

Влияние крупномасштабных атмосферных процессов на долгопериодную изменчивость температуры поверхности Черного и Эгейского морей

А.С. Казьмин, А.Г. Зацепин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117851 Москва, Нахимовский проспект, 36
E-mail:akazmin@ocean.ru*

Спутниковые инфракрасные измерения и данные реанализа за период 1982-2004 гг. использованы для исследования долгопериодной изменчивости средне-зимней температуры поверхности моря в Черном и Эгейском морях и ее связи с основными крупномасштабными атмосферными воздействиями: температурой природного воздуха, приповерхностным ветром, Северо-Атлантическим колебанием и Восточно-Атлантическим – Западно-Русским колебанием.

Ключевые слова: Черное море, Эгейское море, температура поверхности, долгопериодная изменчивость, атмосферное воздействие

Введение

Черное и Эгейское моря, близкие географически, существенно отличаются своими гидрологическими условиями и экосистемами. Изменчивость температуры активного слоя обоих бассейнов является одним из основных гидрологических процессов, влияющих на экосистему и продуктивность [1,2]. В связи с научной и практической важностью, изменчивость температуры на масштабах от синоптического до сезонного сравнительно хорошо изучена [2,3,4]. Однако, информация о долгопериодной изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) и ее связи с атмосферными воздействиями пока ограничена [2,5,6] и конкретные механизмы корреляции между локальной ТПМ и крупномасштабными атмосферными процессами мало изучены. Задача данного исследования – сравнить общий характер долгопериодной изменчивости средне-зимней ТПМ в Черном и Эгейском морях в 1982-2004 гг. и связать ее с основными атмосферными воздействиями: температурой воздуха, ветром, индексами Северо-Атлантического колебания (САК) и Восточно-Атлантического – Западно-Русского колебания (ВАЗР).

Использованные данные и методы обработки

В исследовании использованы следующие ряды данных:

- (1) средне-недельная ТПМ на глобальной сетке с разрешением 18 км по данным измерений радиометра AVHRR, известная как MCSST (Multi-Channal Sea Surface Temperature). Данные MCSST для периода 1982-2004 гг. подготовлены в Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science of the University of Miami [7] и доступны на сайте <http://podaac.jpl.nasa.gov/mcsst/>. Недельные ТПМ были осреднены помесячно;
- (2) средне-месячные значения температуры приповерхностного воздуха (ТПВ) и компонент ветра на одноградусной сетке из проекта National Center for Environmental Prediction-

tion/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis Project для периода 1982-2004 гг. Данные доступны на сайте <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>;

(3) индекс САК за период 1982-2004 гг. расчетан в Climate Research Unit of the University of East Anglia, U.K. и доступен на сайте <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>. Индекс ВАЗР за тот же период доступен на сайте ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indicies/tele_index.nh.

Для подавления мезомасштабных особенностей и выявления долгопериодной изменчивости мы пространственно осреднили ТПМ, ТПВ и компоненты ветра для центральной глубоководной части Черного моря, ограниченной 42° - 44° с.ш. и 29° - 39° в.д. и для Эгейского моря в пределах 35° - 41° с.ш. и 23° - 27° в.д. Ранее такой интегральный подход был успешно использован для выделения основных характеристик квази-декадной изменчивости как в крупномасштабных океанических фронтальных зонах [8], так и в локальной области Канарского апвеллинга [9]. Далее среднемесячные пространственно осредненные данные были осреднены для зимнего сезона (декабрь-февраль) и сглажены 3-летним скользящим фильтром.

Основные результаты

В этом разделе представлены основные выводы работы:

(1) Несмотря на некоторые различия, общие тенденции изменчивости ТПМ в обоих бассейнах схожи. Основное климатическое событие (т.е., уменьшение ТПМ значительно ниже климатической нормы с последующим резким потеплением), имевшее место в 1986-99 гг., и его связь с атмосферным воздействием прослеживается как в Черном, так и в Эгейском морях (рис.1). Прямое сравнение ТПМ в двух морях показывает достаточно высокую (статистически значимую) взаимную корреляцию ($r=0.56$).

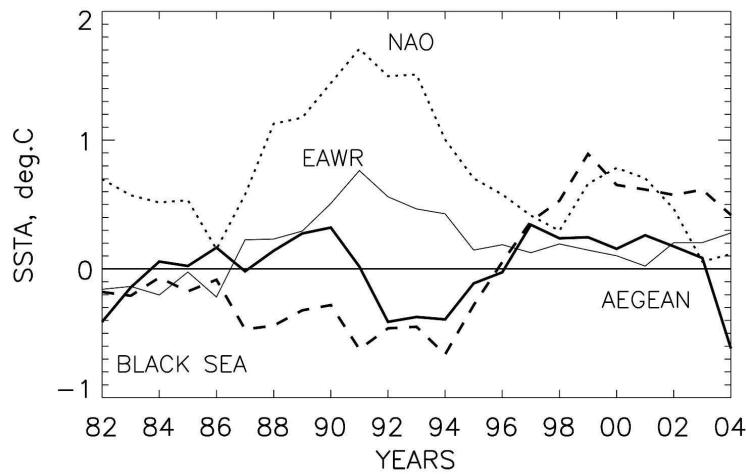


Рис. 1. Сглаженные 3-летним скользящим осреднением временные ряды средне-зимних аномалий ТПМ в Черном (пунктир) и Эгейском (сплошная жирная) морях и индексы САК (точки) и ВАЗР (сплошная)

(2) Подтверждены известные факты существования двух основных режимов приповерхностного ветра над Черным морем (юго-западного – ЮЗ и северо-восточного – СВ)

и преобладания северных ветров над Эгейским морем (что связано с особенностями орографии побережья). Получены новые детали корреляции между зональной и меридиональной компонентами приповерхностного ветра и данные об относительной повторяемости ветровых режимов. Следует отметить, что в рассматриваемый период (1982-2004 гг.) над Черным морем наблюдался только ЮЗ ветровой режим, а над Эгейским – СВ режим. В Черном море в ЮЗ режиме отмечена отрицательная корреляция между зональной и меридиональной компонентами, т.е. усиление зонального ветра сопровождается ослаблением меридионального (и наоборот). Повторяемость ЮЗ режима примерно в два раза выше, чем СВ режима (для Черного моря ветровые режимы анализировались на более длинном ряде данных). Таким образом, ЮЗ режим является преобладающим в Черноморском регионе. В Эгейском море компоненты ветра коррелированы положительно.

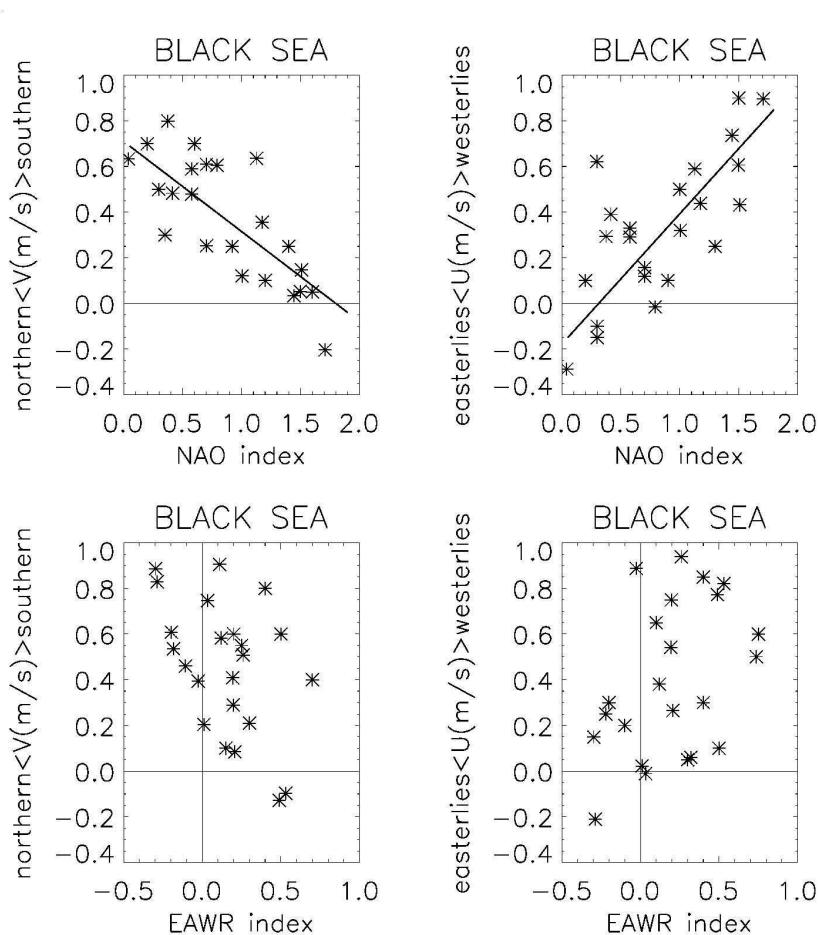


Рис. 2. Корреляции между индексами САК и ВАЗР и меридиональной и зональной компонентами ветра для Черного моря. Прямые линии – линейные регрессии с коэффициентами корреляции -0.76 (САК и меридиональная компонента) и 0.81 (САК и зональная компонента)

(3) Крупномасштабные атмосферные процессы (САК, ВАЗР) могут влиять на долгопериодную изменчивость ТПМ и ТПВ посредством изменений атмосферного переноса тепла в регион из-за изменений поля ветра. В Черном море процессом, ответственным за ЮЗ ветровой режим может быть западный перенос над Северной Атлантикой и изменчивость индекса САК может служить предиктором изменчивости приповерхностного ветра. Установлено, что в период интенсификации САК (индекс САК >0) преобладает ЮЗ ветровой режим и компоненты ветра хорошо коррелированы с индексом САК (рис.2). При этом зо-

нальная (западная) компонента коррелирована положительно (что соответствует усилению западного переноса при интенсификации САК), а меридиональная (южная) – отрицательно (т.е. южный ветер ослабевает с усилением САК). Выраженной корреляции между ВАЗР и полем ветра для Черного моря не обнаружено. В Эгейском море в условиях интенсификации САК (индекс САК >1) и ВАЗР (индекс ВАЗР $>0,3$) преобладающая меридиональная (северная) компонента ветра высоко отрицательно коррелирована как с САК, так и с ВАЗР (рис.3). Это означает, что интенсификация/ослабление САК/ВАЗР сопровождается усилением/ослаблением северного ветра. Зональная компонента ветра над Эгейским морем имеет малую изменчивость и не проявляет корреляции с атмосферными индексами.

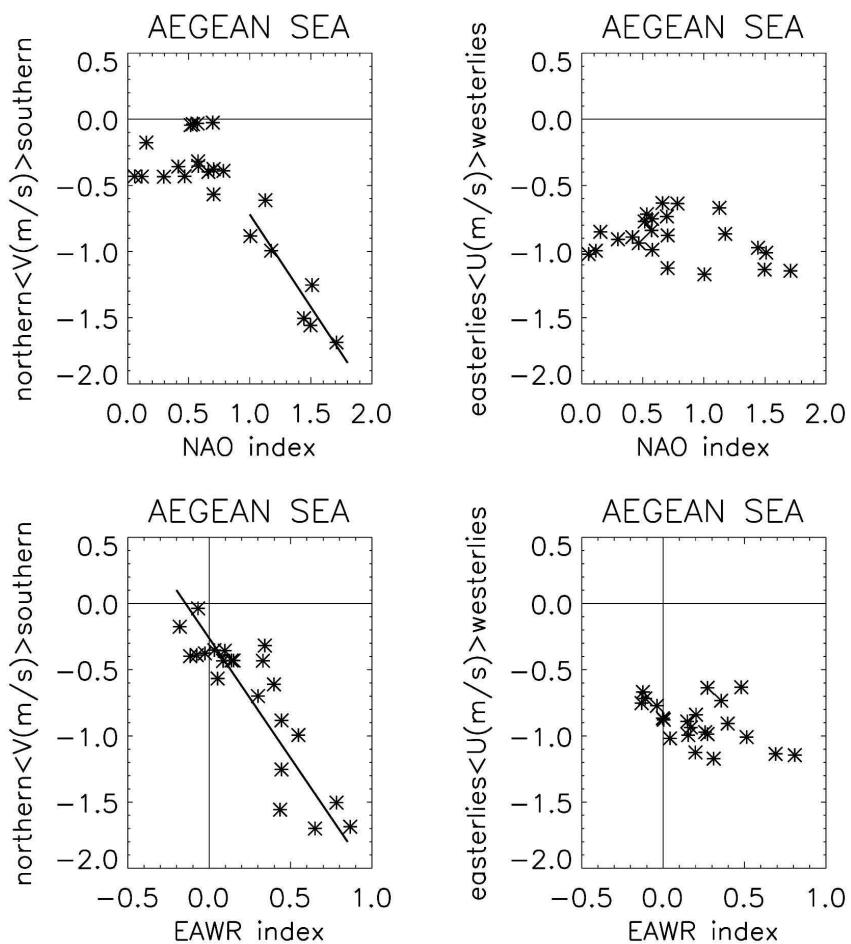


Рис. 3. Корреляции между индексами САК и ВАЗР и меридиональной и зональной компонентами ветра для Эгейского моря. Прямые линии – линейные регрессии с коэффициентами корреляции -0.89 (САК и меридиональная компонента) и -0.86 (ВАЗР и меридиональная компонента)

(4) Важный вывод заключается в том, что крупномасштабные атмосферные процессы влияют на изменчивость меридиональной компоненты ветра, которая обеспечивает основную часть атмосферного переноса тепла в регион в связи с тем, что меридиональный градиент ТПВ значительно выше зонального. Однако, несмотря на географическую близость, основное различие состоит в том, что в Черном море интенсификация/ослабление САК приводит к ослаблению/усиленнию южного ветра, тогда как в Эгейском море интенсификация/ослабление ВАЗР/САК сопровождается усилением/ослаблением северного ветра.

(5) Долгопериодная изменчивость средне-зимней ТПМ в Черном и Эгейском морях высоко коррелирована (положительно) с изменчивостью ТПВ (последняя может служить в качестве индикатора атмосферного переноса тепла в регион). В свою очередь, изменчивость ТПВ хорошо коррелирована с меридиональной компонентой приповерхностного ветра (рис.4, 5). Однако, принципиальное различие состоит в том, что в Черном море увеличение/уменьшение ТПВ связано с усилением/ослаблением южного ветра, тогда как в Эгейском море увеличение/уменьшение ТПВ вызывается ослаблением/усилением северного ветра.

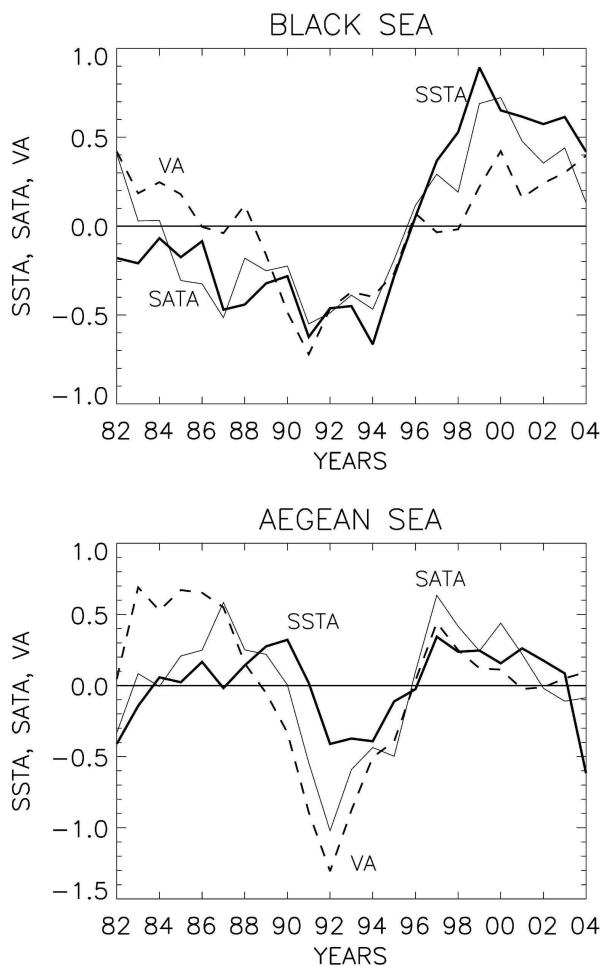


Рис. 4. Сглаженные 3-летним скользящим осреднением временные ряды средне-зимних аномалий ТПМ (жирная сплошная), ТПВ (сплошная) и меридиональной компоненты ветра (пунктир) в Черном и Эгейском морях

(6) Предлагается следующая простая базовая схема связи долгопериодной изменчивости ТПМ с крупномасштабными атмосферными воздействиями в период положительной фазы САК и ВАЗР. В Черном море интенсификация САК приводит к ослаблению южного ветра. В свою очередь, это сопровождается уменьшением ТПВ из-за сокращения меридионального переноса тепла в регион, что приводит к уменьшению ТПВ. Напротив, ослабление САК сопровождается интенсификацией южного ветра и соответствующим увеличением ТПВ и ТПМ. В Эгейском море ситуация с изменчивостью ветра противоположна, но приводит к сходному характеру изменчивости ТПМ. Интенсификация

ВАЗР/САК сопровождается усилением северного ветра, что в свою очередь приводит к уменьшению ТПВ и ТПМ. Напротив, ослабление ВАЗР/САК вызывает ослабление северного ветра и, соответственно, повышению ТПВ и ТПМ.

Работа финансировалась в рамках двустороннего российско-турецкого проекта "Реакция Черного и Эгейского морей на климатические изменения" (грант РФФИ № 09-05-91221 СТ_a).

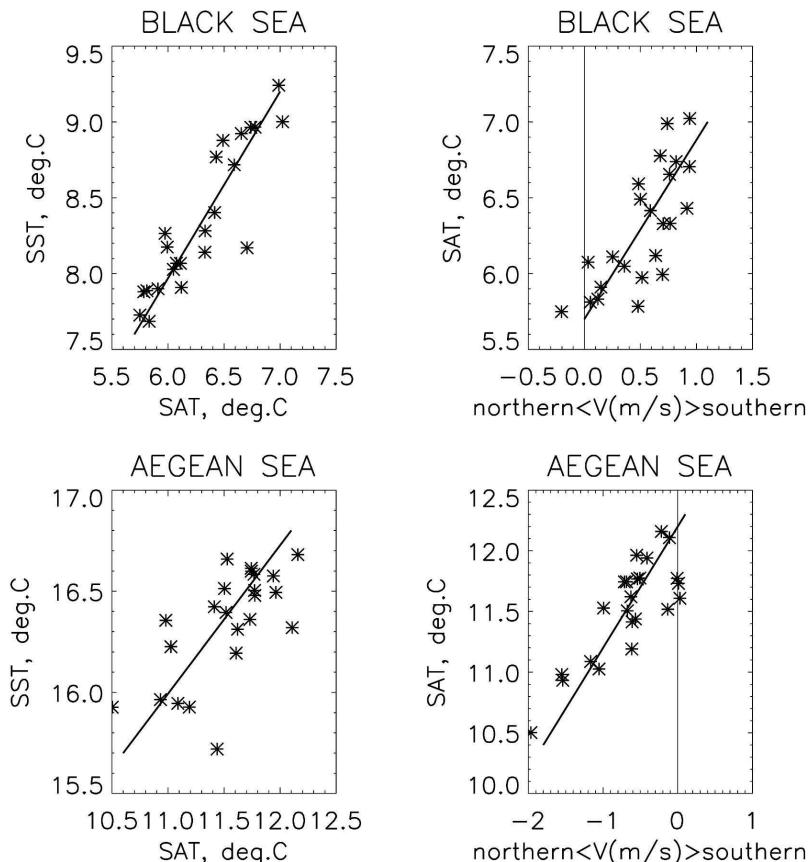


Рис. 5. Корреляция между ТПМ и ТПВ (слева) и ТПВ и меридиональной компонентой ветра (справа) в Черном и Эгейском морях. Прямые линии – линейные регрессии с коэффициентами корреляции 0.90 (слева вверху), 0.75 (справа вверху), 0.67 (слева внизу) и 0.82 (справа внизу)

Литература

1. Oguz, T., Cokacar, T., Malanotte-Rizzoli, P., Duclov, H.W. Climatic warming and accompanying changes in the ecological regime of the Black Sea during 1990s // Global Biogeochemical Cycles, 2003. V. 17. № 3. 1088, doi: 10.1029/2003GB002031.
2. Oguz, T. Black Sea ecosystem response to climatic variations // Oceanography, 2005. V. 18. № 2. P. 122-133.
3. Poulos, S. E., Dracopoulos, P. G., Collins, M. B. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview. // J. Mar. Syst., 1997. V. 13. P. 225-244.
4. Theocharis, A., Kontoyiannis, H. (1999) Interannual variability of the circulation and hydrography in the Eastern Mediterranean (1986-1995) // Malanotte-Rizzoli, P., Eremeev V. N. (eds). The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems. Kluver Academic Publishers, Amsterdam, 1999. P. 453-464.
5. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A. Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982-2000) // J. Mar. Systems, 2004. V. 52. № 1-4. P. 33-50.

6. Kazmin, A.S., Zatsepin, A.G. Long-term variability of surface temperature in the Black Sea, and its connection with the large-scale atmospheric forcing // J. Mar. Syst., 2007. V. 68. № 1-2. P. 293-301. 293- doi:10.1016/j.jmarsys.2007.01.002.
7. Smith, E. (1992) A User's Guide to the NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Multichannel Sea Surface Temperature Data Set Produced by the University of Miami/Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Pasadena, CA, 1992. 22p.
8. Nakamura, H., Kazmin, A.S. Decadal changes in the North Pacific oceanic frontal zones as revealed in ship and satellite observations // J. Geophys. Res., 2003. V. 108. № C3. doi:10.1029/1999JC000085.
9. Santos, A.M.P., Kazmin, A.S., and Peliz, A. Decadal changes in the Canary upwelling system as revealed by satellite observations: Their impact on productivity // J. Mar. Res., 2005. V. 63. P. 359-379.

Influence of the large-scale atmospheric forcing on the long-term variability of surface temperature in the Black and Aegean Seas

A.S. Kazmin, A.G. Zatsepin

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology
Russian Academy of Sciences
Nakhimovsky pr. 36, Moscow, 117997, Russia
E-mail: akazmin@ocean.ru*

Satellite IR measurements and re-analysis data for the period of 1982-2004 were used to study the long-term variability of the winter-mean sea surface temperature in the Black and Aegean seas and its connection with the major large-scale atmospheric forcing: surface air temperature, surface wind, North Atlantic Oscillation and East Atlantic – West Russia teleconnection pattern.

Keywords: Black Sea, Aegean Sea, sea surface temperature, long-term variability, atmospheric forcing.