

Температура поверхности Японского моря по спутниковым данным

Белоненко Т.В.¹, Блошкина Е.В.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет
199178, Санкт-Петербург, В.О., 10 линия, 33/35

E-mail: btvlisab@yandex.ru

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38
E-mail: bloszhkina@aari.ru

Введение

Для исследования спутниковых данных температуры поверхности Японского моря за 2006–2010 применялся вейвлет-анализ. Исходя из особенностей динамического и термического режима Японского моря, изучение пространственно-временной изменчивости температуры поверхности проводилось отдельно для двух районов Японского моря: к северу и к югу от среднего положения Субполярного фронта.

Изменчивость температуры поверхности в северной части акватории имела более выраженный сезонный ход, разница между максимальными и минимальными значениями достигала 20 °C. Здесь были выделены две зоны с максимальными среднегодовыми значениями среднеквадратического отклонения. Первая из них располагалась к северу от границы Субполярного фронта. Вторая область высоких значений среднеквадратического отклонения температуры поверхности воды была выделена в Татарском проливе.

Проведенный вейвлет-анализ спутниковых данных температуры поверхности Японского моря позволил описать особенности термического режима для каждого из районов.

Ключевые слова: температура поверхности воды, Японское море, Субполярный фронт, вейвлет-анализ.

Японское море характеризуется значительной изменчивостью температуры поверхности воды, что обусловлено воздействиями явлений различных временных и пространственных масштабов, такими как водообмен со смежными бассейнами, взаимодействие на границе воздух-вода, атмосферная циркуляция и т.д. Японское море традиционно разделяется на теплую субтропическую и холодную субарктические области. Исследованию межгодовой и сезонной изменчивости температуры Японского моря посвящено множество работ (см. обзоры в «Гидрометеорология и гидрохимия морей», 2004; Зуенко, 2008; Никитин, Харченко, 1990; Ростов и др., 2001; Chu et al., 1998; Hong et al., 2001; Park, Oh, 2000; Park, Chu, 2006). В данной работе исследуются осредненные аномалии температуры поверхности Японского моря при помощи вейвлет-анализа. Следуя сложившейся традиции разделения на теплую субтропическую и холодную субарктические области, в дальнейшем исследование велось по осредненным по пространству данным для двух районов – к северу и югу от Субполярного фронта (севернее и южнее 41° с.ш.).

Материалы и методы

В работе использовались следующие массивы данных:

- Данные о температуре поверхности Японского моря Национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (NASA's Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)¹ за 2006–2010 гг. Эти данные представлены в узлах регулярной сетки с пространственной дискретностью 0.08° по

¹ <http://podaac.jpl.nasa.gov/>

широте и долготе и шагом по времени 1 сутки. Они рассчитаны методом оптимальной интерполяции (Reynolds, Smith, 1994).

- Результаты расчета геострофических течений по измеренным спутниками уклонам уровня Центра архивации, валидации и интерпретации спутниковых океанографических данных AVISO² за 2006–2010 года. Дискретность данных по долготе 36 км, по широте 17 км, по времени 1 сутки.
- В качестве базисных функций нами были выбраны вейвлеты Морле, которые, как нам представляется, хорошо приспособлены для исследования процессов, содержащих климатическую и синоптическую составляющие (Астафьевая, 1998; Витязев, 2001; Белоненко и др., 2009).

Результаты

Предварительно по исходным данным были получены осредненные оценки изменчивости температуры поверхности Японского моря (рис. 1).

На рис. 1а на фоне уменьшения средних значений температуры к северу отчетливо проявляется Субполярный фронт (в районе 40–41° с.ш.), разделяющий акваторию Японского моря на теплую субтропическую и холодную субарктическую части, значения градиентов температуры поверхности моря здесь достигали 1 °C/50 км. Область положения максимальных значений градиентов наблюдалась в центральной части Японского моря (возвышенность и котловина Ямато). Разность между среднегодовыми значениями температуры по разные стороны от Субполярного фронта (6–8 °C в северной части, 16–18 °C в южной) составляла 8–10 °C.

Исследование межгодовой изменчивости показало, что минимальные значения температуры воды практически на всей акватории Японского моря наблюдались в 2006 г., а максимальные в 2007 г. Выделим основные особенности изменчивости температурных полей, полученные на основе предварительного анализа данных о поверхностной температуре Японского моря с годовым осреднением, а также с осреднением за 2006–2010 гг.

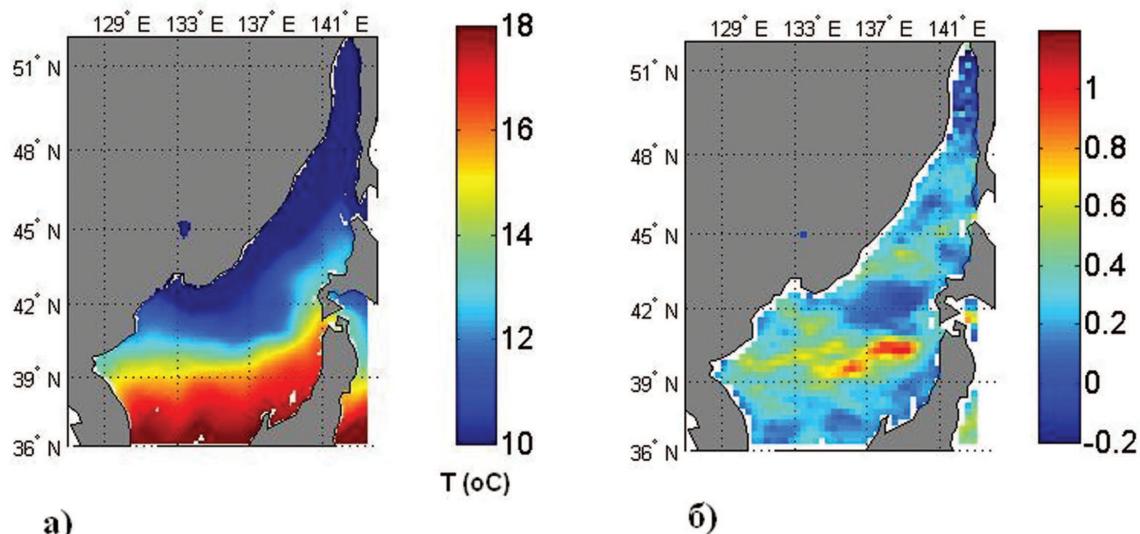


Рис. 1. Характеристики температуры поверхности моря Японского моря, осредненные за период 2006–2010 гг.:

- а) поле средних значений температуры поверхности моря ($^{\circ}\text{C}$),
б) поле средних зональных градиентов температуры поверхности моря ($^{\circ}\text{C}$)

² <http://podaac.jpl.nasa.gov/>

- В 2006 г. Субполярный фронт был максимально смещен к югу по сравнению со всеми остальными годами.
- Существование неоднородностей в поле температур в южной части Японского моря напрямую связано с наличием там меандров и вихревых структур. Среднегодовые градиенты в зоне Субполярного фронта достигали наибольших значений в 2007 г. ($1.3^{\circ}\text{C}/50\text{ км}$), минимальных в 2006 г. ($0.9^{\circ}\text{C}/50\text{ км}$).
- В 2006–2007 гг. и 2009 г. выделяются области максимальных градиентов температуры поверхности моря не только над возвышенностью и котловиной Ямато, но и в юго-западной части Японского моря, что, скорее всего, связано с наибольшей интенсивностью Восточно-Корейского течения. Значения градиентов температуры поверхности моря здесь изменяются от $0.9^{\circ}\text{C}/50\text{ км}$ в 2006 и 2007 г. до $1.2^{\circ}\text{C}/50\text{ км}$ в 2008 г. Еще одна зона с высокими среднегодовыми градиентами температуры поверхности моря располагалась между 43° с.ш. и 44° с.ш. Значения градиентов в ней достигают 0.6 – $0.8^{\circ}\text{C}/50\text{ км}$.
- Все фронтальные зоны имеют ярко выраженную тенденцию к зональной направленности. Они устойчивы на протяжении всего периода исследования.
- Южная часть Японского моря (к югу от Субполярного фронта) характеризуется незначительной изменчивостью среднеквадратического отклонения (3 – 4°C), что можно объяснить устойчивым притоком теплых вод субтропического происхождения в течение всего года. Наибольшая изменчивость значений среднеквадратического отклонения в этой области наблюдалась в 2007 г и 2010 г. (до 5.5°C), наименьшая в 2006 г. (3°C). А северная часть (к северу от Субполярного фронта) характеризуется высокими значениями среднеквадратического отклонения (до 8.5°C).

Максимальные значения среднеквадратического отклонения наблюдались в двух районах. Первый из них был расположен между 40 – 43° с.ш. и 131 – 137° в.д. в зоне активного формирования термических циклонических и антициклонических вихрей (Никитин, Харченко, 1990). Второй – в Татарском проливе, что, вероятно, связано с влиянием сезонного хода атмосферных процессов, гидрологического и ледового режимов. Наибольшие значения среднеквадратического отклонения температуры в Татарском проливе наблюдались в 2008 г. (7.5°C), в области между 40 – 43° с.ш. и 131 – 137° в.д. в 2010 г. (8.5°C).

Различия в количественных характеристиках температурного хода, рассчитанного осреднением по пространству во всех узлах сетки отдельно для каждого района, дано на рис. 2, где оба графика отражают выраженный сезонный ход температуры. Время наступления максимальных и минимальных значений практически синхронно для обоих районов. Для южных районов годовая амплитуда температуры поверхности моря составляла 14°C , для северных 20°C . Весь период наблюдений характеризовался схожей внутригодовой изменчивостью исследуемой характеристики, хотя каждый год имеет некоторые особенности. Так в 2009 году максимальные значения температуры поверхности моря ниже на 1.5°C , а в 2010 г. выше на 1°C по сравнению с 2006–2008 гг. В 2006 г. в зимние месяцы наблюдались пониженные значения температуры поверхности моря (на 2 – 3°C градуса) по сравнению с остальными годами.

Необходимо отметить, что разность между максимальными значениями (5°C) температуры поверхности моря для этих двух районов значительно меньше разности минимальных значений (10°C). Это можно объяснить постоянным отепляющим действием Цусимского течения, которое не позволяет выхолаживать поверхность моря в южных районах зимой, и влиянием северо-западного муссона в северной части моря, ведущего к значительному понижению температуры и усилинию Приморского течения, несущего холодные воды в Японское море. Летом же это различие уменьшается за счет интенсивного прогрева, имеющего место на всей акватории бассейна.

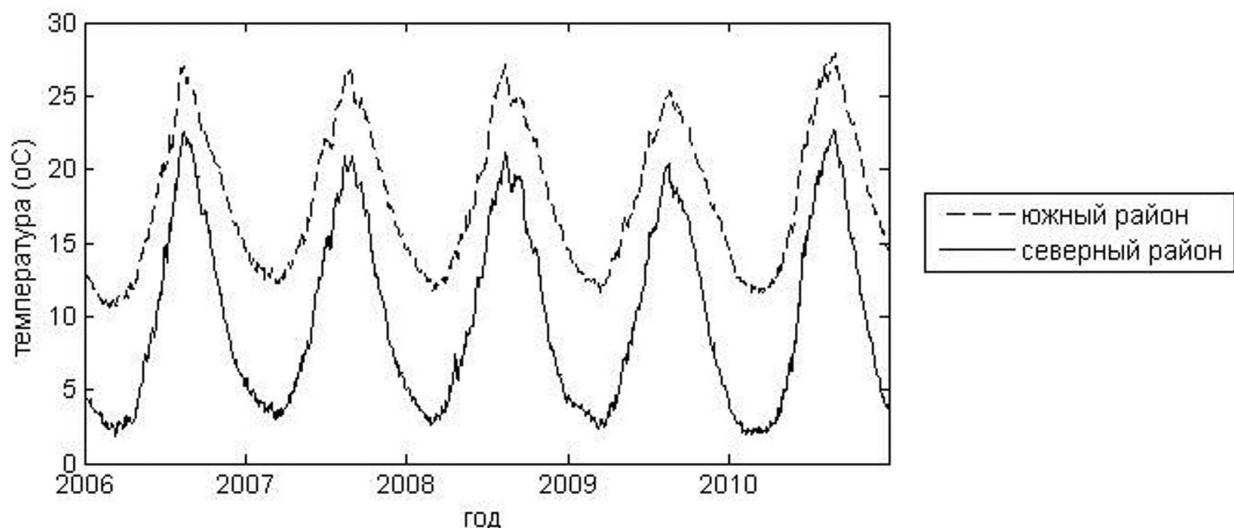


Рис. 2. Временной ход температуры поверхности Японского моря ($^{\circ}\text{C}$), полученный осреднением по пространству для районов к югу и к северу от 41° с.ш. 2006–2010 гг.

Сравнение значений вейвлет-коэффициентов для этих двух рядов показывает, во-первых, доминирование сезонного хода и выраженные энергонесущие максимумы на годовых периодах, во-вторых, экстремумы в южном районе в 2006 г. и первой половине 2007 г. достигались на 15–20 суток раньше, чем в северном. В остальные годы время их наступления практически совпадало в обеих областях.

Для исследования особенностей каждого года и внутригодовой изменчивости проведем вейвлет-анализ аномалий температуры поверхности воды относительно средних значений за 2006–2010 гг. На рис. 3 представлены графики временного хода аномалий³ температуры поверхности воды и его вейвлет-изображения для северного района, а на рис. 4 – те же характеристики для южного района.

Анализ вейвлет-изображений выделяет как в северной, так и южной части Японского моря колебания температуры поверхности воды с периодами 20–60 суток, причем, эти колебания носят сезонный характер и наибольшей интенсивности достигают в летний период. Но для северного района также наблюдаются колебания синоптического диапазона до 20 суток, которые не привязаны к годовым циклам. Они отчетливо выделяются для зимних месяцев 2007 г. и гораздо менее выражены для 2008–2010 гг. (рис. 3), в то время как в южной части Японского моря данные колебания практически не выражены (рис. 4). В северной части Японского моря выделяются колебания синоптического масштаба, что, возможно, свидетельствует об интенсификации процессов образования циклонических и антициклонических вихрей к северу от границы Субполярного фронта. В южной части подобные колебания выражены меньше и отмечаются преимущественно в летние месяцы.

³ Аномалии рассчитывались методом скользящего среднего с шириной окна, равного 2 месяцам.

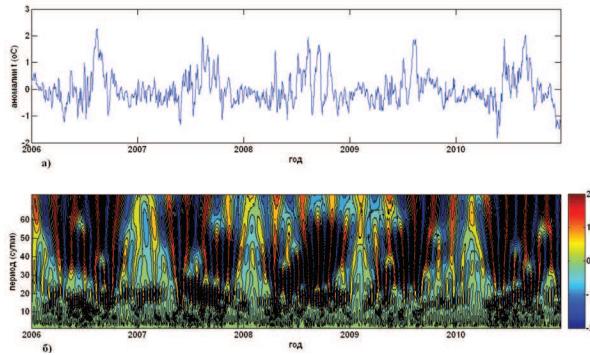


Рис. 3. Аномалии температуры поверхности Японского моря (а); вейвлет-изображение (б) за период 2006–2010 гг. для северного района

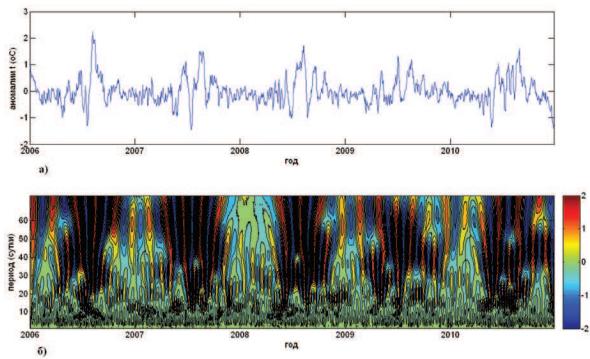


Рис. 4. Аномалии температуры поверхности Японского моря (а); вейвлет-изображение (б) за период 2006–2010 гг. для южного района

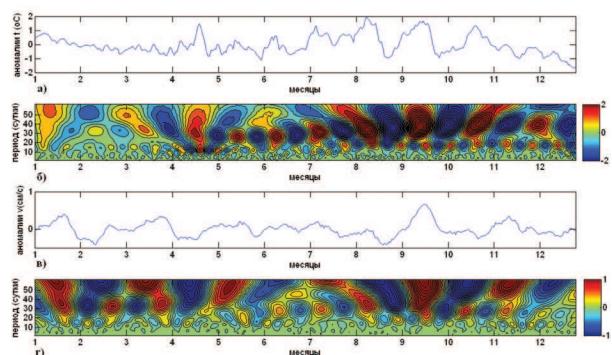


Рис. 5. Аномалии температуры воды (а) и вейвлет-изображение (б) аномалии меридиональной составляющей скорости течения (в) и вейвлет-изображение (г) для северного района за 2008 г.

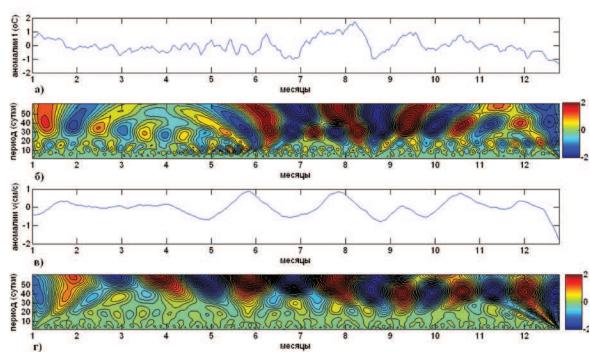


Рис. 6. Аномалии температуры воды (а) и вейвлет-изображение (б); аномалии меридиональной составляющей скорости течения (в) и вейвлет-изображение (г) для южного района за 2008 г.

Наибольший вклад в изменчивость температурных аномалий как в северном, там и в южном районе, дают летне-осенние месяцы. Существенным фактором, определяющим эту изменчивость, является водообмен через проливы со смежными бассейнами (Юрасов, Яричин, 1991). Втекающее через Корейский пролив теплое Цусимское течение (ветвь течения Курошио) приносит в северо-восточную часть моря теплые трансформированные воды субтропического происхождения и формирует Субполярный фронт между более теплыми и солеными водами Цусимского течения и холодными, менее солеными водами северо-западного сектора моря.

Сравним особенности внутригодовой изменчивости аномалий температуры воды для 2008 г. (взятого для примера) в каждом из рассматриваемых районов, а также с соответствующими аномалиями меридиональной составляющей скорости течений Японского моря, рассчитанными по геострофическим формулам по осредненным альтиметрическим данным об уровне океана (рис. 5 и 6).

Если для северного района в начале года влияние меридионального переноса минимально, то, начиная с июня, наблюдается почти синхронное усиление колебаний этих характеристик на периодах 20–25 суток, а начиная с сентября – на периодах 30–35 суток. Причины таких совпадений, возможно, связаны с чередующимися зонами дивергенции и конвергенции в синоптических вихрях, интенсивно формирующихся к северу от Субполярного фронта.

В южном районе колебания на периодах 20–25 суток почти не выражены в отличие от северного района, здесь выражены колебания более больших периодов. Здесь влияние меридионального переноса существенно уже к началу лета, но при этом отмечается фазовый сдвиг: экстремумы в колебаниях температуры отстают примерно на две недели от соответствующих экстремумов в графиках меридиональной составляющей.

Таким образом, для двух районов Японского моря, разделенных Субполярным фронтом, были получены и проанализированы осредненные по пространству статистические характеристики спутниковых измерений температуры поверхности воды. Вейвлет-анализ аномалий этих данных позволил описать особенности термического режима для каждого из районов. Так как одним из важнейших факторов, влияющих на температурный режим в каждом из районов, является меридиональный перенос, то наряду с вейвлет-анализом сезонного хода аномалий температуры поверхности воды проводился также вейвлет-анализ аномалий меридиональной составляющей скорости течений. Показано, что влияние меридионального переноса на температурный режим различно в каждом из рассматриваемых районов и на примере 2008 г. выделены особенности его сезонной изменчивости.

Литература

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1998. Т. 166. № 11. С. 1145–1170.
2. Белоненко Т.В., Колдунов В.В., Старицын Д.К., Фукс В.Р., Шилов И.О. Изменчивость уровня Северо-западной части Тихого океана. СПб: Издательство СМИО-ПРЕСС, 2009. 209 с.
3. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов. Учебное пособие. Издательство С.-Петербургского университета. 2001.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8. Вып. 2. Японское море.– Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2004.– (Коллектив авторов).
5. Зуенко Ю.И. Особенности термических условий в северо-западной части Японского моря в 2004 г. // Вопросы промысловый океанологии.– 2005.– Вып. 2.– С. 85–89.
6. Никитин А.А., Харченко А.М. Изменчивость термических фронтов в Японском море по данным ИСЗ. // Дистанционные исследования океана. Владивосток: ТИНРО, 1990. С. 45–54.
7. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток.: ДВО АН СССР, 1991 г. 174 с.
8. Chu P. C., Chen Y. C. and Lu S.H. Temporal and spatial variabilities of Japan Sea surface temperature and atmospheric forcings. J. Oceanogr., 54(3), 273–384. 1998.

9. Hong, C.-H., K.-D. Cho and H.-J. Kim. The relationship between ENSO events and sea surface temperature in the East (Japan) Sea // *Prog. Oceanogr.*, 49(1), 21–40, 2001.
10. Park S., Chu P.C. Interannual SST variability in the Japan/East sea Relationship with environmental variables // *Journal of oceanography*, Vol. 62, pp. 115–132. 2006.
11. Park W.-S., Oh I.-S. Interannual and interdecadal variations of sea surface temperature in the East Asian Marginal Sea. *Prog. Oceanogr.*, 47, 191–204.,2000.
12. Reynolds R.W. and Smith T.M. Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. // *J. Climate*. V. 7, P. 929–948. 1994.

Sea-surface temperature of the Japan Sea according to satellite data

T.V. Belonenko¹ and E.V. Bloshkina²

¹ Saint Petersburg State University

33/35 10th Line, St. Petersburg, 199178

E-mail: btvlisab@yandex.ru

² Arctic and Antarctic Research Institute

38 Bering str., St.Petersburg, 199397

E-mail: bloshkina@aari.ru

Satellite data about the sea-surface temperature of the Japan Sea for 2006–2010 are examined by the wavelet method. On the basis of present knowledge of the dynamic and thermal regimes of the Japan Sea the spatial-temporal variability of the (SST) is considered separately for two areas of the Japan Sea, on the northern and southern sides of the average disposition of Sub-Polar Front.

In the northern area, the SST variability exhibits more distinct seasonal course, the difference between maximal and minimal temperatures being up to 20 °C. There are two zones with maxima of the annual mean values of root-mean-square deviation. Another area of the high root-mean-square SST deviation values is fixed in Tatar Strait.

The use wavelet-analysis of satellite data has confirmed the earlier known peculiarities of the dynamic and thermal regimes of the Japan Sea, and made possible investigation of their variability and influential factors at higher spatial and temporal resolution.

Keywords: sea-surface temperature, the Japan Sea, Sub-Polar Front, wavelet-analysis.