

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОМ РАЙОНЕ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА У МЫСА КИКИНЕИЗ

В.В. Метик-Дионова, С.А. Майборода

Черноморский гидрофизический полигон РАН, РФ,
Крым, пгт. Кацевели, ул. Шулейкина, 9
E-mail: margodiu1@rambler.ru

По данным многолетних гидрометеорологических наблюдений, полученных в Черноморском гидрофизическом полигоне, расположенном на южном берегу Крыма в п. Кацевели, проведен анализ межгодовой и сезонной изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ). Исследованы многолетние тренды ТПМ для периода 1931 – 2016 гг. Проведен сравнительный анализ характеристик полученных трендов с результатами реанализов других авторов. Выявлено постепенное повышение температуры поверхностного слоя вод Черного моря в районе Южного берега Крыма (ЮБК) за исследуемый период.

Ключевые слова: Черное море, температура поверхности моря, межгодовая изменчивость, атмосферные воздействия, температурный тренд

Поступила в редакцию: 19.07.2018. После доработки: 22.08.2018.

Введение. Исследование долговременной изменчивости температуры поверхности океанов и морей (ТПМ) является одной из важнейших задач современной океанологии. Многолетние тренды ТПМ являются важными климатическими характеристиками вследствие их связи с глобальными атмосферными воздействиями.

В работе проведено исследование сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря на основании анализа архивных данных береговых контактных наблюдений в зоне сопряжения суши Крымского полуострова и северной части Черного моря у мыса Кикинеиз южного берега Крыма (ЮБК), полученных в Черноморском гидрофизическом полигоне для периода с 1931 по 2016 гг. Гидрометеорологические контактные наблюдения в прибрежной зоне Кацевели были начаты академиком В.В. Шулейкиным с момента организации стационарного пункта гидрометеонаблюдений в 1929 г. С 1931 г. уже появились регулярные записи в журналах наблюдений.

Гидрометеорологический режим ЮБК определяется в основном макроциркуляционными процессами, конфигурацией береговой линии, орографическими особенностями. Мыс Кикинеиз, где находится Черноморский гидрофизический полигон, представляет собой открытый участок прибрежной зоны и для него характерны такие же климатические условия, как и для всего ЮБК. В тоже время горные хребты способствуют возникновению местных особенностей атмосферной циркуляции (бризы, бора).

Цель настоящей работы – анализ многолетних трендов изменчивости температуры поверхности моря, сравнение полученных результатов с данными реанализов других авторов в соответствующих временных интервалах, выявление экстремальных максимальных и минимальных значений ТПМ.

Межгодовая изменчивость. На рис. 1 представлены среднегодовые, максимальные среднесуточные и минимальные среднесуточные значения поверхностной температуры моря, а также среднегодовая температура воздуха. По

всем параметрам наблюдается тенденция роста значений. Заметна хорошая корреляция рядов долговременной изменчивости температуры воды и воздуха, коэффициент корреляции среднегодовых температур за период 85 лет – 0,88. Межгодовые колебания этих рядов синфазны. Самые высокие значения среднегодовых ТПМ отмечены в 1938, 1939, 1951, 1955, 1991, 1994, 1999, 2002, 2005, 2007, 2010 гг., самые низкие в 1933, 1949, 1957, 1969, 1985, 1987, 1992, 1993 и 1997 гг. Максимальное значение среднегодовой температуры моря 16,5°C наблюдалось в 2010 году. Во временном

ходе температуры выделяются положительные линейные тренды, угловые коэффициенты составляют 0,0199, 0,0122, 0,0115 для максимальных, среднегодовых, минимальных значений соответственно (рис. 1). Статистическая значимость коэффициентов полученных трендов оценивалась по критерию Стьюдента, доверительная вероятность 0,9. При визуальном анализе долговременной изменчивости среднегодовой ТПМ можно отметить ярко выраженный квазипериодический высокочастотный сигнал с периодичностью от 2 до 5 лет.

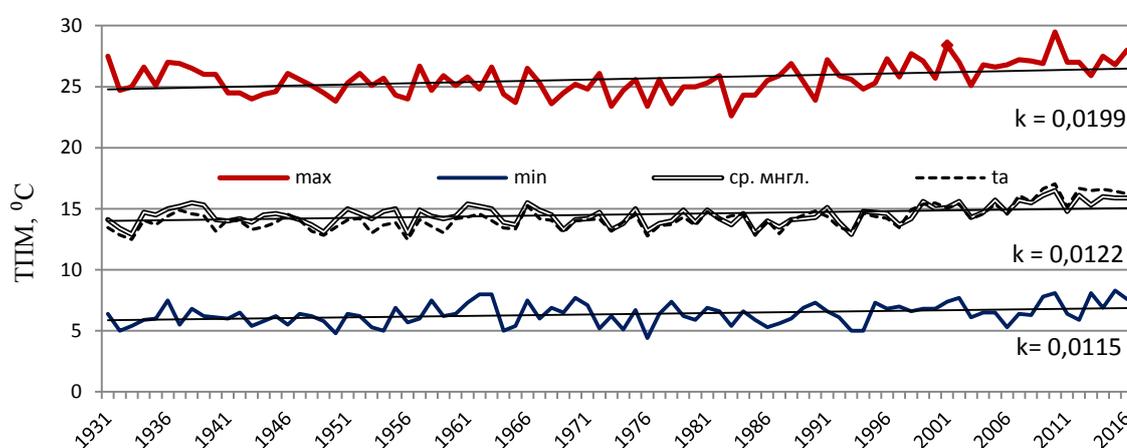


Рис. 1. Среднегодовые, максимальные среднесуточные, минимальные среднесуточные значения поверхностной температуры моря, пунктир – среднегодовая температура воздуха

Проведены сопоставления выявленных трендов с результатами исследований межгодовой изменчивости ТПМ других авторов [1, 3, 4]. По данным ретроспективного анализа гидрофизических полей Черного моря за 1993 – 2012 гг., полученных по оригинальной методике совместной обработки спутниковых альтиметрических и малочисленных гидрологических наблюдений [1] в поверхностном слое 2,5 – 30 м линейный тренд изменчивости температуры положительный (0,067 °C/год). По данным реанализа полей моря за 1992 – 2012 гг. В.Л. Дорофеева (доступны на сайте <http://mis.bsmfc.net/mis-gateway>) тенденция изменчивости средней температуры

также положительная (характеристика тренда 0,054 °C/год). Характеристика положительного тренда температуры поверхности моря у мыса Кикинеиз для соответствующего промежутка времени 0,102 °C/год при статистической значимости коэффициента регрессии по критерию Стьюдента 0,95 (рис. 2). Полученный показатель превышает данные реанализа [1] на 0,035 °C/год и данные реанализа Дорофеева на 0,048 °C/год. Такое превышение обусловлено региональными особенностями ЮБК, а также различным осреднением данных по толщине поверхностного слоя (в нашем случае использовались данные температуры моря на горизонте 1 м).

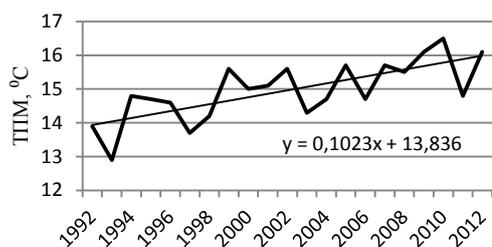


Рис. 2. Среднегодовые значения ТПМ у мыса Кикинеиз, °С и линейный тренд для периода 1992 – 2012 гг., °С/год.

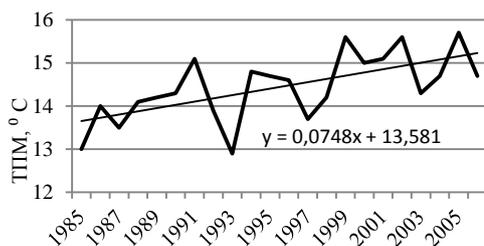


Рис. 3. Среднегодовые значения ТПМ у мыса Кикинеиз, °С и линейный тренд для периода 1985 – 2006 гг., °С/год.

В работе [2] исследована межгодовая изменчивость температуры поверхности Черного моря для периода 1985 – 2006 гг. Показана характеристика линейного тренда роста ТПМ 0,06 °С/год. Для мыса Кикинеиз по данным многолетних наблюдений для периода 1985 – 2006 гг. выявлена схожая тенденция роста среднегодовой ТПМ (0,07 °С/год) (рис. 3). Статистическая значимость полученного тренда подтверждена по критерию Стьюдента с доверительной вероятностью 0.95.

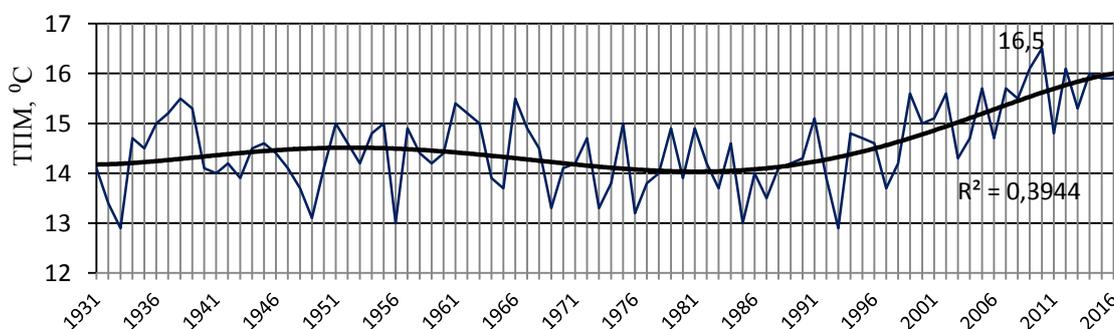


Рис. 4. Аппроксимация многолетнего хода ТПМ полиномом 6-й степени

Полученные оценки показывают разный уровень статистической значимости положительных трендов изменчивости среднегодовых температур в разных временных интервалах. Более интенсивный рост ТПМ в последние годы по сравнению с серединой 20-го столетия чаще всего связывают с глобальным потеплением климата [7, 8].

На рис. 4 показан полиномиальный тренд изменчивости ТПМ для периода 1931 – 2016 гг. Степень полинома (6) выбрана методом подбора при наибольшей величине достоверности аппроксимации. При данном анализе долговременная изменчивость температуры моря характеризуется следующими особенностями. Повышение температуры наблюдалось с 1930-х до середины 1950-х годов, затем началось медленное понижение температуры до конца 1980-х, с минимумами среднегодовых значений за весь период наблюдений: 1985 – 13,0°С, 1993 – 12,9°С. С середины 1990-х годов температура снова начала повышаться, на что указывают и другие исследователи [4, 5]. Можно отметить, что гипотеза о циклических изменениях климата (чередования прохладно-влажных и тепло-сухих периодов в интервале 35 – 45 лет) выдвинута ещё в конце XIX века немецким ученым Э. А. Брикнером [9].

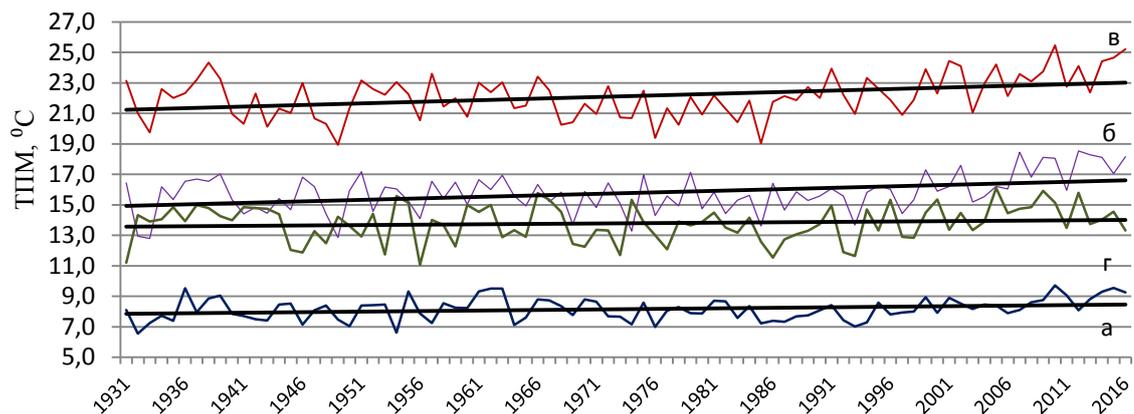


Рис. 5. Линейные тренды многолетнего хода ТПМ по сезонам. Январь–март (а), апрель–июнь (б), июль–сентябрь (в), октябрь–декабрь (г)

На рис. 5 показаны линейные тренды межгодовой изменчивости ТПМ для теплых и холодных периодов с 1931 по 2016 г. статистическая значимость коэффициентов полученных трендов оценивалась по критерию Стьюдента с доверительной вероятностью 0.9. Теплый период (с апреля по сентябрь) отличается наибольшим угловым коэффициентом с ростом температуры $0,02 \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$, тогда как в холодный период эта величина в 2 раза меньше ($0,01 \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$). В целом сравнительный анализ показывает, что за последние 20 лет повышение температу-

ры поверхностного слоя вод в районе ЮБК происходит более интенсивно.

Проведен статистический анализ распределения количества максимальных и минимальных среднесуточных значений ТПМ для каждого дня года из 85 лет. Так, например, для первого января максимальная среднесуточная температура моря – $12,0^\circ\text{C}$ наблюдалась в 1982 году, а минимальная – $6,7^\circ\text{C}$ в 1957 году. Последний пятилетний период отличается наибольшим количеством максимальных среднесуточных значений температуры поверхности моря (рис. 6).

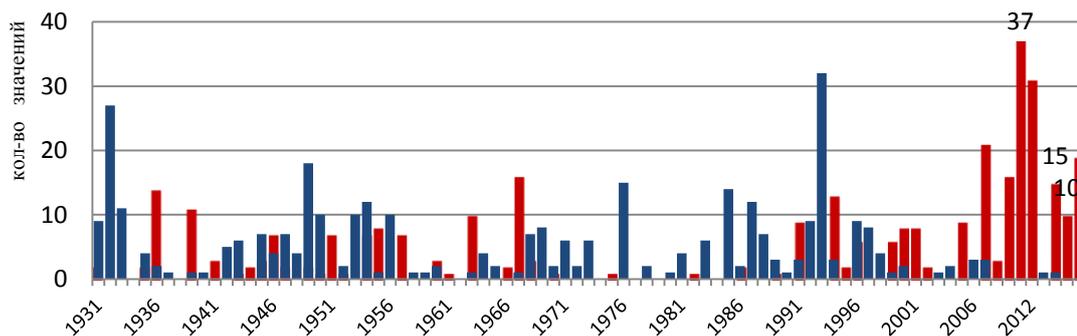


Рис. 6. Количество дней с максимальными (красный) и минимальными (синий) среднесуточными значениями температуры моря для каждого года

Сезонная изменчивость. Для климата ЮБК существенное значение имеет температура Черного моря, которое в силу своей замкнутости и небольших размеров обладает меньшей по сравне-

нию с океанами термической инерцией и, как следствие, сильнее зависит от изменений характеристик атмосферы. Весной и летом море сравнительно быстро нагревается, а в осенний период является

аккумулятором тепла, обеспечивая "бархатный сезон". В табл. 1 представлены среднемесячные значения ТПМ для периода 1931 – 2016 гг., максимальные и минимальные значения для каждого ме-

сяца из 85 лет. Наименьшая среднемесячная температура поверхностного слоя наблюдается в феврале, марте и составляет 7,6°C, наибольшая в августе (24,1°C).

Таблица 1. Среднемесячные, максимальные, минимальные значения ТПМ с 1931 по 2016 гг. в районе мыса Кикинеиз ЮБК

мес Т _w , °С	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ср	8,7	7,8	7,9	9,7	13,9	18,2	21,7	23,6	21	17,3	13,4	10,5
Макс.	9,5	8,0	8,4	11,4	16,1	19,7	23,5	24,1	23,4	19,3	15,1	11,4
Мин.	8,0	7,6	7,6	8,5	11,6	16,2	20,0	22,6	18,0	15,1	11,7	9,6

Максимальная среднесуточная температура за весь период наблюдений была зафиксирована 13 августа 2010 года и составила 29,5°C (рис. 7). В 2012 году наблюдались экстремальные среднесуточные значения для мая, которые превысили климатическую норму на 7,8°C (01.05) и 7,2°C (13.05). Среднемесячная ТПМ в мае составила 17,0°C и превысила климатическую норму на 3,2°C. Такому интенсивному прогреву поверхности моря способствовала повышенная температура воздуха над морем (превы-

шение многолетней нормы для мая на 3,1°C). Минимальная экстремальная температура моря у мыса Кикинеиз (4,4°C) наблюдалась в феврале 1976 года (рис. 7). Среднеквадратические отклонения среднесуточных значений температуры воды (СКО) колеблются от 0,8°C в феврале, марте до 4,4°C в июне-июле. Повышенные значения СКО в теплый период соответствуют минимальным среднесуточным значениям, что свидетельствует о влиянии явления апвеллинга (сгона).

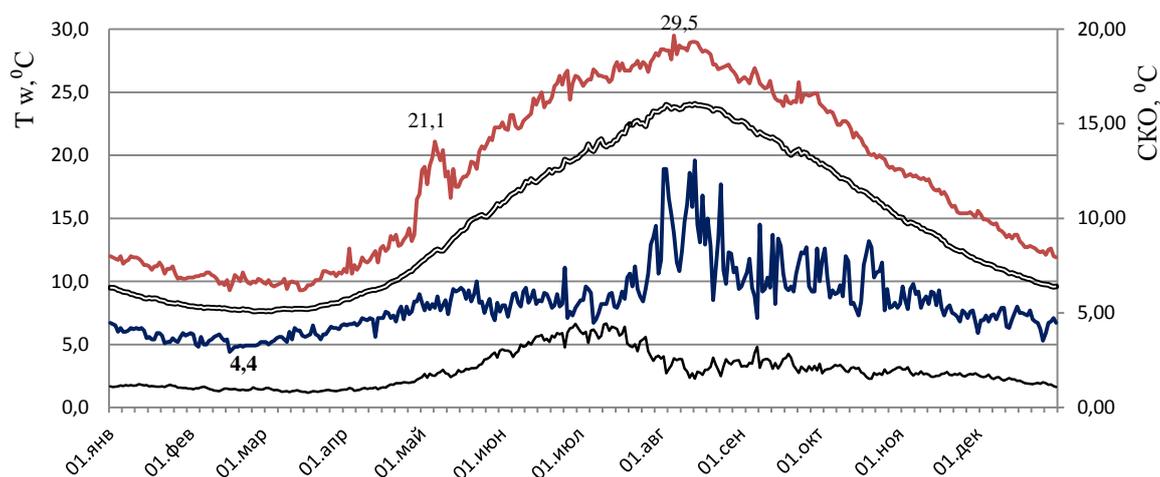


Рис. 7. Внутригодовой ход максимальных (красная линия), средних (двойная линия), минимальных (синяя линия) значений ТПМ у мыса Кикинеиз, СКО (тонкая линия) с 1931 по 2016 гг.

Заключение. В результате исследования показана высокая корреляция между многолетними рядами температуры морской воды и воздуха. Выявлено

общее повышение температуры поверхностного слоя вод в районе ЮБК для периода 1931 – 2016 гг., что подтверждает выводы многих исследователей [5, 6,

7, 8], в работах которых описаны глобальные положительные тренды изменчивости температуры Мирового океана и атмосферы.

Работа выполнена в рамках научной темы № 0835-2018-0001 государственного задания № 007-00111-18-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.К. Коротяев, А.С. Саркисян, В.В. Кныш, П.Н. Лишаев. Реанализ сезонной и межгодовой изменчивости полей черного моря за 1993–2012 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2016. Т. 52. № 4. С. 475–487.

2. 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 // Современ. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 6. 2009. Т. 1. С. 349–359.

3. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Черное и Азовское моря: сравнительный анализ изменчивости температуры поверхности (1982–2009 гг., спутниковая информация) // Современные проблемы дистанционного зон-

дирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. № 4. С. 209–218.

4. Полонский А.Б., Шокурова И.Г., Белокопытов В.Н. Десятилетняя изменчивость температуры и солености в Черном море // Морской гидрофизический журнал. 2013. № 6. С. 27–41.

5. Полонский А.Б., Ловенкова Е.А. Тренд температуры и солености деятельного слоя в Черном море во второй половине XX века и его возможные причины // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. № 6. С. 832–841.

6. Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 11–32.

7. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. Global surface temperature change // Reviews of Geophysics. 2010. V. 48. RG4004.

8. Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P., Stephens C. Warming of the World Ocean // Science. 2000. V. 287. No 5461. P. 2225–2229

9. Brückner E. Der Einfluss Klimaschwankungen auf die Ernteerträge u. Getreidepreise in Europa // Geograph. Zeitschrift. I, 1895 Leipzig.

STUDY OF THE INTERANNUAL AND SEASONAL VARIABILITY OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE COASTAL AREA OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA AT THE CAPE OF KIKINEIZ

V.V. Metik–Diyunova, S.A. Mayboroda

Black Sea Hydrophysical Proving Ground of RAS, Russian Federation, Crimea, Katsiveli, Shuleykin St., 9

Based on the analysis of archival data obtained at the Black Sea Hydrophysical Proving Ground in Katsiveli, an analysis of the interannual and seasonal variability of the sea temperature has been made. As a result of the study, a gradual increase in the temperature of the surface water layer was revealed, due to its warming in the Black Sea region because of the warming of the lower part of the troposphere (a positive trend has been determined).

Keywords: Black Sea, sea surface temperature, interannual variability, temperature trend, atmospheric forcing