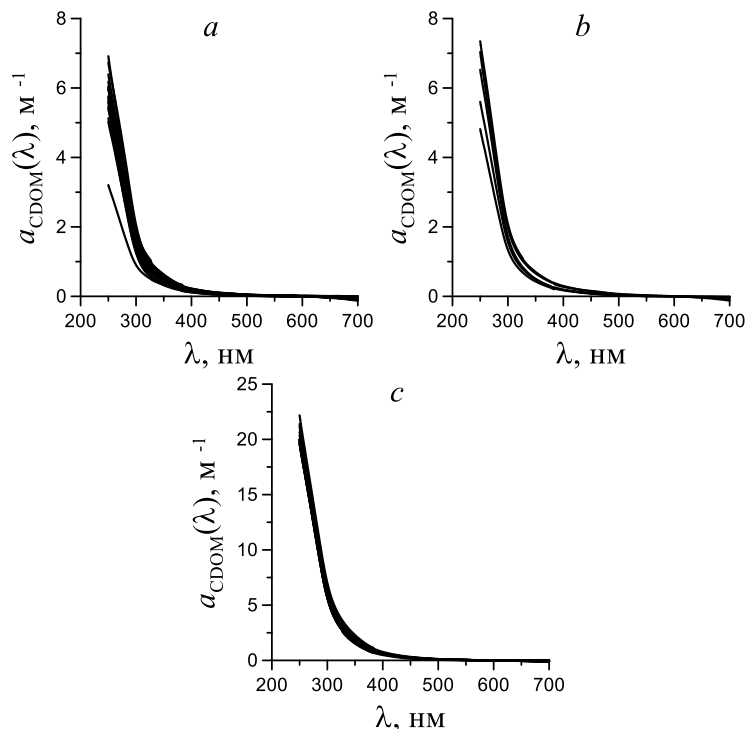


Показатель поглощения света *CDOM* на длине 438 нм ($a_{\text{CDOM}}(438)$) в поверхностном слое глубоководного района Черного моря в весенний период составлял $0,098 \pm 0,026 \text{ м}^{-1}$ (рис. 4), а в поверхностном слое прибрежной части – $0,13 \pm 0,05 \text{ м}^{-1}$. Вклад $a_{\text{CDOM}}(438)$ в общее поглощение света взвешенным и растворенным веществом составлял $69 \pm 8 \%$.



Р и с. 4. Спектры показателей поглощения света окрашенным растворенным органическим веществом ($a_{\text{CDOM}}(\lambda)$) в поверхностном слое глубоководного района Черного моря (a), в поверхностном слое прибрежной части Черного моря (b) и в водах Азовского моря (c) во второй половине апреля – первой половине мая 2019 г.

Fig. 4. Spectra of the light absorption coefficients by colored dissolved organic matter ($a_{\text{CDOM}}(\lambda)$) in the surface layer of the Black Sea deep part (a), in the surface layer of the Black Sea coastal part (b) and in the Azov Sea waters (c) in the second half of April – the first half of May, 2019

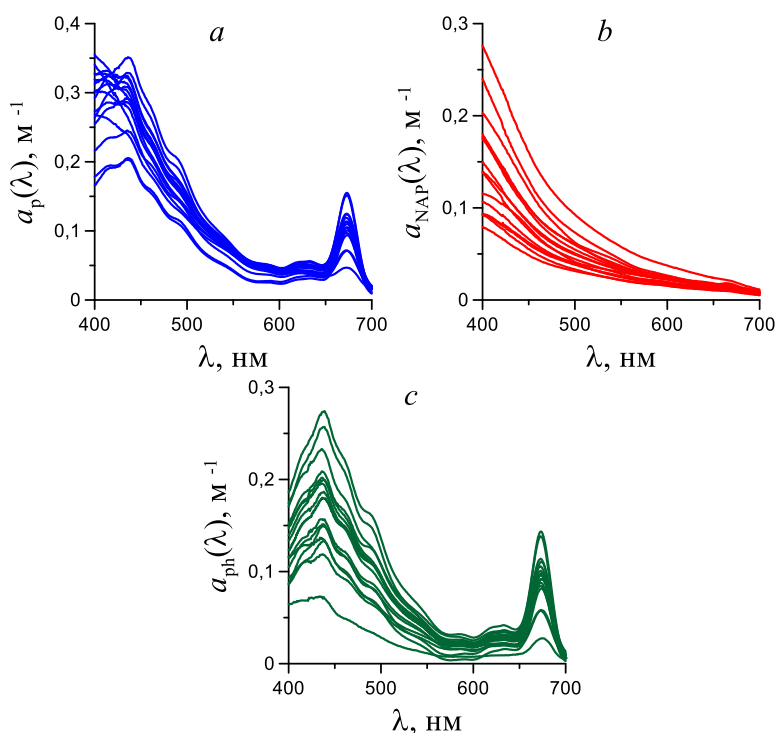
Среднее значение показателя экспоненты S_{CDOM} в поверхностном слое Черного моря в исследуемый период для диапазона 350–500 нм равнялось $0,017 \pm 0,002 \text{ нм}^{-1}$. Это не противоречит литературным данным, в которых для разных районов Мирового океана приводятся значения S_{CDOM} в диапазоне от 0,014 до 0,025 нм^{-1} [19].

Известно, что на спектры показателей поглощения света *CDOM* влияет соотношение в среде поглощающих свет высоко- и низкомолекулярных фракций растворенных органических соединений [20]. Состав *CDOM* по соотношению в нем высоко- и низкомолекулярных органических соединений характеризует величина S_r – отношение показателей экспоненты для диапазонов длин волн 275–295 и 350–400 нм [21]. Показано, что значение S_r

в поверхностном слое глубоководной и прибрежной частей Черного моря в весенний период было одинаковым и составляло в среднем $1,7 \pm 0,2$.

В Азовском море в весенний период года была отмечена низкая прозрачность вод. Глубина Z_s соответствовала $\sim 2,5$ м. Соответственно, глубина эвфотического слоя равнялась ~ 9 м при глубине станций отбора проб от 10 до 12 м. То есть почти вся водная толща до дна была освещена. При этом наблюдалось почти однородное вертикальное распределение концентрации хлорофилла *a*. Значение *Chl-a* в поверхностном слое моря изменялось между станциями от 4,9 до 8,8 мг/м³.

Соотношение между показателями поглощения света пигментами фитопланктона в синем и красном максимумах спектров $a_{ph}(\lambda)$ в поверхностном слое и в толще Азовского моря было меньше (рис. 5), чем в водах Черного моря, и составляло в среднем $2,00 \pm 0,26$.



Р и с. 5. Спектры показателей поглощения света всем взвешенным веществом ($a_p(\lambda)$) (a), неживой компонентой ($a_{NAP}(\lambda)$) (b) и пигментами фитопланктона ($a_{ph}(\lambda)$) (c) на поверхности и в толще Азовского моря во второй половине апреля – первой половине мая 2019 г.

F i g. 5. Spectra of the light absorption coefficients by particles ($a_p(\lambda)$) (a), non-algal particles ($a_{NAP}(\lambda)$) (b) and phytoplankton pigments ($a_{ph}(\lambda)$) (c) on the surface and in the water column of the Sea of Azov in the second half of April – the first half of May, 2019

Воды Азовского моря отличались от вод Черного моря большими на порядок значениями $a_{NAP}(438)$ ($0,11 \pm 0,04$ м⁻¹). Относительный вклад $a_{NAP}(438)$ в $a_p(438)$ при этом равнялся в среднем 40 ± 14 %, как и в поверхностном слое глубоководной части Черного моря. Коэффициент S_{NAP} был таким же, как и в Черном море.

Значение показателя $a_{CDOM}(438)$ в Азовском море было почти в три раза больше, чем в Черном море, и составляло в среднем $0,310 \pm 0,058 \text{ м}^{-1}$ (рис. 4). Соответствующий вклад $a_{CDOM}(438)$ в общее поглощение света всем взвешенным и растворенным веществом был несколько меньше, чем в Черном море, и равнялся $52 \pm 6 \%$. При этом в водах Азовского моря были получены несколько большие значения S_{CDOM} для диапазона 350–500 нм ($0,019 \pm 0,001 \text{ нм}^{-1}$), чем в водах Черного моря. И в Черном, и в Азовском море значения S_{CDOM} находятся в диапазоне, соответствующем литературным данным [19]. Показатель S_r в более эвтрофированных водах Азовского моря, наоборот, был меньше и составил $1,4 \pm 0,1$.

Заключение

Получены новые данные о пространственном распределении концентрации хлорофилла *a* и спектральных показателей поглощения света оптически активными компонентами среды в период весенней перестройки гидрологической структуры вод Черного и Азовского морей. Выявленные закономерности позволят повысить точность имеющихся региональных моделей для Черного моря и разработать соответствующие модели для Азовского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслин В. В., Чурилова Т. Я., Сосик Х. М. Региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла *a* в Черном море по спутниковым данным SeaWiFS // Морской экологический журнал. 2008. Т. 7, № 2. С. 24–42.
2. Finenko Z. Z., Churilova T. Ya., Lee R. I. Dynamics of the vertical distributions of chlorophyll and phytoplankton biomass in the Black Sea // Oceanology. 2005. Vol. 45, suppl. 1. P. S112–S126.
3. Churilova T. Ya., Suslin V. V., Sosik H. M. A spectral model of underwater irradiance in the Black Sea // Physical Oceanography. 2009. Vol. 19, iss. 6. P. 366–378. doi:10.1007/s11110-010-9060-8
4. Ведерников В. И. Первичная продукция и хлорофилл в Черном море в летне-осенний период // Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря. М. : Наука, 1989. С. 65–83. URL: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-1989blacksea.pdf> (дата обращения: 20.08.2020).
5. Sosik H. M. Storage of marine particulate samples for light-absorption measurements // Limnology and Oceanography. 1999. Vol. 44, iss. 4. P. 1139–1141. doi:10.4319/lo.1999.44.4.1139
6. Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and phytoplankton // Biochemie und Physiologie der Pflanzen. 1975. Vol. 167, iss. 2. P. 191–194. [https://doi.org/10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3)
7. Neeley A. R. Inherent optical property measurements and protocols: absorption coefficient. Dartmouth, NS, Canada : International Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG), 2018. 78 p. (IOCCG Ocean Optics and Biogeochemistry Protocols for Satellite Ocean Colour Sensor Validation ; Volume 1.0). <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-119>
8. Yentsch C. S. Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean // Limnology and Oceanography. 1962. Vol. 7, iss. 2. P. 207–217. doi: 10.4319/lo.1962.7.2.0207
9. Mitchell B. G., Kiefer D. A. Chlorophyll *a* specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton // Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1988. Vol. 35, iss. 5. P. 639–663. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(88\)90024-6](https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90024-6)
10. Tassan S., Ferrari G. M. An alternative approach to absorption measurements of aquatic particles retained on filters // Limnology and Oceanography. 1995. Vol. 40, iss. 8. P. 1358–1368. <https://doi.org/10.4319/lo.1995.40.8.1358>

11. *Mitchell B. G.* Algorithms for determining the absorption coefficient for aquatic particulates using the quantitative filter technique // *SPIE Proceedings*. Bellingham, Washington : SPIE, 1990. Vol. 1302 : Ocean Optics X. P. 137–148. <https://doi.org/10.1117/12.21440>
12. *Hoepffner N., Sathyendranath S.* Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic // *Limnology and Oceanography*. 1992. Vol. 37, iss. 8. P. 1660–1679. doi:10.4319/lo.1992.37.8.1660
13. *McManus G. B., Dawson R.* Phytoplankton pigments in the deep chlorophyll maximum of the Caribbean Sea and the western tropical Atlantic Ocean // *Marine Ecology Progress Series*. 1994. Vol. 113. P. 199–206. doi:10.3354/meps113199
14. *Morel A., Lazzara L., Gostan J.* Growth rate and quantum yield time response for a diatom to changing irradiances (energy and color) // *Limnology and Oceanography*. 1987. Vol. 32, iss. 5. P. 1066–1084. doi:10.4319/lo.1987.32.5.1066
15. *Morel A., Bricaud A.* Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton // *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 1981. Vol. 28, iss. 11. P. 1375–1393. doi:10.1016/0198-0149(81)90039-X
16. Spectral features of particulate light absorption in the Black Sea in winter / T. Efimova [et al.] // *SPIE Proceedings*. Bellingham, Washington : SPIE, 2019. Vol. 11208 : 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 112084V. doi:10.1117/12.2540799
17. Parameterization of light absorption by phytoplankton, nonalgal particles and coloured dissolved organic matter in the Black Sea / T. Churilova [et al.] // *Current Problems in Optics of Natural Waters (ONW'2007): Proceedings of 4th International Conference*. Nizhny Novgorod, 2007. P. 70–74.
18. *Wozniak B., Dera J.* Light Absorption in Sea Water. New York : Springer, 2007. 460 p. doi:10.1007/978-0-387-49560-6
19. *Green S. A., Blough N. V.* Optical absorption and fluorescence properties of chromophoric dissolved organic matter in natural waters // *Limnology and Oceanography*. 1994. Vol. 39, iss. 8. P. 1903–1916. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.8.1903>
20. *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter* / Eds. D. Hansell, C. Carlson. Amsterdam : Academic Press, 2014. 712 p.
21. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter / J. R. Helms [et al.] // *Limnology and Oceanography*. 2008. Vol. 53, iss. 3. P. 955–969. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.0955>

Об авторах:

Ефимова Татьяна Владимировна, младший научный сотрудник, научно-исследовательский центр Геоматики, ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **SPIN-код: 1668-0742, ORCID ID: 0000-0003-3908-4160**, tefimova@ibss-ras.ru

Чурилова Татьяна Яковлевна, кандидат биологических наук, руководитель научно-исследовательского центра Геоматики, ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **SPIN-код: 2238-9533, ORCID ID: 0000-0002-0045-7284**, tanya.churilova@ibss-ras.ru

Скорород Елена Юрьевна, младший научный сотрудник, научно-исследовательский центр Геоматики, ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **SPIN-код: 3314-5775, ORCID ID: 0000-0002-3057-3964**, elenaskorokhod@ibss-ras.ru

Моисеева Наталия Александровна, младший научный сотрудник, научно-исследовательский центр Геоматики, ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **SPIN-код: 8946-3315, ORCID ID: 0000-0003-1356-7981**, nataliya-moiseeva@yandex.ru

Землянская Екатерина Александровна, ведущий инженер, научно-исследовательский центр Геоматики, ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **SPIN-код: 5277-9962, ORCID ID: 0000-0003-1360-6581**, ekaterinakoval@hotmail.com