колебание дальней связи в поле АТ <sub>500</sub> — ТСА (NPA)	Trenberth et al., 1998
Северо-Тихоокеанский индекс — СТИ (NPI), показатель интенсивности Алеутского минимума	Trenberth, Hurrell, 1994
Тихоокеанская декадная осцилляция — ТДО (PDO)	Mantua et al., 1997
Моды взаимодействия Северной Пацифики и Северной Атлантики	Krovnin et al., 2014, 2015
Северо-Атлантическое колебание — САК (NAO)	Hurrell, 1995
Атлантическая многодекадная осцилляция — АМО (AMO)	Kerr, 2000
Эль-Ниньо — Южное колебание — ЭНЮК (El Nino — Southern Oscillation)	Trenberth, 1991
Арктическая осцилляция дальней связи в поле АТ500 — АО (AO)	Thompson, Wallace, 1998

водки, а во время ската и раннего морского на- гула — аномалии температуры воды в прибреж- ной зоне, в море и районе зимнего океаниче- го нагула. Вторая цель работы — показать не- обходимость учёта изменений крупномас- штабных климато-океанологических факторов (табл. 1). Это особенно важно для последних лет (2012–2015 гг.), которые можно охарак- теризовать как начало перехода от благоприят- ного для выживания и роста горбуши климати- ческого режима 1990-х – 2000-х гг. к новому, скорее всего, малоблагоприятному режиму в 2020–2030-е гг. Как правило, в переходные периоды резко возрастает амплитуда колебаний локальных и крупномасштабных факторов, соз- давая неблагоприятные условия на всех крити- ческих стадиях жизни горбуши. В последних обобщающих работах [Второй оценочный до- клад..., 2014; Хен и др., 2014] уже дана ха- рактеристика значительным изменениям, происходящим в основных центрах действия атмосферы: Сибирском и Северо-Тихоокеан- ском антициклонах, Алеутском минимуме ат- мосферного давления, Дальневосточной депре- сии, а также в Арктике.

В настоящей работе обзор влияния локаль- ных и региональных климато-океанологических факторов на уловы горбуши дан по двадцати-

летиям: 1950-е – 1960-е, 1970-е – 1980-е, 1990-е – 2000-е гг. Отдельный раздел посвя- щён началу перехода к новому климатическому режиму в 2012–2015 гг.

Для характеристики термического режима вод в районах нагула использованы аномалии температуры поверхности океана (АТПО) и аномалии теплосодержания вод в слоях 0–200 м и 200–500 м в районах морского и океаниче- ского нагула. Последние, помимо ветрового воздействия на термическое состояние вод, от- ражают также влияние течений и водообмен краевых морей с океаном. Для аномалий теплосодержания характерна долговременность их существования. Следовательно, они имеют прогностическое значение.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы массивы среднеме- сячных значений температуры поверхности океана (ТПО) в северных частях Тихого и Ат- лантического океанов и геопотенциальных вы- сот на поверхности 500 гПа в северном полу- шарии за период 1950–2014 гг. Данные по ТПО в узлах регулярной двухградусной сетки взяты из массива ERSST v.3b [Smith et al., 2008; HYPERLINK "http://www.ncdc.noaa.gov/ersst" www.ncdc.noaa.gov/ersst]. Данные

по геопотенциальным высотам представляют собой результат глобального реанализа, проведённого Национальным центром прогнозов среды и Национальным центром атмосферных исследований США [Kalnay et al., 1996], и имеются в свободном доступе на сайте <http://www.esrl.noaa.gov>. Среднемесячные значения индексов ЗТ, ТСА и ТДО взяты с сайта Лаборатории исследования систем земли по адресу: [www.esrl.noaa.gov/ped/data/climateindices](http://www.esrl.noaa.gov/ped/data/climateindices), а таковые для индекса ОСТК — с сайта [www.03d.org/npgc/npgc.php](http://www.03d.org/npgc/npgc.php).

Расчёт эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) совместного поля средних зимних (январь–апрель) АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов проводился с использованием компьютерной программы, разработанной Дэвидом Пирсом (David W. Pierce) из Скрипсовского Института Океанографии (США) и существенно модифицированной сотрудником лаборатории климатических основ биопродуктивности ВНИРО Г.П. Мурым. Текст исходной программы доступен на сайте <http://meteora.ucsd.edu/~pierce/eof/eofs.html>

Временные ряды аномалий ТПО, рассчитанные относительно базового периода 1971–2000 гг., были нормированы на соответствующее среднеквадратичное отклонение.

Теплосодержание ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) слоя воды рассчитывалось по формуле [Богданов, 1965]:

$$Q = \int_{z1}^{z2} \rho \delta T dz ,$$

где  $z1$  и  $z2$ , соответственно, граничные горизонты слоя воды;  $\rho$  — плотность морской воды;  $\delta$  — удельная теплоёмкость морской воды;  $T$  — температура морской воды;  $dz$  — толщина элементарного слоя.

Для расчёта плотности и удельной теплоёмкости морской воды использованы тексты процедур на языке программирования Фортран, приведённые в [Архипкин, 1992; Fofonoff, Millard, 1983].

Основой для расчётов послужил разрабатываемый Гадлеевским Центром климатических прогнозов массив EN4 [Good et al., 2013], доступный на сайте Метеорологической службы Великобритании (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/index.html>). Данний

массив содержит результаты объективного анализа полей температуры и солёности Мирового океана в узлах регулярной сетки с шагом  $1^\circ$  по широте и долготе.

Аномалии теплосодержания рассчитывались относительно нормы за период 1971–2000 гг. Границы районов в северо-западной части Тихого океана, для которых были сделаны расчёты, приведены в табл. 2.

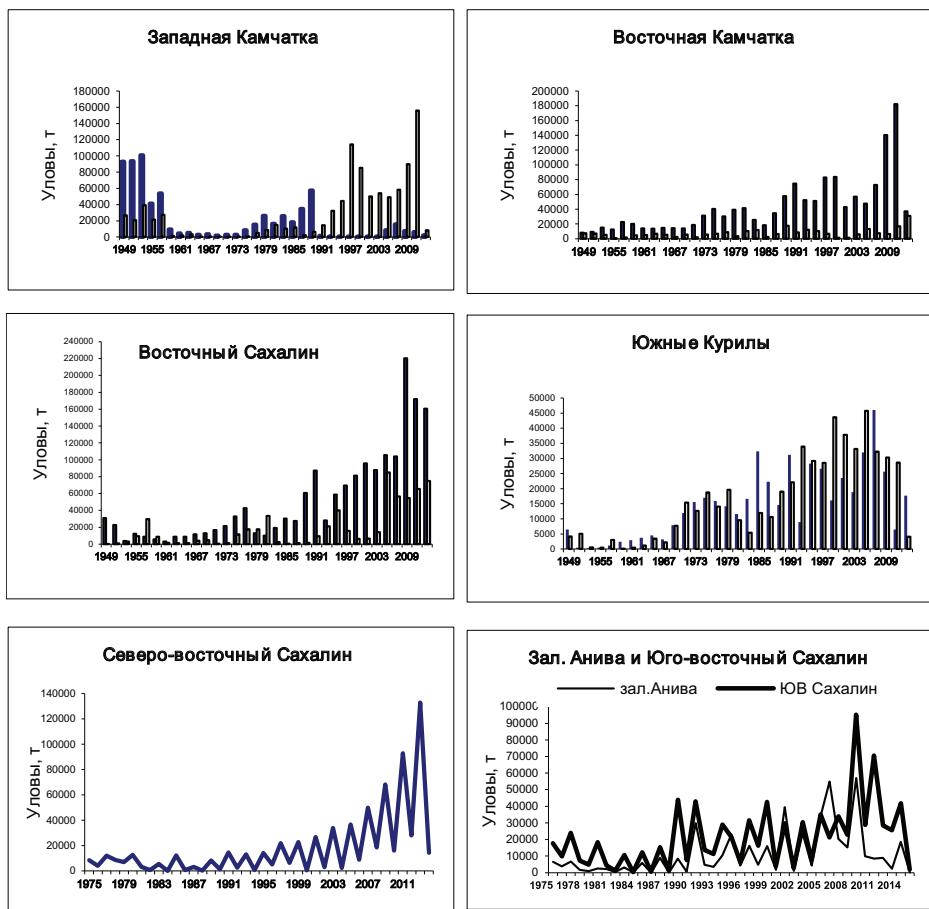
**Таблица 2.** Границы районов в северо-западной части Тихого океана для расчёта теплосодержания

№ п/п	Название района	Границы районов			
		Южная с.ш.	Северная с.ш.	Западная в.д.	Восточная в.д.
1	Северная часть Охотского моря	51°	54°	148°	153°
2	Курильская котловина	46°	48°	146°	150°
3	Командорская котловина	56°	59°	166°	170°
4	Прикурильский район	41°	44°	148°	168°

Данные по уловам горбуши в российских водах в период с 1950 по 1970 гг. взяты из справочника «Уловы тихоокеанских лососей (1900–1986 гг.)» [1989], а статистика уловов за 1971–2014 гг. — с сайта НПАФК ([www.npacfc.org](http://www.npacfc.org)).

### *Влияние локальных и крупномасштабных климато-океанологических факторов на долговременные изменения уловов горбуши в 1950–2012 гг.*

*Низкие уловы горбуши (от 2–3 до 15–20 тыс. т) в 1950-е – 1960-е гг. Как в Охотском, так и в Беринговом морях 1950-е – 1960-е гг. характеризовались низкими уловами горбуши всех её основных единиц запасов (рис. 1). Низкие уловы в этот период хорошо коррелируют с отрицательными аномалиями среднезимней ТПО. При этом в Охотском море абсолютные значения майских аномалий были в 1,5 раза выше среднезимних, тогда как в Беринговом море они, наоборот, понижались, приближаясь к норме (рис. 2). По-видимому, такая ситуация с более высокой зимней и ве-*



**Рис. 1.** Уловы горбуши в основных районах её промысла (1949–2015 гг.)  
(светлые столбики — чётные годы; тёмные — нечётные).

Два нижних графика: динамика уловов горбуши Восточного Сахалина по отдельным районам (1975–2015 гг.).

сенной температурой воды в Беринговом море объясняет более высокие уловы горбуши (до 15–20 тыс. т в нечётные годы) здесь в 1950-е – 1960-е гг. по сравнению с Охотским морем (рис. 1).

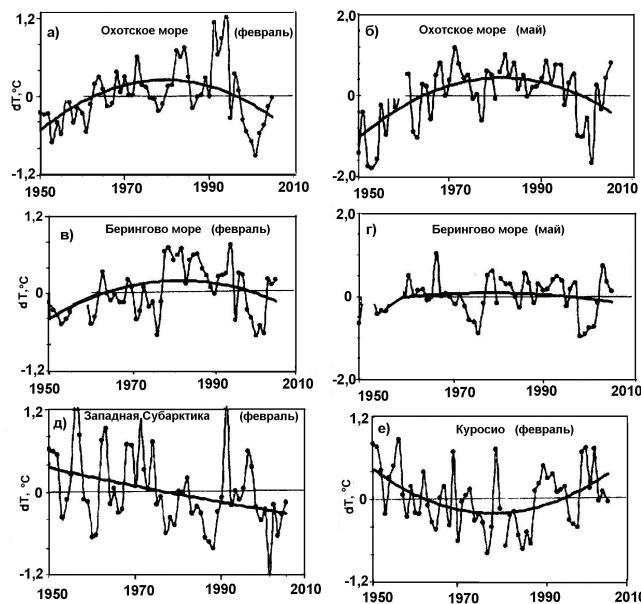
В целом низкая выживаемость молоди горбуши в обоих морях, скорее всего, была связана с низкими температурами воды в прибрежной зоне и в районах морского нагула. Наблюдения у о. Итуруп [Иванков, 1984] подтверждают эти предположения. На протяжении холодного десятилетия 1950-х гг. три года (1953, 1957, 1959 гг.) были крайне холодными. На прибрежных участках моря среднесуточная температура воды в мае–июне часто составляла 3,3–3,4 °C, в то время как средняя температура воды в мае–июне равнялась 4,0 °C в нечётные годы и 5,1 °C в чётные годы.

Установлено, что для выживания молоди лососей западной и восточной Камчатки, северо-

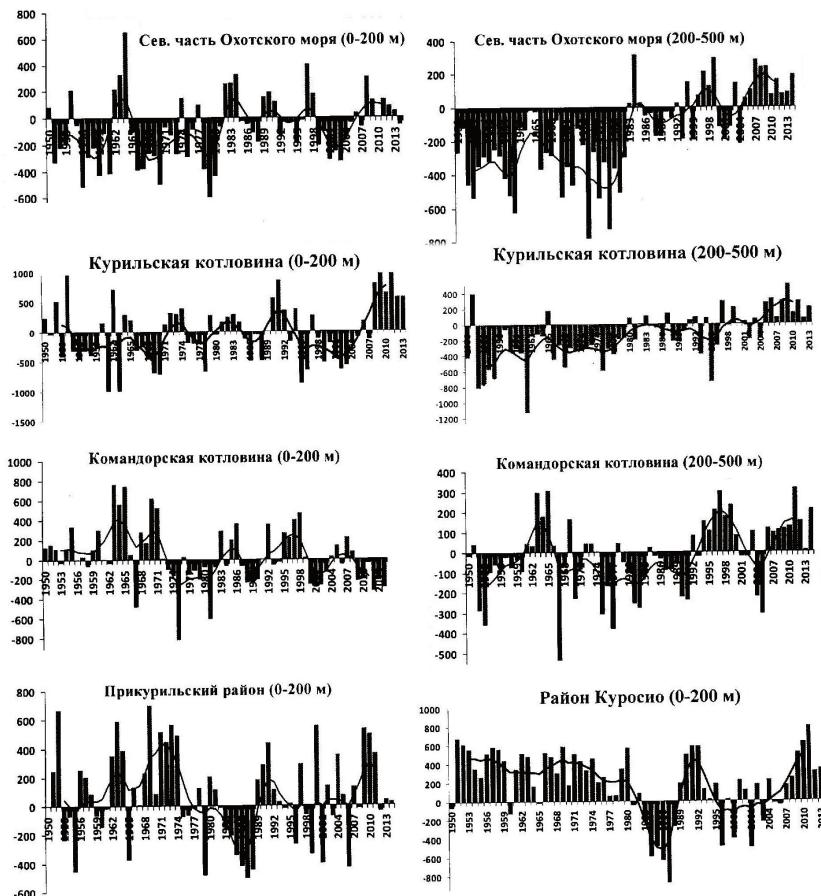
восточного и юго-восточного Сахалина и зал. Анива (рис. 1) оптимальный диапазон температур в прибрежных районах составляет 8,0–12,5 °C [Карпенко, 1998]. Таким образом, в период 1950-х – 1960-х гг. в крайне холодные годы температурные условия для выживания молоди горбуши в прибрежной зоне Южных Курил были в 2–3 раза хуже оптимального температурного диапазона.

Как отмечал В.Н. Иванков [1984], потепление прибрежных вод в районе Южных Курил и у о. Хоккайдо в северной части Японского моря началось во второй половине 1960-х гг., что сопровождалось ростом уловов горбуши (рис. 1).

В 1950-е – 1960-е гг. в пределах района морского нагула горбуши в обоих морях также отмечались отрицательные аномалии теплосодержания, причём не только в слое 0–200 м, но и ниже – в слое 200–500 м (рис. 3).



**Рис. 2.** Многолетняя изменчивость и нелинейный тренд ТПО в различных областях северной части Тихого океана: а) Охотское море, февраль; б) Охотское море, май; в) Берингово море, февраль; г) Берингово море, май; д) западная субарктика, 40–50° с.ш.; 150° в.д. – 170° з.д., февраль; е) Куросио, 30–40° с.ш.; 140° в.д. – 170° з.д., февраль [Хен, Сорокин, 2008]

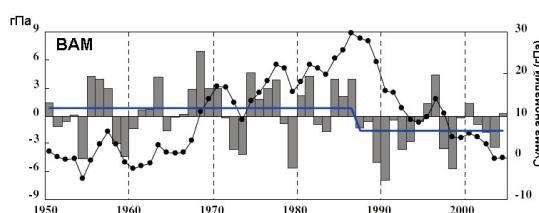


**Рис. 3.** Среднезимние (январь–апрель) аномалии теплосодержания ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) в районах нагула горбуши. Сплошная линия — 7-летнее сглаживание

В то же время температурные условия в районах океанического нагула горбуши, а также в районе Курсио были благоприятными: наблюдались положительные аномалии ТПО и теплосодержания в обоих слоях (0–200, 200–500 м). Благоприятные океанические условия в рассматриваемые годы подтверждаются высокой массой производителей горбуши — до 1,9 кг.

Таким образом, 1950-е – 1960-е гг. характеризовались противофазным развитием локальных гидрометеорологических условий в раннем эстуарно-прибрежном и морском периодах жизненного цикла горбуши, которые были неблагоприятными для выживания и роста её молоди, тогда как условия в океанические зимне-весенне-летние периоды нагула по температурным показателям были благоприятными.

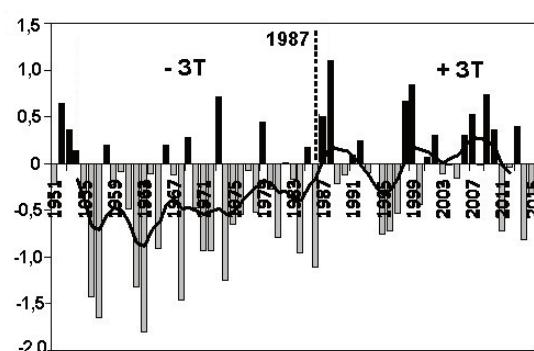
Холодные зимы в краевых морях могут иметь место при интенсивном зимнем муссоне. Однако интегральная кривая аномалий его индекса указывает на его усиление только со второй половины 1960-х гг. (рис. 4), вслед за интенсификацией Сибирского антициклона [Savelieva et al., 2000].



**Рис. 4.** Динамика аномалий зимнего индекса восточно-азиатского муссона (BAM) и интегральная кривая его аномалий (гПа) [Tian et al., 2008]

Следовательно, указанный региональный фактор не может быть причиной противофазности изменений тепловых условий в краевых морях и в океаническом районе нагула (рис. 2, 3), а также развития отрицательных аномалий теплового запаса в краевых морях на глубинах до 500 м. По-видимому, отмеченные особенности обусловлены спецификой циркуляции атмосферы и динамики вод. В работах [Cavalieri, Parkinson, 1987; Fang, Wallace, 1998] показано, что противофазность изменений ледовитости в Охотском и Беринговом морях, а также ледовитости Охотского моря и ТПО в районе Ку-

росио, контролируется зимним индексом ЗТ с задержкой в один месяц. Когда аномалии в поле AT500 положительны в северном центре диаполя ЗТ ( $60^{\circ}$  с.ш.,  $150^{\circ}$  в.д.) и отрицательны в его южном центре ( $30^{\circ}$  с.ш.,  $150^{\circ}$  в.д.), атмосферное давление в северной части квазистационарной Восточно-Азиатской ложбины ниже нормы, а траектории циклонов расположены севернее их среднемноголетнего положения. При такой ситуации Сибирский антициклон, Алеутский минимум и зимний муссон ослаблены, что и было характерно для 1950-х – 1960-х гг. В результате вместо ветров северных румбов в этот период над Охотским морем преобладали восточные ветры, которые и вызывали развитие ледового покрова. Одновременно в Беринговом море юго-восточные ветры препятствовали росту льда в южном направлении. Из-за ослабления северных ветров восточнее Японии, над прикурильским районом нагула и в районе Курсио формировались положительные аномалии ТПО и теплосодержания. Таковы особенности циркуляции атмосферы в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) при отрицательной фазе ЗТ, которая установилась в 1956 г. и закончилась в 1986 г. (рис. 5).



**Рис. 5.** Динамика среднезимнего (декабрь-март) индекса ЗТ в 1950–2015 гг. Чёрная линия соответствует 7-летнему скользящему осреднению; вертикальная пунктирная линия — переход индекса от отрицательной к положительной фазе зимой 1986–1987 гг.

С момента её установления началось резкое снижение уловов горбуши у Западной Камчатки (рис. 1): в 1949–1953 гг. их уровень был высок (95–100 тыс. т), в 1955 и 1957 гг. уловы снизились в 2 раза — до 41 и 50 тыс. т, а в 1959 г. — до 9 тыс. т. Таким образом, за 6 лет

уловы понизились в 10 раз. Резкое падение уловов у о. Итуруп также произошло в 1950-х гг. [Иванков, 1984]. Безусловно, в это падение внес свой вклад и крупномасштабный морской японский промысел, который закончился только в 1977 г. В 1956 г. у Восточного Сахалина улов достигал 30 тыс. т, а в 1958 г. снизился до 10 тыс. т (рис. 1).

Большие отрицательные аномалии теплосодержания в краевых морях, которые наблюдались в верхнем 500-метровом слое были связаны с особенностями циркуляции вод в СЭТО и краевых морях и, конечно, с процессами ветрового воздействия и ледовитости.

По мнению А.Г. Андреева [Andreev, 2009], механизм охлаждения вод в краевых морях в 1950-е гг. был связан с интенсификацией Западного субарктического круговорота, которая сопровождалась значительной адвекцией его вод в Берингово море. Это приводило к усилению Восточно-Камчатского течения и поступлению его холодных вод в Охотское море. Действительно, рассмотренная схема подтверждается большими расходами как Восточно-Камчатского течения и Ойясио, так и Восточно-Сахалинского течения в 1950-е и первой половине 1960-х гг. [Andreev, 2009].

Другой важный крупномасштабный климатический фактор снижения уловов горбуши связан с изменением положения и уменьшением расходов течения Куросио — главного источника тепла и влаги не только в пределах СЭТО, но и всей Северной Пацифики [Kwon et al., 2010]. В 1950-е – 1960-е гг. происходило смещение Продолжения Куросио на юг и уменьшение его расходов [Кун и др., 1978]. Вероятно, резко снижался также приток тёплых вод течения Соя. Следовательно, площадь субтропического круговорота течений сокращалась и тем самым снижалось его воздействие на районы нагула через уменьшение потоков тепла и влаги в пределы Субарктики. Для характеристики изменчивости крупномасштабной циркуляции вод Северной Пацифики был предложен индекс осцилляции северо-тихоокеанских круговоротов (ОСТК) [Di Lorenzo et al., 2008].

В период отрицательной фазы ЭТ (особенно в 1963–1986 гг.) корреляционная связь между зимними индексами ОСТК и ЭТ от-

сутствовала [Котенев и др., 2012]. Такие различия в характере связи индексов между двумя периодами связаны со слабым влиянием Северо-Тихоокеанского антициклона в 1960-е – 1980-е гг. на климат СЭТО и западный субтропический круговорот.

Таким образом, при похолодании вод в краевых морях, но при сохранении аномально тёплых условий в океане уловы горбуши резко снижаются до минимальных величин, однако масса половозрелой горбуши возрастает (до 1,9 кг в 1950-х – 1960-х гг.).

*Слабый рост уловов горбуши в 1970-е – 1980-е гг.* У южных запасов горбуши, обитающей у северной границы субтропической климатической зоны, слабый рост уловов (рис. 1) отмечен во второй половине 1960-х гг. [Иванков, 1984]. У северных запасов горбуши, обитающей в субарктической климатической зоне, он начался в первой половине (Восточная Камчатка) и во второй половине (Западная Камчатка) 1970-х гг. (рис. 1).

Характерные особенности термического режима краевых морей в эти годы — противофазность изменений температуры воды и её ярко выраженные декадные колебания (рис. 2, 3). Так, в Охотском море в 1970–1975 и 1980–1985 гг. в зимне-весенние сезоны наблюдалась высокие положительные АТПО, которые сменялись слабыми отрицательными аномалиями и повышенной ледовитостью в 1976–1979 и 1986–1989 гг. В Беринговом море с 1965 по 1976 гг. отмечалось сильное похолодание, которое в 1976 г. отмечено максимальной ледовитостью за весь период наблюдений. В это время произошло значительное ослабление Алеутского минимума. В зимне-весенние сезоны последующих лет в Беринговом море отмечались положительные АТПО (рис. 2).

С начала 1970-х гг. интенсификация зимнего муссона (рис. 4), последовавшая вслед за усилением Сибирского антициклона, а с 1977 г. возросшая интенсивность Алеутского минимума и обострение градиентной зоны между этими двумя центрами действия атмосферы привели к развитию отрицательных АТПО в западной части субарктической зоны и в районе Куросио (рис. 2). В прикурильском районе до 1974 г. сохранялся высокий уровень тепло-

содержания вод, затем до 1982 г. он был близок к норме, а в 1983–1988 гг. снизился до уровня ниже нормы (рис. 3). Отрицательные аномалии теплосодержания, безусловно, были связаны с особенностями динамики вод. Усиление и смещение на юг западного субарктического круговорота под воздействием Алеутского минимума привело к усилению Ойясио и сильному продвижению на юг (до 36° с.ш.) его прибрежной ветви. Именно эти процессы способствовали формированию высоких по абсолютным значениям (до 4–5 °C) отрицательных АТПО к востоку от Японии [Sekine, 1999]. Естественно, как и в случае отрицательных аномалий теплосодержания в морских районах нагула, аналогичные аномалии в прикурильском районе имеют в основном адvectionную природу.

В Беринговом море отрицательные аномалии теплосодержания в верхней 500-метровой толще вод отмечались в 1973–1990 гг. вследствие интенсивного водообмена между океаном и Беринговым морем в 1970-е – 1980-е гг. [Khen et al., 2013]. Действительно, несмотря на общую тенденцию к снижению расходов Восточно-Камчатского и Восточно-Сахалинского течений после 1965 г., в отдельные годы отмечались их высокие значения [Andreev, 2009].

Рост запасов горбуши в первой половине 1970-х гг. совпал с ростом положительных АТПО и теплосодержания вод как в Охотском море, так и в океаническом районе её нагула (рис. 2, 3). Этот рост также совпал с периодом высокой биомассы кормового планктона в Ойясио, т.е. в прикурильском районе нагула [Nagasawa, 2000]. Первая половина 1970-х гг. характеризовалась синхронным развитием благоприятных условий в Охотском море и в прикурильском районе. У южных запасов (зал. Анива, Юго-Восточный Сахалин) уловы возросли в 3 раза по сравнению с периодом 1950-х – 1960-х гг. У Западной Камчатки во второй половине 1970-х гг., видимо, из-за влияния высокой ледовитости уловы 1975 и 1977 гг. возросли только в 2–3 раза, но к 1989 г. они увеличились в 10 и более раз.

Почти одинаковые уловы чётных и нечётных лет в 1970-е гг. у Южных Курил увеличились по сравнению с 1950-ми – 1960-ми гг. в

5–7 раз. В 1980-е гг. наблюдалось значительное снижение уловов чётных поколений при сохранении тенденции к их росту в нечётные годы до 30 тыс. т в 1985 г.

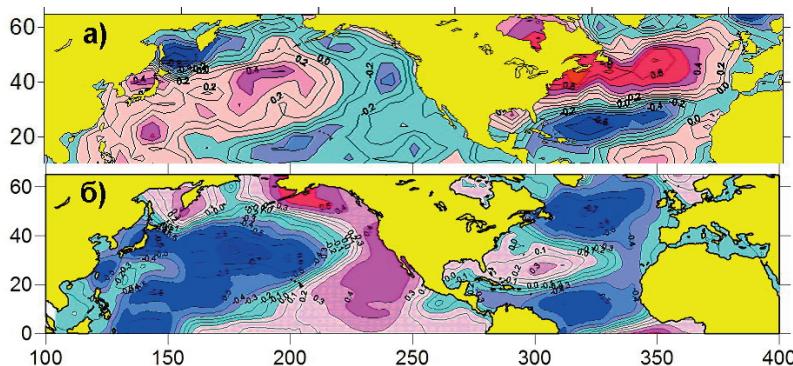
В Беринговом море произошло всего лишь двукратное увеличение уловов в 1970-е гг., видимо, вследствие негативного воздействия сильного похолодания в 1965–1976 гг.

Снижение уловов и массы производителей в 1981–1987 гг. объясняется синхронным снижением температуры среды обитания весной как в краевых морях, так и в океаническом районе нагула. В эти годы резко ухудшилась кормовая база [Nagasawa, 2000].

При изучении выживания покатной молоди и молоди камчатской горбуши в ранний морской период жизни в 1970–1980-е гг. был выявлен механизм влияния термики вод на выживание и рост молоди через развитие кормовой базы [Андреевская, Пискунова, 1990; Карпенко, 1998]. В холодные годы её развитие происходит с запозданием на месяц, а при оптимальных температурах оно совпадает с периодом ската и раннего морского нагула.

Заслуживают внимания исследователей высокие корреляционные связи уловов горбуши нечётных лет у Западной Камчатки для периода 1951–1987 гг. с зимним полем АТПО в Северной Пацифике и в Северной Атлантике (рис. 6).

Основной особенностью поля корреляций между уловами западно-камчатской горбуши в нечётные годы и среднезимними (январь–апрель) АТПО в северных частях Тихого и Атлантического океанов является наличие ярко выраженного меридионального диполя к востоку от северо-американского побережья, с центрами вдоль 50° и 30° с.ш. (рис. 6 а). В Северной Пацифике распределение коэффициентов корреляции характеризуется обширной областью их положительных значений, простирающейся из юго-западной части океана в северо-восточном направлении. С севера, востока и юго-востока она окружена районами с отрицательными величинами коэффициентов. Однако, абсолютные значения этих корреляций в целом ниже по сравнению с северо-атлантическим регионом. Центры положительных и отрицательных корреляций, соответственно, на юго-западе Северной Пацифики и



**Рис. 6.** Поле корреляций между уловами западно-камчатской горбуши в нечётные годы и АТПО в Северной Атлантике и Северной Пацифики (а); ЭОФ2 (10%) аномалий ТПО (б), 1951–1987 гг.

в южной части Охотского моря могут также рассматриваться как диполь, аналогичный северо-атлантическому диполю, но с противоположной полярностью.

Описанное выше распределение коэффициентов корреляции хорошо соответствует ЭОФ2 (10% общей дисперсии) совместного поля АТПО в северных частях океанов, но с противоположным знаком (рис. 6 б). В Северной Пацифики такое распределение напоминает структуру ОСТК в её отрицательной фазе.

Поле ЭОФ2 для Северной Атлантики можно интерпретировать как четырёхполюсную структуру, полученную А.С. Кровниным [1995] на основе кластерного анализа данных по АТПО за период 1957–1991 гг. Коэффициент корреляции между первой главной компонентой временных рядов, представляющих собой аномалии, осреднённые по северо-западному и юго-западному районам Северной Атлантики, и уловами западно-камчатской горбуши в нечётные годы составил -0,58 ( $p < 0,05$ ).

Более высокая корреляция уловов и АТПО в Северной Атлантике объясняется тесным взаимодействием в этот период между восточной частью Тихого океана и западной частью Северной Атлантики через Тихоокеанско-Североамериканскую дальнюю связь (ТСА) в средней тропосфере, которая в этот временной интервал была господствующей модой изменчивости в Северной Пацифики [Krovatin et al., 2014, 2015].

Таким образом, начиная со второй половины 1960-х гг. и на протяжении 1970-х гг., когда и в окраинных морях, и в океане наблюдались потепление и рост биомассы зоопланктона, формировались благоприятные условия для роста уловов горбуши. В 1984–1988 гг. понижение ТПО и теплосодержания вод в морях, особенно

но в Командорской и Курильской котловинах, а также в прикурильском районе, привело к уменьшению уловов горбуши и её навески (до 1,0–1,1 кг) в обоих морях, за исключением Западной Камчатки.

*Большие и рекордные уловы горбуши в 1990-е и 2000-е гг.* Основная причина больших уловов горбуши — тенденция к увеличению синхронности формирования благоприятных условий обитания горбуши на всех критических стадиях её жизни. В 1990/91 и 2005–2012 гг., когда синхронность достигла максимума, были получены рекордные уловы (рис. 1, 2, 3). Тренд к росту синхронности объясняется характером развития крупномасштабных атмосферных процессов, особенностями формирования термического режима морских и океанических вод в районах нагула и водного режима нерестовых рек.

Во-первых, во внутротропических широтах Северной Пацифики климатический сдвиг 1988/89 гг. сопровождался сменой ведущей модели пространственной изменчивости приземного атмосферного давления. Если до этого сдвига атмосферная циркуляция над океаном контролировалась Алеутским минимумом, то после зимы 1988/1989 гг. ведущую роль в развитии атмосферных процессов стало играть Северо-Тихоокеанское колебание (СТК), которое можно рассматривать как аналог Северо-Атлантического колебания. В средней тропосфере СТК проявляется в виде диполя западно-тихоокеанской дальней связи (ЗТ) [Linkin, Nigam, 2008]. Начиная с 1987 г. изменения зимнего (декабрь–февраль) индекса ЗТ характеризуются преобладанием его положительной фазы (рис. 5), которая способствовала потеплению вод Северной Пацифики [Yeh et al., 2011].

Вторая причина появления тенденции к усилению синхронности формирования благоприятных условий нагула, как в морях, так и в океане, объясняется тем, что после сдвига 1988/89 гг. на климат СЭТО, в первую очередь на окраинные моря, стали оказывать сильное воздействие процессы широтного переноса тепла и влаги из Северной Атлантики через Евразию. Эти процессы стали особенно интенсивными после 1989 г., когда положительные значения индекса САК достигли максимума за весь период наблюдений с 1950 г., а исландский минимум сместился далеко на восток, к побережью Скандинавии. Одновременно наблюдались ослабление и сокращение площади Сибирского антициклона. В результате наметилась тенденция к потеплению континентальной Восточной Азии, окраинных морей и прилегающих районов океана за счёт усиления переноса тепла и влаги из Северной Атлантики [Krovnin et al., 2014, 2015].

До 1988/1989 гг. этот перенос был ослаблен из-за интенсивного Сибирского антициклона, что хорошо подтверждается малыми объёмами стока с бассейна р. Амур в 1970-е гг. [Tashibana, Ogi, 2009]. До климатического сдвига конца 1980-х гг. в северном полушарии господствовало восточное взаимодействие Северной Пацифики и Северной Атлантики через систему центров Тихоокеанско-Североамериканской дальней связи. Это взаимодействие в значительной мере определяло интенсивность САК и пространственное положение его центров и, как следствие, динамику термического режима вод. После сдвига 1988/89 гг. восточная мода взаимодействия между океанами значительно ослабла [Krovnin et al., 2014, 2015].

Другая важная региональная особенность положительной фазы зимнего атмосферного индекса ЗТ — резкое повышение тесноты его связи с океаническим индексом ОСТК ( $r = 0,72$ ), что свидетельствует об усилении влияния субтропического океанического круговорота на климат СЭТО, благодаря возросшей интенсивности Северо-Тихоокеанского субтропического антициклона и его смещения в западную половину океана. Это, в свою очередь, обусловило трёхкратный рост количества южных циклонов в северной части СЭТО после 1988 г. [Тунеголовец, 2007].

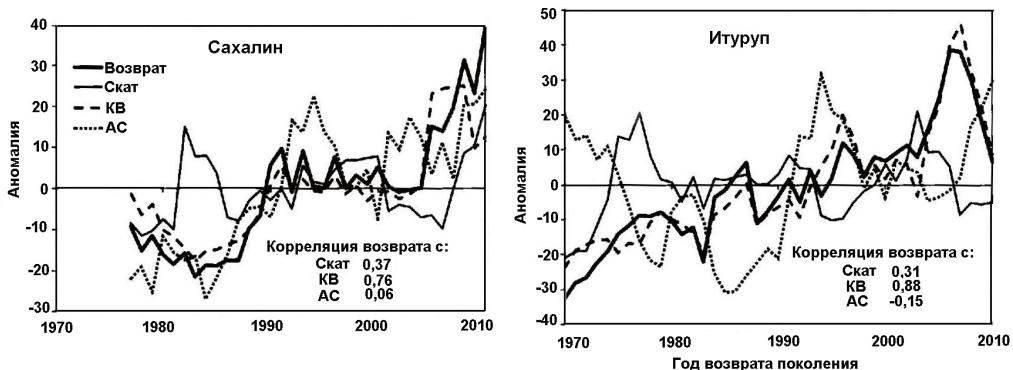
Все указанные изменения в циркуляции атмосферы и океана привели к снижению расходов холодных течений [Andreev, 2009], ослаблению водообмена между океаном и морями [Khen et al., 2013], но, главное, к мягким зимам, более раннему началу весны и, соответственно, увеличению биомассы зимнего зоопланктона в прикурильском районе Ойясио [Chiba et al., 2008]. В результате сформировалось устойчивое мнение о том, что зимой в океане объём кормовой базы достаточен для нагула лососей [Шунтов, Темных, 2008, 2011]. Однако это верно только для рассматриваемого климатического режима. В период походления можно снова ожидать снижения биомассы зимнего зоопланктона, как в 1980-е гг. [Chiba et al., 2008] и тем более в 1950-е гг. [Ito, 1964].

В 1990-е – 2000-е гг. НТО ТИНРО был собран уникальный массив данных, которые характеризуют динамику численности горбуши на пресноводной, эстuarно-прибрежной, морской и океанической стадиях её жизни [Карпенко, 1998; Карпенко и др., 2013; Каев, 2011, 2012, 2013; Каев, Чупахин, 2003; Каев и др., 2012; Радченко, 2001, 2006, 2008; Радченко, Расадников, 1997; Радченко и др., 2011; Темных, 2004; Шунтов, 1994; Шунтов, Темных, 2008, 2011].

Для южных запасов горбуши в 1990-е – 2000-е гг. были характерны высокая численность и крупные размеры (рис. 7). Хорошо видно, что изменения начались с 1990 г., т.е. после климатического сдвига 1988/89 гг.

На рубеже 1990-х и 2000-х гг. наблюдалось снижение размеров рыбы, несмотря на снижение уловов до уровня, близкого к среднемноголетнему. Установлена тесная корреляционная связь ( $r = 0,44$ , а для тренда — 0,58) между ТПО в южной части Охотского моря и коэффициентом выживаемости горбуши южной части Восточного Сахалина (рис. 8). В то же время для горбуши о. Итуруп эта связь оказалась незначимой ( $r = 0,29$ ).

При сопоставлении показателя возврата и коэффициента выживаемости с индексом ТДО (характеризующим в основном климат СВТО) получена статистически значимая связь для горбуши Южного Сахалина и её отсутствие для горбуши о. Итуруп. Выявлены односторонне-



**Рис. 7.** Изменения численности покатников (Скат), выживаемости поколений (КВ), возврата рыб и длины тела у горбуши из южной части о. Сахалин и о. Итуруп [Каев, 2011]

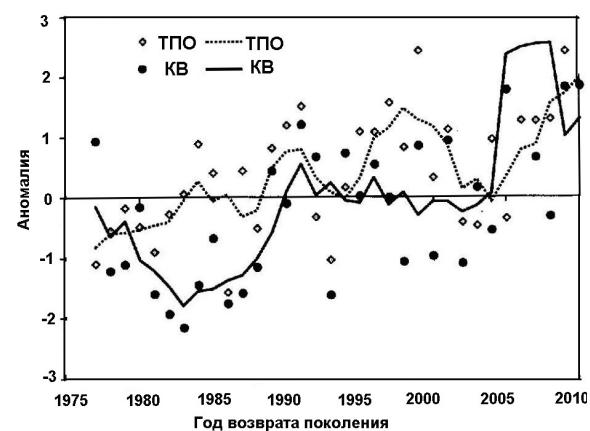
ные изменения между индексом ТДО и длиной горбуши в обоих районах, но только при сравнении трендов их изменений [Каев, 2011].

Климатически обусловленные изменения численности возврата горбуши о. Итуруп и зал. Анива и доли ранней формы в нём (%) происходили синхронно, но с временным лагом от 5 до 10 лет. Последнее снижение доли ранней формы горбуши в зал. Анива началось в 2003 г. и закончилось в 2008 г., а на о. Итуруп продолжалось с 2006 до 2010 гг. По мнению А.М. Каева [2011], наблюдавшееся снижение указывает на грядущее падение уловов горбуши в этих районах. Его прогноз полностью оправдался в 2015 г.

В ходе мониторинга, осуществлявшегося ФГБНУ «КамчатНИРО» в 1982–2011 гг., была выявлена тесная связь между накоплением тепла в поверхностном слое воды в августе ( $^{\circ}\text{C}/\text{км}^3$ ), интенсивностью питания и массой молоди горбуши и кеты у Западной и Восточной Камчатки (рис. 9).

Одновременно установлено, что океаническая смертность горбуши сильно зависит от массы сеголетков горбуши, выходящих на зимовку в океан (рис. 10). К аналогичному выводу пришли также американские и канадские исследователи [Passolt, Anderson, 2013; Welch et al., 2013]: выживаемость лососей в океане на прямую связана с размерами молоди на начальном этапе морского нагула.

Приведённые данные по влиянию локального температурного фактора на выживаемость и рост молоди горбуши, а впоследствии — на уровень смертности в океане, являются основой для установления связи между АТПО, тепло-

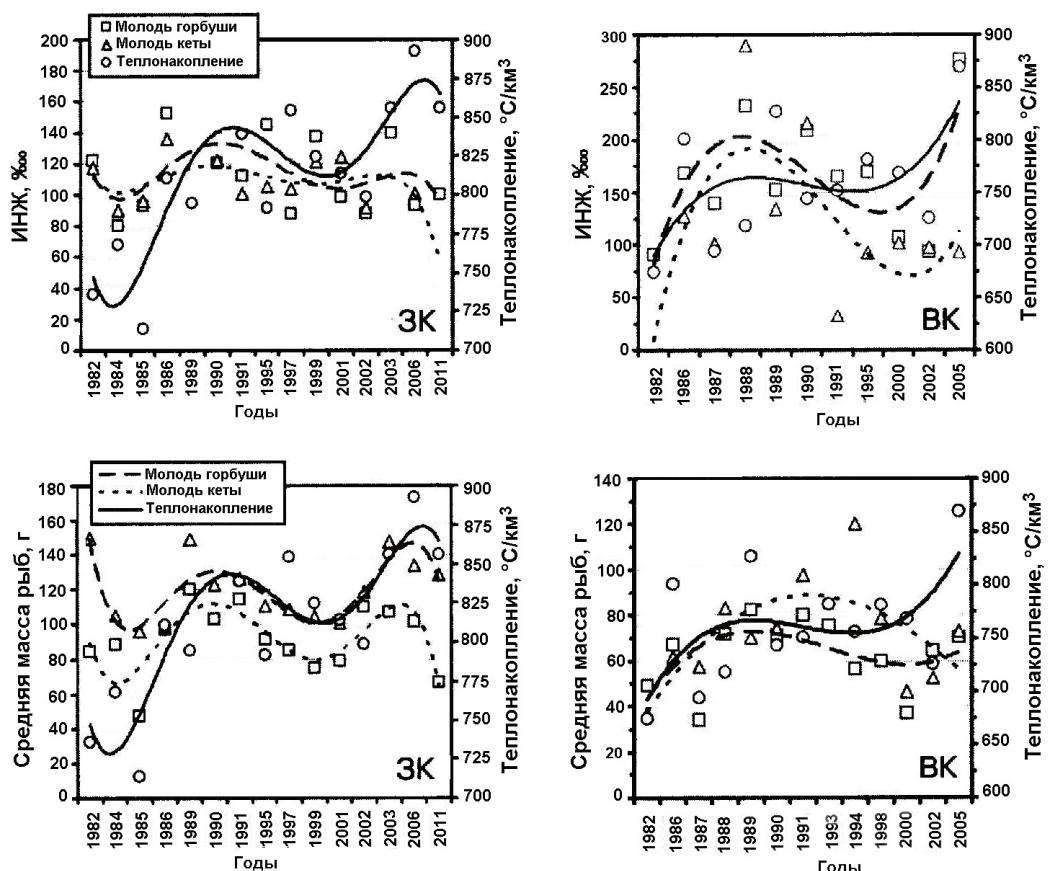


**Рис. 8.** Изменения температуры воды на поверхности в южной части Охотского моря (SST) и выживаемости (КВ) соответствующих поколений горбуши из южной части Восточного Сахалина [Каев, 2011]

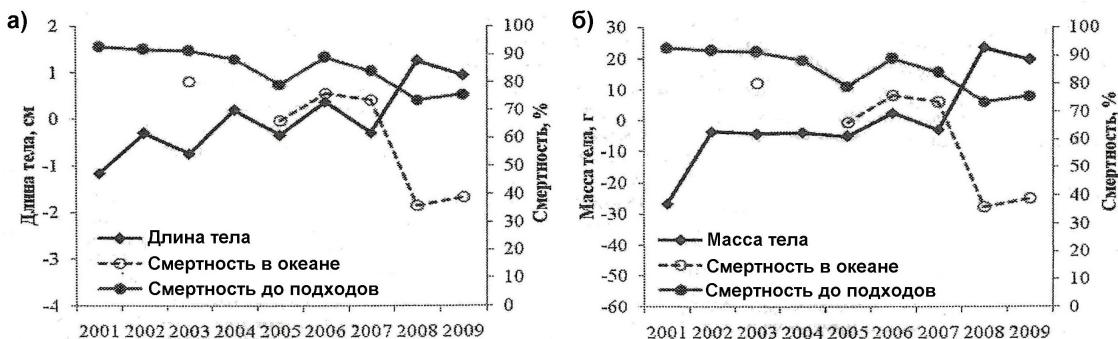
содержанием, теплонакоплением и уловами горбуши в 1990-е – 2000-е гг.

В динамике уловов горбуши (рис. 1) в 1990-е – 2000-е гг., за исключением Западной Камчатки, где перед сдвигом 1988/1989 гг. произошла смена доминант, отчетливо просматривается резкий рост уловов в 1991 г. (у Юго-Восточного Сахалина также и в 1989 г.). ТПО в окраинных морях, в Западной Субарктике и в районе Курюсю зимой и весной была либо выше, либо близка к норме (рис. 2). Аналогичная ситуация наблюдалась и в изменениях теплосодержания (рис. 3).

Рассмотрим гидродинамические причины такого «взлёта» уловов, так как они раскрывают механизм взаимодействия субтропических и субарктических вод, которое, по-видимому, является решающей причиной высокой (низкой) выживаемости молоди горбуши в океане.



**Рис. 9.** Теплонакопление поверхностного слоя воды в августе ( $^{\circ}\text{C}/\text{км}^3$ ), интенсивность питания (ИНЖ, %oo) и масса молоди горбуши и кеты в водах Западной (ЗК) и Восточной (ВК) Камчатки в сентябре 1982–2005 гг. [Карпенко и др., 2013]



**Рис. 10.** Динамика смертности горбуши в связи с её длиной (а) и массой (б) тела (после удаления сезонного тренда) в 2001–2009 гг. [Заволокин, Стрежнева, 2013]

В Охотском море летом 1990 г. было отмечено резкое усиление течения Соя, поток которого прослеживался выше Средних Курильских о-вов, блокируя южный сток из моря в океан и тем самым резко ослабляя прибрежную ветвь Ойясио [Rogachev, 2000]. Это создало очень благоприятные температурные условия для летне-осеннего морского нагула горбуши.

Необычное вторжение течения Соя, по-видимому, было связано с усилением и смещением на север всей системы течения Куросио, в том числе Цусимского и Продолжения Куросио, в 1990–1991 гг. и их последующего смещения на юг и ослабление от 1991 к 1993 гг. [Jacobs et al., 1994]. К северу от Продолжения Куросио АГ-ПО превышали 1  $^{\circ}\text{C}$ , тем самым определяя

благоприятные температурные условия для зимнего нагула. Авторы полагают, что это смещение на север и положительные АТПО являются последствием (с задержкой в 10 лет) мощного Эль-Ниньо 1982–1983 гг.

Это событие произошло после климатического сдвига 1988/89 гг., когда в пределах всей Северной Пацифики произошёл резкий переход от отрицательных АТПО к положительным [Yeh et al., 2011]. Следовательно, указанное гидродинамическое потепление наложилось на предшествующее ему потепление, обусловленное изменениями в характере циркуляции атмосферы в пределах всего северного полушария [Котенев и др., 2012; Yeh et al., 2011].

Таким образом, высокие уловы 1991 г. в основе своей имеют как благоприятные ветровые условия, сложившиеся в зимние сезоны 1989 и 1990 гг., когда отрицательные аномалии ВАМ достигали самых больших значений (рис. 4), так и сочетание потепления вод атмосферной [Yeh et al., 2011] и гидродинамической [Jacobs et al., 1994] природы.

В период резкого потепления вод на всех стадиях жизни горбуши в море и океане в 2005–2012 гг. (рис. 3) и особенно в прибрежной зоне (рис. 11) были получены рекордные уловы горбуши во всех районах (рис. 1). Исключение — о. Итуруп, где вылов в 2011 г. составил всего 6,4 тыс. т.

Лишь год спустя была установлена причина такого низкого улова — не были учтены паводки в период нереста и посленерестового периода. Влияние паводков на возврат горбуши Южного Сахалина и о. Итуруп подробно рассмотрено в статье Каева с соавторами [Каев и др., 2012]. Эта работа может служить пособием для учёта влияния паводков в период нереста и в посленерестовый период. Два мощных паводка при завершении нереста (9 октября 2009 г.; 84 мм) и в период эмбриогенеза (27 октября 2009 г.; 91 мм), по-видимому, и стали основной причиной низкого возврата в 2011 г. В современный период, когда резко усилилась интенсивность Дальневосточной депрессии [Хен и др., 2014], повторяемость и мощность паводков будут возрастать за счёт большего участия влажных тропических воздушных масс в процессах циклогенеза.

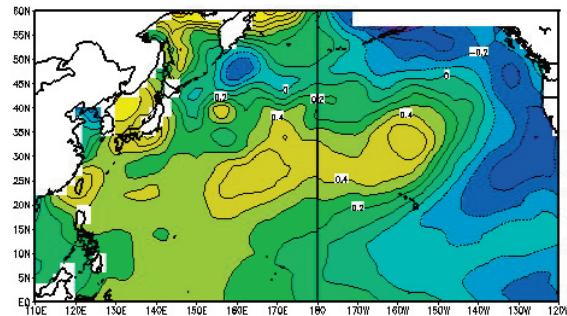


Рис. 11. Распределение среднезимней АТПО (январь–апрель) в период 2005–2010 гг.

Именно в пределах Южного Сахалина и Южных Курил проходит траектория таких «влажных» циклонов. Как показано в работе [Каев, Чупахин, 2003], в 1990-е гг. осадки в объёме более 300 мм в нерестовый и посленерестовый периоды негативно сказывались на численности возврата. В этой связи отметим, что в 2005–2011 гг. количество осадков достигало 570–630 мм [Каев и др., 2012].

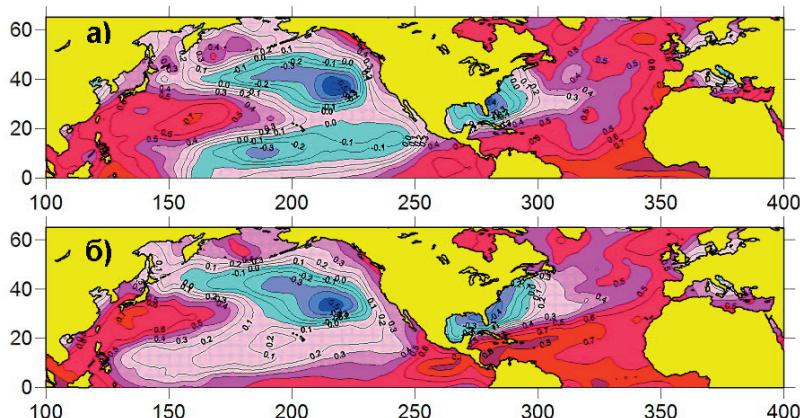
Возвращаясь к рекордным уловам, необходимо отметить, что именно термические факторы на всех стадиях жизненного цикла горбуши, и особенно на прибрежной стадии, являются основной причиной их роста, поскольку повышенная упитанность в прибрежный и морской периоды жизни обуславливает низкую океаническую смертность (рис. 10).

Между периодами высоких уловов в 1991 г. и 2005–2012 гг. во всех районах нагула на рубеже 1990-х и 2000-х гг. формировались отрицательные аномалии ТПО и теплосодержания (рис. 2, 3), с повышенной ледовитостью Охотского моря и её максимальным развитием в 2001 г. В это время отмечено снижение уловов у Западной и Восточной Камчатки (рис. 1) и у Южного Сахалина (рис. 7). Но даже в этот период снижения уловы у Камчатки оставались на высоком уровне (рис. 1), что было связано со значительно более высоким теплосодержанием вод в весенне-летний период в районах нагула по сравнению с 1980-ми гг. Для августа этих лет было характерно лишь небольшое снижение массы молоди (рис. 9).

В качестве хорошей прогностической основы заслуживает внимания синхронное изменение уловов у Восточной и Западной Камчатки после 1995 г. при сдвиге уловов Западной Камчатки на один год назад (рис. 12).



**Рис. 12.** Уловы горбуши у Восточной и Западной Камчатки (т) в 1971–2014 гг.



**Рис. 13.** Поле корреляций между уловами западно-камчатской горбуши в чётные годы и АТПО в Северной Атлантике и Северной Пацифики (а); ЭОФ1 (29%) аномалий ТПО (б), 1972–2010 гг.

Указанная синхронность хорошо согласуется с синфазным изменением климато-океанологических характеристик в морях в период положительной фазы ЗТ (рис. 2, 3, 5) с однодличным запаздыванием в Охотском море. Как показано в работе [Хен и др., 2014], эта синфазность сохранялась до 2005 г., после чего началось восстановление противофазного развития гидрологических процессов в Беринговом и Охотском морях.

Высокие уловы у Камчатки 1997/98, 1999/2000 гг., скорее всего, были связаны со слабой интенсивностью зимнего муссона (рис. 4) в 1996–2000 гг.

Изменения уловов в 1992–2005 гг. в южных районах различались между собой и были обусловлены локальными причинами. Так, низкие уловы в зал. Анива и у Юго-Восточного Сахалина в 1992–1997 гг., по-видимому, были связаны с отрицательными аномалиями теплосодержания в Курильской котловине (рис. 3).

У Южных Курил с 1993 г., когда улов горбуши резко снизился, стали доминировать чётные поколения высокой численности, но при этом наблюдалось чередование лет с чи-

стым доминированием уловов чётных поколений с годами, когда уловы чётных и нечётных поколений были почти одинаковыми: 1995/96, 1997/98, 2005/06, 2007/08, 2009/10 (рис. 1). Следовательно, у о. Итуруп не наблюдалось длительного падения уловов после 1991 г., что, по-видимому, связано с тем, что численность поколений здесь контролируется в значительной мере условиями на гула в эстуарно-прибрежный период и в меньшей степени зависит от температурных условий на юге моря.

Распределение коэффициентов корреляции между уловами западно-камчатской горбуши в чётные годы и полем АТПО в 1972–2010 гг. характеризуется высокими положительными корреляциями на большей части акватории Северной Атлантики (положительная фаза АМО). В Северной Пацифики «язык» высоких положительных корреляций простирается от азиатского побережья на восток в районе к югу и юго-востоку от Японии (рис. 13 а). К северо-востоку и юго-востоку от нее расположены две области отрицательных корреляций.

Сравнение описанной карты с полями ведущих ЭОФ совместного поля АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов свидетельствует о её практически полном совпадении с пространственной структурой ЭОФ1 за период 1972–2010 гг., которая описывает 29% общей дисперсии в колебаниях температурных аномалий. Дальнейший анализ показал, что ЭОФ1 связана с синхронным развитием и последующим установлением положительных фаз АМО и ОСТК.

Таким образом, долгопериодные колебания запасов западно-камчатской горбуши тесно свя-

заны как с региональными модами (ЗТ, ТСА, ОСТК), так и с ведущими климатическими модами северного полушария. Начавшиеся с конца 2011 г. изменения в состоянии климатической системы Северной Пацифики означают завершение положительной фазы ОСТК, что уже проявилось в снижении уловов горбуши.

### *Изменение климато-океанологических факторов в переходный период к новому климатическому режиму СЭТО в 2012–2015 гг.*

По своим климато-океанологическим условиям 2012–2015 гг. являются переходным периодом к новому климатическому режиму в пределах СЭТО. Этот переходный период для всей Северной Пацифики начался в 2008/09 гг. Данные об арктической стратосфере [Варгин, Медведева, 2015] показывают, что в зимы 2008/09, 2009/10, 2011/12, 2012/13 гг. она имела возмущённое состояние с высокими температурами и, как следствие, менее интенсивным полярным вихрем. В результате усилилось вторжение холодных арктических воздушных масс в умеренные широты, зональный перенос сменился северным меридиональным. Как известно, в зимы 2008/09 и 2009/10 гг. наблюдалось резкое похолодание в СВТО, наряду с одновременным потеплением в СЭТО.

Суровые зимы 2011/12 и 2012/13 гг. оказали большое негативное воздействие на запасы горбуши в СЭТО. В 2012–2013 гг. пространственная структура зимнего барического поля над СЭТО существенно изменилась. Это сопровождалось усилением выноса холодных арктических воздушных масс на акватории западной части Берингова моря и Охотского моря. В результате зимой здесь шло интенсивное формирование отрицательных АТПО (с абсолютными значениями до 1,0–1,2 °C и выше), которые сохранялись в мае и в первой декаде июня [Хен и др., 2014].

Зимой 2011/12 гг. сдвиг Алеутского минимума в крайнее северное положение в Беринговом море обусловил сильные северо-восточные ветра над западной его частью, которые сопровождались большими (до -7 – -10 °C) отрицательными аномалиями температуры воздуха, высокой ледовитостью моря, такой же как в 1976 г. [Басюк и др., 2012; Хен и др., 2014]. Весной эта ситуация сохранилась. Только в ию-

не и июле благодаря южным ветрам прогрев поверхностных вод усилился, но уже в августе из-за облачности прогрев замедлился, а осенью вновь возобладали холодные северо-западные ветры и резко уменьшился приток вод из океана. Как отмечено в работе [Шевляков и др., 2012], даже в середине июня в Карагинском заливе присутствовало значительное количество льда, превышающее по площади наблюдавшееся когда-либо ранее. Майские и июньские ТПО в море были значительно ниже нормы. Подобное развитие гидрологической обстановки может свидетельствовать, как минимум, о неблагоприятных стартовых условиях обитания молоди горбуши после её ската из рек. Несмотря на все эти факты, хорошо известные специалистам, принимается решение, что численность молоди осенью была на среднем уровне и даётся прогноз подхода горбуши на 2013 г. в 80 тыс. т [Шевляков и др., 2012]. Однако подходы были в 2 раза ниже и в 4 раза ниже улова 2011 г. Улов 2013 г. (рис. 1) был очень близок к уровню уловов в 1950-е – 1960-е гг. с объёмами 15–20 тыс. т.

Улов горбуши у Западной Камчатки в 2014 г. в полном соответствии с установленной закономерностью был очень низким. Как и в случае с Беринговым морем, при составлении прогноза не учли те неблагоприятные условия, которые сформировались в Охотском море в 2013 г., когда происходил скат и морской нагул после ската горбуши поколения 2012 г.

По данным Г.В. Хена и др. [2014] весной 2013 г. у Западной Камчатки температура воды в холодном промежуточном слое была на 0,2–0,5 °C ниже среднемноголетней, что свидетельствует о суровых зимних условиях. Осеннее охлаждение вод Курильской котловины началось рано, и уже в сентябре-октябре АТПО были -2 – -3 °C. Характерно, что и циркуляция вод была необычной. Над котловиной наблюдались 3 антициклонических вихря вместо одного, что указывает на ослабление течения Соя в этот год.

Все рассмотренные выше особенности однозначно указывают на то, что на протяжении всего периода от раннего морского нагула после ската до осенней миграции в южную часть Охотского моря сеголетки горбуши поколения 2012 г. находились в неблагоприятных условиях.

Как уже отмечалось [Андреевская, Пискунова, 1990], в холодные годы кормовая база горбуши развивается с задержкой до одного месяца. Следовательно, судя по термическим условиям 2013 г., к зимнему океаническому нагулу это поколение вряд ли подошло в хорошем состоянии.

Аналогичный недоучёт гидрометеорологических условий в период ската и послескатного нагула произошёл и при подготовке прогноза вылова горбуши в Сахалино-Курильском районе на 2015 г. Согласно апрельскому прогнозу ТИНРО-Центра, в мае 2014 г. над Южным Сахалином ожидалось прохождение 10 циклонов [Лососи..., 2014]. Это стало следствием резкого усиления Дальневосточной депрессии в последние годы [Хен и др., 2014]. Судя по отрицательным АТПО в мае и июне 2014 г., этот прогноз подтвердился. Наличие отрицательных аномалий было подтверждено полевыми наблюдениями ВНИРО у Южных Курил. Кроме того, в середине июня 2014 г. над Южным Сахалином прошёл субтропический шторм с ветрами до 35 м/с. Это, безусловно, вызвало мощное ветровое перемешивание, что также могло оказать значительное негативное воздействие на выживание ската как в прибрежной зоне, так и в открытой части моря. Такие штормы, как правило, вызывают охлаждение поверхностных вод.

В отличие от условий в пределах Южного Сахалина и о. Итуруп, в районе Северо-Восточного Сахалина наблюдались положительные аномалии, и условия для выживания скатившейся в море молоди были значительно лучше.

Таким образом, в период 2012–2015 гг. резкое снижение уловов у Западной и Восточной Камчатки произошло в полном соответствии с отмеченной выше закономерностью их взаимосвязанного изменения (рис. 12).

Аналогичные условия и мощное ветровое воздействие на скатившуюся в Охотское море молодь у Южного Сахалина и о. Итуруп в мае и июне было, вероятно, основной причиной низкого возврата горбуши в 2015 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена зависимость динамики уловов основных (камчатских, сахалино-курильских) запасов горбуши от термического состояния вод

в основных районах нагула в морях и океане. Выявлены следующие закономерности этой зависимости. При потеплении в океане, но при похолодании морских вод (1950-е – 1960-е гг.) уловы горбуши резко снижаются, поскольку её численность определяется эстуарно-прибрежной стадией жизненного цикла. Благодаря повышенному тепловому фону в океане для этой горбуши характерна большая масса (до 1,9 кг).

При потеплении в морях и океане создаются благоприятные условия для роста уловов (1970-е гг.). При похолодании в морях и океане (1984–1988 гг.) снижается численность, а масса горбуши, несмотря на пониженную численность, резко уменьшается — до 1,0–1,1 кг. При общем потеплении вод Северной Пацифики и окраинных морей создаются благоприятные условия (мягкие зимы, увеличение биомассы зимнего зоопланктона) для увеличения уловов (1990-е – 2000-е гг.). Синхронное потепление вод на всех стадиях развития горбуши, и особенно сильное в прибрежных районах, обуславливает рекордные уловы (1991 г.; 2005–2012 гг.).

При переходе от благоприятного климатического режима 1990-х – 2000-х гг. к новому, скорее всего, малоблагоприятному, режиму 2020-х – 2030-х гг. возрастёт частота сильных похолоданий в Охотском и Беринговом морях. Похолодание вод в СЭТО уже привело к резкому снижению уловов горбуши в 2012–2015 гг. Одновременно для южных запасов важным негативным фактором становится паводки в период нереста и посленерестовый период.

Термический режим морей и океана в значительной мере определяется крупномасштабными факторами атмосферной циркуляции и динамики вод, такими как зимний муссон, Алеутский минимум, северо-тихоокеанское колебание, изменения интенсивности океанических круговоротов, а также характером взаимодействия климатических систем Северной Пацифики и Северной Атлантики.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андреевская Л.Д., Пискунова Л.В. 1990. Условия формирования продукции поколений западнокамчатской горбуши и кеты // Межд. Симпозиум по т/о лососям. Владивосток: Изд-во ТИНРО. С. 45–47.

- Архипкин В.С. 1992. Алгоритмы и программы на Фортране по обработке океанологической информации. М.: Изд-во МГУ. 84 с.
- Басюк Е.О., Кивва К.К., Чульчеков Д.Н. 2012. Экстремально холодное термическое состояние вод Берингова моря в 2012 г. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9. № 1. С. 13–24.
- Богданов М.А. 1965. О динамике вод Фареро-Исландского порога // Труды ВНИРО. Т. 57. С. 33–41.
- Бирман И.Б. 1985. Морской период жизни и вопросы динамики стад тихоокеанских лососей. М.: Агропромиздат. 208 с.
- Варгин П.Н., Медведева И.В. 2015. Исследование температурного и динамического режимов внутропищевой атмосферы северного полушария в период внезапного стратосферного потепления зимой 2012–2013 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 51. № 1. С. 20–38.
- Волобуев В.В., Марченко С.Л. 2011. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел). Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 303 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014 / Ред. А.В. Фролов, В.Г. Блиннов, Г.С. Голицын, В.П. Дымников. М.: Росгидромет. 1008 с.
- Заволокин А.В., Стрежнева Е.В. 2013. Размерно-секретивная смертность охотоморской горбуши в период её зимне-весеннего обитания в океане // Известия ТИНРО. Т. 174. С. 125–134.
- Иванков В.Н. 1984. Причины периодических и ежегодных флюктуаций численности и изменений биологических признаков горбуши Южных Курильских островов // Вопросы ихтиологии. Т. 24. Вып. 6. С. 895–906.
- Каев А.М. 2003. Особенности воспроизводства кеты в связи с ее размерно-возрастной структурой. Южно-Сахалинск: Изд-во СахНИРО. 288 с.
- Каев А.М. 2011. О динамике стада горбуши как индикаторе процессов в среде обитания // Бюллетень № 6 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. С. 196–201.
- Каев А.М. 2012. Развитие некоторых тенденций в динамике стад горбуши восточного Сахалина и южных Курильских островов // Бюллетень № 7 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. С. 135–142.
- Каев А.М., Чупахин В.М. 2003. Динамика стада горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* o. Итуруп (Курильские острова) // Вопросы ихтиологии. Т. 43. № 6. С. 801–811.
- Каев А.М., Антонов А.В., Захаров А.В., Ким Хе Юн, Руднев В.А. 2012. Результаты количественного учёта покатной молоди горбуши в реках восточного побережья Сахалина и Южных Курильских островов в 2012 г. и их интерпретация // Бюллетень № 7 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. С. 66–74.
- Карпенко В.И. 1998. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: Изд-во ВНИРО. 165 с.
- Карпенко В.И., Андреевская Л.Д., Коваль М.В. 2013. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 304 с.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кивва К.К., Богданов М.А., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. 2012. Низкочастотные изменения зимних климатических условий в северо-западной части Тихого океана в 1950–2012 гг. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9. № 2. С. 33–60.
- Кун М.С., Новиков Ю.В., Павлычев В.П. 1978. Влияние океанологических условий на формирование продуктивных зон и численность эпипелагических рыб в системе вод Курсюо // Биология моря. Т. 2. С. 32–39.
- Лососи – 2014 (путинский прогноз). 2014. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. 121 с.
- Радченко В.И. 2001. Динамика численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в бассейне Охотского моря в 90-ые годы // Биология моря. Т. 27. № 2. С. 91–101.
- Радченко В.И. 2006. Совпадение трендов динамики численности горбуши поколений четных и нечетных лет в Сахалино-Курильском регионе // Известия ТИНРО. Т. 145. С. 39–55.
- Радченко В.И. 2008 О корреляции российского вылова горбуши с динамикой теплового баланса Мирового океана // Бюллетень № 3 реализации «Концепции дальневосточной программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. С. 230–235.
- Радченко В.И., Рассадников О.А. 1997. Тенденции многолетней динамики запасов азиатских лососей и определяющие ее факторы // Известия ТИНРО-Центра. Т. 122. С. 72–92.
- Темных О.С. 2004. Азиатская горбуша в морской период жизни: биология, пространственная дифференциация, место и роль в пелагических сообществах. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Владивосток. 47 с.
- Тунеголовец В.П. 2007. Циклоническая деятельность над северо-западной частью Тихого океана и дальневосточными морями и оценка ее влияния на деятельности слой. Дальневосточные моря России / Отв. ред. В.А. Акуличев. Кн. 1. Океанические исследования. М.: Наука. С. 60–96.
- Уловы тихоокеанских лососей (1900–1986 гг.). 1989. М.: Изд-во ВНИРО. 213 с.
- Хен К.В., Сорокин Ю.Д. 2008. Сезонные особенности многолетних изменений ТПО в северной части Тихого океана и в отдельных его областях // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 5. № 1. С. 164–183.
- Хен Г.В., Басюк Е.О., Зуенко Ю.И., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л., Шатилина Т.А. 2014. Гидрометеорологические условия в дальневосточных морях

- России в 2012 и 2013 гг. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 11. С. 38–59.

*Шевляков Е.А., Ерохин В.Г., Дубынин В.А., Шпигальская Н.Ю., Зорбиди Ж.Х.* 2012. Характеристика прибрежного промысла лососей в Камчатском крае в 2012 г. // Бюллетень № 7 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. С. 10–28.

*Шунтов В.П.* 1994. Новые данные об анадромных миграциях азиатской горбуши // Известия ТИНРО. Т. 116. С. 3–41.

*Шунтов В.П., Темных О.С.* 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических системах. Т. 1. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. 481 с.

*Шунтов В.П., Темных О.С.* 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических системах. Т. 2. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра. 473 с.

*Andreev A.G.* 2009. Interannual variations of the East-Kamchatka and East-Sakhalin Currents volume transports and their impact on the temperature and chemical parameters in the Okhotsk Sea // PICES Scientific Report. № 36. Р. 21–43.

*Cavalieri D.J., Parkinson C.L.* 1987. On the relationship between atmospheric circulation and sea-ice fluctuation in the sea-ice extents of the Bering and Okhotsk Seas // J. Geophys. Res. V. 92. Р. 7141–7162.

*Chiba S., Aita M.N., Tadokoro K., Saino T., Sugisaki H., Nakata K.* 2008: From climate regime shifts to lower trophic level phenology: synthesis of recent progress in retrospective studies of the western North Pacific // Progr. Oceanog. V. 77. Р. 112–126.

*Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Franks J.S., Chhak K., Miller A.J., McWilliams J., Bograd S.J., Arango H., Curchitser E., Powell T.M., Riviere P.* 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change // Geophys. Res. Lett. V. 35. L08607.

*Fang Z.-F., Wallace J.M.* 1998. North Pacific sea-ice and Kuroshio SST variability and its relation to the winter monsoon // Polar Meteorol. Glaciol. V. 12. Р. 58–67.

*Fofonoff N.P., Millard R.C.Jr.* 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // UNESCO Technical Papers in Marine Science. V. 44. 53 p.

*Good S.A., Martin M.J., Rayner N.A.* 2013. EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // Journal of Geophysical Research: Oceans. V. 118. Р. 6704–6716.

*Hurrell J.W.* 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation, regional temperatures and precipitation // Science. V. 269. Р. 676–679.

*Ito I.* 1964. Food and feeding habit of Pacific salmon (genus *Oncorhynchus*) in their oceanic life // Sci. Rep. Hokk. Salm. Hatch. № 9. Р. 85–97.

*Jacobs G.A., Hurlburl H.E., Kindle J.C., Metzger E., Mitchell J.L., Teague W.J., Wallcraft A.J.* 1994. Decade-scale trans-Pacific propagation and warming effects of an El Nino anomaly // Nature. V. 370. Р. 360–363.

*Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W. et al.* 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of the American Meteorological Society. V. 77 (3). Р. 437–471.

*Kerr R.A.* 2000. A North Atlantic climate pacemaker for the centuries // Science. V. 298. Р. 1984–1986.

*Khen G.V., Basuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I.* 2013. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // Deep-Sea Research II. V. 94. Р. 106–120.

*Krovatin A.S., Kotenev B.N., Moury G.P.* 2014. Role of North Atlantic climatic variability in recent North Pacific warming // 2014 PICES FUTURE, Open Science Meeting. April 13–18, 2014. Kohala Coast, Big Island, Hawaii, U.S.A. Book of Abstracts. Р. 68–69.

*Krovatin A.S., Kotenev B.N., Klovach N.V.* 2015. Impact of climatic variability in the Atlantic-Eurasian sector on status of Far East salmon stocks, 1950–2014 // NPAFC International Symposium on Pacific Salmon and Steelhead Production in a Changing Climate: Past, Present, and Future. May 17–19, 2015. Kobe International Conference Center, Kobe, Japan. Program and Abstracts. Р. 16.

*Kwon Y., Alexander M.A., Bond N.A., Frankignoul C., Nakamura H., Qiu B., Thompson L.* 2010. Role of the Gulf Stream and Kuroshio–Oyashio systems in large-scale atmosphere–ocean interaction: A review // Journal of Climate. V. 23. Р. 3249–3281.

*Linkin M.E., Nigam S.* 2008. The North Pacific oscillation — west Pacific teleconnection pattern: Mature-phase structure and winter impacts // Journal of Climate. V. 21. Р. 1979–1997.

*Mantua J.N., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C.* 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impact on salmon production // Bull. Am. Meteorol. Soc. V. 78. Р. 1069–1079.

*Nagasawa R.* 2000. Winter zooplankton biomass in the Subarctic North Pacific, with a discussion on the overwintering survival strategy of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) // Bull. NPAFC. № 2. Р. 21–32.

*Passolt G., Anderson J.* 2013. A model linking ocean survival to smolt length // Growth-mortality feedback loops: The implications of size-selective culling // Doc. dep. NPAFC Third international workshop on migration and survival mechanisms of juvenile salmon and steelhead in ocean ecosystems. April 25–26, 2013. Honolulu, USA. Р. 80.

*Rogachev K.A.* 2000. Recent variability in the Pacific western subarctic boundary currents and Sea of Okhotsk // Progress in Oceanography. V. 47. № 2–4. Р. 299–336.

*Rogers J.C.* 1981. The North Pacific Oscillation // J. of Climatology. V. 1. Р. 39–57.

*Savelieva N.I., Semiletov I.P., Vasilevskaya L.N., Pugach S.P.* 2000. A climate shift in seasonal values of meteorological and hydrological parameters for Northeastern

- Asia // Progress in Oceanography. V. 47. P. 279–297.
- Sekine Y. 1999. On variation in the subarctic circulation in the North Pacific // Progress in Oceanography. V. 43. № 2–4. P. 192–203.
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson Th.C., Lawrimore J.. 2008. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006) // J. Climate. V. 21. P. 2283–2296.
- Tachibana Y., Ogi M. 2009. Influence of the annual Arctic Oscillation on the negative correlation between Okhotsk Sea ice and Amur River discharge // PICES Scientific Report. № 36. P. 10–15.
- Tian Y., Kidokoro H., Watanabe T., Iguchi N. 2008. The late 1980s regime shift in the ecosystem of Tsushima warm current in the Japan/East Sea: Evidence from historical data and possible mechanisms // Progress in Oceanography. V. 77. P. 127–145.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // Geophys. Res. Lett. V. 25. P. 1297–1300.
- Trenberth K.E. 1991. General characteristics of El Niño – Southern Oscillation // Teleconnections linking worldwide climate anomalies / Ed. by M. Glantz, R. Katz, N. Nicholls. Cambridge. 535 p.
- Trenberth K.E., Branstator G.W., Karoly D. 1998. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperature // J. Geophys. Res. V. 103 (C7). P. 14291–14324.
- Trenberth K.E., Hurrell J.W. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific // Climate Dynamics. V. 9. P. 303–319.
- Wallace G.T., Gutzler D.S. 1981. Teleconnections in the geopotential heights field during the Northern Hemisphere winter // Mon. Wea. Res. V. 109. P. 784–812.
- Welch D.W., Rechisky E.L., Challenger W.C., Porter A.D. 2013. Critical periods in the marine life history of Pacific salmon // Doc. dep. NPAFC Third international workshop on migration and survival mechanisms of juvenile salmon and steelhead in ocean ecosystems. April 25–26, 2013. Honolulu, USA. P. 28.
- Yeh S.-W., Kang Y.-J., Noh Y., Miller A.J. 2011. The North Pacific climate transitions of the winters of 1976/77 and 1988/89 // Journal of Climate. V. 24. P. 1170–1183.

Поступила в печать 02.11.2015 г.

Принята после рецензии 06.11.2015 г.

## Impact of climatic and oceanographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015

B.N. Kotenev, A.S. Krovnin, N.V. Klovach, N.V. Mordasova, G.P. Muriy

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”, Moscow)

The relationship between thermal conditions and catch dynamics of main pink salmon stocks (Kamchatka and Sakhalin-Kuril stocks) in their feeding areas in the marginal seas and adjacent ocean waters is discussed. The oceanic warming along with cooling of the marginal seas in the 1950s–1960s resulted in a sharp decline of catches because the pink salmon abundance was formed at the estuary-coastal stage of their life. The warming of both marine and oceanic waters was favorable for growth of catches in the 1970s. The cooling of the ocean and marginal seas (1984–1988) led to decrease in abundance and weight of salmon. The general warming of the North Pacific waters created favorable conditions (mild winters, larger zooplankton biomass) for growth of pink salmon catches (1990–2000). A simultaneous warming in areas which cover all stages of pink salmon life, and especially warming of coastal waters, ensured the record high catches in 1991 and during 2005–2012. The ongoing transition from the favorable climatic regime of the 1990s–2000s to a new, unfavorable, regime of the 2020s–2030s will cause an increase in frequency of severe cooling events in the marginal seas that has already led to a sharp decrease in pink salmon catches in the Northwest Pacific during 2012–2015.

**Key words:** pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, the Sea of Okhotsk, the Bering Sea, water temperature anomalies, heat content, feeding grounds, climatic and oceanographic indices.