

## СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА ERA5

Г. В. Шевченко<sup>1,2</sup>, Д. М. Ложкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии,  
Россия, 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196,  
e-mail: [Shevchenko\\_zhora@mail.ru](mailto:Shevchenko_zhora@mail.ru); [dima-lm@rambler.ru](mailto:dima-lm@rambler.ru)

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения  
Российской академии наук,  
Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1б

Методом гармонического анализа и разложения по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) данных о температуре поверхности (ТПО) Охотского моря и прилегающих акваторий (42–60° с. ш., 135–160° в. д., база данных СахНИРО и реанализа ERA5 за 1998–2020 гг.) выявлены основные особенности сезонных вариаций термических условий в исследуемом бассейне. Показано, что амплитуда годовой гармоника, играющей определяющую роль в сезонных вариациях ТПО, в целом убывает в направлении с запада на восток во всем изучаемом районе, наиболее низкими значениями характеризуются зоны квазистационарных апвеллингов. Фаза возрастает вдоль оси северо-запад – юго-восток, общий сдвиг составляет 24–25° (около 3 недель). В пространственном распределении первой моды (все значения положительны) высокие значения фиксируются в акватории северной части Японского моря и Татарского пролива, северо-западной акватории Тихого океана (СЗТО) и юго-западной части Охотского моря. Ее временная функция характеризуется выраженным годовым ходом, с максимумом в августе–сентябре и минимумом в феврале–марте. Пространственное распределение второй моды имеет узловую линию, проходящую вдоль Курильской островной гряды со стороны Охотского моря. Значения пространственной функции моды изменяются вдоль оси северо-запад – юго-восток, максимальные положительные значения отмечаются на северо-западном шельфе Охотского моря и отрицательные – в удаленной части СЗТО. Временная функция второй моды имеет положительный максимум в июле–августе и отрицательный минимум – в ноябре–декабре. Такой характер второй моды показывает, что на фоне основного поля ТПО, описываемого первой модой, выделяется своеобразная сезонная «волна тепла», распространяющаяся с северо-запада на юго-восток и проходящая вдоль этой оси примерно за три недели, что является важной специфической особенностью термического режима изучаемого района.

**Ключевые слова:** температура поверхности океана, спутниковые данные, реанализ ERA5, гармонический анализ, разложение по естественным ортогональным функциям, Охотское море

## Введение

Охотское море отличается высокой биологической продуктивностью и является одним из наиболее важных в промысловом отношении бассейнов, в котором российские рыбаки добывают значительное количество тихоокеанских лососей, минтая, трески, камбал и других видов рыб и промысловых беспозвоночных. Поэтому изучение различных аспектов изменчивости его океанологических условий, в частности, термического режима поверхностного слоя, является важной прикладной задачей, для решения которой используются как судовые съемки, так и дистанционные спутниковые измерения. Данное исследование имеет и научное значение, поскольку на характер этой изменчивости работает ряд факторов – солнечная радиация (на ее поток существенно влияет альbedo морской поверхности, которое значительно возрастает при наличии ледяного покрова, и облачность), атмосферная циркуляция, адвективные и конвективные движения водных масс, проявления которых на разных участках акватории имеют свои особенности, многие из которых еще недостаточно изучены.

Исследования вариаций температуры поверхностного слоя Охотского моря были основаны преимущественно на материалах судовых съемок, общее количество которых измерялось десятками тысяч (Веселова, 1972; Гидрометеорология, 1998; Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, 2007; Хен и др., 2004, 2008; Зуенко и др., 2018). Материалы дистанционных наблюдений использовались для этой цели в меньшей степени, вероятно, по причине значительных пропусков в данных наблюдений, обусловленных влиянием ледяного покрова и облачности. Однако в современных условиях из-за постоянного сокращения числа морских экспедиций спутниковые наблюдения приобретают все большее значение, в том числе для изучения условий нагульных миграций и нерестовых подходов такого важнейшего объекта рыбного промысла, как тихоокеанские лососи.

Для решения этой задачи в 1996 г. в Сахалинском филиале ВНИРО (в то время СахНИРО) была установлена (и в 2012 г. обновлена) приемная спутниковая станция TerraScan. Полученные с помощью этой станции материалы спутниковых наблюдений за температурой поверхности океана (ТПО) ранее уже были использованы для оценки особенностей сезонных вариаций в зоне ее приема (Пузанков, Шевченко, 2001; Новиненко, Шевченко, 2007) при помощи разложения последовательности полей по естественным ортогональным функциям (ЕОФ). В первой из указанных работ данные дистанционных наблюдений были апробированы путем сравнения с контактными, в обоих обсуждались методы первичной обработки полученных материалов, в частности, пропуски, связанные с наличием ледяного покрова.

В работе (Новиненко, Шевченко, 2007) особенности пространственно-временной изменчивости ТПО были рассмотрены на основе 10-летнего ряда наблюдений с полумесячным интервалом по времени и пространственным разрешением четверть градуса для акватории Охотского моря; северная часть Японского моря и прилегающая к Курильским островам северо-западная часть Тихого океана (СЗТО) не учитывались. Были выявлены основные особенности пространственных

распределений, отвечающих четырем старшим модам ЕОФ. В данной работе аналогичный анализ выполнен для всего района мониторинга и по более продолжительному интервалу времени (23 года), что позволило более детально изучить пространственно-временную изменчивость ТПО, включая межгодовые вариации термического режима.

### Материалы и методы

В работе были использованы данные по температуре поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий из двух источников. Первый из них – это база данных СахНИРО (подробное описание алгоритма получения данных и их обработки приведено в (Новиненко, Шевченко, 2007)). Данные получены с искусственных спутников Земли серии NOAA для области, ограниченной координатами 42–60° с. ш. и 135–160° в. д. После прохождения цикла обработки они были усреднены помесечно и по четвертьградусным квадратам. В замерзающих акваториях в тех случаях, если пропуски данных превышали 20 суток (две трети от длины ряда наблюдений в данной ячейке за месяц), среднемесячное значение не рассчитывалось, эти пропуски не заполнялись. При расчете ковариационной матрицы в методе ЕОФ для таких ячеек вычисления производились по неполным рядам. Для контроля ранее был произведен расчет с восстановлением пропущенных значений, различий с вычислениями без восстановления выявлено не было.

Помимо этого, с сайта общего доступа <https://cds.climate.copernicus.eu> был взят массив ежемесячных значений ТПО с пространственным разрешением четверть градуса за тот же период и для той же области (данные реанализа ERA5). В работе (Ложкин, Шевченко, 2022) выполнен статистический анализ разности этих массивов ТПО (из спутниковых наблюдений вычитались данные реанализа), показавший, что зимой и летом в изучаемой акватории преобладают отрицательные значения, а весной и (в меньшей степени) осенью – положительные. При расчете по полному году разность близка к нулю, в целом соответствие данных неплохое за исключением нескольких месяцев, когда расхождения на довольно больших участках акватории были существенными, до 6–7 °С. Также было показано, что имеются систематические различия в некоторых динамически активных районах – Шантарские острова, Амурский лиман (здесь модель реанализа занижает данные ТПО по сравнению со спутниковыми), зоны квазистационарных апвеллингов (в них обратная картина). Названные обстоятельства не являлись существенными для этой работы, в которой результаты реанализа были использованы для расчета амплитуд и фаз сезонных гармоник (по данным СахНИРО эту операцию осуществить не удалось из-за пропусков в данных, которые в альтернативном источнике отсутствуют). Расчет параметров сезонных составляющих произведен стандартным образом методом наименьших квадратов в каждой ячейке изучаемой области. Помимо этого, последовательность полей ТПО из базы данных СахНИРО была проанализирована путем разложения по ЕОФ (Багров, 1959).

### Гармонический анализ сезонных вариаций

Главной характеристикой вариаций термических условий в средних широтах является годовой ход, поэтому основное внимание обычно уделяется его особенностям. Для изучения пространственной изменчивости интенсивности сезонных колебаний в каждой четвертьградусной ячейке изучаемой области были рассчитаны амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник. Результаты расчета представлены на рисунке 1.

Величина амплитуды годовой гармоник (рисунок 1а) отражает главным образом интенсивность летнего прогрева на различных участках изучаемого района, так как в зимний период значения ТПО изменяются мало и колеблются преимущественно от  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  на акватории Охотского моря до  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  у западного побережья Хоккайдо и в открытом океане.

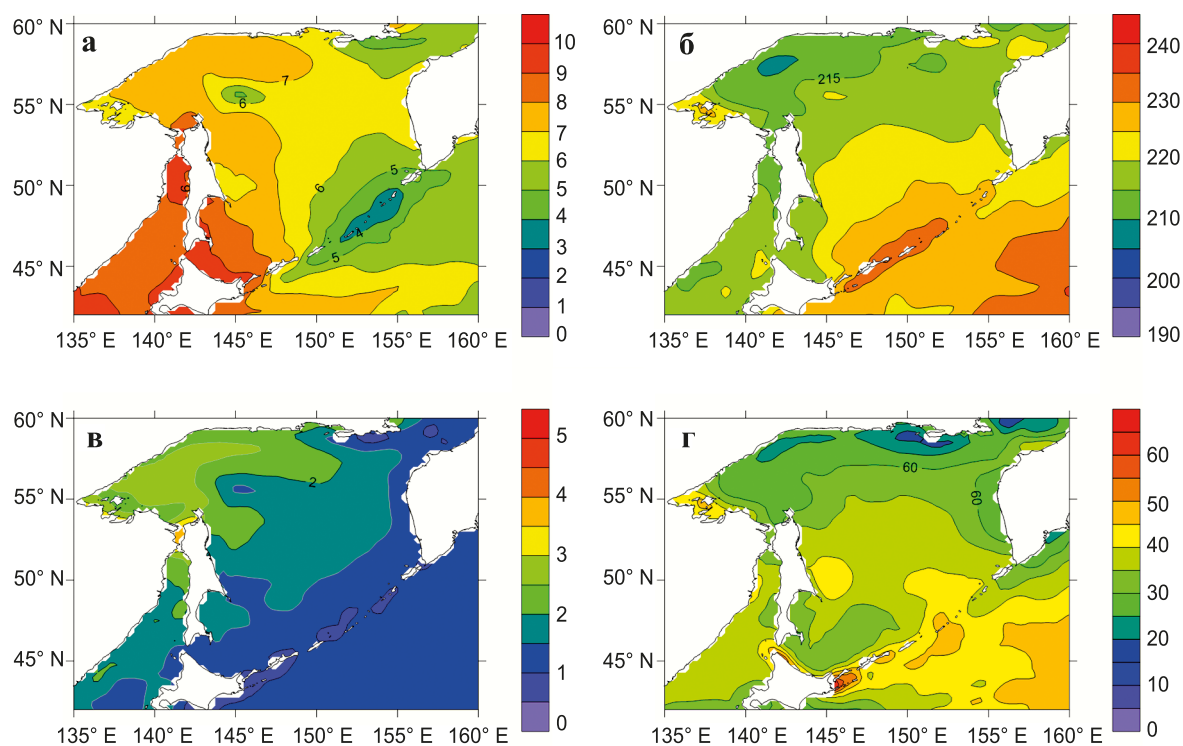


Рис. 1 – Пространственное распределение амплитуд (а, в, в  $^{\circ}\text{C}$ ) и фаз (б, г, в сутках) годовой и полугодовой гармоник по данным реанализа ERA5

Высокие значения амплитуды ( $7\text{--}9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) отмечены в северной части Японского моря, в особенности в северной части Татарского пролива; в юго-западной части Охотского моря и в зоне влияния стока реки Амур (Амурский лиман, восточная часть Сахалинского залива). Величина данного параметра уменьшается во всем широтном диапазоне в восточном направлении, включая северо-западную часть Тихого океана. На этом фоне особенно выделяются области квазистационарных апвеллингов – центральная часть Курильской гряды, банка Кашеварова, Ямские острова, где амплитуда

годового хода составляет всего 3–4 °С. Полученные результаты хорошо согласуются с характеристиками годового хода температуры в поверхностном слое по судовым измерениям в нескольких квадратах в северной и южной частях Охотского моря (Гидрометеорология..., 1998).

Фаза годовой гармоник (рисунок 1б) плавно возрастает в направлении с северо-запада на юго-восток. Наименьшие значения (208–210°) наблюдались на северо-западном участке шельфа в районе пос. Охотск, наибольшие (235–236°) выявлены в удаленной от Курильской дуги части СЗТО. Таким образом, наблюдается сдвиг фаз 24–25° (около 3 недель), означающий более ранний прогрев, а также и более раннее выхолаживание на северо-западном шельфе моря по сравнению с основной частью его акватории и примыкающей к Курильским островам частью Тихого океана. Причины, которые могут способствовать подобным особенностям пространственно-временной изменчивости ТПО в изучаемом районе, рассмотрены ниже.

Амплитуда полугодовой гармоник мала в СЗТО и на основной части акватории Охотского и Японского морей (рисунок 1в), ее значения возрастают в северо-западной части Охотского моря и в северной Татарского пролива, то есть в наиболее замерзающих акваториях. Как показано ниже, эта составляющая дает существенный вклад во временную функцию второй моды, имеющей высокие значения пространственной функции в указанных районах.

Фаза полугодовой гармоник (рисунок 1г) меняется в весьма широких пределах, однако основные изменения отмечены в районах, где ее амплитуда мала, в частности вблизи Курильских островов и к северу от о. Хоккайдо. Просматривается в целом ее возрастание с севера на юг – юго-восток.

### **Разложение поля ТПО по ЕОФ**

Последовательность полей температуры поверхности Охотского моря была разложена по естественным ортогональным функциям (Багров, 1959). Величины собственных векторов и доля объясненной ими дисперсии параметра представлены в таблице. Как обычно это бывает при изучении термических условий в различных регионах, основную роль играет первая мода, ее пространственное распределение (принимается безразмерным) представлено на рисунке 2а, а соответствующая временная функция – на рисунке 3 (в °С). Значения пространственного распределения во всех пространственных ячейках изучаемой области положительные, временная функция также одного знака. Осредненный годовое ход временной функции хорошо описывается комбинацией годовой и полугодовой гармоник с амплитудами 0.9 и 0.2 °С при среднем значении функции 0.8 °С, с максимальными величинами в августе–сентябре (1.8 и 1.7 °С соответственно) и минимальными в феврале–марте (0.12 и 0.11 °С).

Таблица – Результаты расчета собственных значений ЕОФ

Мода	Собственное значение	Доля дисперсии, %
1	39.567	93.571
2	1.227	2.903
3	0.186	0.441
4	0.136	0.322

В пространственном распределении высокими значениями функции (8–9 единиц) характеризуется акватория северной части Японского моря и Татарского пролива (в особенности область у западного побережья о. Хоккайдо), Амурский лиман и полоса в СЗТО вдоль южной границы изучаемого района. В Охотском море в наибольшей степени прогревается его юго-западная часть, включая северный шельф Хоккайдо, заливы Анива и Терпения, район южных Курильских островов (вклад первой моды здесь до 14–15 °С с учетом параметров временной функции). На основной его акватории значение пространственной функции около 6, то есть в августе температура поверхностного слоя составляет обычно примерно 11 °С, а наиболее низкие показатели отмечены, как и выше, по результатам гармонического анализа, в районах квазистационарных апвеллингов – Центральная часть Курильской гряды, Ямские острова, банка Кашеварова. Отметим, что в работе (Новиненко, Шевченко, 2007) были выявлены существенные различия между более высокими значениями моды в западной части моря и более низкими – в восточной части, которые не отмечены в распределениях по более обширному району, приведенных на рисунке 2.

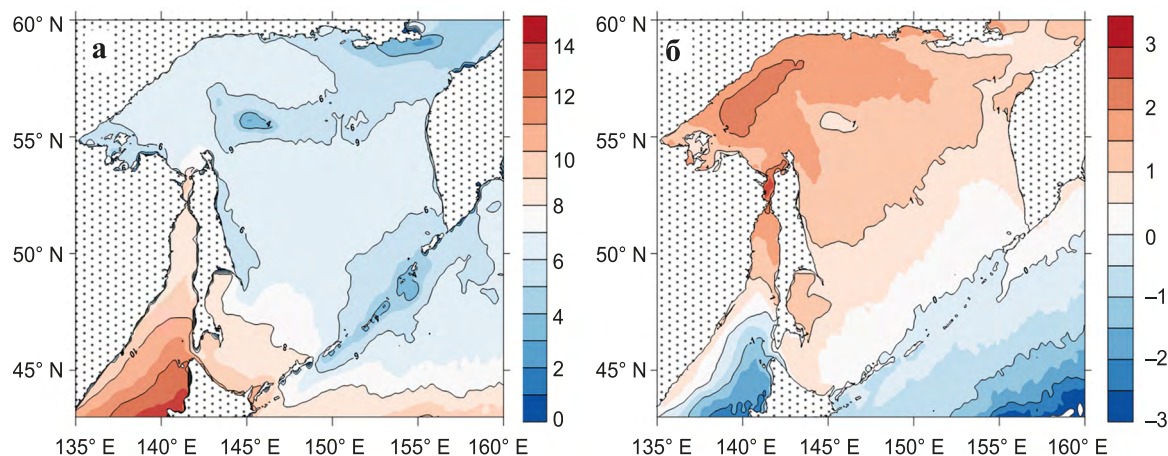


Рис. 2 – Пространственное распределение первой (а) и второй (б) мод разложения последовательности полей ТПО по ЕОФ (безразмерное) по спутниковым данным

Во временной функции значимо проявляются межгодовые вариации термических условий, выраженные в модуляции годового хода, особенно по выборке по максимальным значениям (анализировались по набору значений в августе). Также можно выделить заметные экстремумы в этой выборке, отвечающие «теплым»

и «холодным» годам в изучаемой акватории, что также представляет определенный интерес. Низкие значения временной функции отмечены в 2002 г. (необычно холодные условия этого года уже обсуждались ранее в работах (Новиненко, Шевченко, 2007; Цхай, Шевченко, 2013)), а также в 2009 г. и, в меньшей степени, в 2014 г. (значения временной функции 1.4; 1.58 и 1.78 °C соответственно). Интересно, что в августе 2009 г. значимые отрицательные аномалии (от –4 до –7 °C) наблюдались в южной части изучаемого района, прежде всего в удаленной от Курильских островов части СЗТО и в центральной части Японского моря. При этом на севере Охотского моря были выявлены существенные положительные отклонения ТПО от средних многолетних значений.

Максимумы временной функции наблюдались в 1998, 2006, 2012 и 2016 гг. Наиболее высокие температуры в летний период наблюдались в 2012 г., значительные положительные аномалии ТПО отмечены в СЗТО, а также центральной и восточной частях Охотского моря (пространственные распределения аномалий представлены на сайте [www.sakhniro.ru](http://www.sakhniro.ru)). Отметим также, что амплитуда годовой составляющей достигла в указанном году максимума за счет низких значений ТПО в зимний период.

Вариации минимальных значений (по выборке за март) менее значительны, но также весьма интересны. Отметим наиболее холодную зиму в 2016 и теплую в 2020 гг.

Пространственное распределение второй моды (рисунок 2б) имеет узловую линию, проходящую вдоль Курильской островной гряды со стороны Охотского моря и вдоль кромки шельфа юго-восточной Камчатки. Отметим, что в расчете только по акватории моря она была расположена существенно севернее и вытянута примерно вдоль параллели 50° с. ш. (Новиненко, Шевченко, 2007). Значения пространственной функции изменяются вдоль оси северо-запад – юго-восток, максимальные положительные значения фиксируются на северо-западном шельфе Охотского моря и отрицательные – в удаленной части СЗТО. В Японском море узловая линия идет вдоль берега Приморья, но в южной части Татарского пролива приобретает зональную ориентацию и упирается в берег Сахалина на широте около 47°. Положительные значения отмечаются в северной части Татарского пролива (максимальные – в Амурском лимане), отрицательные – у западного берега о. Хоккайдо.

Временная функция второй моды (рисунок 3) также носит выраженный сезонный характер, ее осредненный годовой ход можно описать комбинацией годовой и полугодовой гармоник с амплитудами 1 и 0.6 °C при среднем значении функции – 0.5 °C. Положительные значения отмечены только в наиболее теплый период года с июня по сентябрь, причем существенную величину они имеют лишь в июле и августе (1 и 0.8 °C). Наибольшие по абсолютной величине отрицательные значения наблюдаются в ноябре и декабре (–1.48 и –1.45 °C соответственно).

Такой характер временной функции указывает на то, что в областях с положительными значениями пространственного распределения к основному полю ТПО, которое описывается первой модой, в июле–августе добавляется поправка, которая означает в принципе несколько более ранний (и более интенсивный) прогрев.

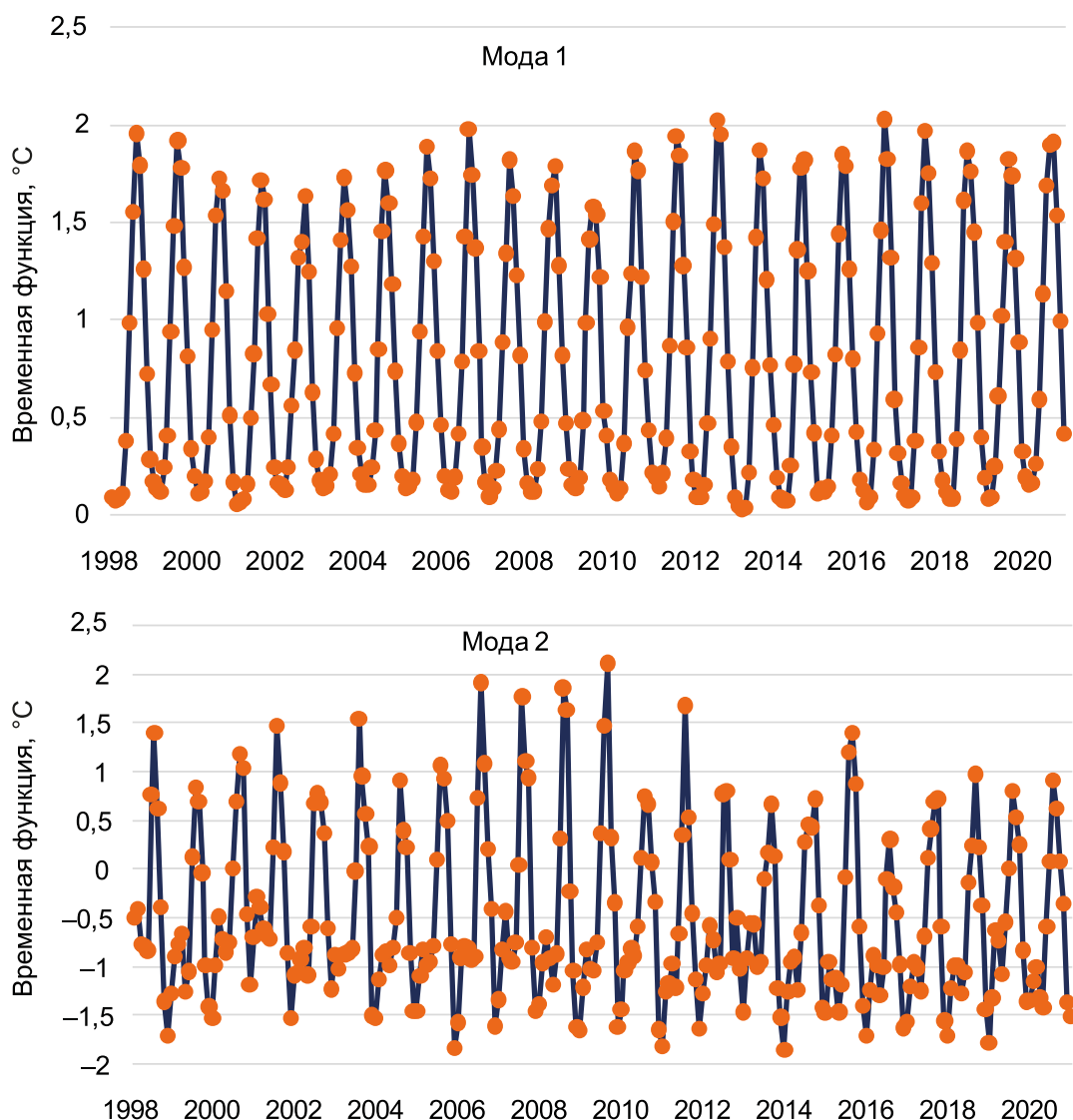


Рис. 3 – Временные функции первой и второй мод разложения последовательности полей ТПО по ЕОФ (в °C)

Это относится к северо-западной части Охотского моря, Амурскому лиману и северной части Татарского пролива. Осенью, в октябре – ноябре, ситуация меняется на противоположную, и в этих районах поправка отрицательная, что соответствует более раннему охлаждению поверхностного слоя воды, чем на основной части изучаемого района, и в особенности в юго-восточной части рассматриваемого участка СЗТО. Это хорошо согласуется с рассмотренными выше вариациями фазы годовой гармоники, также указывающими на подобный характер вариаций термического режима. Таким образом, на фоне основного поля ТПО, описываемого первой модой, выделяется своеобразная сезонная «волна тепла», распространяющаяся с северо-запада на юго-восток и проходящая вдоль этой оси примерно за три недели.

Одним из факторов, определяющих подобную особенность термического режима Охотского моря, является атмосферная циркуляция. Летний муссон, характеризую-



щийся преобладанием ветров южного и близкого к нему румбов, нагоняет теплую воду прогретого поверхностного слоя в северную часть Татарского пролива и на северный шельф Охотского моря. В конце сентября – начале октября в результате перестройки поля ветра к зимнему муссону с сильными и устойчивыми ветрами северо-западного румба происходит обратный процесс: поверхностная вода оттесняется от северо-западного побережья, вблизи которого формируется зона апвеллинга (Власова и др., 2008). Аналогичная картина наблюдается и в северной части Татарского пролива, хотя под действием этих ветров туда начинает поступать из Амурского лимана распресненная, сравнительно теплая вода стока реки Амур (Шевченко и др., 2011). Вероятно, по этой причине «волна тепла» проявляется здесь менее ярко, чем на северо-западном шельфе Охотского моря.

Еще одним важным фактором, который способствует более раннему прогреву в северо-западной части моря, является инсоляция. Максимум потока коротковолновой солнечной радиации, являющейся основным источником тепла в поверхностном слое океана, приходится в этом районе на июль (Ложкин, Шевченко, 2022). К тому же на широтах выше параллели  $50^\circ$  в меньшей степени, чем на юге изучаемого района, сказывается влияние облачности.

Доля дисперсии, которая объясняется третьей и четвертой модами, еще меньше, чем было получено при исследовании последовательности полей ТПО за 10-летний период, поэтому в данной работе мы их не рассматриваем.

## Заключение

В результате гармонического анализа и применения метода разложения по ЕОФ материалов спутниковых измерений температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий (база данных СахНИРО) и данных реанализа ERA5 за 1998–2020 гг. выявлены основные особенности сезонных вариаций термических условий в данном бассейне.

Показано, что амплитуда годовой гармоник, играющей определяющую роль в сезонных вариациях ТПО, в целом убывает в направлении с запада на восток во всем изучаемом районе, включая примыкающую к Курильским островам часть СЗТО. На этом фоне наиболее низкими значениями характеризуются зоны квазистационарных апвеллингов приливного происхождения – в центральной части Курильской гряды, у Ямских островов и на банке Кашеварова. Фаза возрастает вдоль оси северо-запад – юго-восток, общий сдвиг составляет  $24\text{--}25^\circ$  (около 3 недель).

Первая мода, объясняющая 93.5 % общей дисперсии вариаций ТПО в изучаемой акватории, характеризует типичный годовой ход и его интенсивность в различных районах. Вторая мода описывает региональные поправки, отражающие более ранний прогрев (и более раннее охлаждение) поверхностного слоя воды в северо-западной части Охотского моря по сравнению с остальной его акваторией и СЗТО.

Вместе с результатами гармонического анализа такой характер второй моды показывает, что на фоне основного поля ТПО, описываемого первой модой, выделяется своеобразная сезонная «волна тепла», распространяющаяся с северо-запада на юго-восток и проходящая вдоль этой оси примерно за три недели, что является важной специфической особенностью термического режима изучаемого района.

Более ранний прогрев в северо-западной части Охотского моря (и северной Татарского пролива) может быть обусловлен влиянием летнего муссона с характерными южными ветрами, нагоняющими поверхностную воду в эти районы, а также инсоляции. Более раннее охлаждение в них связано с перестройкой поля ветра в конце сентября – октябре к зимнему муссону с сильными и устойчивыми сгонными ветрами северо-западного румба.

### Список литературы

1. *Багров Н. А.* Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Тр. ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3–24.
2. *Веселова Л. Е.* Пространственное распределение температуры поверхностного слоя воды Охотского моря // Тр. ДВНИГМИ. 1972. Вып. 37. С. 13–28.
3. *Власова Г. А., Васильев А. С., Шевченко Г. В.* Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 359 с.
4. *Гидрология и гидрохимия морей. Том IX: Охотское море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия.* СПб: Гидрометеониздат, 1998. 342 с.
5. *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.) // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 197. С. 35–61.
6. *Ложкин Д. М., Шевченко Г. В.* Циклические вариации температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным за 1998–2018 гг. // Исследование Земли из космоса. 2020. № 4. С. 44–51.
7. *Ложкин Д. М., Шевченко Г. В.* Сравнительный анализ температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по данным спутниковых наблюдений и реанализа ERA5 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 2.
8. *Лучин В. А., Жигалов И. А.* Межгодовые изменения типовых распределений температуры воды в деятельном слое Охотского моря и возможность их прогноза // Изв. ТИНРО. 2006. Т. 147. С. 183–204.
9. *Лучин В. А.* Сезонная изменчивость температуры воды в деятельном слое дальневосточных морей. В кн.: Дальневосточные моря России. Ч. 1: Океанологические исследования. М.: Наука, 2007. С. 232–252.
10. *Новиненко Е. Г., Шевченко Г. В.* Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Охотского моря по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2007. № 5. С. 50–60.
11. *Пузанков К. Л., Шевченко Г. В.* Сезонные колебания температуры поверхности Охотского моря по спутниковым наблюдениям 1997–1998 гг. // Динамические

- процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно–Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2001. С. 94–110.
12. 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 ожидаемые тенденции // Вопросы промысловой океанологии. 2004. Вып. 1. С. 40–58.
  13. 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 полувекковой изменчивости // Известия ТИНРО. 2008. Т. 153. С. 254–263.
  14. Шевченко Г. В., Цхай Ж. Р., Частиков В. Н. Особенности океанологических условий на юго-восточном шельфе о. Сахалин по данным съемок на стандартных разрезах и спутниковых наблюдений // Океанологические исследования. 2020. Том 48. № 2. С. 51–68.
  15. Шевченко Г. В., Цхай Ж. Р., Частиков В. Н. Гидрологические условия в районе южных Курильских островов по данным спутниковых и судовых измерений // Океанологические исследования. 2021. Т. 49. № 2. С. 21–44.
  16. Luchin V. A., Zhigalov I. A., Plotnikov V. V. The interannual variability of the water temperature of the Okhotsk Sea // Proceedings of the Third PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas. Sidney, B.C., Canada, 2004. P. 27–29.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022, одобрена к печати 25.04.2022.

**Для цитирования:** Шевченко Г. В., Ложкин Д. М. Сезонные вариации температуры поверхности Охотского моря и прилегающих районов по данным спутниковых наблюдений и реанализа ERA5 // Океанологические исследования. 2022. № 50 (1). С. 25–37. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(1\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(1).3).

## SEASONAL VARIATIONS IN THE SURFACE TEMPERATURE OF THE SEA OF OKHOTSK AND SURROUNDING REGIONS FROM SATELLITE DATA

G. V. Shevchenko<sup>1,2</sup>, D. M. Lozhkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Sakhalin Branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography,  
196, ul. Komsomolskaya, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia,  
e-mail: Shevchenko\_zhora@mail.ru; dima-lm@rambler.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
1b, ul. Nauki, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia*

Using the method of harmonic analysis and EOF decomposition of SST data for the surface of the Sea of Okhotsk and adjacent water areas (42–60° N, 135–160° E, SakhNIRO database and ERA5 reanalysis for 1998–2020), the main features of seasonal variations in thermal conditions were determined. It was revealed that the amplitude of the annual harmonic, which plays a decisive role in the seasonal variations of SST, generally decreases in the direction from west to east throughout the study area, the lowest values are in the zones of quasi-stationary upwellings. The phase increases along the northwest-southeast axis, the total shift is 24–25° (about 3 weeks). In the spatial distribution of the first mode (all values are positive), the water area of the Sea of Japan, the NWPO, and the southwestern part of the Sea of Okhotsk

are characterized by high values. Its time function is characterized by a pronounced annual cycle, with a maximum in August–September and a minimum in February–March. The spatial distribution of the second mode has a nodal line running along the Kuril Islands from the Sea of Okhotsk side. The mode values vary along the northwest–southeast axis, with maximum positive values on the northwestern shelf of the Sea of Okhotsk and negative values in the remote part of the NWPO. The time function of the second mode has a positive maximum in July–August and a negative minimum in November–December. This nature of the second mode shows that, against the background of the main SST field described by the first mode, a peculiar seasonal “heat wave” is distinguished, propagating from the northwest to the southeast and passing along this axis in about three weeks, which is an important specific feature of the thermal regime of the study area.

**Keywords:** sea surface temperature, satellite data, ERA5 reanalysis, harmonic analysis, EOF decomposition, Sea of Okhotsk

### References

1. Bagrov, N. A., 1959: Analiticheskoe predstavlenie posledovatel'nosti meteorologicheskikh polej posredstvom estestvennykh ortogonal'nykh sostavlyayushchih (Analytical representation of the sequence of meteorological fields by means of natural orthogonal components). *Trudy CIP*, **74**, 3–24.
2. *Gidrologiya i gidrohimiya morey*. Vol. IX: Ohotskoe more. Vyp. 1: Gidrometeorologicheskie usloviya (Hydrology and hydrochemistry of the seas. Volume IX: Sea of Okhotsk. Issue 1: Hydrometeorological conditions). Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 1998, 342 p.
3. Hen, G. V., E. I. Ustinova, A. L. Figurkin, Yu. I. Zuenko, Yu. D. Novikov, Yu. V. Sorokin, and M. V. Gamanyuk, 2004: Gidrologicheskie usloviya severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana i dal'nevostochnykh morej v nachale XXI veka i ozhidaemye tendencii (Hydrological conditions of the northwestern part of the Pacific Ocean and the Far Eastern seas at the beginning of the 21st century and expected trends). *Voprosy promyslovoj okeanologii*, **1**, 40–58.
4. Hen, G. V., E. O. Basyuk, Yu. D. Sorokin, E. I. Ustinova, and A. L. Figurkin, 2008: Termicheskie usloviya na poverhnosti Beringova i Ohotskogo morej v nachale 21-go veka na fone poluvekovoj izmenchivosti (Thermal conditions on the surface of the Bering and Okhotsk seas at the beginning of the 21st century against the background of half a century of variability). *Izvestiya TINRO*, **153**, 254–263.
5. Lozhkin, D. M. and G. V. Shevchenko, 2020: Ciklicheskie variacii temperatury poverhnosti Ohotskogo morya i prilegayushchih akvatorij po sputnikovym dannym za 1998–2018 gg. (Cyclic variations in surface temperature of the Sea of Okhotsk and adjacent water areas according to satellite data for 1998–2018). *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, **4**, 44–51.
6. Lozhkin, D. M. and G. V. Shevchenko, 2022: Sravnitel'nyj analiz temperatury poverhnosti Ohotskogo morja i prilegajushchih akvatorij po dannym sputnikovyh nabljudenij i reanaliza ERA5 (Comparative analysis of the Okhotsk Sea and adjacent water's surface temperature according to satellite observations and ERA5 reanalysis). *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, **2**.
7. Luchin, V. A. and I. A. Zhigalov, 2006: Mezhhodovye izmeneniya tipovykh raspredelenij temperatury vody v deyatel'nom sloe Ohotskogo morya i vozmozhnost' ih prognoza (Interannual changes in typical distributions of water temperature in the active layer of the Sea of Okhotsk and the possibility of their prediction). *Izv. TINRO*, **147**, 183–204.

8. Luchin, V. A., 2007: Sezonnaya izmenchivost' temperatury vody v deyatel'nom sloe dal'nevostochnyh morey (Seasonal variability of water temperature in the active layer of the Far Eastern Seas). In: *Dal'nevostochnye morya Rossii*. Part 1: Okeanologicheskie issledovaniya, Moscow, Nauka, 232–252.
9. Luchin, V. A., I. A. Zhigalov, and V. V. Plotnikov, 2004: The interannual variability of the water temperature of the Okhotsk Sea. *Proceedings of the Third PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas*, Sidney, B. C., Canada, 27–29.
10. Novinenko, E. G. and G. V. Shevchenko, 2007: Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' temperatury poverhnosti Ohotskogo 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*, **5**, 50 – 60.
11. Puzankov, K. L. and G. V. Shevchenko, 2001: Sezonnnye kolebaniya temperatury poverhnosti Ohotskogo morya po sputnikovym nablyudeniya 1997–1998 gg. (Seasonal fluctuations in the surface temperature of the Sea of Okhotsk according to satellite observations in 1997–1998). *Dinamicheskie processy na shel'fe Sahalina i Kuril'skih ostrovov*, Yuzhno–Sahalinsk, IMGIG DVO RAN, 94–110.
12. Shevchenko, G. V., Zh. R. Ckhaj, and V. N. Chastikov, 2020: Osobennosti okeanologicheskikh uslovij na yugo-vostochnom shel'fe o. Sahalin po dannym s"emok na standartnykh razrezakh i sputnikovyyh nablyudeniij (Thermal conditions on the surface of the Bering and Okhotsk seas at the beginning of the 21st century against the background of half a century of variability). *Okeanologicheskie issledovaniya*, **48** (2), 51–68.
13. Shevchenko, G. V., Zh. R. Ckhaj, and V. N. Chastikov, 2021: Gidrologicheskie usloviya v rajone yuzhnykh Kuril'skih ostrovov po dannym sputnikovyyh i sudovykh izmerenij (Peculiarities of oceanological conditions on the southeastern shelf of the island. Sakhalin according to survey data on standard sections and satellite observations). *Okeanologicheskie issledovaniya*, **49** (2), 21–44.
14. Veselova, L. E., 1972: Prostranstvennoe raspredelenie temperatury poverhnostnogo sloya vody Ohotskogo morya (Spatial temperature distribution of the surface water layer in the Sea of Okhotsk). *Trudy DVNIGMI*, **37**, 13–28.
15. Vlasova, G. A., A. S. Vasil'ev, and G. V. Shevchenko, 2008: *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' struktury i dinamiki vod Ohotskogo moray (Spatial-temporal variability of the structure and dynamics of the waters of the Sea of Okhotsk)*. Moscow, Nauka, 359 p.
16. Zuenko, Yu. I., N. L. Aseeva, S. Yu. Glebova, L. M. Gostrenko, A. Yu. Dubinina, E. P. Dulepova, A. O. Zolotov, S. V. Loboda, A. V. Lysenko, V. I. Matveev, L. S. Muktepavel, E. E. Ovsyannikov, A. L. Figurkin, and T. A. Shatilina, 2019: Sovremennye izmeneniya v ekosisteme Ohotskogo morya (2008–2018 gg.) (Modern changes in the ecosystem of the Sea of Okhotsk (2008–2018)). *Izvestiya TINRO*, **197**, 35–61.

Submitted 31.01.2022, accepted 25.04.2022.

**For citation:** Shevchenko, G. V. and D. M. Lozhkin, 2022: Seasonal variations in the surface temperature of the sea of Okhotsk and surrounding regions from satellite data. *Journal of Oceanological Research*, **50** (1), 25–37, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(1\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(1).3).