

Аномалии ветра и температуры поверхности над банкой Кашеварова в Охотском море

М.С. Пермяков, Т.И. Тархова

Учреждение Российской академии наук Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильчева Дальневосточного отделения РАН
690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43
E-mails: permyakov@poi.dvo.ru, tit@poi.dvo.ru

В работе исследовалось влияние холодной аномалии над банкой Кашеварова в Охотском море на поле скорости приводного ветра по спутниковым данным в летне-осенний период 2006-2007 гг. При этом использовались данные измерений скорости и направления ветра скаттерометром SeaWinds со спутника QuikSCAT (SeaWinds/QuikSCAT) и соответствующие им данные по температуре поверхности океана (ТПО), полученные радиометрами Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System (AMSR-E). Получены эмпирические соотношения, характеризующие связь аномалий ТПО и ветра в районе банки Кашеварова. Показано, что имеется близкая к линейной связь аномалий ТПО и ветра с наклоном ~ 0.5 м/с на 1°C и ~ 0.3 м/с на 1°C для ежедневных и среднемесячных данных, соответственно. Коэффициент корреляции аномалий ТПО и ветра от 0.7 для отдельных витков до 0.9 для среднемесячных полей.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, аномалии температуры поверхности океана, ветер, банка Кашеварова.

Введение

Исследованию связей между горизонтальной неоднородностью температуры поверхности океана (ТПО) и приводного ветра посвящено достаточно много работ (Chelton et al., 2001; Park and Cornillon, 2002; Lin et al., 2003; Nonaka and Xie, 2003; Vecchi et al., 2004; Tokinaga et al., 2005; O'Neil et al., 2005; Shimada and Kawamura, 2006; Song et al., 2006; Chelton et al., 2007; Park et al., 2006; Тархова и др., 2010; Tarkhova et al., 2011). Этому способствовало развитие технологий дистанционного зондирования в последнее десятилетие. Эти и другие работы (обзор в Small et al., 2008) показывают, что величина возмущения ветра прямо определяется амплитудой температурных контрастов ТПО в различных структурных образованиях в полях ТПО – фронтах, вихрях, рингах, «следах» тропических циклонов. Уникальным регионом со значительными температурными аномалиями, достигающими 10°C (Tarkhova et al., 2011), является район банки Кашеварова (БК) в северо-западной части Охотского моря. Подобные районы могут служить естественной «...экспериментальной лабораторией для наблюдения за процессами взаимодействия вода-воздух» (Park et al., 2006). Район БК имеет несомненное преимущество за счет неизменного положения и значительных величин перепадов ТПО в холодном пятне.

Цель настоящей работы – получить эмпирические соотношения, характеризующие связь аномалий ТПО и ветра по спутниковым данным в районе банки Кашеварова.

Данные и методы

В работе использовались данные по скорости и направлению ветра и ТПО, предstawляемые Remote Sensing Systems (RSS) (<http://www.remss.com>). Вектора ветра получены скаттерометрами SeaWinds со спутника QuikSCAT и приведены к уровню 10 м над морской

поверхностью, поля ТПО получены микроволновыми радиометрами Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System (EOS), установленные на спутнике Aqua (AMSR-E). В работе использовались ежедневные данные, средние за 3 дня и среднемесячные с пространственным разрешением 0.25° за период 2006-2007 гг. в районе банки Кашеварова в Охотском море с координатами $53^{\circ}\text{--}58^{\circ}\text{N}$ и $143^{\circ}\text{--}149^{\circ}\text{E}$. Погрешность оценок скорости ветра скаттерометром составляет ~ 1.7 м/с, направления ветра $\sim 14^{\circ}$ (Chelton and Freilich, 2005). Погрешность измерения ТПО составляет 0.4°C (Chelton and Wentz, 2005).

Для количественного анализа связи аномалий ветра и ТПО использовались данные в круговой области радиусом 300 км с центром с координатами 55.5°N и 146°E близким к центру БК. Из этих данных выделялись точки отрицательных аномалий ТПО и ветра над БК. Точки аномалии – это точки, в которых отклонения значений ТПО от фоновых превышают некоторую пороговую величину. При этом в качестве фоновых используются значения функции двумерной полиномиальной регрессии третьей степени, построенной методом наименьших квадратов с селекцией данных, т.е. исключения точек, в которых отклонение от регрессии превышает некоторый порог – в данном случае равный двум среднеквадратичным отклонениям регрессии от данных. После селекции данных процедура регрессии повторяется до тех пор, пока число оставшихся данных не перестает изменяться. Такая процедура исключает влияние точек в холодном пятне на сглаженное в результате регрессии поле ТПО. Все точки, в которых значения ТПО ниже, чем на 1°C значений регрессии и лежащие в радиусе ~ 120 км от центра БК, считались точками холодной аномалии. Аналогичная процедура проводилась для выделения точек аномалии ветра. Такая обработка позволяет исследовать эмпирические связи аномалий ТПО и ветра в отличие от работы (Tarkhova, 2011), где анализировалась связь перепадов ТПО и ветра между центром и периферией холодного пятна.

Результаты и обсуждение

Банка Кашеварова в Охотском море представляет собой поднятие дна на 350-900 м относительно окружающего рельефа. 200-метровая изобата, очерчивающая банку, ограничена координатами $55^{\circ}12'\text{--}55^{\circ}57'\text{N}$ и $144^{\circ}48'\text{--}146^{\circ}50'\text{E}$ (рис. 1). Характерной особенностью поверхностных вод над банкой Кашеварова в летне-осенний период является наличие «холодной» температурной аномалии, которая образуется, в основном, за счет сильного приливного перемешивания (Rogachev et al., 2000, 2001). Холодное пятно над БК обычно начинает формироваться в конце мая – в начале июня с появлением стратификации вод за ее пределами в результате весенне-летнего прогрева, и исчезает в октябре-ноябре, когда стратификация разрушается в результате осенне-зимней конвекции. На рис. 1 представлены среднемесячные поля ТПО (верхний ряд) и скорости ветра (нижний ряд) за период июнь-октябрь 2006 года. Как видно из рисунка, над холодным пятном проявляется область понижения скорости ветра. Температурные аномалии становятся максимальными, как правило, в августе, и в 2006 году достигали $\sim 6^{\circ}\text{C}$. При этом скорость южного ветра уменьшалась на ~ 2.4 м/с.

Связь ТПО и ветра на трехдневных периодах осреднения демонстрирует широтно-временной разрез вдоль $145^{\circ}15'\text{E}$ с 1 июня по 31 октября 2006 и 2007 гг. (рис. 2). По сравнению со среднемесячными значениями, аномалии ТПО и скорости ветра над БК более значительные, и достигают 6.8°C и 3.7 м/с соответственно.

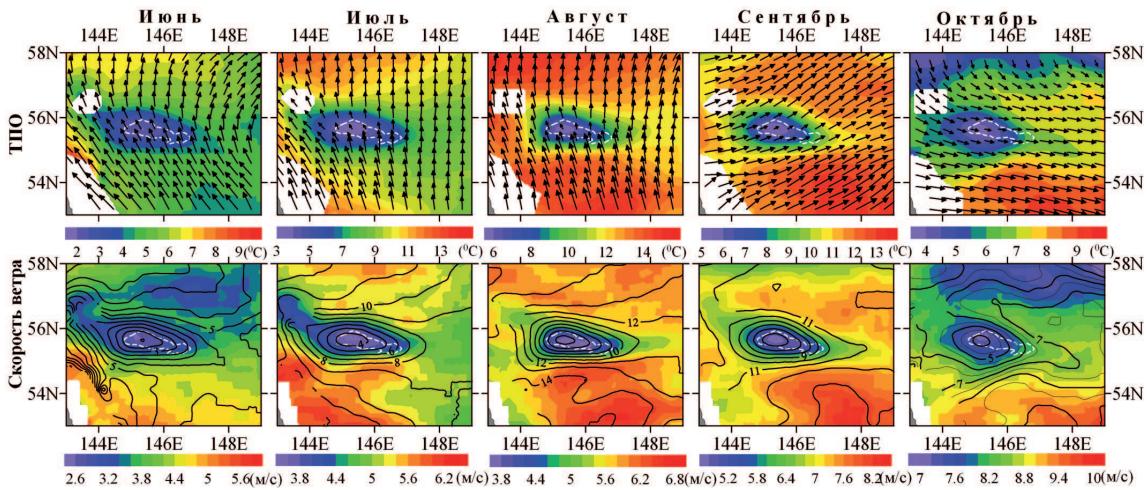


Рис.1. Среднемесячные поля ТПО и скорости ветра в летне-осенний период 2006 года. Верхний ряд – поля ТПО с векторами приводного ветра, нижний ряд – поля скорости ветра с изотермами, белый пунктир – 200-метровая изобата

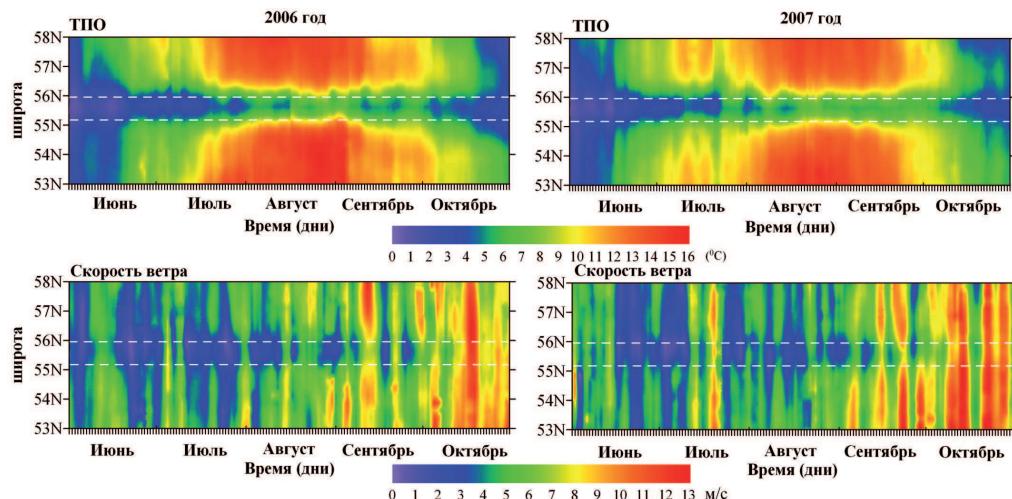


Рис.2. Широтно-временной разрез трехдневных ТПО и скорости ветра вдоль 145°15'E с 1 июня по 31 октября 2006 и 2007 гг. Белый пунктир – северная и южная границы БК

На рис. 3 показан ход корреляции между ТПО и скоростью ветра в районе с координатами 54°30'N-56°30'N и 144°15'E -147°15'E, рассчитанной по ежедневным данным в безледный период в 2006-2007 гг. Можно отметить общую тенденцию к росту коэффициентов корреляции (r) с мая по август-сентябрь, и к понижению в оставшийся период. При этом, повторяемость за месяц случаев со значимой корреляцией $r \geq 0.5$ увеличивается от минимума в мае (2-6%) до максимума в сентябре (60-75%), затем уменьшается до 2-10% в ноябре-декабре (Tarkhova et al., 2011). Отметим, что в летне-осенний период нередки случаи, когда высокая корреляция держится несколько дней подряд.

На рис.4а представлена диаграмма рассеяния аномалий ТПО и скорости ветра в июне-октябре в 2006 – 2007 гг., полученные по ежедневным данным. Как видно из рисунка, отрицательные аномалии ТПО в летне-осенний период достигают 7°C, а ветра – 4.6 м/с. Рис. 4а демонстрирует близкую к линейной связь аномалий ТПО и ветра, с коэффициентом корреляции ~ 0.7 и наклоном линии регрессии ~ 0.5 . Значительные корреляции можно отметить для отдельных спутниковых витков. Например, на рис. 4б представлена диаграмма рассея-

ния за 3 сентября 2006 г (нисходящий виток спутника). Коэффициент корреляции достигал 0.8. При этом наклон регрессии около 0.6, что соответствует понижению скорости ветра в 0.6 м/с на 1°C. Угол наклона ежедневных данных зависит от фоновых условий, поэтому он отличается от углов осредненной регрессии на рис. 4а и регрессии среднемесячных данных на рис. 4в. Корреляция аномалий ТПО и скорости ветра, полученных по среднемесячным полям, высокая – $r=0.9$.

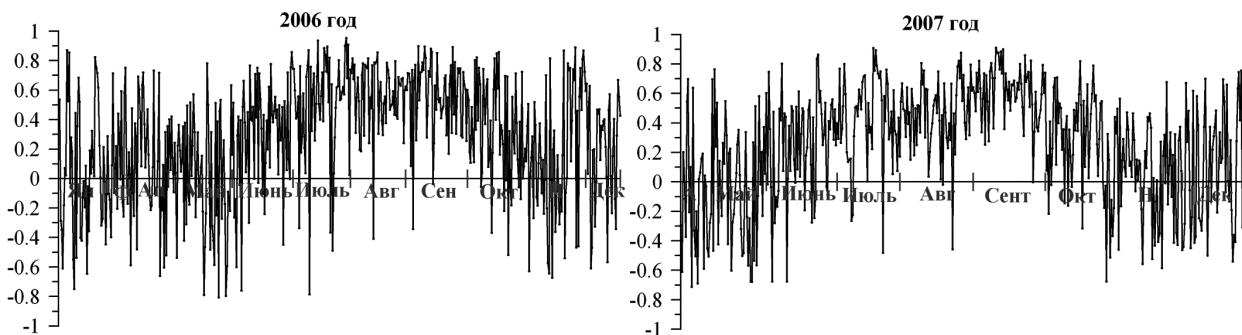


Рис.3. Ход корреляции между ТПО и скоростью ветра в области с координатами $54^{\circ}30'N-56^{\circ}30'N$ и $144^{\circ}15'E-147^{\circ}15'E$

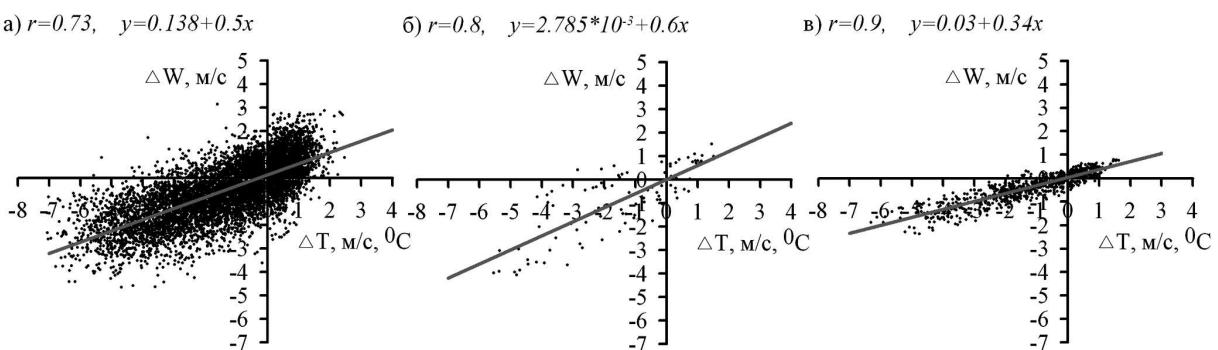


Рис. 4. Диаграммы рассеяния аномалий ТПО (ΔT) и скорости ветра (ΔW), полученные по ежедневным данным в июне – октябре 2006 – 2007 гг (а), 3 сентября 2006 г. (нисходящий виток) (б), по среднемесячным данным за июнь – октябрь 2006–2007 гг (в)

Заключение

Задачей настоящей работы было получение эмпирических связей аномалий ТПО и ветра в районе банки Кашеварова в Охотском море с использованием спутниковых данных. Здесь отрицательные аномалии ТПО в летне-осенний период достигают -7°C , а ветра – 4.6 м/с. Показано, что имеется близкая к линейной связь аномалий ТПО и ветра с наклоном ~ 0.5 м/с на 1°C и ~ 0.3 м/с на 1°C для ежедневных и среднемесячных данных, соответственно. Коэффициент корреляции аномалий ТПО и ветра от 0.7 для отдельных витков до 0.9 для среднемесячных полей.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН № 09-III-A-07-333, РФФИ № 09-05-00640а.

Литература

1. Тархова Т.И., Пермяков М.С., Поталова Е.Ю., Семыкин В.И. О связи аномалий приповерхностного ветра с градиентами температуры поверхности океана по данным дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. №3. С.45-52.
2. Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R.M. Summertime coupling between sea surface temperature and wind stress in the California current system // J. Phys. Oceanogr., 2007. Vol. 37. P. 495-517.
3. Chelton D. B., Wentz F. J. Global microwave satellite observations of sea surface temperature for numerical weather prediction and climate research // B. Am. Meteorol. Soc., 2005. Vol. 86(8). P.1097-1115.
4. Chelton D.B., Esbensen S.K., Schlax M.G., Thum N., Freilich M.H., Wentz F. J., Gentemann C. L., McPhaden M.J., Schopf P.S. Observations of coupling between surface wind stress and sea surface temperature in the eastern tropical Pacific // J. Climate, 2001. Vol. 14. P. 1479-1498.
5. Chelton D.B., Freilich M.H. Scatterometer-Based Assessment of 10-m Wind Analyses from the Operational ECMWF and NCEP Numerical Weather Prediction Models // Mon. Wea. Rev., 2005. Vol. 133. P. 409-429.
6. Lin I.I., Liu W.T., Wu C.C., Chiang J.C.H., Sui C.H. Satellite observations of modulation of surface winds by typhoon-induced upper ocean cooling // Geophys. Res. Lett., 2003. Vol. 30. No 3, P. 1131, doi:10.1029/2002GL015674.
7. Nonaka M., Xie S.P. Covariations of sea surface temperature and wind over the Kuroshio and its extension: evidence for ocean-to-atmosphere feedback // J. Climate, 2003. Vol. 16. P. 1404-1413.
8. O'Neill L. W., Chelton D. B., Esbensen S. K., Wentz F. J. High-resolution satellite measurements of the atmospheric boundary layer response to SST variations along the Agulhas Return current // J. Climate, 2005. Vol. 18. P. 2706-2723.
9. Park K. A., Cornillon P. C. Stability-induced modification of sea surface wind over Gulf Stream rings // Geophys. Res. Lett., 2002. Vol. 29(24). P.2211, doi:10.1029/2001GL014236.
10. Park K.A., Cornillon P.C., Codiga D.L. Modification of surface wind near ocean fronts: effects of Gulf Stream rings on scatterometer (QuikSCAT, NSCAT) wind observations // J. Geophys. Res., 2006. Vol. 111. C03021.
11. Rogachev K. A., Carmack E. C., Salomatin A. S. Strong tidal mixing and ventilation of cold intermediate water at Kashevarov Bank, Sea of Okhotsk // J. Oceanogr., 2000. Vol. 56(4). P.439-447.
12. Rogachev K.A., Carmack E.C., Salomatin A.S., Alexanina M.G. Lunar fortnightly modulation of tidal mixing near Kashevarov Bank, Sea of Okhotsk, and its impacts on biota and sea ice // Prog. Oceanogr., 2001. Vol. 49. P. 373–390.
13. Shimada T., Kawamura H. Satellite observations of sea surface temperature and sea surface wind coupling in the Japan Sea // J. Geophys. Res., 2006. Vol. 111. C08010, doi:10.1029/2005JC003345.
14. Small R.J., deSzeke S.P., Xie S.P., O'Neill L., Seo H., Song Q., Cornillon P., Spall M., Minobe S. Air-sea interaction over ocean fronts and eddies // Dyn. Atmos. Ocean, 2008. Vol. 45. P. 274–319.
15. Song Q., Cornillon P., Hara T. Surface wind response to oceanic fronts // J. Geophys. Res., 2006. Vol. 111. P.C12006, doi:10.1029/2006JC003680.
16. Tarkhova T. I., Permyakov M. S., Potalova E. Yu., Semykin V. I. Sea surface wind perturbations over the Kashevarov Bank of the Okhotsk Sea: a satellite study // Ann. Geophys., 2011. Vol. 29. P.393-399, doi:10.5194/angeo-29-393-2011.
17. Tokinaga H., Tanimoto Y., Xie S.-P. SST-induced surface wind variations over the Brazil–Malvinas Confluence: satellite and in situ observations// J. Climate, 2005. Vol. 18. P. 3470-3482.
18. Vecchi G.A., Xie S.P., Fischer A.S. Ocean-atmosphere covariability in the western Arabian Sea // J. Climate, 2004. Vol. 17. P. 1213-1224.
19. Xie S. P. Satellite observations of cool ocean-atmosphere interaction // Bull. Am. Meteorol. Soc., 2004. Vol. 85. P.195-208.

The wind and sea surface temperature anomalies over the Kashevarov Bank in Okhotsk Sea

M.S. Permyakov, T.I. Tarkhova

*V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS
690041 Vladivostok, 43 Baltiyskaya str.
E-mails:permyakov@poi.dvo.ru, tit@poi.dvo.ru*

In this paper the influence of cold anomaly over the Kashevarov Bank in Okhotsk Sea on the surface wind speed field has been investigated according to satellite data in ice-free period in 2006-2007 years. The wind vectors measurements by scatterometer SeaWinds onboard QuikSCAT satellite (SeaWinds/QuikSCAT) and corresponding to them sea surface temperature (SST) measurements by Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System (AMSR-E) carried on NASA's AQUA satellite are used. The empirical ratios characterizing the coupling between SST and wind speed anomalies were obtained. The wind anomaly over the cold spot is proportional to SST anomaly with a slope ~ 0.5 m/s on 1°C and ~ 0.3 m/s on 1°C for satellite passes and monthly average data, respectively. The correlation factor of SST and wind anomalies from 0.7 according to daily satellite passes data up to 0.9 for monthly average data.

Keywords: remote sensing, sea surface temperature anomaly, sea surface wind, Kashevarov Bank.