

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В 1998–2018 ГГ.

© 2020 г. Д. М. Ложкин^{а, *}, Г. В. Шевченко^{а, б}

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

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

*e-mail: dima-lm@rambler.ru

Поступила в редакцию 22.04.2019 г.

Для Охотского моря и прилегающих к нему акваторий сформированы ряды среднемесячных значений температуры поверхности моря в августе по спутниковым измерениям продолжительностью в 21 год (1998–2018 гг.). В каждой пространственной ячейке размером около 2×2 км методом наименьших квадратов определены амплитуды и фазы гармоник для различных периодов. Построены карты распределения амплитуд гармоник с периодами, кратными году, вклад которых в межгодовые вариации температуры поверхностного слоя наиболее значителен. Особенно сильно выделяется гармоника с периодом около 6 лет. Зона ее влияния охватывает большую часть исследуемой акватории. Вероятно, она связана с квазипериодическими колебаниями Цусимского течения. С юга на север основные периоды постепенно меняются с 6 до 11 лет. Однако в северо-западной части Охотского моря также сказывается влияние высокочастотной компоненты с периодом около трех лет. Показана возможность прогноза температуры поверхностного слоя на год вперед с учетом параметров линейного тренда и 4 гармоник с наибольшими амплитудами.

Ключевые слова: гармоника, температура поверхности моря, тренд, спутниковые данные, цикличность, Цусимское течение

DOI: 10.31857/S0205961420010066

ВВЕДЕНИЕ

Температура морской воды, колеблющаяся в гораздо более узких пределах, чем температура атмосферного воздуха, определяет и возможность существования морских организмов в данных условиях, и быстроту их развития. Равномерность, плавность вариаций температуры воды и ее относительная однородность в каждой конкретной акватории – это один из благоприятных факторов их существования, так как они испытывают меньший стресс при изменениях условий обитания. Вместе с тем в жизни морских организмов, в особенности на ранних периодах их развития, температура приобретает особое значение потому, что большинство их холоднокровны, т.е. находятся в существенной зависимости от теплового режима окружающей среды. Это в полной мере относится к молоди большинства промысловых рыб, в том числе такого важного в экономике Дальневосточного региона объекта, как тихоокеанские лососи. Представления о циклическом характере изменений климата и биоты дают возможность усовершенствовать режим эксплуатации промысловых запасов, показывая в какой фазе долгопериодного цикла – на спаде или

подъеме численности – находится промысловая популяция (Кляшторин, Любушин, 2005).

С целью изучения вариаций термических условий Охотского моря и прилегающих акваторий (северная часть Японского моря, прилегающая к Курильским островам северо-западная область Тихого океана) и их прогнозирования, в Сахалинском филиале ФГБНУ «ВНИРО» в 1997 г. была установлена приемная спутниковая антенна, позволяющая принимать спутниковую информацию о температуре воды в данном регионе.

Межгодовая изменчивость температуры поверхности моря представляет не только практический интерес для задач гидробиологии, продуктивности вод и рыбного промысла, но также значительный научный интерес, так как они отражают сложные динамические процессы, происходящие как в целом в изучаемом бассейне, так и на отдельных его участках (Андреев, 2017, 2018; Жабин, Дмитриева, 2016).

В работе (Шершнева, Шевченко, 2005) была разработана методика прогнозирования термических условий на год вперед на отдельных участках изучаемой акватории (эта методика также исполь-

зовалась для восстановления пропусков данных, связанных с влиянием облачности или техническими причинами), заключающаяся в расчете температуры в заданном квадрате в момент времени t по формуле:

$$T(t) = at + b + \sum_{k=1}^N c_k \cos(\omega_k t - \varphi_k), \quad (1)$$

где a и b – параметры линейного тренда (оценивались по накопленному 20-летнему ряду наблюдений в работе авторов (Ложкин, Шевченко, 2019)), c_k – амплитуды, а φ_k – фазы циклических составляющих (гармоник) вариаций температуры поверхности моря. Существенной особенностью метода является то обстоятельство, что амплитуды и фазы основных циклических составляющих рассчитываются методом наименьших квадратов, при этом их периоды перебираются в диапазоне от 18 до 144 мес. с шагом в 1 мес. Для каждой ячейки определялся набор из 3–4 гармоник, дающих наибольший вклад в межгодовые вариации ТПО. Поскольку они не являются ортогональными, то для прогноза по формуле (1) необходимо из исходного ряда вычитать рассчитанную волну, прежде чем определять параметры следующей, чтобы избежать двойного включения когерентных составляющих (в работах (Иванов, 2002; Иванов, 2006) такая методика была названа “методом последовательных спектров”).

Особенно ярко межгодовые вариации ТПО проявляются в августе, когда среднемесячная температура воды достигает своего максимального значения, и выражены в модуляции годовой гармоники (рис. 1). В отличие от атмосферного воздуха, вариации низких значений в зимний период не так выражены и менее интересны, поскольку во многих случаях температура воды на участках акватории, свободных ото льда, близка к точке замерзания. Поэтому в данной работе основное внимание было уделено изменчивости средних значений ТПО в августе. С практической стороны это представляет интерес с точки зрения миграций тихоокеанских лососей, подходящих на нерест в этот период года.

К настоящему времени в Сахалинском НИИ рыбного хозяйства и океанографии накоплен 21-летний ряд спутниковых данных по температуре поверхности Охотского моря, северной части Японского моря и северо-западной части Тихого океана, что позволяет проанализировать циклические вариации данного параметра в бассейне, очень важном как с научной, так и с практической точки зрения. Основной целью исследования было выделение основных циклических составляющих колебаний ТПО в изучаемом регионе в летний период, определение их периодов и областей их проявления (своеобразных “зон ответственности” этих компонент).

ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уверенный прием спутниковой информации о температуре поверхностного слоя моря, получаемой с помощью приемной спутниковой станции TeraScan (<http://www.seaspace.com>), обеспечен для района с 42° по 60° с.ш. и с 135° по 160° в.д. (см. ниже рис. 1). В базе спутниковых данных института накапливаются значения температуры поверхности моря, полученные со спутников серии *NOAA*, *METOP*, *AQUA* и *TERRA* (данные принимаются в видимом и инфракрасном диапазоне, после чего с помощью ПО TeraScan вычлняются отдельные продукты – ТПО, облачность, ледовитость и др.) в квадратах с пространственным разрешением около 2 км, хотя максимальное разрешение спутников *AQUA* и *TERRA* на отдельных каналах достигает 250 м (более подробное описание приведено в (Новиненко, Шевченко, 2007)). Далее они осредняются посуточно (в сутки обычно около 10 пролетов различных спутников), после чего рассчитываются среднедекадные и среднемесячные значения.

Для каждого квадрата строился ряд средних месячных значений за август, потери данных из-за облачности при осреднении за месяц практически равны нулю. По 21-летнему ряду данных (с 1998 по 2018 гг.) для каждой пространственной ячейки (матрицы 1000×1022) методом наименьших квадратов рассчитывались амплитуды и фазы гармоник, предварительно из исходных данных были вычтены линейные тренды согласно (Ложкин, Шевченко, 2019). Вычисления производились в ранее созданном программном комплексе, дополненном новыми функциями. Программа позволяет построить квазинепрерывный график изменения амплитуд в зависимости от периода, а также найти гармонику с наибольшей амплитудой в каждой точке, затем вывести распределение амплитуды циклической составляющей с тем или иным периодом в бинарный файл и на экран. Также было рассчитано распределение доли объясненной дисперсии данной гармоники в общих вариациях температуры поверхности моря в августе месяце в данной пространственной ячейке, значение которой достигает 45–60% в зонах, где влияние той или иной составляющей наиболее велико.

Распределения амплитуд гармоник были нанесены на карту в виде изолиний, величина амплитуды характеризуется цветом области. Перед нанесением изолиний, пространственные распределения были обработаны медианным фильтром 19×19 . На рис. 1 показаны распределения амплитуд различных гармоник, сверху отмечены точки, выбранные в произвольном порядке в различных частях исследуемого региона. График зависимости амплитуды от периода (можно называть его

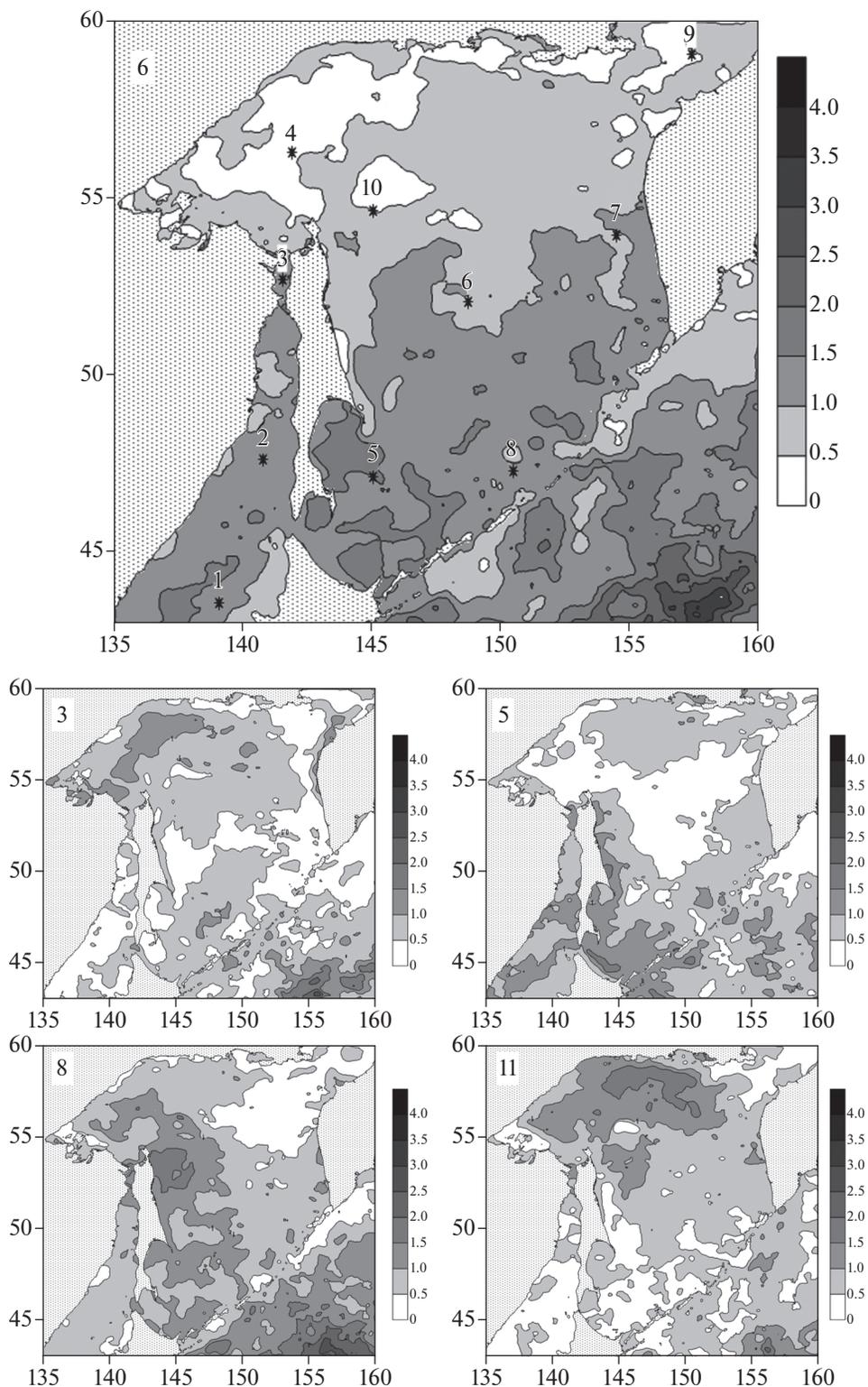


Рис. 1. Распределение амплитуд (в °С) межгодовых колебаний среднемесячной температуры поверхности моря (август) с определенным периодом (указан в годах в верхнем левом углу изображения).

условно спектром, хотя это не совсем точно из-за не ортогонального разложения) в некоторых точках изображен на рис. 2 (периоды от 18 до 144 мес. с шагом в 1 мес.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение амплитуд колебаний температуры в изучаемом регионе имеет довольно сложный характер. Определив в каждой простран-

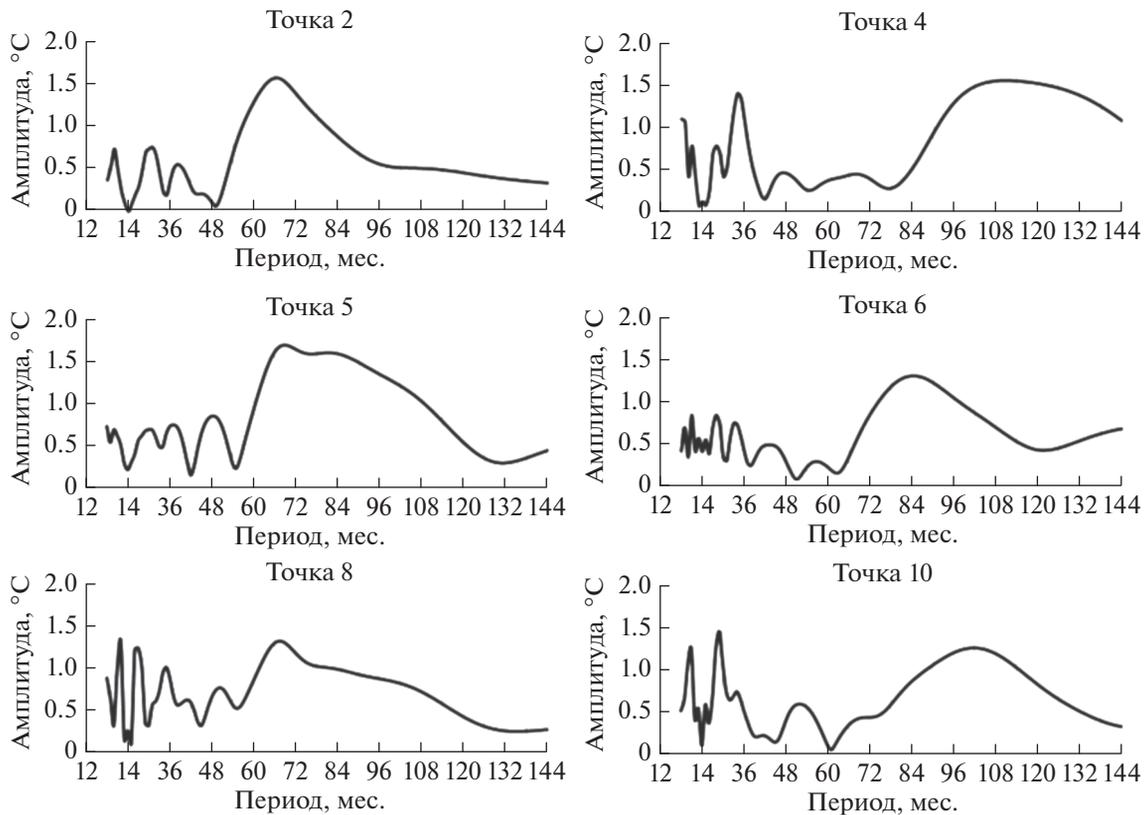


Рис. 2. Примеры графиков зависимости амплитуды гармоники (в °С) от ее периода (в месяцах). Расположение точек показано на рис. 1.

ственной ячейке период, которому соответствует наибольшая амплитуда и, выведя полученные данные на экран, мы установили несколько основных периодов, которые играют существенную роль в межгодовых вариациях ТПО в большинстве случаев. По ряду в 21 г. не вполне корректно рассчитывать колебания с периодом, превышающим половину ряда. Короткопериодные колебания неустойчивы и в целом мало информативны. Таким образом, были детально рассмотрены пространственные распределения амплитуд гармоник с периодом от 3 до 11 лет.

В большей части изучаемой акватории основную роль играли вариации с периодом около 5.5–6 лет (на графиках для точек 2, 5 и 8 рис. 3 можно увидеть, что наибольшая амплитуда в указанных точках соответствует периоду 66–68 мес.), пространственное распределение амплитуды с периодом 6 лет представлено на рис. 1. Зона ее влияния наиболее обширна и занимает южную половину Охотского моря и северную часть Японского моря, вплоть до Амурского лимана. Амплитуда этой гармоники в зоне ее влияния находится в пределах от 1 до 2°С. В окрестностях Курильских островов, у западного побережья о. Хоккайдо, у северо-восточного побережья о. Сахалин амплитуда несколько ниже (от 0.5 до 1°С). Далее на се-

вер, начиная с 52° с.ш., ее влияние падает и практически сходит на нет. В работе (Shevchenko et al., 2004) на основе ЕОФ-разложения температуры поверхности моря в северной части Тихого океана было показано, что колебание с близким периодом характерно для всей области, находящейся под влиянием течения Куросио и его ветви — теплого Цусимского течения. Об этом свидетельствуют большие амплитуды в зоне указанных течений и на рис. 1. Следовательно, в результате данного исследования удалось оценить границы влияния этой составляющей в Охотском море, которая проходит параллельно островам Курильской гряды и делит данный бассейн на две практически равные части. Вся северная часть Японского моря испытывает значительное влияние данного цикла.

Как видно из рис. 2, в большинстве точек также можно отметить максимумы в диапазоне периодов от двух до трех лет. Наиболее высокие значения амплитуды 3-летней гармоники можно отметить в северо-западной части Охотского моря, на удалении от берегов, а также у северо-западного побережья Камчатки и в полосе от 47° до 49° с.ш. и от 147° до 149° в.д., в районе Курильской глубоководной котловины и в северо-западной части Тихого океана. Однако амплитуды этих колебаний

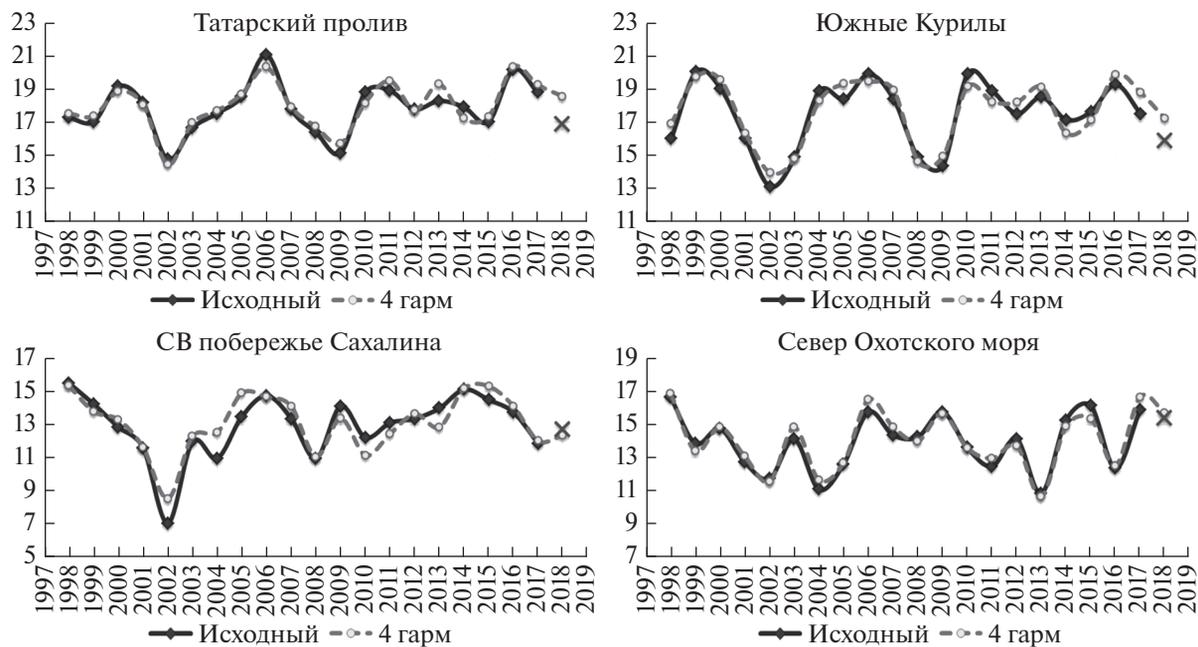


Рис. 3. Примеры графиков прогноза температуры (в °С) на следующий год. Пунктиром показана прогностическая кривая. Прогноз осуществляется по ряду с 1998 по 2017 г. Фактическая температура в 2018 году отмечена крестиком.

несколько ниже, чем у шестилетней гармоники (от 1 до 1.5°C). На удалении от этих областей амплитуда постепенно снижается до нуля.

Пространственное распределение амплитуд циклической составляющей с периодом 5 лет заметно отличается от рассмотренного выше для периода 6 лет, зона ее влияния заметно уже, она сосредоточена в основном на северном шельфе Хоккайдо, в районе Южных Курильских островов (обширные акватории как с охотоморской, так и с океанской стороны), и что удивительно, на северо-восточном шельфе Сахалина, где влияние более низкочастотной составляющей не было отмечено. В Татарском проливе ее роль также заметна, но выражена в меньшей степени, чем 6-летней гармоники.

В западной части Охотского моря и северо-западной части Тихого океана значимо проявляется циклическая компонента с периодом около 8 лет. Четко выделяется в пространственном распределении зона влияния стока реки Амур в летний период — Амурский лиман, южная и восточная части Сахалинского залива, область между полуостровом Шмидта и банкой Кашеварова (Ростов, Жабин, 1991). Интересно, что в области проявления течения Куроиси данная составляющая имеет большие амплитуды, в зоне Цусимского течения в Японском море — незначительные, при этом на северном шельфе Хоккайдо и с охотоморской стороны Южных Курильских островов, где сказывается тепляющее влияние течения Соя, амплитуды существенно больше.

Наиболее низкочастотная из рассматриваемых гармоник с периодом 11 лет проявляется в северной части Охотского моря, на остальных участках изучаемого района ее роль незначительна. Довольно трудно выдвинуть разумную гипотезу, которая могла бы объяснить столь значительные различия в весьма долгопериодных вариациях ТПО в различных частях одного бассейна. Можно только высказать предположение, что из-за сравнительной мелководности северного района, действия ветров южного румба и большего, чем в южной части, количества солнечных дней из-за меньшего влияния облачности, здесь более заметно сказывается влияние солнечного цикла.

Обращает внимание то обстоятельство, как смещаются зоны проявления гармоник с периодом от 5 до 11 лет. Если зона влияния 5-летней гармоники сфокусирована возле островов Сахалин, Хоккайдо и у Южных Курил, то при увеличении периода область с наибольшей амплитудой смещается по часовой стрелке (в сторону северо-восточного побережья Сахалина и дальше в северную часть Охотского моря). Этому интересному факту также сложно дать разумное объяснение, он требует дополнительного изучения.

На основе параметров полученных циклических компонент, был выполнен ретроспективный прогноз термических условий на лето 2018 г. (данные наблюдений за 1998—2017 гг. использовались для расчета параметров гармоник и линейного тренда). Расчет производился для каждой пространственной ячейки по формуле (1) с уче-

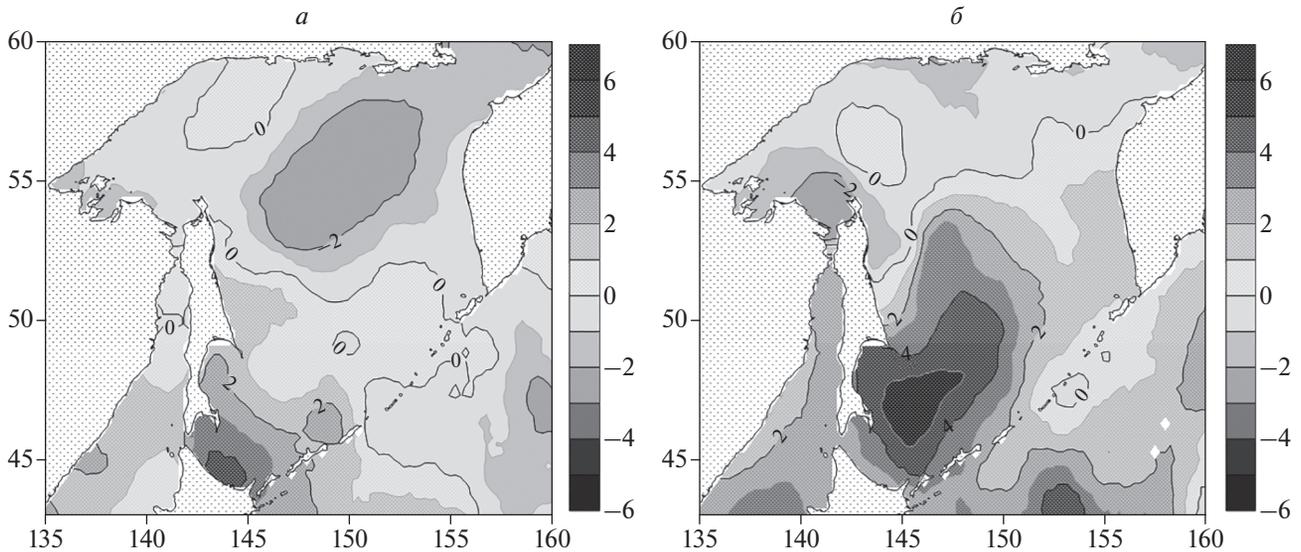


Рис. 4. Разница прогнозируемой и фактической температуры (*a* – август 2017 г., *б* – август 2018 г.).

том тренда и четырех гармонических составляющих с наибольшими амплитудами. Для прогноза перебирались периоды от 18 до 144 мес. Результаты расчета представлены на рис. 3 в виде графиков прогностических кривых и реальных вариаций температуры поверхности моря, включая прогнозируемые значения, имевшие место летом 2018 г. На рис. 4 показано пространственное распределение разности прогнозируемой и фактической температур для августа 2017 и 2018 г. Прогноз строился на год вперед по всему предшествующему ряду.

Кривые, являющиеся суммой тренда и первых четырех гармоник, в целом повторяют фактические межгодовые колебания температуры. Коэффициент корреляции исходного и прогнозируемого ряда в выбранных точках превышает 90%. Отметим, что, даже первые две гармоники во многих случаях обеспечивают коэффициент корреляции более 70%. Несмотря на то, что 2018 г. по термическим условиям был аномальным (ослаблено Цусимское течение и его охотоморская ветвь течения Соя, дефицит тепла ощущался в зоне влияния стока реки Амур), и в некоторых других районах, даже в таких акваториях прогноз можно считать приемлемым. Пример подобной ситуации дан для Татарского пролива, где прогностическое значение было выше фактического, но общий ход был предсказан верно, и ошибка была не так велика. Для северной части Охотского моря, северо-восточного шельфа о. Сахалин и ряда других районов наблюдалось хорошее согласие между расчетными и реальными значениями температуры поверхностного слоя.

Рассмотрим некоторые параметры приведенных ниже графиков. Стандартное отклонение ис-

ходных и прогнозируемых рядов соответствуют друг другу и находятся в пределах от 1.5°C (Татарский пролив) до 2°C (Южные Курилы). Среднее смещение прогнозируемого ряда относительно исходного колеблется в пределах 0.4–0.6°C. Ошибка прогноза составляет 1.7°C в Татарском проливе, 1.3°C у Южных Курил, 0.3–0.4°C в северной части исследуемой акватории.

Более детальные исследования, посвященные оправдываемости прогноза и границ применимости используемого подхода, будут проведены позднее. Однако уже сейчас можно сказать, что для существенной части районов Охотского моря и прилегающих акваторий прогноз температуры поверхностного слоя с годичной заблаговременностью достаточно успешен, хотя аномально холодные температуры, имевшие место на ряде участков в 2018 г., предсказать довольно сложно.

Рассмотрим более подробно рис. 4. Прогноз на август 2017 г. получился достаточно успешный, расхождение между фактической и прогнозируемой температурой на большей части акватории не превышает $\pm 2^\circ\text{C}$, при стандартном отклонении ТПО порядка 1.5–2°C (лишь в северо-западной части Тихого океана стандартное отклонение ТПО находится в пределах 2–4°C). В то же время в прогнозе на август 2018 г. присутствует обширная область, в пределах которой оценка температуры была сильно завышена (более 4°C). На карте аномалий ТПО за август 2018 г. (www.sakhniro.ru) также присутствуют области низких температур (на 3–4°C ниже средней многолетней нормы), которые совпадают в пространстве с областями неудачного прогноза. Данная область находится в зоне влияния Цусимского течения, и неточности прогноза связаны с тем, что ослабление данного

течения произошло на два года раньше предполагаемого срока. Действительно, на рис. 3 мы видим, что в Татарском проливе и у Южных Курил расстояние между двумя соседними минимумами ТПО сократилось до 3–4 лет, в то время как в литературе описаны его квазипериодические колебания с периодом около 6 лет (Shevchenko et al., 2004).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа массива данных по температуре поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий, определены основные циклические компоненты, отвечающие за межгодовые вариации данного параметра, и “зоны влияния” каждой гармонике. Показано, что главный вклад в эти вариации дают составляющие с периодом около 6 лет, а также 3, 5, 8 и 11 лет.

Зона влияния основной гармонике наиболее обширна и занимает южную половину Охотского моря и всю северную часть Японского моря, ее амплитуда находится в пределах 1–2°C. В окрестностях Курильских островов, у западного побережья о. Хоккайдо, у северо-восточного побережья о. Сахалин амплитуда несколько ниже (0.5–1°C), а в северной части Охотского моря ее влияние незначительно. Наиболее вероятно, эта составляющая связана с колебаниями течения Куроисио и ее ветви – Цусимского течения (Shevchenko et al., 2004).

Самые высокие значения амплитуды 3-летней гармонике (1–1.5°C) можно отметить в северо-западной части Охотского моря, на удалении от берегов, а также у северо-западного побережья Камчатки, в районе Курильской глубоководной котловины и в северо-западной части Тихого океана.

Область проявления составляющей с периодом 5 лет заметно уже, она сосредоточена в основном на северном шельфе Хоккайдо, в районе Южных Курильских островов (как с охотоморской, так и с океанской стороны), и на северо-восточном шельфе Сахалина. В Татарском проливе ее роль также заметна, но выражена в меньшей степени, чем 6-летней гармонике.

В западной части Охотского моря, в зоне влияния стока реки Амур, а также в северо-западной части Тихого океана значимо проявляется циклическая компонента с периодом около 8 лет.

Наиболее низкочастотная из рассматриваемых гармоник с периодом 11 лет проявляется в северной части Охотского моря, на остальных участках изучаемого района ее роль незначительна.

Вместе с параметрами линейного тренда (Ложкин, Шевченко, 2019), амплитуды и фазы основных циклических составляющих (в каждой пространственной ячейке использовалось по 4 гармонике с наибольшими амплитудами) можно использовать для прогноза термических условий на лето следующего года. Ретроспективный расчет

на 2018 г. дал в целом удовлетворительные результаты, несмотря на аномально холодные условия этого года, отмеченные на ряде участков изучаемой акватории. Возможность прогноза термических условий имеет прикладное значение, прежде всего для оценки условий подхода тихоокеанских лососей на нерест. А полученные результаты показывают, что в некоторых областях акватории можно рассчитывать на достаточно точный прогноз даже для такого неустойчивого параметра, как температура поверхности океана.

В целом, на успешность прогноза влияет то, насколько ярко выражены циклические составляющие с определенным периодом в данном районе. Выявление зоны влияния различных гармоник позволяет определить границы районов, в которых можно рассчитывать на применимость данного метода. Что касается точности прогноза, следует обратить внимание на наличие обширных областей, в которых модуль разности прогнозируемой температуры и фактической был порядка двух стандартных отклонений. Этот факт показывает, что данный метод не гарантирует успешность прогноза в случаях, когда наблюдаются сильные аномалии температуры. Его можно использовать лишь для получения первичной оценки температуры поверхности океана (или другого параметра, который испытывает квазипериодические колебания) на основе достаточно длинного ряда. Двадцатиоднолетнего ряда недостаточно, чтобы оценить низкочастотные компоненты (с периодом 30–50 лет), что также могло сказаться на качестве прогноза. Для более качественного прогноза можно комбинировать этот метод с оценкой текущих условий, корректируя прогноз в сторону увеличения или уменьшения температуры, в зависимости от текущих метеоусловий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев А.В.* Мезомасштабная циркуляция вод в районе Восточно-Сахалинского течения (Охотское море) // Исслед. Земли из космоса. 2017. № 2. С. 3–12.
- Андреев А.В.* Особенности циркуляции вод в южной части Татарского пролива // Исслед. Земли из космоса. 2018. № 1. С. 3–11.
- Жабин И.А., Дмитриева Е.В.* Сезонная и межгодовая изменчивость ветрового апвеллинга у восточного побережья о-ва Сахалин по данным скаттерометра Seawinds спутника Quikscat // Исслед. Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 105–115.
- Иванов В.В.* Исследование вариаций среднемесячной температуры воздуха с помощью последовательных спектров // Метеорология и гидрология. 2006. № 5. С. 39–45.
- Иванов В.В.* Периодические колебания погоды и климата // Успехи физ. наук. 2002. Т. 122. С. 777–811.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А.* Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО, 2005. 258 с.
- Ложкин Д.М., Шевченко Г.В.* Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий

по спутниковым данным 1998–2017 гг. // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 1. С. 55–61.
Новиненко Е.Г., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Охотского моря по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 5. С. 50–60.
Ростов И.Д., Жабин И.А. Гидрологические особенности приустьевой области реки Амур // Метеорология и гидрология. 1991. № 7. С. 94–99.

Шершнева О.В., Шевченко Г.В. Прогнозирование термических условий в Сахалино-Курильском регионе по спутниковым данным // Известия ТИНРО. 2005. Т. 142. С. 161–187.

Shevchenko G., Tshay Z., Puzankov C. EOF and wavelet analysis of satellite SST data in the northern Pacific // Proceedings of the Third PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas. Sidney, B.C., Canada, 2004. P. 13–18. (PICES Scientific report; N 26, 2004).

Cyclic Sea Surface Temperature Variations in the Sea of Okhotsk and Adjacent Water Areas According to Satellite Data in 1998–2018

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

¹*Sakhalin Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

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

For the Sea of Okhotsk and the adjacent waters, a series of monthly mean values of sea surface temperature in August were formed using satellite measurements of 21 years (1998–2018). In each spatial cell of about 2×2 km in size, the amplitudes and phases of the harmonics for different periods are determined by the least squares method. Harmonic amplitude distribution maps with periods that are multiples of a year are constructed, the contribution of which to the interannual variations in the temperature of the surface layer is most significant. The features of the distribution of harmonics with certain periods in the Sea of Okhotsk and adjacent water areas are revealed. Harmonics with a period of 6–7 years stand out particularly strongly. Their zone of influence covers most of the studied area. This is probably due to the quasi-periodic oscillations of the Tsushima current. From south to north, the main periods gradually change from 6 to 11 years. However, in the north-western part of the Sea of Okhotsk, the influence of the high-frequency component also affects (with a period of about three years). The possibility of forecasting the surface layer temperature for the year ahead is shown, taking into account the parameters of the linear trend and 4 harmonics with the largest amplitudes.

Keywords: harmonic, sea surface temperature, trend, satellite data, cyclicity, Tsushima current

REFERENCES

Andreev A.V. Mezomasshtabnaya tsirkulyatsiya vod v rayone Vostochno-Sakhalinskogo techeniya (Okhotskoe more) [Mesoscale Circulation in the East Sakhalin Current Region (Okhotsk Sea)] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2017. № 2. P. 3–12 (In Russian).

Andreev A.V. Osobennosti tsirkulyatsii vod v yuzhnoj chasti Tatarskogo proliva [Peculiarities of the Water Circulation in the Southern Tartar Strait] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2018. № 1. P. 3–11 (In Russian).

Ivanov V.V. Issledovanie variatsiy srednemesyachnoy temperatury vozduha s pomosh'yu posledovatel'nykh spektrov [Study of monthly mean air temperature variations with consecutive spectra] // Meteorologiya i gidrologiya. 2006. № 5. P. 39–45 (In Russian).

Ivanov V.V. Periodicheskie kolebaniya pogody i klimata [Periodic weather and climate variations] // Uspekhi fiz. nauk. 2002. V. 122. P. 777–811 (In Russian).

Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. Tsiklicheskie izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti [Cyclic climate changes and fish productivity] // M.: VNIRO, 2005. 258 p. (In Russian).

Lozhkin D.M., Shevchenko G.V. Trendy temperatury poverhnosti Okhotskogo morya i priliegayushchikh akvatoriy po sputnikovym dannym 1998–2017 gg. [Trends in sea surface temperature of the Sea of Okhotsk and adjacent water areas by satellite data in 1998–2017] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2019. № 1. P. 55–61 (In Russian).

Novinenko E.G., Shevchenko G.V. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' temperatury poverhnosti Okhotskogo morya po sputnikovym dannym [Spatial and temporal variability of the surface temperature of the Sea of Okhotsk according to satellite data] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2007. № 5. P. 50–60 (In Russian).

Rostov I.D., Zhabin I.A. Gidrologicheskie osobennosti priust'evoy oblasti reki Amur [Hydrological conditions of the Amur River near-mouth area] // Meteorologiya i gidrologiya. 1991. № 7. P. 94–99 (In Russian).

Shershneva O.V., Shevchenko G.V. Prognozirovaniye termicheskikh usloviy v Sakhalino-Kuril'skom regione po sputnikovym dannym [Forecast of thermal conditions in the Sakhalin and Kuril Regions on the base of satellite information] // Izvestiya TINRO. 2005. V. 142. P. 161–187 (In Russian).

Shevchenko G., Tshay Z., Puzankov C. EOF and wavelet analysis of satellite SST data in the northern Pacific // Proceedings of the Third PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas. Sidney, B.C., Canada, 2004. P. 13–18. (PICES Scientific report; № 26, 2004).

Zhabin I.A., Dmitrieva E.V. Sezonnaya i mezhdogodovaya izmenchivost' vetrovogo apvellinga u vostochnogo poberezh'ya o-va Sakhalin po dannym skatterometra Seawinds sputnika Quikscat [Seasonal and interannual variability of wind upwelling off the east coast of Sakhalin Island according to the Seawinds scatterometer of the Quikscat satellite] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2016. № 1–2. P. 105–115 (In Russian).