

Черное и Азовское моря: сравнительный анализ изменчивости температуры поверхности (1982–2009 гг., спутниковая информация)

А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, Н.А. Шеремет

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
E-mail: sheremet@ocean.ru

Исследование межгодовой и сезонной изменчивости температуры поверхности (ТПМ) Черного моря (моря в целом и трех его регионов: прибосфорского, северо-восточного и прикерченского) и двух открытых регионов Азовского (центрального и западной части Таганрогского залива) выполнено на основе еженедельных данных проекта Pathfinder (1982–2009 гг.) с пространственным разрешением 4 км. Для Азовского моря исследование с использованием спутниковых значений ТПМ ограничивалось навигационным периодом (апрель–ноябрь). Установлено дальнейшее потепление Черного моря с трендом среднегодовых значений ТПМ в 1982–2009 гг. $\sim 0.06^{\circ}\text{C}/\text{год}$, причем 2007–2009 гг. были годами с самой высокой среднегодовой температурой в рассматриваемый период. В зимний сезон в 1982–2009 гг. потепление Черного моря происходило со скоростью $\sim 0.04^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Характер межгодовой изменчивости ТПМ в Черном и Азовском морях, средней для теплого периода (апрель–ноябрь), был в общих чертах схожим. Тренды температуры в обоих открытых регионах Азовского моря в июле–сентябре были положительными (в отличие от 1945–1986 гг.), с ростом ТПМ (в среднем) примерно с середины 1990-ых гг. Продемонстрированы региональные различия сезонных циклов ТПМ обоих морей. В центральной части Азовского моря в период весеннего прогрева (осеннего выхолаживания) ТПМ ниже (выше), чем в Таганрогском заливе, а максимальная летняя температура (в среднем в июле) выше.

Ключевые слова: Черное море, Азовское море, температура поверхности моря, межгодовая изменчивость, температурный тренд.

Введение

В связи с наблюдаемым с конца 1970-х гг. глобальным потеплением (Levitus et al., 2000; Hansen et al., 2010) важным представляется постоянное слежение за тенденциями изменения температурного режима морей России, в частности, Черного и Азовского, на основе долговременных рядов наблюдений. Для этих полузамкнутых и близко расположенных морей, связанных Керченским проливом, можно ожидать схожего отклика на крупномасштабные атмосферные процессы. С другой стороны, региональные факторы, определяющие пространственно-временную изменчивость гидрометеорологических параметров в данных морях и их регионах, могут обуславливать локальные различия характера изменчивости ТПМ на фоне близких климатических трендов.

Массивы гидрологических измерений разных лет, собранных в основном до конца 1980-х г. на гидрологических станциях с неравномерным пространственным и временным покрытием акваторий и береговых гидрометеорологических станциях, явились основой построения среднегодового (климатического) распределения ТПМ в разные месяцы для Черного (например, (Гидрометеорология...1991а; Belokopytov, 1998)) и Азовского (Гидрометеорология...1991б; Matishov et al., 2006) морей. Однако этих данных и результатов продолжающихся в настоящее время несистематических и региональных измерений недостаточно для исследования межгодовой изменчивости среднегодовых (среднесезон-

ных, среднемесячных) температур приповерхностного слоя в масштабах всего моря или его отдельных регионов. Такие исследования могут базироваться на непрерывно пополняемых массивах глобальных спутниковых данных с равномерным покрытием исследуемой акватории. Эффективность использования спутниковых данных для исследования долговременной изменчивости ТПМ в Черном море продемонстрирована, например, в работах (Ginzburg et al., 2004, 2005, 2008; Бабий и др., 2005; Kazmin, Zatsepin, 2007; Гинзбург и др., 2008, 2009; Костяной и др., 2008; Пиотух и др., 2009).

Сведения о характере сезонной и межгодовой изменчивости ТПМ Черного моря и его регионов, основанные на спутниковых данных, ограничены на сегодняшний день 2006-м годом (Гинзбург и др., 2009). Информация о межгодовой изменчивости среднегодовой ТПМ Азовского моря со второй половины 1920-х годов до 2000 г., по результатам измерений в прибрежных районах, содержится в (Matishov, 2006; Дашкевич, 2008). В данной статье представлен анализ сезонной и межгодовой изменчивости ТПМ Черного и Азовского морей и их отдельных регионов на протяжении более четверти века (1982–2009 гг.) на основе главным образом спутниковых данных.

Исходные и обработанные данные

Исследование базируется на данных массива еженедельных значений ТПМ проекта Pathfinder с пространственным разрешением 4 км (quality 5). В отличие от предыдущих массивов данных этого проекта с разным пространственным разрешением (4 и 9 км), содержащих информацию о ТПМ с 1985 г., в используемый в настоящем исследовании массив включены также температурные данные 1982–1984 гг. как «предварительные».

Заметим, что, как показывает наш опыт использования различных массивов спутниковых данных – MCSST (Multi-Channel Sea Surface Temperature) и проекта Pathfinder с разным пространственным (4, 9, 18 км) и временным (неделя, месяц) разрешением, исходные и вычисленные на их основе среднемесячные или среднесезонные/среднегодовые значения ТПМ Черного моря могут несколько отличаться (в большинстве случаев не более чем на 0.5°C) (Ginzburg et al., 2008). Однако эти различия в значениях ТПМ, рассчитанных по разным массивам исходных спутниковых данных, не меняет вывода о характере выявленной долговременной изменчивости температуры бассейна.

В Черном море анализ температурной изменчивости проводился как для моря в целом, так и для трех его регионов (прибосфорского, северо-восточного и прикерченского, в котором наблюдаются воды азовоморского происхождения), в Азовском – для двух открытых регионов моря: центрального (с глубинами более 10 м) и западной части Таганрогского залива (с глубинами более 5 м) (рис. 1). В Азовском море, покрытом в декабре–марте полностью или частично льдом (рис. 2), исследование ограничивалось навигационным периодом (апрель–ноябрь). Следует отметить, что в апрельских и ноябрьских исходных данных для Азовского моря, особенно для Таганрогского залива, имеются существенные пробелы (в отдельные годы отсутствовали значения температуры для одной–трех недель). В этих случаях отсутствующие значения ТПМ искусственно восстанавливались линейной интерполяцией при известных тенденциях изменения температуры в конкретном сезоне. Сравнительный анализ межгодовой изменчивости температуры в двух морях, включая зимний период, проводился с учетом опубликованной по Азовскому морю информации.

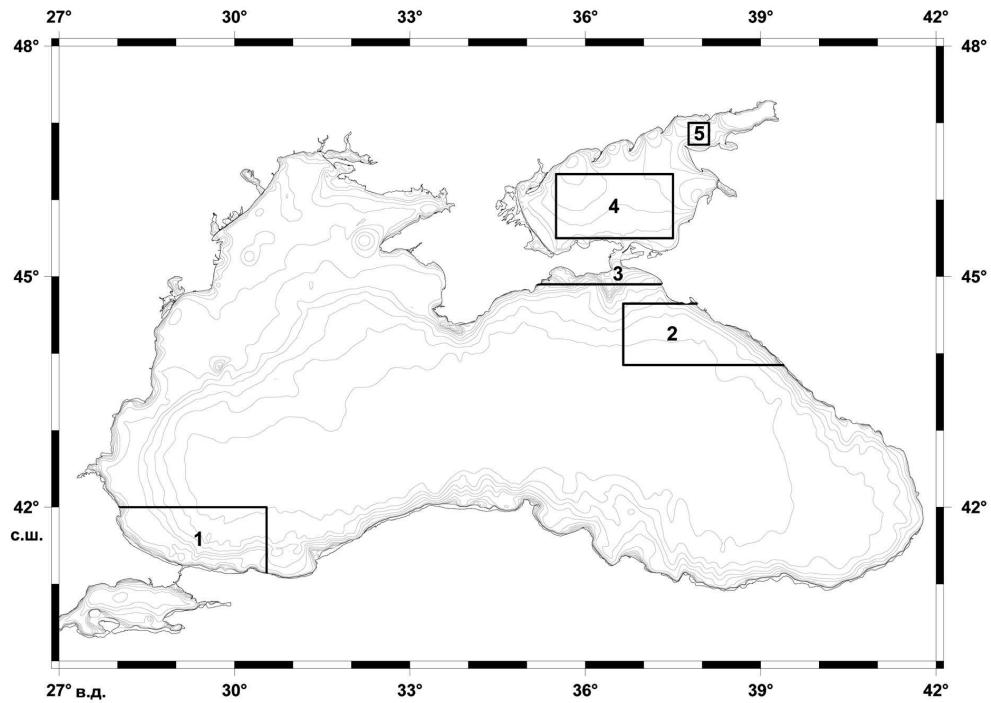


Рис. 1. Схема Черного и Азовского морей с выделенными регионами исследования: 1, 2 и 3 – прибосфорский, северо-восточный и прикерченский в Черном море соответственно, 4 и 5 – центральная часть Азовского моря и Таганрогский залив



Рис. 2. Изображение MODIS/Terra 10 декабря 2002 г.
(<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime/single.php?2002344>)

Изменчивость температуры в Черном и Азовском морях

Черное море

Рис. 3, 4 дают представление о характере изменения среднегодовой и зимней температуры Черного моря в рассматриваемый период. Очевидно дальнейшее (по сравнению с нашим предшествующим анализом изменчивости ТПМ до 2006 г. (Гинзбург и др., 2009))

потепление Черного моря. Среднегодовая температура воды в море в целом, не превышавшая в 1982–1993 гг. 15°C, в 2007–2009 гг. увеличилась до ~16°C, причем 2007–2009 гг. были годами с самой высокой среднегодовой температурой в рассматриваемый период (рис. 3). Положительный тренд среднегодовой ТПМ в Черном море в целом за весь рассматриваемый период, полученный методом линейной регрессии, оказался равным ~0.06°C/год, а в его прибосфорском, северо-восточном и прикерченском регионах, при схожем в общих чертах характере межгодовой изменчивости, – ~0.05, 0.06 и 0.08°C/год соответственно, причем потепление имело место во все сезоны. Диапазон изменения среднегодовой ТПМ в этот период в море в целом составил примерно 2.5°C (рис. 3). Годами с наименьшей среднегодовой ТПМ для моря в целом были 1985, 1987, 1992 и 1993 гг., с наибольшей – 2007–2009 гг.

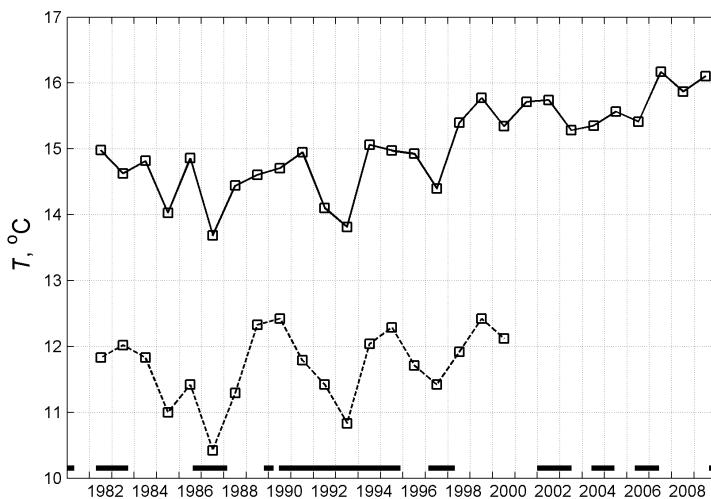


Рис. 3. Среднегодовые значения ТПМ в Черном море в целом в 1982–2009 гг. (по спутниковым данным, сплошная линия) и в Азовском море в 1982–2000 гг. (по данным на прибрежных гидрометеорологических станциях (Дашкевич, 2008), пунктир). Здесь и далее черные горизонтальные сегменты отмечают периоды Эль-Ниньо

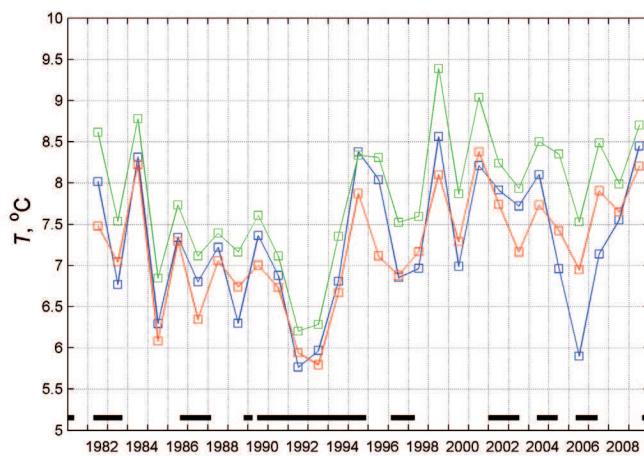


Рис. 4. Средние за февраль–март значения ТПМ в Черном море в целом (красный цвет), в его северо-восточном (зеленый) и прикерченском (синий) регионах

Рис. 4 показывает, что характер межгодовой изменчивости средней за февраль–март (самые холодные месяцы года) ТПМ для Черного моря в целом и двух его северных регионов в общих чертах одинаков (таков же в общем и характер зимней ТПМ в прибосфорском регионе). Зимняя температура северо-восточного региона выше, чем моря в целом, пример-

но на 0.5°C, что связано с приходом в этот регион более теплых вод с юго-востока с Основным черноморским течением. Тренд зимней температуры (февраль–март) в море в целом в 1982–2009 гг. составлял примерно 0.04°C/год. Самыми теплыми в 2000-х годах были зимы 2001 и 2009 гг.; наиболее низкие зимние значения ТПМ в Черном море в целом наблюдались в 2006 и 2003 гг., в его северо-восточном регионе – в 2006, 2003 и 2008 гг.; в прикерченском регионе наиболее низкие температуры зарегистрированы в 2006 г. (рис. 4), что связано с поступлением азовоморских вод через Керченский пролив (из-за пропусков в недельных значениях в 2006 г. в этом регионе указанное на рисунке значение может отличаться от истинного). (По данным (Матишов и др., 2008а), среднезимняя за вековой период температура воды в Керченском проливе меняется от -0,5...0°C до +0,5...+1,5°C, а в относительно теплые зимы – в диапазоне +4...+9°C.) Заметим, что экстремальные значения зимних и среднегодовых ТПМ часто соответствуют периодам Эль-Ниньо.

Азовское море в сравнении с Черным

Отсутствие (в большинстве случаев) полного ряда недельных зимних температур для Азовского моря не позволяет рассчитать среднегодовые значения для всего периода 1982–2009 гг. Для 2004 г. с теплой зимой и относительно полным набором исходных недельных данных такой расчет для центрального региона дал 13.1°C, при максимальном значении в последнюю неделю июля 26.7°C и минимальном в феврале 2.2°C. Для сравнения: среднегодовая ТПМ Черного моря в целом в 2004 г. была равна 15.4°C (рис. 3).

Сопоставление черноморского ряда среднегодовых ТПМ, рассчитанных по спутниковым данным в рассматриваемый период, с соответствующим рядом температур Азовского моря по данным береговых гидрометеорологических станций (до 2000 г.), приведенным в работе (Дашкевич, 2008), показал, что в 1982–2000 гг. характер изменчивости среднегодовых ТПМ в обоих морях был в основном одинаковым, с минимальными значениями в 1985, 1987, 1992–1993 и 1997 гг., максимальными – в 1999 г. в Черном море, в 1989–1990 и 1999 гг. в Азовском (рис. 3). Диапазон изменчивости среднегодовых значений температуры в 1982–2000 гг. в Азовском море был равен примерно 2°C.

Схожий характер межгодовой изменчивости ТПМ в Черном и Азовском морях наблюдался и в теплое время года (в навигационный для Азовского моря период апрель–ноябрь), с заметным ростом ТПМ в обоих морях с середины 1990-х гг. (рис. 5). Тренд ТПМ в теплый период 1982–2009 гг. составил ~0.07°C/год в Черном море в целом и 0.06–0.08°C/год в его регионах, в Азовском море – ~0.06°C/год в его центральной части и ~0.05°C/год в Таганрогском заливе. При этом средняя для теплого периода температура в Черном море превышала среднегодовую примерно на 3–3.5°C, в Азовском – на 5°C (рис. 3, 5). Температура воды в Таганрогском заливе была ниже, чем в центральной части Азовского моря (рис. 5).

В отличие от 1945–1986 гг. с отрицательными трендами температуры в июле–сентябре (по данным береговых гидрометеорологических станций ((Гидрометеорология…1991б), см. также (Гаргопа, 2001)), в 1982–2009 гг. тренд ТПМ в обоих открытых регионах Азовского моря в эти месяцы (и в другие месяцы навигационного периода) был положительным, с ростом температуры (в среднем) примерно с середины 1990-ых гг. (рис. 6). Например, тренды ТПМ в июле в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе составили примерно 0.07 и 0.06°C/год соответственно (при 0.08°C/год в Черном море в целом и 0.06–0.10°C/год в его регионах), а в сентябре – 0.03 и 0.04°C/год (при 0.03–0.06°C/год в Черном

море и его регионах). Оценивание трендов ТПМ в навигационный период апрель–ноябрь дало значения около 0.06 и 0.05°C/год для центральной части Азовского моря и Таганрогского залива соответственно, для Черного моря и его регионов – 0.06–0.08°C/год.

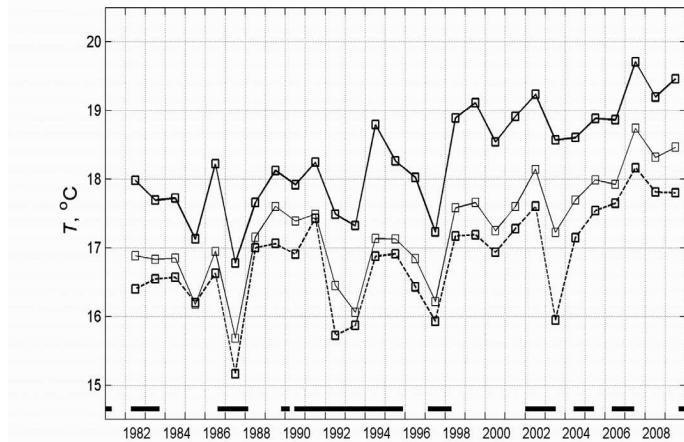


Рис. 5. Средние за апрель–ноябрь значения ТПМ в Черном море в целом (сплошная толстая линия), в центральном регионе Азовского моря (сплошная тонкая линия) и в Таганрогском заливе (пунктир) в 1982–2009 гг.

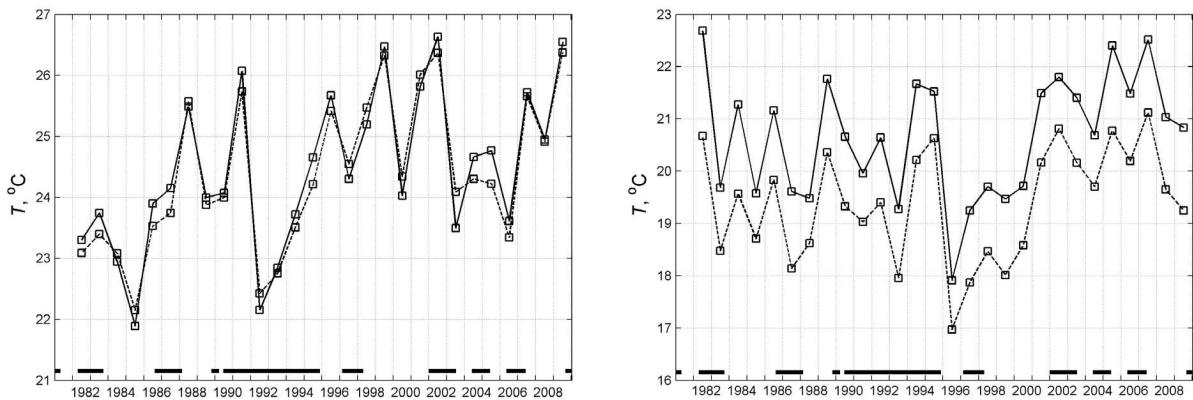


Рис. 6. Средние за июль (а) и сентябрь (б) значения ТПМ в центральном регионе Азовского моря (сплошная линия) и в Таганрогском заливе (пунктир) в 1982–2009 гг.

Об экстремальных зимних условиях в Азовском море, в отсутствие спутниковых данных, можно судить по опубликованным работам (Дашкевич, 2008; Комплексные...2010; Матищов и др., 2008а, 2008б). По данным (Комплексные..., 2010), самыми холодными в 2000-е годы в Азовском море были (в порядке уменьшения суровости) зимы 2006, 2003 и 2008 гг. Согласно работам (Матищов и др., 2008а, 2008б), зима 2006 г. была одной из самых холодных за последние 50 лет на южных морях; толщина льдов в Азовском море достигала 0.5 м, а высота торосов – 1.5–2.5 м. Следствием суровой зимы 2006 г. в Азовском море явились очень низкие зимние значения ТПМ в прикерченском регионе Черного моря (рис. 4) (среднезимняя за вековой период температура воды в Керченском проливе меняется от -0.5...0°C до +0.5...+1.5°C, а в относительно теплые зимы – в диапазоне +4...+9°C (Матищов и др., 2008а)). Однако в Черном море в целом и в его северо-восточном регионе средние за февраль–март значения ТПМ в 2006 г. не были столь низкими, как в 1985, 1987 и 1992–1993 гг. (рис. 4, см. также (Гинзбург и др., 2009)).

В соответствии с архивными данными (см. сайт <http://meteoweb.ru/2009/ar060.php>), аномально холодной для обоих морей была зима 1954 г., названная «зимой века», когда «на

Южном берегу Крыма морозы держались три месяца подряд, среднемесячная температура февраля была на 10–12 градусов ниже нормы, полностью замерзло Азовское море, через Керченский пролив было открыто устойчивое автомобильное сообщение, замерзла северная часть Черного моря». Временные ряды температуры холодного промежуточного слоя (ХПС) в Черном море (Belokopytov, 1998; Ginzburg et al., 2008; Белокопытов, 2010) и температуры воздуха на побережье в Азовском море (Гаргопа, 2001; Матищов и др., 2008а) также свидетельствуют об аномально холодной зиме 1954 г. в обоих морях. Заметим, что значения температуры ХПС в Черном море в 1987 и 1954 гг. были практически одинаковыми и самыми низкими в период 1954–2008 гг. (Белокопытов, 2010).

Мягкими зимами в 2000-е годы в Азовском море, по данным (Комплексные..., 2010), были зимы 2004 и 2005 гг. (зима 2009 г. упоминается как нормальная). В соответствии с работами (Дашкович, 2008) и (Матищов и др., 2008б), теплой была зима 2007 г. Следовательно, можно предполагать некоторые региональные различия: зимы 2006, 2003 и 2008 гг. были в 2000-е годы наиболее холодными в обоих морях, тогда как самые теплые зимы в Черном море в этот период (2001 и 2009 гг., рис. 4) не были аномально теплыми (или не отмечены как таковые) в Азовском. Региональные различия в наблюдаемых зимних аномалиях ТПМ связаны, по-видимому, с региональными различиями температуры воздуха (ТПВ) над двумя акваториями, поскольку ТПМ и ТПВ имеют высокую взаимную корреляцию (см., например, (Гаргопа, 2001; Пиотух и др., 2009)). По данным НАСА (Giovanni online data system, <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>), зимние минимумы среднемесячной ТПВ над обоими морями отмечены в 2006, 2003 и 2008 гг., наиболее высокие зимние температуры воздуха – в 2001, 2004 и 2007 гг. над Азовским морем и в 2001, 2007 и 2009 гг. над Черным (рис. 7). Можно ожидать в соответствии с рис. 7, что зима 2001 г. в Азовском море, как и в Черном, была одной из самых теплых в 2000-е годы. Согласно тем же данным НАСА (Giovanni online data system), в интервале 1980–2009 гг. одной из самых теплых в обоих морях была зима 1981 г.

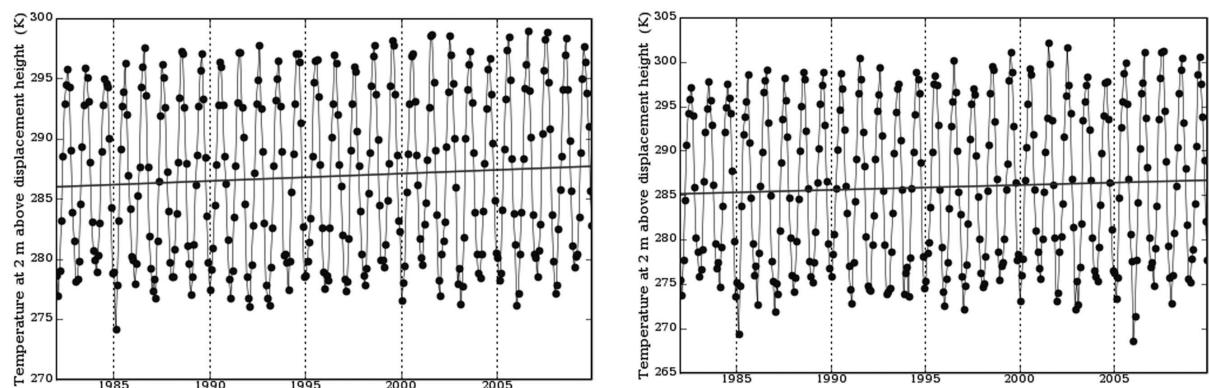


Рис. 7. Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячных значений температуры воздуха над Черным ($41\text{--}45^{\circ}$ с.ш., $29\text{--}40^{\circ}$ в.д.) (а) и Азовским ($45\text{--}47^{\circ}$ с.ш., $35\text{--}38^{\circ}$ в.д.) (б) морями в 1982–2009 гг. (NASA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, Giovanni, <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>)

Рис. 8 демонстрирует различия в средних сезонных циклах Черного и Азовского морей. В регионах Черного моря максимум ТПМ приходится на первую декаду августа, минимум наблюдается в феврале–марте. В Азовском море максимум температуры смешен по сравнению с Черным в сторону более раннего наступления: это конец июля–начало августа и вторая половина июля в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе со-

ответственно. В центральной части Азовского моря в период весеннего прогрева (осенне-го выхолаживания) ТПМ ниже (выше), чем в Таганрогском заливе, а максимальная летняя температура выше (рис. 8). Осенний спад ТПМ (сентябрь–октябрь) в Азовском море про-исходит раньше, чем в Черном море, примерно на полмесяца в центральной части и на три четверти месяца в Таганрогском заливе. Годовой размах температуры в Черном море меньше, чем в Азовском, из-за более высоких зимних температур при близких летних. На-пример, годовой размах недельных значений ТПМ в 2004 г. составил 24.5°C в центральной части Азовского моря и 18.1°C и 19.0°C в Черном море в целом и в его прикерченском ре-гионе соответственно.

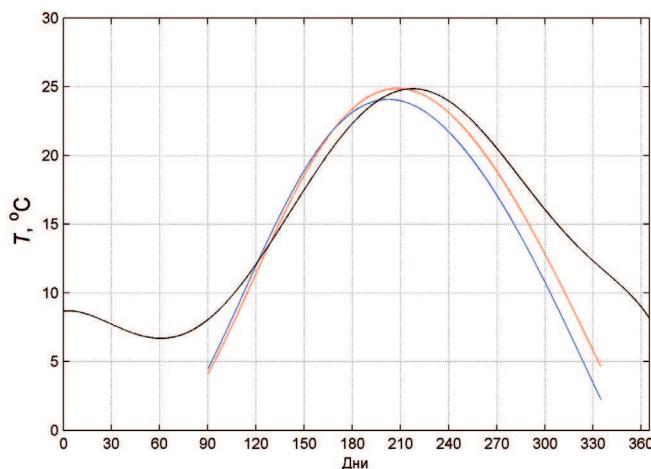


Рис. 8. Сезонные циклы средней за 1982–2009 гг. ТПМ Черного моря в целом (черная линия), центрального региона Азовского моря (красная) и Таганрогского залива (синяя), построенные путем аппроксимации еженедельных спутниковых данных полиномами седьмой степени (для регионов Азовского моря расчет – для периода апрель–ноябрь)

Заключение

Сравнительный анализ межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного и Азовского морей и их регионов, выполненный на основе спутниковых данных с высоким пространственным (4 км) и временным (1 неделя) разрешением, показал схожий (в основных чертах) характер этой изменчивости в рассматриваемых бассейнах. В 1982–2009 гг. имело место потепление этих морей (в среднем), что согласуется с наблюдающимся с конца 1970-х годов глобальным потеплением (Levitus et al., 2000; Hansen et al., 2010). Заметим, однако, что выявленные тенденции изменения температуры и полученные оценки трендов ТПМ относятся только к рассматриваемому периоду 1982–2009 гг. На более длительном временном интервале подобные оценки могут быть другими, что наглядно демонстрируют временные ряды среднегодовых ТПМ в Азовском море с конца 1920-х годов до 2000 г. в (Matishov, 2006; Дащекевич, 2008) и ряд зимних ТПМ в Черном море с 1957 г. в (Ginzburg et al., 2008; Гинзбург и др., 2009).

Дальнейшие наблюдения изменчивости температуры Черного и Азовского морей, связанных с глобальными атмосферными воздействиями и региональными факторами, необходимо продолжать. При существующих ограниченных возможностях проведения гидрологических измерений в масштабах моря именно спутниковые измерения могут быть основой

такого мониторинга, хотя для замерзающего Азовского моря регулярные спутниковые наблюдения ограничены в основном теплым периодом (апрель–ноябрь).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-00097-а).

Литература

1. *Бабий М.В., Букатов А.Е., Станичный С.В.* Атлас температуры поверхности Черного моря по спутниковым данным 1986–2002 гг. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005. 265 с.
2. *Белокопытов В.Н.* Межгодовая изменчивость обновления вод холодного промежуточного слоя Черного моря в последние десятилетия // Морской гидрофизический журнал. 2010. № 5. С. 33–41.
3. *Гаргопа Ю.М.* Закономерности многолетней динамики океанографических процессов и компонентов биоты Азовского моря // Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 44–71.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря СССР». Т. IV. Черное море. Вып. I. Гидрометеорологические условия / Под ред. А.И. Симонова, Э.Н. Альтмана. СПб: Гидрометеоиздат, 1991а. 429 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря». Т. V. Азовское море / Под ред. Н.П. Гоптарева, А.И. Симонова, Б.М. Затучной, Д.Е. Гершановича. СПб: Гидрометеоиздат, 1991б. 236 с.
6. *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. 2008. Вып. 5. Т. II. С. 76–83.
7. *Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А., Лебедев С.А.* Изменчивость температуры поверхности и уровня Черного, Мраморного и Эгейского морей по спутниковым измерениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6. Т. I. С. 349–359.
8. *Дашкевич Л.В.* Анализ многолетней изменчивости температурного режима вод открытой части Азовского моря с использованием геоинформационных технологий и математического моделирования. Автореферат диссертации, кандидат геогр. наук. Мурманск, 2008.
9. Комплексные экосистемные исследования Азовского моря в зимний период (окончание – декабрь 2009 г.). 2010. http://ssc-ras.ru/ras/files/msword/64gov_ledokol_unesco.doc.
10. *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.
11. *Матишиов Г.Г., Матишиов Д.Г., Бердников С.В.* и др. Внутривековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет) // Доклады Академии наук. 2008а. Т. 422. № 1. С. 106–109.
12. *Матишиов Г.Г., Матишиов Д.Г., Гаргопа Ю.М.* Климатогенные изменения экосистем южных морей в условиях антропогенных воздействий // Известия РАН. Сер. географическая. 2008б. № 3. С. 26–34.
13. *Пиотух В.Б., Зацепин А.Г., Казьмин А.С.* и др. Оценка влияния зимнего атмосферного форсинга на изменчивость термохалинных характеристик деятельного слоя Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6. Т. I. С. 442–450.
14. *Belokopytov V.* Long-term variability of cold intermediate layer renewal conditions in the Black Sea // Ivanov LI., 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.
15. *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) // Journal of Marine Systems. 2004. V. 52. № 1–4. P. 33–50.

16. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A. Sea surface temperature variability // A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev (eds.). The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2008. V. 5. Part Q. P. 255–275. DOI 10.1007/698_5_067.
17. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. Global surface temperature change // Reviews of Geophysics. 2010. V. 48. RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345.
18. 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 // Journal of Marine Systems. 2007. V. 68. № 1–2. P. 293–301.
19. Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P., Stephens C. Warming of the World Ocean // Science. 2000. V. 287. № 5461. P. 2225–2229.
20. Matishov G., Matishov D., Gargopa Y. et al. Climatic Atlas of the Sea of Azov. 2006. G. Matishov, S. Levitus, Eds. NOAA Atlas NESDIS 59, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 103 pp., CD-ROM.

The Black and Azov seas: a comparative analysis of the sea surface temperature variability (1982–2009, satellite information)

A.I. Ginzburg, A.G. Kostianoy, N.A. Sheremet

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

Investigation of interannual and seasonal variability of sea surface temperature (SST) of the Black Sea (the sea as a whole and three its regions: the near-Bosporus, north-eastern and near-Kerch) and two open areas of the Sea of Azov (the central one and western part of the Taganrog Bay) during 1982–2009 was carried out on the base of satellite dataset of Pathfinder project (weekly values of temperature with spatial resolution of 4 km). For the Sea of Azov, the study with using satellite SST values was limited by navigation season (April–November). Further warming of the Black Sea was established, with the trend of mean annual SST in 1982–2009 of about 0.06°C/year, the 2007–2009 years being the years with the highest mean annual SST values in the period under consideration. In the winter season of 1982–2009, warming of the Black Sea occurred with velocity of ~0.04°C/year. A character of interannual variability of SST in the Black Sea and Sea of Azov, averaged for the warm period (April–November), was similar in general features. Temperature trends in both open regions of the Sea of Azov in July–September were positive (as distinct from the period 1945–1986), with SST increasing (in average) since about the mid-1990s. Regional differences in SST seasonal cycles in both seas were demonstrated. In the central area of the Sea of Azov, SST is lower (higher) during the spring warming (autumnal cooling) than in the Taganrog Bay, whereas maximum summer temperature (during July in general) is higher.

Keywords: the Black Sea, the Azov Sea, sea surface temperature, interannual variability, seasonal variability, temperature trend.