

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

© 2022 г. Ж. Р. Цхай^{а, *}, Г. В. Шевченко^{а, b}, Д. М. Ложкин^а

^аСахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, Россия

^bИнститут морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

*E-mail: tshay@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.05.2021 г.

Проанализированы среднемесячные значения температуры поверхности океана с января 1998 г. по август 2020 г. в районе, включающем акваторию дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. Показано, что временная функция первой моды, описывающей более 95% дисперсии изучаемого параметра, имела значительные положительные отклонения от средних многолетних величин в январе–апреле 2020 г. в южной части изучаемого района, где расположены традиционные места нагула горбуши. Возможно, именно эти аномально высокие температуры сказались на условиях выживания рыб и послужили причиной ее слабых нерестовых подходов к берегам Дальнего Востока России летом 2020 г. Весной (в мае–июне) выраженность аномалий в южной части изучаемого района снизилась, но при этом сформировались существенные положительные отклонения от нормы в его северной части, у восточного (включая Карагинский залив) и западного побережий Камчатки. Во временных функциях главных мод выявлены лишь очень слабые тренды к повышению, что указывает на отсутствие ощутимых тенденций к глобальному потеплению в регионе. В их огибающих по нижним значениям выделено отчетливое проявление 11-летнего цикла, находящегося в противофазе с показателями солнечной активности. В вариациях летних максимумов во временной функции первой моды не обнаружено закономерных, в частности циклических составляющих. В колебаниях максимумов временной функции второй моды основной вклад внесла циклическая компонента с периодом 22 г.

Ключевые слова: температура поверхности океана, климат, метод естественных ортогональных функций, Охотское море, Японское море, тихоокеанские лососи

DOI: 10.31857/S0205961422010079

ВВЕДЕНИЕ

Побудительной причиной данного исследования стали слабые, гораздо ниже ожидаемых, нерестовые подходы горбуши к восточным берегам полуострова Камчатка, да и к другим участкам дальневосточного побережья, где ее традиционно добывают российские рыбаки. Как всегда в подобных случаях, взоры ихтиологов и рыбопромышленников обращаются к климатическим факторам, которые смогли бы объяснить снижение уловов этого ценного вида тихоокеанских лососей, играющего существенную роль в экономике Дальнего Востока России. Учитывая акваторию, в которой нагуливается горбуша в морской период ее жизни (Атлас распространения..., 2002; Шунтов, Темных, 2008, 2011), необходимо было проанализировать термические условия в достаточно большой области, что определило выбор района исследований, включающего дальневосточные моря и прилегающую северо-западную часть Тихого океана (СЗТО). В качестве анализируемого мате-

риала использовались доступные спутниковые данные по температуре поверхности океана (ТПО). Естественно, исследование особенностей пространственно-временной изменчивости термических условий в такой значительной по размерам акватории представляет не только чисто практический, но и существенный научный интерес, так как вариации температуры поверхностного слоя отражают основные особенности циркуляции вод в регионе и иных важных океанологических процессов.

Климатическим изменениям в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана посвящен ряд исследований, в которых рассматривались как данные судовых океанологических съемок и доступных архивов метеорологической информации (Хен и др., 2004, 2008; Глебова и др., 2009; Зуенко и др., 2019), так и материалы измерений температуры морской воды на береговых гидрометеорологических станциях Росгидромета (Ростов и др., 2017, 2018). В большинстве этих работ отмечалась тенденция к повышению темпе-

Таблица 1. Результаты расчета собственных значений ЕОФ

Мода	Собственное значение	Доля дисперсии, %	Суммарная дисперсия, %
1	74.108	95.361	95.361
2	3.057	3.934	99.295
3	0.164	0.211	99.506
4	0.065	0.083	99.590
5	0.030	0.039	99.629

ратуры в дальневосточных морях, обусловленная, прежде всего, изменениями в приземном слое атмосферы в регионе, а также обсуждались некоторые ситуации, когда отклонения термических условий от нормы были наиболее существенными. Целью данной работы было выделение особенностей температурных условий в конце 2019–начале 2020 г., которые могли бы повлиять на состояние популяции горбуши, идущей на нерест к побережью Дальневосточного региона России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании были использованы среднемесячные значения ТПО с января 1998 г. по август 2020 г., размещенные на веб-ресурсе климатических данных ERA5 (<https://cds.climate.copernicus.eu>), с четверть градусным разрешением в районе с координатами 35–65° с.ш. и 130–180° в.д. Эта область охватила все Охотское море, основную часть Японского моря, западную часть Берингова моря и северо-западную акваторию Тихого океана. Для каждого месяца были рассчитаны средние многолетние значения, которые можно рассматривать как нормы, и определены соответствующие отклонения от нормальных показателей – аномалии температуры поверхности воды. При анализе сформированного массива данных применялся метод естественных ортогональных функций (ЕОФ), который позволил выделить характерные пространственные структуры в изучаемом параметре и рассмотреть их изменчивость во времени (Багров, 1959).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты разложения пространственно-временного поля ТПО по ЕОФ представлены в табл. 1. Первые пять мод описали практически 100% общей дисперсии изучаемого параметра, из которых более 99% приходилось на две первые наиболее значимые и информативные моды. На рис. 1 показаны графики изменения временных функций этих мод, а на рис. 2 соответствующие им пространственные распределения векторов.

Временная функция первой моды не принимала нулевых значений и была одного знака в течение всего рассматриваемого интервала време-

ни. Она носила характер циклических сезонных вариаций, межгодовая изменчивость выражалась в слабой модуляции годового хода (разница между летними максимумами составила около 0.2°C) (см. рис. 1). Самый низкий максимум (значение временной функции в период максимального прогрева в августе) отмечен в 2002 г., который условно можно назвать холодным годом, самый высокий – в теплом 2012 г.

На фоне этих устойчивых колебаний выделялись более высокие значения временной функции в январе–апреле 2020 г. Расчеты по выборкам для этих месяцев показали, что разница между величиной временной функции для 2020 г. в сравнении со средним значением за 1998–2019 гг. составила от 1.9 до 2.6 величины среднеквадратического отклонения. В марте 2020 г. (наиболее холодном месяце региона) величина временной функции была на 11% выше среднемноголетнего значения.

Все вышеперечисленные особенности указывают на экстраординарность термических условий прошедшего года. Определяющий вклад первой моды в вариации ТПО в изучаемом регионе означает, что в зонах с высокими значениями вектора (южнее субарктического фронта) сформировались аномально теплые зимние условия. Это согласуется с пространственным распределением аномалии температуры в поверхностном слое в январе–марте 2020 г. (аномалии ТПО для последнего представлены ниже на рис. 3).

Для характеристики межгодовой изменчивости рассматривались огибающие временной функции как по верхним (формировалась выборка за август), так и по нижним значениям (март). Для летних значений каких-либо закономерных квазипериодических вариаций определить не удалось, а в спектре зимних колебаний проявился цикл с периодом 11 лет. Причем мартовские температуры находятся в противофазе с числами Вольфа, коэффициент корреляции равен –0.71, что указывает на наличие значимой обратной связи, однако механизм влияния солнечной активности в данном случае неочевиден, так как считается, что зависимость должна быть прямой.

Пространственное распределение вектора первой моды ЕОФ (в данной работе мы принима-

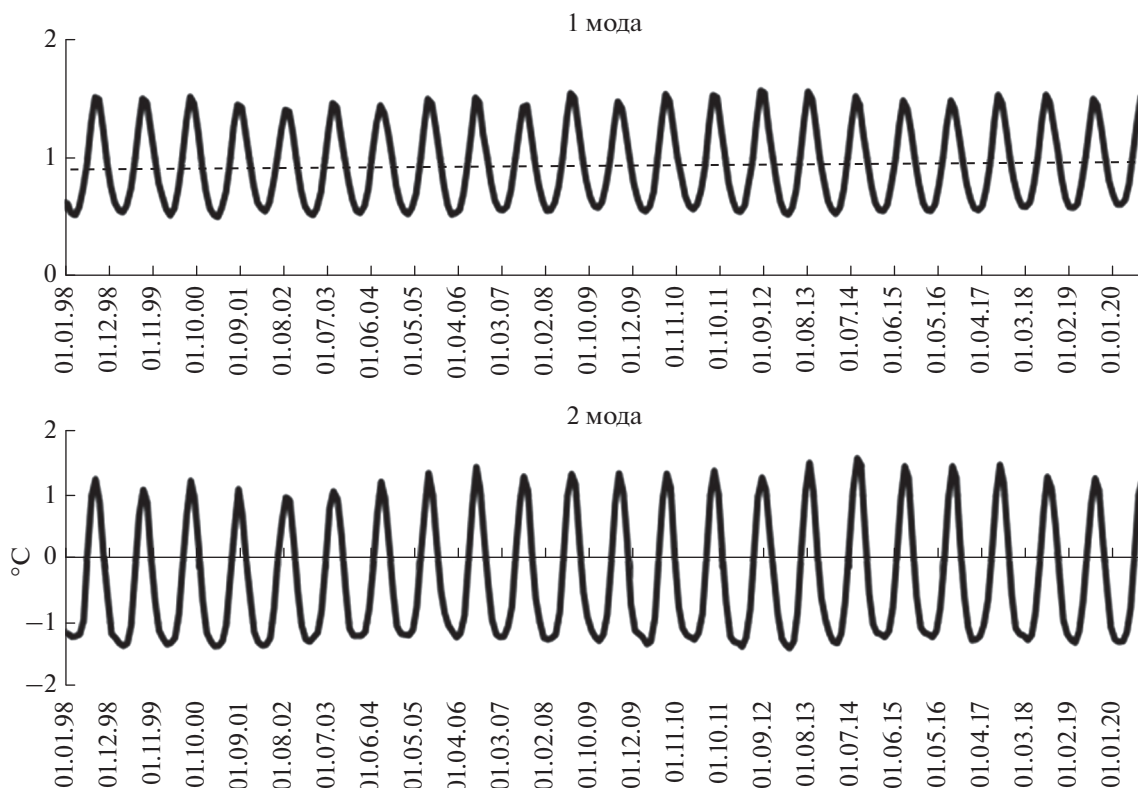


Рис. 1. Временные функции первой и второй мод разложения поля ТПО по EOF.

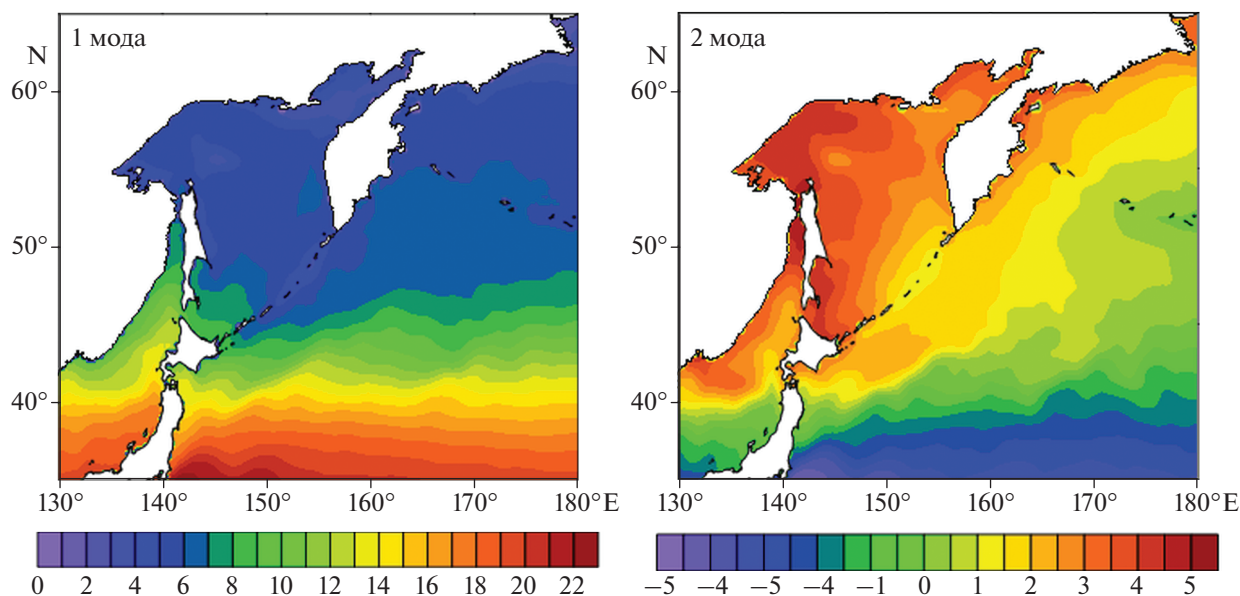


Рис. 2. Пространственное распределение векторов первой и второй мод разложения поля ТПО по EOF.

ем, что пространственное распределение безразмерно, а временная функция измеряется в градусах Цельсия) имело четко выраженную зональную структуру и отражало общий факт понижения

температуры воды в океане по мере продвижения на север (рис. 2). Явно выделялся субарктический фронт, характеризующийся значительным градиентом ТПО и проходящий приблизительно вдоль

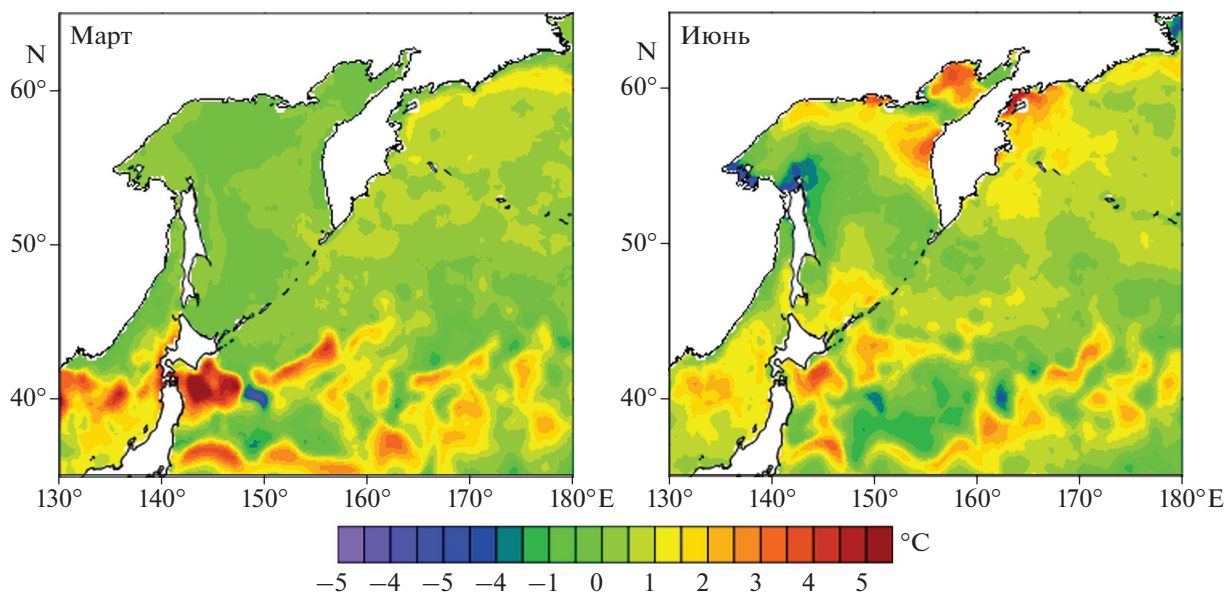


Рис. 3. Распределение аномалий ТПО в СЗТО в марте и июне 2020 г.

40-й параллели как в Японском море, так и в СЗТО. Некоторые отклонения от такой закономерной картины связаны с проявлением теплого Цусимского течения у западного побережья Хоккайдо и в Татарском проливе, а также холодного течения Ойясио у северо-восточного берега о. Хонсю. Определялись низкими значениями моды зоны апвеллингов и традиционно холодноводных акваторий – Средние Курилы, банка Кашеварова, район Шантарских островов, залив Шелихова в Охотском море и прибрежная зона Берингова моря к северу от м. Олюторский, включая Анадырский залив.

Временная функция второй моды также имела вид годовых колебаний с максимальными значениями в августе и минимальными в марте, однако, в отличие от первой моды, она в течение года изменяла свой знак. Положительные значения наблюдались с июля по октябрь, отрицательные – с ноября по май (рис. 1). В июне значения временной функции были близки к нулю и колебались в диапазоне от -0.2 до $+0.2$ °C. При этом значения вектора второй моды ЕОФ распределялись по меридиональному направлению на акватории Охотского и отчасти Японского моря (максимальные значения в северо-западной части Охотского моря, в северной части Татарского пролива и в сравнительно узкой полосе вдоль юго-восточного побережья Сахалина, продолжающейся до о. Хоккайдо). Изолинии второй моды в Беринговом море и СЗТО вытянуты вдоль побережья Камчатки и Курильской островной гряды, однако узловая линия (линия перемены знака) практически совпадает с субполярным фронтом, к югу от которого значения моды отрицательны и возрастают

по абсолютной величине при приближении к экватору (см. рис. 2).

Можно предположить, что вторая мода показала изменчивость термического режима в зависимости от сезонного переноса воздушных масс вследствие смещения полей атмосферного давления. С декабря по апрель над регионом формировался зимний муссон с ветрами северных румбов. С июля по сентябрь – наоборот, преобладал летний муссон с ветрами южного направления. В июне и октябре обозначился переходный период с неустойчивыми ветрами (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1998). И особенно отчетливо муссонный климат оказывал влияние в Охотском море и северной части Японского моря. Это, в частности, означало, что в западной части Охотского моря и северо-западной части Японского моря вторая мода дала существенный положительный вклад летом и отрицательный зимой, а в области южнее 40-й параллели ситуация противоположна. Также, как и в первой моде, при оценке огибающей временной функции по зимним месяцам прослеживается четко выраженный 11-летний цикл с амплитудой примерно в три раза большей, чем у первой моды. Он также находится в противофазе с вариациями солнечной активности (коэффициент корреляции -0.46), но с временным сдвигом, что еще больше усложняет его интерпретацию. По летним значениям этот цикл также просматривается, но более существенную роль играют вариации с периодом около 22 лет. В зимние месяцы 2020 г. не отмечено существенных отклонений временной функции этой моды от обычных значений.

Рассматривались также моды разложения ЕОФ более высокого порядка, однако их вклад в пространственно-временную изменчивость ТПО в изучаемом районе оказался минимален – собственные значения и доля дисперсии были меньше единицы (см. табл. 1).

Определенные выше отклонения временной функции первой моды ЕОФ выделили особенности формирования термического режима в поверхностном слое дальневосточных морей и СЗТО в зимний период 2020 г. Пространственное распределение аномалии температуры поверхности моря в январе, феврале и апреле было аналогичным мартовскому (см. рис. 3). Значимые положительные аномалии обнаружены в южной части Японского моря и южной части СЗТО, а также на акватории у восточного берега Хоккайдо и северо-восточного побережья о. Хонсю. Менее существенные положительные отклонения от нормы наблюдались в западной части Берингова моря (за исключением Анадырского залива и акватории в районе м. Наварина) и центральной части СЗТО. Отрицательные аномалии фиксировались в западной части Охотского и северо-западной части Японского моря. Сложно однозначно относиться к оценкам в последнем случае, так как существенная часть этих акваторий с января по март покрыта льдом. Следовательно, некоторая часть данных была получена путем интерполяции, но в целом характер термических условий был именно таким. Открытым остается вопрос о влиянии положительных аномалий температуры на выживаемость горбуши в поверхностном слое в зимний период. Недавние исследования, выполненные в ходе морских экспедиций по изучению тихоокеанских лососей в марте 2018 и 2019 гг. в заливе Аляска, показали, что в условиях повышенного фона температур отмечается высокая степень зараженности рыб паразитами и морскими вшами. Это могло оказать негативное влияние на их здоровье, вплоть до гибели (Weitkamp et al., 2020; Deeg et al., 2020). Возможно, аналогичные факторы могли привести к гибели горбуши в СЗТО еще до ее нерестовых подходов к дальневосточным берегам России.

Весной (в мае–июне) 2020 г. значимость аномалий ТПО в южной части СЗТО несколько снижается, а в северной, наоборот, возрастает. Прежде всего, это относится к акваториям, прилегающим к полуострову Камчатка как с восточной, так и с западной стороны, на участке между 52-й и 58-й параллелями. Вероятно, что именно значительный прогрев акватории Карагинского залива, где в июне положительные аномалии достигли 5°C , стал одной из причин слабых подходов горбуши на восточном побережье Камчатки в начале путины 2020 г. Температура воды выше нормы фиксировалась в заливе Шелихова (за исключением Пенжинской губы), в Тауйской губе, а также в

целом на северном шельфе Охотского моря (см. рис. 3). Смещение положительных отклонений температуры воды в поверхностном слое в северном направлении проявилось и в активизации ветвей теплого течения Курисио: Цусимского течения – у юго-западного побережья о. Сахалин, течения Соя – в проливе Лаперуза и у южных Курильских островов. При этом временная функция первой моды в весенние месяцы 2020 г. не была максимальной за период наблюдений (в 2004 г. ее значения были выше), но близка к ней. В частности, в июне 2020 г. отклонение значения временной функции первой моды от нормы составило 1.9 величины стандартного отклонения, что тоже немало.

Остановимся на еще одном важном моменте, обычно рассматриваемом при изучении вариаций климатических условий, – влиянии глобального потепления. Оценки тренда во временной функции как первой, так и второй моды ЕОФ выявили положительные тенденции, однако скорость роста была очень мала как в целом по всему ряду, так и для отдельных месяцев. Коэффициенты линейного тренда составили около $0.002\text{--}0.003^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (рис. 4). Это позволило сделать вывод об отсутствии четкой направленности к повышению температуры поверхностного слоя воды в изучаемом регионе, что противоречит выводам, полученным для Охотского и Берингова морей в ряде работ (Ростов и др. 2017, 2018; Зуенко, 2019). Кроме того, для Охотского моря и Татарского пролива Японского моря работе Д.М. Ложкина и Г.В. Шевченко (2019) при анализе спутниковых данных были выделены отрицательные тренды для зимне-весеннего сезона и положительные – в летний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного анализа спутниковых наблюдений за температурой поверхности дальневосточных морей и СЗТО определены пространственные структуры первой (отражающей убывание ТПО с широтой) и второй (в дальневосточных морях изменяющейся с долготой и имеющей узловую линию, проходящую примерно вдоль 40-й параллели) мод. Показано, что во временной функции первой моды в зимние месяцы 2020 г. имелись существенные отклонения, отражающие значительные положительные аномалии ТПО в южной части Японского моря и СЗТО и более умеренные – в Беринговом море и центральной части СЗТО. Возможно, именно эти аномально высокие температуры сказались на условиях выживания горбуши и послужили причиной ее слабых нерестовых подходов к берегам Дальневосточного региона России летом 2020 г. Весной (в мае–июне) выраженность аномалий в южной части изучаемого района снизилась, но

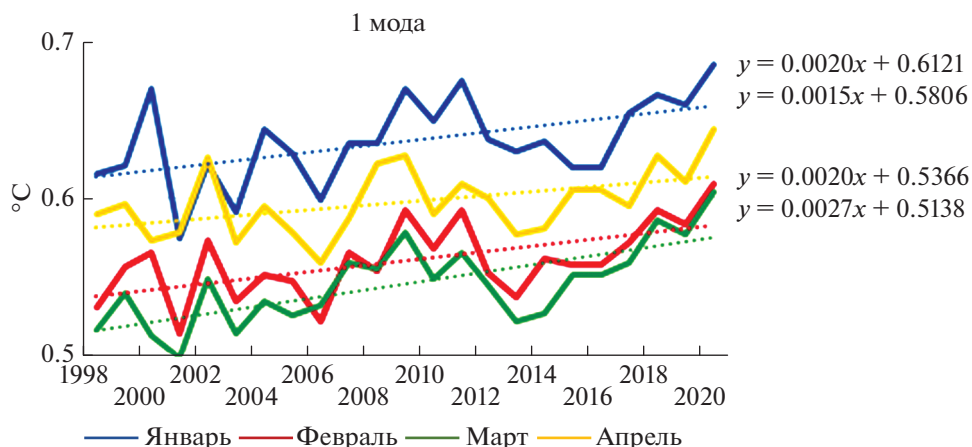


Рис. 4. Динамика изменчивости временной функции первой моды в январе–апреле с линиями тренда.

при этом сформировались значительные положительные отклонения от нормы в его северной части, у восточного (включая Карагинский залив) и западного побережий Камчатки, в заливе Шелихова (исключая Пенжинскую губу) и ряде других акваторий.

Во временных функциях главных мод выявлены лишь очень слабые тренды к повышению, что указывает на отсутствие явных тенденций к глобальному потеплению в изучаемом регионе. В их огибающих по нижним значениям выделено проявление 11-летнего цикла, находящегося в противофазе с показателями солнечной активности. В вариациях летних максимумов временной функции первой моды не обнаружено закономерных, в частности циклических составляющих, что указывает на весьма высокую устойчивость термических условий в дальневосточных морях и СЗТО, рассматриваемых в целом как единый объект, что не исключает различий в межгодовых колебаниях для отдельных акваторий. В вариациях максимумов временной функции второй моды основной вклад внесла циклическая компонента с периодом 22 г. Здесь же отмечено слабое влияние составляющей с периодом 11 лет.

Сложно сказать, насколько экстраординарные термические условия в СЗТО в зимние месяцы 2020 г. могли повлиять на выживаемость горбуши. Надеемся, что полученная в данной работе информация будет полезна ихтиологам. Наиболее вероятной причиной ее снижения могло быть воздействие на здоровье рыб паразитов и морских вшей. Существенным фактором слабых нерестовых подходов горбуши к восточному побережью Камчатки могли стать аномально теплые условия в Карагинском заливе в июне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций / Под ред. О.Ф. Гриценко. М.: ВНИРО, 2002. 190 с.

Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Труды ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3–24.

Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Ф.С. Терзиева и др. — СПб.: Гидрометеориздат, 1998. — 342 с.

Глебова С.Ю., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Долгопериодные тенденции в ходе атмосферных процессов и термического режима дальневосточных морей за последний 30-летний период // Известия ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 285–298.

Зуенко Ю.И., Асеева Н.Л., Глебова С.Ю., Гостренко Л.М., Дубинина А.Ю., Дулепова Е.П., Золотов А.О., Лобода С.В., Лысенко А.В., Матвеев В.И., Муктепавел Л.С., Овсянников Е.Е., Фигуркин А.Л., Шатилина Т.А. Современные изменения в экосистеме Охотского моря (2008–2018 гг.) // Известия ТИНРО. 2019. Т. 197. С. 35–61.

Ложкин Д.М., Шевченко Г.В. Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным 1998–2017 гг. // Исследование Земли из космоса. 2019. № 1. С. 55–61.

Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Известия ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 176–195.

Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов в западной части Берингова моря и прилегающих районах за последние десятилетия // Известия ТИНРО. 2018. Т. 191. С. 176–195.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л., Зуенко Ю.И., Новиков Ю.В., Сорокин Ю.Д., Гаманюк М.В. Гидрологические условия северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей в начале XXI века и ожи-

даемые тенденции // Вопросы промысловой океанологии. 2004. Вып. 1. С. 40–58.

Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л. Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувековой изменчивости // Известия ТИНРО. 2008. Т. 153. С. 254–263.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. 479 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 2. Владивосток: ТИНРО-центр, 2011. 473 с.

Deeg C., Kanzeparova A., Somov A., Esenkulova A., Di Cicco E., Kaukinen K., Tabata A., Ming T.J., Li S., Beamish R.J., Miller K. Way out there: Pathogens and stressors of overwintering salmon in the Gulf of Alaska // PICES 2020 Virtual meeting. Book of abstracts. Sydney, BC, Canada. P. 19.

Weitkamp L., Neville C., Somov A., Kanzeparova A. Potential effects of wounds and sea lice on the health of Pacific salmon on the high seas // PICES 2020 Virtual meeting. Book of abstracts. Sydney, BC, Canada. P. 19.

Analysis of Thermal Conditions in the Northwest Pacific Ocean from Satellite Data

Zh. R. Tskhay¹, G. V. Shevchenko^{1, 2}, and D. M. Lozhkin¹

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Sakhalin Branch (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

The average monthly values of the ocean surface temperature from January 1998 to August 2020 in the area including the waters of the Far Eastern seas and the northwestern part of the Pacific Ocean are considered. It was shown that the amplitude of the first mode, which describes more than 95% of the variance of the studied parameter, had significant positive deviations from the long-term mean values in January–April 2020 in the southern part of the study area, where traditional feeding grounds for pink salmon are located. Possibly, the abnormally high temperatures affected the survival conditions of pink salmon and caused its weak spawning approaches to the Russian Far East coast in the summer of 2020. In spring (May–June), the magnitude of anomalies in the southern part of the study area decreased, but significant positive deviations were formed in its northern part, near the eastern (including Karaginsky Bay) and western coasts of Kamchatka. In the amplitudes of the main modes, very weak upward trends were revealed, indicating the absence of significant manifestations of global warming in the region. In the envelope curve of the lower values, an 11-year cycle is marked, which is in antiphase with the solar activity indices. No regular cyclic components were found in the variations of summer maxima in the amplitude of the first mode. The cyclic component with a period of 22 years made the main contribution to the oscillations of the amplitude maxima of the second mode.

Keywords: ocean surface temperature, climate, empirical orthogonal function method, Sea of Okhotsk, Sea of Japan, Pacific salmon

REFERENCES

Atlas rasprostraneniya v more razlichnykh stad tikhookeanskikh lososei v period vesenne-letnego nagula i prednerestovyykh migratsiy [Atlas of distribution in the sea of various stocks of Pacific salmon during spring-summer feeding and pre-spawning migrations] / edited by O.F. Gritsenko. Moscow: VNIRO, 2002. 190 p. (In Russian)

Bagrov N.A. Analiticheskoe predstavlenie posledovatel'nosti meteorologicheskikh poley posredstvom estestvennykh ortogonal'nykh sostavlyayushchikh [Analytical representation of a sequence of meteorological fields by means of empirical orthogonal components] // Trudy TsIP. 1959. № 74. P. 3–24. (In Russian)

Deeg C., Kanzeparova A., Somov A., Esenkulova A., Di Cicco E., Kaukinen K., Tabata A., Ming T.J., Li S., Beamish R.J., Miller K. Way out there: Pathogens and stressors of overwintering salmon in the Gulf of Alaska // PICES 2020 Virtual meeting. Book of abstracts. Sydney, BC, Canada. P. 19. Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey. Tom IX. Okhotskoe more. Вып. 1. Gidrometeorologicheskie usloviya [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Volume IX. Sea of Okhotsk. Issue 1. Hydrometeorological con-

ditions] / edited by F.S. Terzieva et al. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998. 342 p. (In Russian)

Glebova S.Yu., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Dolgoperiodnyye tendentsii v khode atmosferynykh protsessov i termicheskogo rezhima dal'nevostochnykh morey za posledniy 30-letniy period [Long-term trends in the course of atmospheric processes and thermal regime of the Far Eastern seas over the last 30-year period] // Izvestiya TINRO. 2009.0. V. 159. P. 285–298. (In Russian)

Khen G.V., Ustinova E.I., Figurkin A.L., Zuenko Yu.I., Novikov Yu.V., Sorokin Yu.D., Gamanyuk M.V. Gidrologicheskie usloviya severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana i dal'nevostochnykh morey v nachale XXI veka i ozhidaemye tendentsii [Hydrological conditions of the northwestern part of the Pacific Ocean and the Far Eastern seas at the beginning of the XXI century and expected trends] // Voprosy promyslovy okeanologii. 2004. № 1. P. 40–58. (In Russian)

Khen G.V., Basyuk E.O., Sorokin Yu.D., Ustinova E.I., Figurkin A.L. Termicheskie usloviya na poverkhnosti Berinгова i Okhotskogo morey v nachale 21-go veka na fone poluvekovoy izmenchivosti [Thermal conditions on the surface of the Bering and Okhotsk seas at the beginning of the 21st cen-

- tury against the background of half a century of variability] // *Izvestiya TINRO*. 2008. V. 153. P. 254–263. (In Russian)
- Lozhkin D.M., Shevchenko G.V.* Trendy temperatury poverkhnosti Okhotskogo morya i prilegayushchikh akvatorii po sputnikovym dannym 1998–2017 gg. [Surface temperature trends of the Sea of Okhotsk and adjacent waters according to satellite data from 1998–2017] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2019. № 1. P. 55–61. (In Russian)
- Rostov I.D., Dmitrieva E.V., Vorontsov A.A.* Tendentsii klimaticheskikh izmeneniy termicheskikh usloviy pribrezhnykh rayonov Okhotskogo morya za poslednie desyatiletiya [Trends in climatic changes in the thermal conditions of the coastal regions of the Sea of Okhotsk in recent decades] // *Izvestiya TINRO*. 2017. V. 191. P. 176–195. (In Russian)
- Rostov I.D., Dmitrieva E.V., Vorontsov A.A.* Tendentsii klimaticheskikh izmeneniy termicheskikh usloviy pribrezhnykh rayonov zapadnoy chasti Beringova morya i prilegayushchykh rayonakh za poslednie desyatiletiya [Trends in climatic changes in the thermal conditions of the coastal areas of the western part of the Bering Sea and adjacent areas in recent] // *Izvestiya TINRO*. 2018. V. 191. P. 176–195. (In Russian)
- Shuntov V.P., Temnykh O.S.* Tikhookeanskie lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh. T. 1. [Pacific salmon in marine and oceanic ecosystems. V. 1] Vladivostok: TINRO-tsentr, 2008, 479 p. (In Russian)
- Shuntov V.P., Temnykh O.S.* Tikhookeanskie lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh. T. 2. [Pacific salmon in marine and oceanic ecosystems. V. 2]. Vladivostok: TINRO-tsentr, 2011. 473 p. (In Russian)
- Weitkamp L., Neville C., Somov A., Kanzeparova A.* Potential effects of wounds and sea lice on the health of Pacific salmon on the high seas // PICES 2020 Virtual meeting. Book of abstracts. Sydney, BC, Canada. P. 19.
- Zuenko Yu.I., Aseeva N.L., Glebova S.Yu., Gostrenko L.M., Dubinina A.Yu., Dulepova E.P., Zolotov A.O., Loboda S.V., Lysenko A.V., Matveev V.I., Muktepavel L.S., Ovsyannikov E.E., Figurkin A.L., Shatilina T.A.* Sovremennye izmeneniya v ekosisteme Okhotskogo morya (2008–2018 gg.) [Modern changes in the ecosystem of the Sea of Okhotsk (2008–2018)] // *Izvestiya TINRO*. 2019. V. 197. P. 35–61. (In Russian)