

Изменчивость температуры поверхности и уровня Черного, Мраморного и Эгейского морей по спутниковым измерениям

А.И. Гинзбург¹, А.Г. Костяной¹, Н.А. Шеремет¹, С.А. Лебедев²

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

117997 Москва, Нахимовский проспект, 36

E-mail: sheremet@ocean.ru

²*Геофизический центр РАН*

119296 Москва, ул. Молодежная, 3

E-mail: lebedev@wdcb.ru

Исследование сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности (1985–2006 гг.) и уровня (октябрь 1992–август 2007 гг.) взаимосвязанных Черного, Мраморного и Эгейского морей выполнено на основе спутниковых массивов данных проекта Pathfinder (среднемесечные значения температуры с пространственным разрешением км) и данных альтиметров спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1 соответственно. Отмечен схожий характер изменчивости температуры поверхности (ТПМ) в этих морях в рассматриваемый 22-летний период (на фоне потепления моря в среднем): малые изменения ТПМ в 1985–1993 гг., ее заметный рост в 1993–2001 гг. и тенденция к уменьшению после 2001 г. Выявлены региональные различия в характере температурной изменчивости в рассматриваемых морях. На примере Черного моря показано, что зимние аномалии ТПМ лучше согласуются с зимними индексами колебания Восточная Атлантика – Западная Россия, чем с зимними индексами североатлантического колебания. Альтиметрическими измерениями установлен подъем уровня в рассматриваемых морях (в среднем) в 1992–2007 гг. В юго-западной части Черного моря и в Мраморном море наблюдался подъем уровня в 1992–1999 и 2003–2005 гг., спад в 1999–2003 и 2005–2007 гг.; в восточной части центрального региона Эгейского моря подъем уровня в 1992–1999 гг. был более медленным по сравнению с Черным и Мраморным морями, уровень мало изменялся в 1999–2002 гг. и уменьшался после 2002 г. Диапазоны межгодовой изменчивости среднего уровня моря составили 12 см в Черном море, 11 см в Мраморном и 7 см в Эгейском.

Ключевые слова: Черное море, Мраморное море, Эгейское море, температура поверхности моря, уровень моря, межгодовая изменчивость, атмосферные воздействия.

Введение

Важной проблемой современной океанологии является выявление и прогноз долговременной изменчивости (трендов) температуры поверхности океанов и морей (ТПМ) как важнейшего климатического параметра и ее связи с глобальными атмосферными воздействиями. В рамках этой глобальной задачи представляет интерес исследование изменчивости (межгодовой, декадной) температуры поверхности в значительной степени изолированных от океана Черного и Эгейского морей, связанных системой турецких проливов (пролив Босфор–Мраморное море–пролив Дарданеллы). Через систему этих проливов менее соленая черноморская вода (верхнебосфорское течение) поступает в Эгейское море, тогда как противоположно направленный поток более соленой воды из Эгейского моря (нижнебосфорский поток) определяет формирование промежуточных и глубинных вод Черного моря и существование здесь безжизненной сероводородной зоны.

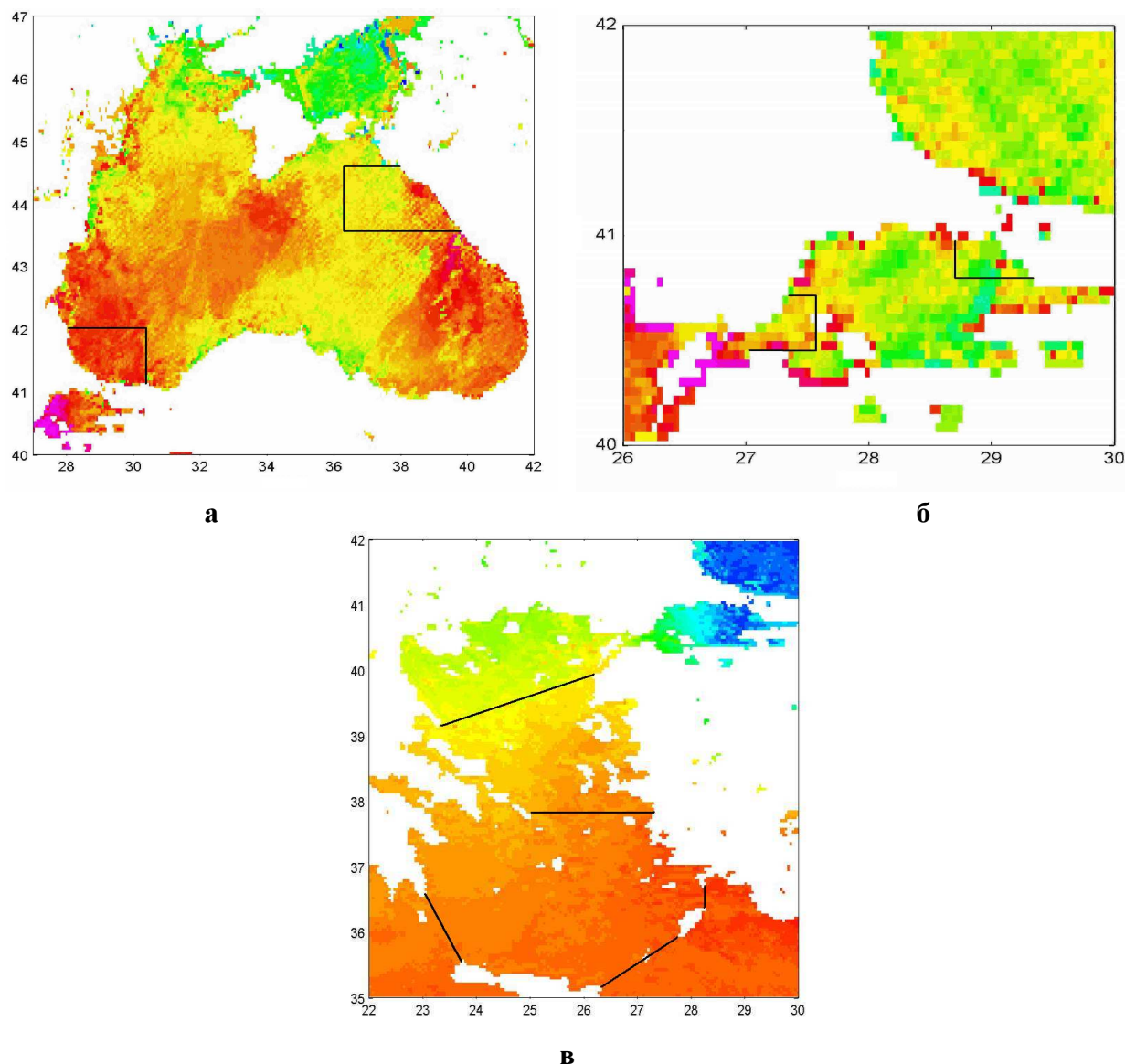


Рис. 1. Схемы Черного моря с выделенными прибосфорским и северо-восточным регионами (а), Мраморного моря с прибосфорским и придарданелльским регионами (б) и Эгейского моря с северным, центральным и южным регионами (в)

Межгодовая изменчивость интенсивности верхнебосфорского течения, связанная в основном с изменчивостью стока черноморских рек (на синоптических временных масштабах – также с силой и направлением ветра в районе проливов и атмосферным давлением), может определять соответствующие изменения в распределении температуры поверхности и солёности в северной части Эгейского моря. Региональные факторы, определяющие изменчивость ТПМ Черного, Мраморного и Эгейского морей, могут не совпадать по времени. Однако крупномасштабные атмосферные процессы, такие как глобальное потепление или похолодание, Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), североатлантическое колебание (САК) и колебание Восточная Атлантика – Западная Россия (ВАЗР), действуют на эти моря одновременно, и можно ожидать отклика температурного режима этих морей и водообмена между ними на климатические тренды.

В данной статье представлен анализ сезонной и межгодовой изменчивости ТПМ Черного, Мраморного и Эгейского морей и их отдельных регионов на протяжении примерно двух деkad (1985–2006 гг.) на основе спутниковой информации. Рассмотрена также межгодовая изменчивость уровня в этих морях на временном интервале 1992–2007 гг. по данным спутниковых альтиметров. Исследование долговременной изменчивости ТПМ Черного моря и ее связи с глобальными атмосферными воздействиями является продолжением и дополнением недавних работ [1–4].

Использованные данные

Основой исследования температурной изменчивости рассматриваемых бассейнов в 1985–2006 гг. явились массивы среднемесячных значений температуры проекта Pathfinder, создаваемые в JPL (Jet Propulsion Laboratory, США) в результате обработки измерений радиометрами AVHRR на борту спутников NOAA. Анализировались только ночные измерения (для исключения эффекта солнечного прогрева) с пространственным разрешением 4 км. Для получения долговременного ряда зимних ТПМ для Черного моря спутниковые данные были дополнены результатами гидрологических измерений 1954–1983 гг. [5, 6].

Анализ изменчивости ТПМ проводился как в Черном, Мраморном и Эгейском морях в целом, так и в выделенных в пределах этих морей регионах в отдельности – прибофторском и северо-восточном в Черном (рис. 1а), прибофторском и придарданелльском в Мраморном (рис. 1б), северном, центральном и южном в Эгейском (рис. 1в). Для исследования межгодовой изменчивости уровня использовались комбинированные данные альтиметрических измерений со спутников TOPEX/Poseidon (T/P) (октябрь 1992–август 2002 гг.) и Jason-1 (J1) (январь 2002–август 2007 гг.) с одинаковым расположением треков на акваториях этих морей. Данные об аномалиях уровня морей (АУМ) были получены из базы данных RADS (Radar Altimeter Database System) [7]. Использовались измерения вдоль трека 109, пересекающего юго-западную часть Черного моря, Мраморное море и восточную часть Эгейского (см. рис. 2) практически одновременно (временной интервал между начальной и конечной точками измерений – 2 мин., повторение измерений вдоль трека – через 9,916 сут).

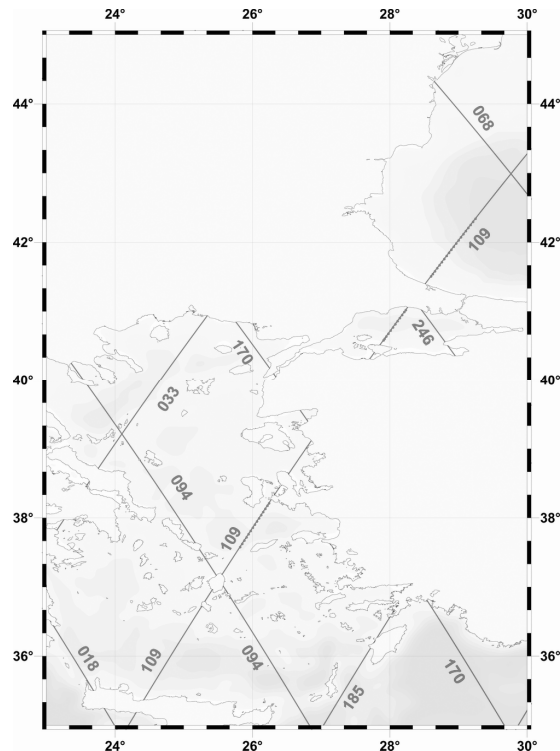


Рис. 2. Расположение треков спутников Т/Р и J1 на акваториях Черного (юго-западной части), Мраморного и Эгейского морей. Точками на треках отмечены сегменты, для которых рассчитывались значения АУМ

Сезонная и межгодовая изменчивость ТПМ

Как следует из выполненного анализа, характер межгодовой и сезонной изменчивости ТПМ в Черном, Мраморном и Эгейском морях в 1985–2006 гг. был в общем схожим (см., например, рис. 3–6). Положительный тренд среднегодовой ТПМ, полученный методом линейной регрессии, оказался равным примерно 0.06 и 0.02°C/год в Черном и Мраморном морях в целом

соответственно, а в прибофторских регионах этих морей – примерно 0.03 и 0.02°C/год; в северном, центральном и южном регионах Эгейского моря тренды составили примерно 0.03, 0.04 и 0.05°C/год соответственно. Потепление морей (в среднем) имело место во все сезоны. На фоне этого потепления в рассматриваемый 22-летний период наблюдались малые изменения температуры в 1985–1993 гг., ее заметный рост в 1993–2001 гг. и тенденция к уменьшению после 2001 г. Самые высокие значения среднегодовых ТПМ в большей части регионов рассматриваемых морей отмечены в 1994, 1999, 2001 и 2002 гг., самые низкие – в 1987, 1992, 1993 и 1997 гг. (рис. 3, 5, 6).

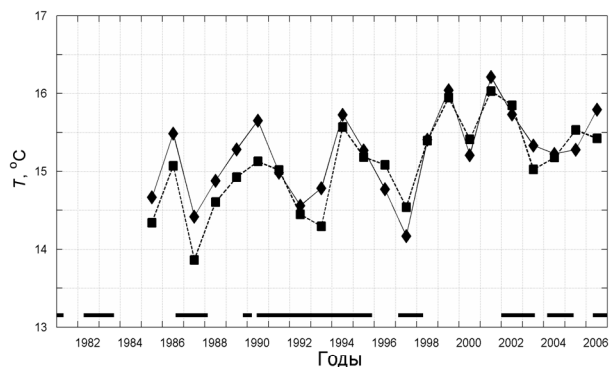


Рис. 3. Изменчивость среднегодовой ТПМ (°C), осредненной по Черному морю в целом (пунктир с квадратами) и его прибофторскому региону (ромбы) в 1985–2006 гг. Здесь и далее жирными отрезками на горизонтальной оси отмечены периоды Эль-Ниньо

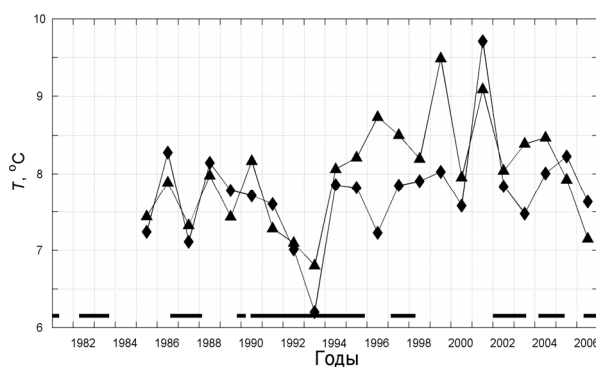


Рис. 4. Изменчивость зимней (январь–март) ТПМ (°C), осредненной по прибофторскому региону (ромбы) и северо-восточному (треугольники) регионам Черного моря в 1985–2006 гг.

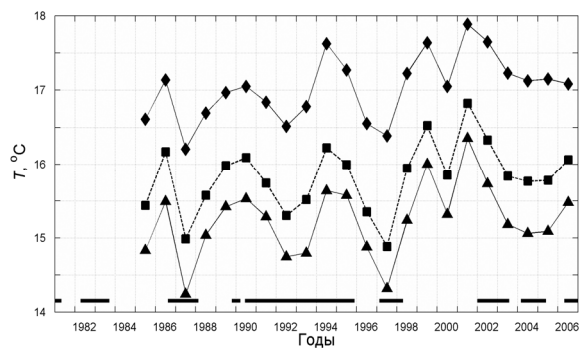


Рис. 5. Изменчивость среднегодовой ТПМ (°C), осредненной по Мраморному морю в целом (пунктир с квадратами) и его прибофторскому (треугольники) и придарданелльскому (ромбы) регионам в 1985–2006 гг.

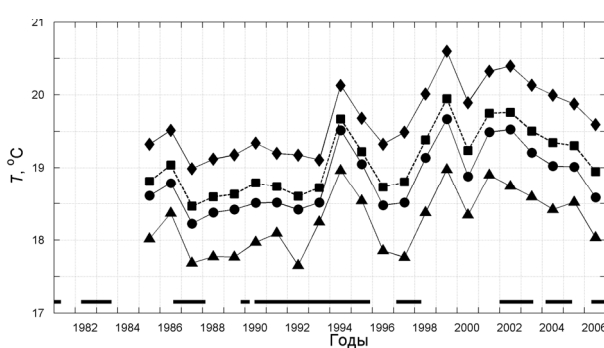


Рис. 6. Изменчивость среднегодовой ТПМ (°C), осредненной по Эгейскому морю в целом (пунктир с квадратами) и его северному (треугольники), центральному (кружки) и южному (ромбы) регионам в 1985–2006 гг.

Можно проследить трансформацию ТПМ вод черноморского происхождения в Мраморном море. Среднегодовые (см. рис. 3 и 5) и среднесезонные температуры в прибофторских регионах обоих морей практически не отличаются; в придарданелльском регионе среднегодовые значения ТПМ на 1.5–2°C выше. При этом разность температур между придарданелльским и прибофторским регионами летом (июль–сентябрь) в большинстве случаев не превышает 0.5°C, тогда как зимой (январь–март) она возрастает примерно до 3.5°C. Это хорошо согласуется с

результатами [8], основанными на анализе данных гидрологических измерений разных лет, в основном в 1948–1997 гг.

Выявлены некоторые региональные различия в характере изменчивости температуры в рассматриваемых морях (см. рис. 3–6). Например, тренд ТПМ в 1985–2006 гг. в северо-восточной части Черного моря и в море в целом был вдвое выше такового в прибосфорском регионе (0.06 and 0.03°C/год соответственно). В 2006 г. в прибосфорских регионах Черного и Мраморного морей наблюдалось, в отличие от северо-восточного региона Черного моря (и моря в целом), придарданелльского региона Мраморного моря и Эгейского моря, увеличение среднегодовой температуры по сравнению с 2005 г. Это связано, с одной стороны, с теплыми весной и осенью в 2006 г. в прибосфорских регионах, с другой – с холодной зимой на северо-востоке Черного моря, в северной и центральной частях Эгейского моря. Заметим, что зима 2006 г. в северо-восточном регионе Черного моря была одной из наиболее холодных за период с 1985 по 2006 г. (третье место по суровости после зим 1993 и 1992 гг., см. рис. 4 и 7); осень 2006 г. отмечена как самая теплая в Европе за последние 500 лет [9].

Об отклике ТПМ на крупномасштабные атмосферные воздействия

Крупномасштабные атмосферные колебания, очевидно, влияют на температурный режим рассматриваемых морей, однако однозначная связь их с аномалиями ТПМ отсутствует. Например, большая часть зарегистрированных зимних и среднегодовых аномалий ТПМ совпала по времени с событиями Эль-Ниньо (рис. 3–6; см. также обсуждение в [1, 3, 4]), однако 2001 г. – один из самых теплых в 1985–2006 гг. – пришелся на период Ланинья. Величины и знаки температурных аномалий не определяются фазами ЭНЮК и их интенсивностью (например, аномально теплая и аномально холодная зимы 1966 и 1993 гг. соответственно в периоды Эль-Ниньо).

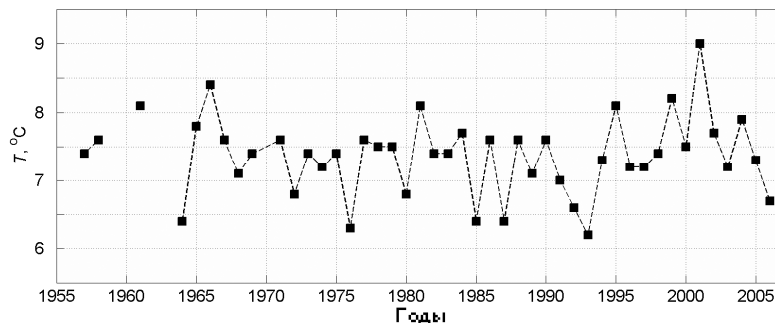


Рис. 7. Средняя зимняя (февраль–март) ТПМ (°C) в Черном море в 1957–2006 гг. по данным гидрологических (1957–1983 гг.) и спутниковых (1984–2006 гг.) измерений

Принято считать, что холодные (теплые) зимы наблюдаются в годы с положительными (отрицательными) индексами САК и ВАЗР, когда холодные (теплые) воздушные массы преобладают над Средиземноморским бассейном. Для проверки этой связи были найдены годы с аномальными зимними значениями ТПМ в Черном море. С этой целью для временной последовательности средних за февраль–март (наиболее холодных месяцев года) значений ТПМ, представленной на рис. 7, были рассчитаны среднее значение и среднеквадратическое отклонение (СО), а также аномалии относительно среднего для каждого года. Среднее значение ТПМ и СО для ряда на рис. 7 оказались равными 7.37°C и примерно 0.57°C соответственно. Аномалии ТПМ относительно данного среднего значения показаны на рис. 8. Превышение аномалией (по абсолютной величине) найденного значения СО или близость к нему использовались как критерий для отнесения той или иной зимы к аномально холодной или теплой.

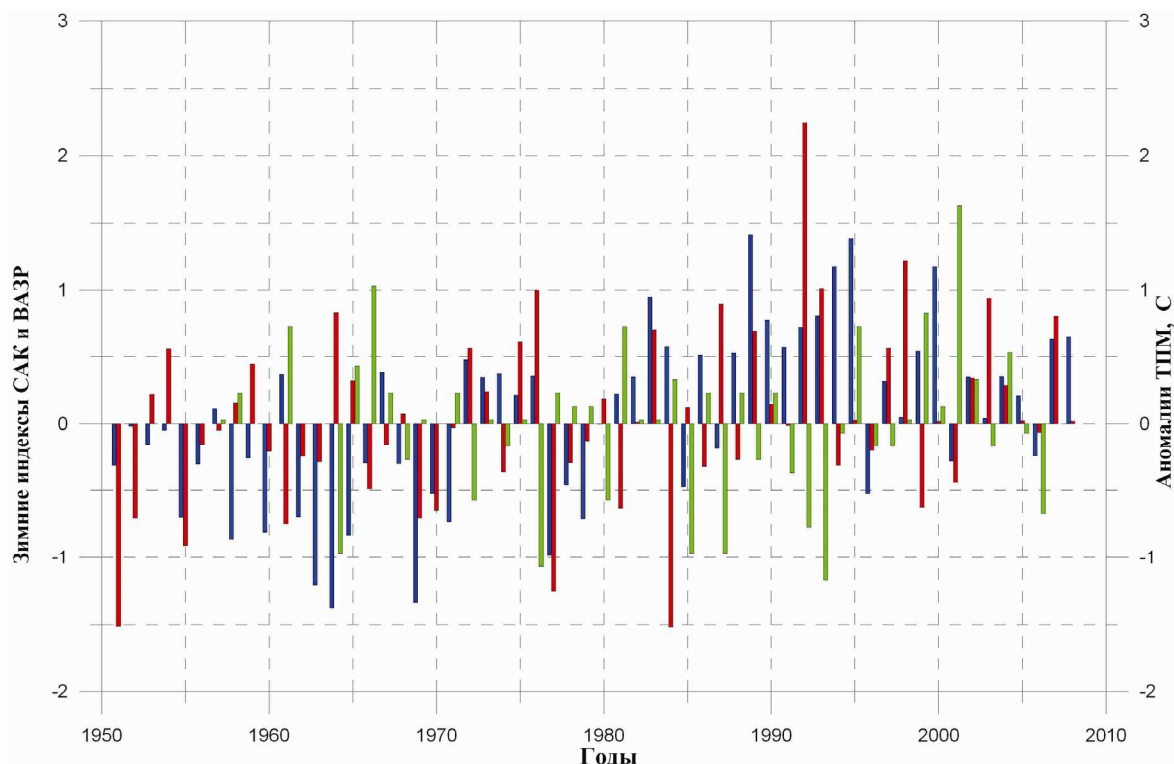


Рис. 8. Долговременная изменчивость зимних индексов САК (декабрь–март, синий цвет), ВАЗР (декабрь–февраль, красный цвет) в 1951–2008 гг. и зимних аномалий ТПИМ (февраль–март) в Черном море в 1957–2008 гг. относительно среднего значения 7.37°C для временной последовательности ТПИМ на рис. 7. Индексы САК получены из Интернета на сайте <http://www.cgd.ucar.edu/~jhurrell/nao.stat.other.html>, индексы ВАЗР – на сайте <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/eawruss.html>

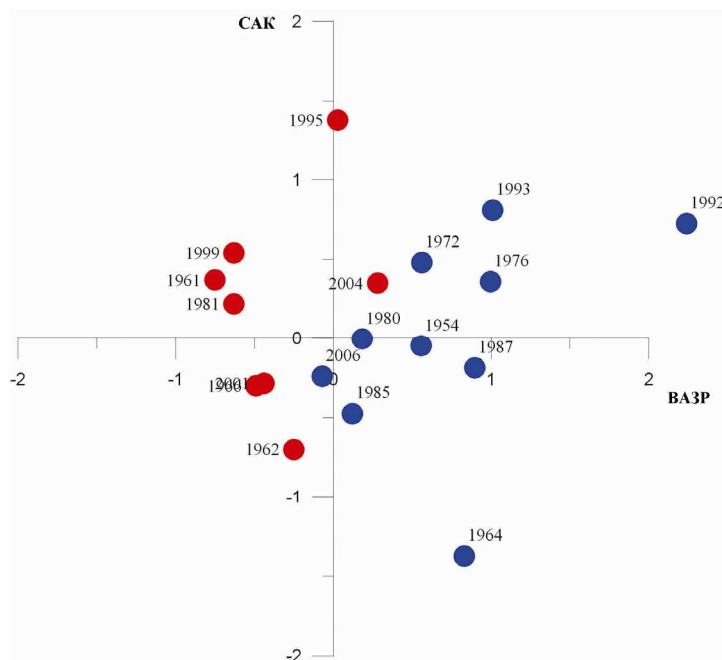


Рис. 9. Соответствие между аномалиями зимней (февраль–март) ТПИМ, близкими или превышающими по абсолютной величине CO , равное 0.57°C (для временного ряда на рис. 7), и зимними индексами колебаний САК и ВАЗР. Числами отмечены годы с аномально теплыми (красные круги) и холодными (синие круги) зимами

В соответствии с данным критерием и информацией о температуре холодного промежуточного слоя в 1954 и 1962 в [5], к аномально холодным зимам были отнесены зимы 1954, 1964, 1972, 1976, 1980, 1985, 1987, 1992, 1993 и 2006 гг., к аномально теплым – зимы 1961, 1962, 1966, 1981, 1995, 1999, 2001 и 2004 гг. Эти 18 ярко выраженных зимних аномалий ТПИМ сопоставлялись с зимними индексами САК (среднее значение за декабрь–февраль) и ВАЗР (среднее за февраль–март) на рис. 9.

Зимние аномалии ТПИМ всей последовательности на рис. 8 лучше согласуются (по знаку) с зимними индексами ВАЗР (в 70 % случаев), чем с зимними индексами САК (в 47 % случаев). Еще лучшее соответствие с индексами ВАЗР имеет место, когда рассматриваются

только 18 выделенных зимних аномалий (в 83 % случаев; при этом корреляция с индексами САК – в 44 % случаев). Это наглядно демонстрируется на рис. 9, где четыре квадранта соответствуют четырем комбинациям зимних индексов ВАЗР и САК, предложенным в [10] и определяющим состояние атмосферы над восточной частью Средиземноморья и Черным морем (см. также обсуждение в [4]): холодные зимы можно ожидать при комбинациях $ВАЗР > 0$ и $САК < 0$ и $ВАЗР > 0$ и $САК > 0$, теплые – при $ВАЗР < 0$ and $САК < 0$; при $ВАЗР < 0$ и $САК > 0$ возможны теплые и холодные зимы в зависимости от относительной силы и Исландского минимума и Каспийского максимума.

Видно, что несоответствие знаков ярко выраженных аномалий ТПМ указанным комбинациям индексов ВАЗР и САК наблюдалось в 1995, 2004 и 2006 гг. Заметим, однако, что в 1995 и 2006 гг. индексы ВАЗР были очень малы по абсолютной величине (+ 0.03 и – 0.07 соответственно). Явная корреляция между аномалиями ТПМ и величинами индексов ВАЗР отсутствует (рис. 8, 9). Интересно, однако, что наиболее теплые зимы 1966 и 2001 гг. имели место при практически одинаковой комбинации индексов ВАЗР и САК (рис. 9), а очень холодные зимы 1964, 1976, 1987 и 1993 гг. – при близких по величине положительных индексах ВАЗР, но разных по знаку индексах САК. Таким образом, механизм связи локальных аномалий ТПМ с крупномасштабными атмосферными воздействиями требует дальнейшего исследования.

Межгодовая изменчивость уровня моря

О межгодовой изменчивости уровня в рассматриваемых морях в 1992–2007 гг. можно судить по временному ходу аномалий уровня на рис. 10. Характер этой изменчивости в юго-западной части Черного моря и в Мраморном море был в общем схожим: подъем уровня в 1992–1999 и 2003–2005 гг., спад в 1999–2003 и 2005–2007 гг.; в восточном регионе центральной части Эгейского моря наблюдались более медленный (по сравнению с Черным и Мраморным морями) подъем уровня в 1992–1999 гг., его малое изменение в 1999–2002 гг. и спад после 2002 г. В среднем для 1992–2007 гг. характерен подъем уровня в этих морях. Диапазоны межгодовой изменчивости среднего уровня составили 12 см в Черном море, 11 см в Мраморном и 7 см в Эгейском.

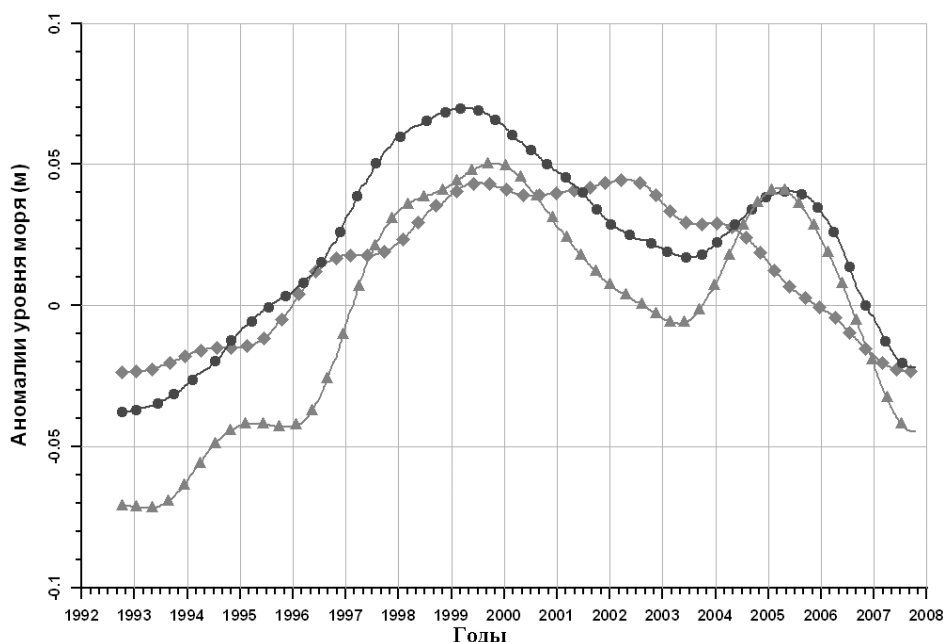


Рис. 10. Межгодовая изменчивость аномалий уровня моря (м) по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1 вдоль восходящего витка 109 в юго-западной части Черного моря (треугольники), Мраморного (кружочки) и восточной части Эгейского (квадратики) морей

Следует отметить, что значения АУМ в Мраморном море практически в течение всего рассматриваемого периода превышали таковые в Черном море (максимальная разность АУМ – 5 см в начале 1996 г.). При этом разность уровней Черного и Мраморного морей была меньше ее предполагаемого среднего значения (примерно 30 см [11]).

Заключение

Сравнительный анализ межгодовой изменчивости температур поверхности Черного, Мраморного и Эгейского морей и их регионов, выполненный на основе спутниковых данных с высоким пространственным (4 км) и временным (1 месяц) разрешением, показал схожий (в основных чертах) характер этой изменчивости в рассматриваемых бассейнах. В 1985–2006 гг. имело место потепление этих морей (в среднем). Это подтверждает вывод, сделанный в работах [1, 3, 4], о положительном тренде ТПМ в Черном море в 1982–2002 гг. в период потепления Мирового океана [12]. Однако настоящим исследованием обнаружена наметившаяся тенденция к понижению среднегодовых температур в рассматриваемых морях после трех теплых лет (1999, 2001 и 2002 гг.) до 2006 г. Насколько долго продлится эта тенденция, покажут будущие наблюдения с использованием спутниковой информации. Только спутниковые измерения при существующих ограниченных возможностях проведения гидрологических измерений в масштабах моря позволяют выявить и региональные особенности межгодовой изменчивости ТПМ (например, увеличение среднегодовой температуры в прибосфорском районе в 2006 г., связанное отчасти, по-видимому, с теплыми воздушными массами над Европой осенью этого года [9]).

Заметим, что подъем уровня в 1992–1999 гг. хорошо согласуется с ростом стока Дуная и ежегодного потока пресных вод в Черное море [13, 14], а понижение уровня в 1999–2001 гг. – с данными о стоке Дуная в [15] (мы не располагаем подобными данными для периода после 2002 г.). Интересно также, что рост уровня морей в 1992–1999 гг. имел место при росте (в среднем) их среднегодовых ТПМ. Однако в период максимальных среднегодовых температур в 1999–2002 гг. уровень Черного и Мраморного морей падал, тогда как при уменьшении ТПМ в 2003–2005 гг. он возрастал. Этот результат поддерживает точку зрения авторов работы [16], что стерический эффект (изменение уровня как следствие изменения температуры и солености вод) не объясняет полностью наблюдаемой изменчивости уровня в Черном и Эгейском морях. Положительная разность аномалий уровней Мраморного и Черного морей от 0 до 5 см практически на протяжении всего периода наблюдения вызывает предположение, что поток поверхностных черноморских вод в Мраморное море в 1992–2007 гг. был меньше среднего.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 07-05-00141 и 09-05-91221-СТ_a).

Литература

1. 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. Syst., 2004. V. 52. №1–4. P.33–50.
2. 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.

3. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A. Sea surface temperature variability // Kostianoy A., Kosarev A. (eds.). The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2008. V. 5. Part Q. P.255-275.
4. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Долговременная изменчивость температуры поверхности Черного моря и ее отклик на глобальные атмосферные воздействия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ООО «Азбука 2000», 2008. Вып. 5. Т. II. С.76-83.
5. Belokopytov V. Long-term variability of cold intermediate layer renewal conditions in the Black Sea // Ivanov LI. and Oguz T (eds.) Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea. NATO Science Series. Series 2: Environmental Security 47. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1998. P.47-52.
6. Krivosheya V.G., Yakubenko V.G., Moskalenko L.V., Skirta A.Yu. Features of interannual variability of water dynamics and hydrological structure in the active layer in the northwestern part of the Black Sea from 1990 to 2004 // Oceanology, 2005. V. 45. Suppl. 1. P.S3-S12.
7. Schrama E., Scharroo R., Naeije M. Radar Altimeter Database System (RADS): Towards a generic multi-satellite altimeter database system. Delft Institute for Earth-Oriented Space Research. Delft University of Technology, The Netherlands. 2000. 88 p.
8. Запевалов А.С., Довгая С.В. Трансформация черноморских вод в Мраморном море // Морской гидрофизический журнал, 2007. №2. С.49-55.
9. Luterbacher J., Liniger V.F., Menzel A. et al. Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phonological impacts // Geophys. Res. Letters, 2007. V. 34, L12704, doi:10.1029/2007GL029951.
10. Oguz T., Dippner J.W., Kaymaz Z. Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales // J. Mar. Syst., 2006. V. 60. №3-4. P. 235-254.
11. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее // Севастополь: МГИ НАНУ, 2006. 210 с.
12. Levitus S, Antonov J.I., Boyer T.P., Stephens C. Warming of the World Ocean // Science, 2000. V. 287. №5461. P.2225-2229.
13. Mikhailov V.N., Mikhailova M.V. River mouths // Kostianoy A., Kosarev A. (eds). The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. V.5. Part Q. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. P.91-133.
14. Stanev E.V., Peneva E.L. Regional sea level response to global climatic change: Black Sea examples // Global and Planetary Changes, 2002. V. 32. P.33-47.
15. Костяной А.Г., Терзиев Ф.С., Гинзбург А.И. и др. Южные моря // Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменений климата. М.: "ГУ "НИЦ Планета", 2008. С.149-167.
16. Tsimlis M.N., Rixen M. Variability of Mediterranean and Black sea level and its forcing // Oceanography of the Mediterranean and Black sea. Similarities and Differences of Two Interconnected Basins (Ed. A. Yilmaz). Tubitak Publishers, Turkey, 2003. P.137-145.

Variability of sea surface temperature and level of the Black, Marmara and Aegean Seas as derived from satellite measurements

A.I. Ginzburg¹, A.G. Kostianoy¹, N.A. Sheremet¹, and S.A. Lebedev²

¹*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences*

36 Nakhimovsky Pr., 117997 Moscow, Russia

E-mail: sheremet@ocean.ru

²*Geophysical Center, Russian Academy of Sciences*

3 Molodezhnaya str., 119296 Moscow, Russia

E-mail: lebedev@wdcbr.ru

Investigation of seasonal and interannual variability of sea surface temperature (1985–2006) and level (October 1992–August 2007) of the interconnected Black, Marmara and Aegean seas was carried out on the base of satellite dataset of Pathfinder project (mean monthly values of temperature with spatial resolution of 4 km) and altimeter data from the TOPEX/Poseidon and Jason-1 satellites, respectively. A similar character of sea surface temperature (SST) variability in these seas during the 22 years period under consideration was found: small variations of SST in 1985–1993, its marked increase in 1993–2001 and a tendency to decrease after 2001, at the background of sea warming in the average. Regional differences in temperature variability in the seas considered were revealed. It was shown on the Black Sea example that winter SST anomalies better correspond to winter indices of the East Atlantic – West Russia pattern than to winter indices of the North Atlantic Oscillation. An increase of sea level (on the average) in the three seas in 1992–2007 was established with the use of altimeter measurements. In the southwestern part of the Black Sea and in the Sea of Marmara, sea level increased in 1992–1999 and 2003–2005 and dropped in 1999–2003 and 2005–2007; in the eastern region of the Central Aegean, more slow level rise (in comparison with the Black Sea and Sea of Marmara) in 1992–1999 and drop after 2002 were observed, with small change in sea level in 1999–2002. Ranges of interannual variability of mean sea level were 12 cm in the Black Sea, 11 cm in the Sea of Marmara, and 7 cm in the Aegean Sea.

Keywords: Black Sea, Sea of Marmara, Aegean Sea, sea surface temperature, sea level, interannual variability, atmospheric forcing.