СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И СИНОПТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОМ РАЙОНЕ ЮБК У МЫСА КИКИНЕИЗ

В.В. Метик-Диунова, Ю.В. Симонова, С.А. Майборода

Черноморский гидрофизический полигон РАН

margodiu1@rambler.ru julia.simonova.0502@gmail.com sergey.mayboroda.72@mail.ru

Аннотация. По данным многолетних гидрометеорологических наблюдений, полученных в Черноморском гидрофизическом полигоне (ЧГП РАН), расположенном на южном берегу Крыма в п. Кацивели проведен анализ сезонной изменчивости и синоптических аномалий температуры поверхности моря (АТВ). Приведены экстремальные значения температуры поверхности моря. Проанализирован климатический годовой цикл среднеквадратических отклонений (СКО) среднесуточных значений температуры воды от среднего многолетнего значения за период 1931–2016 гг. Исследованы среднемесячные и среднесуточные АТВ для периода 2012–2016 гг. Выявлено общее повышение температуры поверхностного слоя вод.

Ключевые слова: температура поверхности моря, Черное море, сезонная изменчивость, синоптические аномалии, апвеллинг, экстремальные значения.

Синоптическая изменчивость температуры воды с временными масштабами от инерционного периода до сезона – один из основных временных диапазонов вариаций состояния вод океанов и морей наряду с межгодовым (многолетним), сезонным, суточным и короткопериодным диапазонами [1]. Синоптическая изменчивость охватывает периоды от нескольких суток до месяца и на мелководном шельфе обусловлена в основном стонно-нагонными колебаниями. Внутригодовая (сезонная) изменчивость определяется годовым циклом притока солнечной радиации к поверхности суши и океана [2]. Для климата ЮБК существенное значение имеет температура Черного моря, которое в силу своей замкнутости и небольших размеров обладает меньшей по сравнению 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».

Целью настоящей работы является изучение внутригодовой изменчивости температуры поверхностного слоя Черного моря в прибрежной зоне и выделение синоптических АТВ относительно ее сезонного хода. В качестве АТВ в данной работе принимались отклонения среднесуточных значений поверхностной температуры моря от среднемноголетнего среднесуточного значения за период 85 лет (1931–2016 гг.).

Из анализа данных среднемесячного распределения температуры воды с 1931 по 2016 гг. (табл. 1) следует, что температура понижается с сентября по февраль включительно. Наименьшая среднемесячная температура поверхностного слоя наблюдается в феврале, марте и составляет 7,6°C, наибольшая в августе (24,1°C).

Внутригодовой ход многолетней поверхностной температуры моря и температуры воздуха над ним (рис. 1) показывает постепенное повышение значений с февраля по август. С августа по февраль температура воды, в отличие от температуры воздуха, понижается медленнее, что объясняется большей теплоемкостью воды.

Таблица 1.

Максимальные, средние и минимальные среднемесячные значения ТПМ
с 1931 по 2016 гг. в районе мыса Кикинеиз ЮБК

мес Tw, °C	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

Рис. 1. Внутригодовой ход многолетних среднесуточных значений, поверхностной температуры моря (жирная линия), температуры воздуха (пунктир), СКО (тонкая линия).

Анализ среднеквадратических отклонений среднесуточных значений температуры воды выявил 4 режима внутригодовой изменчивости: в декабре – марте СКО минимальны ($\pm 0,8$ – $1,2^\circ\text{C}$), в апреле – мае и ноябре возрастают вдвое, в июне – июле и сентябре достигают максимумов ($\pm 2,5$ – $4,4^\circ\text{C}$), которые разделены августовским минимумом ($\pm 1,5$ – $2,5^\circ\text{C}$). Повышенные значения СКО температуры воды в теплый период соответствуют минимальным среднесуточным значениям, что свидетельствует о влиянии явления **апвеллинга (сгона)**, который является одним из основных процессов, формирующих синоптическую изменчивость АТВ [3].

Проведен статистический анализ распределения количества экстремальных максимальных и минимальных среднесуточных значений ТПМ (рис. 2,3). Экстремальные значения выбирались для каждого дня года из 85 лет (1931–2016 гг.).

Максимальная среднесуточная температура за весь период наблюдений была зафиксирована 13 августа 2010 года и составила $29,5^\circ\text{C}$ (экстремальное значение в срок наблюдения – $30,4^\circ\text{C}$),

положительная среднесуточная аномалия при этом составила $5,6^\circ\text{C}$. Последний пятилетний период отличается наибольшим количеством максимальных значений – 2010 (37), 2012 (31), 2014 (15), 2015 (10), 2016 (18). Число минимальных среднесуточных значений температуры морской воды в последние годы уменьшается. Минимальная среднесуточная температура моря у мыса Кикинеиз наблюдалась в феврале 1976 года и составила $5,0^\circ\text{C}$ (экстремальное значение в срок наблюдения – $4,4^\circ\text{C}$), отрицательная среднесуточная аномалия при этом составила $-3,4^\circ\text{C}$. Годы с наибольшим количеством минимальных значений температуры морской воды: 1931, 1933, 1953, 1957, 1974, 1976, 1985, 1993. В теплый период года при апвеллинге наблюдаются экстремальные минимальные значения синоптических аномалий температуры воды, которые достигают наибольшей абсолютной величины. Наименьшее экстремальное среднесуточное значение температуры воды для летнего периода наблюдалось 6 июля 1985 ($6,7^\circ\text{C}$), величина отрицательной аномалии при этом составила $-13,6^\circ\text{C}$.

Рис. 2. Максимальные среднесуточные значения температуры моря (жирная линия) и соответствующие им года.

Рис. 3. Минимальные среднесуточные значения температуры моря (жирная линия) и соответствующие им года.

Проведен анализ среднемесячных и синоптических аномалий температуры поверхности моря для периода 2012–2016 гг. В табл. 1 представлены среднемесячные АТВ по отношению к среднемесячному многолетнему значению за период 1931–2016 гг.

Наибольшие положительные аномалии наблюдаются в теплый период года. Максимальное поло-

жительное значение ($3,8^{\circ}\text{C}$) отмечено в июле 2012 г. Отрицательные среднемесячные аномалии в последние пять лет отмечаются гораздо реже и наблюдаются в холодное время года (февраль, ноябрь, декабрь.) В сентябре 2013 г. максимальное отрицательное значение среднемесячной аномалии ($-3,0^{\circ}\text{C}$) связано с явлением длительного апвеллинга продолжительностью 13 суток.

Таблица 1
Среднемесячные АТВ

Год/мес	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2012	0.4	-0.6	0	1.5	3.1	3.8	1.2	1	3	2.1	1.2	
2013	0.1	1.0	1.0	0.8	2.9	2.3	1.4	-3.0	-1.2	1.2	0.1	
2014	0.6	0.9	2	2.1	2.6	2.9	2.6	1.4	0.1	0	0.9	
2015	1.0	1.3	1.8	0.3	0.5	2.2	2	3.4	2.2	0.1	0.3	
2016	0	1.2	1.7	1.5	0.3	3.7	3	2.6	0.2	-0.5	-0.9	

На рис. 4 представлено распределение количества сгонных явлений по месяцам для 2012–2016 гг. и показаны экстремальные минимальные среднесуточные значения температуры моря для каждого месяца теплого периода. Наличие отрицательного экстремума в каждом случае связано с явлением апвеллинга. Число сгонных явлений составило: 2012 г. – 5, 2013 г. – 3, 2014 г. – 2, 2015 г. – 4, 2016 г. – 6. Распределение по месяцам показывает наибольшую повторяемость сгонных явлений в мае и сентябре.

Внутригодовой год среднесуточных АТВ показывает, что положительные аномалии, за исключением мая 2012 года, являются значительно меньшими по абсолютной величине и в большинстве случаев наблюдаются в теплый период года (рис. 5).

В 2012 году наблюдались экстремальные среднесуточные значения для мая ($21,1^{\circ}\text{C}$, $20,5^{\circ}\text{C}$), которые превысили климатическую норму на $7,8^{\circ}\text{C}$ (01.05) и $7,2^{\circ}\text{C}$ (13.05). Такая концентрация максимумов обусловлена соответствующей синоптической ситуацией, когда на всей суше Северного полушария в мае превалировал аномально теплый воздух. У мыса Кикинеиз превышение многолетней нормы среднемесячной температуры воздуха для мая составило $+3,1^{\circ}\text{C}$.

Синоптические отрицательные АТВ обусловлены прибрежным апвеллингом. Значения этих аномалий могут превышать 10°C , как, например, при сгоне в сентябре 2013 года, когда максимальная по абсолютной величине отрицательная аномалия температуры моря составила $-11,2^{\circ}\text{C}$. Период с мая по июль

включительно, характеризуется наибольшим числом сгонов и наибольшей величиной отрицательных аномалий. Это связано, прежде всего, с неразвитостью сезонного термоклина в эти месяцы. С мая по ноябрь

колебания АТВ находятся в диапазоне от $-11,2^{\circ}\text{C}$ до $+8,7^{\circ}\text{C}$. В период с декабря по март абсолютная величина среднесуточных аномалий значительно меньше и не превышает $\pm 2,7^{\circ}\text{C}$.

Рис. 4. Количество сгонных явлений для 2012–2016 гг. и экстремальные минимальные среднесуточные значения температуры моря.

Рис. 5. Внутригодовой ход АТВ 2012–2016 гг.

Отрицательные среднесуточные аномалии ТПМ теплого периода не влияют на величину среднемесячных аномалий, которые являются положительными и имеют тенденцию роста, что согласуется с выводами других авторов [4; 5; 6]. Выявлено общее повышение температуры поверхностного слоя вод для периода 2012–2016 гг., что подтверждает резуль-

таты исследований [2; 3; 7; 8] в 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. Новиков А.А., Тужилкин В.С. Сезонные и региональные вариации синоптических аномалий температуры воды в северо-восточной части прибрежной зоны Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – № 1. – С. 42–52.
2. Тужилкин В.С. Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования: дисс. докт. геогр. наук. М., 2008. 313 с.
3. Дорофеев В.Л., Сухих Л.И. Анализ изменчивости гидрофизических полей Черного моря в период 1993–2012 годов на основе результатов выполненного реанализа // Морской гидрофизический журнал. – 2016. – № 1. – С. 33–48.
4. Тужилкин В.С., Новиков А.А. Климатические проявления апвеллинга в российской прибрежной зоне Черного моря // Вестник Московского университета. Серия 5, География. – МГУ, 2011, N 6. – С.43–53.

5. Артамонов Ю.В., Алексеев Д.В., Скрипалева Е.А., Шутов С.А., Дерюшкин Д.В., Завьялов Д.Д., Колмак Р.В., Шаповалов Р.О., Шаповалов Ю.И., Федирко А.В., Щербаченко С.В. Термохалинная структура вод у берегов Крыма и прилегающей открытой акватории Черного моря летом 2016 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2017. – вып.3. – С. 20–31.
6. Покровский О.М. Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных измерений // Исследования Земли из космоса. – 2010. – № 5. – С. 11–24.
7. Малинин В.Н. Изменения уровня Мирового океана и климата // Ученые записки РГГМУ, 2015. № 41. С. 100–115.
8. Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГГМУ, 2017. № 48. С. 11–32.

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

V.V. Metik-Diyunova, Yu.V. Simonova, S.A. Mayboroda

Black Sea Hydrophysical Proving Ground of Russian Academy of Sciences, Katsiveli,
margodiu1@rambler.ru

Abstract. According to the data of long-term hydrometeorological observations obtained at the Black Sea Hydrophysical Proving Ground of Russian Academy of Sciences, located on the southern coast of the Crimea in the village of Katsiveli, seasonal variability and synoptic water temperature anomalies (WTA) were analyzed. Extreme values of sea surface temperature (SST) are given. The climatic annual cycle of root-mean-square deviations (RMS) of average daily water temperature values from the average multi-year value for the period 1931–2016 has been analyzed. Average and daily average WTA for the period of 2012–2016 were investigated.

The analysis of the root-mean-square deviations of the average daily water temperature revealed 4 modes of intra-annual variability: in December–March, the RMS is minimal (± 0.8 – 1.2 °C), in April–May and November, doubling, in June–July and September, peaks (± 2.5 – 4.4 °C), which are separated by the August minimum (± 1.5 – 2.5 °C). The increased values of the RMS water temperature in the warm period correspond to the minimum daily mean values, indicating the influence of the upwelling phenomenon, which is one of the main processes forming the synoptic variability of WTA. In the warm period of the year, during upwelling, extreme minimum values of the synoptic anomalies of water temperature are observed, which reach the greatest absolute value. The lowest extreme mean daily water temperature for the summer period was observed on July 6, 1985 (6.7 °C), while the magnitude of the negative anomaly was -13.6 °C.

It is shown that the negative mean daily anomalies of the SST of the warm period do not affect the value of the mean monthly anomalies, which are positive and tend to grow. A general increase in the temperature of the surface water layer in the area of the Southern Coast of the Crimea for the period 2012–2016 was revealed.

Keywords: Black Sea, water temperature anomalies, extreme values, SST, seasonal variability, upwelling.

References:

1. Novikov A.A., Tuzhilkin V.S. Seasonal and regional variations of water temperature synoptic anomalies in the northeastern coastal zone of the Black Sea // *Physical Oceanography* – 2015. – No 1. – P. 39–48. DOI: 10.22449/1573-160X-2015-1-39-48 (In English)
2. Tuzhilkin V.S., Sezonnaya i mnogoletnyaya izmenchivost' termokhalinnoi struktury vod Chernogo i Kaspiiskogo morei i protsessy ee formirovaniya: dis. dokt. geogr. nauk [Seasonal and long-term variability of thermohaline waters structures of the Black and Caspian Seas and processes of its formation. Dr. geogr. sci. thesis], Moscow, 2008, 313 p.
3. Dorofeev V.L., Sukhikh L.I. Analysis of Variability of the Black Sea Hydrophysical Fields in 1993–2012 Based on the Reanalysis Results (pp. 33–47) // *Physical Oceanography* – 2016. – No 1. – P. 33–47. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-1-33-47 (In English).
4. Tuzhilkin V.S., Novikov A.A. Thermal effects of upwelling in the Russian part of the Black Sea coastal zone // *Series 5, Geography*. – MSU, 2011, No 6. – P. 43–53. (In Russian).
5. Artamonov Yu.V., Alekseev D.V., Skripaleva E.A., Shutov S.A., Deryushkin D.V., Zavyalov D.D., Kolmak R.V., Shapovalov R.O., Shapovalov Yu.I., Fedirko A.V., Shcherbachenko S.V. Thermohaline structure of water near the Crimea coast and adjacent open water area of the Black sea at summer 2016 // *Ecological safety of the coastal and shelf zones* – 2017. – No 3. – P. 20–31.
6. Pokrovsky O.M. Climate Change Impact Factors Estimation by Data of Direct and Remote Sensing Measurements // *Earth research from space*, 2010, No 5 – P. 11–24.
7. Malinin V.N. Global sea level and climate variation // *Proceedings of RSHU (Russian State Hydrometeorological University)*, 2015. No 41. P. 100–115.
8. Malinin V.N. Global ecological crisis and climate // *Proceedings of RSHU (Russian State Hydrometeorological University)*, 2017. No 48. P. 11–32.