

А.С.Кукушкин, Ю.А.Прохоренко, С.А.Хорошун

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОД В ШЕЛЬФОВЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В XX СТОЛЕТИИ

По данным многолетних наблюдений глубины видимости белого диска (1923 – 2000 гг.) рассмотрены основные особенности распределения прозрачности в глубоководной и северо-западной шельфовой частях Черного моря. Изучена ее межгодовая изменчивость, обусловленная изменениями гидрометеорологических условий, величины биомассы фитопланктона, а в северо-западной части моря также изменениями объема стока Дуная.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, прозрачность, распределение, биомасса фитопланктона, гидрометеорологические условия, сток Дуная.*

Изучение изменчивости прозрачности черноморских вод по измерению глубины видимости белого диска (Z_6), начатое в 1922 г. профессором Книповичем Н.М. и до 1955 г. проводившееся эпизодически, показало, что до середины 80-х гг. XX ст. оптическое состояние вод моря характеризовалось как квазистабильное, а в конце 80-х – начале 90-х гг. прозрачность черноморских вод, особенно в глубоководной части моря, заметно уменьшилась [1]. Такие изменения прозрачности также были подтверждены по результатам измерений показателя ослабления направленного света, систематически проводившихся с середины 70-х до середины 90-х гг. [2 – 5].

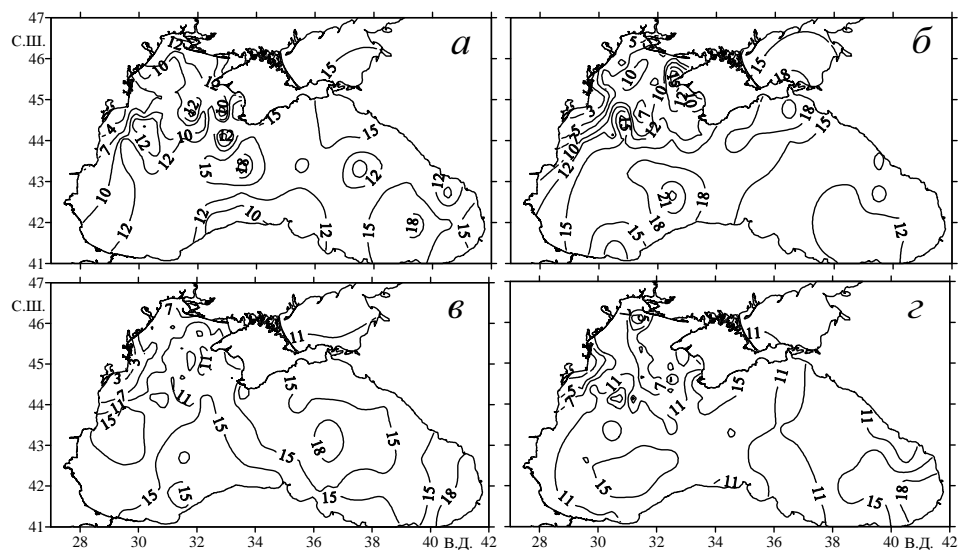
В данной работе приводятся результаты анализа многолетней (1923 – 2000 гг.) сезонной и межгодовой изменчивости глубины видимости белого диска (относительной прозрачности) в различных районах Черного моря.

Для анализа был использован массив данных о глубине видимости белого диска из банка данных МГИ НАН Украины, содержащий 1602 измерения в глубоководной части моря и 4730 – в северо-западной его части (СЗЧМ).

Результаты. *Пространственные распределения* сезонных значений относительной прозрачности (Z_6), полученные в период относительно стабильного оптического состояния моря в 1923 – 1986 гг., показаны на рис.1.

В зимний период в глубоководной части моря Z_6 изменялось в пределах 10 – 20 м (рис.1, *а*), а среднее значение было равно $14,6 \pm 2,1$ м. Повышенная прозрачность наблюдалась в центральной и юго-восточной частях моря и в прикерченском районе. Пониженная прозрачность отмечена в районе Анатолийского и западного побережий. В СЗЧМ пониженная прозрачность (3 – 7 м) была зарегистрирована в придунайском районе. На большей части СЗЧМ $Z_6 = 10 – 12$ м.

В весенний период относительная прозрачность вод (рис.1, *б*) на большей части глубоководной области моря по сравнению с зимним периодом увеличилась ($15,0 \pm 2,6$ м). Понижение прозрачности было отмечено в юго-восточной части моря. Также заметно понизилась прозрачность в СЗЧМ.



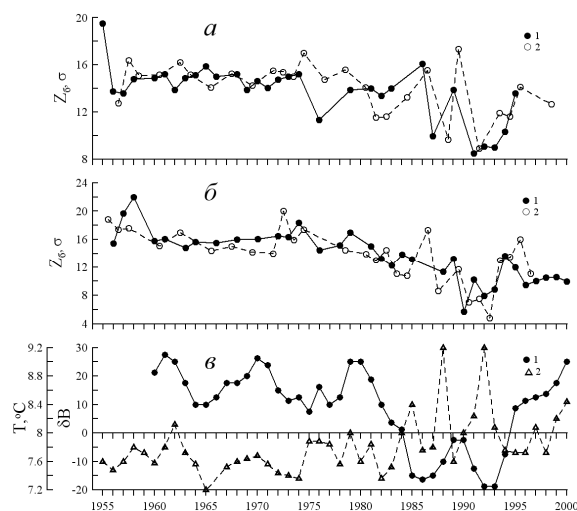
Р и с . 1 . Распределение значений глубины видимости белого диска (м) в зимний (а), весенний (б), летний (в) и осенний (з) сезоны за 1923 – 1986 гг.

В летний период прозрачность воды еще несколько повысилась ($Z_6 = 16,0 \pm 2,4$ м) и ее распределение стало более однородным (рис.1, в). Области повышенных значений Z_6 (более 15 м) были отмечены в западной и восточной частях моря. Пониженная прозрачность наблюдалась в юго-западной и юго-восточной его частях и вдоль Кавказского побережья. В СЗЧМ в районах влияния рек прозрачность вод практически не изменилась, а в центральном и восточном районах она несколько повысилась.

В осенний период относительная прозрачность ($15,1 \pm 2,8$ м) на большей части моря понизилась (рис.1, з). В западной его части сохранились области повышенных значений Z_6 . Пониженная прозрачность наблюдалась вдоль западного побережья, к югу от Керченского пролива и вдоль Кавказского побережья на участке $43^\circ - 44^\circ$ с.ш. В придунайском районе СЗЧМ низкая прозрачность сохранилась, а в центральном районе прозрачность уменьшилась по сравнению с летним периодом.

Межгодовая изменчивость. В глубоководной части моря в 20-е гг. XX ст. сезонные и среднегодовые значения прозрачности были довольно высокими (17,4 – 20,2 м). В 30-е гг. по единичным измерениям Z_6 отмечено ее понижение (весной 1938 г. Z_6 равнялось 13,8 м, летом 1937 г. 16,5 м). По результатам регулярных наблюдений Z_6 , проводимых в море с середины 50-х гг., можно выделить несколько временных интервалов с характерными изменениями относительной прозрачности, а также изменениями зимней температуры поверхностной воды (T_3) и среднегодовых значений аномалии биомассы фитопланктона (δB) [6] (рис.2).

Для интервала 1956 – 1980 гг. была характерна невысокая изменчивость Z_6 в годовом цикле и квазипериодические изменения T_3 и δB . В годы с холодными и умеренно холодными зимами (1956, 1957, 1972, 1976 гг.) [7] среднегодовые значения аномалии δB были пониженными (рис.2, в). Значения Z_6 в зимне-весенний период незначительно изменялись относительно



Р и с . 2 . Межгодовые изменения значений глубины видимости белого диска в зимний (1) и весенний (2) (а), летний (1) и осенний (2) (б) сезоны, средней зимней температуры (T) (1) и аномалий биомассы фитопланктона (δB , г/м^2) (2) (в) в глубоководной части моря.

средних его значений ($14,8 \pm 3,6$ м) (рис.2, а) и только холодной зимой в 1976 г., когда среднегодовое значение биомассы фитопланктона было более высоким по сравнению с другими годами, прозрачность заметно понизилась. В летне-осенний период значения Z_6 незначительно изменялись относительно их средних значений ($16 \pm 2,4$ м) (рис.2, б). В годы с теплыми и умеренно-теплыми зимами (1958, 1960, 1962, 1970, 1971, 1979, 1981 гг.) среднегодовые величины биомассы фитопланктона были повышенными (рис.2, в). Значения Z_6 в зимне-весенний период в 60-е гг. были близки к средним его значениям, а в 70-е гг. они заметно понизились (11,5 – 13,9 м). Характер изменений среднегодовых значений Z_6 хорошо совпадал с такими изменениями биомассы фитопланктона.

Для временного интервала 1981 – 1994 гг. была характерна повышенная биомасса фитопланктона, пониженная зимняя температура и прозрачность воды, а также высокая межгодовая их изменчивость. Низкая прозрачность была зарегистрирована в годы с холодными зимами (1987, 1992, 1993 гг.), более высокая – в 1982, 1986 и 1989 гг., когда величина биомасса фитопланктона была пониженной, а зимние температуры воды и воздуха более высокими по сравнению с другими годами.

Для периода после 1994 г. было характерно уменьшение величины биомассы фитопланктона и ее межгодовой изменчивости, а также повышение T_3 . В то же время относительно высокая прозрачность воды в 1995 г. (такая же, как и в начале 80-х гг.) в последующие годы понизилась.

Статистические оценки среднемноголетних сезонных изменений относительной прозрачности в различные периоды представлены в таблице.

В придунайском районе СЗЧМ также можно выделить несколько временных интервалов с характерными межгодовыми изменениями относительной прозрачности и биомассы фитопланктона [6] (рис.3).

В 60-е – 70-е гг. (кроме 1970 г.) объем стока Дуная ($180 - 253 \text{ км}^3$) незначительно изменялся относительно его среднегодового объема ($\sim 203 \text{ км}^3$) (рис.3, в). В годы (1966, 1970, 1975, 1979 гг.), когда объем стока был выше (\sim на 15 – 20 %) среднегодового, зимы были умеренно-теплыми и прозрачность воды пониженной (рис.3, а). В годы (1964, 1972 – 1974 гг.), когда сток

Т а б л и ц а . Среднегодовая глубина видимости белого диска (м) в глубоководной и шельфовой частях Черного моря.

| период | глубоководная часть | | | | придунайский район СЗЧМ | | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | зима | весна | лето | осень | зима | весна | лето | осень |
| 1923 – 1927 гг. | 17,8 ± 1,8 | 20,2 ± 2,1 | 18,4 ± 2,1 | 18,0 ± 0,5 | — | — | — | — |
| 1955 – 1959 гг. | 15,4 ± 2,8 | 14,8 ± 1,8 | 18,1 ± 1,5 | 18,0 ± 0,8 | — | — | — | — |
| 1960 – 1969 гг. | 14,9 ± 0,5 | 15,3 ± 1,3 | 15,6 ± 0,5 | 15,1 ± 1,1 | 4,5 ± 1,5 | 4,8 ± 2,0 | 7,6 ± 1,7 | 6,0 ± 1,7 |
| 1970 – 1979 гг. | 14,2 ± 1,4 | 15,5 ± 0,8 | 16,3 ± 1,2 | 16,4 ± 2,4 | 5,7 ± 1,5 | 5,5 ± 2,1 | 6,1 ± 3,1 | 6,3 ± 1,4 |
| 1980 – 1989 гг. | 14,3 ± 1,0 | 13,9 ± 2,3 | 13,4 ± 0,9 | 13,2 ± 2,3 | 5,0 ± 1,4 | 3,9 ± 1,3 | 5,5 ± 1,9 | 6,0 ± 1,7 |
| 1990 – 1993 гг. | 9,2 ± 0,8 | 10,8 ± 1,7 | 8,2 ± 1,9 | 6,4 ± 1,4 | 3,3 ± 0,4 | 3,0 ± 0,9 | 4,1 ± 1,8 | 3,5 |
| 1994 – 2000 гг. | 13,6 | 13,4 ± 1,0 | 10,9 ± 1,5 | 13,4 ± 2,0 | 4,9 ± 1,5 | 4,2 ± 1,9 | 4,2 ± 1,0 | 3,2 |

Дуная был заметно ниже среднего, зимы были холодными, величина биомассы фитопланктона низкая (рис.3, *в*) и прозрачность воды повышенная.

Период 80-х – середина 90-х гг. характеризовался хорошим совпадением межгодовой изменчивости объема стока Дуная и величины биомассы фитопланктона. В то же время удовлетворительное соответствие характера их изменчивости и прозрачности наблюдалось только в течение 80-х гг. При этом в годы (1979 – 1982 гг.), когда сток Дуная был высоким, зимы умеренно-теплыми, величина биомассы фитопланктона высокой (особенно в 1980 г.), значения Z_0 в весенний, летний и осенний сезоны были ниже средних значений для этих сезонов (рис.3, *б*). Повышенная прозрачность наблюдалась в 1982 – 1985 гг., для которых было характерным уменьшение объема стока Дуная и пониженные значения биомассы фитопланктона.

В конце 80-х гг. объем годового стока Дуная уменьшался. Период с конца 80-х до середины 90-х гг. характеризовался пониженным объемом его стока, сравнительно низкой величиной биомассы фитопланктона и холодными зимами в 1992 и 1993 гг. При этом прозрачность во все сезоны была низкой. После 1994 г. объем стока Дуная увеличивался и в 1995 г. было зарегистрировано повышение прозрачности и пониженное значение биомассы фитопланктона. Отмеченные особенности межгодовых изменений объема стока Дуная и региональных гидрометеорологических условий в зимне-весенний сезон в этот период, в основном определяющие изменения величины биомассы фитопланктона и прозрачности воды, в свою очередь, были обусловлены влиянием на них глобальных атмосферных процессов [8]. Во второй половине 90-х гг. объем стока Дуная был повышенным, величина биомассы фитопланктона пониженная и отмечалась относительно низкая прозрачность. Ее среднегодовые сезонные изменения в придунайском районе СЗЧМ в 1963 – 2000 гг. представлены в табл.

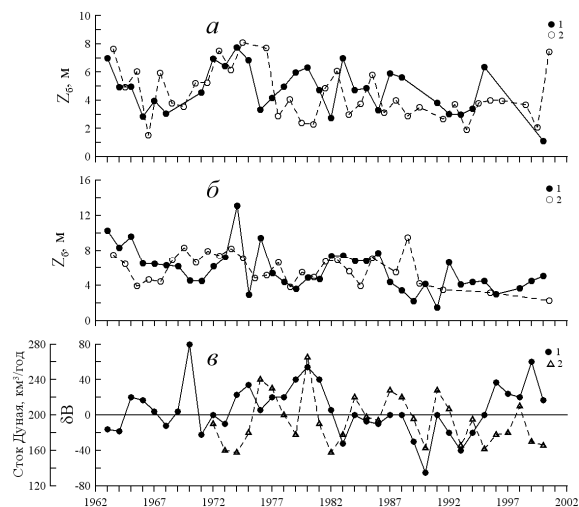


Рис. 3. Межгодовые изменения значений глубины видимости белого диска в зимний (1) и весенний (2) (а), летний (1) и осенний (2) (б) сезоны, среднегодового объема стока Дуная (1) и аномалий биомассы фитопланктона (δB , г/м^2) (в) в придунайском районе СЗЧМ.

Заключение. Рассмотрены основные особенности пространственных сезонных распределений относительной прозрачности. Сезонные и межгодовые изменения значений Z_ϕ во второй половине XX ст. хорошо согласовывались с изменениями величины биомассы фитопланктона, которые, в свою очередь, зависели от гидрометеорологических условий, а в СЗЧМ также зависели и от изменения объема стока Дуная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маньковский В.И., Владимиров В.Л., Афонин Е.А. и др. Многолетняя изменчивость прозрачности в Черном море и факторы, обусловившие ее сильное снижение в конце 80-х – начале 90-х гг. / Препринт.– Севастополь, 1996.– 32 с.
2. Маньковский В.И. Оптическая структура вод Черного моря и закономерности ее формирования // Гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 1992.– С.7-27.
3. Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Изменчивость распределения прозрачности в верхнем слое пелагиали Черного моря // Оптика атмосферы и океана.– 2008.– т.21, № 4.– С.339-344.
4. Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А., Шугаев А.В. Прозрачность вод в прибрежных и глубоководных районах Черного моря // Физические проблемы экологии. – М.: МАКС Пресс, 2009.– т.16.– С.195-208.
5. Кукушкин А.С. Многолетние изменения прозрачности в глубоководных и шельфовых районах Черного моря // Физические проблемы экологии.– М.: МАКС Пресс, 2011.– т.18.– С.219-231.
6. Кривенко О.В., Пархоменко А.В. Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Черном море за период 1948 – 2001 гг. // Морской экологический журнал.– 2010.– т.9, № 4.– С.5-24.
7. Титов В.Б. О связи между сезонными атмосферными условиями и параметрами гидрологической структуры вод в северо-восточной части Черного моря // Океанология.– 2003.– т.43, № 3.– С.347-355.
8. Воскресенская Е.Н., Кукушкин А.С., Михайлова Н.В. Особенности изменчивости распределений прозрачности и содержания взвешенного вещества в северо-западной части Черного моря в весенний период в связи с крупномасштабными

процессами в системе океан – атмосфера // Метеорология и гидрология.– 2011.– № 1.– С.64-77.

Материал поступил в редакцию 12.06.2013 г.

АНОТАЦІЯ За даними багатолітніх спостережень глибини видимості білого диска (1923 – 2000 рр.) розглянуті основні особливості просторових розподілів прозорості в глибоководній і північно-західній шельфовій частинах Чорного моря. Вивчена її міжрічна мінливість, обумовлена змінами гідрометеорологічних умов, величини біомаси фітопланктону, а в північно-західній частині моря також змінами об'єму стоку Дунаю.

ABSTRACT Using long-term observational data of visibility depth of Secchi Disk (1923 – 2000) the main peculiarities of spatial transparency distribution in deep-sea and north-western shelf parts of the Black Sea are considered. Its inter-annual variability caused by hydrometeorological conditions' variations, phytoplankton biomass value, and variations of the Danube river flow capacity in the north-western part of the sea is studied.