

Пространственно-временная изменчивость потока скрытого тепла в северо-западной части Тихого океана по данным реанализа ERA5

Г. В. Шевченко^{1, 2, ✉}, Д. М. Ложкин¹

¹ Сахалинский филиал ФГБНУ ВНИРО («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
✉ Shevchenko_zhora@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023;
принята к публикации 15.03.2024.

Аннотация

Цель. Цель работы – изучить пространственно-временную изменчивость потока скрытого тепла, одной из важных составляющих теплового баланса, в северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морях на основе данных реанализа ERA5.

Методы и результаты. Материалом для данной работы послужили данные реанализа ERA5 о потоке скрытого тепла в области, ограниченной координатами 42–60° с. ш. и 135–180° в. д., включающей дальневосточные моря и северо-западную часть Тихого океана. Массив среднемесячных значений с разрешением по пространству 1/4° проанализирован с применением стандартных статистических методов. Построены средние многолетние распределения значений потока скрытого тепла для каждого месяца, в каждой пространственной ячейке рассчитаны амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник, коэффициенты линейного тренда, выполнено разложение по естественным ортогональным функциям. Размах сезонных вариаций значителен в зоне теплых течений, он резко уменьшается на севере изучаемой части Тихого океана, Охотского и Берингова морей. Межгодовые вариации выражены в квазициклических изменениях огибающей по максимальным значениям с периодом около 6 лет. Однонаправленные тенденции в межгодовых вариациях потока скрытого тепла выражены слабо.

Выводы. В сезонных вариациях потока скрытого тепла доминирует годовая цикличность, которая проявляется более всего на юге северо-западной части Тихого океана (область влияния теплого течения Курисио) у япономорского побережья о. Хонсю, в зоне Цусимского течения. Это обусловлено значительным возрастанием испарения в указанных районах в холодный период года, что связано с более резким температурным контрастом, а также влиянием зимнего муссона с сильными и устойчивыми ветрами северо-западного румба, несущими с континента сухой холодный воздух. В теплый период года на некоторых участках изучаемой акватории значения потока скрытого тепла положительны, что указывает на важную роль конденсации водяного пара в районах с высокой облачностью и в зонах квазистационарных апвеллингов.

Ключевые слова: тепловой баланс, поток скрытого тепла, годовой цикл, линейный тренд, естественные ортогональные функции, северо-западная часть Тихого океана

Благодарности: работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО» по теме «Изучение влияния изменчивости климато-океанологических условий на основные объекты российского рыболовства».

Для цитирования: Шевченко Г. В., Ложкин Д. М. Пространственно-временная изменчивость потока скрытого тепла в северо-западной части Тихого океана по данным реанализа ERA5 // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 3. С. 426–437. EDN OWRPHHG.

© Шевченко Г. В., Ложкин Д. М., 2024

Spatial and Temporal Variability of a Latent Heat Flux in the Northwest Pacific Ocean Based on the ERA5 Reanalysis Data

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

¹ Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
✉ Shevchenko_zhora@mail.ru

Abstract

Purpose. The paper is aimed at studying the spatial and temporal variability of a latent heat flux – one of the important components of heat balance in the northwestern Pacific Ocean and the Far Eastern seas based on the ERA5 reanalysis data.

Methods and Results. The ERA5 reanalysis data on a latent heat flux in the area limited by the coordinates 42–60° N and 135–180° E and including the Far Eastern seas and the northwestern part of the Pacific Ocean constituted the material for the study. The array of monthly averages at a quarter-degree spatial resolution was analyzed using the standard statistical methods. The average long-term distributions of latent heat flux values for each month were constructed; the amplitudes and phases of annual and semi-annual harmonics, and the linear trend coefficients were calculated in each spatial cell, and the decomposition was performed using the empirical orthogonal functions. The range of seasonal variations is significant in the zone of warm currents, and it sharply decreases in the northern part of the area under study in the Pacific Ocean as well as in the Okhotsk and Bering seas. The interannual variations are manifested in the quasi-cyclic changes of the envelope based on the maximum values with a period of about 6 years. The unidirectional trends in the interannual latent heat flux variations are weakly shown.

Conclusions. Among the seasonal variations of a latent heat flux, the annual cyclicity is predominant and the most pronounced in the southern part of the northwestern Pacific Ocean (the area influenced by the warm Kuroshio Current) off the Japan Sea coast of the Honshu Island in the Tsushima Current zone. This is conditioned by a significant evaporation increase in these areas during a cold season that, in its turn, is related to a sharper temperature contrast as well as to the impact of a winter monsoon characterized by the strong and stable northwesterly winds bringing dry, cold air from the continent. In a warm period, in some areas of the studied water area, the latent heat flux values are positive that indicates the important role of water vapor condensation in the areas with high cloudiness and in the zones of quasi-stationary upwellings.

Keywords: heat balance, latent heat flux, annual cycle, linear trend, empirical orthogonal functions, northwest Pacific Ocean

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of state assignment of the FSBSI “VNIRO” on theme “Study of influence of variability of climatic and oceanological conditions on the main objects of Russian fisheries”.

For citation: Shevchenko, G.V. and Lozhkin, D.M., 2024. Spatial and Temporal Variability of a Latent Heat Flux in the Northwest Pacific Ocean Based on the ERA5 Reanalysis Data. *Physical Oceanography*, 31(3), pp. 387-397.

Введение

Северо-западная часть Тихого океана (СЗТО) и дальневосточные моря являются зоной активного промысла, осуществляемого российскими рыбопромышленными компаниями Дальневосточного региона. Здесь добывается значительное количество пелагических видов рыб, таких как тихоокеанский

лосось, сайра, дальневосточная сардина. Большинство из этих видов чувствительно к термическим условиям среды их обитания. В условиях изменяющегося климата представляется важным изучение различных факторов, влияющих на температуру поверхностного слоя воды в указанных акваториях, в том числе пространственно-временной изменчивости теплового баланса и его элементов. Одной из важных составляющих этого баланса является поток скрытого тепла (англ. *latent heat flux*, сокр. *LHF*), данные о котором можно получить на нескольких сайтах, представляющих материалы реанализа различных гидрометеорологических параметров.

Под потоком скрытого тепла понимаются его затраты на фазовые переходы при взаимодействии атмосферы и гидросферы – потери в океане при испарении и таянии льда и поступление при конденсации и льдообразовании (поток тепла из атмосферы в океан принято считать положительным, а в обратном направлении – отрицательным)¹. Причем потери тепла океаном при испарении считаются одной из наиболее важных составляющих теплообмена с приводным слоем атмосферы. На величину этого потока, помимо температуры испаряющей поверхности, существенное влияние оказывают температура и влажность воздуха, а также скорость ветра. Несмотря на важность данного параметра для климатических исследований, пространственно-временная изменчивость потока скрытого тепла в СЗТО редко рассматривается как самостоятельная характеристика. Важные результаты получены в работе [1], хотя в ней больше внимания уделено тропическим областям (как и в работах [2, 3], что указывает на особую роль этой зоны во взаимодействии между атмосферой и океаном) и северо-восточной части Тихого океана. В связи с этим особо отметим исследование потоков явного и скрытого тепла в северо-западной части Японского моря в холодный период года [4]. Информационной основой указанного исследования послужили данные реанализа *NCEP/NCAR*, которые позволяют детально анализировать пространственно-временную изменчивость составляющих теплового баланса. В данной работе мы использовали иной источник данных, а именно материалы реанализа *ERA5*, взятые с сайта <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>.

Известно, что в СЗТО в зоне влияния теплого течения Куроисио расположена одна из наиболее энергоактивных областей взаимодействия атмосферы и океана, между которыми через границу раздела идет весьма интенсивный теплообмен [5]. В рассматриваемом регионе находятся также дальневосточные моря, в которых значительные потоки тепла обусловлены образованием ледяного покрова и таянием льдов. Интересны межгодовые вариации этих потоков, связанные с процессами глобального потепления.

Целью данной работы было изучить пространственно-временную изменчивость потока скрытого тепла – одной из важных составляющих теплового баланса в северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морях – на основе данных реанализа *ERA5* за 1998–2022 гг.

¹ Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Л. : Гидрометеиздат, 1956. 256 с.
428 МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 40 № 3 2024

Методика и материалы

Материалами для проведения исследований явились данные реанализа ERA5 о потоке скрытого тепла над СЗТО и дальневосточными морями за 1998–2022 гг. Все потоки данного продукта рассчитываются по соответствующей модели ECWMF, описание которой дано на сайте <https://www.ecmwf.int/en/publications/ifs-documentation>.

Как отмечалось выше, этот поток (*LHF*) отражает теплообмен, связанный с фазовыми переходами воды в поверхностном слое (испарение, льдообразование, таяние ледяного покрова). Данные приведены в джоулях на квадратный метр, что означает величину потока за месяц через ячейку площадью 1 м². Область исследования была ограничена координатами 35°–70° с. ш., 130°–180° в. д., пространственное разрешение данных составляло 1/4°, дискретность по времени – 1 месяц. Основное внимание на данном этапе работы было сосредоточено на особенностях пространственно-временной изменчивости теплового баланса – определяющего фактора формирования термических условий в поверхностном слое океана.

В каждой пространственной ячейке для каждого месяца рассчитаны средние многолетние значения данного параметра, отражающие сезонные изменения потока скрытого тепла. Для определения количественных характеристик сезонных вариаций методом наименьших квадратов (МНК) найдены амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник. В каждой ячейке с помощью МНК были определены параметры линейного тренда (для каждого месяца и каждого сезона). Для исследования последовательности временных слоев *LHF* также был использован метод разложения по естественным ортогональным функциям (ЕОФ), этот вид статистического анализа позволяет одновременно изучать основные особенности и сезонных, и межгодовых вариаций. Межгодовая изменчивость изучаемого параметра выражена главным образом (помимо однонаправленных тенденций) в низкочастотной модуляции годового хода, дающего основной вклад во временные функции двух главных мод разложения по ЕОФ.

Результаты и обсуждение

Осредненные распределения *LHF* по сезонам. На рис. 1 представлены средние многолетние пространственные распределения *LHF* для различных сезонов года. Для характеристики зимних условий выбран февраль, весенних – май, летних – август и осенних – ноябрь.

Зимой (распределения изучаемого параметра в январе и марте идентичны представленному на рисунке с некоторым уменьшением его значений по абсолютной величине) значения *LHF* отрицательные во всем регионе и имеют наибольшие по модулю значения на южной границе области между 140-м и 150-м меридианами, где теплое течение Куроисио отходит от побережья о. Хонсю и приобретает восточное направление (около –25 МДж/м²). В целом интенсивный поток скрытого тепла характерен для зоны между параллелями 35° и 40° с. ш. как в СЗТО, так и в Японском море, в зоне влияния теплового Цусимского течения, хотя в последнем случае в меньшей степени.

На большей части рассматриваемого региона значения *LHF* колеблются в довольно узких пределах от –6 до –10 МДж/м². Наименьшие значения потока

(от 0 до -2 МДж/м²) – в замерзающих акваториях северо-западной и западной частей Охотского моря и в северной части Татарского пролива (Японское море). Это характерно не только для февраля, когда ледяной покров достигает максимального развития и препятствует теплообмену между атмосферой и океаном, но и для декабря, когда можно было ожидать высокой – интенсивности потока.

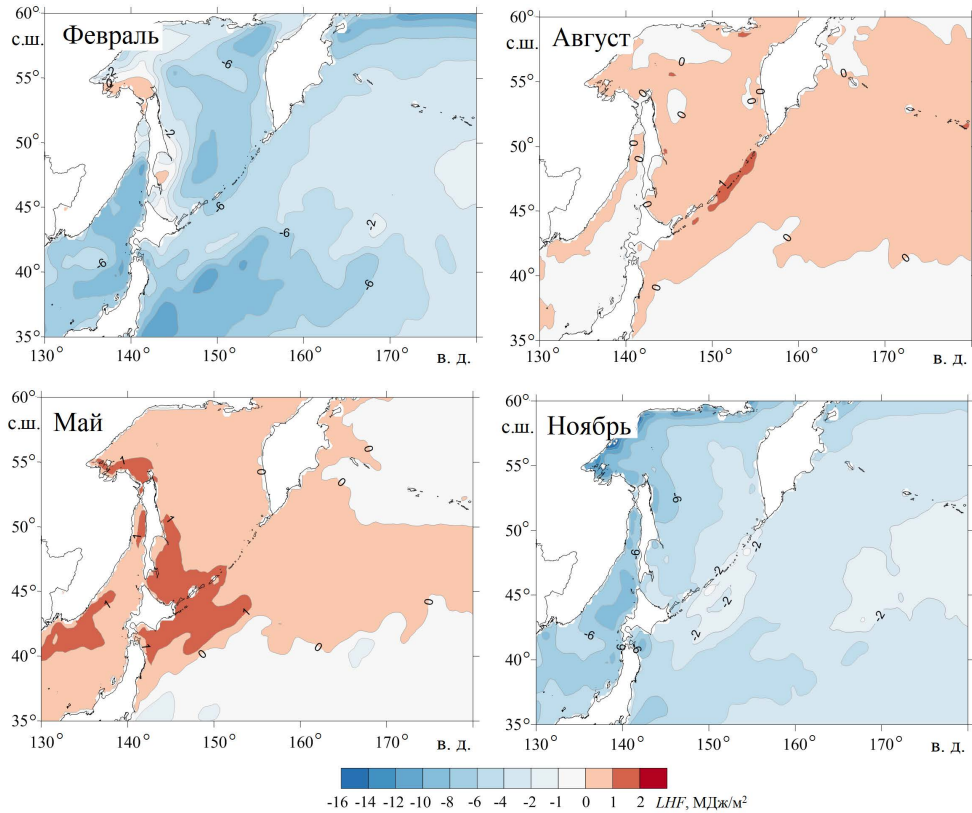


Рис. 1. Средние многолетние пространственные распределения *LHF* в изучаемом регионе
Fig. 1. Average long-term spatial distributions of a *LHF* in the region under study

Весной значения потока скрытого тепла уменьшаются прежде всего в южной части СЗТО (на основной части региона они изменяются незначительно). В мае в юго-западной части Охотского моря и на участке СЗТО, прилегающем к о. Хоккайдо и Южным Курильским островам, *LHF* становится положительным, хотя и имеет малое значение от 0,05 до 0,2 МДж/м². Это может быть связано с конденсацией влаги в районах с традиционно высокой облачностью.

В июне область с положительными значениями *LHF* расширяется, она охватывает значительные по площади акватории в районе Курильской островной гряды, а также в северной и западной частях Охотского моря. В июле области с положительными значениями (до 0,5 МДж/м²) достигают максимальных размеров в Охотском море и в широкой полосе (42° – 50° с. ш.), вытянутой

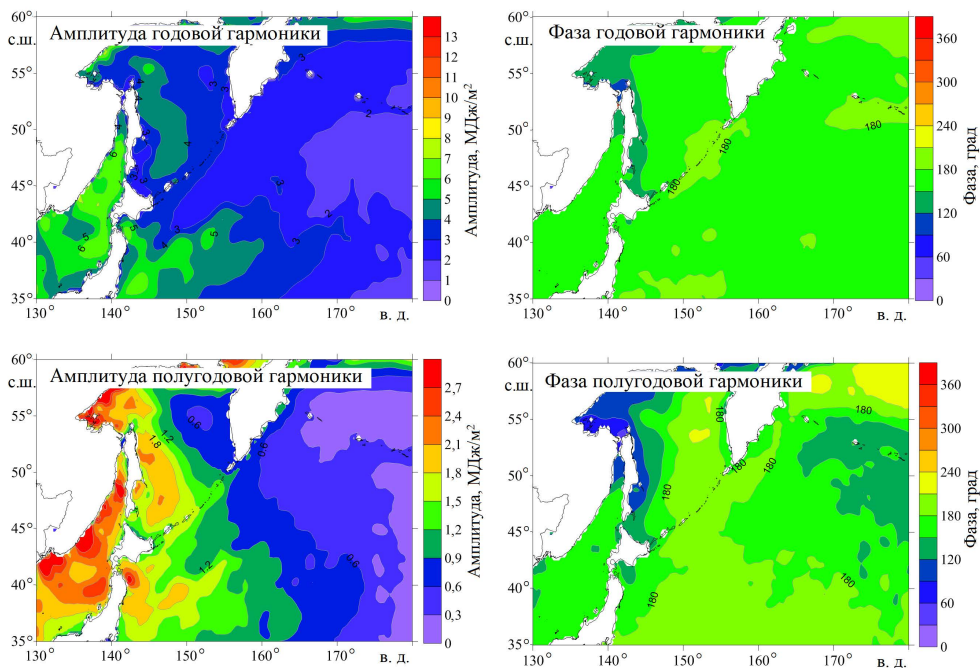
на восток от Курильской гряды до Алеутских островов. На южной границе интенсивность потока скрытого тепла снижается до минимальных значений за год (около -6 МДж/м²). В августе области с положительными значениями заметно сужаются, они отмечены главным образом в районе квазистационарных апвеллингов в центральной части Курильской гряды, банки Кашеварова, Ямских островов и т. д. В сентябре положительные значения отмечаются только на небольшом участке в районе Средних Курил.

Осенью пространственное распределение *LHF* сходно с зимним, отсутствуют только близкие к нулю значения, отмеченные выше в замерзающих акваториях. Максимальные по абсолютной величине показатели отмечены на южной границе изучаемого региона, причем они возростали от октября к декабрю и превысили 30 МДж/м².

Важно подчеркнуть, что наибольшие значения *LHF* обнаружены осенью и зимой в районах с наиболее высокими значениями температуры поверхности моря (ТПМ), в зоне влияния теплых течений Куроисио и Цусимского, что связано с возрастанием температурного контраста между атмосферой и поверхностью океана в холодный период года (аналогичный эффект отмечался и в западной части Баренцева моря, в зоне влияния теплого течения Гольфстрим [6]). В значительной степени это обусловлено действием зимнего муссона, для которого характерны высокие значения скорости ветра, несущего с материка более сухой и холодный воздух, чем приносит летний муссон из центральных областей Тихого океана. Полученные результаты согласуются с выводами работ [5, 7], в которых область к востоку от о. Хонсю отмечена как одна из самых энергоактивных областей атмосферы и океана. Положительные значения параметра в областях квазистационарных апвеллингов также имеют простое физическое объяснение, так как в них может происходить конденсация влаги из-за более низкой температуры поверхности океана.

Гармонический анализ сезонных вариаций. На рис. 2 представлены пространственные распределения амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник. Амплитуда годового хода обычно характеризует масштаб сезонных вариаций: она принимает высокие значения в акваториях, где эти вариации наиболее интенсивны, и минимальна там, где годовой ход выражен слабо. Из рисунка следует, что сезонные колебания потока скрытого тепла имеют выраженную широтную изменчивость: они максимальны вблизи восточного берега Хонсю и минимальны в северной части изучаемой области, в Беринговом море и на северном шельфе Охотского моря. Несколько иной характер пространственной изменчивости амплитуды в Японском море: здесь максимальные значения отмечены у западного побережья о. Хонсю, в зоне влияния теплого Цусимского течения, а минимальные у берега Приморья. Высокие значения амплитуды годовой гармоник в зоне влияния теплых течений Куроисио и Цусимского показывают значительное снижение испарения в этих областях в условиях летнего муссона, характеризующегося более низкими значениями скорости ветра и более высокой влажностью воздуха, по сравнению с зимним. Эти различия не так заметны на средних многолетних распределениях *LHF* для различных сезонов.

Фаза годовой гармоники на основной части изучаемой области (СЗТО, Берингово и восточная часть Охотского моря) колеблется в пределах 150–160° (на 1 месяц приходится 30°, так что полученное значение соответствует максимуму в июле), на акватории Японского моря и в западной части Охотского ее значения уменьшаются до 130–140°, а в северной части Татарского пролива и к северу от о. Сахалин – до 110–120°.



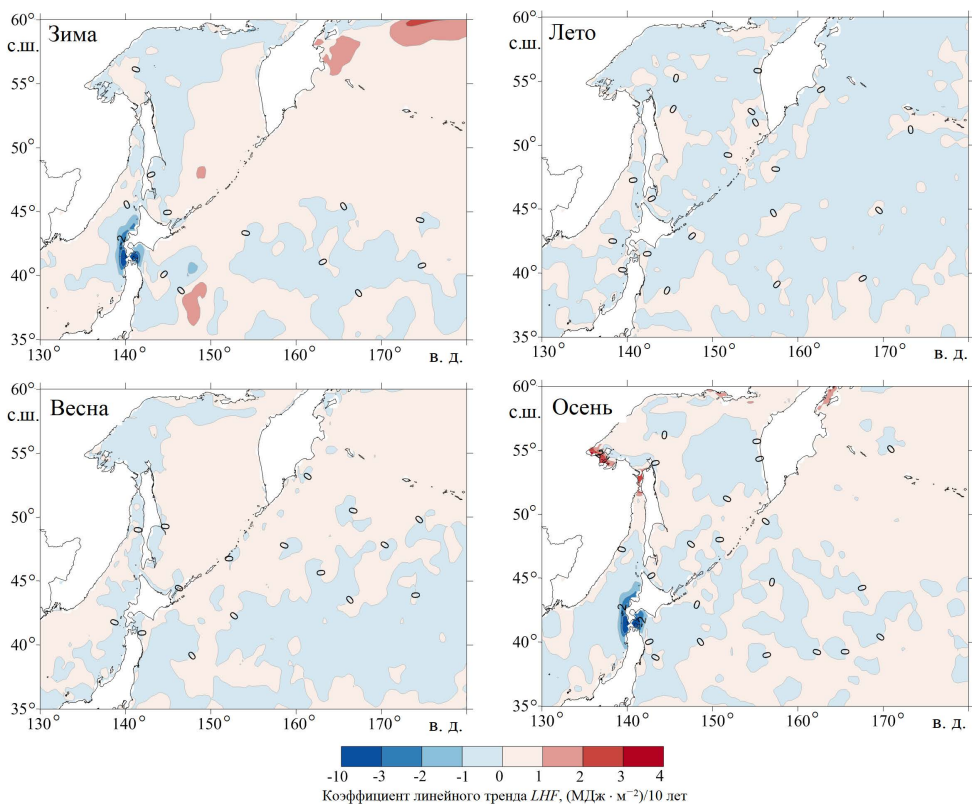
Р и с. 2. Пространственное распределение амплитуд и фаз годовой и полугодовой гармоник *LHF*

F i g. 2. Spatial distribution of amplitudes and phases of the annual and semi-annual *LHF* harmonics

Заметные амплитуды полугодовой составляющей отмечены в районах со сложным характером годового хода, который недостаточно хорошо описывается годовым циклом. К таким акваториям относится северо-западная часть Охотского моря, прибрежные зоны у побережья о-вов Сахалин, Хоккайдо и Хонсю (с восточной стороны).

Коэффициенты линейного тренда. В условиях глобальных изменений климата при изучении гидрометеорологических параметров большое внимание обычно уделяется выявлению однонаправленных тенденций. В этой связи такой анализ был выполнен и для потока скрытого тепла в СЗТО и дальневосточных морях (рис. 3). Зимой и весной отмечена слабо выраженная тенденция к возрастанию потока скрытого тепла в Беринговом море, северной и северо-восточной части СЗТО и в восточной части Охотского моря. В Тихом океане южнее параллели 45° с. ш., в северной части Охотского и Японского морей имеется такая же слабая тенденция к его снижению. Летом на большей части

изучаемой области отмечены незначительные отрицательные тренды. Наиболее интенсивные межгодовые изменения выявлены осенью. Значимые отрицательные тренды обнаружены в районе Сангарского пролива и в целом у берегов Японии, положительные – в Амурском лимане, вблизи Шантарских о-вов и в Тихом океане вдоль южной границы рассматриваемой области. В целом можно отметить сравнительно слабые однонаправленные тенденции в изменениях LHF в дальневосточных морях и СЗТО, что указывает на незначительное влияние глобального потепления на межгодовые изменения потока скрытого тепла в данном регионе. Это согласуется с невысокими значениями коэффициентов линейного тренда в вариациях температуры поверхности океана в изучаемом регионе (с разнонаправленными тенденциями в Охотском и Беринговом морях) и приземного атмосферного давления, что указывает на сравнительно слабые изменения в циркуляции атмосферного воздуха ².

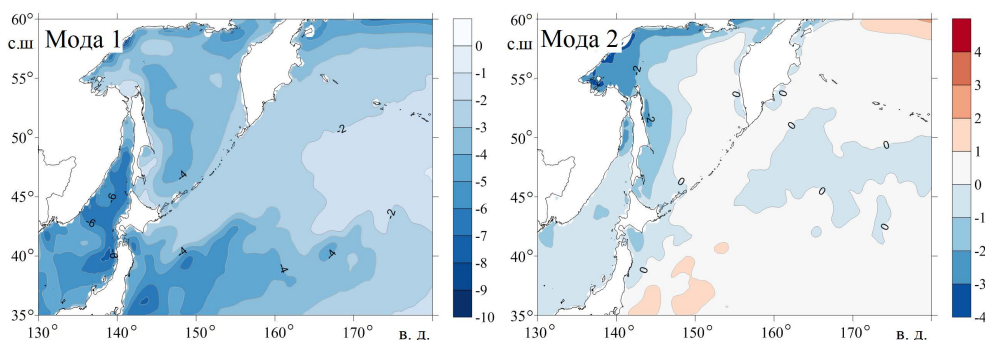


Р и с. 3. Пространственные распределения коэффициентов линейного тренда LHF в различные сезоны года

F i g. 3. Spatial distributions of the LHF linear trend coefficients in different seasons of a year

² Ложкин Д. М. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по данным спутниковых наблюдений и реанализа ERA5 : дисс. ... канд. ф.-м. наук. Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2022. 159 с.
 МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 40 № 3 2024

Разложение LHF по ЕОФ. Для детального изучения пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических полей часто используют метод разложения по ЕОФ [8]. На рис. 4 приведены пространственные функции первых двух мод разложения последовательности временных слоев LHF по данной методике. Первая мода является основной, на нее приходится 94,5 % общей дисперсии параметра. Ее пространственное распределение (все значения отрицательные, полагались безразмерными) имеет достаточно простой характер, значения ~ -5 отмечены на обширных акваториях северо-восточной части СЗТО, в Беринговом море, в восточной и центральной частях Охотского моря. На северо-западе последнего выявлены наименьшие по абсолютной величине значения от -2 до -3 , а наибольшие отмечены в Японском море у западного побережья Японии (от -10 до -12) и на юге рассматриваемой части СЗТО (до -20 у восточного побережья Хонсю).



Р и с. 4. Пространственное распределение первых двух мод разложения последовательности временных слоев LHF по ЕОФ

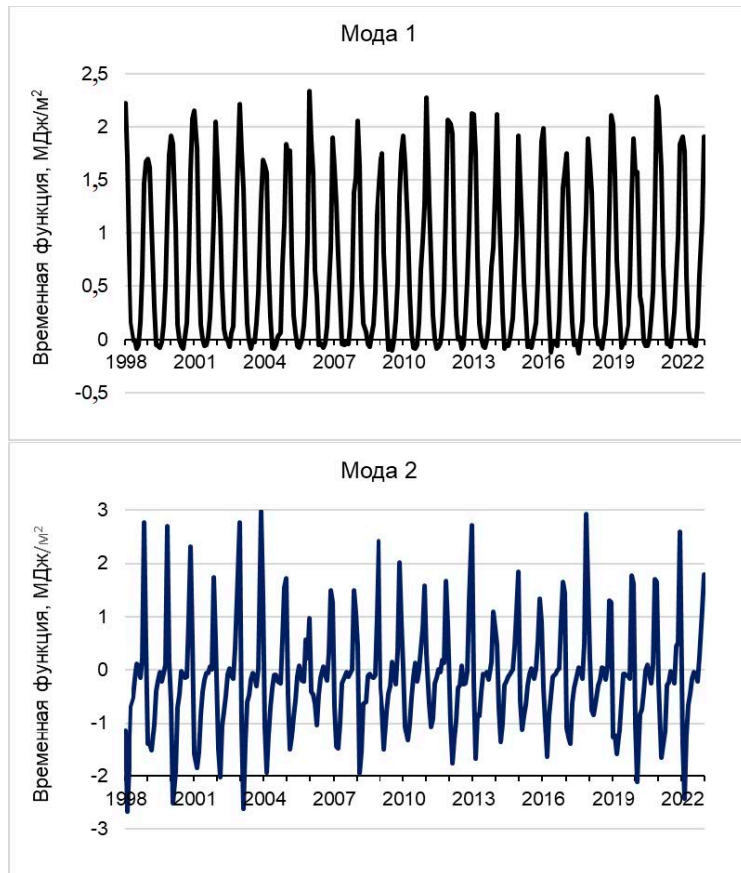
F i g. 4. Spatial distribution of the first two modes of decomposition of a sequence of the LHF time layers using EOF

Временная функция главной моды (рис. 5) имеет выраженный годовой ход с максимальными значениями в декабре и январе (чуть больше и чуть меньше $1,5 \text{ МДж/м}^2$) и минимальными в июле и июне (около $0,2 \text{ МДж/м}^2$). Она хорошо описывается годовой гармоникой с амплитудой $0,7 \text{ МДж/м}^2$ и фазой 334° , что отвечает отмеченному выше максимуму в декабре. Для нее характерна низкочастотная модуляция, наиболее выраженная для зимних максимумов, с периодом около 6 лет. Заметно выделяются наибольшие значения функции в декабре 2020 ($1,84 \text{ МДж/м}^2$) и 2005 гг. ($1,79 \text{ МДж/м}^2$).

В целом пространственное распределение и временная функция этой моды выявляют наиболее общие закономерности распределения LHF : наличие областей с наиболее интенсивным испарением в холодный период года в зонах влияния теплых течений Куроисио и Цусимского и низкие значения LHF в северной части изучаемого региона, в том числе в замерзающих акваториях.

Распределение пространственной функции второй моды (на ее долю приходится 1,4 % дисперсии LHF) имеет существенно более сложный характер. Она характеризует вариации параметра, не являющиеся синфазными, которые описываются рассмотренной выше первой модой. Поэтому она имеет узловую

линию, разделяющую зоны с противоположным знаком. Область с положительными значениями занимает часть СЗТО к югу от параллели 45° с. ш. с максимумами вблизи восточного берега Хонсю (~ 2). Положительные значения функции выявлены также на восточном участке рассматриваемой акватории Берингова моря и в узкой полосе вблизи Средних Курил. На остальной части СЗТО (к северу от 45-й параллели) и на акватории дальневосточных морей пространственная функция отрицательная, максимальные по абсолютной величине значения отмечены в западной части Охотского и в Японском море (от -1 до -2), экстремальные величины обнаружены на небольшом участке у южного побережья Хоккайдо (~ -3).



Р и с. 5. Вариации временных функций первой (*сверху*) и второй (*снизу*) мод разложения последовательности временных слоев *LHF* по ЕОФ
F i g. 5. Variations in time functions of the first (*top*) and second (*bottom*) modes of decomposition of a sequence of the *LHF* time layers using EOF

Временная функция этой моды описывается комбинацией годовой и полугодовой гармоник с амплитудами около 1 и 0,4 МДж/м². Усредненный годовой ход этой функции характеризуется максимальными значениями в ноябре (1,3 МДж/м²) и октябре (1,1 МДж/м²) и минимальными в апреле и мае

($-1,1 \text{ МДж/м}^2$). Это означает, что осенью вторая мода обеспечивает положительную поправку к основной компоненте в южной части рассматриваемого региона и отрицательную на северном и особенно на его северо-западном участках. Весной наблюдается вклад данной моды противоположного характера. Межгодовая изменчивость временной функции второй моды более значительна по сравнению с первой и не носит регулярного характера.

Заключение

В результате анализа массива среднемесячных значений потока скрытого тепла за 1998–2022 гг. получены следующие характеристики пространственно-временной изменчивости данного параметра.

В холодный период года (осень и зима) значения LHF повсеместно отрицательные и достигают наибольших по абсолютной величине значений в зоне влияния теплых течений Куроисио и Цусимское. Это обусловлено влиянием зимнего муссона, характеризующегося устойчивыми и сильными ветрами северо-западного и близких к нему румбов, несущими с материка холодный сухой воздух. В северной части изучаемого района, в том числе в замерзающих акваториях, поток скрытого тепла незначителен.

В теплый период года в зонах теплых течений значения LHF существенно уменьшаются по абсолютной величине, что, вероятно, обусловлено ветрами летнего муссона, для которых характерны сравнительно небольшие скорости и высокая влажность воздушного потока. При этом в ряде областей поток скрытого тепла положительный, хотя и небольшой по величине. Это указывает на важную роль конденсации в районах с высокой облачностью и в зонах квазистационарных апвеллингов.

Расчет амплитуд годовой гармоник показал, что размах сезонных вариаций наиболее велик в зоне теплых течений и резко уменьшается в северной части СЗТО и Охотского моря, а также на акватории Берингова моря. Эта составляющая с амплитудой $0,7 \text{ МДж/м}^2$, с высокими значениями в декабре и январе (около $1,5 \text{ МДж/м}^2$) и минимальными в июле и июне ($0,2 \text{ МДж/м}^2$) играет главную роль в вариациях временной функции главной моды ЕОФ). Межгодовые вариации выражены в квазициклических изменениях огибающей по максимальным значениям с периодом около шести лет. Однонаправленные тенденции в межгодовых вариациях LHF выражены слабо.

Полученные результаты могут использоваться при изучении изменчивости термических условий в поверхностном слое воды в СЗТО и дальневосточных морях для совершенствования прогнозов сроков и условий нагульных и нерестовых миграций тихоокеанских лососей, а также других видов пелагических рыб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев В. И., Петрова В. А., Дмитриева Е. В. Климатическая изменчивость составляющих теплового баланса поверхности северной части Тихого океана // Известия ТИНРО. 2012. Т. 169. С. 67–76. EDN PBUNYL.
2. The impact of satellite winds and latent heat fluxes in a numerical simulation of the tropical Pacific Ocean / L.-H. Ayina [et al.] // Journal of Climate. 2006. Vol. 19, iss. 22. P. 5889–5902. <https://doi.org/10.1175/JCLI3939.1>

3. Wang Yu., Wu R. Factors of boreal summer latent heat flux variations over the tropical western North Pacific // *Climate Dynamics*. 2021. Vol. 57, iss. 9–10. P. 2753–2765. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05835-4>
4. Пичугин М.К., Пономарев В.И. Изменчивость потоков явного и скрытого тепла в северо-западной части Японского моря в холодный период года // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2013. № 6. С. 22–29. EDN THYCSJ.
5. Лаппо С. С., Гулев С. К., Рождественский А. Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан – атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л. : Гидрометеиздат, 1990. 336 с.
6. Суркова Г. В., Романенко В. А. Сезонные и многолетние изменения турбулентных потоков тепла между морем и атмосферой в западном секторе Российской Арктики // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2021. № 4. С. 74–82. EDN XXHJUS.
7. Власова Г. А., Полякова А. М. Энергоактивная зона океана и атмосферы в северо-западной Пацифике // *Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена*. 2013. № 163. С. 128–140. EDN RTERKT.
8. Багров Н. А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // *Труды Центрального института прогнозов*. 1959. Вып. 74. С. 3–24.

Об авторах:

Шевченко Георгий Владимирович, зав. лабораторией океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) (693023, Россия, Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, д. 196), ведущий научный сотрудник лаборатории цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (693023, Россия, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б), доктор физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0003-0785-4618**, **SPIN-код: 8230-2974**, shevchenko_zhora@mail.ru

Ложкин Дмитрий Михайлович, ведущий научный сотрудник лаборатории океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) (693023, Россия, Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, д. 196), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-7073-681X**, **SPIN-код: 3963-3200**