

Аномальное охлаждение поверхностного слоя в западной части Чёрного моря под воздействием интенсивного атмосферного циклона в начале октября 2024 г.

С. В. Станичный, Р. Р. Станичная, Е. П. Давыдова

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mail: sstanichny@mail.ru*

Описано влияние интенсивного атмосферного вихря (30 сентября–1 октября 2024 г.) над Чёрным морем на изменение характеристик поверхностного слоя. Для комплексного изучения использованы спутниковые данные сканеров AVHRR (*англ.* Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), TIRS (*англ.* Thermal Infrared Sensor), OLCI (*англ.* Ocean and Land Colour Instrument), SLSTR (*англ.* Sea and Land Surface Temperature Radiometer), а также данные о скорости ветра модели SKIRON и скаттерометра ASCAT (*англ.* Advanced SCATterometer). На спутниковых изображениях зафиксировано уменьшение температуры поверхности на 9–10 °С после прохождения циклона. Данные дрейфера ARGO за 28 сентября и 8 октября показали заглубление верхней границы термоклина на 5 м, а также изменение профиля температуры до глубины 100 м. Существенным образом изменились и профили солёности вплоть до глубины 150 м. Возможной причиной таких изменений может быть мезомасштабная динамика. На периферии области холодных вод сформировались циклонические вихревые цепочки с характерными размерами до 10 км. В области холодных вод наблюдалось повышение концентрации хлорофилла *a* по спутниковым данным сканера OLCI Sentinel-3b с 0,6 до 2,3 мг/м³.

Ключевые слова: аномальное изменение температуры, многоспектральные спутниковые данные, Чёрное море, атмосферный циклон

Одобрена к печати: 22.11.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-383-388

Введение

Влияние ветра на изменение температуры поверхностного слоя моря может определяться несколькими факторами. В первую очередь это перемешивание в поверхностном слое — перераспределение поглощённого солнечного излучения в дневное время, при слабых ветрах — прогрев верхнего слоя и в случае наличия термоклина — вовлечение за счёт турбулентности более холодных вод. Второй фактор — генерация ветром вертикальных движений и подъём более холодных вод к поверхности. Типичным таким проявлением является прибрежный апвеллинг (Гинзбург и др., 1997; Станичная, Станичный, 2021). Взаимное влияние перемешивания и подъёма термоклина может приводить к изменению температуры поверхностного слоя даже при неполных апвеллингах (Зацепин и др., 2016). И если в прибрежных апвеллингах изменение температуры на 8–10 °С наблюдается достаточно часто, то для глубоководной части моря это редкие явления.

Случаи сильного локального изменения температуры в глубоководной части Чёрного моря под воздействием ветра описаны в работе (Ефимов и др., 2008) для квазитропического циклона в западной части моря, а также для штормов в летнее время 2001 и 2015 гг. (Kubryakov et al., 2019, Симонова и др., 2024). Подобного рода события могут приводить к существенным изменениям в экосистеме моря. В настоящей работе анализируется изменение характеристик поверхностного слоя моря в начале октября 2024 г. при прохождении компактного интенсивного циклона с центром в западной части Чёрного моря.

Используемые данные

Для изучения использованы данные о температуре поверхностного слоя со сканеров AVHRR (англ. Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS (англ. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), VIIRS (англ. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) из архива отдела дистанционных методов исследования Морского гидрофизического института РАН (МГИ) (<https://dvs.net.ru/>), полученные в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0012, а также данные сканеров TIRS (англ. Thermal Infrared Sensor) Landsat и SLSTR (англ. Sea and Land Surface Temperature Radiometer) Sentinel-3. Дополнительно привлекались данные о концентрации хлорофилла *a* со сканеров MODIS, VIIRS и OLCI (англ. Ocean and Land Colour Instrument). Поля ветра анализировались на основе данных SKIRON, ASCAT (англ. Advanced SCATterometer). Вертикальные профили температуры получены с дрейфтера ARGO 6990663, находившегося в зоне исследования с визуализацией на сайте <https://argovis.colorado.edu/>.

Результаты

Ветровая ситуация характеризовалась влиянием компактного атмосферного циклона, образовавшегося в северо-западной части Чёрного моря 30 сентября. Центр циклона по данным SKIRON передвигался на юго-восток и проявлялся до середины 2 октября. На юго-западной периферии образования наблюдались достаточно сильные ветры северо-западного направления, скорость которых превышала 15 м/с в течение полутора суток, а порывы достигали 25 м/с. На *рис. 1* представлены карта скорости ветра за 1 октября 2024 г. 00:00 и 12:00 по данным SKIRON (англ. Icosahedral Nonhydrostatic) (<https://www.ventusky.com/>) и поле ветра по данным скаттерометра ASCAT за 1 октября 2024 г. 07:32 GMT (англ. Greenwich Mean Time).

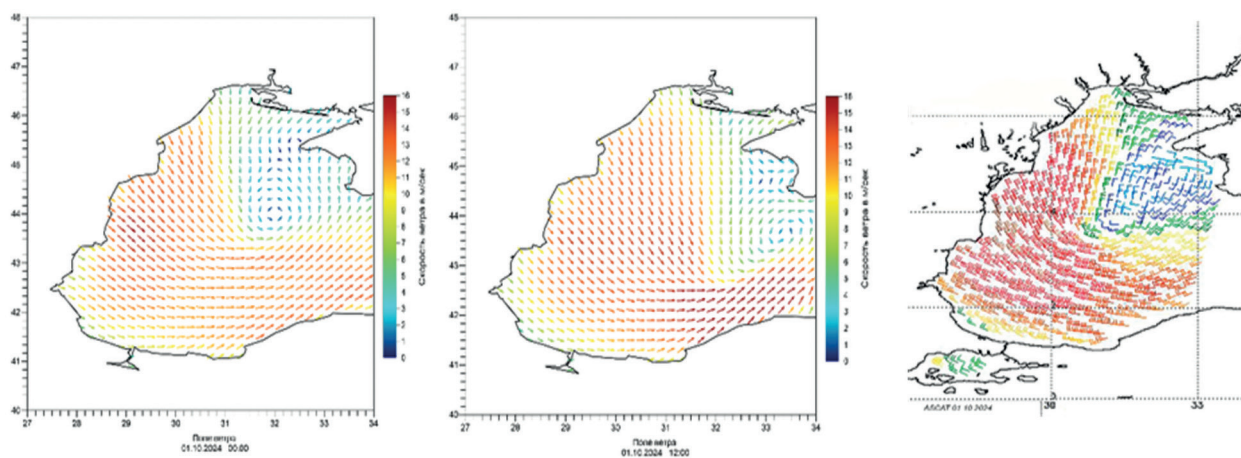


Рис. 1. Карты скорости ветра за 1 октября 2024 г. 00:00 и 12:00 по данным SKIRON и поле ветра по данным скаттерометра ASCAT за 7:32 GMT 1 октября 2024 г.

Как видно, зона сильных ветров занимала всю юго-западную часть моря, а пространственная структура спутниковых измерений аналогична модельным данным. В результате воздействия циклона в западной части моря образовалась обширная область холодных вод (*рис. 2*, см. с. 385) с минимальной температурой до 14 °С.

Температура в этом районе до ветрового воздействия составляла 23–24 °С. Таким образом, уменьшение температуры поверхностного слоя достигало 9–10 °С.

Отметим, что в отличие от квазитропического циклона в конце сентября 2005 г., который почти трое суток был стационарным (Ефимов и др., 2008), рассматриваемый циклон достаточно быстро смещался на юго-восток. В связи с этим падение температуры было несколько меньше по сравнению с 2005 г., когда её перепад составил 13–14 °С.

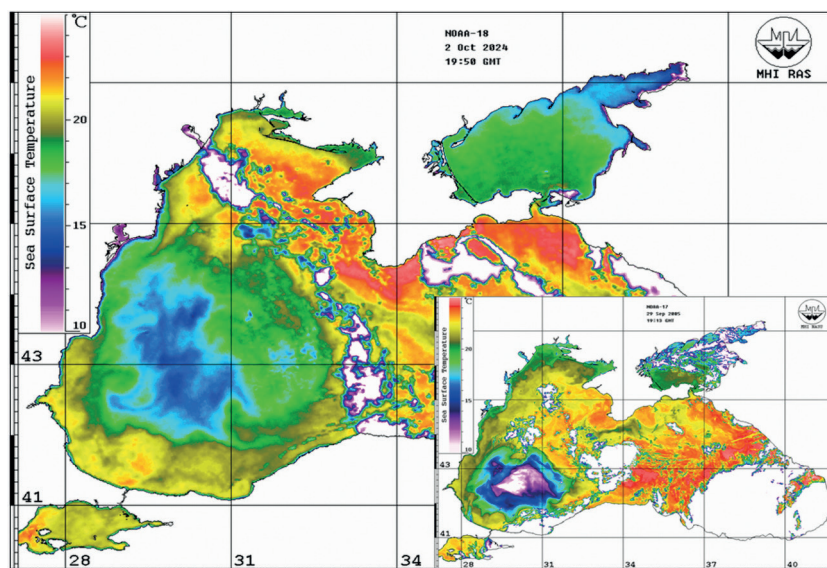


Рис. 2. Карта температуры поверхности по данным AVHRR за 2 октября 2024 г. 19:50 GMT. Вставка — карта температуры после воздействия квазитропического циклона в 2005 г.

В зоне интенсивного выхолаживания находился дрейфер ARGO 6990663, профили температуры и солёности до и после прохождения циклона показаны на рис. 3.

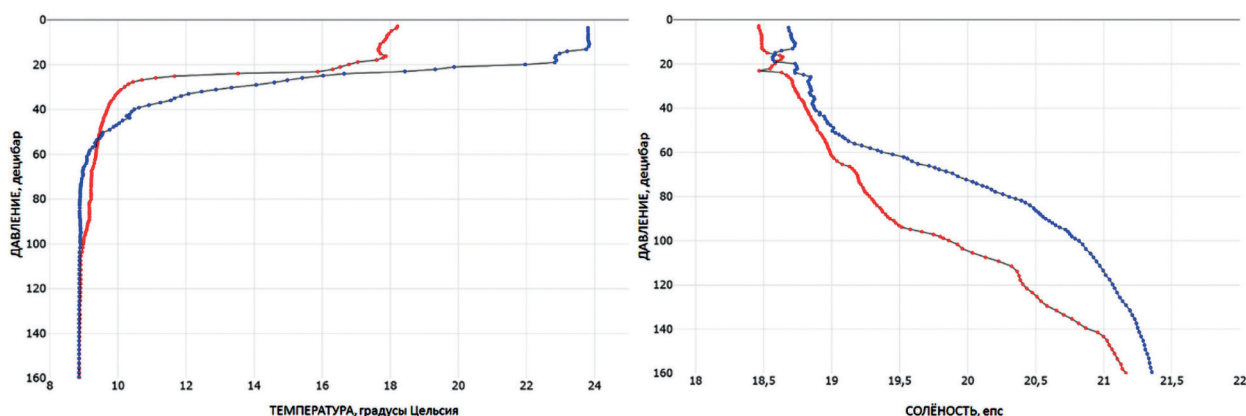


Рис. 3. Профили температуры и солёности за 28 сентября (синий цвет) и 8 октября (красный цвет) 2024 г.

По сравнению с 28 сентября температура поверхностного слоя 8 октября 2024 г. по дрейферным данным упала на 5,6 °С, верхняя граница термоклина несколько заглубилась, а градиент в термоклине увеличился, что может быть следствием ветрового перемешивания. Интересно, что солёность незначительно изменилась в поверхностном слое и существенно уменьшилась на 1,5 psu (*англ.* practical salinity unit) на уровнях от 50 до 150 дбар (1 psi = 0,0689475729317831 бар). Отметим и некоторое увеличение температуры на уровнях 50–100 дбар. Такие изменения профилей сложно объяснить только перемешиванием и подъёмом вод. Их причиной, скорее всего, является интенсивная мезомасштабная динамика в зоне выхолаживания и взаимодействие с окружающими водами (Основным черноморским течением). Карты температуры за 8 октября 2024 г. по данным сенсоров TIRS и SLSTR представлены на рис. 4 (см. с. 386). Красной точкой на изображении TIRS показано положение дрейфера ARGO. Как видно, вся область заполнена вихревыми структурами с характерными размерами от 10 до 30–40 км.

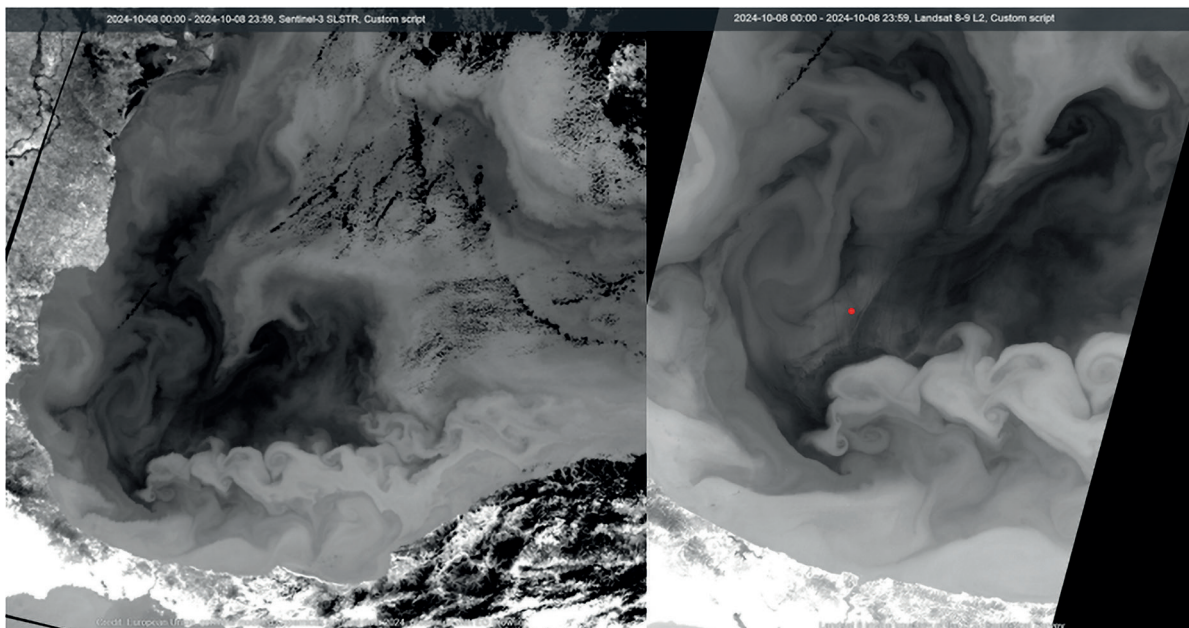


Рис. 4. Карты радиационной температуры в относительной шкале за 8 октября 2024 г. по данным сенсоров SLSTR (слева) и TIRS (справа). Красной точкой показано положение буя ARGO в этот день

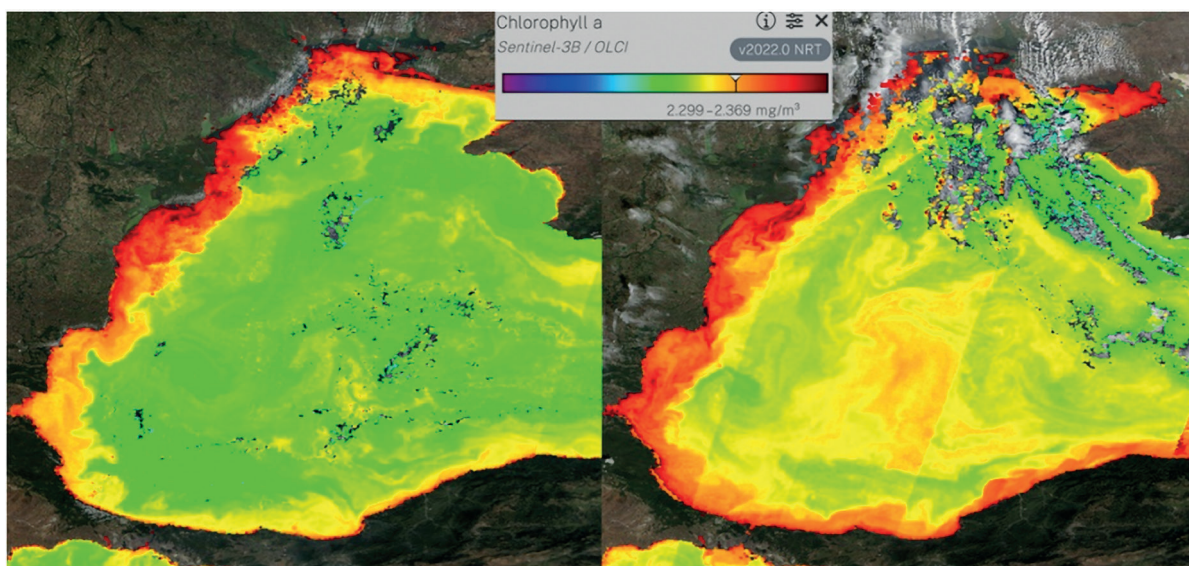


Рис. 5. Концентрация хлорофилла *a* по данным OLCI за 27 сентября (слева) и 4 октября (справа) 2024 г.

На основе анализа карт хлорофилла *a* по данным OLCI (рис. 5) в области выхолаживания наблюдалось увеличение расчётной концентрации с 0,6 до 2,3 мг/м³, что говорит о значительном влиянии ветрового воздействия на параметры экосистемы поверхностного слоя. Изменения в экосистеме после события 2005 г. проявлялись в течение нескольких месяцев (Stanichny et al., 2021).

Заключение

Комплексное использование спутниковых данных различных сенсоров с натурными наблюдениями позволило описать аномальное выхолаживание морской поверхности в результате воздействия интенсивного атмосферного циклона. Зарегистрированный пере-

пад температуры в 10 °С был вторым по амплитуде за последние 25 лет после события 2005 г. Внутри области холодных вод наблюдается система вихревых структур, которые определяют обмен с окружающими водами вплоть до уровней 150 дбар. Отмечено увеличение концентрации хлорофилла *a* в зоне холодных вод.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00421 «Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода».

Литература

1. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Соловьев Д. М., Станичный С. В. Прибрежный апвеллинг в северо-западной части Черного моря // Исслед. Земли из космоса. 1997. № 6. С. 66–72.
2. Ефимов В. В., Станичный С. В., Шокуров М. В., Яровая Д. А. Наблюдение квазитропического циклона над Черным морем // Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 53–62.
3. Зацепин А. Г., Сильвестрова К. П., Куклев С. Б. и др. Наблюдение цикла интенсивного прибрежного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 203–214. DOI: 10.7868/S0030157416020222.
4. Симонова Ю. В., Станичный С. В., Лемешко Е. М. Особенности проявления аномалий температуры поверхности Чёрного моря в районе Южного берега Крыма // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 234–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-234-243.
5. Станичная Р. Р., Станичный С. В. Апвеллинги Чёрного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 195–207. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207.
6. Kubryakov A. A., Zatsepina A. G., Stanichny S. V. Anomalous summer-autumn phytoplankton bloom in the Black Sea driven by several strong wind events // J. Marine Systems. 2019. V. 194. P. 11–24. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2019.02.004.
7. Stanichny S. V., Kubryakova E. A., Kubryakov A. A. Quasi-tropical cyclone caused anomalous autumn coccolithophore bloom in the Black Sea // Biogeosciences. 2021. V. 18. Iss. 10. P. 3173–3188. DOI: 10.5194/bg-18-3173-2021.

Anomalous cooling of surface layer in the western Black Sea under the impact of an intense atmospheric cyclone at the beginning of October 2024

S. V. Stanichny, R. R. Stanichnaya, E. P. Davydova

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mail: sstanichny@mail.ru

The influence of an intense atmospheric cyclone (September 30–October 1, 2024) over the Black Sea on changes in the characteristics of surface layer is described. Satellite data from the AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), TIRS (Thermal Infrared Sensor), OLCI (Ocean and Land Colour Instrument), SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) scanners, as well as wind speed data from the SKIRON model and the ASCAT (Advanced SCATterometer) scatterometer were used for a comprehensive study. The satellite data recorded a decrease in surface temperature by 9–10 °C after the cyclone passage. ARGO float data for September 28 and October 8 showed a deepening of the thermocline upper boundary by 5 m, as well as a change in the temperature profile to depths of 100 m. Salinity profiles also changed significantly down to depths of 150 m. Mesoscale dynamics may be a possible reason of such changes. A cyclonic eddies chain with characteristic sizes of up to 10 km was formed on the periphery of the cold water area. In the cold water region, an increase in chlorophyll *a* was observed according to satellite data from the Sentinel-3B OLCI scanner from 0.6 to 2.3 mg/m³.

Keywords: abnormal temperature change, multispectral satellite data, Black Sea, atmospheric cyclone

Accepted: 22.11.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-383-388

References

1. Ginzburg A. I., Kostyanoy A. G., Solov'yev D. M., Stanichnyy S. V., Coastal upwelling in the northwestern part of the Black Sea, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 1997, No. 6, pp. 66–72 (in Russian).
2. Efimov V. V., Stanichnyi S. V., Shokurov M. V., Yarovaya D. A., Observation of a quasi-tropical cyclone over the Black Sea, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2008, Vol. 33, No. 4, pp. 233–239, DOI: 10.3103/S1068373908040067.
3. Zatsepin A. G., Sil'vestrova K. P., Kuklev S. B. et al., Observations of a cycle of intense coastal upwelling and downwelling at the research site of the Shirshov Institute of Oceanology in the Black Sea, *Oceanology*, 2016, Vol. 56, No. 2, pp. 188–199, DOI: 10.1134/S0001437016020211.
4. Simonova Yu. V., Stanichny S. V., Lemeshko E. M., The features of anomalies in surface temperature of the Black Sea in the area of the Southern Coast of Crimea, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, Vol. 21, No. 3, pp. 234–243 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-234-243.
5. Stanichnaya R. R., Stanichny S. V., Black Sea upwellings, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 195–207 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207.
6. Kubryakov A. A., Zatsepin A. G., Stanichny S. V., Anomalous summer-autumn phytoplankton bloom in the Black Sea driven by several strong wind events, *J. Marine Systems*, 2019, Vol. 194, pp. 11–24, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2019.02.004.
7. Stanichny S. V., Kubryakova E. A., Kubryakov A. A., Quasi-tropical cyclone caused anomalous autumn coccolithophore bloom in the Black Sea, *Biogeosciences*, 2021, Vol. 18, Iss. 10, pp. 3173–3188, DOI: 10.5194/bg-18-3173-2021.