

ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЁРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД С 1951 ПО 2017 ГГ

А.М. Новикова¹, А.Б.Полонский¹

¹Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

LONG-TERM VARIABILITY OF THE BLACK SEA WATER TEMPERATURE OVER THE PERIOD FROM 1951 TO 2017

A.M. Novikova¹, A.B. Polonsky¹

¹Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

Анализ междесятилетней изменчивости температуры Черного моря на горизонтах 0, 50, 75, 100, 200, 300, 500 и 1000 м за период 1951–2017 гг. показал значительное повышение температуры за последние 20 лет и её положительный тренд на всех горизонтах.

Analysis of the inter-annual variability of the Black Sea temperature at horizons 0, 50, 75, 100, 200, 300, 500 and 1000 m for the period 1951-2017 showed a significant temperature increase over the last 20 years and its positive trend on all horizons.

Долгопериодная изменчивость температуры вод Чёрного моря отдельных его частей рассматривалась в ряде работ на основе данных измерений [1,2,3]. Некоторые исследователи проводили моделирование долгопериодных трендов термохалинной структуры моря [4] для того, чтобы восполнить пробелы в существующих разрозненных базах данных. Часть исследований показывает наличие квазипериодической изменчивости в верхнем слое моря и положительного тренда в промежуточном слое. В других работах отмечается наличие положительного тренда и в верхних слоях Чёрного моря.

В данной работе была проанализирована наиболее полная база данных (БД) по температуре, собранная из различных источников [5], в том числе использовались данные спутниковой съемки температуры поверхности моря (ТПМ) [6]. Целью работы был анализ гидрологических полей, их пространственно-временной изменчивости. На основании полученной БД были построены карты среднегодовой температуры вод на различных глубинах: 0, 50, 75, 100, 200, 300, 500 и 1000 м. Для поверхности данные были разделены по сезонам: зимний (февраль-март) и летний (июль-август), так как в верхнем слое достаточно велика амплитуда сезонного хода, а также имеется достаточное количество данных для анализа. По среднегодовым величинам оценивалась междесятилетняя изменчивость температуры за период с 1951 по 2017 гг.

Проводился предварительный контроль качества данных: оценка выборок на погрешности с помощью анализа статистики и гистограммы распределения значений температуры через модуль «Statist» в QGIS [7]. После проверки соответствия выборочных гистограмм нормальному закону распределения из массивов были удалены экстремальные значения с использованием критерия $\pm 3\sigma$. Также удалены пустые значения, дающие ошибку в интерполяционных полях, и точки, расположенные за пределами береговой черты или изобат соответствующих глубин.

Долгопериодная изменчивость температуры в слое от поверхности моря до глубины 300 м изучается на протяжении нескольких последних десятилетий, однако накопление современных данных с профилирующих буёв Argo позволило уточнить тенденцию в изменчивости до конца 2017 года.

Расчёт характеристик междесятилетней изменчивости температуры проводился по средним за 10 лет величинам с пятилетним сдвигом (т.е. по группам 1951 – 1960, 1956 – 1965, 1961 – 1970 гг. и так далее) по среднегодовым значениям температуры на соответствующих глубинах. Поля среднегодовой температуры восстанавливались в узлы регулярной сетки из данных контактных измерений или спутниковой съемки с использованием метода кригинга в геоинформационной системе QGIS [8]. Так как с середины 1990-х гг. на протяжении 10 лет был спад в числе судовых измерений ТПМ, для уточнения значений среднегодовой температуры были взяты данные спутниковой съемки температуры поверхности моря для летнего и зимнего сезонов.

Как отмечалось ранее в работе [1], десятилетняя изменчивость температуры в поверхностных водах моря имеет квазипериодический характер. Было получено, что для зимы и лета колебания

различаются по амплитудно-фазовым характеристикам (рис. 1), тогда как для глубин 50-100 м и зимы имеют схожий характер. Размах междесятилетних колебаний поверхностной температуры в летний сезон составляет 2°C, в зимний – 1,5°C, на глубине 50 м – 1,27°C, 75 м – 0,9°C, 100 м – 0,64°C, 200 м – 0,16°C. Глубже 300 м этот показатель имеет совсем небольшие значения, <0,1°C, однако прослеживается рост температуры за исследуемый период.

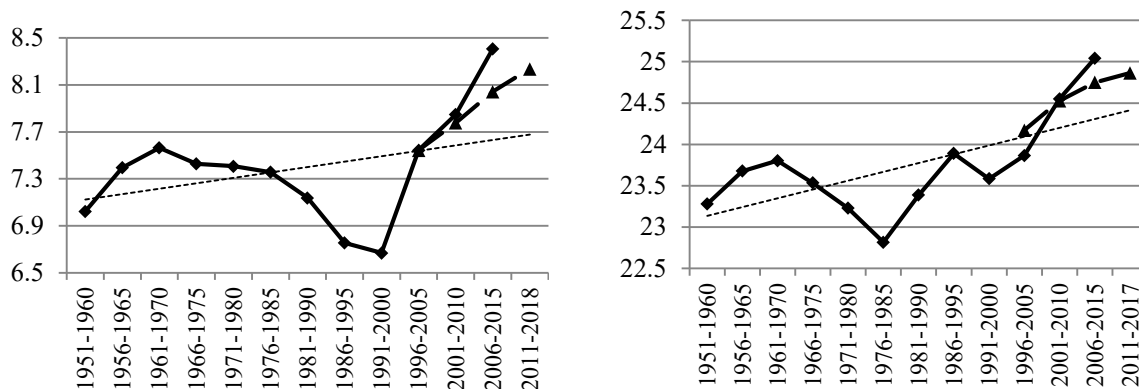


Рис. 1. Десятилетняя изменчивость средних значений ТПМ (°C) по данным контактных измерений (сплошная линия) и спутниковых измерений (длинная штриховка), а также тренд температуры (короткая штриховка) в феврале – марте (а) и июле – августе (б)

Минимальное значение температуры в летний сезон на поверхности приходится на период 1975-1985 гг., в зимний период на поверхности и на остальных горизонтах – на 1990-е – начало 2000-х. Этот спад температуры на 1°C наблюдался после максимума и зимнего, и летнего сезонов начала 1960-х гг. Подобный характер долговременной изменчивости температуры наблюдался и в восточной части Средиземного моря [9]. Максимальная разница между спутниковыми данными и данными контактных измерений составила 0,3-0,4°C в периоде 2006–2015 гг., тогда как в предыдущих десятилетиях расхождений практически не было заметно. На всех горизонтах видна общая тенденция – резкое повышение температуры за последние 20 лет, существенно превышающее её среднемаксимальные значения середины XX в. Рост ТПМ составил около 0,6°C в зимний период и 1°C в летний по сравнению с предыдущими максимумами.

Литература

1. 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.
2. Bengil F., Mavruk S. Warming in Turkish Seas: Comparative Multidecadal Assessment // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 19(1), 2018, p. 51–57, doi: 10.4194/1303-2712-v19_01_06
3. Shapiro, G. I., D. L. Aleynik, and L. D. Mee. Long term trends in the sea surface temperature of the Black Sea // Ocean Sci., 6, 2010, p. 491–501, doi:10.5194/os-6-491-2010
4. Miladinova S., Stips A., Garcia-Gorritz E., and Macias Moy D. Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations // J. Geophys. Res. Oceans, 122(7), 2017, p. 5624–5644, doi: 10.1002/2016JC012644
5. Новикова А.М. Использование СУБД и ГИС для развития и анализа региональной океанологической базы данных по Чёрному морю // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, 2018. Вып. 12(32). С. 52–56.
6. Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR - Rome). 2016. Black Sea High Resolution SST L4 Analysis 0.0625 deg Resolution. Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2018-09-20] at <http://dx.doi.org/10.5067/GH0HN-4GB20>.
7. <http://gis-lab.info/qa/statist.html> (Дата обращения: 22.09.2018)
8. Новикова А.М., Котолупова А.А. Об опыте использования метода кригинга в программах Surfer и QGIS для морских климатических исследований // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, 2016. Вып. 6(26). С. 59–67.

9. Rixen M., Beckers J.-M., Levitus S. et al. The Western Mediterranean deep water: a proxy for climate change // *Geophys. Res. Lett.* – 2005. – 32, L12608. doi:10.1029/2005GL022702

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №18-45-920014 p_a).

This work was carried out with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 18-45-920014 p_a).